

ΤΕΙ ΛΑΡΙΣΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΡΓΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ «ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ
ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ».

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΕ ΕΡΓΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ
ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ. Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ ΣΤΟ
ΝΟΜΟ ΤΡΙΚΑΛΩΝ ΜΕ ΤΙΣ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΕΣ
ΜΕΘΟΔΟΥΣ AHP ΚΑΙ ELECTRE I.

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΒΙΤΣΑ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ. ΣΑΜΑΡΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΛΑΡΙΣΑ
ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΟ ΕΤΟΣ 2011-2012

Πρόλογος

Φτάνοντας στο τέλος αυτής της εργασίας, νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που με βοήθησαν στην ολοκλήρωσή της.

Πρώτα από όλα θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα των έργων κύριο Μπαρούτα Ηλία, για την συμβολή του στην αναγνώριση των κινδύνων των φραγμάτων κατά τη διάρκεια λειτουργίας τους και για τον σωστό προσανατολισμό εύρεσης υλικού για την επικινδυνότητα και την κατασκευή των φραγμάτων.

Θερμά ευχαριστώ στην κυρία Μπελετσιώτη Βαία Προϊσταμένη της Τεχνικής Υπηρεσίας του Δήμου Τρικκαίων καθώς και τον κύριο Θανόπουλο Ιωάννη Δρ. Μηχανικό, ΔΕΗ/ΔΥΗΠ/ΚΕΨΕ Θεσσαλίας, οι οποίοι συνέβαλαν αρκετά με τις γνώσεις και τις πληροφορίες τους στην συλλογή των απαραίτητων δεδομένων που χρειάστηκαν για την εργασία.

Επίσης, ευχαριστώ τον κατασκευαστή των έργων Κατσιάβα Χρήστο, εργολάβο, για την παροχή στοιχείων που αφορούν τα υπό μελέτη φράγματα και τον συνεργάτη του Τοπογράφο Μηχανικό Ιωάννη Βίτσα για την πολύτιμη συνεργασία.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Σαμαρά Γεώργιο ο οποίος συνέβαλε με την επίβλεψή του στην εκπόνηση αυτής της εργασίας, καθώς και τον δεύτερο επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Γερογιάννη Βασίλη.

Θα ήταν παράλειψη, να μην ευχαριστήσω την οικογένεια μου που με στηρίζουν και είναι δίπλα μου σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Η μεταπτυχιακή εργασία σχετίζεται με την εκτίμηση κινδύνων σε έργα κατασκευής φραγμάτων και ειδικότερα μελετάται η περίπτωση φραγμάτων στον Νομό Τρικάλων με τις πολυκριτήριες μεθόδους AHP και ELECTRE I. Αφού εξετάζονται σε πρώτο επίπεδο σχετικά ζητήματα όπως διαχείριση κινδύνων των έργων, οι προϋποθέσεις δημιουργίας φραγμάτων, οι κίνδυνοι και οι κατηγορίες φραγμάτων, εξετάζονται στη συνέχεια τρία συγκεκριμένα έργα φραγμάτων ως προς την επικινδυνότητά τους με την εφαρμογή των μεθόδων AHP και ELECTRE I.

Το πρώτο κεφάλαιο περιγράφει την σημαντικότητα της εφαρμογής της διαχείρισης κινδύνου στα έργα και την αναγκαιότητα χρησιμοποίησης της σε έργα φραγμάτων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα ερευνητικά ερωτήματα της μεταπτυχιακής εργασίας, τα οποία συνοψίζονται στην αναγνώριση των κινδύνων, στην εκτίμηση της επίδρασής τους και στον έλεγχο των αποτελεσμάτων.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η διαχείριση κινδύνου έργων ως προς τη φύση, την αναγνώριση, την ανάλυση και τον μετριασμό του κινδύνου.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται οι απαραίτητες φάσεις για την κατασκευή ενός φράγματος (φάσεις: προετοιμασίας, προγραμματισμού, χωροθέτησης, σχεδιασμού, κατασκευής, λειτουργίας μετά το πέρας ωφέλιμου χρόνου ζωής), καθώς επίσης και οι κίνδυνοι που χαρακτηρίζουν τα φράγματα. Επιπρόσθετα καταγράφονται οι κατηγορίες των φραγμάτων και ειδικότερα των χωμάτινων φραγμάτων που αποτελούν και το πεδίο έρευνας της μεταπτυχιακής εργασίας.

Το πέμπτο κεφάλαιο περιέχει την ανασκόπηση της υπάρχουσας κατάστασης της αρθρογραφίας για την εκτίμηση κινδύνων σε έργα φραγμάτων αλλά και ευρύτερα σε κατασκευαστικά έργα με την χρήση της μεθόδου AHP και της ασαφούς λογικής.

Στο έκτο κεφάλαιο αναλύεται η προτεινόμενη μεθοδολογία AHP περιγράφονται τα στάδια υλοποίησης της, καθώς και της ELECTRE I.

Στο έβδομο κεφάλαιο εφαρμόζεται η μέθοδος AHP και ELECTRE I στην περίπτωση τριών χωμάτινων φραγμάτων στο Νομό Τρικάλων. Αρχικά εντοπίζονται οι κίνδυνοι και στην συνέχεια εκτιμάται ο κίνδυνος ανά φράγμα αλλά και ανάμεσα στα φράγματα και πραγματοποιείται έλεγχος συνέπειας.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν, σύμφωνα και με τις δυο μεθόδους είναι ότι: το 1^ο Φράγμα είναι περισσότερο εκτεθειμένο στον κίνδυνο, το 3^ο Φράγμα ακολουθεί με ελάχιστη διαφορά και τέλος το 2^ο Φράγμα έχει τη μικρότερη συγκριτικά επικινδυνότητα.

Τέλος σύμφωνα με την AHP, για κάθε φράγμα ο κίνδυνος που κατέχει την υψηλότερη θέση στην κατάταξη είναι διαφορετικός.

Abstract

The thesis is related to risk assessment in the construction of dams and particularly it is examined the case of dams in the prefecture of Trikala with the use of AHP and ELECTRE I methods. Once considered a first level on issues such as managing project risks, conditions of dams, risks and types of dams, then examined three specific projects of dams on the risks to the implementation of the methods of AHP and ELECTRE I.

The first chapter describes the importance of implementing risk management projects and the necessity of using a dam projects.

The second chapter presents the research objectives of the thesis, summarized in the identification of risks, the assessment of their influence and the control of the results.

The third chapter discusses the risk management of projects in the nature of risk and to identify, analyze and mitigate the risk.

The fourth chapter describes the necessary steps to build a dam (phases: preparation, planning, location, design, construction, operation at the end of useable life), and the risks specific to the dams. Additionally there have been recorded the categories of dams and earth fill dams in particular, which the research field of thesis are.

The fifth chapter contains a review of the current status of literature review in risk assessment of dams and construction projects generally, using the method of AHP and fuzzy logic.

The sixth chapter discusses the proposed AHP methodology and describes the stages of its implementation and those of ELECTRE I, as well.

In the seventh chapter it has been applied the methods of AHP and ELECTRE I in the case of three earth fill dams in the prefecture of Trikala. Initially risks have been identified and then risks have been assessed per dam and between dams and finally risks have been checked of consistency.

The conclusions derived, in accordance with both methods are that: the first dam is more exposed to risk, the third dam followed by a small margin, and finally the second dam is comparatively less risk. Finally, according to the AHP method, the risk that holds the highest position in the ranking is different, for each dam.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
2. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ.....	2
3. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΈΡΓΩΝ	4
3.1. Η ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ.....	5
3.2. ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ	5
3.3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ.....	6
3.4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ.....	8
3.5. ΜΕΤΡΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ	8
4. ΦΡΑΓΜΑΤΑ	10
4.1. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ.....	10
4.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΑΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ	10
4.2.1. Φάση προετοιμασίας.....	11
4.2.2. Φάση προγραμματισμού	11
4.2.3. Φάση χωροθέτησης.....	12
4.2.4 Φάση σχεδιασμού.....	12
4.2.5 Φάση κατασκευής.....	13
4.2.6 Φάση λειτουργίας	13
4.2.7 Φάση μετά το πέρας ωφέλιμου χρόνου ζωής	13
4.3. ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ	14
4.3.1 Η έννοια της επικινδυνότητας στα έργα φραγμάτων	14
4.4. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ	24
4.4.1 Κατασκευή Χωμάτων Φραγμάτων	24
4.4.1.1 Αμιγή Χωμάτινα Φράγματα	24
4.4.1.2 Τα χωματολίθινα Φράγματα	25
4.4.1.3 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα χωμάτων φραγμάτων	25
5. ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΕΡΓΑ ΚΑΙ ΕΡΓΑ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ.....	27
5.1 ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΑΗΡ.....	27
5.1.1. Εισαγωγή στη μέθοδο ΑΗΡ.....	27
5.1.2.Υπάρχουσα Κατάσταση	32
5.2.ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ.....	41
5.2.1. Εισαγωγή στην ασαφή λογική.....	41
5.2.2. Υπάρχουσα κατάσταση	42

5.3. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	45
5.3.1. Συγκεντρωτικός πίνακας	45
5.3.2. Συμπεράσματα.....	48
6. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	50
6.1 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΗΡ.....	50
6.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΗΡ.....	51
6.3 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ELECTRE I	53
6.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ELECTRE I	56
7. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ ΣΤΟΝ ΝΟΜΟ ΤΡΙΚΑΛΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΑΗΡ	60
7.1 ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΚΙΝΔΥΝΩΝ.....	60
7.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΑΗΡ	62
7.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΑΗΡ.....	66
7.3.1 Στάδιο 1 ^ο : Υπολογισμός βαρών κριτηρίων (σύμφωνα με Παράρτημα Α).....	66
7.3.2 Στάδιο 2: Εκτίμηση εναλλακτικών (σύμφωνα με Παράρτημα Β).....	69
7.3.3. Στάδιο 3 ^ο : Επικινδυνότητα Εναλλακτικών.....	77
7.4. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ELECTRE I	79
7.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	83
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	86
Παράρτημα Α: Σχετικά βάρη κριτηρίων με τη μέθοδο ΑΗΡ.	91
Παράρτημα Β: Εκτίμηση εναλλακτικών σε κάθε κριτήριο με τη μέθοδο ΑΗΡ.	94
Παράρτημα Γ: Εκτίμηση εναλλακτικών σε κάθε κριτήριο με την μέθοδο Electre.....	99

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

1. Πίνακας 4.1.: Στατιστικά στοιχεία αναχώματος φραγμάτων μέχρι το 1986.....σελ. 20
2. Πίνακας 4.2.: Στατιστικά στοιχεία των αποτυχιών και των ατυχημάτων λόγω εσωτερικής διάβρωσης και σωληνώσεως του αναχώματος των φραγμάτων μέχρι το 1986.....σελ. 22
3. Πίνακας 4.3.: Χρονική στιγμή της εσωτερικής διάβρωσης και των σωληνώσεων σε σχέση με την ηλικία του φράγματοςσελ. 22
4. Πίνακας 5.1.: Η κλίμακα προτίμησης της AHPσελ. 28
5. Πίνακας 5.2.: Πίνακας διμερών συγκρίσεωνσελ. 29
6. Πίνακας 5.3: Παράγοντες αποτυχίαςσελ. 36
7. Πίνακας 5.4: Συνοπτικός πίνακας αρθρογραφία υπάρχουσας κατάστασης σε έργα φραγμάτων και κατασκευαστικά έργα με τη χρήση της μεθόδου AHP και τη μέθοδο της ασαφούς λογικής.....σελ. 46
8. Πίνακας 6.1. Προβληματικές Αναφορέςσελ. 55
9. Πίνακας 6.2. Προβληματικές ανά έκδοση Electre.....σελ. 56
10. Πίνακας 7.1: Κριτήρια Κινδύνου Φραγμάτωνσελ. 60
11. Πίνακας 7.2: Μήτρα Σχετικών Βαρών Κριτηρίων.....σελ. 66
12. Πίνακας 7.3: Μήτρα Βαρών Κριτηρίων.....σελ. 67
13. Πίνακας 7.4: Βάρη Κριτηρίωνσελ. 68
14. Πίνακας 7.5: Επικινδυνότητα φραγμάτων στο κριτήριο Εσωτερική διάβρωση σε χωμάτινα φράγματασελ. 69
15. Πίνακας 7.6: Κανονικοποίηση βαρών στο κριτήριο K1: Εσωτερική διάβρωση σε χωμάτινα φράγματασελ. 70
16. Πίνακας 7.7: Βάρη επιδόσεων κάθε εναλλακτικής φράγματος στο κριτήριο Εσωτερική Διάβρωσησελ. 71
17. Πίνακας 7.8: Επικινδυνότητα φραγμάτων στο κριτήριο Συνολική αστοχία φράγματος συμπεριλαμβανομένης της θεμελίωσηςσελ. 71
18. Πίνακας 7.9: Κανονικοποίηση βαρών στο κριτήριο K2: Συνολική αστοχία φράγματος συμπεριλαμβανομένης της θεμελίωσης.....σελ. 72
19. Πίνακας 7.10: Βάρη επιδόσεων κάθε εναλλακτικής φράγματος στο κριτήριο Συνολική Αστοχία Φράγματοςσελ. 72
20. Πίνακας 7.11: Επικινδυνότητα φραγμάτων στο κριτήριο Κατολισθήσεις στα πρανή του ταμιευτήρασελ. 73
21. Πίνακας 7.12: Κανονικοποίηση βαρών των επιδόσεων στο κριτήριο K3: Κατολισθήσεις στα πρανή του ταμιευτήρασελ. 74

22. Πίνακας 7.13: Βάρη επιδόσεων κάθε εναλλακτικής φράγματος στο κριτήριο Κατολισθήσεις στα πρανή του ταμιευτήρα	σελ. 74
23. Πίνακας 7.14: Επικινδυνότητα φραγμάτων στο κριτήριο Σεισμοί	σελ. 74
24. Πίνακας 7.15: Κανονικοποίηση βαρών στο κριτήριο Κ4: Σεισμοί	σελ. 75
25. Πίνακας 7.16: Βάρη επικινδυνότητας κάθε εναλλακτικής στο κριτήριο Σεισμοί	σελ. 76
26. Πίνακας 7.17: Επικινδυνότητα φραγμάτων στο κριτήριο Πλημμύρες Ανεπάρκεια Υπερχειλιστή	σελ. 76
27. Πίνακας 7.18: Κανονικοποίηση βαρών των επιδόσεων στο κριτήριο Πλημμύρες Ανεπάρκεια Υπερχειλιστή	σελ. 77
28. Πίνακας 7.19: Βάρη επικινδυνότητας κάθε εναλλακτικής φράγματος στο κριτήριο Πλημμύρες Ανεπάρκεια Υπερχειλιστή	σελ. 77
29. Πίνακας 7.20. Επικινδυνότητα εναλλακτικών (Φραγμάτων) σε κάθε κριτήριο	σελ. 78
30. Πίνακας 7.21. Συνολική επικινδυνότητα κάθε εναλλακτικής επιλογής φράγματος και Λήψη Τελικής Απόφασης	σελ. 78
31. Πίνακας 7.22. Πίνακας πολυκριτηρίων εκτιμήσεων	σελ. 80
32. Πίνακας 7.23. Πίνακας Κατάταξης Κινδύνων ανά Φράγμα.....	σελ. 84
33. Πίνακας 7.24. Πίνακας Κατάταξης Φραγμάτων ανά Κίνδυνο	σελ. 85

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

1. Σχήμα 5.1. Λεπτομερής Ιεράρχηση Τριών Επιπέδων	σελ. 30
2. Σχήμα 5.2. Η δομική διαφορά μεταξύ ενός γραμμικού και μη γραμμικού δικτύου ..	σελ. 31
3. Σχήμα 5.3. Σχεδιάγραμμα κινδύνων σε μορφή δένδρου	σελ. 34
4. Σχήμα 5.4. Μοντέλο ANP εντοπισμός κινδύνων φραγμάτων (α)	σελ. 34
5. Σχήμα 5.4. Μοντέλο ANP εντοπισμός κινδύνων φραγμάτων (β).....	σελ. 35
6. Σχήμα 5.5. Ιεραρχική Δομή για την εκτίμηση κινδύνου γεφυρών	σελ. 39
7. Σχήμα 5.6. Προτεινόμενο σύστημα ταξινόμησης των κινδύνων.....	σελ. 40
8. Σχήμα 5.7. Κατανομή χρησιμοποιούμενων μεθόδων υπάρχουσας κατάστασης	σελ. 47
9. Σχήμα 6.1. Δένδρο Ιεράρχησης Μεθόδου AHP.....	σελ. 52
10. Σχήμα 6.2. 1-9 κλίμακα για τη σύγκριση ανά ζεύγη κριτηρίων	σελ. 53
11. Σχήμα 6.3. Λογικό διάγραμμα μεθόδου.....	σελ. 58
12. Σχήμα 6.4. Πυρήνας γραφήματος υπεροχής	σελ. 58
13. Σχήμα 7.1. Δένδρο Ιεράρχησης Φραγμάτων	σελ. 62

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

1. Εικόνα 7.1. Εισαγωγή εναλλακτικών.....σελ. 80
2. Εικόνα 7.2. Εισαγωγή κριτηρίων.....σελ. 81
3. Εικόνα 7.3. Τιμές κριτηρίων σε κάθε εναλλακτική.....σελ. 81
4. Εικόνα 7.4. Μήτρα Συμφωνιών.....σελ. 82
5. Εικόνα 7.5. Μήτρα Ασυμφωνιών.....σελ. 82
6. Εικόνα 7.6. Μήτρα Υπεροχής.....σελ. 82
7. Εικόνα 7.7. Τελικό γράφημα – Λύσησελ. 83

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εφαρμογή διαχείρισης κινδύνου μπορεί να γίνει σε όλα τα έργα και να αποδεχθεί κρίσιμη για όλα, από τα πολύ μικρά έργα που μπορούν να υλοποιηθούν από ένα άτομο μέχρι και τα πολύ μεγάλα και σύνθετα από τα οποία προήλθαν πολλές από τις τεχνικές. Με βάση το κατάλληλο πλαίσιο, πολλά προβλήματα μπορούν να εντοπιστούν εκ των προτέρων και να δώσουν στον διαχειριστή του έργου την ευκαιρία να προσδιορίσει την απαραίτητη πορεία δράσης. Υπάρχουν καλά ανεπτυγμένες διαδικασίες για τη διαχείριση κινδύνων ως μιας διαρκούς διαδικασίας σε όλη την έκταση ενός έργου. Οι πρακτικές είναι καλύτερα ανεπτυγμένες σε κλάδους όπου συνήθως τα έργα είναι πολύ μεγάλα (βαριά βιομηχανία) ή όπου υπάρχει σημαντικός τεχνικός κίνδυνος (έργα στο χώρο της αεροναυπηγικής). Υπάρχει επίσης ένα σημαντικό απόθεμα γνώσης σχετικά με τη διαχείριση των χρηματοοικονομικών κινδύνων. Στην εργασία αυτή η προσοχή εστιάζεται στη διαχείριση των κινδύνων διαδικασίας και αποτελέσματος.

Το ενδιαφέρον της παρούσας εργασίας επικεντρώνεται σε έργα φραγμάτων και ειδικότερα στην εκτίμηση των κινδύνων που αντιμετωπίζουν κατά τη διάρκεια λειτουργίας τους.

Σκοπός της κατασκευής ενός φράγματος είναι η δέσμευση μεγάλης ποσότητας νερού και η ελεγχόμενη διάθεση του για άρδευση, ύδρευση, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή για αποφυγή πλημμυρών.

Η ανεξέλεγκτη αποδέσμευση του αποθηκευμένου νερού, που συμβαίνει όταν ένα φράγμα σπάσει, μπορεί να δημιουργήσει τεράστιες καταστροφές στις κατάντη του φράγματος περιοχές. Η καταστροφή του φράγματος Tenton, στις ΗΠΑ, στις 5 Ιουνίου 1976, προκάλεσε ζημιές που έφτασαν το δεκαπλάσιο του κόστους του φράγματος. (Τσόγκας, 1990).

2. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η αποτίμηση του κινδύνου και της αβεβαιότητας σε κατασκευαστικά έργα φραγμάτων στο Νομό Τρικάλων τόσο με τη μέθοδο της Αναλυτική Διαδικασίας Ιεράρχησης (AHP Analytic Hierarchy Process), όσο και με τη μέθοδο ELECTRE I.

Τα ερευνητικά ερωτήματα της παρούσας έρευνας είναι:

1. Αναγνώριση των πηγών (περιοχών) κινδύνου και αβεβαιότητας και των υπό-περιοχών τους για την κατασκευή έργων φραγμάτων.
2. Αποτίμηση της επίδρασης των πηγών του κινδύνου και της αβεβαιότητας με τη χρήση της AHP (Analytic Hierarchy Process) και της ELECTRE I. Ειδικότερα θα διερευνηθεί ποιο φράγμα είναι εκτεθειμένο στον κίνδυνο κατά τη διάρκεια λειτουργίας του, καθώς επίσης και ποιος κίνδυνος είναι μεγαλύτερος σε κάθε φράγμα.
3. Έλεγχος των αποτελεσμάτων της μεθόδου AHP.

Η χρηματοδότηση ενός έργου προϋποθέτει την αναγνώριση και την ανάλυση των πηγών κινδύνου και αβεβαιότητας κατά τη διάρκεια των διαφορετικών φάσεων του έργου (Dias and Ioannou, 1995,1996). Αρκετοί συγγραφείς έχουν προτείνει ταξινόμηση και ορισμό του κινδύνου στη χρηματοδότηση ενός έργου συμπεραίνοντας ότι η κατανομή των κινδύνων είναι το σημαντικότερο στοιχείο για την επιτυχή ανάληψη της χρηματοδότησης ενός έργου (Zayed et al, 2008). Η αναγνώριση των πιθανών πηγών των κινδύνων είναι ένας βασικός παράγοντας στη διαδικασία διαχείρισης κινδύνου διότι επιτρέπει τα συμβαλλόμενα μέρη του έργου να αναγνωρίσουν την ύπαρξη της αβεβαιότητας στο έργο και ως εκ' τούτου, να αναλύσουν τις πιθανές επιδράσεις τις και να καθορίσουν την κατάλληλη στρατηγική ώστε να μετριάσουν τις επιρροές της στο έργο. Οι πηγές του κινδύνου μπορούν να ταξινομηθούν στις ακόλουθες δέκα κατηγορίες [Dias and Ioannou (1995); Mustafa (1991)]: χρηματοοικονομικών, εσόδων, προώθησης, προμηθειών, αναπτυξιακών, κατασκευαστικών, λειτουργικών, φυσικών, ανωτέρας βίας και κινδύνων που προέρχονται από το πολιτικό και κανονιστικό πλαίσιο της χώρας.

Η μέθοδος AHP που θα χρησιμοποιηθεί σε αυτήν την έρευνα αποτελεί το εργαλείο που θα βοηθήσει να ταξινομηθούν τα έργα φραγμάτων με βάση τον κίνδυνο (με αύξουσα σειρά).

Τα έργα τα οποία θα συμπεριληφθούν στην διπλωματική εργασία είναι φράγματα τα οποία κατασκευάστηκαν στην ευρύτερη περιοχή του Νομού Τρικάλων¹.

¹ Τα έργα που θα χρησιμοποιηθούν στην παρούσα εργασία αναφέρονται στο κεφάλαιο 7.1.

3. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΈΡΓΩΝ

Οι πηγές του κινδύνου και της αβεβαιότητας υφίσταται πάντοτε σε κατασκευαστικά έργα και συχνά αποτελούν αιτία καθυστέρησης του χρονοδιαγράμματος ή υπέρβασης του προϋπολογισμού. [Chapman (2006); Wang et al (2003); Zayed et al (2004)]

Η διαχείριση έργων θεωρεί τη διαχείριση κινδύνου ως μία από τις κρίσιμες περιοχές γνώσης για τους μάνατζερ [Wang et al (2003); PMBOK (2004)]. Ο κίνδυνος του έργου ορίζεται από το PMBOK ως: ένα αβέβαιο γεγονός ή κατάσταση το οποίο εάν συμβεί έχει μια θετική ή αρνητική επίδραση σε τουλάχιστον έναν από τους στόχους του έργου, όπως είναι ο χρόνος, το κόστος, έκταση ή ποιότητα (Chapman 2006).

Η διαχείριση κινδύνου και της αβεβαιότητας χρησιμοποιεί την ακόλουθη διαδικασία τριών σταδίων [JRMPST (1996); Wang et al (2003); Maylor (2001)]:

1. **Αναγνώριση του Κινδύνου:** Το πρώτο βήμα της διαδικασίας διαχείρισης κινδύνου είναι η αναγνώριση του κινδύνου. Περιλαμβάνει την αναγνώριση των πιθανών πηγών κινδύνου και αβεβαιότητας στο έργο. Επιτυγχάνεται μέσα από μια δομημένη αναζήτηση για την απάντηση στο ερώτημα – *Ποια γεγονότα μπορεί λογικά να συμβούν τα οποία θα εμποδίσουν την επίτευξη των σημαντικών συστατικών στοιχείων της κατασκευής του έργου;*
2. **Αξιολόγηση του κινδύνου:** Η μέτρηση του κινδύνου και της αβεβαιότητας εντοπίζει την σημαντικότητα των πηγών κινδύνου και αβεβαιότητας στους στόχους του έργου. Προβάλλει σαν απάντηση στις ερωτήσεις – *Ποια είναι η πιθανότητα αυτός ο κίνδυνος να συμβεί; Ποια είναι η δριμύτητα της επίδρασης στο έργο αν ο κίνδυνος επιτραπεί να λάβει χώρα;* Η αξιολόγηση του κινδύνου επιτυγχάνεται υπολογίζοντας την πιθανότητα να συμβεί και την δριμύτητα της επίδρασης του κινδύνου.
3. **Μείωση του κινδύνου:** Η μείωση καθορίζει ένα σχέδιο, το οποίο μειώνει ή εξαλείφει την επίδραση των πηγών του κινδύνου και της αβεβαιότητας στην ανάπτυξη του έργου. Η ερώτηση η οποία θα πρέπει να γίνει είναι – *Ποιανού υπευθυνότητα είναι να εξαλείψει η να ελαχιστοποιήσει την επίδραση του κινδύνου και της αβεβαιότητας;* Οι διαθέσιμες επιλογές για τη μείωση είναι: έλεγχος, αποφυγή ή μετακίνηση.

3.1. Η ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ.

Μπορούμε να διαχωρίσουμε τους κινδύνους σε αυτούς που μπορούν να προβλεφθούν και σε κινδύνους που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια υλοποίησης ενός έργου. Αυτοί οι δυο τύποι κινδύνων καλούνται επίσης «γνωστοί-άγνωστοι» και «άγνωστοι-άγνωστοι» (Koster 2010). Οι γνωστοί άγνωστοι είναι επικίνδυνα γεγονότα που συνέβησαν σε προηγούμενα έργα, επομένως υπάρχουν πληροφορίες σχετικά με την πιθανότητα και τη σοβαρότητά τους. Οι άγνωστοι-άγνωστοι είναι επικίνδυνα γεγονότα που συνδέονται με μια νέα τεχνολογία, μια νέα αγορά ή ένα νέο περιβάλλον, για τα οποία δεν υπάρχουν προηγούμενες πληροφορίες (Shtub et al, 2008). Η κλασσική μεθοδολογία της διαχείρισης έργου πραγματεύεται τους κινδύνους που μπορούν να προβλεφθούν. Οι κίνδυνοι αυτοί δεν είναι συνήθως πλήρως γνωστοί, αλλά μπορούν να αναγνωριστούν ή να μοντελοποιηθούν. Η πιθανότητα να συμβούν και η επίδραση που θα έχουν στο έργο μπορούν να υπολογιστούν (Miller and Hobbs, 2006).

3.2. ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

Με την έννοια αναγνώριση κινδύνου εννοείται ο κίνδυνος που επηρεάζει το έργο ή μια δραστηριότητα και όχι μόνο ο κίνδυνος που είναι προφανής στον λήπτη της απόφασης. Ο κίνδυνος σαν μονάδα μπορεί να είναι μικρής σημασίας, αλλά σε πολύπλοκα έργα έχει σημαντικές επιδράσεις. Κατά τη διάρκεια αναγνώρισης κινδύνου πρέπει να ξεχωρίζει η πηγή από το αποτέλεσμα. (Maylor, 2001). Με βάση το πλαίσιο διαχείρισης κινδύνου Shampu που αναπτύχθηκε από τους Chapman and Ward (2003), η φάση εντοπισμού περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των πηγών και συναφών πιθανών αποκρίσεων και των δευτερογενών πηγών που προκύπτουν από τις αποκρίσεις αυτές.

Πηγές κινδύνου στον κατασκευαστικό κλάδο είναι:

- Αυξομείωση του πληθωρισμού
- Καιρικά φαινόμενα
- Απρόβλεπτες συνθήκες εδάφους
- Αφερέγγυος εργολάβος

Αποτελέσματα κινδύνου στον κατασκευαστικό κλάδο:

- Επιτυχία ή αποτυχία του προϋπολογισμού
- Αποτυχία στο χρονικό προγραμματισμό
- Αποτυχία στην ποιότητα του έργου

Στη φάση της αναγνώρισης αναγνωρίζεται ο ελέγξιμος και μη ελέγξιμος κίνδυνος.

- Ελέγξιμος κίνδυνος σημαίνει όταν ο λήπτης της απόφασης έχει τον απόλυτο έλεγχο των παραγόντων του κινδύνου. Επίσης όταν οι παράγοντες που γεννούν τον κίνδυνο είναι στον έλεγχο άλλων με τους οποίους ο λήπτης της απόφασης είναι σε άμεση επαφή.
- Μη ελέγξιμος κίνδυνος σημαίνει ότι οι παράγοντες ρίσκου οι οποίοι επηρεάζονται από αποφάσεις της κυβέρνησης καθώς και εξωθεσμικούς παράγοντες όπως ο καιρός, πληθωρισμός, παγκόσμια οικονομικά κρίση.

3.3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

Σύμφωνα με τον Κηρυττόπουλο (2006) οι μέθοδοι εντοπισμού κινδύνου χωρίζονται στις εξής κατηγορίες

- **Brainstorming.** Η διεξαγωγή των μεθόδων βασίζεται στη δημιουργία ιδεών, την αναζήτηση πιθανών λύσεων για τα προβλήματα ή πιθανών ενισχύσεων για τις ευκαιρίες και την αποτίμηση της αποτελεσματικότητας των προτεινόμενων ενεργειών. Η μέθοδος αυτή είναι αρκετά εύκολη καθώς ενθαρρύνει τη δημιουργική σκέψη. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των στελεχών είναι πηγή έμπνευσης νέων ιδεών. Τα στελέχη που συμμετέχουν στην ομαδική παραγωγή ιδεών επιλέγονται με βάση τη σχέση τους με το υπό εξέταση έργο και τις θεωρητικές αλλά και τις πρακτικές γνώσεις που διαθέτουν για το αντικείμενο. Αυτό που έχει σημασία κατά τη διάρκεια του brainstorming είναι η ποσότητα των ιδεών και όχι η ποιότητα. Έχει όμως και κάποια μειονεκτήματα όπως δισταγμός των συμμετεχόντων στο να εκφράσουν ελεύθερα την πραγματική τους άποψη καθώς επίσης αδυναμία στο να εκφραστούν όλες οι ιδέες. Αποτέλεσμα της διαδικασίας είναι η δημιουργία ενός αναλυτικού καταλόγου κινδύνων που ενδεχομένως θα συμβούν και θα επηρεάσουν το έργο.
- **SWOT ανάλυση.** Εστιάζει στις Δυνατότητες, Αδυναμίες, Ευκαιρίες και Απειλές για το έργο που είναι υπό εξέταση. Εφαρμόζοντας τη μέθοδο διαπιστώνεται ότι οι δυνατότητες και οι αδυναμίες αποτελούν συνήθως αιτίες για ρίσκα, τα οποία προκύπτουν μέσα από την ανάλυση ευκαιριών και απειλών. Αρχικά εντοπίζονται τα δυνατά και αδύνατα σημεία της επιχείρησης και με βάση αυτά τα στοιχεία ο λήπτης της απόφασης προσπαθεί να εντοπίσει τις απειλές και τις ευκαιρίες.
- **Συνεντεύξεις σε ειδικούς,** έτσι ώστε να διαπιστωθούν κίνδυνοι που θα μπορούσαν να έχουν συνέπειες στους στόχους του έργου. Στόχος της συνέντευξης είναι να

αποσπάσει την εμπειρία των ειδικών που άλλοτε είναι πρόθυμοι να βοηθήσουν και άλλοτε όχι. Πιθανοί υποψήφιοι για την συνέντευξη είναι τα μέλη της ομάδας έργου, ανώτερα στελέχη με εμπειρία σε αντίστοιχα έργα και συγκεκριμένοι ενδιαφερόμενοι του έργου που θα μπορούσαν να αποκαλύψουν ειδικούς κινδύνους του έργου (π.χ. στόχοι που δεν έχουν σαφώς εκφρασθεί).

- **Τεχνική Delphi.** Η τεχνική Delphi πρώτα εντοπίζει το προς λύση πρόβλημα. Βασική ιδέα της μεθόδου είναι η εξάλειψη της προσωπικής επαφής, ώστε οι συμμετέχοντες να σκέφτονται ελεύθερα και χωρίς περιορισμούς που εμφανίζονται στις ομάδες. Σχεδιάζει ερωτηματολόγιο όπου οι απαντήσεις οδηγούν στη λύση του προβλήματος ή στην λήψη απόφασης. Τα ερωτηματολόγια μοιράζονται στους ειδικούς. Συλλέγονται οι απαντήσεις και ξεχωρίζουν εκείνες οι απαντήσεις που αποκλίνουν περισσότερο από το σύνολο. Οι ειδικοί που έδωσαν αποκλίνουσες απαντήσεις καλούνται να εξηγήσουν τη θέση τους και οι συγκεκριμένες ερωτήσεις αναδιαμορφώνονται. Στη συνέχεια ζητείται από τους ειδικούς να επανεκτιμήσουν τα ερωτήματα. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να βρεθεί μια κοινή άποψη.
- **Διάγραμμα Ishikawa.** Το διάγραμμα Ishikawa δημιουργήθηκε για τον εντοπισμό και την αποσαφήνιση των βαθύτερων αιτιών που δημιουργούν ένα πρόβλημα. Είναι ένα εργαλείο αντιμετώπισης κινδύνων καθώς εντοπίζει τις αιτίες αλλά χρησιμοποιείται σχεδόν πάντα κατά τη διαδικασία εντοπισμού των κινδύνων. Το διάγραμμα Ishikawa οδηγεί στο υπό εξέταση πρόβλημα και πάνω του εδράζονται οι διάφορες αιτίες ομαδοποιημένες σε συγκεκριμένες κατηγορίες. Οι συνηθισμένες κατηγορίες για τις υπηρεσίες και τα έργα είναι οι άνθρωποι, το περιβάλλον, ο χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός και οι ακολουθούμενες διαδικασίες. Σε κάθε μια από αυτές τις κατηγορίες υπάρχουν οι αιτίες που οδηγούν στο πρόβλημα.
- **Παραδείγματα από προηγούμενα έργα.** Τα οποία έχουν αντιμετωπίσει παρόμοιους κινδύνους και πιθανότατα τους έχουν επιλύσει.
- **Κατάλογοι Κινδύνων.** Περιέχουν κινδύνους που έχουν εμφανιστεί στο παρελθόν ή ενδέχεται να εμφανιστούν στο μέλλον. Υπάρχουν δυο βασικά είδη καταλόγων: εκείνα που αφορούν συγκεκριμένου τύπου έργα και κατάλογοι με κινδύνους που μπορεί κανείς να συναντήσει σε κάθε τύπο έργου.

3.4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

Ο προσδιορισμός των κινδύνων μπορεί να παράγει έναν μακρύ κατάλογο επικίνδυνων γεγονότων ή πηγών κινδύνου. Τα σημαντικότερα πρέπει να απομονωθούν και να αναλυθούν σε βάθος. Ένας απλός αλλά αποτελεσματικός τρόπος για την επίτευξη του σκοπού αυτού είναι η ταξινόμηση κάθε επικίνδυνου γεγονότος ανάλογα με τον αντίκτυπο που έχει στο έργο, δηλαδή ο διαχωρισμός των κινδύνων που συνδέονται με τον χρονοπρογραμματισμό και τους κινδύνους που συνδέονται με τον προϋπολογισμό και από τους κινδύνους που συνδέονται με τις επιδόσεις.

Το επόμενο βήμα είναι η εκτίμηση του μεγέθους κάθε τύπου κινδύνου και ο προσδιορισμός εκείνων που φαίνονται σοβαρότεροι. Στις ειδικές τεχνικές (άλλες τεχνικές είναι οι: προσομοίωση Monte Carlo, ανάλυση ευαισθησίας, Pert) για την ανάλυση των κινδύνων περιλαμβάνονται η δένδροειδής ανάλυση σφαλμάτων, η δένδροειδής ανάλυση γεγονότων, η συνεργιακή τεχνική αξιολόγησης και επισκόπησης έκτακτης ανάγκης και η αξιολόγηση και επισκόπηση της ανάλυσης αξιοπιστίας. (Avraham Stub, Jonathan F.Bard, Shlomo Globerson, 2008).

Η απλούστερη προσέγγιση συνίσταται στην εκτίμηση της πιθανότητας κάθε επικίνδυνου γεγονότος και της δυνητικής σοβαρότητας του αντίκτυπου του σε κάθε κατηγορία: χρονοπρογραμματισμός, κόστος, επιδόσεις και ποιότητα. Υψηλός κίνδυνος είναι αυτός που εμφανίζει υψηλή πιθανότητα επέλευσης και υψηλό αντίκτυπο. Ο χαμηλός κίνδυνος εμφανίζει χαμηλή πιθανότητα επέλευσης και χαμηλό αντίκτυπο. Οτιδήποτε βρίσκεται ανάμεσα στα δύο άκρα χαρακτηρίζεται μεσαίος κίνδυνος. Η προσέγγιση αυτή παρέχει μια ιεραρχημένη κατάταξη κινδύνων κατά κατηγορία, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό της προτεραιότητας των προσπαθειών μείωσης κινδύνων.

Οι οργανώσεις που εκτελούν παρόμοια έργα μπορούν με την πάροδο του χρόνου να χρησιμοποιήσουν τις ιστορικές βάσεις δεδομένων τους για να εκτιμήσουν την πιθανότητα κάθε επικίνδυνου γεγονότος βάση της προηγούμενης συχνότητάς του. Ωστόσο, η δυνατότητα αυτή περιορίζεται στους γνωστούς αγνώστους. (Avraham Stub, Jonathan F.Bard, Shlomo Globerson, 2008).

3.5. ΜΕΤΡΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

Αφού αναγνωριστούν οι κίνδυνοι που πρέπει να διαχειριστεί ο manager, ακολουθούν κάποιες διαδικασίες με σκοπό τη διασφάλιση της μείωσης της πιθανότητας εμφάνισης του

κινδύνου ή ότι με κάποιον τρόπο θα γίνει η διαχείριση ή θα επιτευχθεί μετριασμός των επιπτώσεων (Maylor, 2001). Ο μετριασμός καλύπτει τις ενέργειες που μπορεί να κάνει η ομάδα έργου ή ο manager για να αντιμετωπίσει κινδύνους που προέρχονται από το περιβάλλον του έργου.

Το πρώτο βήμα για τον καθορισμό της απόκρισης σε ένα πιθανό πρόβλημα είναι η κατάταξη των κινδύνων σε εκείνους που βρίσκονται μέσα στον έλεγχο του manager και εκείνους που είναι εκτός ελέγχου (Verzuh, 2002).

Για παράδειγμα η ύπαρξη νόμων και ρυθμίσεων του κράτους που επηρεάζουν το έργο είναι πέρα από τον έλεγχο του manager. Το ίδιο ισχύει για τις διακυμάνσεις του καιρού. Όταν ο κίνδυνος είναι πέρα από τον έλεγχο υπάρχουν δυο επιλογές: αποφυγή ή παρακολούθηση και επεξεργασία εφεδρικού σχεδίου.

Η συμπεριφορά της ομάδας έργου είναι μέσα στον έλεγχο της ομάδας. Για παράδειγμα ένα πρόβλημα επικοινωνίας μπορεί να λυθεί με αλλαγή του τρόπου με τον οποίο επικοινωνεί η ομάδα. Άλλες δυσκολίες όπως προβλήματα σχεδίασης ή στελέχωσης μπορεί επίσης να ξεπεραστούν αλλάζοντας τον τρόπο με τον οποίο εργάζεται η ομάδα.

Η στρατηγική διαχείριση κινδύνου πολλές φορές καταγράφεται και στοιχειοθετείται ένα ξεχωριστό έγγραφο που λέγεται πρόγραμμα διαχείρισης κινδύνου και περιλαμβάνει περιγραφή κάθε κινδύνου καθώς και ημερολόγιο κινδύνων. Σημαντικό είναι το γεγονός ότι οι στρατηγικές διαχείρισης κινδύνων επηρεάζουν άλλα έγγραφα της διαχείρισης έργου. Για παράδειγμα η μετατόπιση ευθυνών μεταξύ των ενδιαφερομένων για τη μείωση ενός κινδύνου πρέπει να αντικατοπτριστεί στη μήτρα ευθύνης. Οι δραστηριότητες μετριασμού του κινδύνου, όπως η στρατηγική της ανάπτυξης εναλλακτικού σχεδιασμού, οδηγούν σε επιπρόσθετες εργασίες που πρέπει να προστεθούν στο χρονοδιάγραμμα του έργου. Δεδομένου ότι η δήλωση εργασιών περιέχει τους συνολικούς στόχους και περιορισμούς του έργου, είναι πολύ πιθανό να τροποποιηθεί ως αποτέλεσμα ορισμένων στρατηγικών διαχείρισης κινδύνου.

4. ΦΡΑΓΜΑΤΑ

Φράγμα (Χ. Τσόγκα, 1990) είναι το τεχνικό έργο που κατασκευάζεται κάθετα στην κοίτη ενός φυσικού υδατορεύματος για να ανακόψει τη συνέχεια της ροής με σκοπό την αποθήκευση του νερού για μελλοντική χρησιμοποίησή του.

Σκοπός της κατασκευής ενός φράγματος είναι:

- Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Η άρδευση καλλιεργούμενων εδαφών
- Η ύδρευση πόλεων οικισμών ή βιομηχανικών μονάδων
- Η διαμόρφωση πλωτών διωρύγων
- Η ρύθμιση της παροχής φυσικών ρευμάτων (ποταμών)

4.1. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Ο σχεδιασμός και η κατασκευή ενός φράγματος για τη δημιουργία ενός τεχνητού ταμιευτήρα ύδατος σε μια περιοχή με διαθέσιμα επιφανειακά ύδατα αποφασίζεται ύστερα από την εκτίμηση ότι μια τέτοια λύση είναι απαραίτητη για την ικανοποίηση είτε ενεργειακών, υδρευτικών, αρδευτικών ή αντιπλημμυρικών αναγκών είτε επίσης και αναγκών εκτροπής, υδατοσυγκράτησης ή εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων. Λόγω της εθνικής σπουδαιότητας των έργων αυτών, που ανήκουν στα έργα υποδομής, αλλά και του ενίοτε διακρατικού ενδιαφέροντος, οι αποφάσεις υλοποίησης τους λαμβάνονται σε εθνικό ή και διακρατικό επίπεδο. Οι αρμόδιες υπηρεσίες ή φορείς του δημοσίου, οι οποίοι έχουν επωμισθεί τις ευθύνες για τη διαχείριση κάλυψης των παραπάνω αναγκών, εισηγούνται ιεραρχικά από το τοπικό, νομαρχιακό, περιφερειακό προς το εθνικό επίπεδο, σχετικά με τα παρουσιαζόμενα προβλήματα (υδατικές ανάγκες) και τις πιθανές λύσεις για την αντιμετώπισή τους.

4.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΑΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Η κατασκευή ενός φράγματος περιλαμβάνει τις ακόλουθες φάσεις εργασίας (Θεωδορακόπουλος, Μπούσιας, Γιαννόπουλος, 2003): προετοιμασίας, προγραμματισμού, χωροθέτησης, σχεδιασμού, κατασκευής, λειτουργίας, αξιοποίηση μετά το πέρας του ωφέλιμου χρόνου ζωής. Στις επόμενες υποενότητες αναλύονται οι εν' λόγω φάσεις.

4.2.1. Φάση προετοιμασίας

Η προπαρασκευαστική αυτή φάση προηγείται όλων των φάσεων κατά τη διάρκεια κατασκευής ενός φράγματος. Περιλαμβάνει όλες τις ενέργειες και εκτέλεση προγραμμάτων έρευνας, καταγραφές και διερευνήσεις με σκοπό τη δημιουργία μιας βάσεως δεδομένων, πάνω στα οποία θα στηριχτεί η μελέτη για τον προγραμματισμό του έργου. Ο υπεύθυνος φορέας κάθε αρμόδιας αρχής προγραμματίζει, εκπονεί τις μελέτες και εκτελεί τα απαιτούμενα προγράμματα έρευνας, με στόχο τη θεμελίωση της διαθεσιμότητας των υδάτων ανά υδατικό διαμέρισμα, λεκάνη ή άλλη περιοχή. Εάν μια κατηγορία χρήσης έχει ποιοτικές απαιτήσεις όπως άρδευση, ύδρευση κ.λπ. ο αρμόδιος φορέας παρακολουθεί παράλληλα με την ποσότητα και την ποιότητα των υδάτων, εκτελώντας προγράμματα δειγματοληψίας και προσδιορισμού των αναγκαίων ποιοτικών χαρακτηριστικών.

Το συντονισμό όλων των δραστηριοτήτων για τον προσδιορισμό των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων στον ελληνικό χώρο έχει το Υπουργείο Ανάπτυξης (το οποίο είναι αρμόδιο για την κατάρτιση και την υποβολή για έγκριση των προγραμμάτων ανάπτυξης των υδατικών πόρων της χώρας). Το Υπουργείο Ανάπτυξης σε συνεργασία με τους αρμόδιους φορείς προωθεί τη σχετική έρευνα με σκοπό την ορθολογική ανάπτυξη, αξιοποίηση, διάθεση, χρήση και προστασία τους. Οι φορείς έρευνας συγκεντρώνουν τις παρατηρήσεις τους για τα συνεχή αντικείμενα έρευνας, δημοσιεύουν τα αποτελέσματα και υποχρεούνται να τα κοινοποιούν στο Υπουργείο Ανάπτυξης, τα οποία με τη σειρά του τηρεί αρχείο των στοιχείων αυτών. Για δημοσίευση στοιχείων λεκανών απορροής παραμεθόριων περιοχών απαιτείται κοινή έγκριση των Υπουργείου Εξωτερικών και Υπουργείου Ανάπτυξης. Τα ελεγμένα και δημοσιευμένα στοιχεία των ερευνών λαμβάνονται υπόψη και αξιολογούνται κατά προτεραιότητα σε κάθε έρευνα ή μελέτη που γίνεται για λογαριασμό του Δημοσίου, των Ο.Τ.Α. (Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης), των Ν.Π.Δ.Δ. (Νομικό Πρόσωπο Δημοσίου Δικαίου), των Ο.Ε.Β. (Οργανισμοί Εγγείων Βελτιώσεων) και των Δ.Ε. (Δημόσιες Επιχειρήσεις) και αφορά άμεσα ή έμμεσα θέματα συνδεδεμένα με τα εν λόγω στοιχεία.

4.2.2. Φάση προγραμματισμού

Η αναγκαιότητα για ένταξη προς υλοποίηση ενός φράγματος προκύπτει από την αξιολόγηση των στοιχείων της προηγούμενης φάσης (φάση προετοιμασίας), με εκπόνηση της μελέτης σκοπιμότητας. Στην μελέτη σκοπιμότητας λαμβάνονται όλοι οι εναλλακτικοί

τρόποι ή έργα για την κάλυψη των υδατικών αναγκών, σε συνδυασμό με τα διαθέσιμα τεχνολογικά και οικονομικά δεδομένα και τις επικρατούσες συνθήκες στην περιοχή των έργων.

4.2.3. Φάση χωροθέτησης.

Τον προγραμματισμό για την υλοποίηση του φράγματος ακολουθεί η φάση της χωροθέτησης όπου περιλαμβάνει το στάδιο της προκαταρκτικής μελέτης, το στάδιο της προέγκρισης χωροθέτησης, και το στάδιο της έγκρισης των περιβαλλοντικών όρων.

Η προκαταρκτική μελέτη απαιτείται να εκπονηθεί σε αυτή τη φάση, εφόσον κριθεί κατά το στάδιο της προέγκρισης χωροθέτησης ότι πρέπει να συνταχθεί Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων.

Η προέγκριση χωροθέτησης γίνεται με απόφαση του Υπουργού του Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ (Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων) ή του γενικού γραμματέα περιφέρειας. Στη συνέχεια εγκρίνονται οι περιβαλλοντικοί όροι με κοινή απόφαση του Υπουργού.

4.2.4 Φάση σχεδιασμού.

Η φάση του σχεδιασμού διαρκεί από 2 έως 10 έτη και περιλαμβάνουν την εκπόνηση των τεχνικών μελετών των έργων, των οικονομικών τευχών και των τευχών δημοπράτησης, τη σύνταξη κτηματολογίου, εφόσον δεν υφίσταται και τη διενέργεια των απαλλοτριώσεων. Η εκπόνηση των μελετών γίνεται σε τρία στάδια της προκαταρκτικής μελέτης, της προμελέτης και της οριστικής μελέτης.

Τόσο στο στάδιο της προκαταρκτικής μελέτης όσο και στο στάδιο της προμελέτης προτείνονται από τους μελετητές και οι πρόσθετες μελέτες και έρευνες που πρέπει να γίνουν, εάν τα διαθέσιμα στοιχεία δεν επαρκούν, ώστε να ληφθούν τα απαραίτητα στοιχεία τα οποία σε συνδυασμό με τα υφιστάμενα θα επιτρέψουν την άρτια εκπόνηση των επόμενων μελετών. Συνήθως απαιτείται η λήψη τοπογραφικών στοιχείων, εδαφοτεχνικών, γεωλογικών.

Στη μελέτη δημοπράτησης οι προϋπολογισμοί των έργων και εργασιών που προβλέπονται στο στάδιο αυτό είναι αναλυτικοί και συντάσσονται με βάση τις αναλυτικές προμετρήσεις υλικών και εργασιών, την ανάλυση των τιμών και τα σχετικά τιμολόγια δημοσίων έργων.

4.2.5 Φάση κατασκευής

Η φάση της κατασκευής περιλαμβάνει το στάδιο της ανάθεσης των έργων, το στάδιο της εκτέλεσης του έργου και το στάδιο της δοκιμαστικής τους λειτουργίας και απόδοσης στον αρμόδιο φορέα για λειτουργία και χρήση. Μετά την ανάθεση του έργου και την υπογραφή της σύμβασης από τον ανάδοχο ακολουθεί η εγκατάσταση επί του έργου με την υπογραφή του σχετικού πρακτικού. Ο ανάδοχος μπορεί να οργανώσει το εργοτάξιο του ακόμα και να προσλάβει το απαιτούμενο προσωπικό, να προμηθευτεί και να εγκαταστήσει το μηχανολογικό εξοπλισμό καθώς να κατασκευάσει την αναγκαία εργοταξιακή υποδομή (όπως δίκτυα ΟΤΕ, ΔΕΗ, ύδρευσης, οδοί προσπελάσεως και κυκλοφορίας, στέγαστρα, γραφεία, καταλύματα προσωπικού, συνεργεία) να αρχίσει την προμήθεια α' υλών και διάφορων άλλων υλικών.

Αφού ολοκληρωθεί η οργάνωση του εργοταξίου μπορεί να αρχίσει η κατασκευή των έργων. Τα έργα πρέπει να εκτελούνται ακολουθώντας τον κρίσιμο δρόμο αλληλουχίας εργασιών, ώστε να επιτυγχάνονται οι κρίσιμοι χρόνοι, σύμφωνα με το χρονικό προγραμματισμό.

Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής των έργων δοκιμάζεται η λειτουργία των έργων. Κατά το στάδιο της κατασκευής έχουν εκτελεστεί οι προβλεπόμενες επιμέρους δοκιμές και απομένει η ουσιαστική δοκιμή. Όλες οι δοκιμές γίνονται σύμφωνα με τις μελέτες των έργων.

4.2.6 Φάση λειτουργίας

Η φάση λειτουργίας είναι η πλέον επιμήκης φάση διάρκειας από 25 χρόνια μέχρι και 100 χρόνια. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης γίνεται και παρακολούθηση της συμπεριφοράς των επιμέρους στοιχείων και της λειτουργίας του φράγματος, ώστε να λαμβάνονται εγκαίρως τα κατάλληλα μέτρα συντήρησης ή αντιμετώπισης εκτάκτων περιστατικών, όπως προσχώσεις ταμιευτήρα, διαβρώσεις, υποσκαφή και μετακινήσεις στοιχείων του φράγματος, σεισμικά και πλημμυρικά φαινόμενα και τέλος ενδεχόμενη κατάρρευση του φράγματος.

4.2.7 Φάση μετά το πέρας ωφέλιμου χρόνου ζωής

Η φάση αυτή αποτελεί την τελευταία φάση του έργου. Αρχίζει από τη στιγμή που θα αποφασιστεί η εγκατάλειψη, η μνημειακή διατήρηση ή η καταστροφή του έργου και ολοκληρώνεται με την αλλαγή χρήσης, επαναφορά ή αποκατάσταση του περιβάλλοντος.

4.3. ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

4.3.1 Η έννοια της επικινδυνότητας στα έργα φραγμάτων

Τα φράγματα όπως και άλλα τεχνικά έργα ενίοτε αστοχούν. Το ποσοστό είναι ιδιαίτερα μικρό, αλλά όχι μηδενικό. Αδυναμίες σχεδιασμού, περιορισμένοι κανονισμοί, ατέλειες κατασκευής ανεπαρκής ποιοτικός έλεγχος, κακή λειτουργία ελλιπής ή ανύπαρκτη συντήρηση, όλα αυτά και άλλα συμμετέχουν ενεργά ή παθητικά στην ανάπτυξη συνθηκών που οδηγούν σε αστοχίες ή σε ατυχή συμβάντα. Η Διεθνής Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων (International Commission on Large Dams-ICOLD) ορίζει την αστοχία φράγματος ως «Κατάρρευση ή μετακίνηση μέρους του φράγματος ή της θεμελίωσής του, τέτοια ώστε το φράγμα να μην μπορεί να συγκρατήσει νερό. Η αστοχία έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση μεγάλων ποσοτήτων νερού, η οποία θέτει σε κίνδυνο ανθρώπους και περιουσίες κατάντη του φράγματος» (N.I. Μουτάφης, 2008).

Σύμφωνα με τον Χ. Τσόγκα (1990), οι πιο συνηθισμένες αστοχίες και αιτίες καταστροφής χωμάτινων φραγμάτων είναι:

1. **Υπερχείλιση του φράγματος** που προέρχεται από την αδυναμία του υπερχειλιστή να παραλάβει μια μεγάλη πλημμυρική παροχή, από φράξιμο του υπερχειλιστή με επιπλέοντα φερτά ή από καθιζήσεις του σώματος του φράγματος που μειώνουν το ελεύθερο ύψος πάνω από τη στάθμη του ταμιευτήρα. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην προστασία του ανάντη πρανούς από τα κύματα της λίμνης. Η επιφάνεια που σπάει το κύμα πρέπει να προστατεύεται με λιθορριπή και υπόστρωμα κατάλληλης κοκκομετρικής διαβάθμισης, για να μην διαβρώνεται το λεπτόκοκκο υλικό του φράγματος από τα κύματα που περνούν ανάμεσα στις πέτρες. Η διαβάθμιση πρέπει να μην επιτρέπει την κίνηση των λεπτών υλικών μέσα από τους πόρους των χοντρόκοκκων (πέτρες μεγάλες – πέτρες μικρές, στρώμα με χοντρά χαλίκια, στρώμα με λεπτά χαλίκια, χοντρή άμμος). Από την υπερχείλιση καταστράφηκαν τα φράγματα Euclides (Βραζιλία), Cunha (Βραζιλία), A.S. de Oliveiva (Βραζιλία) και Buffalo (ΗΠΑ) με 118 ανθρώπινα θύματα.
2. **Εσωτερική διάβρωση** του λεπτόκοκκου υλικού του φράγματος ή του υπεδάφους θεμελίωσης από το διηθούμενο νερό. Το νερό που διηθείται μπορεί να βρει διέξοδο και να εμφανιστεί με μορφή πηγών κατάντη του φράγματος ή να ανυψώσει τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα.

Για την αντιμετώπιση της διήθησης κάτω από τα φράγματα λαμβάνονται μέτρα όπως η κατασκευή κουρτίνας, διαφραγματικού τοίχου ή αδιαπέρατου τάπητα

ανάντη. Η διήθηση μέσα από το σώμα του φράγματος αντιμετωπίζεται με την κατασκευή μιας αδιαπέρατης μεμβράνης στην ανάντη πλευρά ή με πυρήνα από αργιλικό υλικό ή την κατασκευή αδιαπέρατου κεντρικού τοίχου από σκυρόδεμα ή ασφαλοσκυρόδεμα. Αν το διηθούμενο νερό δημιουργεί προβλήματα ευστάθειας, η κλίση των πρανών πρέπει να γίνει μικρότερη και να προβλεφθούν φίλτρα και ζώνες αποστράγγισης.

Όταν παρατηρηθεί διήθηση μετά την κατασκευή, τότε, αν υπάρχει σήραγγα ελέγχου, μπορούν να γίνουν τσιμεντενέσεις από τη σήραγγα, αλλιώς πρέπει να γίνουν από τη στέψη του φράγματος.

Αιτίες που μπορεί να προκαλέσουν εσωτερική διάβρωση είναι:

- Ρωγμές από καθιζήσεις
- Ρωγμές από συρρίκνωση της μάζας

Όταν ένα φράγμα κατασκευάζεται σε συμυκνούμενα εδάφη είναι πιθανό, αν δεν εκτιμηθούν σωστά οι διάφορες παράμετροι του εδάφους, να παρουσιαστούν καθιζήσεις μεγαλύτερες από τις προβλεπόμενες, που δημιουργούν ρωγμές στην μάζα του φράγματος. Οι ρωγμές αυτές μεμονωμένες ή συνεχείς με την επίδραση του νερού διευρύνονται εύκολα και με ταχύτατο ρυθμό.

Όσο η ταχύτητα του νερού που κινείται μέσα στις ρωγμές αυξάνει, τόσο επιταχύνεται η καταστροφή του φράγματος. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος θα πρέπει, πριν από την κατασκευή, να αφαιρούνται τα συμυκνούμενα εδάφη και στο σώμα του φράγματος να δημιουργηθούν ζώνες με κατάλληλα διαβαθμισμένο υλικό (φίλτρα), που παρ' όλη την καθίζηση δεν επιτρέπουν τη διάνοιξη ρωγμών και διαύλων. Οι ζώνες των φίλτρων πρέπει να έχουν αρκετό πάχος για να μην υφίσταται ρηγματώσεις και δημιουργούν ασυνέχειες.

Ρηγματώσεις στην μάζα του φράγματος μπορεί να προκληθούν και από διαφορετική καθίζηση των διαφόρων τμημάτων. Οι ρωγμές που δημιουργούνται από τη διαφορετική καθίζηση έχουν διεύθυνση από ανάντη προς κατόντη και είναι ιδιαίτερα επικίνδυνες. Για την αντιμετώπιση αυτών των ρηγματώσεων πρέπει να εκσκαφή ο όγκος που δημιουργεί την ανομοιογένεια και αν αυτό είναι δυνατό τότε πρέπει να δημιουργηθεί μια ζώνη με υψηλή πλαστικότητα για να μπορεί να αποσβέσει τις διάφορες καθιζήσεις.

Το αργιλικό υλικό του φράγματος όταν χάνει ποσότητα της υγρασίας του συρρικνώνεται με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ρωγμές στη μάζα. Αυτό μπορεί να προκληθεί από την πτώση της στάθμης του ταμιευτήρα και τη διατήρησή της για αρκετό χρόνο χαμηλά. Σε περίπτωση που η στάθμη ανέβει το νερό περνάει μέσα από μέσα από τις ρωγμές που δημιουργήθηκαν και πριν προλάβουν να κλείσουν από το φούσκωμα της μάζας του αργίλου. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος πρέπει να ληφθούν μέτρα για την αποφυγή ξήρανσης αργίλου.

Η διάβρωση μπορεί να προκληθεί γύρω από τους αγωγούς που κατασκευάζονται κατά μήκος του άξονα του ρεύματος, γιατί η συμπύκνωση δίπλα στο σκυρόδεμα δεν είναι ίδια με το βαθμό συμπύκνωσης του υπόλοιπου τμήματος.

Για την αποφυγή αυτού του προβλήματος πρέπει να αποφεύγεται η ενσωμάτωση αγωγών στη μάζα του φράγματος και όταν σε εξαιρετικές περιπτώσεις αυτό είναι αδύνατο, οι αγωγοί πρέπει να έχουν ανά αποσπάσεις κολάρα (αυτιά) που εμποδίζουν τη διήθηση.

3. **Μείωση της ευστάθειας** των πρανών εξαιτίας αυξημένης πίεσης των πόρων, ιδιαίτερα σε περίπτωση απότομης πτώσης της στάθμης του ταμιευτήρα. Ένα ευσταθές πρανές μπορεί στην περίπτωση αυτή να ολισθήσει, γιατί, ενώ εξωτερικά δεν υπάρχει το υδραυλικό φορτίο, στο εσωτερικό η μάζα του φράγματος παραμένει κορεσμένη και το νερό τείνει να βγει προς τα έξω.

Ο Δ. Κωτούλας (1987) εμβαθύνει για τους κινδύνους των φραγμάτων και την αποτροπή αυτών. Συγκεκριμένα μερικοί από τους σπουδαιότερους κινδύνους, που απειλούν τα φράγματα, είναι: η υποσκαφή των θεμελίων και των πρανών τους καθώς η καθίζηση του φράγματος και οι σεισμοί.

- **Υποσκαφή του Φράγματος**

Το νερό, που υπερπηδάει το φράγμα ως υδάτινος κορμός, προσκρούει στην κοίτη, την εκσκάπτει και δημιουργεί ένα βύθισμα, που ονομάζεται υποσκαφή. Από την υποσκαφή απειλούνται εκτός από τα φράγματα και οι λοιπές υδραυλικοτεχνικές κατασκευές, οι οποίες υπερπηδούνται από τα ρέοντα νερά. Έτσι δημιουργείται σοβαρός κίνδυνος καταστροφής των κατασκευών λόγω ανατροπής ή καθίζησής του.

Η υποσκαφή είναι μια κοιλότητα, που διανοίγεται κοντά στον τέλος (πόδι) του φράγματος από την πτώση του υδάτινου κορμού. Σε κάθε φυσική ή τεχνητή υδατόπτωση, το νερό που καταπίπτει, περιέχει μια κινητή ενέργεια σε σχέση με τις κανονικές συνθήκες ροής του. Από τη στιγμή που η περίσσεια κινητή ενέργεια δεν εξουδετερώνεται κατά την

υδατόπτωση, προσβάλλεται ο κινητός πυθμένας στα κατάντη του φράγματος από τα νερά που πέφτουν και δημιουργείται έτσι εκεί μια τοπική διαβάθυνση, η υποσκαφή. Με τη δημιουργία της υποσκαφής αποκαθίσταται στη φύση η αναγκαία υδραυλική ισορροπία.

Τα μέρη από τα οποία αποτελείται μια υποσκαφή είναι τα ακόλουθα:

- Η λεκάνη
- Ο πυθμένας
- Το άναντες πρανές
- Το κάταντες πρανές και
- Ο λόφος

Για τον καλύτερο τρόπο αποτροπής των κινδύνων, που δημιουργούνται στο φράγμα από την αναμενόμενη μέγιστη υποσκαφή, είναι η θεμελίωση της κατασκευής βαθύτερα από το βάθος της υποσκαφής αυτής. Είναι πιθανό βέβαια να επιτευχθεί μείωση της αναμενόμενης μέγιστης υποσκαφής των φραγμάτων ή ακόμα και να αποφευχθεί κίνδυνος κατάρρευσης υποσκαφέντων φραγμάτων με τη βοήθεια τεχνητής λιθορροπής.

- **Καθίζηση του Φράγματος**

Όταν η μέγιστη πίεση (θλίψη), που ασκεί το φράγμα στη βάση του, υπερβαίνει την αντοχή του υποθέματος σε πίεση, τότε υπάρχει άμεσος κίνδυνος καθίζησης του φράγματος. Διάγνωση του κινδύνου αυτού γίνεται κατά τον έλεγχο της ευστάθειας. Για την αποτροπή της καθίζησης διευρύνεται η βάση του φράγματος με χρήση πλάκας ή θεμελιώνεται σε πασσάλους ή γίνεται συνδυασμός και των δυο μεθόδων. Σε περίπτωση που και οι δυο λύσεις είναι χωρίς αποτέλεσμα ή θεωρούνται αντιοικονομικές, τότε το φράγμα θα πρέπει να μετατοπίζεται σε άλλη προσφορότερη θέση.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ο κίνδυνος καθίζησης δεν απειλεί μόνο τα φράγματα αλλά και όλες τις υδραυλικοτεχνικές κατασκευές (όπως παράλληλοι τοίχοι, πρόβολοι, αναχώματα).

Η αποτροπή της καθίζησης επιτυγχάνεται με πλάκα διεύρυνσης, με θεμελίωση σε πασσάλους ή με συνδυασμό των προηγούμενων.

Για να μειωθεί η υπερβολική πίεση που ασκείται από τα φράγματα στο έδαφος, διευρύνεται η επιφάνεια της βάσης του με την κατασκευή κατάλληλης πλάκας. Η κατασκευή της πλάκας πρέπει να έχει συγκεκριμένο πάχος προκειμένου να αντιμετωπιστούν μελλοντικά προβλήματα.

Μείωση της ασκούμενης πίεσης στο έδαφος από τα φράγματα μπορεί να επιτευχθεί και με έμπηξη πασσάλων από ξύλο, σκυρόδεμα, σιδηροπαγές σκυρόδεμα ή μέταλλο, των οποίων οι κεφαλές που προεξέχουν, εισέρχονται στον κορμό του φράγματος ή σε πλάκα, που παρεμβάλλεται μεταξύ θεμελίωσης και πασσάλων η οποία στερεώνει τις κεφαλές.

Σε δυσχερείς περιπτώσεις ιδίως υψηλών φραγμάτων και για καλύτερη εξασφάλιση της κατασκευής χρησιμοποιούνται τόσο πάσσαλοι, όσο και πλάκα, με την οποία προσδέονται οι κεφαλές τους.

Ο Χ. Μαραγκός (1997), παρουσιάζει τα αίτια τα οποία μπορούν να οδηγήσουν στην αστοχία του φράγματος, τα οποία είναι:

- **Υπερχείλιση του νερού πάνω από τη στέψη του φράγματος.**

Η διαστασιολόγηση του υπερχειλιστή επιβάλλεται να γίνεται με υψηλά περιθώρια ασφάλειας. Κατά τη διάρκεια του ελέγχου πρέπει να συνυπολογίζεται το ενδεχόμενο κατολίσθησης εδαφικών μαζών στη λεκάνη. Η τοποθέτηση του εκχειλιστή γίνεται έξω από το φράγμα για το λόγο ότι οι παραμορφώσεις των επιχωμάτων παρουσιάζουν απαγορευτικά μεγάλες τιμές για άκαμπτες κατασκευές.

- **Έλεγχος θεμελίωσης**

Κατά τη διάρκεια του ελέγχου θεμελίωσης εφαρμόζονται οι μέθοδοι της εδαφομηχανικής. Στο βάρος του φράγματος περιλαμβάνεται η *υδροστατική ώθηση*. Η υδροστατική ώθηση ενεργεί εξολοκλήρου πάνω στον πυρήνα του φράγματος.

- **Έλεγχος σε ολίσθηση**

Για λόγους ασφαλείας θεωρείται ότι το κατακόρυφο φορτίο είναι ίσο με το άθροισμα του ίδιου βάρους του κατάντη σώματος στήριξης και του ίδιου βάρους του πυρήνα. Το ανάντη σώμα δε συνεισφέρει στην ευστάθεια έναντι ολίσθησης, αλλά προστατεύει απλά τον πυρήνα. Οι συνθήκες ευστάθειας γίνονται καλύτερες όταν ο πυρήνας του φράγματος είναι κεκλιμένος. Η κατακόρυφη συνιστώσα της ώθησης αυξάνει τις αντιστάσεις τριβής στο επίπεδο θεμελίωσης ενώ σε ολίσθηση ενεργεί μόνον η οριζόντια συνιστώσα.

- **Ευστάθεια πρानών**

Στην ευστάθεια πρानών γίνεται διαφορετικός έλεγχος των δυο πρानών.

Κατάντη πρानές: Στην περίπτωση του κατάντη πρανές εφαρμόζονται οι γνωστές μέθοδοι της Εδαφομηχανικής. Η χειρότερη περίπτωση είναι όταν ο ταμιευτήρας είναι γεμάτος. Σε διάφορες αναλύσεις λαμβάνεται υπόψη η δύναμη διήθησης και η σεισμική επιβάρυνση. Εξαιτίας της μειωμένης αντοχής του αργιλικού πυρήνα, ο κρίσιμος κύκλος

περνάει μέσα από αυτόν. Κατά τη διάρκεια του ελέγχου εξετάζονται και τεθλασμένες γραμμές ολίσθησης οι οποίες ενδέχεται να αναπτυχθούν και κάτω από το σώμα του φράγματος.

Ανάντη πρανές: η δυσμενέστερη κατάσταση δημιουργείται όταν γίνεται εκκένωση του φράγματος. Σε αυτό το στάδιο η ταχύτητα ταπείνωσης της στάθμης είναι πολύ μεγαλύτερη από την ταχύτητα των εσωτερικών ροών. Με αυτόν τον τρόπο αναπτύσσονται εσωτερικές ροές με κατεύθυνση προς την πλευρά της λίμνης οι οποίες τείνουν να προκαλέσουν την κατολίσθηση του ανάντη πρανούς. Οι συνθήκες βελτιώνονται με την τοποθέτηση στο ανάντη πρανές οριζόντιων φίλτρων. Τα φίλτρα αυτά κατευθύνουν τις ροές και συνεπώς και τις δυνάμεις διήθησης προς την κατακόρυφη διεύθυνση βελτιώνοντας με τον τρόπο αυτόν τη δράση των αντίθετων εσωτερικών ροών.

Οι Θεοδωρακόπουλος, Μπούσιας, Γιαννόπουλος (2003), καταδεικνύουν την αναγκαιότητα εκπόνησης μελέτης επικινδυνότητας ενός φράγματος. Η αστοχία ενός φράγματος, εκτός από την οικονομική απώλεια μπορεί να προκαλέσει και άλλες δυσμενείς επιπτώσεις στην περιοχή, όπως καταστροφή των έργων υποδομής της κατάντη περιοχής (οδοί, γέφυρες, δίκτυα), πλημμύρισμα και καταστροφή πόλεων, οικισμών και αγροτικών καλλιεργειών, ακόμη και απώλειες πληθυσμών ανθρώπων και ζώων.

Για αντιμετωπιστούν οι παραπάνω συνέπειες είναι αναγκαία η εκπόνηση μελέτης επικινδυνότητας του φράγματος. Η συγκεκριμένη μελέτη επισημαίνει τα πιθανά σημεία αστοχίας, ιεραρχεί τους κινδύνους, εκτιμά τις απώλειες ζωής αλλά και τους κινδύνους από την τεχνικοοικονομική και περιβαλλοντική άποψη και προτείνει μέτρα για την αντιμετώπιση των κινδύνων αυτών, όπως εφαρμογή εναλλακτικών λύσεων λιγότερο επικίνδυνων, εγκατάσταση εξοπλισμού και συνεχή παρακολούθηση των σημείων υψηλού κινδύνου με περισσότερα επίπεδα ελέγχου, *πρόγραμμα δράσεως ή σχέδιο εκτάκτων αναγκών*, εκπαίδευση αναγκαίου προσωπικού, οργανόγραμμα εμπλεκομένων δημοσίων και ιδιωτικών φορέων που θα πρέπει να είναι ενήμεροι για να δραστηριοποιηθούν όταν απαιτηθεί, αναγκαία μέσα μεταφοράς και χωματουργικά μηχανήματα, καθώς και απογραφή αυτών που θα πρέπει να επιταχθούν κατά την εφαρμογή του σχεδίου έκτακτης ανάγκης.

Το σχέδιο έκτακτης ανάγκης πιθανόν να επιβάλλει και την εκκένωση των περιοχών κινδύνου κατάντη του φράγματος. Οι περιοχές αυτές από πλευράς επικινδυνότητας βασίζονται στα αποτελέσματα υδραυλικής μελέτης εκτίμησης ζωνών πλημμυρικής επικινδυνότητας, η οποία υποθέτει απότομη καταστροφή του φράγματος και υπολογίζει

ταχύτατες στάθμες ύδατος σε όλη την περιοχή που θα καλυφθεί. Η εκπόνηση αυτής της μελέτης θα πρέπει να έχει προηγηθεί της μελέτης επικινδυνότητας, διαφορετικά εάν δεν έχει γίνει, θα πρέπει να εκπονηθεί, ώστε τα αποτελέσματά της να είναι διαθέσιμα στην τελευταία.

Επιπλέον, η μελέτη επικινδυνότητας του φράγματος θα πρέπει να εξετάζει και τις περιπτώσεις που προκαλούνται από τα φαινόμενα που συμβαίνουν κυρίως κατά τη φάση της πλήρωσης του ταμιευτήρα, όπως από κατολισθήσεις περιοχών ανάντη του φράγματος λόγω αλλαγής στάθμης υδροφόρου ορίζοντα και από τοπικούς μικροσεισμούς λόγω της διαφοροποίησης των φορτίσεων του υπεδάφους από το φράγμα και τον ταμιευτήρα.

Μία επιπλέον διάσταση της επικινδυνότητας των φραγμάτων καταγράφει ο Kutzner (1997) αναδεικνύοντας τα ελαττώματα στο επίχωμα του φράγματος που προκαλούν δυσμενείς παραμορφώσεις. Οι κύριες κατηγορίες των ελαττωμάτων αυτών είναι:

- υδραυλικά κατάγματα
- ρωγμές σε ομοιογενή φράγματα
- ρωγμές στον πυρήνα του φράγματος
- ελαττώματα που οφείλονται στη γήρανση

Ο Londe (1983) πρότεινε ένα σχέδιο δέκα σημείων για την ασφάλεια των φραγμάτων. Οι προτάσεις του για την ασφάλεια των φραγμάτων αναφέρεται στα ακόλουθα προβλήματα (τρία επιπλέον προβλήματα αναφέρονται στη λειτουργία του ταμιευτήρα).

- έρευνες του χώρου για την παρακολούθηση των αργιλικών εδαφών
- χαλαρά, τυρφώδη και αμμώδη εδάφη και οι δυνατότητες υγροποίησης τους πρέπει να ληφθούν υπόψη
- άφθονα και καλά βαθμολογούμενα φίλτρα και αποχετεύσεις είναι ζωτικής σημασίας για την πρόληψη των σωληνώσεων μέσω του φράγματος και της θεμελίωσης
- τα αργιλώδη εδάφη θα πρέπει να ελέγχονται για πιθανή διασπορά τους
- η κατασκευή οργάνων μέτρησης είναι ένα ζωτικό μέρος του σχεδιασμού του φράγματος
- η επιθεώρηση των στοών είναι ανεκτίμητης αξίας για άμεση παρατήρηση
- η ενδεδειγμένη παρακολούθηση των φραγμάτων είναι απαραίτητη κατά προτίμηση σε 24ωρη βάση σε συνδυασμό με την αυτόματη καταγραφή των οργάνων μέτρησης.

Τα σημαντικότερα κριτήρια επικινδυνότητας ενός χωμάτινου φράγματος σύμφωνα με τους Goldin & Rasskasov (1992) είναι η διήθηση, η σεισμικότητα και η ευστάθεια των πρανών. Ειδικότερα για την αποφυγή της διήθησης προτείνουν χαμηλό πάχος των διαπερατών ιζημάτων και των στρωμάτων (10 – 20 μέτρα), σημαντικό πάχος του διαπερατού εδάφους, διαπερατή θεμελίωση με ανισότροπες ιδιότητες διήθησης και θεμελίωση υψηλής συμπίεσης αργίλου.

Στους ακόλουθους πίνακες παρουσιάζονται στατιστικά στοιχεία για την αποτυχία (όπου αποτυχία θεωρείται η κατάρρευση ή μετακίνηση τμήματος του φράγματος ή των θεμελιώσεων του, έτσι ώστε το φράγμα δεν μπορεί να συγκρατήσει το νερό) και τα ατυχήματα σε έργα φραγμάτων (Fell et al, 2005).

Πίνακας 4.1. Στατιστικά στοιχεία της αποτυχίας αναχώματος φραγμάτων μέχρι το 1986

<i>Είδος αποτυχίας</i>	<i>Πλήρης αποτυχία *</i>	<i>Αποτυχία πριν το 1950 **</i>	<i>Αποτυχία μετά το 1950 ***</i>
Υπερχείλιση	34,2	36,2	32,2
Υπερχείλιση στο σημείο που είναι η πύλη	12,8	17,2	8,5
Σωληνώσεις εντός του αναχώματος	32,5	29,3	35,5
Σωληνώσεις από το ανάχωμα προς τη θεμελίωση	1,7	0	3,4
Σωληνώσεις εντός θεμελίωσης	15,4	15,5	15,3
Κατάντη Ολίσθηση	3,4	6,9	0
Ανάντη Ολίσθηση	0,9	0	1,7
Σεισμός	1,7	0	3,4
ΣΥΝΟΛΑ	102,60	105,10	100,00

Πηγή: Foster et al. (2000) - *Ιδία Επεξεργασία*

* Ποσοστά βασισμένα στα % των περιπτώσεων όπου η λειτουργία της αποτυχίας είναι γνωστή

**Τα ποσοστά αφορούν αποτυχίες επιχώματος φραγμάτων που βρίσκονται σε λειτουργία μόνο, δηλαδή χωρίς αποτυχίες κατά τη διάρκεια της κατασκευής.

*** Τα ποσοστά δεν έχουν άθροισμα στο 100% γιατί κάποια φράγματα αξιολογήθηκαν σε πολλαπλές αιτίες αποτυχίας.

Πίνακας 4.2. Στατιστικά στοιχεία των αποτυχιών και των ατυχημάτων λόγω εσωτερικής διάβρωσης και σωληνώσεως του αναχώματος των φραγμάτων μέχρι το 1986.

Μέση πιθανότητα κατά τη διάρκεια της ζωής του φράγματος				
Κατηγορίες	σωληνώσεις στο ανάχωμα		σωληνώσεις στη θεμελίωση	
	Αποτυχία	Ατυχήματα	Αποτυχία	Ατυχήματα
Ομοιογενές χωμάτινο	16,0	9,2	3,0	11,2
Επίχωση με οριζόντιο φίλτρο	1,5	0,6	-	3,9
Χωμάτινο φράγμα με πέτρινο υπόστρωμα	8,9	8,0	7,0	3,9
Χωμάτινο	1,2	2,4	0,4	4,6
Συνδυασμός χωμάτινο με λιθόρριπτο φράγμα	1,2	7,3	-	7,6
Φράγμα όπου κεντρικός πυρήνας είναι συνδυασμός χωμάτινου και λιθόρριπτου	<1,1	22,0	-	9,8
Χωμάτινο με πρόσοψη από σκυρόδεμα	5,3	2,4	10,4	5,8
Λιθόρριπτο με πρόσοψη από σκυρόδεμα	<1	3,5	-	-
Χωμάτινο με υδάτινο πυρήνα	9,3	20,7	-	-
Χωμάτινο με πυρήνα από σκυρόδεμα	<1	8,1	11,8	4,9
Λιθόρριπτο με πυρήνα από σκυρόδεμα	<1	32,4	-	-

Πηγή: Foster et al. (1998)- *Ιδία Επεξεργασία*

Πίνακας 4.3. Χρονική στιγμή της εσωτερικής διάβρωσης και των σωληνώσεων σε σχέση με την ηλικία του φράγματος.

Χρονική στιγμή αποτυχίας	Πρόβλημα στις σωληνώσεις (%)	Πρόβλημα σωληνώσεων στη θεμελίωση (%)
Κατά τη διάρκεια του πρώτου γεμίσματος	49	25
Κατά τη διάρκεια των 5 χρόνων λειτουργίας	16	50
Μετά τα 5 χρόνια λειτουργίας	35	25

Πηγή: Foster et al. (2000)- *Ιδία Επεξεργασία*

Σύμφωνα με το βιβλίο Fell et al (2005) προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- 1) Περίπου 1 στα 300 αναχώματα φραγμάτων έχουν αποτύχει λόγω των σωληνώσεων εντός του αναχώματος. Τα φράγματα εκείνα που έχουν την μεγαλύτερη πιθανότητα να αποτύχουν είναι τα ομοιογενή χωμάτινα, τα χωμάτινα με πέτρινο υπόστρωμα και όλα τα φράγματα χωρίς ή με μικρή παρουσία φίλτρων ή με ζώνες ελέγχου των διαρροών
- 2) Περίπου 1 στα 40 αναχώματα φραγμάτων έχουν υποστεί ένα ατύχημα λόγω των σωληνώσεων εντός του αναχώματος. Τα φράγματα εκείνα που έχουν την μεγαλύτερη πιθανότητα να υποστούν ατύχημα είναι τα φράγματα όπου ο κεντρικός πυρήνας είναι συνδυασμός χωμάτινου και λιθόρριπτου, τα χωμάτινα με υδάτινο πυρήνα και τα λιθόρριπτα με πυρήνα από σκυρόδεμα.
- 3) Τα ομοιογενή φράγματα έχουν την μεγαλύτερη πιθανότητα να αποτύχουν παρά να υποστούν ατύχημα, καθώς σχετίζεται σχεδόν απόλυτα με την απουσία των φίλτρων ή κάποιας ζώνης ελέγχου της εσωτερικής διάβρωσης και των σωληνώσεων κατά τη διάρκεια έναρξης.
- 4) Αντίθετα ενώ υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός ατυχημάτων σε φράγματα όπου ο κεντρικός πυρήνας είναι συνδυασμός χωμάτινου και λιθόρριπτου, μόνο ένα απέτυχε. Αυτό αντανακλά το γεγονός ότι τα περισσότερα φράγματα τέτοιου τύπου έχουν φίλτρα ή ζώνες μετάβασης και υψηλής χωρητικότητας με την απαλλαγή του κατάντη λιθόρριπτου, ενώ η εσωτερική διάβρωση και οι σωληνώσεις μπορούν να προκαλέσουν διαρροές (η αποτυχία δεν είναι πιθανή).
- 5) Περίπου 1 στα 600 αναχώματα φραγμάτων έχουν αποτύχει και 1 στα 300 έχουν υποστεί ένα ατύχημα λόγω των σωληνώσεων εντός της θεμελίωσης. Τα χωμάτινα με πρόσοψη από σκυρόδεμα και τα λιθόρριπτα με πυρήνα από σκυρόδεμα υπερ-αντιπροσωπεύονται στις αποτυχίες.
- 6) Οι περισσότερες αποτυχίες λόγω εσωτερικής διάβρωσης και σωληνώσεων συμβαίνουν στο πρώτο γέμισμα του ταμιευτήρα ή στα πρώτα 5 χρόνια λειτουργίας. Αυτό μπορεί να οφείλεται στις αδυναμίες στη θεμελίωση, οι οποίες παρουσιάζονται στο νωρίτερο γέμισμα, όμως οι έρευνες δείχνουν ότι τα εδάφη είναι πιο επιρρεπή σε διάβρωση όταν διαβρέχονται σταδιακά παρά σε απευθείας γεμίσματος νερού και αυτό μπορεί να εξηγήσει την πιο βελτιωμένη απόδοση μετά τα 5 χρόνια λειτουργίας.

4.4. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

4.4.1 Κατασκευή Χωμάτων Φραγμάτων

Τα φράγματα τα οποία ως κύριο υλικό κατασκευής έχουν το χώμα καλούνται *χωμάτινα φράγματα ή γαιοφράγματα*. Το υλικό κατασκευής τους μπορεί να είναι ομοιογενές σε όλη τη διατομή ή συνηθέστερα να διαφέρει κατά ζώνες, όπως αδιαπέρατη ζώνη (πυρήνας ή ανάντη επιφανειακή μεμβράνη), ερείσματα (διαπερατές ζώνες) για την εξασφάλιση ευστάθειας του πυρήνα, ζώνες αποστράγγισης (φίλτρα, στραγγιστικοί τάπητες), οι οποίες παρεμβάλλονται συνήθως μεταξύ διαπερατής και αδιαπέρατης ζώνης. Για την αδιαπέρατη ζώνη χρησιμοποιούνται υλικά εν γένει χαμηλής διαπερατότητας όπως άργιλος, μπετονίτης, σκυροκονιάματα, ασφαλτικά. Για τις διαπερατές ζώνες κατάλληλα κοινά υλικά της περιοχής είναι χώμα, αμμοχάλικο, κροκάλες, κ.α. με βάση τις τεχνοοικονομικές και περιβαλλοντικές σκοπιμότητες. Διακρίνονται σε υλικά με απαίτηση μηχανικής συμπίεσης και σε λιθόρριπτα υλικά, τα οποία διαστρώνονται με απόρριψη από ύψος 5 – 6 cm χωρίς συμπίεση.

Η μελέτη και η κατασκευή των χωμάτινων φραγμάτων πρέπει να βασίζονται σε λεπτομερή έρευνα των συνθηκών θεμελιώσεως και των υλικών κατασκευής, στη διαστασιολόγηση με βάση την τεχνική και επιδεξιότητα έμπειρου μηχανικού, καθώς και στην προσεκτική επιλογή και ελεγχόμενη εφαρμογή των μεθόδων κατασκευής. Επομένως ο τύπος της διατομής του φράγματος θα καθοριστεί με βάση τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των υλικών που είναι διαθέσιμα στη γύρω περιοχή και μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά τον οικονομικότερο και ορθότερο περιβαλλοντικό τρόπο.

Στην κατηγορία των χωμάτινων φραγμάτων περιλαμβάνονται τα αμιγή χωμάτινα φράγματα και τα χωματολίθινα φράγματα.

4.4.1.1 Αμιγή Χωμάτινα Φράγματα

Το υλικό που χρησιμοποιείται για τα χωμάτινα φράγματα είναι κυρίως άργιλος.

Η διατομή των φραγμάτων αυτών που κατασκευάζεται είναι τραπεζοειδής. Η κλίση του ανάντη μετώπου διαμορφώνεται συνήθως 1:1, ενώ του κατάντη μετώπου κυμαίνεται μεταξύ 2:3 έως 1:4, συνήθως όμως είναι 1:3.

Η στέψη του φράγματος έχει μορφή τραπεζίου ή τόξου κύκλου. Το κατάντη μέτωπο φέρει σκαφόμορφο ρείθρο στο οποίο πέφτουν τα νερά του ρεύματος. Οι διαρροές και το κατάντες μέτωπο των φραγμάτων επενδύονται.

Το έδαφος μετά την απαλλαγή του από ρίζες, γλόη, τύρφη, ξύλα κλπ. διατίθενται κατά στρώματα πάχους 30-40 cm σ' ολόκληρη την οριζόντια επιφάνεια (κάτοψη) του φράγματος. Κάθε στρώμα πατιέται με κόπανο σημαντικού βάρους για να συνδέεται ή να συνεπάγεται στενά με το προηγούμενο στρώμα ώστε να δημιουργείται τελικά ένα ενιαίο στρώμα. Εάν το έδαφος είναι πολύ ξηρό, υγραίνεται. Η συμπίεση του εδάφους μπορεί να γίνει ευχερέστερα με σιδηρούς κυλίνδρους ή με προωθητήρες, οι οποίοι μπορούν ταυτόχρονα να προωθούν και τα στρώματα του χώματος προς τη θέση ίδρυσης του φράγματος.

Τόσο στις πλευρές των πτερυγίων όσο και στο κατάντες μέτωπο φυτεύονται διάφορα θαμνώδη είδη ή γίνεται αναχλόαση.

Όταν η παροχή του ρεύματος είναι σημαντική, το ρείθρο κατασκευάζεται από συρματοπλέγμα κιβώτια πάχους 0,30 – 0,40 m, ή σπανιότερα από σιδηροπαγές σκυρόδεμα πάχους 15 – 20 cm. Η κατασκευή αυτή αποτελεί μετάβαση προς τα μικτά χωματολίθινα φράγματα (Κωτούλας, 1987).

4.4.1.2 Τα χωματολίθινα Φράγματα

Το κεντρικό μέρος των χωματολίθινων φραγμάτων κατασκευάζεται με λιθοδομή ή με σκυρόδεμα, όπως κατασκευάζονται τα αντίστοιχα αμιγή, ευθύγραμμα λίθινα ή από σκυρόδεμα φράγματα.

Τα πτερύγια κατασκευάζονται χωμάτινα όπως και τα πτερύγια των αμιγών χωμάτινων φραγμάτων. Στο κατάντες μέτωπο φυτεύονται συνήθως διάφορα είδη θάμνων όπως σπάρτο για την αποτροπή τυχόν διαβρώσεων.

4.4.1.3 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα χωμάτινων φραγμάτων

Τα χωμάτινα φράγματα έχουν το μειονέκτημα ότι δεν ανήκουν στα υπερπηδητά φράγματα, καθόσον η διέλευσή ύδατος πάνω από το σώμα του φράγματος σε περίοδο πλημμύρας θα συμπαρασύρει το χώμα και θα σημάνει την καταστροφή του φράγματος (Θεοδωρακόπουλος, Μπούσιας, Γιαννόπουλος, 2003).

Πλεονεκτούν όμως έναντι των φραγμάτων από σκυρόδεμα (βαρύτητας, τοξωτά κ.α.) τα οποία απαιτούν βραχώδη εδάφη για τη θεμελίωσή τους, διότι τα χωμάτινα μπορούν να κατασκευαστούν πάνω σε οποιαδήποτε καλά εδάφη θεμελιώσεως, έχουν μεγαλύτερη ανεκτικότητα σε διαφορετικές καθιζήσεις ή σεισμικές επιβαρύνσεις και πολεμικές επιδρομές (όπως βομβαρδισμούς).

Ένα ακόμα σημαντικό πλεονέκτημα των χωμάτινων φραγμάτων που γενικά έχουν από στατική άποψη είναι ότι είναι δυνατό να ακολουθήσουν μια σημαντική παραμόρφωση του πυθμένα θεμελίωσης χωρίς ρηγμάτωση στο σώμα του φράγματος (Μουτάφης, 2008).

5. ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΕΡΓΑ ΚΑΙ ΕΡΓΑ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ.

Η υπάρχουσα κατάσταση σχετικά με την αρθρογραφία που αφορά την εκτίμηση της επικινδυνότητας έργων φραγμάτων και κατασκευαστικών έργων ευρύτερης κλίμακας, μπορεί να διακριθεί σε δυο κατηγορίες: στις μελέτες που διερευνώνται με τη μέθοδο ΑΗΡ και στις μελέτες που χρησιμοποιούν την μέθοδο της ασαφούς λογικής (fuzzy logic).

5.1 ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΑΗΡ

5.1.1. Εισαγωγή στη μέθοδο ΑΗΡ

Σύμφωνα με τον Σαμαρά (2004), η Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδος ΑΗΡ (Analytic Hierarchy Process) είναι μια πολυκριτήρια μέθοδος που απαντά τόσο στην προβληματική της επιλογής, όσο και στην προβληματική κατάταξης των εναλλακτικών απόφασης.

Η μοντελοποίηση του προβλήματος απόφασης, μέσω της ΑΗΡ, από τον καθορισμό του προς επίτευξη στόχου (επίπεδο μηδέν). Στη συνέχεια, το πρόβλημα δομείται από πάνω προς τα κάτω (top-down), με μια μορφή πολλαπλών επιπέδων (κριτηρίων, υποκριτηρίων και εναλλακτικών). Ο αριθμός των επιπέδων εξαρτάται από τη φύση και την πολυπλοκότητα του προβλήματος.

Η επίλυση ενός πολυκριτηρίου προβλήματος μέσω της μεθόδου ΑΗΡ, πραγματοποιείται σε τέσσερα βήματα:

Βήμα 1^ο: Ιεραρχική δόμηση του προβλήματος

Βήμα 2^ο: Εισαγωγή των δεδομένων

Βήμα 3^ο: Εκτίμηση των σχετικών βαρών των κριτηρίων απόφασης

Βήμα 4^ο: Συνδυασμός των σχετικών βαρών των κριτηρίων ώστε να γίνει η αξιολόγηση των εναλλακτικών ενεργειών.

Στο πρώτο βήμα ο αποφασίζων πρέπει να δομήσει ιεραρχικά το πρόβλημα. Στην κορυφή της ιεραρχίας τοποθετείται ο γενικός στόχος του προβλήματος. Στο δεύτερο επίπεδο τοποθετούνται τα κριτήρια απόφασης, καθένα από τα οποία αναλύεται στα επιμέρους υποκριτήρια που το επηρεάζουν στα κατώτερα επίπεδα της ιεραρχίας. Στο τελευταίο επίπεδο τοποθετούνται οι διάφορες εναλλακτικές λύσεις του εξεταζόμενου προβλήματος απόφασης.

Στο δεύτερο βήμα ο αποφασίζων πρέπει να εισαγάγει τα δεδομένα του προβλήματος, εκφράζοντας τις προτιμήσεις του μέσω διμερών συγκρίσεων όλων των στοιχείων ενός επιπέδου της ιεραρχίας που καθορίστηκε στο πρώτο βήμα. Συγκεκριμένα ο αποφασίζων συγκρίνει ανά δυο όλα τα στοιχεία ενός επιπέδου μεταξύ τους υπό το πρίσμα κάθε φορά ενός στοιχείου του προηγούμενου επιπέδου της ιεραρχίας. Η διαδικασία αυτή τερματίζεται με τις συγκρίσεις όλων των εναλλακτικών λύσεων του τελευταίου επιπέδου της ιεραρχίας, σε σχέση με τα στοιχεία του αμέσως προηγούμενου επιπέδου.

Για την έκφραση των προτιμήσεων του αποφασίζοντα κατά τη διεξαγωγή των συγκρίσεων χρησιμοποιείται μια αριθμητική κλίμακα από το 1 έως το 9 όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.1.

Πίνακας 5.1. Η κλίμακα προτίμησης της AHP

<i>Αριθμητική Τιμή</i>	<i>Επεξήγηση</i>
1	Τα συγκρινόμενα στοιχεία είναι ίσης σημασίας
3	Το ένα στοιχείο είναι ελαφρά πιο σημαντικό από το άλλο
5	Το ένα στοιχείο είναι πολύ πιο σημαντικό από το άλλο
7	Το ένα στοιχείο είναι πάρα πολύ πιο σημαντικό από το άλλο
9	Το ένα στοιχείο είναι απολύτως πιο σημαντικό από το άλλο
2,4,6,8,	Ενδιάμεσες τιμές

Πηγή: Σαμαράς (2004)

Στο τρίτο βήμα, γνωρίζοντας τις προτιμήσεις του αποφασίζοντα, όπως αυτές εκφράστηκαν μέσω των συγκρίσεων που έγιναν στο προηγούμενο βήμα, η μέθοδος υπολογίζει τα σχετικά βάρη των στοιχείων ενός επιπέδου σε σχέση με τα στοιχεία του αμέσως προηγούμενου επιπέδου, βάση των οποίων έγιναν οι συγκρίσεις. Εφ' όσον ο αποφασίζων γνωρίζει τα ακριβή βάρη w_i των n στοιχείων ενός επιπέδου, τότε ο Πίνακας 5.2. των διμερών συγκρίσεων έχει την μορφή που φαίνεται παρακάτω.

Στην περίπτωση αυτή τα βάρη των στοιχείων ενός επιπέδου σε σχέση με τα στοιχεία του αμέσως προηγούμενου επιπέδου, μπορούν να υπολογισθούν από τη σχέση:

$$A * W = n * W$$

όπου $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^t$ είναι το διάνυσμα των πραγματικών σχετικών βαρών, και n είναι ο αριθμός των στοιχείων του επιπέδου.

Πίνακας 5.2. Πίνακας διμερών συγκρίσεων

	1	2	3n
1	w1/w1	w1/w2	w1/w3	w1/wn
2	w2/w1	w2/w2	w2/w3	w2/wn
3	w3/w1	w3/w2	w3/w3	w3/wn
A =
N	wn/w1	wn/w2	wn/w3.....	wn/wn

Η μέθοδος AHP, όμως, υποθέτει ότι ο αποφασίζων δεν γνωρίζει τα πραγματικά βάρη των στοιχείων, και επομένως ο Πίνακας 5.2. περιέχει ασυμβατότητες. Επομένως θα πρέπει να γίνει μια εκτίμηση των πραγματικών σχετικών βαρών.

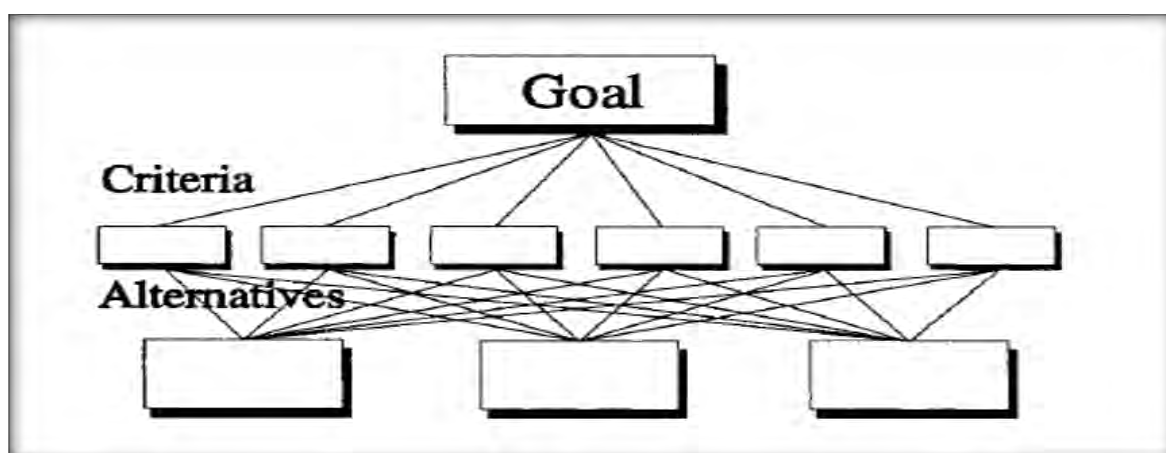
Στο τέταρτο και τελευταίο βήμα της πολυκριτήριας μεθόδου AHP γίνεται ο συνδυασμός των σχετικών βαρών των στοιχείων όλων των επιπέδων ώστε να υπολογιστούν τα βάρη των εναλλακτικών λύσεων του τελευταίου επιπέδου (επίπεδο k) της ιεραρχίας σε σχέση με το επίπεδο μηδέν που περιλαμβάνει το στόχο του προβλήματος. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται πολλαπλασιάζοντας όλους τους πίνακες των εκτιμώμενων σχετικών βαρών των στοιχείων όλων των επιπέδων. Τα βάρη των εναλλακτικών λύσεων που υπολογίζονται μέσα από την παραπάνω διαδικασία, αποτελούν ουσιαστικά ένα σκορ για την κάθε εναλλακτική λύση, βάση του οποίου λαμβάνεται η απόφαση.

Παρά την ιδιαίτερη διάδοση που έχει γνωρίσει η μέθοδος AHP, έχει δεχθεί έντονη κριτική κυρίως λόγω του φαινομένου της αναστροφής των αξιολογήσεων των εναλλακτικών δραστηριοτήτων, που επιτυγχάνονται μέσω της μεθόδου. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως rank reversal και είναι πιθανόν να εμφανιστεί όταν μεταβληθεί το σύνολο των εξεταζόμενων εναλλακτικών δραστηριοτήτων μέσω της αφαίρεσης ή πρόσθεσης δραστηριοτήτων. Αναλυτικότερα όταν στο σύνολο των εξεταζόμενων εναλλακτικών δραστηριοτήτων A προστεθεί μια νέα εναλλακτική x' η οποία έχει πανομοιότυπες επιδόσεις σε όλα τα κριτήρια αξιολόγησης με μια εναλλακτική δραστηριότητα $x \in A$, τότε η αξιολόγηση των εναλλακτικών δραστηριοτήτων του νέου συνόλου $A' = A \cup x'$ διαφέρει από την αξιολόγηση των εναλλακτικών δραστηριοτήτων του αρχικού συνόλου A (Δούμπος, 2001).

Η AHP έχει δυο υποθέσεις: την ανεξαρτησία των στοιχείων του υψηλότερου επιπέδου από το χαμηλότερο επίπεδο και την ανεξαρτησία των στοιχείων εντός του κάθε

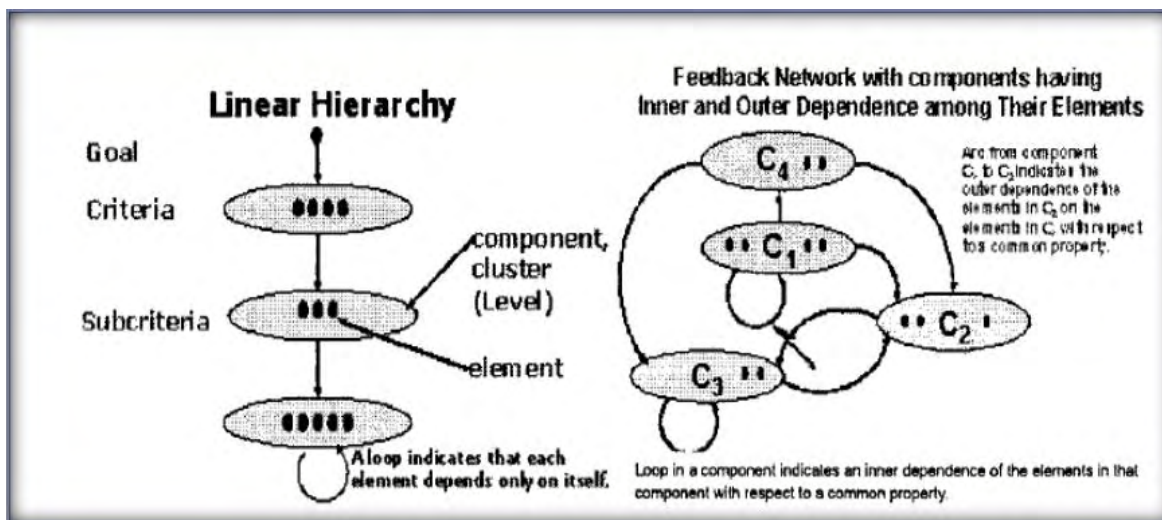
επιπέδου. Αυτές οι δυο υποθέσεις απλοποιούν τους υπολογισμούς όταν η πολυκριτήρια λήψη αποφάσεων αναλύεται με ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά. Όμως πολλά προβλήματα λήψης αποφάσεων δεν μπορούν να δομηθούν ιεραρχικά εξαιτίας της πολυπλοκότητας των προβλημάτων απόφασης. Γι' αυτό το λόγο η αλληλεπίδραση των στοιχείων του υψηλότερου επιπέδου με τα στοιχεία του χαμηλότερου επιπέδου και η εξάρτησή τους δεν θα πρέπει να θεωρούνται αμελητέες. Η ANP παρέχει μια λύση για προβλήματα που δεν μπορούν να δομηθούν ιεραρχικά και παρέχει ένα γενικό πλαίσιο για να καταλήξει σε αποφάσεις χωρίς να προχωρά στις παραπάνω υποθέσεις. Η διαδικασία της ANP έχει δυο μέρη: το πρώτο μέρος είναι μια ιεραρχία ή ένα δίκτυο ελέγχου των κριτηρίων και των υποκριτηρίων που ελέγχει τις αλληλεπιδράσεις. Το δεύτερο μέρος περιλαμβάνει ένα δίκτυο επιρροών ανάμεσα στα στοιχεία και στα σύνολα / ομάδες στοιχείων (clusters). Στην ANP υπάρχουν εξωτερική εξάρτηση και / ή εσωτερική εξάρτηση ανάμεσα στα στοιχεία και στα clusters. Τα διανύσματα προτεραιότητας στην ANP προκύπτουν από συγκριτικούς πίνακες ζευγών και τον υπερπίνακα (supermatrix) ο οποίος δημιουργείται από στοιχεία που θα μπορούσαν επίσης να είναι πίνακες από στήλες προτεραιότητας. Κάθε ένας από αυτούς τους υπερπίνακες σταθμίζεται με την προτεραιότητα του κριτηρίου ελέγχου του και τα αποτελέσματα συνθέτονται μέσω της προσθήκης όλων των κριτηρίων ελέγχου (Ergu, 2011).

Τα σχήματα 5.1 και 5.2 δείχνουν τη διαφορά ανάμεσα στις ιεραρχίες και στα δίκτυα. Μια ιεράρχηση είναι μια γραμμική από πάνω προς τα κάτω δομή. Ένα δίκτυο διαχέεται προς όλες τις κατευθύνσεις και περιλαμβάνει κύκλους ανάμεσα στα clusters και στους βρόχους εντός του ίδιου cluster. (Saaty, 2006).



Πηγή: Saaty (2006)

Σχήμα 5.1. Λεπτομερής Ιεράρχηση Τριών Επιπέδων



Πηγή: Saaty (2006)

Σχήμα 5.2. Η δομική διαφορά μεταξύ ενός γραμμικού και μη γραμμικού δικτύου.

Η μέθοδος TOPSIS (technique for order preference by similarity to an ideal solution) έχει σαν βασική της αρχή το ότι η επιλεγόμενη εναλλακτική θα πρέπει να έχει τη μικρότερη απόσταση από την ιδανική λύση και την πιο μακρινή απόσταση από την αρνητική ιδανική λύση (Opricovic et al, 2004).

Η διαδικασία TOPSIS περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

- 1) Υπολογισμός του κανονικοποιημένου πίνακα αποφάσεων. Η κανονικοποιημένη τιμή r_{ij} υπολογίζεται ως εξής:

$$r_{ij} = f_{ij} / \sqrt{\sum_{j=1}^j f^2_{ij}} \quad (5.1)$$

- 2) Υπολογισμός του σταθμισμένου κανονικοποιημένου πίνακα απόφασης. Οι σταθμισμένη κανονικοποιημένη τιμή v_{ij} υπολογίζεται ως εξής:

$$v_{ij} = w_i r_{ij}, j = 1, \dots, J; i = 1, \dots, n \quad (5.2)$$

όπου το w_i είναι η στάθμιση του i th χαρακτηριστικού ή κριτηρίου

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (5.3)$$

- 3) Καθορισμός της ιδανικής και της αρνητικά ιδανικής λύσης.

$$\begin{aligned}
 A^* &= \{v_1^*, \dots, v_n^*\} \\
 &= \{(\max_j v_{ij} | i \in I'), (\min_j v_{ij} | i \in I'')\}, \\
 A^- &= \{v_1^-, \dots, v_n^-\} \\
 &= \{(\min_j v_{ij} | i \in I'), (\max_j v_{ij} | i \in I'')\}, \quad (5.4)
 \end{aligned}$$

όπου I' σχετίζεται με τα κριτήρια οφέλους και I'' σχετίζεται με τα κριτήρια κόστους.

4) Υπολογισμός των μέτρων διαχωρισμού χρησιμοποιώντας την n – διαστάσεων Ευκλείδεια απόσταση. Η απόσταση κάθε εναλλακτικής από την ιδανική λύση δίνεται ως:

$$D_j^* = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_i^*)^2}, \quad j = 1, \dots, J. \quad (5.5)$$

ομοίως η απόσταση από κάθε αρνητικά ιδανική λύση δίνεται ως:

$$D_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_i^-)^2}, \quad j = 1, \dots, J. \quad (5.6)$$

5) Υπολογισμός της σχετικής εγγύτητας προς την ιδανική λύση. Η σχετική εγγύτητα της εναλλακτικής A_j με δεδομένο το A^* ορίζεται ως:

$$C_j^* = D_j^- / (D_j^* + D_j^-), \quad j = 1, \dots, J. \quad (5.7)$$

6) Κατάταξη της προτιμώμενης σειράς.

Η εξίσωση του βήματος 5 αναπαριστά την βασική αρχή στη μέθοδο TOPSIS.

5.1.2.Υπάρχουσα Κατάσταση

Το 2008 οι Peng Hui et al., χρησιμοποίησαν τη μέθοδο AHP για να αξιολογήσουν τον κίνδυνο χωμάτων και πέτρινων φραγμάτων.

Τα κριτήρια που επιλέχθηκαν αφορούν τα φυσικά και τα κοινωνικά χαρακτηριστικά των χωμάτων φραγμάτων.

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει:

- Τη ροή εδάφους
- Καιρικές και περιβαλλοντικές συνθήκες
- Σωληνώσεις
- Διαρροές
- Διασπορά εμποτισμού

- Προστασία των πρανών της επιφάνειας του φράγματος
- Καθιζήσεις

Στη δεύτερη κατηγορία συγκαταλέγονται:

- Η διαχείριση της τεχνολογίας
- Ο αριθμός των φορών που επισκευάστηκε το φράγμα
- Η χρησιμότητα του νερού για τους τομείς της βιομηχανίας και της γεωργίας
- Πυκνότητα του πληθυσμού και
- Οι ιχθυοκαλλιέργειες

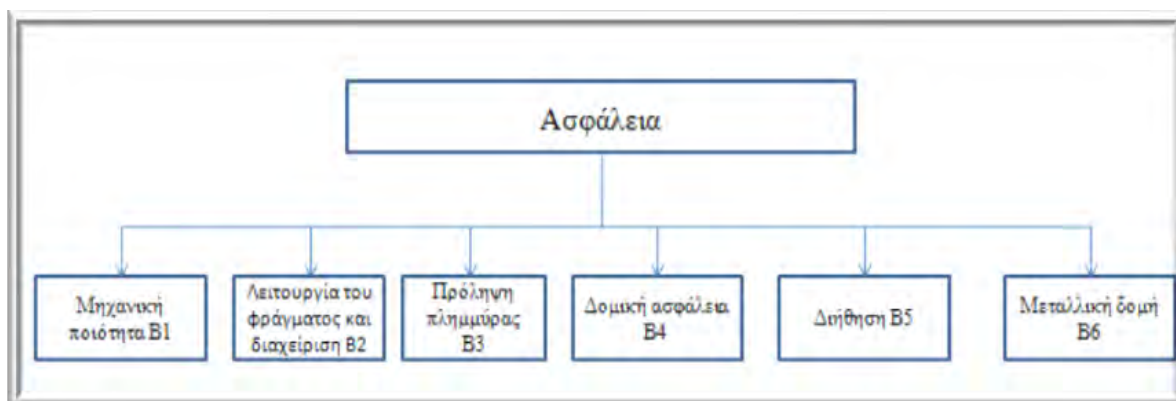
Μελετώντας τα παραπάνω κριτήρια σε ένα συγκεκριμένο φράγμα (με την ονομασία Shizigou) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το φράγμα είναι σε κακή κατάσταση με πολλά προβλήματα. Το σημαντικότερο πρόβλημα αποτελούν οι σωληνώσεις οι οποίες προκαλούν μεγάλη ζημιά στο φράγμα λόγω του βαθμού της ορμητικότητας της ροής (λόγω της μη σωστής συντήρησης τους επηρεάζεται ο βαθμός της ορμητικότητας της ροής του νερού).

Αντίθετα οι καθιζήσεις και η διασπορά του εμποτισμού έχουν τη μικρότερη επικινδυνότητα καθώς προκαλούν τη μικρότερη ζημιά συγκριτικά στο φράγμα.

Τα αποτελέσματα αυτά είναι σύμφωνα με τα περισσότερα αποτελέσματα μετρήσεων και απόψεων από ειδικούς και τεχνικούς για την τρέχουσα κατάσταση του φράγματος.

Οι Ying Jiang και Qiuwen Zhang (2008) προχώρησαν σε μια πιο εμπεριστατωμένη ανάλυση κινδύνου όσον αφορά τη βιωσιμότητα φραγμάτων με τη χρήση της μεθόδου AHP.

Τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν είναι η ποιότητα των μηχανικών εργασιών, η διαχείριση και η λειτουργία του φράγματος, η πρόληψη πλημμύρας, η δομική ασφάλεια, η διήθηση και η μεταλλική δομή.

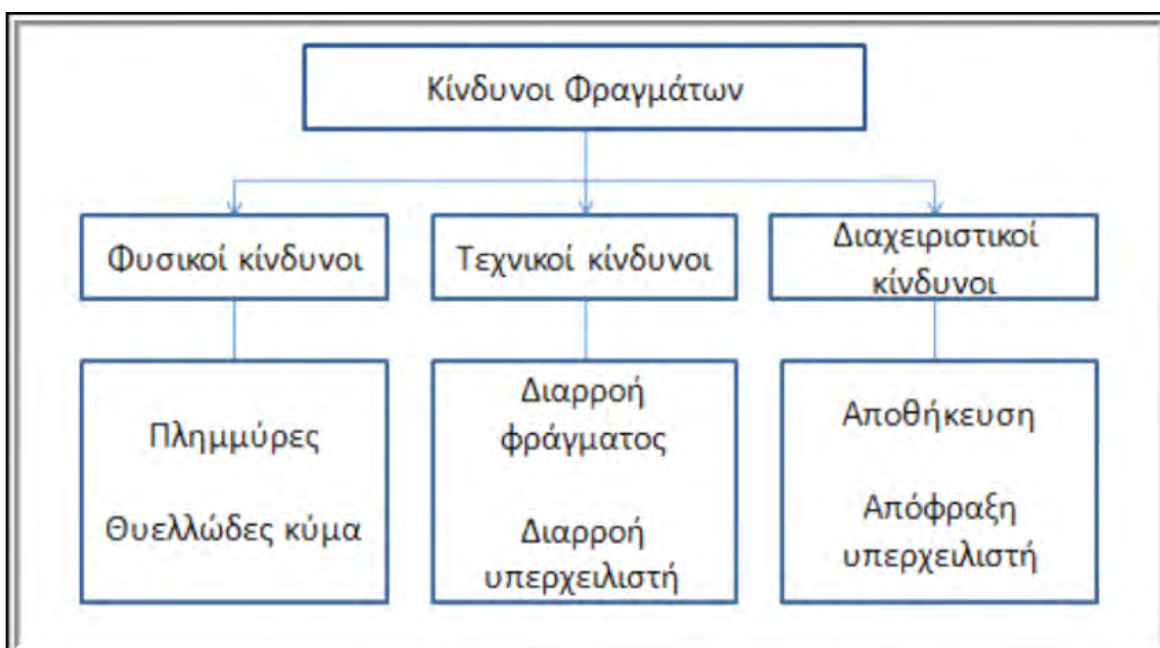


Σχήμα 5.3. Σχεδιάγραμμα κινδύνων σε μορφή δένδρου

Αφού υπολογίστηκαν οι συγκριτικοί πίνακες των κριτηρίων ανά ζεύγη, αποτιμήθηκε συνολικά ο βαθμός επικινδυνότητας. Ο τελευταίος υπολογίστηκε πολλαπλασιάζοντας τα κανονικοποιημένα βάρη των κριτηρίων με τους συγκριτικούς πίνακες ζευγών. Οι βαθμοί επικινδυνότητας διακρίνονται σε τρία επίπεδα χαμηλός (κανονικός), μεσαίος, υψηλός. Αν η τιμή του πολλαπλασιασμού είναι από 0 έως 5 τότε ο βαθμός επικινδυνότητας είναι χαμηλός. Για τιμές από 5 έως 7 μεσαίος και από 7 έως 10 υψηλός. Ο συνολικός βαθμός επικινδυνότητας του φράγματος Sichuan που μελετήθηκε στο άρθρο συμπεραίνεται ότι είναι χαμηλός.

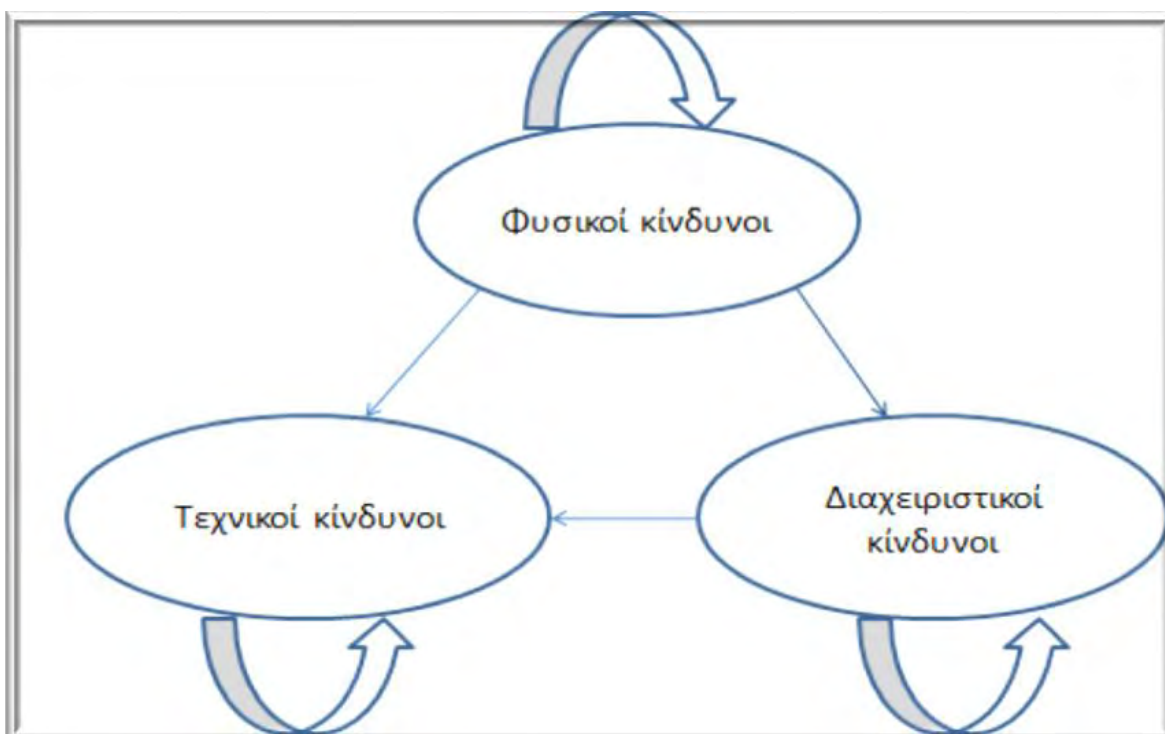
Η διαφοροποίηση στο συγκεκριμένο άρθρο έγκειται στο ότι αποτιμάται η επικινδυνότητα ενός φράγματος στο σύνολό της, (δηλαδή αν ένα φράγμα αντιμετωπίζει χαμηλό, μεσαίο ή υψηλό κίνδυνο στην τρέχουσα κατάσταση) και δεν καθορίζεται ποιος παράγοντας / κριτήριο είναι περισσότερος επικίνδυνος σε σχέση με τα άλλα κριτήρια.

Οι Gu Shengping, Wang Bing, (2010) δημιούργησαν ένα μοντέλο αναγνώρισης αποτίμησης κινδύνου φραγμάτων με τη μέθοδο ANP (Analytical Network Process). Το μοντέλο εφαρμόστηκε για την αναγνώριση κινδύνου σε ένα φράγμα και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με αυτά που προήλθαν με τη μέθοδο AHP. Το συγκεκριμένο φράγμα είχε σαν κύριο σκοπό να παράγει ηλεκτρική ενέργεια και δευτερεύοντος την άρδευση, τον τουρισμό και τον έλεγχο των πλημμύρων. Οι κίνδυνοι οι οποίοι επιλέχθηκαν ως κριτήρια στις μεθόδους ANP και AHP είναι φυσικοί, τεχνικοί και διαχειριστικοί.



Πηγή: GU Shengping Wang Bing (2010) – *Ιδία Επεξεργασία*

Σχήμα 5.4. Μοντέλο ANP εντοπισμός κινδύνων φραγμάτων (α)



Πηγή: GU Shengping Wang Bing (2010)- *Ιδία Επεξεργασία*

Σχήμα 5.4. Μοντέλο ANP εντοπισμός κινδύνων φραγμάτων (β)

Οι **φυσικοί κίνδυνοι** είναι οι πλημμύρες, οι σεισμοί, οι κατολισθήσεις και τα θυελλώδη κύματα.

Στους **τεχνικούς κινδύνους** συγκαταλέγονται η διαρροή, λανθασμένη κλίση του φράγματος, η θεμελίωση, η διαρροή υπερχειλιστή, καθίζηση του φράγματος, συνολική αστάθεια του φράγματος, κακή διάταξη των δομών του φράγματος.

Στους **διαχειριστικούς κινδύνους** συγκαταλέγονται η υπερβολική αποθήκευση, έλλειψη παρακολούθησης της ασφάλειας, οι διαρροές και θυελλώδη κύματα είναι οι πέντε πιο επικίνδυνοι παράγοντες με βάση την κατάταξη.

Οι πλημμύρες και τα θυελλώδη κύματα προέρχονται από τους φυσικούς κινδύνους, η υπερβολική αποθήκευση και η έλλειψη παρακολούθησης της ασφάλειας προέρχονται από τους διαχειριστικούς κινδύνους ενώ μόνο οι διαρροές προέρχονται από τους τεχνικούς κινδύνους.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της μεθόδου ANP με αυτά της μεθόδου AHP, συνάγεται ότι οι πέντε πιο σημαντικοί κίνδυνοι στην κατάταξη δεν είναι οι ίδιοι. Ο σημαντικότερος παράγοντας στην AHP όπως και στην ANP είναι οι πλημμύρες (με μικρότερη βαθμολόγηση στην AHP 0,24 ενώ στην ANP 0,28). Οι υπόλοιπες 4 είναι οι

διαρροές, οι κατολισθήσεις, η αποτυχία της κλίσης του φράγματος και η υπερβολική αποθήκευση. Παρατηρείται ότι οι πέντε πιο σημαντικοί κίνδυνοι με βάση τη μέθοδο AHP είναι κυρίως φυσικοί και τεχνικοί κίνδυνοι ενώ οι φυσικοί και διαχειριστικοί κίνδυνοι είναι οι κύριοι κίνδυνοι όπως υπολογίστηκαν με τη μέθοδο ANP, διότι η επίδραση των διαχειριστικών κινδύνων στους τεχνικούς κινδύνους είναι ορθότερα υπολογισμένη με την ANP. Τέλος υποδεικνύεται ότι με τη μέθοδο ANP, οι σχέσεις μεταξύ των κινδύνων υπολογίζονται ορθότερα και η μέθοδος ANP μπορεί να δώσει ορθολογικά αποτελέσματα, γι' αυτό είναι και η πιο κατάλληλη μέθοδος για τον εντοπισμό των κινδύνων αποτυχίας σε έργα φραγμάτων.

Πίνακας 5.3. Παράγοντες αποτυχίας

Βασικά Κριτήρια	Ομάδα Κινδύνου	Παράγοντες Κινδύνου	Προτεραιότητα από ANP	Αριθμοί Προτεραιότητας	Προτεραιότητα από AHP	Αριθμοί Προτεραιότητας
Κίνδυνοι αποτυχίας φραγμάτων	Φυσικοί Κίνδυνοι	Πλημμύρα	0,2878	1	0,2477	1
		Κατολίσθηση στην περιοχή της δεξαμενής	0,0672	6	0,1011	3
		Θυελλώδη κύματα	0,0673	5	0,0599	6
		Σεισμός	0,041	9	0,0346	8
	Τεχνικοί	Διήθηση του φράγματος	0,0761	4	0,1271	2
	Κίνδυνοι	Αποτυχία στην κλίση του φράγματος	0,403	10	0,0702	4
		Διαρροή	0,0181	14	0,0332	11
		Διαρροή υπερχειλιστή	0,0283	11	0,052	7
		Ποιότητα υπερχειλιστή	0,0192	13	0,0353	10
		Παραμόρφωση του φράγματος	0,0166	15	0,0305	12
		Συνολική αστάθεια του φράγματος	0,012	17	0,022	14
		Κακή ρύθμιση της δομής των μηχανικών	0,0121	16	0,0171	15
	Διαχειριστικοί Κίνδυνοι	Αποθήκευση	0,0844	2	0,0655	5
		Έλλειψη παρακολούθησης της ασφάλειας	0,084	3	0,0356	9
		Αποτυχία κατασκευής πύλης	0,028	12	0,0163	16
		Απόφραξη υπερχειλιστή	0,0476	8	0,0224	13
		Κακή διαχείριση υπαλλήλων	0,0637	7	0,0168	17
		Τεχνητό σκάψιμο του φράγματος	0,0066	18	0,0121	18

Πηγή GU Shengping, WANG Bing(2010) IEEE- *Ιδία Επεξεργασία*

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μεθόδου της ANP που φαίνονται στον πίνακα 5.2, πλημμύρες, αποθήκευση, έλλειψη παρακολούθησης της ασφάλειας, διήθηση του φράγματος και θυελλώδη κύματα είναι οι πέντε πιο σημαντικοί παράγοντες. Ανάμεσα σε αυτούς τους πέντε παράγοντες, πλημμύρα και θυελλώδη κύματα είναι φυσικοί κίνδυνοι, οι οποίοι είναι δύσκολο να ελεγχθούν, και μπορεί να προξενήσουν άλλους παράγοντες κινδύνου. Εν τω μεταξύ, στην περιοχή όπου το φράγμα είναι τοποθετημένο η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι μεγάλη και οι τυφώνες συχνά εμφανίζονται σε αυτήν την περιοχή. Είναι πολύ πιθανό οι αποτυχίες των φραγμάτων να προκαλούνται από αυτούς τους δυο παράγοντες. Από την άλλη μεριά τόσο η υπερβολική αποθήκευση όσο και η έλλειψη παρακολούθησης της ασφάλειας είναι οι κίνδυνοι διαχείρισης, καθώς έχει δοθεί μικρότερη σημασία στη διαχείριση των φραγμάτων στην Κίνα και περισσότερη σημασία έχει δοθεί σε τεχνικά προβλήματα. Επομένως γι' αυτό το λόγο οι δυο παράγοντες κινδύνων διαχείρισης κατατάσσονται στους πέντε πρώτους παράγοντες κινδύνων. Επιπλέον λόγω κάποιων ατελειών στο σχεδιασμό και στην κατασκευή του φράγματος, η διήθηση του φράγματος είναι ένας από τους πέντε σημαντικότερους παράγοντες κινδύνου.

Τέλος η μέθοδος AHP χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση του κινδύνου σε έργα αφαίρεσης φραγμάτων (Qi Chang, 2010). Η μέθοδος αξιολόγησης που ακολουθήθηκε είναι η συνδυασμένη μέθοδος του TOPSIS-AHP. Οι κίνδυνοι που μπορούν να εμφανιστούν από την αφαίρεση ενός φράγματος είναι: κίνδυνος ζωής, περιβαλλοντικός κίνδυνος, οικονομικός κίνδυνος και κοινωνικός κίνδυνος.

Η AHP χρησιμοποιείται για να αναλυθεί η σημαντικότητα διαφορετικών κινδύνων ενώ το TOPSIS χρησιμοποιείται για τη δημιουργία του μοντέλου αξιολόγησης των κινδύνων.

Οι Zayed et al. (2008), εκτίμησαν τον κίνδυνο και την αβεβαιότητα σε έργα αυτοκινητοδρόμων στη χώρα της Κίνας με τη μέθοδο AHP. Σκοπός της έρευνας είναι να σχεδιάσει ένα μοντέλο που διευκρινίζει τις πηγές κινδύνων και αβεβαιότητας και να αξιολογήσει τα αποτελέσματα σε αυτοκινητόδρομους. Οι κίνδυνοι χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες:

1. στο επίπεδο της εταιρείας: macro επίπεδο
2. στο επίπεδο διαχείρισης έργου: micro επίπεδο.

Το macro επίπεδο περιλαμβάνει 4 περιοχές κινδύνου:

- Χρηματοοικονομικούς: περιορισμούς φόρων, συναλλαγματική ισοτιμία.
- Πολιτικούς: εξάρτηση από πολιτική δύναμη

- Πολιτισμικούς: αλληλεπίδραση της διοίκησης με τοπικούς εργαζόμενους
- Αγοράς: όγκος αγοράς και ανταγωνιστών, μελλοντική ποσότητα αγοράς και ανταγωνιστών.

Το micro επίπεδο περιλαμβάνει 7 περιοχές κινδύνου:

- Τεχνολογία
- Συμβόλαια και νομικά θέματα
- Πόροι: έλλειψη καταρτισμένων εργατών
- Σχεδίαση
- Ποιότητα
- Κατασκευή
- Άλλοι

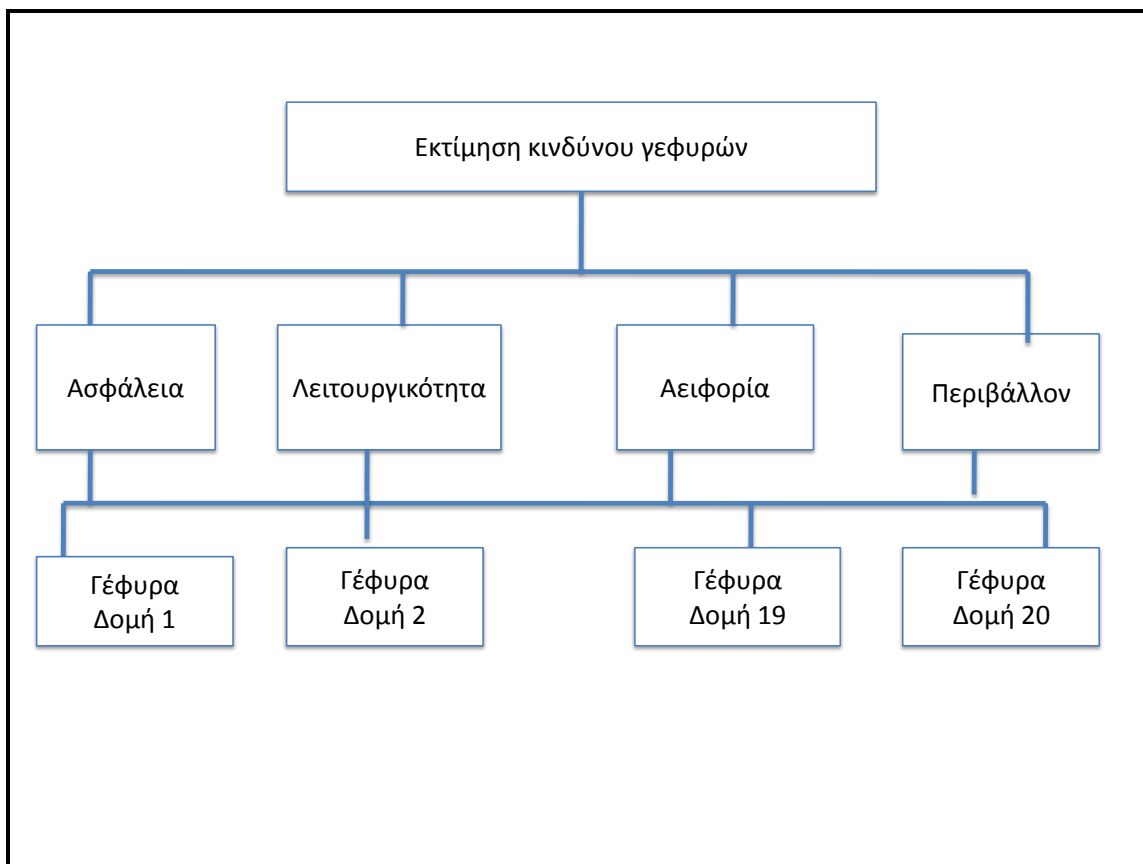
Τα δεδομένα συλλέχθηκαν μέσω ερωτηματολογίων. Στάλθηκαν 17 ερωτηματολόγια σε εταιρείες αυτοκινητόδρομων στην Κίνα. Από τα 17 ερωτηματολόγια μόνο 4 απαντήθηκαν και με βάση αυτά έγινε η έρευνα με τη μέθοδο AHP.

Αποτέλεσμα της έρευνας παρουσίαζε ποιος αυτοκινητόδρομος είχε το μεγαλύτερο κίνδυνο και ποιος το μικρότερο κίνδυνο. Επίσης τη μεγαλύτερη επικινδυνότητα σε macro επίπεδο σημειώνει η αλληλεπίδραση ενός αλλοδαπού management με τους τοπικούς αναδόχους. Οι καιρικές συνθήκες και τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας έχουν την μικρότερη επίδραση στους κινδύνους των έργων κατασκευής αυτοκινητοδρόμων. Υψηλός είναι επίσης ο πολιτικός και ο χρηματοοικονομικός κίνδυνος (και θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ιδιαίτερα κατά τη φάση του μειοδοτικού διαγωνισμού επιλογής αναδόχου). Σε micro επίπεδο οι κίνδυνοι από την αναδυόμενη τεχνολογία και από την έλλειψη πόρων έχουν τον υψηλότερο βαθμό επικινδυνότητας.

Οι Wang et al. (2008), αξιολόγησαν την επικινδυνότητα έργων κατασκευής γεφυρών με τη συνδυασμένη μέθοδο AHP-DEA. Λόγω του ότι η AHP μπορεί να συγκρίνει περιορισμένο αριθμό εναλλακτικών (το πολύ 15) χρησιμοποιείται η μεθοδολογία AHP-DEA. Κίνδυνοι που εμφανίστηκαν στο συγκεκριμένο άρθρο είναι οι ακόλουθοι:

- Ασφάλεια κοινού
- Λειτουργία / διαθεσιμότητα του δικτύου για χρήση
- Βιωσιμότητα: ως προς τη συντήρηση των γεφυρών, ως προς τη σταθερή κατάσταση των δαπανών, ως προς την εξυπηρέτηση της μεγάλης κίνησης των οχημάτων

- Περιβάλλον δηλαδή το πώς επηρεάζει μια γέφυρα το περιβάλλον συμπεριλαμβανομένης και της αισθητικής.



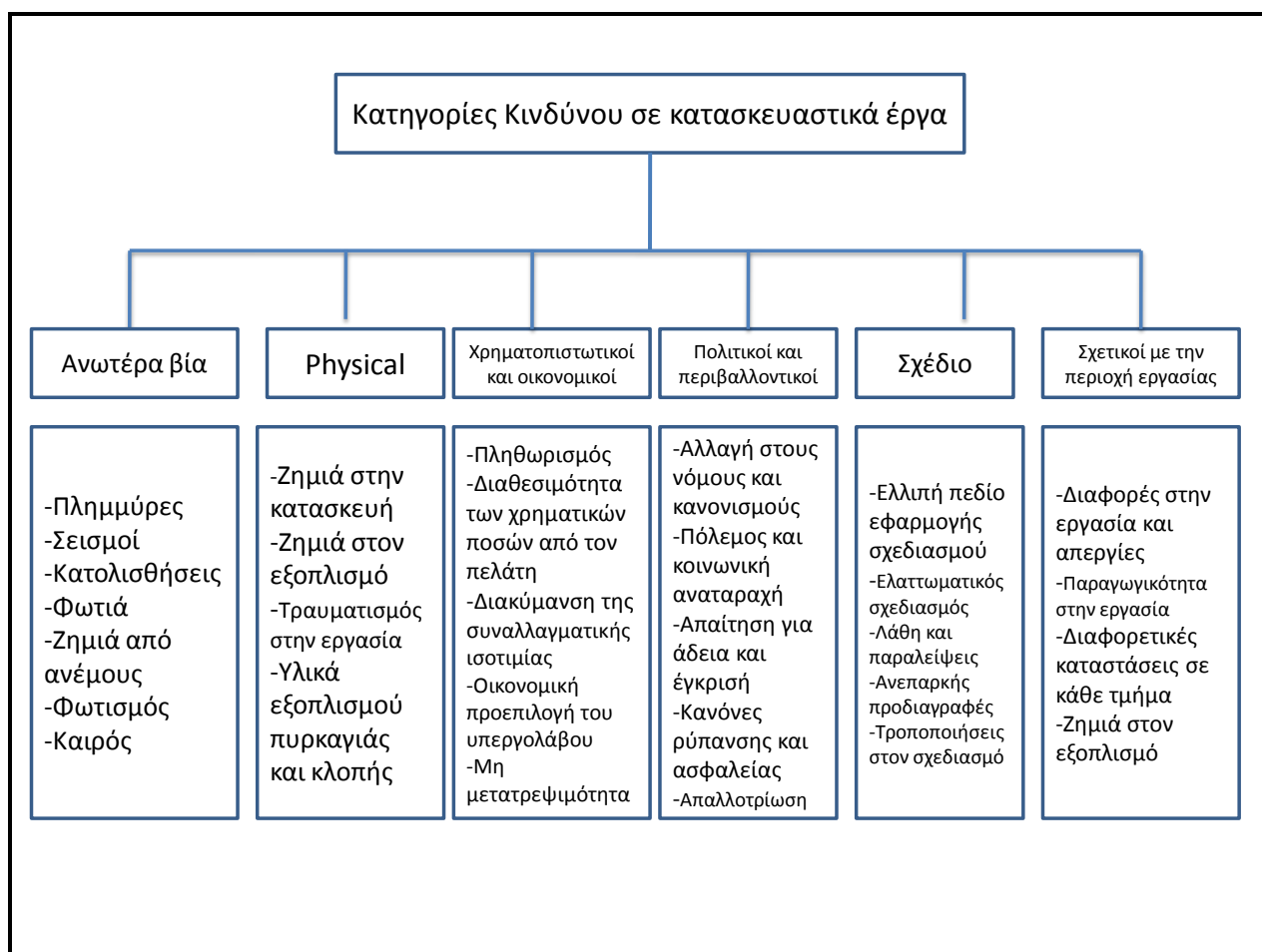
Σχήμα 5.5. Ιεραρχική Δομή για την εκτίμηση κινδύνου γεφυρών

Η AHP χρησιμοποιείται για να ορίσει τα βάρη των κριτηρίων. Χρησιμοποιώντας τους όρους υψηλό, μέσο, χαμηλό και κανένα κίνδυνο για να αξιολογήσει τους κινδύνους γεφυρών κάτω από κάθε κριτήριο. Το πρότυπο DEA καθορίζει τις τιμές των προηγούμενων τεσσάρων όρων. Πρόκειται για μια απλή πρόσθετη μέθοδος στάθμισης με σκοπό να αθροίσει τους κινδύνους γεφυρών κάτω από διαφορετικά κριτήρια μέσα σε ένα γενικό αποτέλεσμα κινδύνου κάθε γέφυρας. Η συγκεκριμένη ενοποιημένη μέθοδος AHP-DEA μπορεί να χρησιμεύσει για την αξιολόγηση των κινδύνων εκατοντάδων ή χιλιάδων γεφυρών, καθώς αποφεύγει το μεγάλο αριθμό συγκρίσεων ανά ζεύγη. Επιπλέον μπορεί να ταξινομήσει τους κινδύνους με βάση την βαθμολογία τους και να ορίσει προτεραιότητες για την σειρά συντήρησης των γεφυρών.

Οι Mustafa και Al-Bahar (1991), αξιολόγησαν τη ριψοκινδυνότητα της κατασκευής της γέφυρας Jammuna στο Μπαγκλαντές. Χρησιμοποιούν την AHP γιατί αποτελεί μια λογική διαδικασία αξιολόγησης του κινδύνου σε σχέση με τις εμπειροτεχνικές μεθόδους.

Οι κίνδυνοι που όρισαν είναι οι ακόλουθοι:

- Ανωτέρα βία
- Φυσικοί κίνδυνοι
- Οικονομικοί κίνδυνοι
- Πολιτικοί και περιβαλλοντικοί κίνδυνοι
- Κίνδυνοι σχεδίου
- Σχετικοί με την περιοχή εργασίας κίνδυνοι



Πηγή: Wang et al., 2008, *Computers & Industrial Engineering* 54 - *Ιδία Επεξεργασία*

Σχήμα 5.6. Προτεινόμενο σύστημα ταξινόμησης των κινδύνων

Η γέφυρα που μελετάται είναι μήκους 4,7 km. Σκοπός της κατασκευής αυτής είναι να βοηθήσει στην κυκλοφορία δρόμων και ραγών και να φέρει ηλεκτρικά καλώδια υψηλής τάσης και γραμμές επικοινωνίας.

Τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την αξιολόγηση της επικινδυνότητας με τη μέθοδο AHP είναι:

Βήμα 1^ο : Αναγνώριση κινδύνου

Βήμα 2^ο: Καθορισμός των σχετικών βαρών των διαφόρων στοιχείων

Βήμα 3^ο: Καθορισμός των πιθανοτήτων των επιπέδων και των κινδύνων (υψηλός, μέσος, χαμηλός).

Το αποτέλεσμα της έρευνας έδειξε ότι η γέφυρα Jammuna είναι έργο χαμηλού κινδύνου.

5.2. ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ

5.2.1. Εισαγωγή στην ασαφή λογική

Η προσέγγιση των ασαφών συνόλων, η οποία επινοήθηκε από το Zadeh (1965) είναι χρήσιμη για την ανάλυση της αβεβαιότητας σε περιπτώσεις όπου δεδομένα πιθανοτήτων δεν είναι διαθέσιμα ή / και όταν οι τιμές των εισερχόμενων μεταβλητών είναι αβέβαιες. Η ασαφής λογική (fuzzy logic) αφορά την αναπαράσταση ανακριβούς ή αδιευκρίνιστης γνώσης. Στηρίζεται στη θεωρία των ασαφών συνόλων και χρησιμοποιεί την έννοια του βαθμού συμμετοχής / αλήθειας (degree of membership / truth) και όχι των διαχωρισμών αλήθεια – ψεύδος. Ασχολείται με την ασάφεια (fuzziness) τις γνώσεις (θεωρία δυνατοτήτων), όχι με την τυχαιότητα της (randomness), θεωρία πιθανοτήτων. Η προσέγγιση των ασαφών συνόλων έχει εφαρμοστεί ευρύτερα για την αναπαράσταση των αρμοδιοτήτων περιπτώσεων / καταστάσεων της πραγματικής ζωής (Jalal et al, 2008).

Η ασαφής λογική είναι χρήσιμη, επειδή αποτελεί έναν αποτελεσματικό και ακριβή τρόπο για να περιγράψει ανθρώπινες αντιλήψεις για τα προβλήματα λήψης αποφάσεων. Οι περισσότερες καταστάσεις δεν είναι 100% αληθείς ή ψευδείς. Η ασάφεια είναι απαραίτητη στα συστήματα, όπου υπάρχουν ανθρώπινες αλληλεπιδράσεις. Τα συστήματα αυτά, που ονομάζονται και ανθρώπινα συστήματα χαρακτηρίζονται από έλλειψη ακρίβειας. Αυτή η έλλειψη κάνει τις παραδοσιακές τεχνικές, που εφαρμόζονται σε τέτοιες περιπτώσεις, ανεπαρκείς, καθώς αυτές, για να είναι αποτελεσματικές, απαιτούν ένα στοιχειώδες, τουλάχιστον, επίπεδο ακρίβειας. Η σκέψη πίσω από αυτήν την προσέγγιση είναι ότι η λήψη αποφάσεων δεν είναι πάντοτε μαύρο-άσπρο ή αληθές-ψευδές. Συχνά, περιλαμβάνει «γκρίζες περιοχές» που μπορεί να είναι πιθανές. Έτσι, υπάρχουν πολλά προβλήματα λήψης αποφάσεων που δεν ταιριάζουν πολύ καλά σε ένα περιβάλλον αυστηρού αληθούς-ψευδούς, το οποίο απαιτούν τα μαθηματικά μοντέλα, οπότε η προσφυγή στην ασαφή λογική καθίσταται επιβεβλημένη.

Η ασαφής λογική, τα τελευταία χρόνια, βρίσκει όλο και περισσότερες εφαρμογές στον τομέα της λήψης αποφάσεων, παρά το γεγονός ότι είναι δύσκολη στην ανάπτυξη,

απαιτεί μεγάλη υπολογιστική δύναμη και είναι δύσκολη να εξηγηθεί στους χρήστες. Παρόλα αυτά, με την αύξηση της υπολογιστικής δύναμης και την ανάπτυξη του λογισμικού, η κατάσταση βελτιώνεται συνεχώς από τη δεκαετία του 90'. Είναι ένα γενικής χρήσης ισχυρό εργαλείο, για συλλογιστική ικανότητα των νευρωνικών δικτύων και των έμπειρων συστημάτων, όπου ο βαθμός εκτέλεσης κάθε κανόνα, εξαρτάται από τον σχετικό βαθμό, με τον οποίο οι προηγούμενες ασαφείς προτάσεις ικανοποιούνται από τα δεδομένα.

Η ασαφής λογική είναι ένα, σχετικά, νέο εργαλείο στα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων και έχει το πλεονέκτημα να προσαρμόζεται εύκολα σε γρήγορα μεταβαλλόμενες συνθήκες. Τελευταία, η ασαφής λογική έχει γίνει απαραίτητο συστατικό στοιχείο στα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων που χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη στην αποτίμηση κινδύνου επενδύσεων και στη μοντελοποίηση οικονομικών συστημάτων. Έχει επίσης, ενσωματωθεί σε εμπορικά διαθέσιμα εργαλεία (tools), ως ασαφή λογική λογιστικών φύλλων, ασαφής λογική έμπειρων συστημάτων, ασαφής λογική γενετικών αλγορίθμων, και ασαφής λογική νευρωνικών δικτύων (Σαμαράς, 2005)

5.2.2. Υπάρχουσα κατάσταση

Ο Jalal et al, (2008), δημιούργησε ένα μοντέλο ασαφούς αξιολόγησης του κινδύνου για κατασκευαστικά έργα φραγμάτων στο Ιράν. Στα έργα κατασκευής φραγμάτων οι παράγοντες της ολοκλήρωσης του έργου εντός του χρονοδιαγράμματος και εντός του ανατιθέμενου προϋπολογισμού, είναι μεγάλης σημασίας, λόγω της σημασίας τους στο μέγεθος των λειτουργιών, στις μεγάλες υποδομές, στην πολύπλοκη φύση και στις πολλές αβεβαιότητες που εμπεριέχουν όπως είναι οι συνθήκες του υπεδάφους, οι φυσικές καταστροφές και το υψηλό κόστος κατασκευής. Γι' αυτό το λόγο η επιθεώρηση, η αναγνώριση και η αξιολόγηση των αιτιών του κόστους και υπέρβασης του χρονοδιαγράμματος και η σύνθεση προτάσεων για την αποφυγή τους, έχουν μεγάλα οφέλη για την οικονομία της χώρας. Όμως στις περισσότερες περιπτώσεις δεν υπάρχουν διαθέσιμες ακριβείς και επαρκείς πληροφορίες γι' αυτό το σκοπό και έτσι ζητήθηκαν οι γνώμες των ειδικών και των επαγγελματιών των έργων, μέσα σε ένα πλαίσιο ασαφούς λογικής. Η μελέτη αυτή χρησιμοποίησε τη μεθοδολογία της delay analysis η οποία βασίζεται στην ασαφή (fuzzy) θεωρία. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν από εννέα φράγματα στο Ιράν. Χρησιμοποιήθηκαν ερωτηματολόγια τα οποία απαντήθηκαν από εργολάβους, συμβούλους, πελάτες / αναθέτουσα αρχή. Οι ερωτώμενοι κατέταξαν τις αιτίες υπέρβασης του προϋπολογισμού και του χρονοδιαγράμματος σε τρεις κλίμακες χαμηλό, μεσαίο,

υψηλό. Μια από τις πιο ιδιαίτερες αιτίες, σύμφωνα με τα αποτελέσματα είναι η προτεραιότητα που δίνει ο ανάδοχος / εργολάβος να πάρει το έργο παρά να το εκτελέσει και σαν αποτέλεσμα είναι να υποβάλλει προσφορά πολύ χαμηλότερη από τον ανταγωνισμό.

Οι Abbas et al (2011), ερεύνησαν το σύστημα ελέγχου ενός φράγματος υδροηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιώντας την ασαφή λογική (fuzzy logic). Χρησιμοποιούνται δυο εισερχόμενοι παράμετροι: το επίπεδο νερού και ο ρυθμός ροής και δυο εξερχόμενες παράμετροι: βαλβίδα απελευθέρωσης και βαλβίδα αποστράγγισης. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί μια προσέγγιση απλοποιημένου αλγορίθμου με ένα μεγάλο εύρος εισερχόμενων και εξερχόμενων συναρτήσεων συμμετοχής. Το σύστημα ελέγχου ουσιαστικά διατυπώνει fuzzy κανόνες για την στάθμη και την ταχύτητα ροής του νερού, χρησιμοποιώντας την ασαφοποίηση (fuzzification) και για την βαλβίδα απελευθέρωσης και την βαλβίδα αποστράγγισης χρησιμοποιώντας την αποασαφοποίηση (defuzzification). Η μεταβλητή εισόδου στάθμη του νερού παίρνει τιμές: πολύ χαμηλή, χαμηλή, κάτω από κίνδυνο, κίνδυνος, πάνω από κίνδυνο. Ο ρυθμός ροής παίρνει τις τιμές: πολύ αργή, αργή, κανονική, γρήγορη, πολύ γρήγορη. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η βαλβίδα απελευθέρωσης είναι άμεσα ανάλογη με τη στάθμη του νερού και δεν εξαρτάται από το ρυθμό ροής ενώ η βαλβίδα αποστράγγισης είναι ευθέως ανάλογη με το ρυθμό ροής του νερού. Τα αποτελέσματα επαληθεύονται με τη χρήση προσομοίωσης στο λογισμικό MATLAB.

Η Naik (2011) ερεύνησε επίσης το σύστημα ελέγχου ενός φράγματος όσον αφορά τη στάθμη του νερού με την μέθοδο της ασαφούς λογικής. Το σύστημα ελέγχου παίρνει πληροφορίες για τη στάθμη του νερού και δίνει τις ανάλογες οδηγίες στον υπερχειλιστή στην περίπτωση πλημμύρας. Η μέθοδος βασίζεται σε επαναληπτικούς αλγορίθμους για την επίλυση συνδυαστικών προβλημάτων βελτιστοποίησης, όπως είναι ο αλγόριθμος με την προσομοίωση της εξέλιξης. Ο αλγόριθμος προσομοίωσης παρέχει αποτελεσματική και ακριβή εναλλακτική λύση για το χειριστή και η δεξαμενή νερού στο φράγμα ελέγχεται αποτελεσματικά και με ακρίβεια. Ο κανόνας που κατασκευάστηκε με βάση τον αλγόριθμο έχει ως εξής:

1. Αν η στάθμη της δεξαμενής του φράγματος είναι χαμηλή και το ποσοστό αύξησής της είναι μικρό τότε το άνοιγμα της πύλης του υπερχειλιστή είναι πάρα πολύ μικρό.
2. Αν η στάθμη της δεξαμενής βρίσκεται στο μέσο το ποσοστό της αύξησης είναι μηδέν τότε το άνοιγμα της πύλης του υπερχειλιστή είναι πολύ μικρό.

3. Αν η στάθμη της δεξαμενής είναι υψηλή και το ποσοστό της αύξησής της είναι μικρό τότε το άνοιγμα της πύλης του υπερχειλιστή βρίσκεται στο μέσο.
4. Αν η στάθμη της δεξαμενής του φράγματος είναι πολύ υψηλή και το ποσοστό της μείωσής της είναι μικρό τότε το άνοιγμα της πύλης του υπερχειλιστή είναι μικρό.
5. Αν η στάθμη της δεξαμενής του φράγματος είναι πολύ υψηλή και ο ρυθμός μείωσης είναι μεγάλος τότε το άνοιγμα της πύλης του υπερχειλιστή είναι μεγάλο.

Οι Diao et al (2011), εφάρμοσαν ένα fuzzy μοντέλο μεταβλητών για την αποτίμηση της παραμόρφωσης των φραγμάτων. Το μοντέλο αναγνωρίζει το σχετικό βαθμό συμμετοχής και συνάρτησης μεταξύ του δείκτη δείγμα και του δείκτη του σταθερού διαστήματος κάθε επιπέδου και μπορεί να καθορίσει εύλογα το επίπεδο αξιολόγησης κάθε δείγματος σε κάθε μεταβολή του μοντέλου και των παραμέτρων. Αρχικά καθορίζονται οι βαθμοί και η μέθοδος κανονικοποίησης του δείκτη. Στη συνέχεια εγκαθίστανται η μεταβλητή του fuzzy μοντέλου στην συμπεριφορά παραμόρφωσης των φραγμάτων. Τέλος διερευνάται μια μελέτη περίπτωσης και τα αποτελέσματα δείχνουν τη σταθερότητα και την καταλληλότητα του fuzzy μοντέλου.

Οι Tah και Carr (2000), δημιούργησαν ένα μοντέλο για την αποτίμηση των κινδύνων σε κατασκευαστικά έργα με τη χρήση της ασαφούς λογικής (fuzzy logic). Χρησιμοποιήθηκε μια δομή ιεράρχησης των κινδύνων για την ανάπτυξη του μοντέλου για την ποιοτική αποτίμηση του κινδύνου. Επίσης χρησιμοποιήθηκε κοινή ορολογία για να περιγράψει τους κινδύνους η οποία περιέχει όρους για την ποσοτικοποίηση των πιθανοτήτων και των επιδράσεων έτσι ώστε να επιτυγχάνεται συνεπής ποσοτικοποίηση. Οι σχέσεις ανάμεσα στους παράγοντες κινδύνου και στις συνέπειές τους αναπαριστώνται σε διαγράμματα αιτίου και αποτελέσματος. Τα διαγράμματα αυτά και οι έννοιες της ασαφούς λογικής εφαρμόζονται για να αναγνωριστούν οι σχέσεις μεταξύ κινδύνων και συνεπειών για τα μέτρα απόδοσης των έργων. Τέλος χρησιμοποιείται μια μεθοδολογία αποτίμησης της έκθεσης στον κίνδυνο μελετώντας τις συνέπειες που συμβαίνουν στο χρόνο, στο κόστος, στην ποιότητα και στην ασφάλεια ενός έργου με τη βοήθεια fuzzy εκτιμήσεων των συστατικών κινδύνου.

Οι Dikmen et al., (2007), πρότειναν μια μεθοδολογία fuzzy αξιολόγησης κινδύνου για διεθνή κατασκευαστικά έργα. Η μεθοδολογία χρησιμοποιεί τη μέθοδο της διαγραμματικής επιρροής για την κατασκευή του μοντέλου και την αξιολόγηση του κινδύνου με την ασαφή λογική για την εκτίμηση της βαθμολόγησης του κινδύνου υπέρβαση κόστους. Ειδικότερα η μεθοδολογία ακολούθησε τα εξής βήματα:

1. Αναγνώριση κινδύνου και μοντελοποίηση με τη χρήση διαγραμμάτων επιρροής
2. Καθορισμός μεταβλητών και επιλογή συνάρτησης συμμετοχής για κάθε μεταβλητή
3. Εύρεση στοιχείων από τις απαντήσεις των ειδικών για τις σχέσεις μεταξύ κινδύνων και παραγόντων επιρροής.
4. Διενέργεια λειτουργιών ασαφής λογική για την πρόσμιξη fuzzy κανόνων με μια fuzzy βαθμολόγηση του κινδύνου της υπέρβασης κόστους
5. Καθορισμός του επιπέδου κινδύνου του έργου ερμηνεύοντας την τελική βαθμολόγηση του κινδύνου.

Η μεθοδολογία αυτή χρησιμοποιήθηκε στο στάδιο του διαγωνισμού του έργου για μια συγκεκριμένη εταιρεία, μπορεί όμως να εφαρμοστεί και σε άλλες εταιρείες.

Οι Jinping et al., (2011), αποτίμησαν την ασφάλεια των φραγμάτων με ένα fuzzy υπόδειγμα αναγνώρισης. Χρησιμοποίησαν τα fuzzy υποσύνολα για να ταξινομήσουν τους κινδύνους, υπολόγισαν τους ποσοτικούς δείκτες με τη μέθοδο της συμμετοχής και δημιούργησαν το υπόδειγμα πολλαπλής επίδρασης – μεταβλητής για την παρακολούθηση της ασφάλειας του φράγματος. Τα αποτελέσματα παρέχουν μια νέα μέθοδο αποτίμησης της ασφάλειας φραγμάτων.

5.3. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

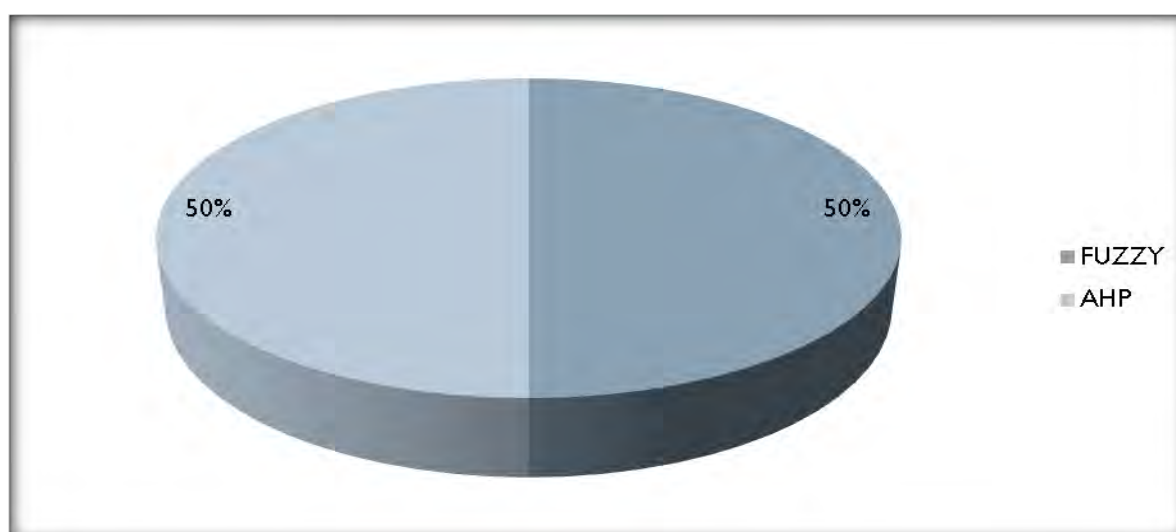
5.3.1. Συγκεντρωτικός πίνακας

Πίνακας 5.4. Συνοπτικός πίνακας αρθρογραφία υπάρχουσας κατάστασης σε έργα φραγμάτων και κατασκευαστικά έργα με τη χρήση της μεθόδου AHP και τη μέθοδο της ασαφούς λογικής.

<i>Τίτλος άρθρου</i>	<i>Συγγραφείς</i>	<i>Σκοπός</i>	<i>Δημοσίευση</i>	<i>Μέθοδος</i>
1. Study on the comprehensive safety assessment of earth fill dam based on AHP methods.	Hui Peng Defu Liu Bin Tian Jinlin Zuo	Χρησιμοποίηση μεθόδου AHP για την αξιολόγηση του κινδύνου χωμάτων και πέτρινων φραγμάτων.	In Changkuan Zhang and Hongwu Tang advances in water resources and Hydraulic Engineering Proceedings of 16th IAHR – APD Congress and 3rd Symposium of IAHR – ISHS (2009).	AHP
2. Design and implementation of dam failure risk assessment system based on fuzzy mathematics	Ying Jiang Qiuwen Zhang	Ανάλυση κινδύνου όσον αφορά τη βιωσιμότητα φραγμάτων με τη χρήση της μεθόδου AHP.	Knowledge Acquisition and Modeling Workshop, KAM Workshop. International Symposium (2008).	AHP
3. The ANP Model for Dam Risk Identification of the Hydropower Project	GU Shengping Wang Bing	Δημιουργία μοντέλου αναγνώρισης αποτίμησης κινδύνου φραγμάτων με τη μέθοδο ANP (Analytical Network	Power and energy Engineering Conference (APEEC), Asia-Pacific (2010).	AHP-ANP

		Process) και σύγκριση με τη μέθοδο AHP.		
4. Research on Risk Assessment of Dam Removal	Qi Chang	Χρησιμοποίηση μεθόδου AHP για την αξιολόγηση του κινδύνου σε έργα αφαίρεσης φραγμάτων. Η μέθοδος αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκε είναι η συνδυασμένη μέθοδος TOPSIS-AHP. Η AHP χρησιμοποιείται για να αναλυθεί η σημαντικότητα διαφορετικών κινδύνων ενώ το TOPSIS χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μοντέλου αξιολόγησης.	International Conference on Future Information Technology and Management Engineering (2010)	AHP-TOPSIS
5. Assessing risk and uncertainty inherent in Chinese highway projects using AHP	Tarek Zayed Mohamed Amer Jiayin Pan	Σκοπός της έρευνας είναι σχεδιασμός μοντέλου για την διευκρίνιση των πηγών κινδύνου και αβεβαιότητας και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων σε αυτοκινητόδρομους με τη μέθοδο AHP.	International Journal Project Management 26 (2008) 408-419, Elsevier.	AHP
6. An integrated AHP-DEA methodology for bridge risk assessment	Ying-Ming Wang Jun Liu Taha M.S. Elhag	Αξιολόγηση της επικινδυνότητας έργων κατασκευής γεφυρών με τη συνδυασμένη μέθοδο AHP-DEA.	Computers & Industrial Engineering 54 (2008) 513-525	AHP
7. Project Risk Assessment Using the Analytic Hierarchy Process	Mohammed A. Mustafa Jamal F. Al-Bahar	Αξιολόγηση της ριποκινδυνότητας της κατασκευής της γέφυρας Jammuna στο Μπαγκλαντές με τη μέθοδο AHP.	IEEE Transaction on engineering management , Vol. 38, No. 1, February 1991.	AHP
8. Development of a Fuzzy Risk Assessment and Contractual Allocation Model for Iran's Dam Construction Projects	Jalal P. Majid, Ghoddosi Parviz, Hossein alipour Mojtaba	Δημιουργία ενός μοντέλου ασαφούς αξιολόγησης του κινδύνου για κατασκευαστικά έργα φραγμάτων στο Ιράν	(2008), First International Conference on Construction in Developing Countries (ICCIDC-I) "Advancing and Integrating Construction Education, Research and Practice", August 4-5, Karachi, Pakistan	FUZZY
9. Fuzzy Logic Based Hydro-Electric Power	Abbas M., Saleem	Έρευνα του συστήματος ελέγχου	(2011), International Journal of Scientific &	FUZZY

Dam Control System,	Khan M., Nasir Ali	ενός φράγματος υδροηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιώντας την ασαφή λογική (fuzzy logic).	Engineering Research, Volume 2, Issue 6, June	
10.Fuzzy logic to control dam system for irrigation and flooding	Naik P. Neelam,	Έρευνα του συστήματος ελέγχου ενός φράγματος όσον αφορά τη στάθμη του νερού με την μέθοδο της ασαφούς λογικής	(2011) International Conference in Advances in Computing and Communication (ICACC' 2011), April 8-10, India.	FUZZY
11.The application of variable fuzzy model in dam deformation evaluation	Diao Yanfang, Cong Fangjie, Wang Hongxiu	Εφαρμογή ενός fuzzy μοντέλου μεταβλητών για την αποτίμηση της παραμόρφωσης των φραγμάτων	(2011) International Conference on E-Business and E-Government (ICEE), 6-8 May.	FUZZY
12.A proposal for construction project risk assessment using fuzzy logic,	Tah J.H.M. and Carr V.	Δημιουργία ενός μοντέλου για την αποτίμηση των κινδύνων σε κατασκευαστικά έργα με τη χρήση της ασαφούς λογικής (fuzzy logic)	(2000) Construction Management and Economics, 18, 491–500	FUZZY
13.Using fuzzy risk assessment to rate cost overrun risk in international construction projects	Dikmen Irem, Birgonul M. Talat, Han Sedat	Μεθοδολογία fuzzy αξιολόγησης κινδύνου για διεθνή κατασκευαστικά έργα.	(2007) International Journal of Project Management 25, 494–505	FUZZY
14.Dam Safety Fusion Evaluation based on Fuzzy Pattern Recognition,	Jinping et al	Αποτίμηση της ασφάλειας των φραγμάτων με ένα fuzzy υπόδειγμα αναγνώρισης	(2011) International Conference on Computer Science and Service System (CSSS), 27-29 June	FUZZY



Σχήμα 5.7. Κατανομή χρησιμοποιούμενων μεθόδων υπάρχουσας κατάστασης.

Σύμφωνα με το σχήμα 5.7 παρατηρείται ότι η χρησιμοποιούμενη μέθοδος στα άρθρα της υπάρχουσας κατάστασης που αφορούν έργα φραγμάτων και λοιπά κατασκευαστικά έργα ευρύτερα μοιράζεται ισόποσα τόσο στη χρήση της μεθόδου AHP (50%, με 7 αναφορές), όσο και στη χρήση της μεθόδου της ασαφούς λογικής fuzzy logic (50%, με 7 αναφορές). Ειδικότερα η AHP χρησιμοποιείται σε τέσσερα άρθρα που μελετούν τον κίνδυνο σε έργα φραγμάτων και σε τρία άρθρα που μελετούν λοιπά κατασκευαστικά έργα. Τέλος η μέθοδος fuzzy logic χρησιμοποιείται σε πέντε άρθρα που μελετούν τον κίνδυνο σε έργα φραγμάτων και σε δυο άρθρα που μελετούν λοιπά κατασκευαστικά έργα.

5.3.2. Συμπεράσματα

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στην υπάρχουσα κατάσταση της αρθρογραφίας για την εκτίμηση του κινδύνου σε έργα φραγμάτων και σε λοιπά κατασκευαστικά έργα είναι η μέθοδος AHP, η μέθοδος της ασαφούς λογικής (fuzzy logic), η μέθοδος ANP και η μέθοδος TOPSIS σε συνδυασμό με τη μέθοδο AHP. Οι μέθοδοι AHP και fuzzy logic χρησιμοποιούνται σε μεγαλύτερο βαθμό σε σχέση με την ANP και την TOPSIS. Ανάμεσα στην AHP και fuzzy logic παρατηρείται ισορροπία στη χρήση, καθώς στην υπάρχουσα κατάσταση σημειώνονται επτά αναφορές για κάθε μια από αυτές τις δυο μεθόδους.

Η μέθοδος AHP χρησιμοποιείται αρκετά για την εκτίμηση του κινδύνου φραγμάτων κατά τη διάρκεια λειτουργίας τους (Peng et al, 2009; Ying et al, 2008; Gu et al, 2010). Κάποιοι συμπεραίνουν ποιος είναι ο μεγαλύτερος κίνδυνος στη λειτουργία των φραγμάτων όπως παραδείγματος χάρι ο Peng (2009) που καταλήγει στις σωληνώσεις και ο Gu (2010) που καταλήγει στις πλημμύρες και άλλοι αποτιμούν την επικινδυνότητα ενός φράγματος στο σύνολό της (Ying, 2008). Η μέθοδος της fuzzy logic χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του κινδύνου φραγμάτων κατά τη διάρκεια λειτουργίας τους σε μεγαλύτερο βαθμό σε σχέση με την μέθοδο AHP, καθώς πέντε αναφορές εμπεριέχουν την fuzzy logic [Jalal et al (2008); Diao et al (2011); Jiping et al (2011); Tah et al, (2000); Naik, (2011)] ενώ τρεις αναφορές την AHP. Μόνο μια αναφορά σημειώνεται, για την εκτίμηση κινδύνου κατά την φάση του διαγωνισμού διεθνών κατασκευαστικών έργων με τη χρήση της μεθόδου της fuzzy logic (Dikmen et al, 2007).

Επιπλέον, η μέθοδος AHP χρησιμοποιείται για να εκτιμήσει τον κίνδυνο σε κατασκευαστικά έργα ευρύτερα, όπως έργα αυτοκινητοδρόμων (Zayed, 2008), και γεφυρών [Wang (2008); Mustafa (1991)]. Οι δυο από τις τρεις έρευνες ταξινόμησαν τα έργα με βάση την επικινδυνότητά τους [(Zayed (2008); Wang (2008)] ενώ η άλλη έρευνα

αξιολόγησε την επικινδυνότητα ενός μόνο έργου (Mustafa et al, 1991). Επίσης αναδείχθηκε ότι ο πολιτικός και χρηματοοικονομικός κίνδυνος είναι υψηλός καθώς επίσης και η αναδυόμενη τεχνολογία και η έλλειψη πόρων, ενώ οι καιρικές συνθήκες προκαλούν μικρό κίνδυνο (Zayed, 2008).

Τα κύρια πλεονεκτήματα της μεθόδου AHP είναι ότι παρέχει μια ιεραρχική κατάτμηση ενός προβλήματος απόφασης γεγονός το οποίο βοηθάει στην καλύτερη κατανόηση της συνολικής διαδικασίας λήψης απόφασης, χειρίζεται τόσο ποσοτικά και ποιοτικά κριτήρια και τέλος είναι σχετικά εύχρηστη για τον ερευνητή. Αντίθετα η μέθοδος fuzzy logic είναι δύσκολη στην ανάπτυξη, απαιτεί μεγάλη υπολογιστική δύναμη και είναι δύσκολη να εξηγηθεί στους χρήστες. Το πλεονέκτημα της fuzzy logic είναι ότι παρέχει τα κατάλληλα μέσα για την μοντελοποίηση, αναπαράσταση και αντιμετώπιση προβλημάτων λήψης αποφάσεων τα οποία εμπεριέχουν κάποιο βαθμό ασάφειας είτε ως προς τις επιδόσεις των εναλλακτικών δραστηριοτήτων είτε ως προς τη μορφή της τελικής απόφασης που πρέπει να ληφθεί. Το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου AHP έγκειται στο φαινόμενο της αναστροφής των αξιολογήσεων των εναλλακτικών δραστηριοτήτων, γνωστό ως rank reversal και εμφανίζεται όταν μεταβληθεί το σύνολο των εξεταζόμενων εναλλακτικών δραστηριοτήτων μέσω της αφαίρεσης ή πρόσθεσης δραστηριοτήτων. Αναλυτικότερα όταν στο σύνολο των εξεταζόμενων εναλλακτικών δραστηριοτήτων A προστεθεί μια νέα εναλλακτική x' η οποία έχει πανομοιότυπες επιδόσεις σε όλα τα κριτήρια αξιολόγησης με μια εναλλακτική δραστηριότητα $x \in A$, τότε η αξιολόγηση των εναλλακτικών δραστηριοτήτων του νέου συνόλου $A' = A \cup x'$ διαφέρει από την αξιολόγηση των εναλλακτικών δραστηριοτήτων του αρχικού συνόλου A . Τέλος η μέθοδος ANP παρέχει μια λύση για προβλήματα που δεν μπορούν να δομηθούν ιεραρχικά εξαιτίας της πολυπλοκότητας των προβλημάτων απόφασης. Επιπλέον η ANP υπερέχει έναντι της AHP, στο γεγονός ότι επιτρέπει μια πιο ολοκληρωμένη αλληλεπίδραση ανάμεσα στα κριτήρια και τις εναλλακτικές μεταξύ διαφόρων επιπέδων ιεράρχησης. Αυτό επιβεβαιώνεται και με βάση την έρευνα των (Gu et al, 2010) όπου συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της μεθόδου AHP με αυτά της ANP καταδεικνύεται ότι η μέθοδος ANP μπορεί να δώσει πιο ορθολογικά αποτελέσματα.

6. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

6.1 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΗΡ

Η Αναλυτική Διαδικασία Ιεράρχησης (Analytic Hierarchy Process - AHP) η οποία παρουσιάστηκε από τον Thomas Saaty (1980), είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την αντιμετώπιση σύνθετων λήψεων απόφασης και βοηθά τον λήπτη της απόφασης να ορίσει προτεραιότητες και να λάβει την καλύτερη απόφαση. Μειώνοντας τις κρίσιμες αποφάσεις σε μια σειρά από συγκρίσεις ζευγών και έπειτα συνθέτοντας τα αποτελέσματα, η ΑΗΡ βοηθάει να καταγραφούν τόσο οι υποκειμενικές όσο και οι αντικειμενικές πτυχές μιας απόφασης. Επί πρόσθετα η ΑΗΡ ενσωματώνει μια κρίσιμη τεχνική για τον έλεγχο της συνέπειας των αξιολογήσεων του λήπτη της απόφασης, μειώνοντας με αυτό τον τρόπο την μεροληψία στη διαδικασία λήψης απόφασης.

Η ΑΗΡ εξετάζει ένα σύνολο κριτηρίων αξιολόγησης και ένα σύνολο εναλλακτικών επιλογών ανάμεσα στις οποίες η καλύτερη απόφαση θα ληφθεί. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, από τη στιγμή που κάποια από τα κριτήρια μπορεί να είναι αντικρουόμενα, δεν είναι αληθές γενικώς ότι η καλύτερη επιλογή είναι εκείνη η οποία βελτιστοποιεί κάθε κριτήριο αλλά εκείνη που επιτυγχάνει την περισσότερο κατάλληλη συναλλαγή ανάμεσα στα διαφορετικά κριτήρια.

Η ΑΗΡ δημιουργεί μια στάθμιση για κάθε κριτήριο αξιολόγησης σύμφωνα με τις συγκρίσεις ζευγών των κριτηρίων του λήπτη της απόφασης. Όσο μεγαλύτερη είναι η στάθμιση τόσο πιο σημαντικό το αντίστοιχο κριτήριο. Στη συνέχεια για κάθε κριτήριο η ΑΗΡ αντιστοιχεί μια βαθμολόγηση σε κάθε επιλογή σύμφωνα με τις συγκρίσεις των ζευγών των επιλογών που βασίζονται σε αυτό το κριτήριο. Όσο μεγαλύτερη η βαθμολόγηση τόσο καλύτερη η απόδοση της επιλογής με βάση το εξεταζόμενο κριτήριο. Τελικά η ΑΗΡ συνδυάζει τις σταθμίσεις των κριτηρίων και τις βαθμολογήσεις των επιλογών, καθορίζοντας έτσι μια συνολική βαθμολόγηση για κάθε επιλογή και μια επακόλουθη κατάταξη. Η συνολική βαθμολόγηση για μια δοθείσα επιλογή είναι το σταθμισμένο άθροισμα των βαθμολογήσεων που αποκτήθηκε λαμβάνοντας υπόψη όλα τα κριτήρια.

Στη γενική της μορφή η ΑΗΡ είναι ένα μη γραμμικό πλαίσιο για να διενεργήσει τόσο απαγωγική όσο και επαγωγική σκέψη χωρίς τη χρήση του συλλογισμού του ότι

λαμβάνοντας υπόψη διάφορους παράγοντες ταυτόχρονα και επιτρέποντας εξάρτηση και ανάδραση και λήψη αριθμητικών συναλλαγών να εξάγει ένα συμπέρασμα [Saaty 1987].

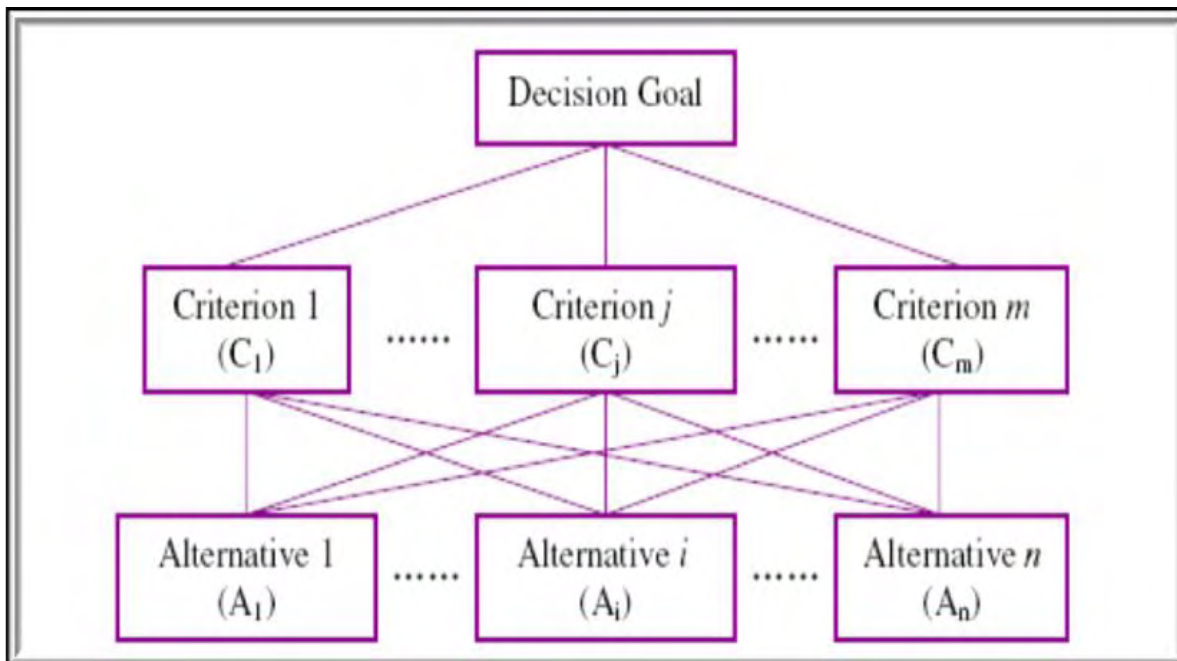
Τα κύρια πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι [Jadhav και Sonar,2009]:

- Παρέχει μια ιεραρχική κατάτμηση ενός προβλήματος απόφασης γεγονός το οποίο βοηθάει στην καλύτερη κατανόηση της συνολικής διαδικασίας λήψης απόφασης.
- Χειρίζεται τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά κριτήρια
- Βασίζεται σε σχετικές συγκρίσεις ζευγών όλων των συστατικών της απόφασης: αντί να ορίζει αυθαίρετα ένα ποσοστό – αποτέλεσμα και μια στάθμιση για κάθε συστατικό της απόφασης, η AHP επιτρέπει τον λήπτη της απόφασης να επικεντρωθεί στην σύγκλιση δυο κριτηρίων / εναλλακτικών τη φορά, έτσι με αυτόν τον τρόπο μειώνει την πιθανότητα να ορίσει βαθμολογίες που βασίζονται μόνο σε προσωπικές αντιλήψεις των αξιολογητών ή άλλων εξωτερικών επιρροών
- Η AHP εφαρμόζεται τόσο σε ατομική όσο και βασισμένη λήψη απόφασης (αυτό συχνά επιτυγχάνεται λαμβάνοντας υπόψη το γεωμετρικό μέσο των τιμών σύγκρισης).
- Επιτρέπει ελέγχους συνέπειας κατά την κρίση πάνω σε κρίσεις απόφασης που αφορούν ζεύγη.
- Υποστηρίζει ανάλυση ευαισθησίας για την εξέταση των επιδράσεων των μεταβαλλόμενων τιμών των σταθμίσεων των κριτηρίων στην τελική κατάταξη των εναλλακτικών απόφασης.

6.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ AHP

Σκοπός της διαδικασίας υλοποίησης της AHP είναι ο καθορισμός του στόχου, των κριτηρίων και των εναλλακτικών επιλογών του προβλήματος λήψης απόφασης. Στην παρούσα εργασία στόχος είναι η κατάταξη σε αύξουσα σειρά των φραγμάτων σε σχέση με το βαθμό κινδύνου.

Στη συνέχεια τα στοιχεία αυτά (κριτήρια – κίνδυνοι και εναλλακτικές – φράγματα) τοποθετούνται σε ένα δένδρο ιεράρχησης. Στο σχήμα 6.1. παρουσιάζεται το δένδρο ιεράρχησης.



Πηγή: Y.-M. Wang et al. / *Computers & Industrial Engineering* 54 (2008) 513–525.

Σχήμα 6.1. Δένδρο Ιεράρχησης Μεθόδου AHP

Στο πρώτο επίπεδο ο αποφασίζων πρέπει να δομήσει ιεραρχικά το πρόβλημα. Στην κορυφή της ιεραρχίας τοποθετείται ο γενικός στόχος του προβλήματος. Στο δεύτερο στάδιο τοποθετούνται τα κριτήρια απόφασης, καθένα από τα οποία αναλύεται, στα κατώτερα επίπεδα της ιεραρχίας στα επιμέρους υπο-κριτήρια που το συνθέτουν. Στο τελευταίο επίπεδο τοποθετούνται οι διάφορες εναλλακτικές λύσεις του εξεταζόμενου προβλήματος απόφασης. Οι λύσεις αυτές αναφέρονται σε ένα περιορισμένο σύνολο εναλλακτικών δραστηριοτήτων. Σε τέτοιες περιπτώσεις η μέθοδος ουσιαστικά οδηγεί στην κατάταξη των εναλλακτικών δραστηριοτήτων από τις καλύτερες προς τις χειρότερες. Οι εναλλακτικές λύσεις του τελευταίου επιπέδου της ιεραρχίας δύναται να αναφέρονται και στις επιμέρους επιλογές που διαθέτει ο αποφασίζων όταν καλείται να λάβει μια απόφαση σχετικά με την ταξινόμηση των εναλλακτικών δραστηριοτήτων σε προκαθορισμένες κατηγορίες. Έτσι εάν η ταξινόμηση αφορά δυο κατηγορίες τότε το τελευταίο στάδιο της ιεραρχίας θα περιλαμβάνει δυο στοιχεία καθένα από τα οποία θα αντιστοιχεί στην απόφαση ταξινόμησης μιας εναλλακτικής δραστηριότητας σε μια εκ' των δυο κατηγοριών. (Δούμπος Μ., Ζαπουνίδης Κ. 2001).

Στο στάδιο της συγκριτικής αξιολόγησης καθορίζεται η σημαντικότητα κάθε κριτηρίου στην επίτευξη του στόχου και οι επιδόσεις των εναλλακτικών επιλογών σε κάθε κριτήριο. Η σημαντικότητα κάθε κριτηρίου εκφράζεται από έναν αριθμό που ονομάζεται

βάρος (στάθμιση). Η επίδοση κάθε εναλλακτικής σε κάθε κριτήριο εκφράζεται και πάλι με έναν αριθμό.

Για τον υπολογισμό των βαρών των κριτηρίων αρχικά δημιουργείται ένας τετραγωνικός πίνακας γνωστός ως συγκριτικός ανά ζεύγη πίνακας. Οι γραμμές και οι στήλες του πίνακα αντιστοιχούν στα κριτήρια και προκύπτει πόσο σημαντικό είναι το κάθε κριτήριο σε σχέση με το άλλο. Για την επίτευξη της σύγκρισης ανάμεσα στα κριτήρια χρησιμοποιείται η κλίμακα του σχήματος 2. Το επόμενο βήμα είναι η μετατροπή του συγκριτικού ανά ζεύγη πίνακα σε ένα διάνυσμα βαρών.

Numerical rating	Verbal judgments of preferences
9	Extremely preferred
8	Very strongly to extremely preferred
7	Very strongly preferred
6	Strongly to very strongly preferred
5	Strongly preferred
4	Moderately to strongly preferred
3	Moderately preferred
2	Equally to moderately preferred
1	Equally preferred

Πηγή: Gerogiannis V., Fitsilis P., Tsinidou M., (2010), *Evaluation of the factors that determine quality in higher education: an empirical study*, *Quality Assurance in Education*, Vol.18, No. 3, pp.227-244

Σχήμα 6.2. 1 – 9 κλίμακα για τη σύγκριση ανά ζεύγη κριτηρίων

Για τον υπολογισμό των επιδόσεων των εναλλακτικών επιλογών ακολουθείται αντίστοιχη διαδικασία. Σχηματίζεται ο συγκριτικός ανά ζεύγη πίνακας και έπειτα προκύπτει το διάνυσμα των επιδόσεων.

Στο στάδιο της σύνθεσης χρησιμοποιούνται τα βάρη των κριτηρίων και οι επιδόσεις των εναλλακτικών επιλογών στα κριτήρια προκειμένου να καθοριστούν οι συνολικές επιδόσεις των εναλλακτικών στο στόχο του προβλήματος. Αυτές προκύπτουν με πολλαπλασιασμό του διανύσματος των επιδόσεων κάθε εναλλακτικής επιλογής με το διάνυσμα των βαρών.

Τέλος λόγω του ότι κάθε συγκριτικός ανά ζεύγη πίνακας μπορεί να παρουσιάζει ασυνέπεια διεξάγεται έλεγχος συνέπειας.

6.3 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ELECTRE I

Η μέθοδος Electre (Elimination Et Shoix Traduisant La Realite) είναι εκπρόσωπος των μεθόδων υπεροχής. Οι μέθοδοι υπεροχής είναι μια από τις 4 μεγάλες οικογένειες

πολυκριτήριας υποστήριξης αποφάσεων (Σαμαράς, 2004). Οι τελευταίες είναι οι ακόλουθες:

- Η θεωρία της πολυκριτήριας χρησιμότητας
- Οι αλληλεπιδραστικές μέθοδοι
- Η ανάλυση προτιμήσεων
- Οι μέθοδοι υπεροχής

Η θεωρία της πολυκριτήριας χρησιμότητας στηρίζεται στην υπόθεση, σύμφωνα με την οποία η συλλογιστική του αποφασίζοντα μπορεί να συμπυκνωθεί στη μεγιστοποίηση μιας συνάρτησης χρησιμότητας. Αυτή η συνάρτηση χρησιμότητας, που είναι αντιπροσωπευτική των προτιμήσεων του αποφασίζοντα, μεγιστοποιείται σε πολλαπλά κριτήρια. Το πλεονέκτημα της χρησιμότητας είναι ότι επιτρέπει να ενσωματωθεί στο μοντέλο απόφασης και η στάση του αποφασίζοντα έναντι του κινδύνου.

Οι αλληλεπιδραστικές μέθοδοι (Interactives Methods) προέρχονται από την εξέλιξη των μεθόδων πολυκριτήριας υποστήριξης αποφάσεων προς μια επαύξηση του ρόλου του αποφασίζοντα, μέσω της ενσωμάτωσής του στη διαδικασία επίλυσης. Στις αλληλεπιδραστικές μεθόδους εντάσσεται ο πολυκριτήριος μαθηματικός προγραμματισμός και ο πολυστοχικός μαθηματικός προγραμματισμός. Η λύση είναι προϊόν αλληλεπίδρασης μεταξύ του αποφασίζοντα από τη μια πλευρά και του αναλυτή ή του υπολογιστή από την άλλη. Εκπρόσωπος των αλληλεπιδραστικών μεθόδων είναι η μέθοδος ADELAIS.

Η μέθοδος της ανάλυσης προτιμήσεων (Preference Disaggregation Analysis) συγγενεύει από ορισμένες απόψεις με τη θεωρία της πολυκριτήριας χρησιμότητας και από άλλες απόψεις με τις αλληλεπιδραστικές μεθόδους. Η προσέγγιση αυτή χρησιμοποιεί μεθόδους παλινδρόμησης. Η συνάρτηση χρησιμότητας υποκαθίσταται με το σύστημα προτιμήσεων του αποφασίζοντα ενώ στη θεωρία της αναμενόμενης χρησιμότητας είναι απλά ένα μαθηματικό εργαλείο προορισμένο να απεικονίσει μια προδιάταξη. Εκπρόσωποι της προσέγγισης της ανάλυσης προτιμήσεων είναι οι μέθοδοι UTA και UTA DIS.

Οι μέθοδοι σχέσεων υπεροχής (Outranking Methods) βασίζονται στην ιδέα ότι οι προτιμήσεις του αποφασίζοντα έναντι πολλαπλών κριτηρίων υπόκεινται στην εντύπωση, την απροσδιοριστία και την αβεβαιότητα. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η χρησιμοποίηση μιας συνάρτησης χρησιμότητας, που ανάγει ένα πολυκριτήριο πρόβλημα σε μονοκριτήριο, αποκλείοντας κάθε ασυγκρισμότητα ενδέχεται να οδηγήσει σε αυθαίρετα αποτελέσματα. Ακόμη η μεταβατικότητα των προτιμήσεων που επιβάλλεται από το μοναδικό κριτήριο σύνθεσης μπορεί να οδηγήσει επίσης σε λάθος αποτελέσματα.

Μέσα σε αυτό το πλαίσιο μια μέθοδος πολυκριτήριας υποστήριξης αποφάσεων θα πρέπει να είναι σε θέση να διατυπώσει στέρεες και αποσαφηνισμένες προτιμησησικές καταστάσεις, καθώς επίσης να μπορεί να δέχεται τη μη συγκρισιμότητα και την ύπαρξη μη μεταβατικότητας. Η φιλοσοφία των μεθόδων σχέσεων υπεροχής εδράζεται στη δόμηση μιας σχέσης υπεροχής, η οποία αντιπροσωπεύει την προτίμηση του αποφασίζοντα η οποία δεν είναι μεταβατική. Οι πληροφορίες που απαιτούνται για τη δόμηση σχέσεων υπεροχής, σε προβλήματα επιλογής ή ταξινόμησης, είναι πολύ λιγότερες από εκείνες που απαιτεί η θεωρία της πολυκριτήριας χρησιμότητας που αντιμετωπίζει προβλήματα κατάταξης. Ακόμη η μη συγκρισιμότητα επιτρέπει να μοντελοποιήσουμε στιγμές της διαδικασίας απόφασης, όπου οι προτιμήσεις του αποφασίζοντα παραμένουν κατά ένα μέρος αβέβαιες. Στον Πίνακα 6.1 παρουσιάζονται οι προβληματικές αναφορές, δηλαδή τα θέματα των προβλημάτων στα οποία απαντάνε οι προηγούμενες 4 οικογένειες μεθόδων πολυκριτήριας υποστήριξης αποφάσεων.

Πίνακας 6.1. Προβληματικές Αναφορές

<i>Προβληματική</i>	<i>Σκοπός</i>	<i>Αποτέλεσμα</i>
A	Επιλογή από ένα υποσύνολο εναλλακτικών ενεργειών της καλύτερης ή απουσία αυτής της πιο ικανοποιητικής	Επιλογή
B	Ταξινόμηση των εναλλακτικών ενεργειών σε προκαθορισμένες κατηγορίες	Ταξινόμηση
Γ	Κατάταξη εναλλακτικών ενεργειών σε κλάσεις ισοδυναμίας. Οι κλάσεις είναι διατεταγμένες με ολικό ή μερικό τρόπο.	Κατάταξη
Δ	Περιγραφή σε κατάλληλη γλώσσα των εναλλακτικών ενεργειών και των επιπτώσεών τους	Περιγραφή

Πηγή: Σαμαράς (2004)

Η οικογένεια μεθόδων Electre περιλαμβάνει διάφορες εκδόσεις καθεμία από τις οποίες προορίζεται για την αντιμετώπιση συγκεκριμένου τύπου προβλήματος απόφασης. Ο Πίνακας 6.2 περιλαμβάνει τους τύπους των προβληματικών που επιλύει η κάθε έκδοση.

Πίνακας 6.2 Προβληματικές ανά έκδοση Electre

Electre I	Προβληματική α
Electre II	Προβληματική γ
Electre III	Προβληματική γ
Electre IV	Προβληματική γ
Electre IS	Προβληματική α
Electre TRI	Προβληματική β

Πηγή: Σαμαράς (2004)

Η Electre I η οποία χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία είναι χρονολογικά η πρώτη μέθοδος της οικογενείας². Η μέθοδος έχει για στόχο την υποστήριξη σε προβλήματα αποφάσεων, για την τελική επιλογή μιας εναλλακτικής από το σύνολο των εναλλακτικών ενεργειών. Η μέθοδος συνθέτει τις μερικές προτιμήσεις σε μια σχέση υπεροχής που αναλύεται σε μορφή γραφήματος. Το ζητούμενο υποσύνολο αποτελείται από τον πυρήνα του γραφήματος, στον οποίο αναζητείται η τελική λύση.

6.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ELECTRE I

Η μέθοδος ELECTRE I αναπτύχθηκε το 1986 από τον Bernard Roy στο πλαίσιο της προβληματικής α (επιλογή) και για πραγματικά κριτήρια (μετρικά ή διάταξης). Εκτός από τον πίνακα πολυκριτηρίων αξιολογήσεων των δράσεων του συνόλου A, η μέθοδος απαιτεί την ύπαρξη δεδομένων τριών τύπων (Σίσκος, 2008):

- Συντελεστής σημαντικότητας (βάρη) των κριτηρίων p_1, p_2, \dots, p_n : πρόκειται για θετικά βάρη των κριτηρίων, χωρίς συγκεκριμένη φυσική σημασία, τα οποία κανονικοποιούνται από τη σχέση:

$$\sum_{i=1}^n p_i = \mathbf{1} \quad (7.1)$$

Τα βάρη αυτά εκφράζουν τη σχετική σημαντικότητα των κριτηρίων και δίνονται από τον αποφασίζοντα ή υπολογίζονται έμμεσα.

² Για λεπτομέρειες των υπόλοιπων εκδόσεων Electre βλέπε Σαμαράς (2004) σελ. 93-94

- Κατώφλι συμφωνίας: Είναι καθαρός αριθμός που δίνεται από τον αναλυτή του προβλήματος και κυμαίνεται από 0,5 έως 1, δηλαδή $s \in (0,5,1]$.
- Κατώφλι βέτο v_1, v_2, \dots, v_n : Πρόκειται για n αριθμούς, όσα και τα κριτήρια, που έχουν ως στόχο τους τον έλεγχο των μεγάλων διαφορών μεταξύ των τιμών των δράσεων.

Το λογικό διάγραμμα της μεθόδου δίνεται στο σχήμα 7.2 Για ένα ζεύγος δράσεων (a, b) η σχέση της υπεροχής ορίζεται με τον εξής τρόπο:

$$aSb \leftrightarrow (a, b) \text{ ικανοποιεί τις συνθήκες συμφωνίας και διαφωνίας (7.2)}$$

Έλεγχος συμφωνίας

Ορίζεται ως δείκτης συμφωνίας για κάθε ζεύγος δράσεων (a, b), η συνάρτηση:

$$C(a, b): A \times A \rightarrow [0,1] \quad (7.3)$$

$$C(a, b) = \sum_{i^*}^n P_i, \text{ με } i^* \in \{i / g_i(a) \geq g_i(b)\} \quad (7.4)$$

Δηλαδή $C(a, b)$ είναι το άθροισμα των βαρών των κριτηρίων για τα οποία η δράση a προτιμάται ή είναι αδιάφορη της b. Λόγω της σχέσης (7.1), η ποσότητα αυτή δεν μπορεί να υπερβεί τη μονάδα (ισούται με τη μονάδα όταν η a κυριαρχεί της b, δηλαδή $a \Delta b$).

Το ζεύγος (a, b) ικανοποιεί τη συνθήκη συμφωνίας όταν ισχύει:

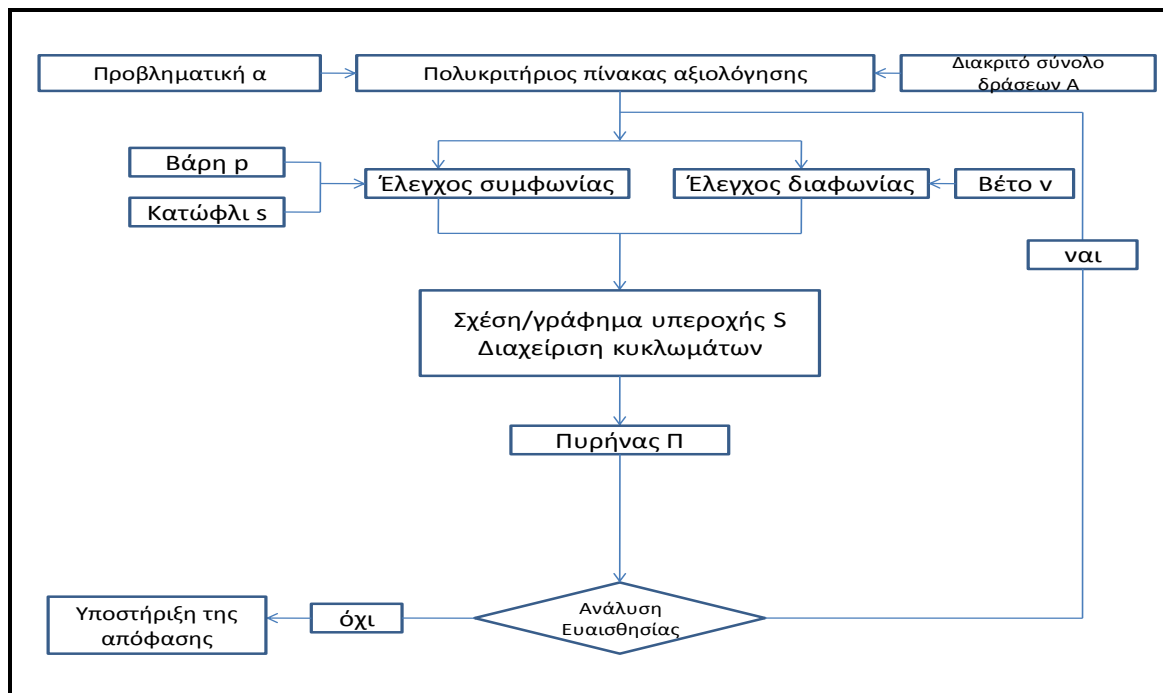
$$C(a, b) \geq s, \text{ όπου } s \text{ το κατώφλι συμφωνίας. (7.5) (Σαμαράς, 2004).}$$

Έλεγχος ασυμφωνίας

Το ζεύγος δράσεων (a, b) ικανοποιεί τη συνθήκη ασυμφωνίας (discordance), όταν ισχύει: $g_i(b) - g_i(a) < u_i$ όπου $i \in \{i / g_i(a) < g_i(b)\}$

Ο δείκτης i ανήκει στο σύνολο των κριτηρίων για τα οποία η δράση b προτιμάται της a, ενώ u_i είναι το κατώφλι βέτο του κριτηρίου i . Σε περίπτωση που μια διαφορά εκτιμήσεων υπέρ της δραστηριότητας b υπερβαίνει το κατώφλι βέτο ενός κριτηρίου, το κριτήριο αυτό θέτει βέτο στην υπεροχή της a έναντι της b.

Η σχέση υπεροχής S, όπως ορίστηκε παραπάνω, θα μπορούσε να παρασταθεί με τη βοήθεια μήτρας (όταν $a S b$ τίθεται 1, αλλιώς 0) ή / και γραφήματος, όπου η φορά του βέλους είναι από την ενέργεια που υπερέχει προς την ενέργεια που υπερέχεται.



Πηγή: Σίσκος, (2008)

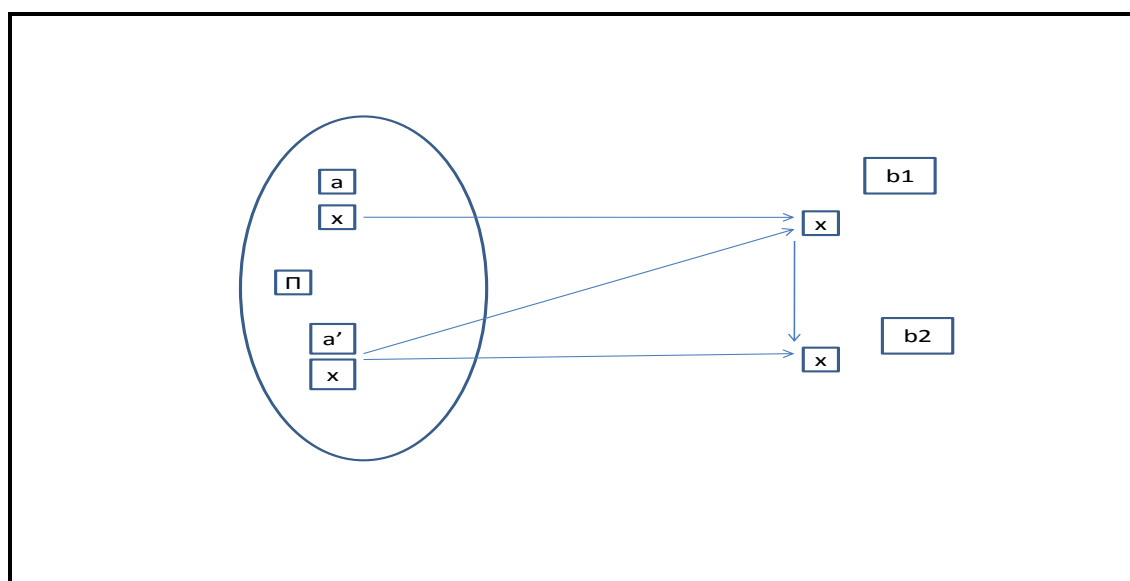
Σχήμα 6.3. Λογικό διάγραμμα μεθόδου

Ανάλυση των αποτελεσμάτων

Κατασκευή του πυρήνα

Ορίζουμε ως πυρήνα του γραφήματος υπεροχής, ένα υποσύνολο Π του A , για το οποίο ισχύουν οι δυο παραπάνω ιδιότητες:

- (1) $\forall b \in A - \Pi \exists a \in \Pi$ για το οποίο $a S b$.
- (2) $\forall b \in \Pi$ και $a' \in \Pi$ $a \$ a'$ και $a' \$ a$.



Σχήμα 6.4 Πυρήνας γραφήματος υπεροχής

Σύμφωνα με τον ορισμό αυτόν, ο πυρήνας θα περιέχει τις καλύτερες ενέργειες του συνόλου A , που θα πρέπει να απασχολήσουν τον αποφασίζοντα.

Διαχείριση Κυκλωμάτων

Ένα γράφημα υπεροχής, που έχει κυκλώματα, μπορεί να μην περιέχει πυρήνα ή αντίθετα, να περιέχει περισσότερους από έναν πυρήνες. Απεναντίας, γράφημα χωρίς κανένα κύκλωμα περιέχει πάντα έναν και μοναδικό πυρήνα.

Σε περίπτωση ύπαρξης κυκλωμάτων, αυτά αντικαθίσταται από εικονικές κορυφές. Η κατανόηση της φύσης μιας τέτοιας κορυφής επιτυγχάνεται με τη βοήθεια πρόσθετων στοιχείων, όπως :

- Οι ενέργειες που αποτελούν το κύκλωμα
- Ο βαθμός συνάφειας των ενεργειών του κυκλώματος, που καθορίζεται από τον λόγο του αριθμού των τόξων που απαιτούνται για να θεωρηθούν όλες ως ισοδύναμες.
- Τα ποσοστά σύνδεσης του κυκλώματος με τις άλλες ενέργειες.

7. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ ΣΤΟΝ ΝΟΜΟ ΤΡΙΚΑΛΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΔΗΡ

Τα δεδομένα της παρούσας μελέτης αφορούν τρία φράγματα στο Νομό Τρικάλων και συγκεκριμένα:

- το 1^ο φράγμα είναι στη θέση **Αγία Παρασκευή Δήμου Χασίων**. Πρόκειται για την κατασκευή χωμάτινου φράγματος με πυρήνα, απ' όπου το νερό συλλέγεται στον ταμιευτήρα του φράγματος. Το έργο εξυπηρετεί αγροτικές κυρίως ανάγκες (άρδευση και κτηνοτροφία) της περιοχής. Προϋπολογισμός του έργου ήταν 400.000€.
- το 2^ο φράγμα αφορά μικροφράγματα στα **Δημοτικά Διαμερίσματα Γριζάνου – Παναγίτσας Δήμου Φαρκαδόνας**. Σκοπός του έργου είναι η κατασκευή μικροφραγμάτων που εξυπηρετεί τις κτηνοτροφικές ανάγκες των Δημοτικών Διαμερισμάτων Γριζάνου και Παναγίτσας. Προϋπολογισμός του έργου ήταν 310.000 €.
- το 3^ο φράγμα το φράγμα **Λογγά**. Σκοπός του έργου είναι η κατασκευή έργων για την ύδρευση των Δημοτικών Διαμερισμάτων Μαυρέλι, Φωτεινού, Κονισκού και Καλλιθέας. Προϋπολογισμός του έργου ήταν: 2.400.000 €.

7.1 ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΚΙΝΔΥΝΩΝ

Τα κριτήρια (πηγές κινδύνου) προέκυψαν μέσα από συνεντεύξεις με τον επιβλέποντα των παραπάνω έργων. Οι παράγοντες αυτοί συνοψίζονται στα παρακάτω κριτήρια κινδύνου μετά την κατασκευή του φράγματος.

Πίνακας 7.1. Κριτήρια Κινδύνου Φραγμάτων

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ - ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

- K1:Εσωτερική διάβρωση σε χωμάτινα φράγματα
- K2:Συνολική αστοχία φράγματος συμπεριλαμβανομένης της θεμελίωσης
- K3:Κατολισθήσεις στα πρανή του ταμιευτήρα
- K4:Σεισμοί
- K5:Πλημμύρες – ανεπάρκεια υπερχειλιστή

Πηγή: Επιβλέποντας έργων

❖ **K1: Εσωτερική διάβρωση σε χωμάτινα φράγματα**

Είναι ένας παράγοντας κινδύνου που μπορεί να έχει καταστροφικές συνέπειες αν δεν αντιμετωπισθεί αποτελεσματικά καθώς μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της χωρητικότητας του ταμιευτήρα αλλά και αστοχία του φράγματος λόγω υπερπήδησης του νερού πάνω από τη στέψη, φαινόμενο που αποτελεί την πιο κοινή αιτία αστοχίας των χωμάτινων φραγμάτων. Ο καλύτερος τρόπος αντιμετώπισης τέτοιου είδους προβλημάτων είναι η κατανόηση των μηχανισμών που επηρεάζουν τις καθιζήσεις της στέψης (η αστάθεια των πρανών, η εσωτερική διάβρωση, η συμπίκνωση των στρωμάτων θεμελίωσης, η μεταβολή του όγκου του αργιλικού πυρήνα λόγω μεταβολών στην υγρασία, η συμπίκνωση του υλικού των πρανών και οι μεταβολές της στάθμης του ταμιευτήρα) και ο καθορισμός των κρίσιμων τιμών των παραμέτρων που τις ελέγχουν.

❖ **K2: Συνολική αστοχία φράγματος συμπεριλαμβανομένης της θεμελίωσης**

οφείλεται κυρίως στην έλλειψη γεωλογικής πληροφόρησης καθώς και στο συνδυασμό παραγόντων όπως έντονες βροχοπτώσεις, ύπαρξη ρήγματος που έχει καλυφτεί με αργιλικό υλικό το οποίο διερχόταν κάτω από το φράγμα χωρίς να έχει εντοπισθεί από γεωλογικές έρευνες. Επίσης συνολική αστοχία φράγματος έχουμε και στην κατολίσθηση του πρανού του ταμιευτήρα καθώς και στις μεγάλες παραμορφώσεις στη θεμελίωση του φράγματος.

❖ **K3: Κατολισθήσεις στα πρανή του ταμιευτήρα**

Η παρουσία υψηλής στάθμης υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα που βρίσκεται μέσα στο πρανές ασκεί υδροστατικές πιέσεις που μειώνουν την ευστάθεια του πρανού, ενώ στα βραχώδη πρανή η εναλλαγή των φάσεων του νερού (νερό, πάγος, κλπ.) αυξάνει το εύρος ασυνεχειών και ασκεί πιέσεις, ενώ παράλληλα διευκολύνει και την κυκλοφορία νερού σε βαθύτερα σημεία. Επί πλέον όταν το νερό κινείται μεταξύ περατού και λιγότερου περατού στρώματος λειτουργεί ως «λιπαντικό» μέσο που βοηθά στην αστοχία, αστάθεια πρανών και κινδύνων κατολισθήσεων με την άνοδο υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα λόγω του ταμιευτήρα.

❖ **K4: Σεισμοί**

Οι σεισμοί μπορούν να προκαλέσουν μικρές ή μεγάλες ζημιές στα φράγματα με μικρές πιθανότητες ολοκληρωτικής καταστροφής. Ένας σεισμός μπορεί να προκαλέσει ρηγματώσεις, καθιζήσεις, μετακινήσεις και ρευστοποιήσεις στα υλικά

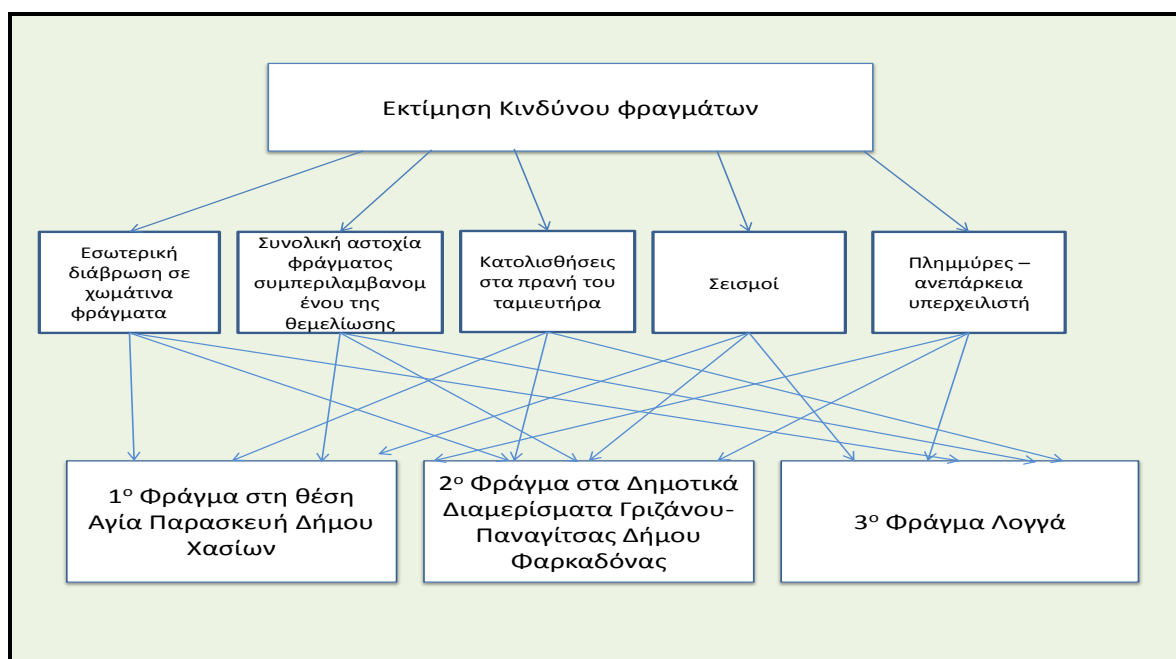
ενός φράγματος. Η σεισμική φόρτιση σε ένα χωμάτινο φράγμα ιδιαίτερα στα πρανή που αποτελούνται από χαλαρά ή μικρής συνεκτικότητας υλικά κατά τη διάρκεια του σεισμικού κραδασμού έχει σαν αποτέλεσμα μείωση του αλληλοκλειδώματος μεταξύ των κόκκων ή μείωση της συνοχής και το πρανές οδηγείται σε αστοχία.

❖ **K5: Πλημμύρες – ανεπάρκεια υπερχειλιστή**

είναι από τις πιο κοινές αιτίες αστοχιών φραγμάτων και δεν έχει καμία σχέση με τη γεωλογία της περιοχής φραγμάτων. Οποιοδήποτε ανάχωμα κινδυνεύει να αστοχήσει εάν ο υπερχειλιστής είναι μικρός και η πλημμύρα αρκετά μεγάλη ώστε να περάσει πάνω από την στέψη του αναχώματος. Μια τέτοια υπερχειλίση μπορεί να προκληθεί επίσης από ένα κύμα που θα προκαλέσει μια κατολίσθηση στον ταμιευτήρα μετά από σεισμό, ή μια μεγάλη κίνηση σε κάποιο ρήγμα που διασχίζει τα θεμέλια του φράγματος.

7.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΑΗΡ

Σκοπός είναι μέσω της ΑΗΡ να οδηγηθούμε από το αρχικό και δύσκολο πρόβλημα απόφασης, σε όλο και μικρότερα επιμέρους προβλήματα. Γι' αυτό το λόγο σε αυτή την ενότητα θα ταξινομήσουμε τα βήματα και τα στάδια υλοποίησης εφαρμογής της ΑΗΡ. Στο σχήμα 7.1 απεικονίζεται μια αρχική εικόνα του προβλήματος. Τα δεδομένα αυτά θα χρησιμοποιηθούν για να επιλυθεί το πρόβλημα της εκτίμησης κινδύνου φραγμάτων μετά την κατασκευή τους.



Σχήμα 7.1.: Δένδρο Ιεράρχησης Φραγμάτων

- ❖ Το πρώτο επίπεδο στο δένδρο ιεράρχησης καταλαμβάνει ο στόχος του προβλήματος «Εκτίμηση Κινδύνου Φραγμάτων».
- ❖ Το δεύτερο επίπεδο της ιεραρχικής αποτύπωσης καταλαμβάνουν «τα κριτήρια τα οποία λαμβάνονται υπόψη τα οποία οριστικοποιήθηκαν με συνέντευξη από επιβλέποντα των έργων».
- ❖ Το τρίτο και τελευταίο επίπεδο του δένδρου ιεράρχησης συνιστούν οι «αξιολογούμενες εναλλακτικές όπου είναι τα τρία φράγματα τα οποία θα εξεταστούν στην παρούσα εργασία».

Πριν την υλοποίηση της μεθόδου υποβλήθηκαν ερωτηματολόγια (όπου εμφανίζονται στα παραρτήματα Α και Β) τα οποία απαντήθηκαν από τον κατασκευαστή των φραγμάτων. Οι κατά ζεύγη συγκρίσεις έγιναν με τη διαδοχική υποβολή ερωτήσεων στον κατασκευαστή, του τύπου:

« Πόσο σημαντικό είναι το κριτήριο εσωτερική διάβρωση σε χωμάτινα φράγματα σε σχέση με το κριτήριο συνολική αστοχία φράγματος συμπεριλαμβανομένης της θεμελίωσης;» (από παράρτημα Α). Κατά την αξιολόγηση ακολουθήθηκε η κλίμακα όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.1. Η απάντηση που δόθηκε είναι ότι η συνολική αστοχία φράγματος είναι 5 φορές πιο επικίνδυνη από την εσωτερική διάβρωση. Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε με τον ίδιο τρόπο για κάθε κριτήριο.

Η εισαγωγή και η επεξεργασία των συγκρίσεων έγινε ηλεκτρονικά στο λογισμικό του Microsoft Excel το οποίο προσαρμόστηκε ανάλογα με τις ανάγκες του προβλήματος. Με την καταχώρηση των δεδομένων στο σύστημα επιταχύνθηκε η διαδικασία των συγκρίσεων με τα αποτελέσματα να υπολογίζονται άμεσα. Με τον τρόπο αυτό ο κατασκευαστής των φραγμάτων έβλεπε άμεσα τα αποτελέσματα των συγκρίσεών του και μπορούσε να προβεί στις απαραίτητες διορθώσεις αν έκρινε πως σε κάποιο αποτέλεσμα υπήρχε ασυνέπεια³. Στην πλειονότητα των ερωτήσεων κάτι τέτοιο δεν κρίθηκε αναγκαίο, καθώς ο αποφασίζων είχε ολοκληρωμένη και κατασταλαγμένη άποψη για τις απαντήσεις του.

Στη συνέχεια γίνεται εφαρμογή της μεθόδου όπου υπάρχουν τα ακόλουθα στάδια και βήματα.

³ Ασυνέπεια υπάρχει όταν ο ερωτώμενος απαντάει ότι θεωρεί το φράγμα 1 είναι πιο επικίνδυνο από το φράγμα 2 (σε ένα κριτήριο) και το φράγμα 2 πιο επικίνδυνο από το φράγμα 3 και στη συνέχεια βαθμολογεί το φράγμα 3 ως πιο επικίνδυνο από το φράγμα 1.

❖ **Στάδιο 1^ο:** Υπολογισμός Βαρών Κριτηρίων. Για τον υπολογισμό των βαρών κριτηρίων δημιουργείται ένας τετραγωνικός πίνακας γνωστός ως συγκριτικός ανά ζεύγη πίνακας. Η διαγώνιος του πίνακα έχει πάντα τον αριθμό 1 και αντιστοιχεί στη σύγκριση του κάθε κριτηρίου με τον εαυτό του. Τα σχετικά βάρη πάνω από τη διαγώνιο προκύπτουν από την πρωτογενή σύγκριση των κριτηρίων ανά ζεύγη, ενώ κάτω από τη διαγώνιο τα σχετικά βάρη λαμβάνονται με την αντιστροφή των αντίστοιχων συμμετρικών βαρών.

Βήμα 1^ο: Μήτρα Βαρών Κριτηρίων. Τα βάρη υπολογίζονται με βάση τις προτιμήσεις του αποφασίζοντα όπως έχουν αποτυπωθεί στον πίνακα. Η τιμή του πίνακα που αντιστοιχεί στη γραμμή i και τη στήλη j , η οποία συμβολίζεται με a_{ij} , δηλώνει τη σπουδαιότητα του κριτηρίου i ως προς το κριτήριο j . Η κλίμακα που χρησιμοποιείται ορίζεται ως εννεαβάθμια (όσο μεγαλύτερη βαθμολόγηση τόσο πιο σημαντικό κριτήριο το πρώτο από τα δύο). Εάν x η σχετική σημαντικότητα των κριτηρίων x έναντι του κριτηρίου b , τότε η σημαντικότητα του κριτηρίου b έναντι του x είναι $1/x$. Η αντίστροφη ερώτηση βαθμολογείται από $1/x$ έως 1. Η τιμή η οποία αντιστοιχεί στην γραμμή i και στην στήλη j δηλώνει την σπουδαιότητα του κριτηρίου i ως προς το κριτήριο j . Η φορά σημαντικότητας των κριτηρίων ορίζονται ως εξής:

Η τιμή η οποία ισούται με ακέραιο αριθμό 1 δείχνει την εξίσου σημαντικότητα των κριτηρίων i και j .

Η τιμή η οποία ισούται με ακέραιο αριθμό 3 δείχνει ότι το κριτήριο i είναι ελαφρώς πιο σημαντικό έναντι του j .

Η τιμή η οποία ισούται με ακέραιο αριθμό 5 δείχνει ότι το κριτήριο i είναι αρκετά πιο σημαντικό έναντι του j .

Η τιμή η οποία ισούται με ακέραιο αριθμό 7 δείχνει ότι το κριτήριο i είναι πολύ πιο σημαντικό έναντι του j .

Η τιμή η οποία ισούται με ακέραιο αριθμό 9 δείχνει ότι το κριτήριο i είναι εντελώς πιο σημαντικό έναντι του j .

Βήμα 2^ο: Μήτρα Βαρών Κριτηρίων. Το επόμενο βήμα είναι η μετατροπή του συγκριτικού ανά ζεύγη πίνακα σε ένα διάνυσμα βαρών σε ένα διάνυσμα βαρών. Κάθε τιμή του συγκριτικού ανά ζεύγη πίνακα κανονικοποιείται διαιρώντας την με το άθροισμα των τιμών της στήλης όπου ανήκει. Με αυτόν τον τρόπο προκύπτει ένας νέος πίνακας, όπου το άθροισμα των τιμών κάθε στήλης είναι ίσο με τη μονάδα. Το βάρος κάθε κριτηρίου i

υπολογίζεται ως η μέση τιμή των τιμών της γραμμής i του κανονικοποιημένου ανά ζεύγη πίνακα.

Βήμα 3^ο: Βάρη – Γινόμενα – Λόγοι. Σε αυτό το βήμα ταξινομούνται τα αποτελέσματα των βαρών των κριτηρίων όπου δείχνει ποιο κριτήριο έχει το μεγαλύτερο βάρος δηλαδή είναι περισσότερο σημαντικό (επικίνδυνο) και ποιο το μικρότερο βάρος δηλαδή ποιο κριτήριο είναι λιγότερο επικίνδυνο. Οι υπόλοιπες πράξεις για τα γινόμενα και τα βάρη γίνονται προκειμένου να υπολογιστεί το επόμενο βήμα που είναι ο έλεγχος συνέπειας.

Βήμα 4^ο: Έλεγχος συνέπειας. Ο δείκτης συνέπειας CI συγκρίνεται με τον «τυχαίο δείκτη» RI. Στην περίπτωση που ο λόγος CI/RI είναι αρκετά μικρός, ο πίνακας μπορεί να θεωρηθεί συνεπής. Συνήθως ως κριτήριο συνέπειας χρησιμοποιείται το $CI/RI \leq 0,1$.

❖ **Στάδιο 2^ο:** Εκτίμηση Εναλλακτικών.

Βήμα 1^ο: Εκτίμηση εναλλακτικών με βάση το κριτήριο K1. Σε αυτό το στάδιο ακολουθείται η ίδια διαδικασία με το 1^ο Στάδιο με τη μόνη διαφορά ότι δεν συγκρίνουμε τα κριτήρια μεταξύ του αλλά παίρνουμε κάθε κριτήριο ξεχωριστά και συγκρίνουμε τις εναλλακτικές με βάση το κριτήριο που έχουμε πάρει κάθε φορά.

Βήμα 2^ο: Κανονικοποίηση Βαρών για K1 Κριτήριο. Ακολουθείται η ίδια τακτική με το 1^ο Βήμα του 1^{ου} Σταδίου.

Βήμα 3^ο: Επικινδυνότητα – Γινόμενα – Βάρη. Ακολουθείται η ίδια λογική με παραπάνω.

Αυτά τα τρία βήματα του 2^{ου} Σταδίου ισχύουν για όλα τα κριτήρια μέχρι να εξεταστούν το καθένα ξεχωριστά.

❖ **Στάδιο 3^ο:** Επικινδυνότητα Εναλλακτικών.

Βήμα 1^ο: Μήτρα Επικινδυνότητας Εναλλακτικών. Σε αυτό το βήμα τοποθετούμε σε έναν πίνακα όλες την επικινδυνότητα που βρήκαμε από τους προηγούμενους πίνακες προκειμένου να βγει το αποτέλεσμα του επόμενου βήματος.

Βήμα 2^ο: Συνολική επικινδυνότητα εναλλακτικών. Στο τελευταίο βήμα της μεθόδου ταξινομούμε τη συνολική επικινδυνότητα ανά φράγμα.

7.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΑΗΡ.

7.3.1 Στάδιο 1^ο: Υπολογισμός βαρών κριτηρίων (σύμφωνα με Παράρτημα Α)

Παρακάτω δίνονται οι πίνακες που αφορούν τη χρήση της μεθόδου ΑΗΡ: Συγκριτικός ανά ζεύγη κριτηρίων πίνακας, Κανονικοποιημένος πίνακας κριτηρίων, Βάρη κριτηρίων, Συγκριτικοί ανά ζεύγη φραγμάτων πίνακες ως προς κάθε κριτήριο, Κανονικοποιημένοι πίνακες επιδόσεων έργων ανά κριτήριο, Επικινδυνότητα Έργων, Πίνακας Επικινδυνότητας Έργων.

Βήμα 1^ο: Μήτρα Σχετικών Βαρών Κριτηρίων

Στον πίνακα 7.2. παρουσιάζεται η σύγκριση μεταξύ των κριτηρίων φραγμάτων ανά ζεύγη.

Πίνακας 7.2. Μήτρα Σχετικών Βαρών Κριτηρίων

<i>Σύγκριση Κριτηρίων</i>	Εσωτερική διάβρωση σε χωμάτινα φράγματα	Συνολική αστοχία φράγματος συμπεριλαμβανομένης της θεμελίωσης	Κατολισθήσεις στα πρανή του ταμειυτήρα	Σεισμοί	Πλημμύρες Ανεπάρκεια Υπερχειλιστή
Εσωτερική διάβρωση σε χωμάτινα φράγματα	1,00	0,20	7,00	0,20	7,00
Συνολική αστοχία φράγματος συμπεριλαμβανομένης της θεμελίωσης	5,00	1,00	5,00	7,00	7,00
Κατολισθήσεις στα πρανή του ταμειυτήρα	0,14	0,20	1,00	0,33	0,33
Σεισμοί	5,00	0,14	3,00	1,00	3,00
Πλημμύρες Ανεπάρκεια Υπερχειλιστή	0,14	0,14	3,00	0,33	1,00
Άθροισμα	11,29	1,69	19,00	8,87	18,33

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 7.2 η εσωτερική διάβρωση σε χωμάτινα φράγματα είναι 7 φορές πιο σημαντικό κριτήριο επικινδυνότητας σε σχέση με τις κατολισθήσεις στα πρανή του ταμειυτήρα και τις πλημμύρες - ανεπάρκεια υπερχειλιστή. Η συνολική αστοχία φράγματος συμπεριλαμβανομένης της θεμελίωσης είναι το πιο σημαντικό κριτήριο επικινδυνότητας σε σχέση με τα άλλα 4 κριτήρια, αφού βαθμολογείται κατά σειρά με 5, 5,

7, 7. Οι κατολισθήσεις στα πρανή του ταμιευτήρα είναι το λιγότερο σημαντικό κριτήριο επικινδυνότητας φραγμάτων, οι σεισμοί υπερέρχουν των 3 από τα 4 κριτήρια (εκτός της αστοχίας συμπεριλαμβανομένης της θεμελίωσης) και οι πλημμύρες δεν θεωρούνται σημαντικό κριτήριο και υπερέρχουν μόνο των κατολισθήσεων στα πρανή του ταμιευτήρα.

Βήμα 2^ο: Μήτρα Κανονικοποίησης Βαρών

Πίνακας 7.3. Μήτρα Βαρών Κριτηρίων

Μήτρα Βαρών Κριτηρίων					Μέσος Όρος
0,0886	0,1186	0,3684	0,0226	0,3818	0,1960
0,4430	0,5932	0,2632	0,7895	0,3818	0,4941
0,0127	0,1186	0,0526	0,0376	0,0182	0,0479
0,4430	0,0847	0,1579	0,1128	0,1636	0,1924
0,0127	0,0847	0,1579	0,0376	0,0545	0,0695

Στον Πίνακα 7.3. εμφανίζεται η Μήτρα Βαρών Κριτηρίων, ο οποίος προκύπτει ως εξής: αρχικά εξάγεται το άθροισμα της κάθε στήλης του Πίνακα 7.2 και στη συνέχεια διαιρείται το κάθε κελί του Πίνακα 7.2 με το προηγούμενο άθροισμα. Πιο συγκεκριμένα για να προκύψει το 0,0886 διαιρείται το 1,00 που είναι η βαθμολόγηση της εσωτερικής διάβρωσης σε χωμάτινα φράγματα σε σύγκριση με τον εαυτό της, με το 11,29 που είναι το άθροισμα της πρώτης στήλης δηλαδή της εσωτερικής διάβρωσης σε χωμάτινα φράγματα ($1/11,29=0,886$). Η ίδια λογική ακολουθείται για να προκύψει το αποτέλεσμα 0,4430 όπου γίνεται η διαίρεση $5,00 / 11,29$. Με τον ίδιο τρόπο προκύπτουν και τα υπόλοιπα αποτελέσματα. Η στήλη Μέσος Όρος προκύπτει αθροίζοντας τα βάρη την κάθε σειρά (οριζοντίως) του Πίνακα 7.3 και διαιρώντας με το 5 όσα δηλαδή είναι και τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν για την εφαρμογή της μεθόδου ($0,0886+0,1186+0,3684+0,0226+0,3818=0,1960$). Τα αποτελέσματα που θα προκύψουν είναι τα Βάρη τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στον Πίνακα 7.4.

Βήμα 3^ο: Βάρη – Γινόμενα – Λόγοι.**Πίνακας 7.4.** Βάρη Κριτηρίων

	Βάρη	Γινόμενα	Λόγοι
Εσωτερική διάβρωση σε χωμάτινα φράγματα	0,1960	1,1553	5,8942
Συνολική αστοχία φράγματος συμπεριλαμβανομένης της θεμελίωσης	0,4941	3,5472	7,1786
Κατολισθήσεις στα πρανή του ταμιευτήρα	0,0479	0,5722	11,9362
Σεισμοί	0,1924	1,5953	0,1206
Πλημμύρες – Ανεπάρκεια Υπερχειλιστή	0,0695	0,3760	0,1848
Άθροισμα	1,000		
Δείκτης Συνέπειας CI			0,0157
CI / RI			0,0140

Βήμα 4^ο: Έλεγχος Συνέπειας

Ο Πίνακας 7.4 δείχνει τα τελικά βάρη των κριτηρίων και τον έλεγχο συνέπειας. Το $[AVERAGE(0,0886+0,1186+0,3684+0,0226+0,3818=0,1960)]$ βάρος για κάθε κριτήριο ορίζεται ως ο μέσος όρος της κάθε γραμμής του κανονικοποιημένου Πίνακα 7.3. όπως φαίνεται στο παραπάνω παράδειγμα. Στη συνέχεια για τον έλεγχο συνέπειας υπολογίζονται τα γινόμενα, οι λόγοι, ο δείκτης συνέπειας CI και ο λόγος CI / RI. Τα γινόμενα προκύπτουν από τον πολλαπλασιασμό της κάθε γραμμής του Πίνακα 7.2 με το κάθε βάρος του Πίνακα 7.3 αντίστοιχα. Οι λόγοι υπολογίζονται ως η διαίρεση γινόμενο / βάρος. Ο δείκτης συνέπειας CI υπολογίζεται ως ο λόγος του μέσου όρου των λόγων – τον αριθμό των κριτηρίων (n) / τον αριθμό των κριτηρίων -1 (n-1). Ο δείκτης συνέπειας CI συγκρίνεται με τον «τυχαίο δείκτη» ο οποίος συμβολίζεται με RI⁴, που αντιστοιχεί στον αριθμό των κριτηρίων (n). Ο τυχαίος δείκτης RI αντιπροσωπεύει τη μέση τιμή του CI όταν

⁴ Οι τυχαίοι δείκτες συνέπειας φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

N	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.51

Πηγή Saaty 1987

οι τιμές του συγκριτικού ανά ζεύγη πίνακα επιλεγούν τυχαία (εκτός από τις συνθήκες που η βαθμολόγηση των κριτηρίων είναι ίση με τη μονάδα). Στην περίπτωση που ο λόγος CI / RI είναι αρκετά μικρός ο πίνακας μπορεί να θεωρηθεί συνεπής. Συνήθως ως κριτήριο συνέπειας χρησιμοποιείται το $CI / RI \leq$ του 0,1. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα ο λόγος CI / RI είναι ίσος με $0,0157 / 1,12 = 0,014$, αριθμός που είναι μικρότερος του 0,1. Επομένως ο συγκριτικός ανά ζεύγη Πίνακας 7.4 μπορεί να θεωρηθεί συνεπής.(Ασημακόπουλος, 2002). Η πρώτη στήλη Βάρη του Πίνακα 7.4 είναι ο Μέσος Όρος του Πίνακα 7.3. Στη δεύτερη στήλη τα γινόμενα προκύπτουν πολλαπλασιάζοντας την κάθε σειρά των σχετικών βαρών του Πίνακα 7.2 με τα αντίστοιχα βάρη που έχουν προκύψει στην πρώτη στήλη του Πίνακα 7.4. Πιο συγκεκριμένα $1,00*0,1960+0,20*0,4941+7,00*0,0479+0,20*0,1924+7,00*0,0695$ το αποτέλεσμα του οποίου είναι 1,1553. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται για να υπολογιστούν και τα υπόλοιπα γινόμενα. Για τον υπολογισμό της στήλης λόγοι η πράξη που ακολουθείται είναι η διαίρεση Γινόμενα / Βάρη δηλ. $1,1553 / 0,1960 = 5,8942$. Για τον υπολογισμό του Δείκτη Συνέπειας CI παίρνουμε τον Μέσο Όρο των Λόγων / 5 (που είναι τα κριτήρια) και όλο το αποτέλεσμα διαιρείται με 4 (προκύπτει n-1 κριτήρια). Ειδικότερα το αποτέλεσμα 0,0157 προκύπτει αν πάρουμε τη συνάρτηση $(AVERAGE(\text{Λόγοι})-5)/4$. Τέλος για το υπολογισμό του λόγου CI/RI προκύπτει αν διαιρεθεί το $0,0157 / 1,12 = 0,0140$. Όπου το 1,12 προκύπτει από τον πίνακα της υποσημείωσης 2 με βάση τον αριθμό των κριτηρίων που στο συγκεκριμένο παράδειγμα τα κριτήρια είναι 5 και αντιστοιχούν στον RI 1,12.

7.3.2 Στάδιο 2: Εκτίμηση εναλλακτικών (σύμφωνα με Παράρτημα Β)

Βήμα 1^ο: Εκτίμηση Εναλλακτικών με βάση το κριτήριο K1.

Πίνακας 7.5.⁵. Επικινδυνότητα φραγμάτων στο κριτήριο Εσωτερική διάβρωση σε χωμάτινα φράγματα

K1: Σύγκριση ως προς την εσωτερική διάβρωση σε χωμάτινα φράγματα	1 ^ο Φράγμα	2 ^ο Φράγμα	3 ^ο Φράγμα
1 ^ο Φράγμα	1,00	2,00	1,00
2 ^ο Φράγμα	0,50	1,00	0,33
3 ^ο Φράγμα	1,00	3,00	1,00
ΣΥΝΟΛΟ	2,50	6,00	2,33

⁵ Όπου: Φράγμα 1ο: Είναι στη θέση Αγία Παρασκευή Δήμου Χασίων, Φράγμα 2ο: Μικροφράγματα στα Δημοτικά Διαμερίσματα Γριζάνου – Παναγίτσας Δήμου Φαρκαδόνας, Φράγμα 3^ο: Φράγμα Λογγά.

Οι απαντήσεις που δόθηκαν από τον εργολάβο των έργων και αιτιολογήθηκαν ως εξής για τον Πίνακα 7.5 όπου γίνεται η σύγκριση των φραγμάτων με βάση το κριτήριο της εσωτερικής διάβρωσης: η εσωτερική διάβρωση είναι περισσότερο επικίνδυνη στο φράγμα στη θέση Αγία Παρασκευή από ότι στο φράγμα Γριζάνου – Παναγίτσας διότι ο ταμιευτήρας έχει περισσότερο όγκο από ότι το φράγμα Γριζάνου – Παναγίτσας καθώς οι πιέσεις των πρανών και οι τριβές είναι αρκετά μεγαλύτερες. Επομένως η συγκεκριμένη ερώτηση βαθμολογήθηκε με 2 που ερμηνεύεται ότι το πρώτο φράγμα είναι πιο επικίνδυνο σε σχέση με το δεύτερο.

Συγκρίνοντας το φράγμα της Αγίας Παρασκευής με το φράγμα Γριζάνου – Παναγίτσας η απάντηση που έδωσε ο εργολάβος τα κατατάσσει και τα δυο έχουν την ίδια επικινδυνότητα. Αυτό οφείλεται διότι στο φράγμα Αγίας Παρασκευής υπάρχει μεγάλος ταμιευτήρας και οι πιέσεις των πρανών και οι τριβές είναι μεγάλες και στο φράγμα Λογγά ενώ είναι μικρότερος ο ταμιευτήρας είναι υψηλότερη η στάθμη του νερού.

Τέλος το φράγμα Λογγά είναι περισσότερο επικίνδυνο από το φράγμα Γριζάνου – Παναγίτσας διότι η στάθμη του νερού είναι υψηλότερη.

Για τον υπολογισμό των επιδόσεων των εναλλακτικών επιλογών σε κάθε κριτήριο ακολουθείται μια αντιστοίχιση με την παραπάνω διαδικασία. Για παράδειγμα για τον υπολογισμό των επιδόσεων κάθε φράγματος στο κριτήριο της Εσωτερικής διάβρωσης καταστρώνεται ο Πίνακας 7.3. Στον Πίνακα 7.3 παρατηρείται ότι το 1^ο Φράγμα έχει ελαφρώς μεγαλύτερο κίνδυνο εσωτερικής διάβρωσης από το 2^ο Φράγμα. Το 2^ο Φράγμα έχει το χαμηλότερο κίνδυνο εσωτερικής διάβρωσης σε σχέση με τα άλλα δυο φράγματα. Το 3^ο Φράγμα είναι εκτεθειμένο στον κίνδυνο εσωτερικής διάβρωσης όσο είναι και το 1^ο Φράγμα. Επίσης το 3^ο Φράγμα είναι λίγο περισσότερο εκτεθειμένο στον κίνδυνο της εσωτερικής διάβρωσης σε σχέση με το 2^ο Φράγμα.

Βήμα 2^ο: Κανονικοποίηση Βαρών για Κ1 Κριτήριο.

Πίνακας 7.6. Κανονικοποίηση βαρών στο κριτήριο:Κ1. Εσωτερική διάβρωση σε χωμάτινα φράγματα

Κανονικοποιημένος πίνακας Κ1. Εσωτερική διάβρωση			Μέσος Όρος
0,4000	0,3333	0,4286	0,3878
0,2000	0,1667	0,1429	0,1698
0,4000	0,5000	0,4286	0,4429

Η κανονικοποιημένη μορφή του Πίνακα 7.5. παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.6⁶.

Βήμα 3^ο: Επικινδυνότητα– Γινόμενα – Λόγοι.

Πίνακας 7.7. Βάρη επιδόσεων κάθε εναλλακτικής φράγματος στο κριτήριο Εσωτερική Διάβρωση

	Επικινδυνότητα	Γινόμενα	Λόγοι
1 ^ο Φράγμα	0,3873	1,1698	3,0205
2 ^ο Φράγμα	0,1698	0,5111	3,0093
3 ^ο Φράγμα	0,4429	1,3397	3,0251
Άθροισμα	1,000		
CI			0,0092
CI / RI			0,0158

Στον Πίνακα 7.7 υπολογίζονται τα βάρη επιδόσεων κάθε εναλλακτικής φράγματος στο κριτήριο Εσωτερική Διάβρωση, τα γινόμενα, οι λόγοι και ο δείκτης συνέπειας. Η διαδικασία που ακολουθείται για τον υπολογισμό των μεγεθών αυτών είναι η ίδια με αυτή του πίνακα 7.4. Τα αποτελέσματα είναι συνεπή, καθώς ο Δείκτης συνέπειας είναι μικρότερος του 0,1.

Βήμα 4^ο: Εκτίμηση εναλλακτικών με βάση το κριτήριο K2.

Πίνακας 7.8. Επικινδυνότητα φραγμάτων στο κριτήριο Συνολική αστοχία φράγματος συμπεριλαμβανομένης της θεμελίωσης.

K2: Σύγκριση ως προς τη συνολική αστοχία φράγματος συμπεριλαμβανομένης της θεμελίωσης	1 ^ο Φράγμα	2 ^ο Φράγμα	3 ^ο Φράγμα
1 ^ο Φράγμα	1,00	2,00	1,00
2 ^ο Φράγμα	0,50	1,00	1,00
3 ^ο Φράγμα	1,00	1,00	1,00
ΣΥΝΟΛΟ	2,50	4,00	3,00

Οι απαντήσεις που δόθηκαν από τον εργολάβο των έργων και αιτιολογήθηκαν ως εξής για τον Πίνακα 7.8. όπου γίνεται η σύγκριση των φραγμάτων με βάση το κριτήριο της

⁶ Για τον τρόπο υπολογισμού βλέπε σχολιασμό Πίνακα 7.3.

συνολικής αστοχίας φράγματος: το φράγμα Αγίας Παρασκευής είναι πιο επικίνδυνο σε σύγκριση με το φράγμα του Γριζάνου – Παναγίτσας είναι λόγω της φύσεως του εδάφους. Το ίδιο ισχύει και στη σύγκριση των φραγμάτων Αγίας Παρασκευής με το φράγμα Λογγά. Η επικινδυνότητα στα φράγματα Γριζάνου – Παναγίτσας και φράγμα Λογγά είναι η ίδια όσον αφορά τη συνολική αστοχία φράγματος.

Για τον υπολογισμό των επιδόσεων κάθε φράγματος στο κριτήριο της Συνολικής Αστοχίας Φράγματος καταστρώνεται ο Πίνακας 7.8. Παρατηρείται ότι το 1^ο Φράγμα αντιμετωπίζει τον ίδιο κίνδυνο Συνολικής Αστοχίας Φράγματος με το 3^ο Φράγμα. Το ίδιο ισχύει και για το 2^ο Φράγμα με το 3^ο Φράγμα. Επιπλέον το 1^ο Φράγμα κινδυνεύει λίγο περισσότερο από τη Συνολική Αστοχία Φράγματος σε σχέση με το 2^ο Φράγμα.

Βήμα 5^ο: Κανονικοποίηση Βαρών για Κ2 Κριτήριο.

Πίνακας 7.9. Κανονικοποίηση βαρών στο κριτήριο Κ2: Συνολική αστοχία φράγματος συμπεριλαμβανομένης της θεμελίωσης.

Κανονικοποιημένος πίνακας Κ2: Συνολική αστοχία φράγματος			Μέσος Όρος
0,4000	0,5000	0,3333	0,4111
0,2000	0,2500	0,3333	0,2611
0,4000	0,2500	0,3333	0,3278

Η κανονικοποιημένη μορφή του Πίνακα 7.8. παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.9.

Βήμα 6^ο: Επικινδυνότητα – Γινόμενα – Λόγοι

Πίνακας 7.10. Βάρη επιδόσεων κάθε εναλλακτικής φράγματος στο κριτήριο Συνολική αστοχία φράγματος

	Επικινδυνότητα	Γινόμενα	Λόγοι
1 ^ο Φράγμα	0,4111	1,2611	3,0676
2 ^ο Φράγμα	0,2611	0,7944	3,0426
3 ^ο Φράγμα	0,3278	1,0000	3,0508
Άθροισμα	1,000		
CI			0,0268
CI / RI			0,0463

Στον Πίνακα 7.10 υπολογίζονται τα βάρη επιδόσεων κάθε εναλλακτικής φράγματος στο κριτήριο Συνολική Αστοχία Φράγματος, τα γινόμενα, οι λόγοι και ο δείκτης συνέπειας. Η διαδικασία που ακολουθείται για τον υπολογισμό των μεγεθών αυτών είναι η ίδια με αυτή του Πίνακα 7.4. Τα αποτελέσματα είναι συνεπή, καθώς ο δείκτης συνέπειας είναι μικρότερος του 0,1.

Βήμα 7^ο: Εκτίμηση Εναλλακτικών με βάση το κριτήριο Κ3.

Πίνακας 7.11. Επικινδυνότητα φραγμάτων στο κριτήριο Κατολισθήσεις στα πρανή του ταμιευτήρα

Κ3: Σύγκριση ως προς τις Κατολισθήσεις στα πρανή του ταμιευτήρα	1 ^ο Φράγμα	2 ^ο Φράγμα	3 ^ο Φράγμα
1 ^ο Φράγμα	1,00	3,00	2,00
2 ^ο Φράγμα	0,33	1,00	0,33
3 ^ο Φράγμα	0,50	3,00	1,00
ΣΥΝΟΛΟ	1,83	7,00	3,33

Οι απαντήσεις που δόθηκαν από τον εργολάβο των έργων και αιτιολογήθηκαν ως εξής για τον Πίνακα 7.11. όπου γίνεται η σύγκριση των φραγμάτων με βάση το κριτήριο της κατολίθησης στα πρανή του ταμιευτήρα: στο φράγμα Γριζάνου – Παναγίτσας οι κατολισθήσεις είναι πιο έντονες λόγω πλήρωσης του ταμιευτήρα βιαίως μετά από μεγάλη βροχή με αποτέλεσμα να επηρεασθούν τα πρανή του ταμιευτήρα έναντι του φράγματος Αγίας Παρασκευής. Η βαθμολογία στη συγκεκριμένη ερώτηση είναι 3.

Συγκρίνοντας τα φράγματα Αγίας Παρασκευής και του Λογγά παρατηρείται μικρή επικινδυνότητα στο φράγμα Λογγά λόγω της υψηλότερης στάθμης των νερών στον ταμιευτήρα. Η βαθμολογία στην ερώτηση είναι 2.

Τέλος το φράγμα Γριζάνου – Παναγίτσας είναι περισσότερο επικίνδυνο από το φράγμα Λογγά λόγω βίας πλήρωσης των ταμιευτήρων από βροχή. Η βαθμολογία είναι 3. Για τον υπολογισμό των επιδόσεων κάθε φράγματος στο κριτήριο της Συνολικής Αστοχίας Φράγματος καταστρώνεται ο Πίνακας 7.11. Παρατηρείται ότι το 1^ο Φράγμα αντιμετωπίζει μεγαλύτερο κίνδυνο σε σχέση με το 2^ο και το 3^ο Φράγμα όσον αφορά τις κατολισθήσεις στα πρανή του ταμιευτήρα. Το 2^ο Φράγμα έχει το μικρότερο κίνδυνο στο κριτήριο αυτό σε σχέση με τα άλλα φράγματα. Ενώ το 3^ο Φράγμα αντιμετωπίζει μικρότερο κίνδυνο από το 1^ο Φράγμα και μεγαλύτερο από το 2^ο Φράγμα.

Βήμα 8^ο: Κανονικοποίηση Βαρών για Κ3 Κριτήριο.

Πίνακας 7.12. Κανονικοποίηση βαρών των επιδόσεων στο κριτήριο Κ3: Κατολισθήσεις στα πρανή του ταμειυτήρα

Κανονικοποιημένος πίνακας Κ3: Κατολισθήσεις στα πρανή του ταμειυτήρα			Μέσος Όρος
0,5455	0,4286	0,6000	0,5247
0,1818	0,1429	0,1000	0,1416
0,2727	0,4286	0,3000	0,3338

Η κανονικοποιημένη μορφή του Πίνακα 7.11. παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.12.

Βήμα 9^ο: Επικινδυνότητα – Γινόμενα - Λόγοι

Πίνακας 7.13. Βάρη επιδόσεων κάθε εναλλακτικής φράγματος στο κριτήριο Κατολισθήσεις στα πρανή του ταμειυτήρα

	Επικινδυνότητα	Γινόμενα	Λόγοι
1 ^ο Φράγμα	0,5247	1,6169	3,0817
2 ^ο Φράγμα	0,1416	0,4277	3,0214
3 ^ο Φράγμα	0,3338	1,0208	3,0584
Άθροισμα	1,0000		
CI			0,0269
CI / RI			0,0464

Στον Πίνακα 7.13. υπολογίζονται τα βάρη επιδόσεων κάθε εναλλακτικής φράγματος στο κριτήριο Κατολισθήσεις στα πρανή του ταμειυτήρα, τα γινόμενα, οι λόγοι και ο δείκτης συνέπειας. Η διαδικασία που ακολουθείται για τον υπολογισμό των μεγεθών αυτών είναι η ίδια με αυτή του Πίνακα 7.2. Τα αποτελέσματα είναι συνεπή, καθώς ο δείκτης συνέπειας είναι μικρότερος του 0,1.

Βήμα 10^ο: Εκτίμηση Εναλλακτικών με βάση το Κριτήριο Κ4.

Πίνακας 7.14. Επικινδυνότητα φραγμάτων στο κριτήριο Σεισμοί

Κ4: Σύγκριση ως προς τους Σεισμούς	1 ^ο Φράγμα	2 ^ο Φράγμα	3 ^ο Φράγμα
1 ^ο Φράγμα	1,00	0,50	0,50
2 ^ο Φράγμα	2,00	1,00	2,00
3 ^ο Φράγμα	2,00	0,50	1,00
ΣΥΝΟΛΟ	5,00	2,00	3,50

Οι απαντήσεις που δόθηκαν και αποτυπώνονται στον Πίνακα 7.14 από τον εργολάβο των έργων αιτιολογήθηκαν ως εξής στη σύγκριση των φραγμάτων με βάση το κριτήριο της Σεισμοί: το φράγμα Γριζάνου – Παναγίτσας είναι περισσότερο επικίνδυνο στους σεισμούς λόγω των πιο χαλαρών αναχωμάτων έναντι του φράγματος Αγίας Παρασκευής. Η βαθμολογία είναι 2.

Το φράγμα Λογγά είναι περισσότερο επικίνδυνο από το φράγμα της Αγίας Παρασκευής λόγω της υψηλής στάθμης του νερού στον ταμιευτήρα και λόγω μεγαλύτερων πιέσεων. Η βαθμολογία ορίζεται με 2.

Τέλος το φράγμα Γριζάνου – Παναγίτσας είναι περισσότερο επικίνδυνο από το φράγμα του Λογγά λόγω της βίας πλήρωσης του ταμιευτήρα από έντονη βροχή. Η βαθμολογία είναι 2.

Για τον υπολογισμό των επιδόσεων κάθε φράγματος στο κριτήριο Σεισμοί καταστρώνεται ο Πίνακας 21. Παρατηρείται ότι το 1^ο Φράγμα έχει το μικρότερο κίνδυνο σεισμού σε σχέση με τα άλλα φράγματα, το 2^ο Φράγμα έχει το μεγαλύτερο κίνδυνο σε σχέση με τα άλλα δυο φράγματα και τέλος το 3^ο Φράγμα αντιμετωπίζει μεγαλύτερο σεισμικό κίνδυνο σε σχέση με το 1^ο Φράγμα και μικρότερο σεισμικό κίνδυνο σε σχέση με το 2^ο Φράγμα.

Βήμα 11^ο: Κανονικοποίηση Βαρών για Κ4 Κριτήριο.

Πίνακας 7.15. Κανονικοποίηση βαρών στο κριτήριο Κ4: Σεισμοί

Κανονικοποιημένος πίνακας Κ4: Σεισμοί			Μέσος Όρος
0,2000	0,2500	0,1429	0,1976
0,4000	0,5000	0,5714	0,4905
0,4000	0,2500	0,2857	0,3119

Η κανονικοποιημένη μορφή του Πίνακα 7.14. παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.15.

Βήμα 12^ο: Επικινδυνότητα – Γινόμενα – Λόγοι

Στον Πίνακα 7.16. υπολογίζονται τα βάρη επιδόσεων κάθε εναλλακτικής φράγματος στο κριτήριο Σεισμοί, τα γινόμενα, οι λόγοι και ο δείκτης συνέπειας. Η διαδικασία που ακολουθείται για τον υπολογισμό των μεγεθών αυτών είναι η ίδια με αυτή του Πίνακα 11. Τα αποτελέσματα είναι συνεπή, καθώς ο δείκτης συνέπειας είναι μικρότερος του 0,1.

Πίνακας 7.16. Βάρη επικινδυνότητας κάθε εναλλακτικής φράγματος στο κριτήριο Σεισμοί

	Επικινδυνότητα	Γινόμενα	Λόγοι
1 ^ο Φράγμα	0,1976	0,5988	3,0301
2 ^ο Φράγμα	0,4905	1,5095	3,0777
3 ^ο Φράγμα	0,3119	0,9524	3,0534
Άθροισμα	1,0000		
CI			0,0269
CI / RI			0,0464

Βήμα 13^ο: Εκτίμηση Εναλλακτικών με βάση το κριτήριο Κ5.

Πίνακας 7.17. Επικινδυνότητα φραγμάτων στο κριτήριο Πλημμύρες – Ανεπάρκεια Υπερχειλιστή

Κ5: Σύγκριση ως προς τις πλημμύρες – ανεπάρκεια υπερχειλιστή	1 ^ο Φράγμα	2 ^ο Φράγμα	3 ^ο Φράγμα
1 ^ο Φράγμα	1,00	0,20	1,00
2 ^ο Φράγμα	5,00	1,00	2,00
3 ^ο Φράγμα	1,00	0,50	1,00
ΣΥΝΟΛΟ	7,00	1,70	4,00

Οι απαντήσεις που δόθηκαν και αποτυπώνονται στον Πίνακα 7.17. από τον εργολάβο των έργων αιτιολογήθηκαν ως εξής στη σύγκριση των φραγμάτων με βάση το κριτήριο της Πλημμύρες – Ανεπάρκεια Υπερχειλιστή: η απάντηση με βάση το συγκεκριμένο κριτήριο όσον αφορά τα φράγματα Αγίας Παρασκευής και Γριζάνου – Παναγίτσας βαθμολογεί ως πιο επικίνδυνο το φράγμα Γριζάνου – Παναγίτσας λόγω του ανάγλυφου της περιοχής και της συγκέντρωσης μεγάλης ποσότητας νερών και μικρών υπερχειλιστών. Η βαθμολογία είναι 5.

Η επικινδυνότητα είναι η ίδια για τα φράγματα της Αγίας Παρασκευής και Γριζάνου – Παναγίτσας.

Τέλος στα φράγματα Γριζάνου – Παναγίτσας και Λογγά παρατηρείται μια μικρή επικινδυνότητα στο φράγμα Γριζάνου – Παναγίτσας διότι το φράγμα του Λογγά έχει μεγαλύτερο υπερχειλιστή και ταμιευτήρα. Η βαθμολογία είναι 2.

Για τον υπολογισμό των επιδόσεων κάθε φράγματος στο κριτήριο Πλημμύρες – Ανεπάρκεια Υπερχειλιστή καταστρώνεται ο Πίνακας 7.17. Παρατηρείται ότι το 2^ο Φράγμα

έχει μεγαλύτερο κίνδυνο σε σχέση με τα άλλα δυο φράγματα όσον αφορά τις πλημμύρες και το 1^ο με το 3^ο Φράγμα αντιμετωπίζουν τον ίδιο κίνδυνο πλημμύρας.

Βήμα 14^ο: Κανονικοποίηση Βαρών για Κ5 Κριτήριο.

Πίνακας 7.18. Κανονικοποίηση βαρών των επιδόσεων στο κριτήριο Πλημμύρες – Ανεπάρκεια Υπερχειλιστή

Κανονικοποιημένος πίνακας Κ5. Πλημμύρες – Ανεπάρκεια Υπερχειλιστή			Μέσος Όρος
0,1429	0,1176	0,2500	0,1702
0,7143	0,5882	0,5000	0,6008
0,1429	0,2941	0,2500	0,2290

Η κανονικοποιημένη μορφή του Πίνακα 7.17. παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.18.

Βήμα 15^ο: Επικινδυνότητα – Γινόμενα – Λόγοι.

Πίνακας 7.19. Βάρη επικινδυνότητας κάθε εναλλακτικής φράγματος στο κριτήριο Πλημμύρες – Ανεπάρκεια Υπερχειλιστή

	Επικινδυνότητας	Γινόμενα	Λόγοι
1 ^ο Φράγμα	0,1702	0,5193	3,0519
2 ^ο Φράγμα	0,6008	1,9097	3,1783
3 ^ο Φράγμα	0,2290	0,6996	3,0550
Άθροισμα	1,0000		
CI			0,0475
CI / RI			0,0820

Στον Πίνακα 7.19. υπολογίζονται τα βάρη επιδόσεων κάθε εναλλακτικής φράγματος στο κριτήριο Κατολισθήσεις στα πρανή του ταμιευτήρα, τα γινόμενα, οι λόγοι και ο δείκτης συνέπειας. Η διαδικασία που ακολουθείται για τον υπολογισμό των μεγεθών αυτών είναι η ίδια με αυτή του Πίνακα 7.4. Τα αποτελέσματα είναι συνεπή, καθώς ο δείκτης συνέπειας είναι μικρότερος του 0,1.

7.3.3. Στάδιο 3^ο: Επικινδυνότητα Εναλλακτικών

Βήμα1ο: Μήτρα Επιδόσεων Εναλλακτικών

Πίνακας 7.20. Επικινδυνότητα Εναλλακτικών (Φραγμάτων) σε κάθε κριτήριο

	Εσωτερική διάβρωση σε χωμάτινα φράγματα	Συνολική αστοχία φράγματος	Κατολισθήσεις στα πρανή του ταμειυτήρα	Σεισμοί	Πλημμύρες – ανεπάρκεια υπερχειλιστή
1 ^ο Φράγμα	0,3873	0,4111	0,5247	0,1976	0,1702
2 ^ο Φράγμα	0,1698	0,2611	0,1416	0,4905	0,6008
3 ^ο Φράγμα	0,4429	0,3278	0,3338	0,3119	0,2290

Στον Πίνακα 7.20. παρουσιάζονται η Επικινδυνότητα Εναλλακτικών Επιλογών Φραγμάτων σε κάθε κριτήριο. Πρόκειται για έναν ενοποιημένο Πίνακα επιδόσεων όλων των κριτηρίων ανά φράγμα όπως αυτά υπολογίστηκαν στους Πίνακες 7.7, 7.10, 7.13, 7.16, 7.19.

Από τον Πίνακα 7.20. συνάγεται ότι αντιμετωπίζει μεγαλύτερο κίνδυνο ως προς τις Κατολισθήσεις στα πρανή του ταμειυτήρα το 1^ο Φράγμα, το 2^ο Φράγμα αντιμετωπίζει τους μεγαλύτερους κινδύνους ως προς τις Πλημμύρες και τους Σεισμούς. Το 3^ο Φράγμα παρουσιάζει πιο ισορροπημένη κατανομή των επιδόσεων κινδύνου καθώς οι τιμές βρίσκονται σχετικά κοντά με μεγαλύτερη βαθμολογία να αναλαμβάνει η εσωτερική διάβρωση.

Βήμα 2^ο: Συνολική Επικινδυνότητα Εναλλακτικών.

Πίνακας 7.21. Συνολική Επικινδυνότητα κάθε εναλλακτικής επιλογής Φράγματος και Λήψη Τελικής Απόφασης

	Συνολική Επικινδυνότητα
1 ^ο Φράγμα	0,35
2 ^ο Φράγμα	0,31
3 ^ο Φράγμα	0,34

Ο Πίνακας 7.21. αναγράφει τις συνολικές επικινδυνότητα ανά φράγμα. Ο υπολογισμός του Πίνακα 7.21. αντιστοιχεί σε ένα πολλαπλασιασμό των διανυσμάτων των επιδόσεων (όπου κάθε διάνυσμα ισούται με την κάθε γραμμή του Πίνακα 7.20.) επί το διάνυσμα των βαρών των κριτηρίων του Πίνακα 7.2. Από τον Πίνακα 7.21. συνάγεται ότι το 1^ο Φράγμα είναι περισσότερο εκτεθειμένο στον κίνδυνο, το 3^ο Φράγμα ακολουθεί με ελάχιστη διαφορά και τέλος το 2^ο Φράγμα έχει τη μικρότερη συγκριτικά επικινδυνότητα. Σημειώνεται ότι η συνολική επικινδυνότητα των φραγμάτων ως προς το βαθμό έκθεσης

στον κίνδυνο είναι σχεδόν παρόμοιοι: 0,35 για το 1^ο Φράγμα, 0,34 για το 3^ο Φράγμα και 0,31 για το 2^ο Φράγμα.

7.4. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ELECTRE I.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα βήματα επίλυσης της ELECTRE I.

Βήμα 1^ο: Κατώφλι Veto.

Πρόκειται για n αριθμούς, όσα και τα κριτήρια, που έχουν για στόχο τον έλεγχο μεγάλων διαφορών μεταξύ εκτιμήσεων εναλλακτικών ενεργειών. Το κατώφλι veto για το κριτήριο j , παριστάμενο με v_j , είναι η διαφορά $g_j(t_i) - g_j(a)$ πάνω από την οποία είναι φρόνιμο να αρνηθούμε κάθε αξιοπιστία, όσον αφορά την υπεροχή της εναλλακτικής a πάνω στο πρότυπο αναφοράς t_i , ακόμη κι αν όλα τα υπόλοιπα κριτήρια είναι σε συμφωνία με αυτήν την υπεροχή.

Υπολογίζεται για κάθε κριτήριο, για κάθε στήλη δηλαδή του πολυκριτήριου πίνακα, τη διαφορά μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής $\Delta = E_{max} - E_{min}$. Μεγάλες τιμές Veto αντιστοιχούν σε χαλαρά Veto και το αντίθετο. Οπότε:

- $Veto \geq 60\% * \Delta \rightarrow$ Χαλαρό Veto
- $Veto \leq 30\% * \Delta \rightarrow$ Αυστηρό Veto
- $30\% * \Delta < Veto \leq 60\% * \Delta \rightarrow$ Μέτριο Veto

Βήμα 2^ο: Κατώφλι Συμφωνίας

Το κατώφλι συμφωνίας λ είναι μία παράμετρος που παίζει το ρόλο του φίλτρου και αφήνει να περνούν ισχυρές σχέσεις υπεροχής ενώ κόβει τις ασθενείς σχέσεις. Παίρνει τιμές από 0,5 έως 1 και όσο πιο μεγάλη τιμή παίρνει (πιο κοντά στο 1) τόσο πιο αυστηρό είναι και αφήνει να περάσουν μόνο ισχυρές σχέσεις υπεροχής.

Για τους παραπάνω λόγους επιλέχθηκε το κατώφλι συμφωνίας να είναι 0,6. Το κατώφλι συμφωνίας είναι απαραίτητο προκειμένου να δημιουργήσουμε την Μήτρα Υπεροχών.

Βήμα 3^ο: Πίνακας Πολυκριτήριων Εκτιμήσεων. Ο πίνακας αυτός περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Τις εναλλακτικές απόφασης (E1_1^ο Φράγμα, E2_2^ο Φράγμα, E3_3^ο Φράγμα)
- Τα κριτήρια με τις μονάδες μέτρησης (C1_Εσωτερική διάβρωση, C2_Συνολική Αστοχία, C3_Κατολισθήσεις, C4_Σεισμοί, C5_Πλημμύρες). Στην προκειμένη περίπτωση έχουν χρησιμοποιηθεί μόνο ποιοτικά κριτήρια όπου οι απαντήσεις βασίστηκαν σε ερωτηματολόγια που φαίνονται στο παράρτημα Γ.

- Τις κλίμακες των κριτηρίων (που είναι όλες φθίνουσες διότι όσο μικρότερες είναι οι τιμές των κριτηρίων τόσο πιο αξιόπιστο είναι ένα φράγμα, δηλαδή παρουσιάζει μικρότερο κίνδυνο).
- Τα βάρη των κριτηρίων (χρησιμοποιήθηκαν τα βάρη όπως προέκυψαν από τη μέθοδο AHP Πίνακας 7.4).

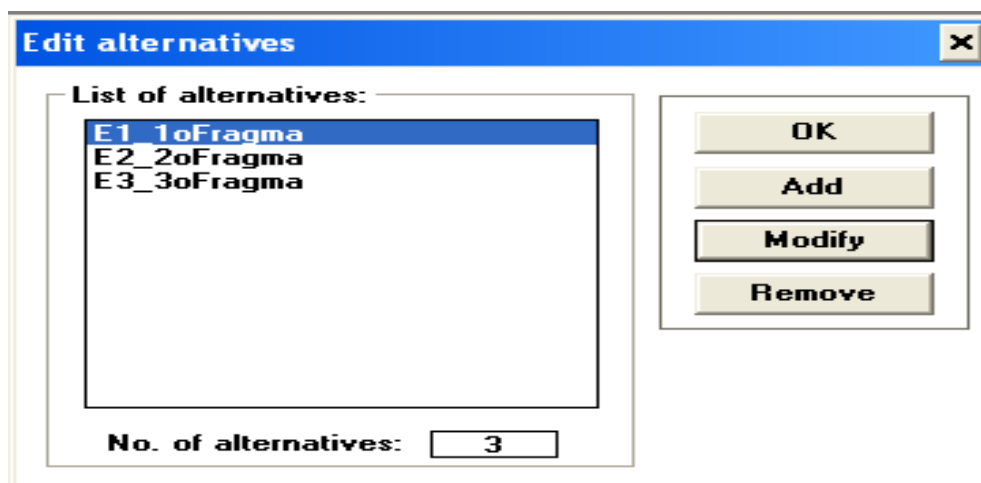
Πίνακας 7.22. Πίνακας Πολυκριτήριων Εκτιμήσεων

Πίνακας Πολυκριτήριας Εκτίμησης					
Εναλλακτικές Ενέργειες	Κριτήρια				
	C1_Εσωτερική Διάβρωση	C2_Συνολική Αστοχία	C3_Κατολισθήσεις	C4_Σεισμοί	C5_Πλημμύρες
E1_1 ^ο Φράγμα	6	10	10	3	1
E2_2 ^ο Φράγμα	4	1	3	10	10
E3_3 ^ο Φράγμα	10	3	4	4	6
Βάρη (Κανονικοποιημένα)	19,6%	49,41%	4,79%	19,24%	6,95%
Κλίμακα αύξουσα (+) -φθίνουσα (-)	-	-	-	-	-
Κατώφλι Veto	4,8	7,2	5,6	5,6	7,2
Κατώφλι Συμφωνίας	0,8				

Τα αποτελέσματα που προήλθαν από τη εφαρμογή της μεθόδου χρησιμοποιώντας το κατάλληλο λογισμικό Electre φαίνονται στις παρακάτω εικόνες.

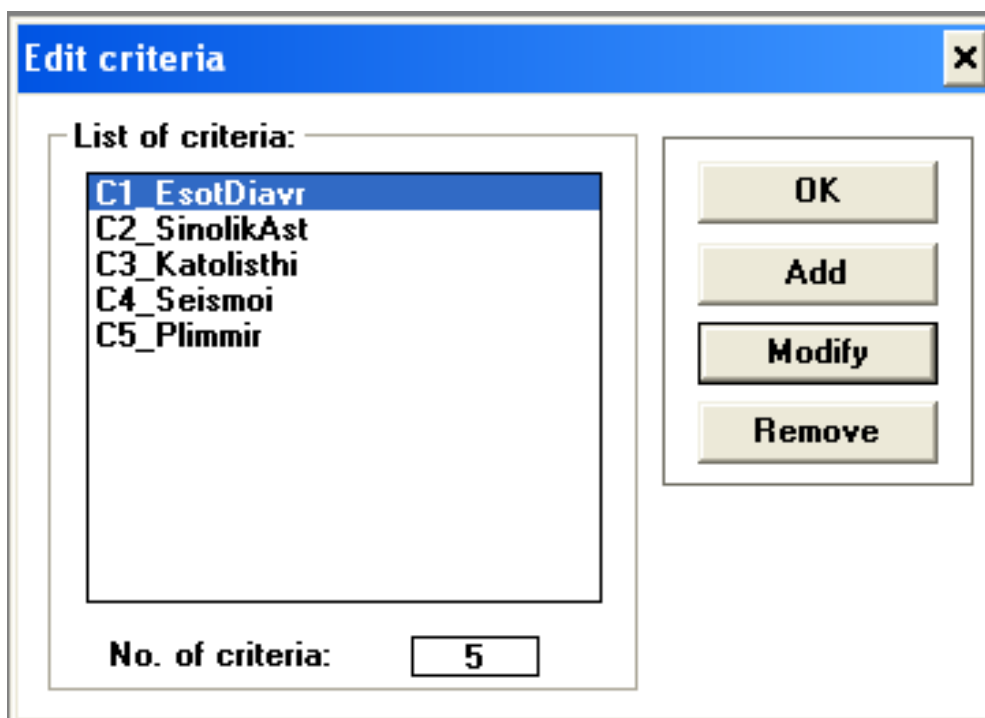
Στην εικόνα 7.1 εισαγάγαμε τα στοιχεία των εναλλακτικών του προβλήματός μας.

Εικόνα 7.1. Εισαγωγή εναλλακτικών



Στην εικόνα 7.2 εισαγάγαμε τα στοιχεία των κριτηρίων του προβλήματος.

Εικόνα 7.2. Εισαγωγή κριτηρίων



Στην εικόνα 7.3 απεικονίζονται οι τιμές των κριτηρίων σε κάθε εναλλακτική.

Εικόνα 7.3 Τιμές κριτηρίων σε κάθε εναλλακτική

Matrix of Alternatives					
	6				
	C1_EsotDiavr	C2_SinolikAst	C3_Katolisthi	C4_Seismoi	C5_Plimmir
E1_1oFragm	6	10	10	3	1
E2_2oFragm	4	1	3	10	10
E3_3oFragm	10	3	4	4	6

Στην εικόνα 7.4 απεικονίζεται η μήτρα συμφωνιών όπου παρατηρείται η υπεροχή μιας εναλλακτικής έναντι μιας άλλης. Σημαντικό είναι να παρατηρήσουμε ότι η κύρια διαγώνιος είναι 1.00 καθώς η κάθε εναλλακτική υπερέχει πάντα στον εαυτό της.

Εικόνα 7.4. Μήτρα Συμφωνιών

1.00	E1_1oFragm	E2_2oFragm	E3_3oFragm
E1_1oFragm	1.00	0.05	0.08
E2_2oFragm	0.95	1.00	0.95
E3_3oFragm	0.92	0.05	1.00

Στην εικόνα 7.5 φαίνεται η μήτρα ασυμφωνιών. Η μήτρα ασυμφωνιών αποτυπώνει κατά πόσο υπάρχει ασυμφωνία για την υπεροχή της μιας εναλλακτικής έναντι της άλλης, σε κάθε διατεταγμένο ζεύγος εναλλακτικών.

Εικόνα 7.5. Μήτρα Ασυμφωνιών

0	E1_1oFragm	E2_2oFragm	E3_3oFragm
E1_1oFragm	0	*	*
E2_2oFragm	1	0	1
E3_3oFragm	0	*	0

Στην εικόνα 7.6 απεικονίζεται η μήτρα υπεροχής που προκύπτει από το συνδυασμό των αντίστοιχων συνολικών δεικτών της μήτρας ασυμφωνιών και της μήτρας συμφωνιών και αποτυπώνει την τελική υπεροχή κάθε εναλλακτικής έναντι όλων των υπολοίπων εναλλακτικών, στο επίπεδο όλων των κριτηρίων.

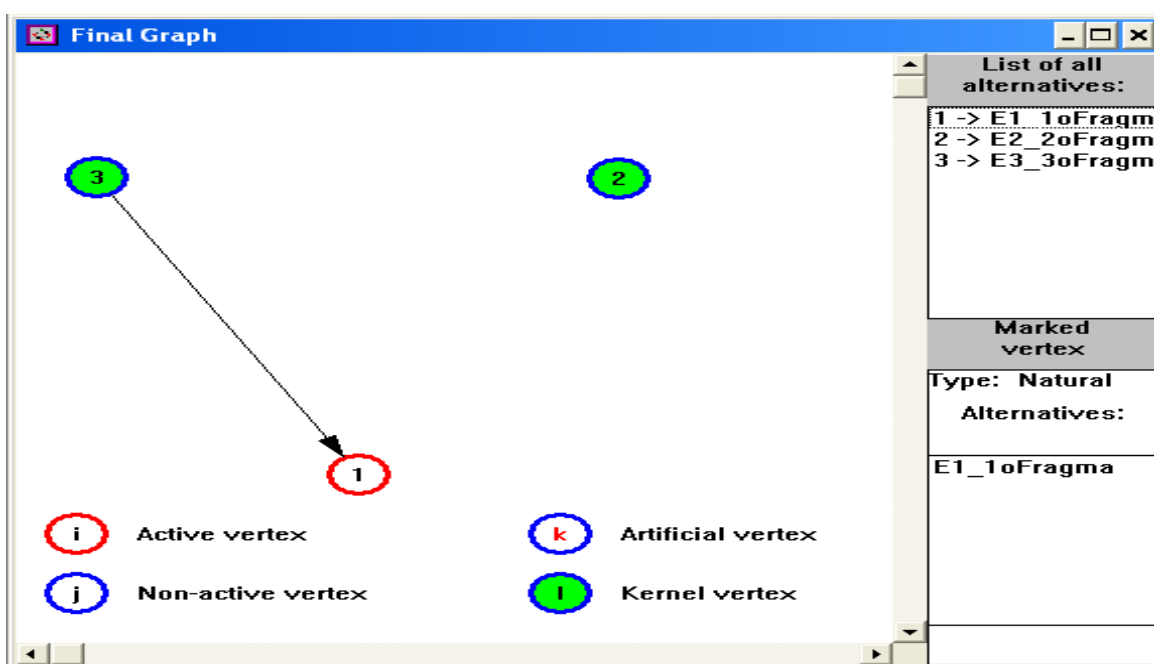
Εικόνα 7.6. Μήτρα Υπεροχής

1	E1_1oFragm	E2_2oFragm	E3_3oFragm
E1_1oFragm	1	0	0
E2_2oFragm	0	1	0
E3_3oFragm	1	0	1

Στην εικόνα 7.7 φαίνεται το τελικό γράφημα, όπου παρουσιάζεται η υπεροχή κάθε εναλλακτικής έναντι της άλλης. Τα βέλη δείχνουν ότι η εναλλακτική, από την οποία

ξεκινούν, υπερέχουν αυτών, στα οποία καταλήγουν. Συγκεκριμένα το 3^ο Φράγμα υπερέχει του Φράγματος 1 που σημαίνει ότι έχει μικρότερο κίνδυνο. Η απομονωμένη εναλλακτική του 2^{ου} Φράγματος δεν υπερέχεται από καμία άλλη εναλλακτική. Το ίδιο ισχύει και για την εναλλακτική του 3^{ου} Φράγματος. Στο γράφημα δεν παρατηρείται κύκλωμα. Η σειρά κατάταξης περιέχει ότι το 3^ο Φράγμα έχει το μικρότερο κίνδυνο ακολουθεί το 2^ο Φράγμα και έπεται το 1^ο Φράγμα. Με άλλα λόγια το 1^ο Φράγμα είναι το πιο επικίνδυνο, είναι περισσότερο δηλαδή εκτεθειμένο στα κριτήρια κινδύνου που έχουν τεθεί από τον επιβλέποντα.

Εικόνα 7.7. Τελικό Γράφημα – Λύση



7.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας ήταν η εκτίμηση κινδύνων σε έργα κατασκευής φραγμάτων και ειδικότερα η περίπτωση φραγμάτων στον Νομό Τρικάλων με τη μέθοδο AHP. Αφού εξετάστηκαν σε πρώτο επίπεδο σχετικά ζητήματα όπως διαχείριση κινδύνων των έργων, οι προϋποθέσεις δημιουργίας φραγμάτων, οι κίνδυνοι και οι κατηγορίες φραγμάτων, εξετάστηκαν στη συνέχεια τρία συγκεκριμένα έργα φραγμάτων ως προς την επικινδυνότητά τους με την εφαρμογή της μεθόδου AHP.

Η υπάρχουσα κατάσταση της αρθρογραφίας χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες: στην υπάρχουσα κατάσταση σε έργα φραγμάτων με την AHP, στην υπάρχουσα κατάσταση σε κατασκευαστικά έργα ευρύτερα με τη μέθοδο AHP και στην υπάρχουσα κατάσταση έργων φραγμάτων και λοιπών έργων με τη μέθοδο ασαφούς λογικής (fuzzy logic).

Κάποιοι συμπεραίνουν όσον αφορά ποιος είναι ο μεγαλύτερος κίνδυνος στη λειτουργία των φραγμάτων όπως παραδείγματος χάρι ο Peng (2009) που καταλήγει στις σωληνώσεις και ο Gu (2010) που καταλήγει στις πλημμύρες και άλλοι αποτιμούν την επικινδυνότητα ενός φράγματος στο σύνολό της (Ying, 2008).

Επίσης μελετήθηκε η χρησιμοποίηση της μεθόδου AHP σε κατασκευαστικά έργα αυτοκινητοδρόμων (Zayed, 2008), και γεφυρών [Wang (2008); Mustafa (1991)]. Οι δυο από τις τρεις έρευνες ταξινομήσαν τα έργα με βάση την επικινδυνότητά τους [Zayed (2008); Wang (2008)] ενώ η άλλη έρευνα αξιολόγησε την επικινδυνότητα ενός μόνο έργου (Mustafa et al, 1991). Επίσης αναδείχθηκε ότι ο πολιτικός και χρηματοοικονομικός κίνδυνος είναι υψηλός καθώς επίσης και η αναδυόμενη τεχνολογία και η έλλειψη πόρων, ενώ οι καιρικές συνθήκες προκαλούν μικρό κίνδυνο (Zayed, 2008). Η χρησιμοποίηση της ασαφούς λογικής σε κατασκευαστικά έργα φραγμάτων αλλά και ευρύτερα είναι αρκετά διαδεδομένη, ιδιαίτερα για την αξιολόγηση του κινδύνου με τη δημιουργία μοντέλων ασαφούς λογικής [Jalal et al (2008); Diao et al (2011); Jiping et al (2011); Abbas et al (2011); Tah et al (2000); Dikmen (2007)].

Για κάθε φράγμα ο κίνδυνος που κατέχει την υψηλότερη θέση στην κατάταξη είναι διαφορετικός, όπως φαίνεται στον Πίνακα 7.23. Το 1^ο Φράγμα αντιμετωπίζει μεγαλύτερο κίνδυνο ως προς τις κατολισθήσεις στα πρανή του ταμιευτήρα, το 2^ο Φράγμα αντιμετωπίζει τους μεγαλύτερους κινδύνους ως προς τις Πλημμύρες. Στο 3^ο Φράγμα τη μεγαλύτερη βαθμολογία παρουσιάζει ο κίνδυνος της εσωτερικής διάβρωσης.

Πίνακας 7.23. Πίνακας Κατάταξης Κινδύνων ανά Φράγμα

	Εσωτερική διάβρωση σε χωμάτινα φράγματα	Συνολική αστοχία φράγματος	Κατολισθήσεις στα πρανή του ταμιευτήρα	Σεισμοί	Πλημμύρες – ανεπάρκεια υπερχειλιστή
1 ^ο Φράγμα	3	2	1	4	5
2 ^ο Φράγμα	4	3	5	2	1
3 ^ο Φράγμα	1	3	2	4	5

Πηγή: *Ιδία Επεξεργασία*

Στον Πίνακα 7.24 απεικονίζεται η κατάταξη του κάθε φράγματος ως προς κάθε κίνδυνο. Ως προς την εσωτερική διάβρωση το μεγαλύτερο κίνδυνο παρουσιάζει το 3^ο Φράγμα ως προς την συνολική αστοχία το μεγαλύτερο κίνδυνο παρουσιάζει το 1^ο Φράγμα,

ως προς τις κατολισθήσεις το μεγαλύτερο κίνδυνο παρουσιάζει το 1^ο Φράγμα, ως προς τους σεισμούς το μεγαλύτερο κίνδυνο παρουσιάζει το 2^ο Φράγμα και ως προς τις πλημμύρες το μεγαλύτερο κίνδυνο παρουσιάζει το 2^ο Φράγμα.

Πίνακας 7.24. Πίνακας Κατάταξης Φραγμάτων ανά Κίνδυνο

	Εσωτερική διάβρωση σε χωμάτινα φράγματα	Συνολική αστοχία φράγματος	Κατολισθήσεις στα πρανή του ταμιευτήρα	Σεισμοί	Πλημμύρες – ανεπάρκεια υπερχειλιστή
1 ^ο Φράγμα	2	1	1	3	3
2 ^ο Φράγμα	3	3	3	1	1
3 ^ο Φράγμα	1	2	2	2	2

Πηγή: *Ιδία Επεξεργασία*

Τέλος από τον Πίνακα 7.21. συνάγεται ότι το 1^ο Φράγμα είναι περισσότερο εκτεθειμένο στον κίνδυνο, το 3^ο Φράγμα ακολουθεί με ελάχιστη διαφορά και τέλος το 2^ο Φράγμα έχει τη μικρότερη συγκριτικά επικινδυνότητα. Σημειώνεται ότι η συνολική επικινδυνότητα των φραγμάτων ως προς το βαθμό έκθεσης στον κίνδυνο είναι σχεδόν παρόμοιοι: 0,35 για το 1^ο Φράγμα, 0,34 για το 3^ο Φράγμα και 0,31 για το 2^ο Φράγμα. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη μέθοδο Electre I είναι σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ΑΗΡ.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία

- Ασημακόπουλος Δ., Αραπατζής Γ., (2002), *Τεχνικές Ανάλυσης Δεδομένων και Λήψης Αποφάσεων με τη χρήση Microsoft Excel*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.
- Δούμπος Μ., Ζοπουνίδης Κ., (2001), *Πολυκριτήριες Τεχνικές Ταξινόμησης Θεωρία και Εφαρμογές*, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
- Θεοδωρακόπουλος Δ., Μπούσιας Ε., Γιαννόπουλος Π., (2003), *Ανάλυση και Σχεδιασμός Κατασκευών*, Τόμος Α', Εκδόσεις Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις Προγράμματος Σπουδών «Διαχείριση Τεχνικών Έργων», Πάτρα.
- Κηρυττόπουλος Κωνσταντίνος (2006), *Εγχειρίδιο Διαχείρισης Κινδύνων Έργων, Η οπτική του μάνατζμεντ*, Εκδόσεις Κλειδάριθμος.
- Κωτούλας Δ. (1987), *Διευθετήσεις Χειμαρρικών Ρευμάτων*, Μέρος II, Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Μαραγκός Χ. (1997), *Τεχνικά Έργα Υποδομής: Κατασκευές στην Επιφάνεια του Βράχου, Υπόγειες Κατασκευές, Φράγματα*, Εκδόσεις Μαραγκός, Θεσσαλονίκη.
- Maylor Harvey (2001), *Διαχείριση Έργων*, 3^η Αγγλική Έκδοση, Εκδόσεις Κλειδάριθμος.
- Μουτάφης Ι.Ν.(2008), *Αστοχίες και Ατυχή Συμβάντα Ελληνικών Φραγμάτων*, 1^ο Πανελλήνιο συνέδριο Μεγάλων Φραγμάτων (ΤΕΕ, Τμ. Κεντρ. & Δυτικής Θεσσαλίας, 13-15 Νοεμβρίου, 2008: Λάρισα)
- Σαμαράς Δ.Γ. (2004) *Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων*, Σημειώσεις μαθήματος Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων , Τμήμα Διοίκησης και Διαχείρισης Έργων , Τ.Ε.Ι. Λάρισας ΣΤ' Εξάμηνο.
- Σαμαράς Δ. Γεώργιος (2005) *Ανάπτυξη ενός Ευφυούς Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων για τη Σύνθεση και Διαχείριση Χαρτοφυλακίου*, Διδακτορική Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης.

- Σίσκος Ιωάννης (2008), Μοντέλα Αποφάσεων, Μεθοδολογία Επιχειρησιακής Έρευνας, Θεωρία Πολυκριτήριας Ανάλυσης, Εφαρμογή σε Επιχειρήσεις και Οργανισμούς, Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, Αθήνα.
- Shtub Avraham, Jonathan F. Bard, Shlomo Globerson (2008), *Διαχείριση Έργων Διεργασίες, Μεθοδολογία και Τεχνοοικονομική*, 2^η Έκδοση, Εκδόσεις Επίκεντρο.
- Τσόγκας Ε. Χρήστος (1990), *Υδροδυναμικά Έργα Φράγματα*, Εκδόσεις Ολυμπιάς, Αθήνα.
- Verzuh Eric (2002), *Εισαγωγή στη Διαχείριση Έργων – Project Management*, John Wiley & Sons, Inc. Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Abbas M., Saleem Khan M., Nasir Ali (2011), Fuzzy Logic Based Hydro-Electric Power Dam Control System, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Volume 2, Issue 6, June
- Chapman C. (2006) Key points of contention in framing assumptions for risk and uncertainty management. *International Journal of Project Management*;24: 303-13.
- Dias A, Ioannou P. (1996) Company and project evaluation model for privately promoted infrastructure projects. *Journal Construction Engineering Management*, ASCE;122(1):71–82.
- Dias A, Ioannou P (1995). A desirability model for the development of privately-promoted infrastructure projects. UMCEE Report No. 95- 09, Center of construction engineering and management, Civil Eng. Dept., Univ. of Michigan, Ann Arbor.
- Diao Yanfang, Cong Fangjie, Wang Hongxiu (2011), The application of variable fuzzy model in dam deformation evaluation (in Chinese), International Conference on E-Business and E-Government (ICEE), 6-8 May.
- Dikmen Irem, Birgonul M. Talat, Han Sedat (2007), Using fuzzy risk assessment to rate cost overrun risk in international construction projects, *International Journal of Project Management* 25, 494–505

- Ergu Daji, Kou Gang, Peng Yi, Shi Yong (2011), Simple method to improve the consistency ratio of the pair-wise comparison matrix in ANP, *European Journal of Operational Research* 213 (2011) 246–259.
- Fell R., MacGregor P., Stapledon D., Bell G., (2005), *Geotechnical Engineering of Dams*, A.A. Balkema Publishers.
- Foster, M., Fell, R. and Spannagle, M. (2000). The statistics of embankment dam failure and accidents, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 37, No. 5, National Research Council Canada, Ottawa, 1000-1024, ISSN 0008-3674.
- Gerogiannis V., Fitsilis P., Tsinidou M., (2010), Evaluation of the factors that determine quality in higher education: an empirical study, *Quality Assurance in Education*, Vol.18, No. 3, pp.227-244.
- Goldin L.A. & Rasskazov L.N., (1992), *Design of earth dams*, A.A. Balkema Publishers Rotterdam.
- Gu Shengping, Wang Bing, (2010), The ANP Model for Dam Risk Identification of the Hydropower project, Power and energy Engineering Conference (APEEC), Asia-Pacific.
- Jadhav, A.S. και Sonar, R.M. (2009), Evaluating and selecting software packages: A review, *Information and Software technology*, Vol. 51 No.3, pp 555-63.
- Jalal P. Majid, Ghoddosi Parviz, Hosseinalipour Mojtaba, (2008), Development of a Fuzzy Risk Assessment and Contractual Allocation Model for Iran’s Dam Construction Projects, First International Conference on Construction in Developing Countries (ICCIDC-I) “Advancing and Integrating Construction Education, Research and Practice”, August 4-5, Karachi, Pakistan.
- Jinping He and Yuqun Shi (2011), Dam Safety Fusion Evaluation based on Fuzzy Pattern Recognition, (in Chinese), International Conference on Computer Science and Service System (CSSS), 27-29 June
- JRMPST [The Joint Risk Management Program Standard Team], (1996). Risk Management Program Standard. American Petroleum Institute.
- Koster Kathrin (2010), *International Project Management*, SAGE Publications.
- Kutzner C., (1997) *Earth and Rockfill Dams, Principles of Design and Construction*, A.A. Balkema Publishers, Rotterdam.
- Londe, P. (1983). 10 – Point plan for dam safety. *World Water*, January: 12.

- Miller, Roger and Hobbs, Brain (2006) ‘Managing risks and uncertainty in major projects in the new global environment ‘. In: Cleland, David and Gareis, Roland (eds): *Global Project Management Handbook*, 2nd edition. New York: McGraw – Hill. Pp 9-1 to 9-16.
- Mustafa A. Mohammad, (1991), Project Risk Assessment Using the Analytic Hierarchy Process, *IEEE Transactions of Engineering Management*, Vol.38, No 1.
- Naik P. Neelam, (2011), Fuzzy logic to control dam system for irrigation and flooding, Late Bhausahab Hiray S.S. Trust’s Institute of Computer Application, Government Colony, Bandra (East), Mumbai 400 051, paper presented in International Conference in Advances in Computing and Communication (ICACC’ 2011), April 8-10, National Institute of Technology Harmpur (Himachal Pradesh) India.
- Opricovic Serafim, Tzeng Gwo – Hshiong, (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS, *European Journal of Operational Research*, 156, 445-455.
- Peng Hui, Liu Defu, Tian Bin, Zuo Jinlin, (2009). Study on the comprehensive safety assessment of earth fill dam based on AHP methods. In Changkuan Zhang and Hongwu Tang advances in water resources and Hydraulic engineering proceedings of 16th IAHP-APD Congress and 3rd Symposium of IAHR-ISHS, Vol. V, 1848 – 1853, DOI: 10.1007/978-3-540-89465-0-318.
- PMI [Project Management Institute] (2004). A guide to project management body of knowledge: PMBOK (Project Management Book of Knowledge) Guide. 3rd ed. USA.
- Qi Chang, (2010). Research on Risk Assessment of Dam Removal. International Conference on Future Information Technology and Management Engineering.
- Saaty, T.L., (1980), *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw – Hill, New York
- Saaty R.W., (1987), The Analytic Hierarchy Process – What it is and how it is used, *Mathl Modeling*, Vol.9, No 3-5, pp. 161-176.
- Saaty L. Thomas, Vargas G. Luis (2006) *Decision Making with the Analytic Network Process Economic, Political, Social and Technological Applications*

with Benefits Opportunities, Costs and Risks, in International Series in Operations Research & Management Science Frederick S. Hillier, Series Editor, Stanford University. Springer Science + Business Media, USA.

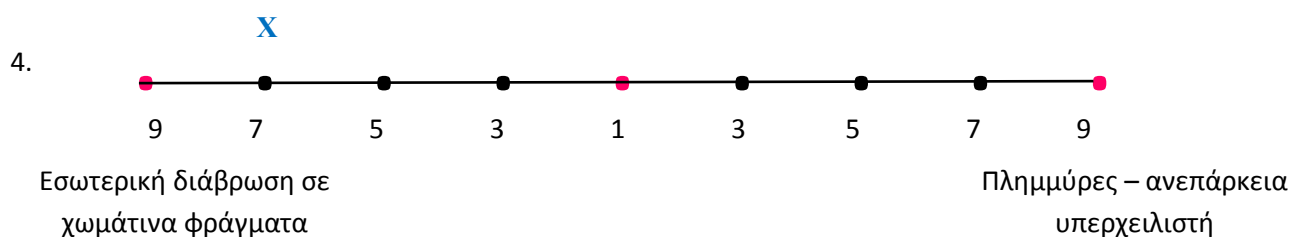
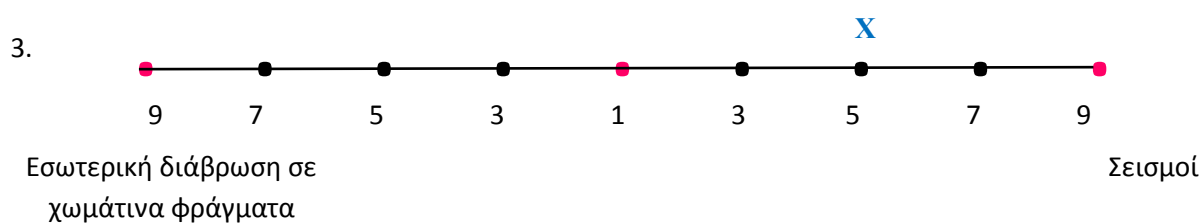
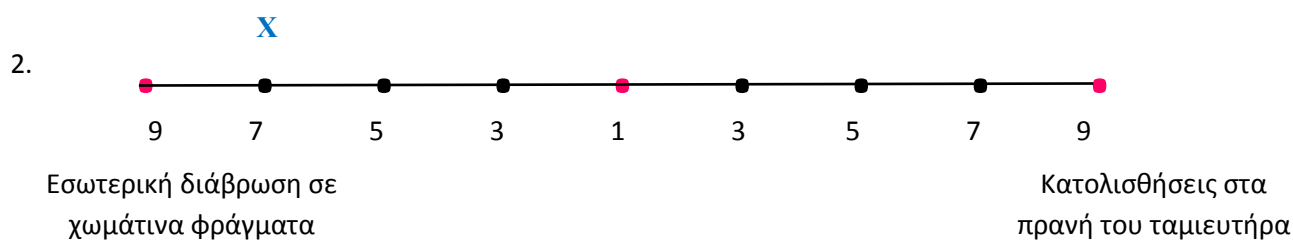
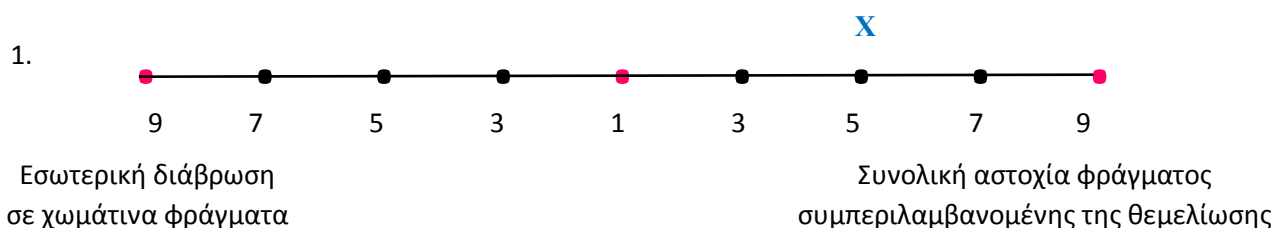
- Tah J.H.M. and Carr V. (2000), A proposal for construction project risk assessment using fuzzy logic, *Construction Management and Economics*, 18, 491–500
- Wang M, Chou H., (2003), Risk allocation and risk handling of highway projects in Taiwan. *Journal Management Engineering*, ASCE;19(2): 60–8.
- Wang Ying – Ming Jun Liu, Taha M.S. Elhag (2008), An integrated AHP-DEA methodology for bridge risk assessment. *Computers & Industrial Engineering* 54 pp 513 – 525, Elsevier.
- Ward S Chapman C., (2003), *Project Risk Management, Processes, Techniques and Insights*, Second Edition, John Wiley & Sons, Ltd.
- Ying Jiang, Qiuwen Zhang (2008), Design and Implementation of Dam Failure Risk Assessment System Based on Fuzzy Mathematics, Knowledge Acquisition and Modeling Workshop. KAM workshop International Symposium.
- Zayed TM, Halpin DW (2004), Quantitative assessment for piles productivity factors. *Journal Construction Engineering Management*, ASCE;130(3):405–14.
- Zayed Tarek, Amer Mohamed, Pan Jiayin, (2008), Assessing risk and uncertainty inherent in Chinese highway projects using AHP, *International Journal of Project Management* 26, pp 408-419, Elsevier.
- Zadeh A. L. (1965), Fuzzy Sets, *Information and Control*, 8(3), pp.338-353. Academic Press Inc.

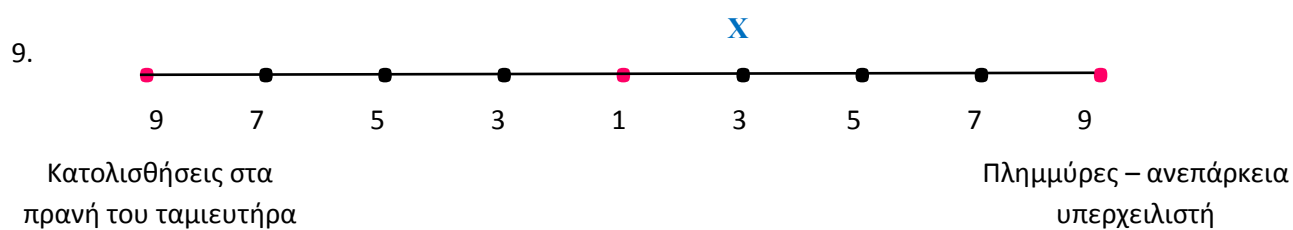
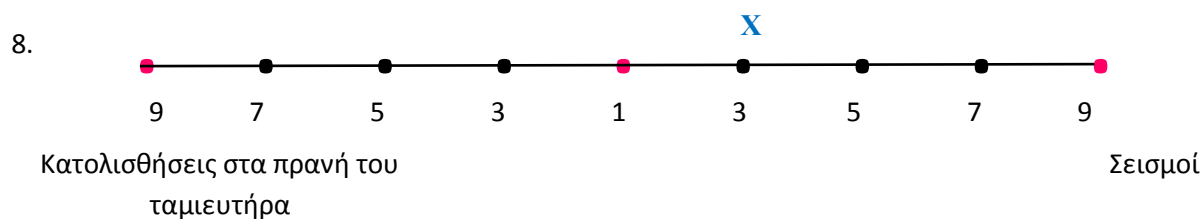
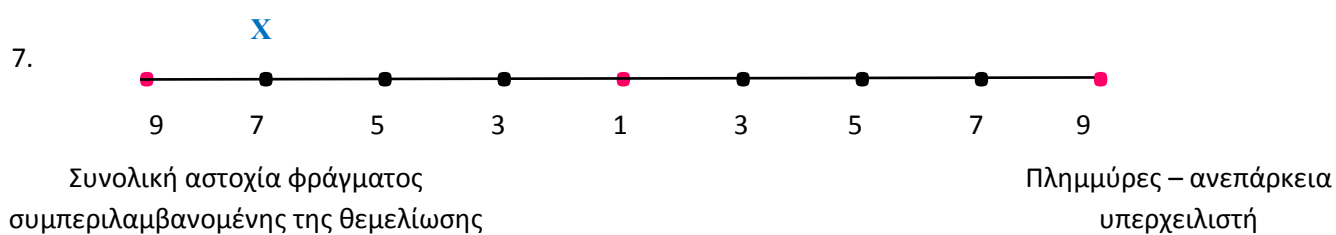
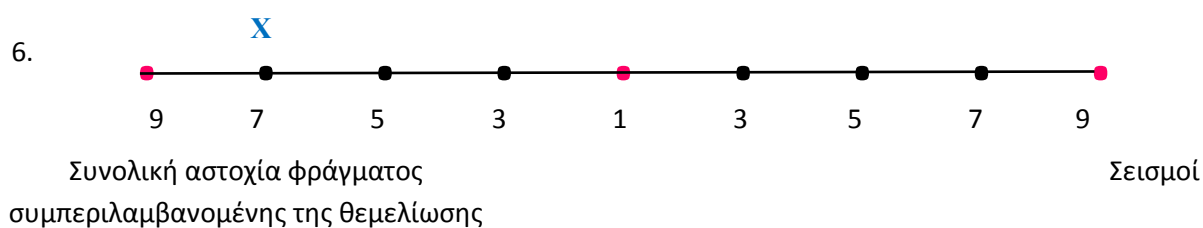
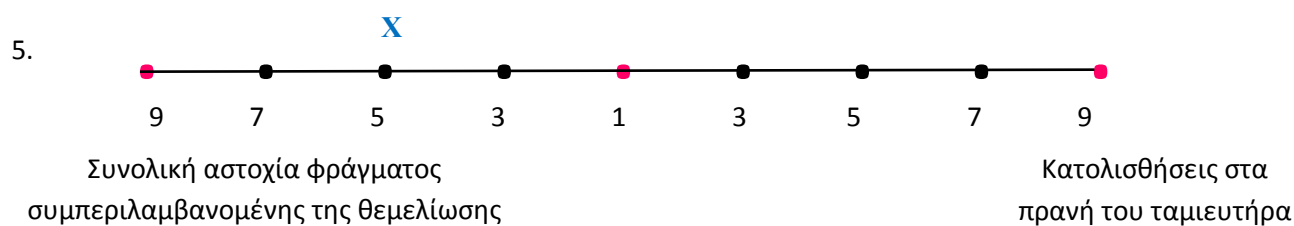
Παράρτημα Α: Σχετικά βάρη κριτηρίων με τη μέθοδο ΑΗΡ.

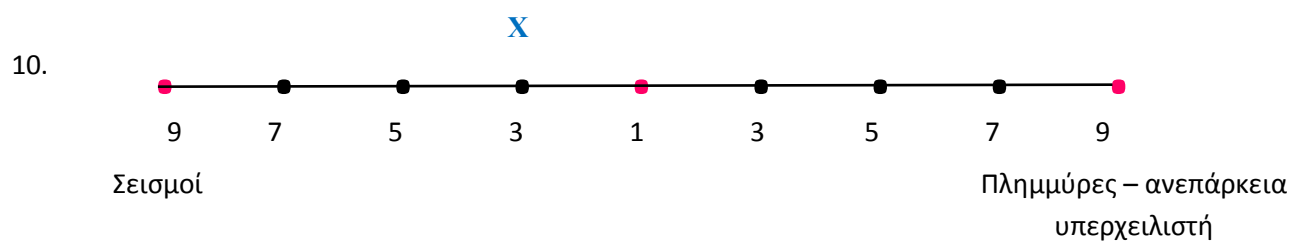
Το πρώτο κριτήριο είναι περισσότερο επικίνδυνο σε σχέση με το δεύτερο

Τα κριτήρια είναι το ίδιο επικίνδυνα

Το δεύτερο κριτήριο είναι περισσότερο επικίνδυνο σε σχέση με το πρώτο







Παράρτημα Β: Εκτίμηση εναλλακτικών σε κάθε κριτήριο με τη μέθοδο ΑΗΡ.

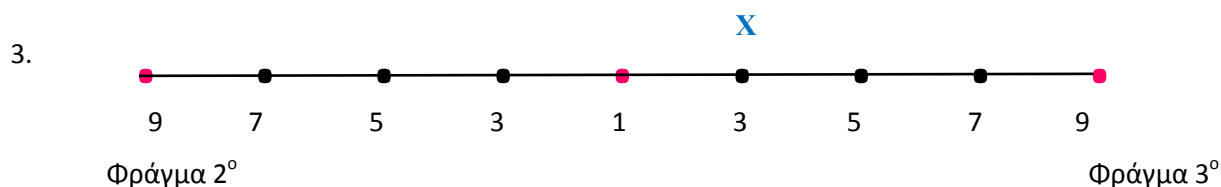
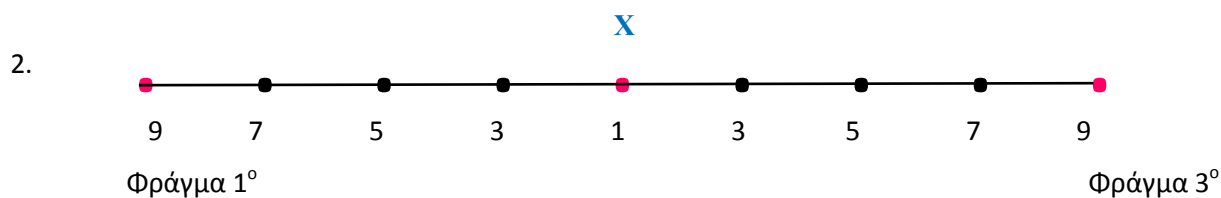
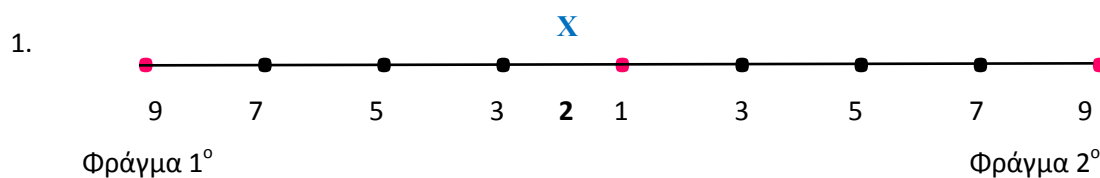
Κριτήριο 1^ο: Εσωτερική διάβρωση σε χωμάτινα φράγματα

Φράγμα 1ο: Φράγμα Αγία Παρασκευή Δήμου Χασιών

Φράγμα 2ο: Μικροφράγματα στα Δημοτικά Διαμερίσματα Γριζάνου – Παναγίτσας Δήμου Φαρκαδόνας

Φράγμα 3^ο: Φράγμα Λογγά

Το πρώτο φράγμα είναι περισσότερο επικίνδυνο σε σχέση με το δεύτερο ← Και τα δυο φράγματα είναι το ίδιο επικίνδυνα → Το δεύτερο φράγμα είναι περισσότερο επικίνδυνο σε σχέση με το πρώτο



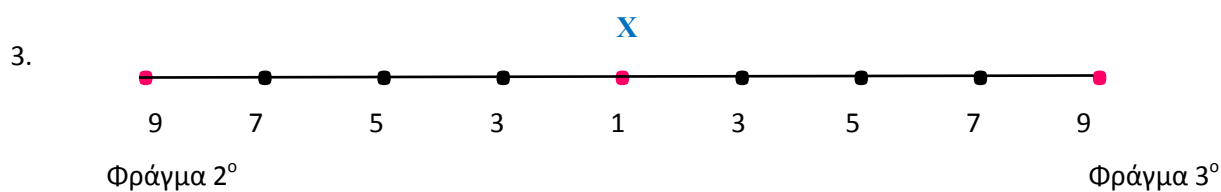
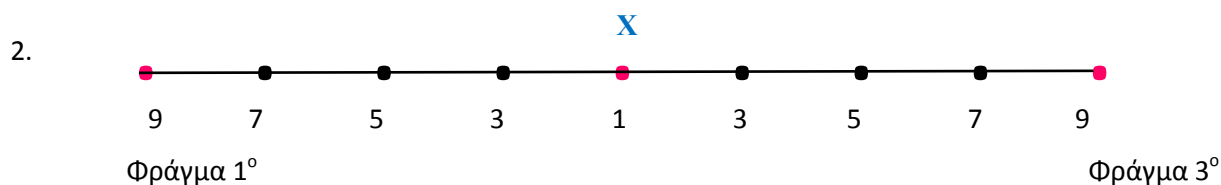
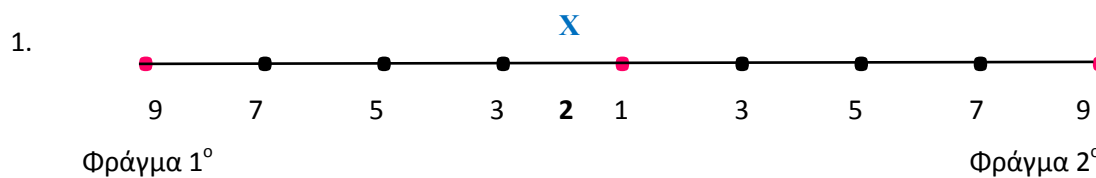
Κριτήριο 2^ο: Συνολική αστοχία φράγματος

Φράγμα 1ο: Φράγμα Αγία Παρασκευή Δήμου Χασιών

Φράγμα 2ο: Μικροφράγματα στα Δημοτικά Διαμερίσματα Γριζάνου – Παναγίτσας Δήμου
Φαρκαδόνας

Φράγμα 3^ο: Φράγμα Λογγά

Το πρώτο φράγμα είναι περισσότερο επικίνδυνο σε σχέση με το δεύτερο ← Και τα δυο φράγματα είναι το ίδιο σημαντικά → Το δεύτερο φράγμα είναι περισσότερο επικίνδυνο σε σχέση με το πρώτο



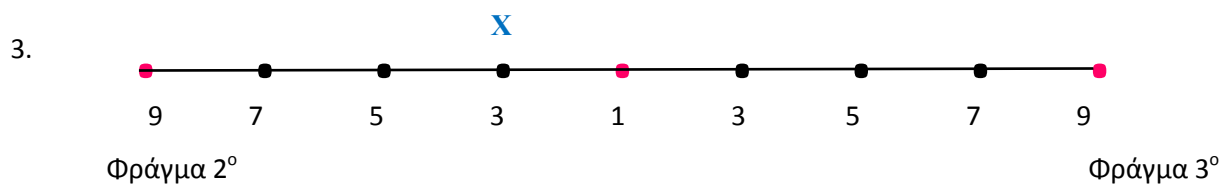
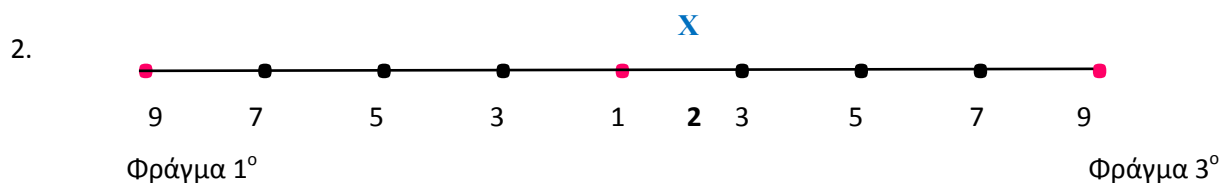
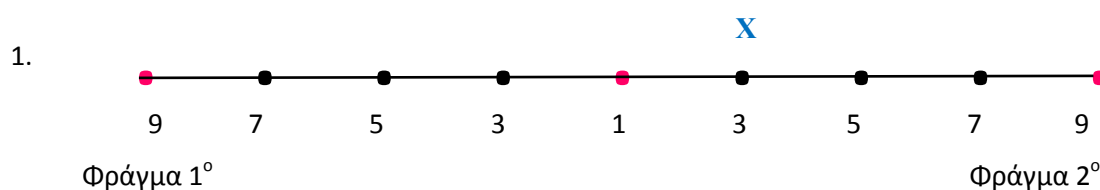
Κριτήριο 3^ο: Κατολισθήσεις στα πρανή του ταμιευτήρα

Φράγμα 1ο: Φράγμα Αγία Παρασκευή Δήμου Χασιών

Φράγμα 2ο: Μικροφράγματα στα Δημοτικά Διαμερίσματα Γριζάνου – Παναγίτσας Δήμου
Φαρκαδόνας

Φράγμα 3^ο: Φράγμα Λογγά

Το πρώτο φράγμα είναι περισσότερο επικίνδυνο σε σχέση με το δεύτερο ← Και τα δυο φράγματα είναι το ίδιο επικίνδυνα → Το δεύτερο φράγμα είναι περισσότερο επικίνδυνο σε σχέση με το πρώτο



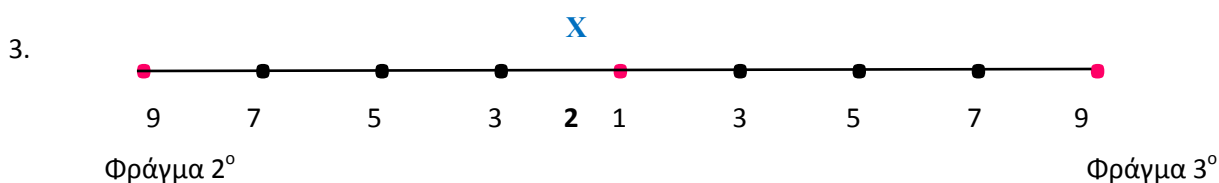
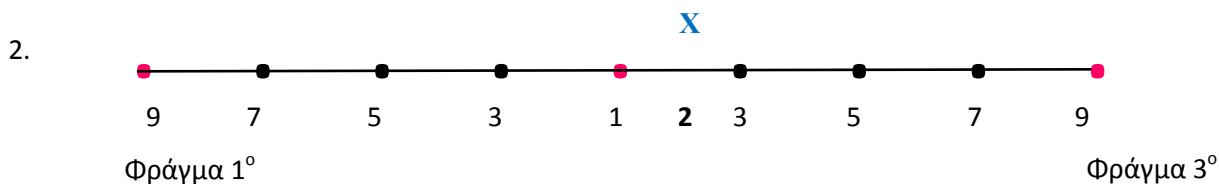
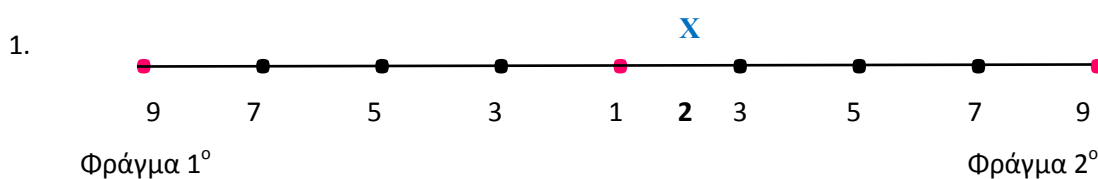
Κριτήριο 4^ο: Σεισμοί

Φράγμα 1ο: Φράγμα Αγία Παρασκευή Δήμου Χασιών

Φράγμα 2ο: Μικροφράγματα στα Δημοτικά Διαμερίσματα Γριζάνου – Παναγιώτσας Δήμου
Φαρκαδόνας

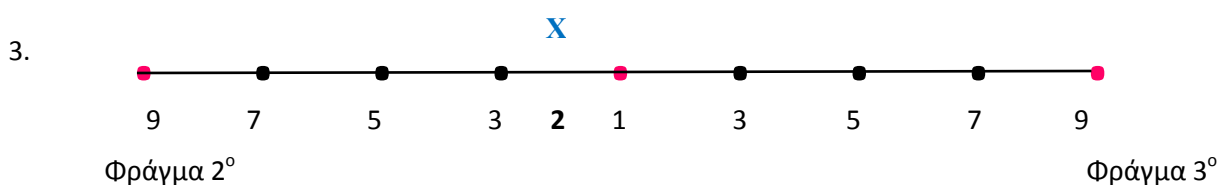
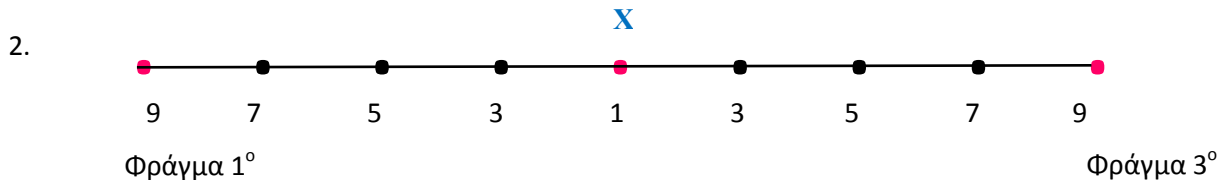
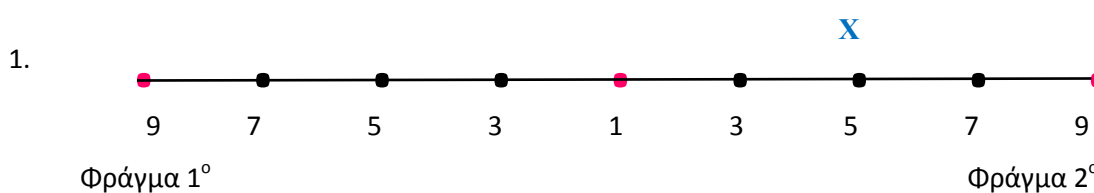
Φράγμα 3^ο: Φράγμα Λογγά

Το πρώτο φράγμα είναι περισσότερο επικίνδυνο σε σχέση με το δεύτερο ← Και τα δυο φράγματα είναι το ίδιο επικίνδυνα → Το δεύτερο φράγμα είναι περισσότερο επικίνδυνο σε σχέση με το πρώτο



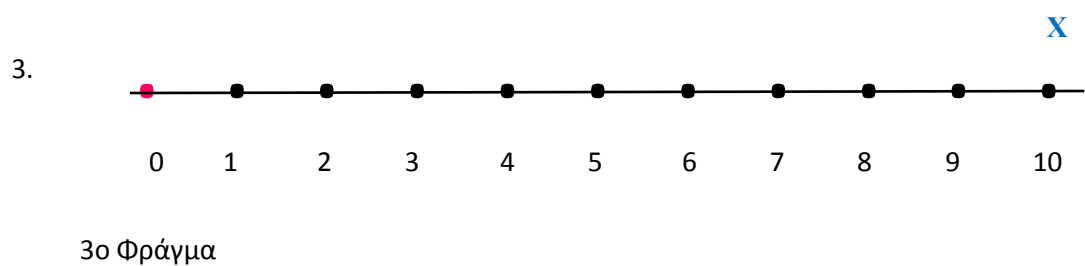
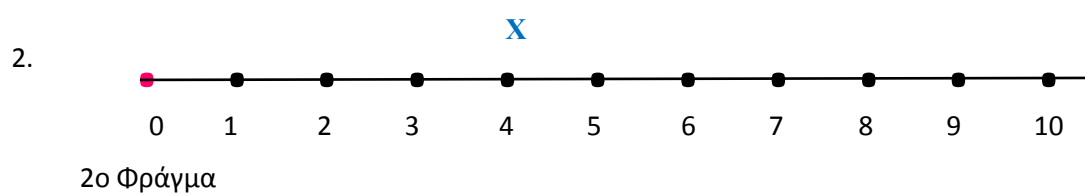
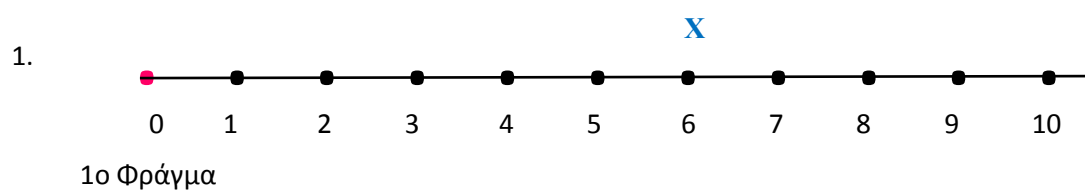
Κριτήριο 5^ο: Πλημμύρες – Ανεπάρκεια ΥπερχειλιστήΦράγμα 1^ο: Φράγμα Αγία Παρασκευή Δήμου ΧασίωνΦράγμα 2^ο: Μικροφράγματα στα Δημοτικά Διαμερίσματα Γριζάνου – Παναγιώτσας Δήμου
ΦαρκαδόναςΦράγμα 3^ο: Φράγμα Λογγά

Το πρώτο φράγμα είναι περισσότερο επικίνδυνο σε σχέση με το δεύτερο ← Και τα δυο φράγματα είναι το ίδιο επικίνδυνα → Το δεύτερο φράγμα είναι περισσότερο επικίνδυνο σε σχέση με το πρώτο

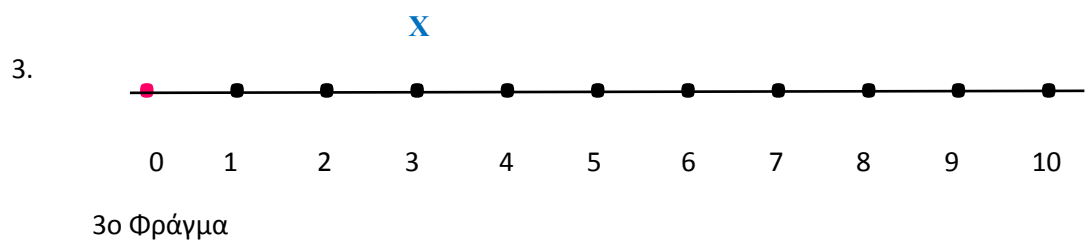
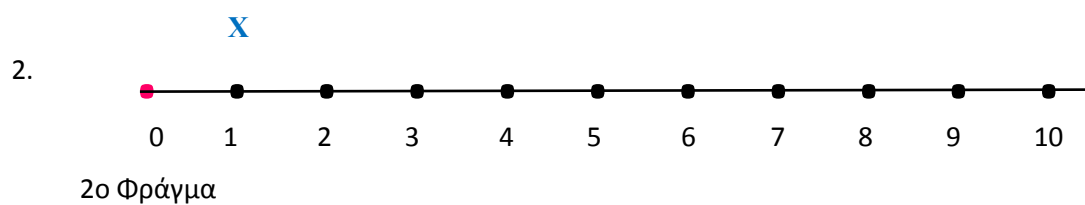
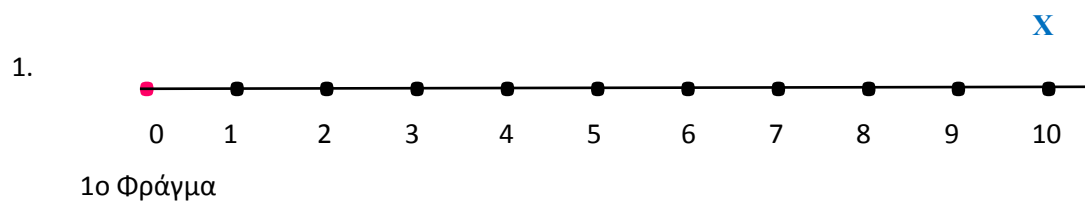


Παράρτημα Γ: Εκτίμηση εναλλακτικών σε κάθε κριτήριο με την μέθοδο Electre.

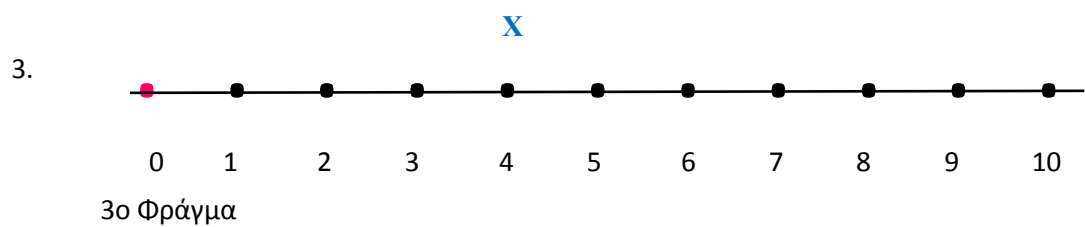
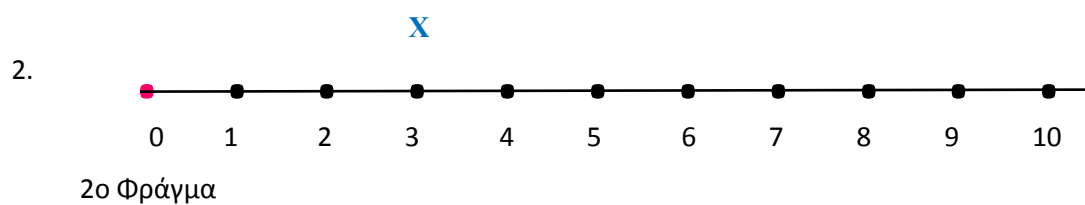
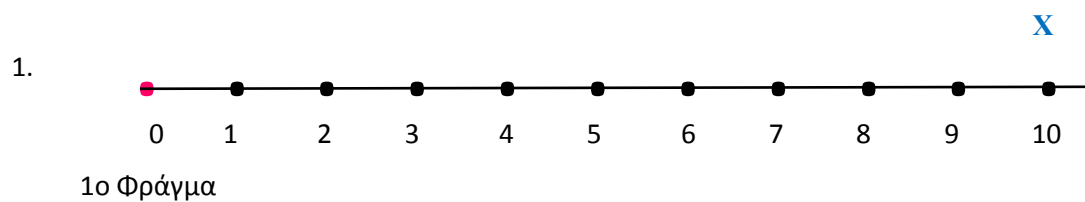
Κριτήριο Κ1: Εσωτερική Διάβρωση



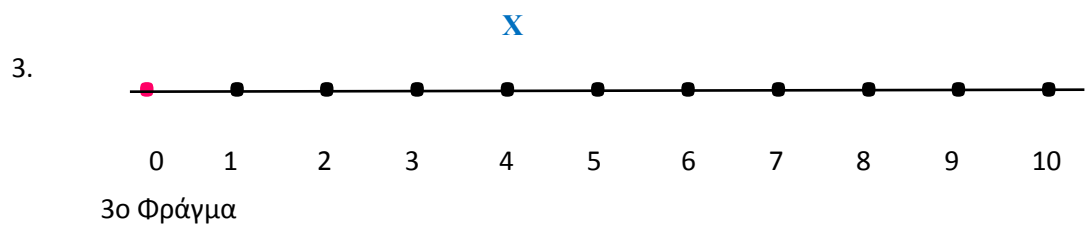
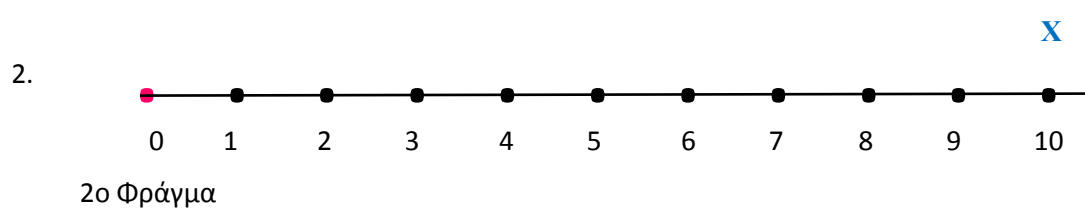
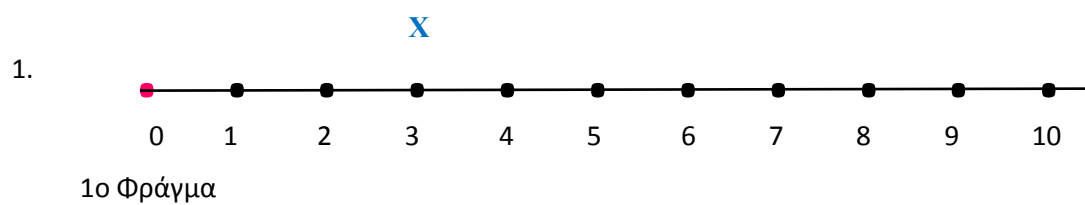
Κριτήριο Κ2: Συνολική Αστοχία



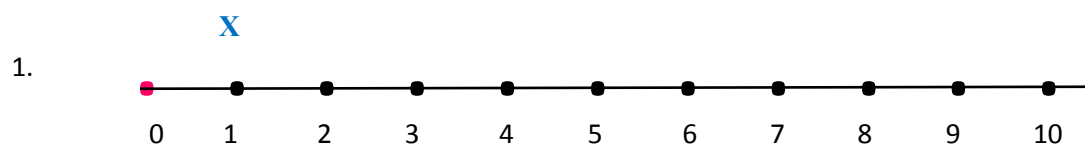
Κριτήριο Κ3: Κατολισθήσεις



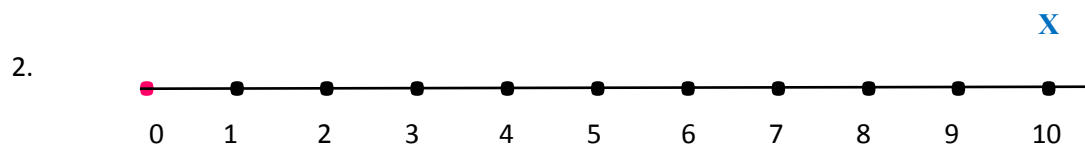
Κριτήριο Κ4: Σεισμοί



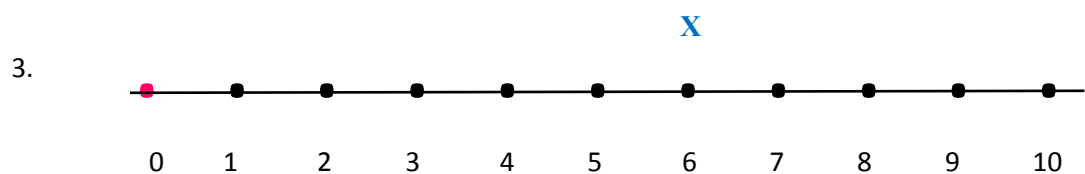
Κριτήριο Κ5: Πλημμύρες



1ο Φράγμα



2ο Φράγμα



3ο Φράγμα