



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΣΧΟΛΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Πτυχιακή εργασία

*«Εφαρμογή της Αναλυτικής Ιεραρχικής Μεθόδου- ΑHP στη διαχείριση της
άρδευσης των καλλιεργειών»*

Συγγραφέας: Θεόδωρος Παπαδόπουλος

Επιβλέπων: κ. Μητρόπουλος Παναγιώτης

ΠΑΤΡΑ

2020

Αυτή η πτυχιακή εργασία σηματοδοτεί την ολοκλήρωση των σπουδών μου ως προπτυχιακού φοιτητή στο τμήμα Επιχειρηματικού Σχεδιασμού και Πληροφοριακών συστημάτων.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας κ. Μητρόπουλο Δημήτριο για την καθοδήγησή του και την άρτια συνεργασία που είχαμε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησής της.

Τέλος, δεν μπορώ να μην εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου, για τη διαχρονική συμπαράστασή τους και την ηθική και υλική στήριξη των επιλογών μου.

— Θεόδωρος Παπαδόπουλος, Χίος Δεκέμβριος 2018

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο : ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΙΕΡΑΡΧΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ	9
1.1 Ιεραρχική Ανάλυση Αποφάσεων - AHP	9
1.2 Πρακτικές εφαρμογές AHP	10
1.3 Η μέθοδος της Διαδικασίας Αναλυτικής Ιεράρχησης (Analytic Hierarchy Process)..	12
1.4 Η κλίμακα του Saaty	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο ΙΕΡΑΡΧΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΙΔΙΟΔΙΑΝΥΣΜΑΤΟΣ.....	17
2.1 Προσδιοριστικοί – Στοχαστικοί μέθοδοι στην AHP	17
2.2 Μέθοδος του Ιδιοδιανύσματος	18
2.1.1 Ιδιοδιάνυσμα.....	18
2.1.2 Ιδιοτιμές.....	21
2.1.3 Δείκτης συνέπειας	22
2.3 Κριτικές για την μέθοδο AHP	23
2.4 Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα AHP	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο : ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ ΙΕΡΑΡΧΙΚΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ - ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ	27
3.1 Περιοχή μελέτης.....	27
3.2 Μορφή μοντέλου με χρήση της AHP	29
3.3 Προσδιορισμός Παραγόντων / Υπο-παραγόντων	30
3.4 Ζευγαρωτές συγκρίσεις – Προσδιορισμός συντελεστών βαρύτητας	32
3.5 Ανάλυση συνέπειας.....	35
3.6 Αξιολόγηση των στοιχείων/ συνιστωσών των παραγόντων.....	36
3.7 Βαθμός Αξιολόγησης της Απόδοσης του Σωλήνα	40
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	43
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	45

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Δομή μοντέλου	14
Εικόνα 2. Θεμελιώδης κλίμακα απολύτων αριθμών	16
Εικόνα 3. Μέθοδοι για τον υπολογισμό των βαρών των εναλλακτικών μέσω της διαδικασίας AHP	17
Εικόνα 4 Τυχαίος δείκτης R.I.	22
Εικόνα 5. Περιοχή μελέτης.....	28
Εικόνα 6. Διάγραμμα ροής για την τεχνική αξιολόγηση μεμονωμένων σωλήνων νερού	29
Εικόνα 7. Η ιεραρχική δομή για την τεχνική αξιολόγηση των μεμονωμένων σωλήνων	31
Εικόνα 8. Οι πίνακας σύγκρισης ζευγών μεταξύ κύριων παραγόντων	32
Εικόνα 9. Πίνακας σύγκρισης ζευγών μεταξύ φυσικών υπο-παραγόντων.....	33
Εικόνα 10. Πίνακας σύγκρισης ζευγών μεταξύ περιβαλλοντικών υπο-παραγόντων ...	33
Εικόνα 11. Πίνακας σύγκρισης ζευγών μεταξύ λειτουργικών υπο-παραγόντων.	34
Εικόνα 12. Προσδιορισμός συντελεστών βαρύτητας κύριων παραγόντων- υπο-παραγόντων.....	34
Εικόνα 13. Δείκτες συνέπειας CI - Δείκτες λόγου συνέπειας CR	35
Εικόνα 14. Κατηγορίες βαθμολόγησης στοιχείων των παραγόντων.....	36
Εικόνα 15. PFS	38
Εικόνα 16. EFS	39
Εικόνα 17. OFS.....	40
Εικόνα 18. Βαθμολογικές κλάσεις αξιολόγησης επιδόσεων.	41
Εικόνα 19. PES	41

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία σκοπεύει στην παρουσίαση και ανάλυση μιας μεθόδου λήψης αποφάσεων η οποία διαχειρίζεται αποφάσεις πολυσταδιακές ως προς τα κριτήρια. Πρόκειται για αποφάσεις οι οποίες έχουν συγκεκριμένες εναλλακτικές επιλογές και πολλαπλά κριτήρια. Αποφάσεις σαν αυτές συνδέονται με κάθε επιστημονικό κλάδο αλλά τις συναντάμε και στην καθημερινότητα μας, γεγονός που καθιστά τον αποτελεσματικό χειρισμό τους σημαντικό

Ως ένα επίκαιρο παράδειγμα της πολύπλοκης κατάστασης είναι και η συντήρηση των εγκαταστάσεων υδροδότησης. Ακριβώς λόγω της πολυπλοκότητας των αποφάσεων, έχουν αναπτυχθεί και διαρκώς εξελίσσονται, μέθοδοι-εργαλεία για να διευκολύνουν την λήψη μιας απόφασης, λαμβάνοντας υπόψιν όλους τους παράγοντες που επηρεάζουν τον αποφασίζοντα κατά την λήψη της. Ένα τέτοιο εργαλείο, το οποίο αποτελεί σημείο αναφοράς της παρούσας εργασίας, είναι η μέθοδος που δημιούργησε ο Saaty στις αρχές της δεκαετίας του 1970 με την ονομασία Analytical Hierarchy Process (AHP) – Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (Saaty, 1980).

ABSTRACT

This paper intends to present and analyze a method of multi-criteria decision making. In these decisions the alternatives have been predetermined and there are multiple criteria affecting them. Decisions like these are linked with many areas of science, but there are in everyone's daily lives too, fact that makes the effective handling really important. The present study is been dealing with a method called Analytic Hierarchy Process (AHP), invented Saaty in seventies.

Keywords: AHP, water distribution system, pipe performance, performance evaluation, Multi-Criteria decision making.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σημερινή εποχή χαρακτηρίζεται από έναν έντονο βαθμό πολυπλοκότητας, όπου πολλά στοιχεία αλληλοεπηρεάζονται μεταξύ τους, χωρίς η σχέση τους να είναι ξεκάθαρη. Σ' ένα τόσο περίπλοκο περιβάλλον, όπου πολλοί παράγοντες συνδέονται ως ένα μεγάλο δίκτυο μεταξύ τους, η πρωταρχική αιτία και η τελευταία συνέπεια, δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστούν με ευκολία. Η ανθρώπινη σκέψη και τα εργαλεία που χρησιμοποιούμε δεν εξελίχθηκαν ακόμη τόσο, ώστε να μπορούμε με ευκολία να διακρίνουμε τις διάφορες σχέσεις και να μπορούμε να δίνουμε ακριβείς λύσεις σε σημαντικά προβλήματα που απασχολούν την ανθρωπότητα όπως π.χ. η παροχή ενέργειας, το παγκόσμιο εμπόριο, οι μεταφορές και τα παγκόσμια χρηματοοικονομικά, η διατροφή, η πρόσβαση σε υδάτινους πόρους, το περιβάλλον κ.λ.π. Επίσης, ο άνθρωπος έχει την τάση να προσπαθεί να διαχειρίζεται και να επιλύει περισσότερα προβλήματα απ' όσα πραγματικά μπορεί να διαχειριστεί. Συχνά μάλιστα υπάρχει η πεποίθηση ότι η επίλυση ενός πολύπλοκου προβλήματος απαιτεί και ένα ακόμη πιο πολύπλοκο τρόπο σκέψης (Κόλλια, 2012).

Στην πραγματικότητα όμως, αυτό που χρειάζεται, δεν είναι ένας πολύπλοκος τρόπος σκέψης αλλά ένας τρόπος σκέψης ο οποίος θα οργανώνει τα προβλήματα σε ένα πλαίσιο το οποίο θα επιτρέπει την αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων και θα δίνει την δυνατότητα στον ερευνητή να μπορεί να σκέφτεται με πιο απλό τρόπο (Saaty, 1996). Η μέθοδος της Διαδικασίας Αναλυτικής Ιεράρχησης (AHP) μπορεί να προσφέρει το πλαίσιο για την υλοποίηση και την λήψη αποτελεσματικών αποφάσεων σε περίπλοκα θέματα. Η AHP αναπτύχθηκε από τον T.L. Saaty στις ΗΠΑ τη δεκαετία του '70. Η AHP είναι μια μέθοδος που δίνει τη δυνατότητα της κατασκευής μιας ιεραρχικής δομής για την επίλυση του προβλήματος, χρησιμοποιώντας μια κλίμακα μέτρησης εννέα βαθμών και στο τέλος συνθέτει το αποτέλεσμα (Forman και Gass, 2001).

Πρόκειται για μια τεχνική λήψης αποφάσεων, που χρησιμοποιήθηκε σε ένα ευρύ φάσμα αντιμετώπισης προβλημάτων που είχαν σχέση με την επιλογή της πιο κατάλληλης εναλλακτικής λύσης μέσα σε ένα πολύπλοκο περιβάλλον. Η AHP ως μέθοδος στηρίζεται σε τρεις βασικές αρχές: 1) τη διάσπαση του συνολικού προβλήματος σε επιμέρους πιο μικρά προβλήματα (decomposition), 2) τις συγκρίσεις

μεταξύ των στοιχείων σε κάθε επίπεδο ξεχωριστά και τέλος (pairwise comparison) 3) τη σύνθεση (synthesizes) ιεραρχικά των σημαντικότερων που είναι το αποτέλεσμα των συγκρίσεων της δεύτερης αρχής (Saaty, 1994).

Δεδομένου ότι οι σωλήνες που είναι τεχνικά σε κακή κατάσταση στα συστήματα διανομής νερού, προκαλούν σημαντικά λειτουργικά προβλήματα και απώλειες νερού, είναι πολύ σημαντικό να αξιολογηθεί η τεχνική απόδοσή τους προκειμένου να εντοπιστούν και να επιδιορθωθούν – αντικατασταθούν με τον αποτελεσματικότερο δυνατό τρόπο. Σε αυτή τη μελέτη, η αξιολόγηση των τεχνικών επιδόσεων των μεμονωμένων σωλήνων ύδρευσης που εξυπηρετούν τα συστήματα διανομής ύδατος γίνεται με τη μέθοδο της αναλυτικής ιεραρχίας (AHP) η οποία περιλαμβάνει την ανάλυση πολλαπλών κριτηρίων ή μέθοδος λήψης αποφάσεων σύμφωνα με διάφορους βασικούς παράγοντες όπως είναι οι φυσικοί, οι περιβαλλοντικοί και οι λειτουργικοί.

Επιπλέον, συνυπολογίζονται και οι έντεκα υπό-παράγοντες όπως διάμετρος σωλήνων, υλικό σωλήνων, ηλικία σωλήνων, μήκος; σωλήνων, τύπος εδάφους, ένταση κυκλοφορίας (νερού), πλάτος δρόμου, κατάσταση οδοστρώματος, ο ρυθμός αποτυχίας, ο αριθμός των διακοπών νερού, η πίεση του συστήματος κλπ. Οι πίνακες σύγκρισης ανά ζεύγη και οι συντελεστές βαρύτητας για όλους τους κύριους και υπό-παράγοντες που καθορίστηκαν στην παρούσα μελέτη υπολογίστηκαν βάσει των απόψεων των εμπειρογνομώνων. Οι συντελεστές Φυσικού Παράγοντα (PFS), περιβαλλοντικού παράγοντα (EFS) και λειτουργικού παράγοντα (EFS) χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της τεχνικής αξιολόγησης των σωλήνων ύδρευσης. Τέλος, ο Δείκτης Αξιολόγησης Επιδόσεων (PES) που χρησιμοποιήθηκε στην τεχνική αξιολόγηση των μεμονωμένων σωλήνων νερού υπολογίστηκε λαμβάνοντας υπόψη τα PFS, EFS και OFS που υπολογίστηκαν για τους κύριους παράγοντες και τους συντελεστές βαρύτητας τους.

Θεωρείται ότι το μοντέλο AHP που αναπτύχθηκε σε αυτή τη μελέτη μπορεί να είναι ένα σημαντικό εργαλείο στην τεχνική αξιολόγηση όλων των στοιχείων των σωληνώσεων για επιχειρήσεις ύδρευσης (Kilinc, 2017).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΙΕΡΑΡΧΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ

1.1 Ιεραρχική Ανάλυση Αποφάσεων - ΑHP

Η Ιεραρχική Ανάλυση Αποφάσεων - ΑHP σκοπεύει πρωτίστως στην κατασκευή ρεαλιστικών μοντέλων για την λήψη μιας απόφασης. Ένα μοντέλο για να είναι ρεαλιστικό, είναι απαραίτητο να προσμετρά όλους τους παράγοντες – κριτήρια που συμμετέχουν στην λήψη της απόφασης, είτε έχουν υλική είτε άυλη μορφή. Οι μετρήσεις σε ένα μοντέλο ΑHP μπορούν να είναι ποσοτικές ή ποιοτικές. Αυτό είναι και το «επαναστατικό» στην μέθοδο του Saaty, δημιούργησε μια κλίμακα πέρα από τις θεμελιώδεις η οποία καθιστά τα πάντα μετρήσιμα, με τρόπο ώστε να μπορούν να ιεραρχηθούν με συνέπεια και τελικά να προσδιοριστεί η καλύτερη εναλλακτική απόφαση (Kilinc, 2017).

Ο σκοπός πάνω στον οποίο δούλεψαν ο Saaty και οι συνεργάτες του κατά την σύνθεση της μεθόδου όπως έγραψε και ο ίδιος *«ήταν η ανάπτυξη μιας θεωρίας και η παροχή μιας μεθοδολογίας, η οποία θα επέτρεπε την μοντελοποίηση αδόμητων προβλημάτων των οικονομικών, κοινωνικών και διοικητικών επιστημών»*. Το σημείο κλειδί για την μοντελοποίηση τέτοιων προβλημάτων είναι οι σχετικές μετρήσεις που είναι απαραίτητες. Τα οικονομικά μεγέθη και οι δείκτες είναι μετρήσιμοι, υπάρχει όμως πληθώρα άλλων παραγόντων – οντοτήτων όπως η ποιότητα του περιβάλλοντος, η υγεία, η χαρά που επηρεάζουν κοινωνικά φαινόμενα και αξίες, οι οποίοι δεν είναι μετρήσιμοι με καμία από τις θεμελιώδεις κλίμακες. Για να ξεπεραστεί αυτή η δυσκολία ο Saaty και οι συνεργάτες του προσέγγισαν έννοιες σαν και αυτές μέσω των σχετικών συγκρίσεων.

Η ΑHP δε μετρά κάθε παράγοντα που αλληλεπιδρά με κάποια εναλλακτική απόφαση ή κάποιο κριτήριο μεμονωμένα αλλά σε σχετική σύγκριση με κάποιον αντίστοιχο παράγοντα. Με λίγα λόγια βαθμολογεί την σημαντικότητα του ενός παράγοντα σε σύγκριση με την σημαντικότητα κάποιου άλλου, βασίζεται δηλαδή αποκλειστικά στις δυαδικές συγκρίσεις, οι οποίες παρέχουν, μέσα από την κλίμακα του Saaty, και το μετρήσιμο αποτέλεσμα. Είναι προφανές ωστόσο, ότι λόγω της υποκειμενικότητας είναι δύσκολο να δουλέψει κανείς βασιζόμενος στην κρίση του αποφασίζοντος ή ακόμη και

του κοινωνικού συνόλου. Για τον λόγο αυτό μελετήθηκε ιδιαίτερα η συνέπεια της κρίσης και η εγκυρότητα της. Όπως θα φανεί και στην πορεία της ανάλυσης, στην ΑHP ο έλεγχος συνέπειας παίζει πολύ βασικό ρόλο πριν την αποδοχή οποιουδήποτε αποτελέσματος (Κόλλια, 2012) .

1.2 Πρακτικές εφαρμογές ΑHP

Στη βιβλιογραφία, πραγματοποιήθηκαν πολλές μελέτες που αφορούσαν την εκτίμηση του ποσοστού αστοχίας και της διαρροής, την ανάλυση του κινδύνου των σωλήνων και των απωλειών ύδατος κ.λπ. λαμβάνοντας υπόψη διαφορετικές μεθόδους και παράγοντες. Από τις μελέτες αυτές προκύπτει ότι περιορισμένος αριθμός μεταβλητών ή παραγόντων ελήφθησαν υπόψη γενικά λόγω της έλλειψης δεδομένων.

Οι De Oliveira et al. (2011) ανέλυσαν τα αρχεία βλαβών και τις τεχνικές επιδόσεις συστήματος διανομής νερού το οποίο βρισκονταν σε κακή φυσική κατάσταση, με τις σωληνώσεις του να έχουν ολοκληρώσει τον κύκλο ζωής τους και να απαιτείτε η αντικατάστασή τους, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η αποδοτικότητα των επενδύσεων για την αντικατάστασή τους. Οι Tsitsifli et al. (2011) εστίασαν στη σημασία της εκτίμησης κινδύνων και χρησιμοποίησαν τα ίδια δεδομένα με τους De Oliveira et al. για την επίτευξη ακριβέστερων αποτελεσμάτων καθώς και μεθόδων όπως η παρακολούθηση, η επισκευή και η αντικατάσταση υλικών στο σύστημα διανομής ύδατος. Στη μελέτη τους, στοχεύουν στην πρόβλεψη πιθανών αποτυχιών στο δίκτυο χρησιμοποιώντας τις μεθόδους ανάλυσης και ταξινόμησης.

Από την άλλη πλευρά, η μέθοδος ΑHP έχει εφαρμοστεί σε συστήματα διαχείρισης υδατικών πόρων και αστικών υποδομών αξιολογώντας τον κίνδυνο ξηρασίας (Palchaudhuri and Biswas 2016), την διαχείριση του αστικού αποστραγγιστικού συστήματος (Benzerra et al., 2012), την προτεραιότητα των λεκανών απορροής (Chowdary et al. 2013), την αξιολόγηση του κινδύνου ρύπανσης των υπόγειων υδάτων (Şener and Şener 2015), τον σχεδιασμό του δικτύου υπογείων υδάτων (Singh and Katpatal 2017).

Οι Ennaouri και Fuamba (2013) αποκάλυψαν τους παράγοντες που επηρεάζουν τη φυσική κατάσταση των αποχετευτικών συστημάτων και τις καταστάσεις φθοράς του συστήματος αποχέτευσης σύμφωνα με υδραυλικά και δομικά χαρακτηριστικά. Για το σκοπό αυτό, καθορίστηκαν και αναλύθηκαν 15 παράγοντες χρησιμοποιώντας τη μέθοδο AHP. Με βάση τους κύριους και υπο-παράγοντες που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση, τα στοιχεία των σωλήνων αποχέτευσης αξιολογήθηκαν σύμφωνα με τις υδραυλικές και δομικές τους ιδιότητες. Οι Mamo et al. (2013) είχαν ως στόχο την μελέτη και αναγνώριση των στρατηγικών συντήρησης σωλήνων στο σύστημα διανομής νερού που ολοκλήρωσαν την ωφέλιμη ζωή τους ή χρειάζονται επισκευή. Στη μελέτη τους, αναπτύχθηκαν οι βέλτιστες στρατηγικές συντήρησης με το ελάχιστο κόστος επισκευής και συντήρησης Fuzzy AHP.

Οι Choi and Koo (2014) ανέπτυξαν ένα μοντέλο αξιολόγησης κινδύνου για σωλήνες νερού στο σύστημα διανομής νερού προκειμένου να καθορίσουν την πιθανότητα αστοχίας, οι συνέπειες των βλαβών σε σωλήνες στο σύστημα διανομής νερού και να αξιολογηθεί ο κίνδυνος. Οι Francisque et al. (2014) εφάρμοσαν ένα εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων σχετικά με στρατηγικές συντήρησης-επισκευής ή αντικατάστασης των σωλήνων ύδρευσης. Στη μελέτη τους, καθορίστηκε μια προσέγγιση ενός δείκτη κινδύνου για να βοηθήσει τους διαχειριστές να αξιολογήσουν την απόδοση του συστήματος με χρήση ορισμένων μεταβλητών όπως η βλάβη του συστήματος, η ποιότητα του νερού, η υδραυλική ικανότητα κ.λπ.

Οι Marlow et al. (2015) ανέπτυξαν και πρότειναν ένα μοντέλο με βάση τη μεθοδολογία υποστήριξης αποφάσεων για την αξιολόγηση των τεχνικών και οικονομικών κινδύνων των επιλογών αποκατάστασης των σωληνώσεων. Οι CI. Kessili and Benmamar (2016) καθόρισαν 12 κριτήρια, συμπεριλαμβανομένων των δομικών, υδραυλικών, περιβαλλοντικών, οικονομικών, κοινωνικών και τεχνικών παραγόντων του συστήματος αποκατάστασης έργων αποχέτευσης. Σκοπός τους ήταν να καθορίσουν την προτεραιότητα των περιφερειών που θα αποκατασταθούν λαμβάνοντας υπόψη το βάρος των παραγόντων ή των κριτηρίων που υπολογίζονται με τη μέθοδο AHP.

Επιπρόσθετος, η μέθοδος εφαρμόστηκε στην διαμάχη για την πνευματική ιδιοκτησία ανάμεσα στις ΗΠΑ και την Κίνα το 1995, για την πειρατική αντιγραφή και εμπορία

μουσικής, ταινιών και λογισμικού. Η ανάλυση της AHP η οποία περιείχε τρεις ιεραρχίες για τα πλεονεκτήματα, το κόστος και το ρίσκο, έδειξε ότι θα ήταν καλύτερο για τις ΗΠΑ να μην προχωρήσουν σε κυρώσεις για την Κίνα. Λίγο μετά την ολοκλήρωση της μελέτης, οι ΗΠΑ βράβευσαν την Κίνα ως την προτιμώμενη χώρα εμπορικών συναλλαγών. Επίσης, οι Βρετανικές αερογραμμές το 1998 χρησιμοποίησαν την μέθοδο για να επιλέξουν το σύστημα ψυχαγωγίας που θα προμηθεύονταν για ολόκληρο τον στόλο τους.

Η εταιρεία Xerox εφάρμοσε την AHP το 1999 σε απόφαση που έπρεπε να λάβει, για την ανάθεση ποσού κοντά στο ένα δισεκατομμύριο δολάρια σε κάποιο ερευνητικό της πρόγραμμα. Την ίδια χρονιά η Ford χρησιμοποίησε την μέθοδο, ώστε να καθορίσει τις προτεραιότητες για τα κριτήρια που βελτιώνουν την ικανοποίηση των πελατών. Η Ford στη συνέχεια βράβευσε το Expert Choice Inc. 2 για την αποτελεσματικότητα του και την βοήθεια που τους προσέφερε για να επιτύχουν μεγαλύτερη ικανοποίηση των πελατών τους. Το 2001 η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε για να προσδιορίσει το ιδανικό μέρος για την επανεγκατάσταση της Τουρκικής πόλης Adapazarı, η οποία καταστράφηκε από ισχυρό σεισμό. Τέλος, η αναλυτική ιεραρχική διαδικασία χρησιμοποιήθηκε από την IBM ως μέρος της στρατηγικής βελτίωσης ποιότητας για τον σχεδιασμό του υπολογιστή AS/400 και κέρδισε το διεθνούς κύρους βραβείο Malcolm Baldrige National Quality Award.

1.3 Η μέθοδος της Διαδικασίας Αναλυτικής Ιεράρχησης (Analytic Hierarchy Process)

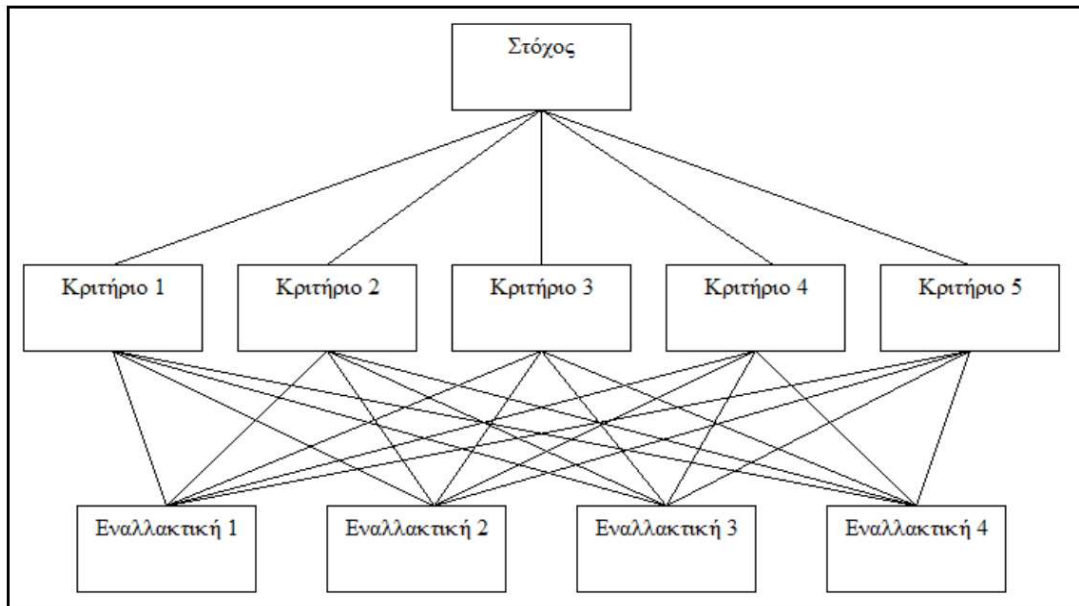
Η δομή της μεθόδου ξεκινά διαχωρίζοντας το πρόβλημα σε μικρότερα κομμάτια και στη συνέχεια χρησιμοποιεί δυαδικές συγκρίσεις ώστε να καθορίσει τις προτεραιότητες σε κάθε ιεραρχία. Η AHP βασίζεται ουσιαστικά σε τρεις αρχές: αποσύνθεση, σχετικές συγκρίσεις και σύνθεση των προτεραιοτήτων (Saaty, 1986). Πρέπει αρχικά να γίνουν απόλυτα κατανοητές αυτές οι τρεις αρχές (Καρλαύτης, 2016) :

- **Αποσύνθεση**: Σύμφωνα με την αρχή της αποσύνθεσης για να κατασκευαστεί μια ιεραρχία, η οποία αποτελεί βασικό συστατικό της μεθόδου, πρέπει να

εντοπιστούν τα βασικά στοιχεία του προβλήματος. Για τον εντοπισμό των στοιχείων αυτών είναι απαραίτητη η αποσύνθεση του προβλήματος σε επίπεδα με την μορφή δέντρου. Στο πρώτο επίπεδο του δέντρου βρίσκεται ο τελικός στόχος – απόφαση. Ακολουθείται από τα βασικά κριτήρια που επηρεάζουν την απόφαση στο δεύτερο επίπεδο, τα υποκριτήρια αυτών στο τρίτο και συνεχίζεται με ανάλογο τρόπο. Κάθε επίπεδο λοιπόν, είναι η αποσύνθεση του ακριβώς προηγούμενου. Με τον τρόπο αυτό το πρόβλημα, σπάει σε επιμέρους κομμάτια: γενικές έννοιες, οι οποίες είναι αβέβαιες, γίνονται πιο ειδικές και σαφείς. Στο τελευταίο επίπεδο του δέντρου παραθέτονται οι εναλλακτικές αποφάσεις.

- **Σχετικές συγκρίσεις:** Οι συγκρίσεις κατά ζεύγη που ακολουθούν την αποσύνθεση του προβλήματος, ποσοτικοποιούν την σημασία του κάθε κριτηρίου (ή υποκριτηρίου) στο εκάστοτε επίπεδο σε σχέση με το κάθε στοιχείο που συνδέεται στο ανώτερο ακριβώς επίπεδο. Μέσω των συγκρίσεων αυτών προκύπτουν οι πίνακες προτιμήσεων, οι οποίοι παρέχουν στη συνέχεια την εκτίμηση των σχετικών βαρών για κάθε κριτήριο (ή υποκριτήριο) και για κάθε εναλλακτική.
- **Σύνθεση των προτεραιοτήτων:** Τα σχετικά βάρη που υπολογίζονται μέσω των πινάκων προτιμήσεων υποδεικνύουν την σύνθεση των προτεραιοτήτων, η οποία οδηγεί εν συνεχεία στην κατασκευή της ιεραρχίας. Η επίλυση προβλημάτων λήψης αποφάσεων στις πρόσφατες δεκαετίες αντιμετωπίζεται πλέον μέσα από την προσέγγιση των συστημάτων, κυρίως για προβλήματα που αφορούν τις κοινωνικές επιστήμες. Ουσιαστικά για την επίλυση του εκάστοτε προβλήματος σχεδιάζεται ένα σύστημα, το οποίο αντανακλά έναν μικρόκοσμο. Μέσα από το σύστημα που σχεδιάζεται, αξιολογείται ο αντίκτυπος των διαφόρων συνιστωσών του συστήματος για ολόκληρο το σύστημα και βρίσκονται οι προτεραιότητες τους.

Εικόνα 1. Δομή μοντέλου ΑΗΡ



Πηγή: Κόλλια, 2012

Όπως μπορεί να φανεί και στην Εικόνα 1. με την αρχή της διάσπασης του προβλήματος δημιουργείται η δυνατότητα ένα πολύπλοκο πρόβλημα να δομηθεί ιεραρχικά σε συστάδες, υποσυστάδες κοκ. Στο ανώτατο επίπεδο της ιεραρχίας τοποθετείται ο στόχος που επιδιώκεται. Στη συνέχεια, στο δεύτερο επίπεδο, τοποθετούνται τα κριτήρια απόφασης που θα βοηθήσουν με την σύγκριση τους στην επίλυση του προβλήματος και στην επίτευξη του στόχου που έχει τεθεί αρχικά. Τέλος, στο τρίτο επίπεδο τοποθετούνται οι εναλλακτικές στρατηγικές ή αποφάσεις διαμέσου των οποίων θα υλοποιηθεί ο στόχος.

Η μέθοδος των συγκρίσεων δίνει τη δυνατότητα να παραχθούν κατά ζεύγη συγκρίσεις (pairwise comparison) για όλους τους πιθανούς συνδυασμούς για κάθε στοιχείο μέσα σε μια συστάδα, με σεβασμό στην συστάδα που βρίσκεται ένα επίπεδο πιο πάνω στην ιεραρχία. Για παράδειγμα, με βάση την Εικόνα 1. η σύγκριση των εναλλακτικών πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη το κάθε κριτήριο ξεχωριστά και η σύγκρισή τους γίνεται ανά ζεύγη. Αν για παράδειγμα συγκρίνεται η εναλλακτική 1 με την εναλλακτική 2 λαμβάνοντας υπόψη το κριτήριο 1 στη συνέχεια συγκρίνεται η εναλλακτική 1 με την 2 σε σχέση με το δεύτερο κριτήριο κ.ο.κ. μέχρι να ολοκληρωθούν όλες οι πιθανές συγκρίσεις. Η σύγκριση αυτή δίνει τη δυνατότητα να υπολογισθούν οι σημαντικότητες (weights) για κάθε στοιχείο που ανήκει στη συστάδα. Τέλος, η αρχή της ιεραρχικής σύνθεσης επιτρέπει τον πολλαπλασιασμό της σημαντικότητας για κάθε

στοιχείο, μιας συστάδας ενός κατώτερου επιπέδου με την σημαντικότητα του στοιχείου που βρίσκεται ένα επίπεδο πιο πάνω στην ιεραρχία του προβλήματος. Η τεχνική αυτή έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία της τελικής σημαντικότητας που οδηγεί στη βέλτιστη απόφαση υπό αυτή την έννοια.

Μετά τη δόμηση ιεραρχικά του προβλήματος, θα πρέπει να υπολογισθεί η σχέση σημαντικότητας των κριτηρίων σε κάθε επίπεδο. Σε αυτή την περίπτωση ο λήπτης της απόφασης πρέπει να θέσει προτεραιότητες στη διαδικασία, επιτρέποντας με αυτό τον τρόπο να καθοριστεί η συσχέτιση των στοιχείων σε κάθε επίπεδο. Τα στοιχεία σε κάθε επίπεδο συγκρίνονται ανά ζεύγη, λαμβάνοντας πάντα υπόψη τη σημαντικότητα κάθε στοιχείου του επόμενου υψηλότερου επιπέδου, ξεκινώντας από την κορυφή της ιεραρχίας και πηγαίνοντας προς τα κάτω. Ο προσδιορισμός της σημαντικότητας είναι αποτέλεσμα μιας διαδικασίας σύγκρισης ανά ζεύγη. Η διαδικασία βασίζεται στη σύγκριση των κριτηρίων του δεύτερου επιπέδου της ιεραρχίας μεταξύ τους (Εικόνα 1), σε σχέση με το πόσο σημαντικά είναι στην επίτευξη του στόχου.

Η ερώτηση που τίθεται στην εφαρμογή της μεθόδου είναι για παράδειγμα: «πόσο πιο σημαντικό είναι το ένα κριτήριο από το άλλο κριτήριο για την επιτυχία του στόχου;». Είναι φανερό ότι σε περίπτωση που η ιεράρχηση του προβλήματος περιλαμβάνει n παράγοντες, τότε απαιτούνται $n(n-1)/2$ συγκρίσεις. Οι συγκρίσεις αυτές πραγματοποιούνται με τη χρήση της εννέα βαθμών κλίμακας (Saaty, 1980).

1.4 Η κλίμακα του Saaty

Η κλίμακα αυτή δίνει τη δυνατότητα να εκφράζονται προτιμήσεις μεταξύ των επιλογών «ίσο, αδύναμο, δυνατό, πολύ δυνατό και απόλυτα δυνατό». Οι προτιμήσεις μπορούν να ερμηνευτούν με τιμές από 1,3,5,7 ή 9 αντίστοιχα και με ενδιάμεσες τιμές το 2,4,6 και 8 (Εικόνα 2).

Εικόνα 2. Θεμελιώδης κλίμακα απολύτων αριθμών

Ένταση της σχετικής σημασίας	Ορισμός	Ερμηνεία
1	Εξίσου σημαντικό	Δυο δραστηριότητες συνεισφέρουν εξίσου στον στόχο
3	Ελαφρός σημαντικό το ένα στοιχείο έναντι του άλλου	Η εμπειρία και η κρίση ευνοούν ελαφρώς μια δραστηριότητα έναντι της άλλης
5	Ισχυρά σημαντικό το ένα στοιχείο έναντι του άλλου	Η εμπειρία και η κρίση ευνοούν σημαντικά μια δραστηριότητα έναντι της άλλης.
7	Εξαιρετικά σημαντικό το ένα στοιχείο έναντι του άλλου	Μια δραστηριότητα ευνοείται ισχυρά και η κυριαρχία της εκδηλώνεται στην πράξη
9	Απόλυτα πιο σημαντικό το ένα στοιχείο έναντι του άλλου	Οι λόγοι που ευνοούν τη μια δραστηριότητα έναντι της άλλης είναι του υψηλότερου δυνατού βαθμού επιβεβαίωσης
2,4,6,8	Ενδιάμεσες τιμές ανάμεσα σε δύο παρακείμενες κρίσεις	Όταν απαιτείται συμβιβασμός.
Αντίστροφοι των παραπάνω μη-μηδενικών αριθμών	Αν σε μια δραστηριότητα αντιστοιχίζεται ένας από τους παραπάνω αριθμούς, όταν αυτή συγκρίνεται με μια δεύτερη δραστηριότητα, τότε η δεύτερη έχει την αντίστροφη τιμή όταν συγκρίνεται με την πρώτη.	
Ρητοί αριθμοί	Αναλογίες που προκύπτουν από την κλίμακα	Αν επιβαλλόταν η συνέπεια λαμβάνοντας η αριθμητικές τιμές για το σχηματισμό του πίνακα.

Πηγή: Saaty, 1996

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο ΙΕΡΑΡΧΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΙΔΙΟΔΙΑΝΥΣΜΑΤΟΣ

2.1 Προσδιοριστικοί – Στοχαστικοί μέθοδοι στην ΑHP

Αναφορικά τον υπολογισμό των βαρών των εναλλακτικών μέσω της διαδικασίας ΑHP έχουν προταθεί τόσο προσδιοριστικοί όσο και στοχαστικοί μέθοδοι. Εξαιτίας του γεγονότος ότι η αναλυτική περιγραφή των μεθόδων αυτών ξεφεύγει από το θέμα που πραγματεύεται η παρούσα πτυχιακή εργασία, για τον σκοπό αυτό θα ασχοληθούμε μόνο με την μέθοδο ιδιοδιανύσματος η οποία προτάθηκε από τον Saaty (1980).

Εικόνα 3. Μέθοδοι για τον υπολογισμό των βαρών των εναλλακτικών μέσω της διαδικασίας ΑHP

<i>Προσδιοριστικοί μέθοδοι ΑHP</i>		<i>Στοχαστικοί μέθοδοι ΑHP</i>	
Saaty (1980, 1986)	Μέθοδος ιδιοδιανύσματος	De Jong (1984)	Μέθοδος ανάλυσης παλινδρόμησης
Barzilai (1997)	Μέθοδο του γεωμετρικού μέσου	Laininen και Hämäläinen (2003)	
Forman και Peniwati (1998)	Μέθοδοι συνάθροισης ατομικών κρίσεων και προτεραιοτήτων	Montgomery και Peck (1992)	Μέθοδος διαστηματικής ανάλυσης παλινδρόμησης
Ramanathan και Ganesh (1994)		Sugihara et al. (2004)	
Aczel και Saaty (1983)		Sugihara και Tanaka (2001)	
Aczel και Roberts (1989)			
Aull-Hyde et al. (2006).			

2.2 Μέθοδος του Ιδιοδιανύσματος

Η πρώτη μέθοδος που αναπτύχθηκε για τον υπολογισμό των βαρών των εναλλακτικών μέσω της διαδικασίας AHP είναι η μέθοδος του ιδιοδιανύσματος. Η μέθοδος αυτή προβλέπει ότι το ιδιοδιάνυσμα w είναι εκείνο που δίνει τη σειρά κατάταξης των προτεραιοτήτων, το οποίο προκύπτει από τη σχέση

$$Aw = \lambda_{\max} w,$$

όπου A , ο πίνακας των κατά ζεύγη συγκρίσεων (pairwise comparison matrix) και λ_{\max} η πρωτεύουσα ιδιοτιμή του.

2.1.1 Ιδιοδιάνυσμα

Έστω τα στοιχεία C_1, \dots, C_n ενός επιπέδου της ιεραρχίας. Σκοπός είναι η εκτίμηση των σχετικών βαρών w_1, \dots, w_n που φανερώνουν την επιρροή των C_1, \dots, C_n σε κάποιο στοιχείο του αμέσως επόμενου επιπέδου.

Με α_{ij} αναπαριστάται ο αριθμός που υποδεικνύει την ισχύ του C_i όταν συγκρίνεται με το C_j . Ο πίνακας των α_{ij} είναι ο A ,

$$A = (\alpha_{ij})$$

Ισχύει ότι: $\alpha_{ij} = 1/\alpha_{ji}$ και έτσι ο πίνακας A , έχει αντίστροφο. Επίσης ο A , είναι συνεπής εάν και μόνο εάν ισχύει: $\alpha_{ik} = \alpha_{ij} \cdot \alpha_{jk}, \forall i, j, k$

Μια προφανής περίπτωση όπου ο πίνακας A θα ήταν συνεπής, είναι αυτή στην οποία οι συγκρίσεις βασίζονται σε ακριβής μετρήσεις. Στην περίπτωση αυτή τα βάρη w_1, \dots, w_n είναι ήδη γνωστά. Τότε :

$$\alpha_{ij} = \frac{w_i}{w_j}, i, j = 1, \dots, n \quad (1)$$

Κατά συνέπεια:

$$\alpha_{ij} \alpha_{jk} = \frac{w_i}{w_j} \frac{w_j}{w_k} = \frac{w_i}{w_k} = \alpha_{ik} \text{ λόγω αντιστροφής ισχύει ότι :}$$

$$\alpha_{ij} = \frac{w_j}{w_i} = \frac{1}{w_i/w_j} = \frac{1}{\alpha_{ji}}$$

Έστω τώρα η εξίσωση : $A \cdot x = y$, όπου $x = (x_1, \dots, x_n)$ και $y = (y_1, \dots, y_n)$ είναι ένας άλλος συμβολισμός του συνόλου εξισώσεων :

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j = y_i, \quad i = 1, \dots, n$$

Από την παραπάνω σχέση παίρνουμε ότι :

$$a_{ij} \cdot \frac{w_j}{w_i} = 1, \quad i, j = 1, \dots, n$$

Και ως εκ τούτου:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot w_j \frac{1}{w_i} = n, \quad i = 1, \dots, n,$$

ή

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot w_j = n \cdot w_i \quad i = 1, \dots, n$$

Η οποία ισοδυναμεί με :

$$Aw = nw \tag{2}$$

Η παραπάνω έκφραση στην θεωρία πινάκων εκφράζει ότι το w είναι ένα ιδιοδιάνυσμα του πίνακα A με ιδιοτιμή n . Σε μορφή πινάκων η (2) έχει ως εξής :

	A_1	A_2	...	A_n
A_1	$\frac{w_1}{w_1}$	$\frac{w_1}{w_2}$...	$\frac{w_1}{w_n}$
A_2	$\frac{w_2}{w_1}$	$\frac{w_2}{w_2}$...	$\frac{w_2}{w_n}$
\vdots	\vdots	\vdots		\vdots
A_n	$\frac{w_n}{w_1}$	$\frac{w_n}{w_2}$...	$\frac{w_n}{w_n}$

$$\begin{vmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{vmatrix} = n \begin{vmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{vmatrix}$$

Υπάρχουν όμως δύο σημαντικές ιδιότητες των πινάκων οι οποίες πρέπει να ληφθούν υπόψη:

Ιδιότητα 1^η : Εάν $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ ικανοποιούν την εξίσωση

$$Ax = \lambda x$$

Τότε $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ είναι οι ιδιοτιμές του πίνακα A και εάν $\alpha_{ii} = 1$ για όλα τα i , τότε :

$\sum_{i=1}^n \lambda_i = n$ Συνεπώς, εάν ισχύει η σχέση (2), τότε όλες οι ιδιοτιμές είναι μηδενικές εκτός από μια που ισούται με n . Έτσι στην περίπτωση όπου ο πίνακας A είναι συνεπής, η μεγαλύτερη ιδιοτιμή ισούται με n .

Ιδιότητα 2^η : Εάν οι τιμές α_{ij} του πίνακα A , ο οποίος είναι ένας θετικός αντιστρέψιμος πίνακας, υποστούν κάποια μικρή αλλαγή, τότε και οι ιδιοτιμές θα υποστούν αντίστοιχα μια μικρή αλλαγή. Συνδυάζοντας τα δυο αυτά δεδομένα, δίνεται ότι εάν η διαγώνιος του πίνακα A , είναι μοναδιαία $\alpha_{ii} = 1$ και ο πίνακας είναι συνεπής, τότε ακόμη και με τις μικρές μεταβολές στις τιμές των α_{ij} , η μεγαλύτερη ιδιοτιμή λ_{\max} θα παραμένει κοντά στο n και οι υπόλοιπες ιδιοτιμές κοντά στο μηδέν.

Συνεπώς, το πρόβλημα συνοψίζεται ως εξής : Εάν A είναι ο πίνακας που περιέχει τις τιμές των δυαδικών συγκρίσεων, για να βρεθεί το διάνυσμα των προτεραιοτήτων, πρέπει να βρεθεί το διάνυσμα W , τέτοιο ώστε :

$Aw = \lambda_{\max} W$ Για να διασφαλίζεται μια κανονικοποιημένη λύση όπως είναι επιθυμητό, μεταβάλλεται ελαφρώς το διάνυσμα w , θέτοντας $a = \sum_{i=1}^n w_i$ και αντικαθιστώντας το w με την σχέση $(1/a)w$. Η μεταβολή αυτή διασφαλίζει την μοναδικότητα του αποτελέσματος και επιπλέον ότι $\sum_{i=1}^n w_i = 1$.

2.1.2 Ιδιοτιμές

Η συνέπεια των κρίσεων και των αποφάσεων κατά την εφαρμογή της AHP σχετίζεται άμεσα με την συνέπεια του πίνακα. Σε γενικές γραμμές με τον όρο συνέπεια ενός πίνακα (consistency of a matrix) εννοούμε ότι, όταν γνωρίζουμε ένα βασικό ποσοστό των στοιχείων μιας σειράς του πίνακα, τα υπόλοιπα στοιχεία μπορούν να εξαχθούν λογικά από αυτό. Στη δεδομένη περίπτωση όπου n στοιχεία, αντιπροσωπεύονται μέσω $n-1$ δυαδικών συγκρίσεων. Η τιμή της πρωτεύουσας ιδιοτιμής είναι το βασικό εργαλείο για τον έλεγχο της συνέπειας, από αυτήν προκύπτει το πρωτεύον ιδιοδιάνυσμα το οποίο όταν κανονικοποιείται γίνεται το διάνυσμα των προτεραιοτήτων (Saaty, 1996).

Δεδομένου ενός πίνακα $A = (\alpha_{ij})$ όπως ορίστηκε παραπάνω, ένας πίνακας ορίζεται ως πολλαπλασιαστικός του A^r - πίνακας του A (reciprocal matrix κατά Saaty) όταν για κάθε στοιχείο του α_{ij} ισχύει:

$$\alpha_{ji}^r = 1/\alpha_{ij}$$

Η συνέπεια ενός θετικά ορισμένου A^r - πίνακα είναι ισοδύναμη με την απαίτηση ότι η μέγιστη ιδιοτιμή λ_{\max} πρέπει να είναι ίση με n .

2.1.3 Δείκτης συνέπειας

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω στην ιδιότητα 2, οι μικρές αλλαγές στις τιμές των α_{ij} οδηγούν σε μικρές αλλαγές στην πρωτεύουσα ιδιοτιμή λ_{\max} . Έτσι, η σχέση $\lambda_{\max} - n$ αποτελεί το μέτρο για την συνέπεια. Εάν αυτή κανονικοποιηθεί σύμφωνα με το μέγεθος του πίνακα, προκύπτει ο όρος *C.I.* (consistency index), ο οποίος φανερώνει την απόκλιση της συνέπειας.

$$\text{Δείκτης συνέπειας: } C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

Για τον προσδιορισμό του δείκτη συνέπειας ενός τυχαία παραγόμενου πίνακα A' με στοιχεία από το σύνολο του Saaty ορίστηκε ο τυχαίος δείκτης *R.I.* (random index). Το σύνολο του Saaty, αποτελεί ένα πεπερασμένο σύνολο θετικών αριθμών όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 4. στην επεκταμένη μορφή του είναι το εξής: $\{1/9, 1/8, \dots, 1, \dots, 9\}$. Ο *R.I.* είναι ένας τυχαίος δείκτης ο οποίος έχει υπολογιστεί με την χρήση ενός μεγάλου δείγματος από τυχαία παραχθέντες θετικά ορισμένους A' πίνακες (reciprocal matrices) αυξανόμενης τάξης. Σε πολλές μελέτες ο δείκτης *R.I.* αναφέρεται ως “consistency index for random judgments”, στην παρούσα εργασία θα προτιμηθεί ο συμβολισμός *R.I.* για καλύτερο διαχωρισμό των δεικτών. Οι τιμές του τυχαίου δείκτη δίνονται από έναν πίνακα τον οποίο έχει καταρτίσει ο Saaty, χρησιμοποιώντας μεγάλο δείγμα πινάκων με αριθμό τάξης έως $15^{\text{η}}$, υπολογίζοντας κατά μέσο όρο τον δείκτη συνέπειας για κάθε τάξη. Ο παρακάτω πίνακας δίνει το μέγεθος του πίνακα και τον αντίστοιχο μέσο *R.I.*:

Εικόνα 4. Τυχαίος δείκτης R.I.

Μέγεθος πίνακα	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
R.I	0.0	0.0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

Πηγή: Saaty, 1996

Ο λόγος του δείκτη *C.I.* προς τον αντίστοιχης τάξης *R.I.* καλείται λόγος συνέπειας - consistency ratio (*C.R.*)- (Saaty, 1980). Ο δείκτης, λοιπόν, που κρίνει τελικώς την συνέπεια των αποτελεσμάτων και ολοκληρώνει έτσι και τον έλεγχο συνέπειας, είναι ο

$C.R. = C.I./R.I.$ ο οποίος είναι αντιστρόφως ανάλογος με την συνέπεια των κρίσεων. Ο Saaty έχει θέσει ως όριο την τιμή 0,10 για την αποδοχή των αποτελεσμάτων. Εάν ο $C.R.$ είναι μεγαλύτερος από την τιμή αυτή θεωρείται ασυνεπής και ο αποφασίζων πρέπει να αναθεωρήσει τις εισόδους του πίνακα (Saaty, 1980). Στην πράξη βέβαια, υπάρχουν και περιπτώσεις όπου και τιμές λίγο πάνω από το 0,10 πρέπει να γίνονται αποδεκτές. Η ιδανική τιμή για την συνέπεια της διαδικασίας είναι προφανώς το μηδέν.

Οι τρεις αυτοί δείκτες ολοκληρώνουν και τον έλεγχο συνέπειας της μεθόδου. Η γνώση της ασυνέπειας επιτρέπει ακολούθως και την αναγνώριση των κρίσεων οι οποίες απαιτούν αναθεώρηση (Saaty and Vargas, 1994). Το γεγονός ότι, από την ίδια την μέθοδο προβλέπονται τρόποι για μέτρηση της συνέπειας των κρίσεων, την διαχωρίζει ριζικά από τις περισσότερες αναλυτικές μεθόδους αποφάσεων οι οποίες δεν έχουν κανέναν επίσημο τρόπο ελέγχου της συνέπειας, και την καθιστά ως μια από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους.

2.3 Κριτικές για την μέθοδο AHP

Η AHP συγκαταλέγεται στις μεθόδους λήψης αποφάσεων πολυσταδιακών ως προς τα κριτήρια προβλημάτων, γνωστές ως Multi-Attribute Decision Methods (M.A.D.M's). Ο καθηγητής J.E. Steiguer του πανεπιστημίου της Αριζόνα ανέφερε σε μια δημοσίευση του ότι, η AHP είναι ίσως η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη από τις μεθόδους M.A.D.M. διότι ως μέθοδος έχει μια σειρά από επιθυμητές ιδιότητες:

- i. Η AHP είναι μια δομημένη μέθοδος λήψης αποφάσεων η οποία μπορεί να τεκμηριωθεί και να αναπαραχθεί.
- ii. Η AHP πέραν της εφαρμογής της σε πολύ-κριτήρια προβλήματα αποφάσεων, είναι εφαρμόσιμη και σε περιπτώσεις αποφάσεων όπου εμπλέκεται η υποκειμενική κρίση.
- iii. Χρησιμοποιεί τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά δεδομένα.
- iv. Προβλέπονται τρόποι για τη μέτρηση της συνέπειας των κρίσεων από την ίδια την διαδικασία.
- v. Υπάρχει πληθώρα στοιχείων για τις εφαρμογές της AHP στην ακαδημαϊκή βιβλιογραφία, γεγονός που την καθιστά ιδιαίτερα προσιτή στον χρήστη.

- vi. Το εμπορικό λογισμικό της AHP το Expert Choice διατίθεται με τεχνική και εκπαιδευτική υποστήριξη.
- vii. Η AHP είναι κατάλληλη για περιπτώσεις όπου ο αποφασίζων είναι μια ομάδα (Καρλαύτης, 2016).

Η κριτική που ασκήθηκε για τα πιθανά μειονεκτήματα της μεθόδου απαντήθηκε από τους Vargas (1990), Saaty και Vargas, (1984) και Saaty, (1990). Οι Saaty και Vargas, (1984) δίνουν απάντηση στην κριτική για το πιθανό μειονέκτημα της νομιμότητας της αναστροφής της κατάταξης (The legitimacy of rank reversal) που εκφράστηκε από τους Belton και Gear (1985). Επιπρόσθετα, απαντήσεις σε διάφορες κριτικές για τη μέθοδο δόθηκαν από τους Saaty et al., (1983), Saaty, (1990,1997), και Saaty και Hu (1998). Ενισχυτικό σημείο για την αξιοπιστία της μεθόδου αποτελεί το γεγονός της ευρείας αποδοχής της και της χρήσης από πολλούς ερευνητές σε πολλά διαφορετικά ερευνητικά πεδία, γεγονός που την έχει κάνει αποδεκτή ως ένα νέο σημαντικό εργαλείο λήψης αποφάσεων. Επίσης, πολλές επιχειρήσεις του ιδιωτικού και δημόσιου τομέα έχουν επωφεληθεί από την υιοθέτηση της AHP σε διάφορες εφαρμογές (Κόλλια, 2012).

2.4 Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα AHP

Ολοκληρώνοντας τη συνοπτική παρουσίαση της μεθόδου αυτής θα μπορούσαμε να ισχυριστούμε ότι η μέθοδος χαρακτηρίζεται από μια σειρά πλεονεκτημάτων που την καθιστούν ένα ευέλικτο μοντέλο για την αντιμετώπιση και επίλυση πολλών προβλημάτων λήψης αποφάσεων. Παράλληλα, η μέθοδος έχει επικριθεί, καθώς χαρακτηρίζεται και από μια σειρά μειονεκτημάτων.

Ως πλεονεκτήματα μπορούν να αναφερθούν:

- i. Έχει τη χρησιμότητα να παρέχει ένα μοναδικό, εύκολα κατανοητό και ευέλικτο μοντέλο για την επίλυση και αντιμετώπιση διαφόρων μη δομημένων προβλημάτων (Saaty, 1996, 2001)
- ii. Έχει μια συγκεκριμένη ιεραρχική δομή που της παρέχει τη δυνατότητα να αντανακλά την φυσική τάση του ανθρώπινου μυαλού να ταξινομεί τα

- στοιχεία ενός συστήματος σε διαφορετικά επίπεδα και να ομαδοποιεί παρόμοια στοιχεία σε κάθε επίπεδο (Vaidya, 2006)
- iii. Παρέχει μια θεωρητική κλίμακα για μετρήσεις και μια μέθοδο για δημιουργία προτεραιοτήτων (Saaty, 1996, Vaidya, 2006)
 - iv. Έχει τη δυνατότητα να οδηγεί σε μια εκτίμηση σκοπιμότητας κάθε μιας εναλλακτικής (Saaty, 2000).
 - v. Μπορεί να λάβει υπόψη της τις σχετικές προτεραιότητες των παραγόντων μέσα στο σύστημα και να δώσει τη δυνατότητα να επιλεγεί η καλύτερη εναλλακτική, στηριζόμενη στον αρχικό της στόχο (Saaty, 1996, 2001, Shahin and Mahbod, 2007).
 - vi. Δεν επιμένει στη συναίνεση, αλλά συνθέτει ένα αντιπροσωπευτικό αποτέλεσμα από διάφορες συγκρίσεις (Saaty, 1996, 2001).
 - vii. Παρέχει τη δυνατότητα σε αυτούς που τη χρησιμοποιούν να τελειοποιήσουν τον ορισμό ενός προβλήματος, να βελτιώσουν τις συγκρίσεις και να το κατανοήσουν καλύτερα μέσω επαναληπτικών βημάτων (Duran and Aguilo, 2008).
 - viii. Μπορεί να εφαρμοστεί για τον προσδιορισμό εκτιμήσεων που αφορούν ποιοτικά και ποσοτικά στοιχεία (Badri, 1999).
 - ix. Μπορεί να εκτιμήσει με μεγάλη ακρίβεια τη σημαντικότητα κάθε στοιχείου, καθώς ο υπολογισμός κάθε φορά της βαρύτητας κάθε στοιχείου γίνεται με την κατά ζεύγη σύγκριση (Bodin και Gas, 2003).

Ως μειονεκτήματα μπορούν να αναφερθούν:

- i. Ο προβληματισμός των ερευνητών ως προς το φαινόμενο της αντιστροφής της κατάταξης. Δηλαδή την περίπτωση, που προσθέτοντας μian άλλη επιλογή στη λίστα των προς εκτίμηση επιλογών, που δε σχετίζονται με την καινούρια, μπορεί να αντιστραφεί (Triantaphyllou, 2000).
- ii. Αν εισαχθεί μια επιπλέον εναλλακτική ίσης σημαντικότητας με μian ήδη υπάρχουσα, δημιουργεί μια περαιτέρω ανακολουθία και αντιστροφές στην κατάταξη (Belton and Stewart, 2002).
- iii. Δημιουργεί το πρόβλημα της ταυτόχρονης συνύπαρξης υψηλών και χαμηλών βαθμολογιών μεταξύ των κριτηρίων, ενώ παράλληλα ελλοχεύει και ο κίνδυνος να χαθούν σημαντικές πληροφορίες (Macharis et al., 2004)

- iv. Δε λαμβάνει υπόψη της την αβεβαιότητα στις συγκρίσεις, καθώς οι πίνακες συγκρίσεων είναι προσδιοριστικοί (deterministic) (Triantaphyllou, 2000)
- v. Η συμμετοχή εξειδικευμένων ατόμων για τις συγκρίσεις δημιουργεί θέμα υποκειμενικότητας, καθώς υπάρχει ο κίνδυνος, οι απαντήσεις να δίνονται με γνώμονα το συμφέρον του κάθε εξειδικευμένου ατόμου (Ayag and Ozdemir, 2006).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ ΙΕΡΑΡΧΙΚΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ - ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

Οι σωληνώσεις που εξυπηρετούν το σύστημα διανομής νερού είναι κατεστραμμένες λόγω διαφόρων παραγόντων. Η διαρροή και η απώλεια νερού προκύπτουν ως αποτέλεσμα αυτών των βλαβών ή ζημιών που έχουν γίνει. Ως εκ τούτου, είναι πολύ σημαντικό να αξιολογηθεί η τεχνική και δομική απόδοση των σωληνών που χρησιμοποιούνται σε παλαιότερα συστήματα διανομής νερού και να αντικατασταθούν οι σωλήνες με πιθανή ζημιά. Στην πράξη, η επισκευή της βλάβης γίνεται στο σημείο στο οποίο βρίσκεται το σημείο βλάβης, αντίθετα με την πολιτική αλλαγής δρόμου γενικά. Ωστόσο, αν ο σωλήνας έχει φτάσει στο τέλος της “ζωής” του ή έχει αποδυναμωθεί τεχνικά, μπορεί να προκαλέσει συνεχής ζημιά στο δίκτυο, όπου θα οδηγήσει σε αύξηση των απωλειών νερού και του λειτουργικού κόστους του συστήματος.

Εν συνεχεία, θα παρουσιαστεί και θα αναλυθεί ένα μοντέλο αξιολόγησης απόδοσης το οποίο δημιουργήθηκε από τους Yusuf Kilinc, Özgür Özdemir, Cansu Orhan, και Mahmut Firat και δημοσιεύτηκε το 2018. Στην πορεία του τρίτου κεφαλαίου θα γίνει προσπάθεια να παρουσιαστεί η έρευνα των επιστημόνων βήμα προς βήμα και να αναλυθεί το γενικό μοντέλο στο οποίο κατέληξαν μέσα από αυτήν.

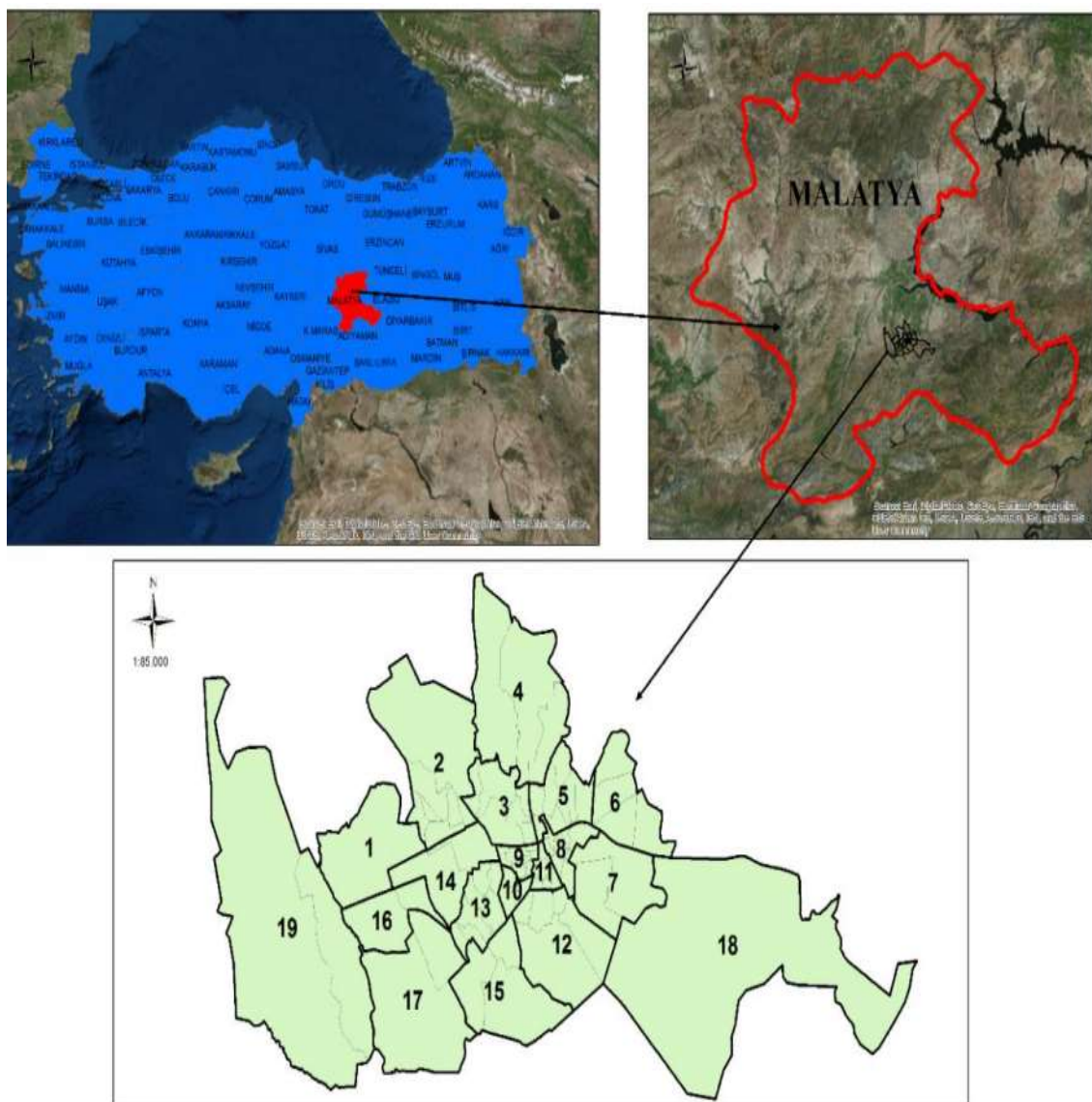
3.1 Περιοχή μελέτης

Για την αξιολόγηση της τεχνικής απόδοσης των σωληνώσεων, επιλέχτηκε το σύστημα διανομής πόσιμου νερού της κεντρικής πόλης Μαλάτια ως περιοχή μελέτης. Η πόλη Μαλάτια έχει έκταση 12.313 km² και συνολικό πληθυσμό 769.544. Μια γενική εικόνα της περιοχής παρουσιάζεται παρουσιάζετε στην Εικόνα 5 (Kilinc 2017). Η Μαλάτια είναι μια αναπτυσσόμενη πόλη όπου η συνεχής αύξηση του σημερινού πληθυσμού και η αυξανόμενη ξηρασία που έχει παρατηρηθεί τα τελευταία χρόνια αυξάνει την ανάγκη για νερό μέρα με την ημέρα. Από την άλλη πλευρά, ο ρυθμός ροής του πόσιμου νερού έχει πέσει και οι απώλειες/διαρροές νερού στα συστήματα ύδρευσης και διανομής έχουν γίνει ακόμα μεγαλύτερες. Τα στοιχεία των σωληνώσεων στην περιοχή μελέτης είναι κατεστραμμένα λόγω των τεχνικών χαρακτηριστικών των σωληνώσεων και των περιβαλλοντικών παραγόντων (ο ημερήσιος αριθμός βλαβών είναι περίπου 30)

συνεπώς, ο δείκτης ο οποίος δείχνει τις απώλειες νερού παρατηρείται στο επίπεδο του 60% (MASKI 2016).

Αυτό δείχνει ότι η αντίσταση πίεσης των στοιχείων των σωληνώσεων μειώνεται και κατά συνέπεια η οικονομική διάρκεια ζωής τους. Ως εκ τούτου, είναι πολύ σημαντικό να αξιολογηθεί η τεχνική απόδοση των τεχνικών στοιχείων των σωληνώσεων όπου χρησιμοποιούνται στο σύστημα διανομής νερού, λαμβάνοντας υπόψη διάφορους παράγοντες.

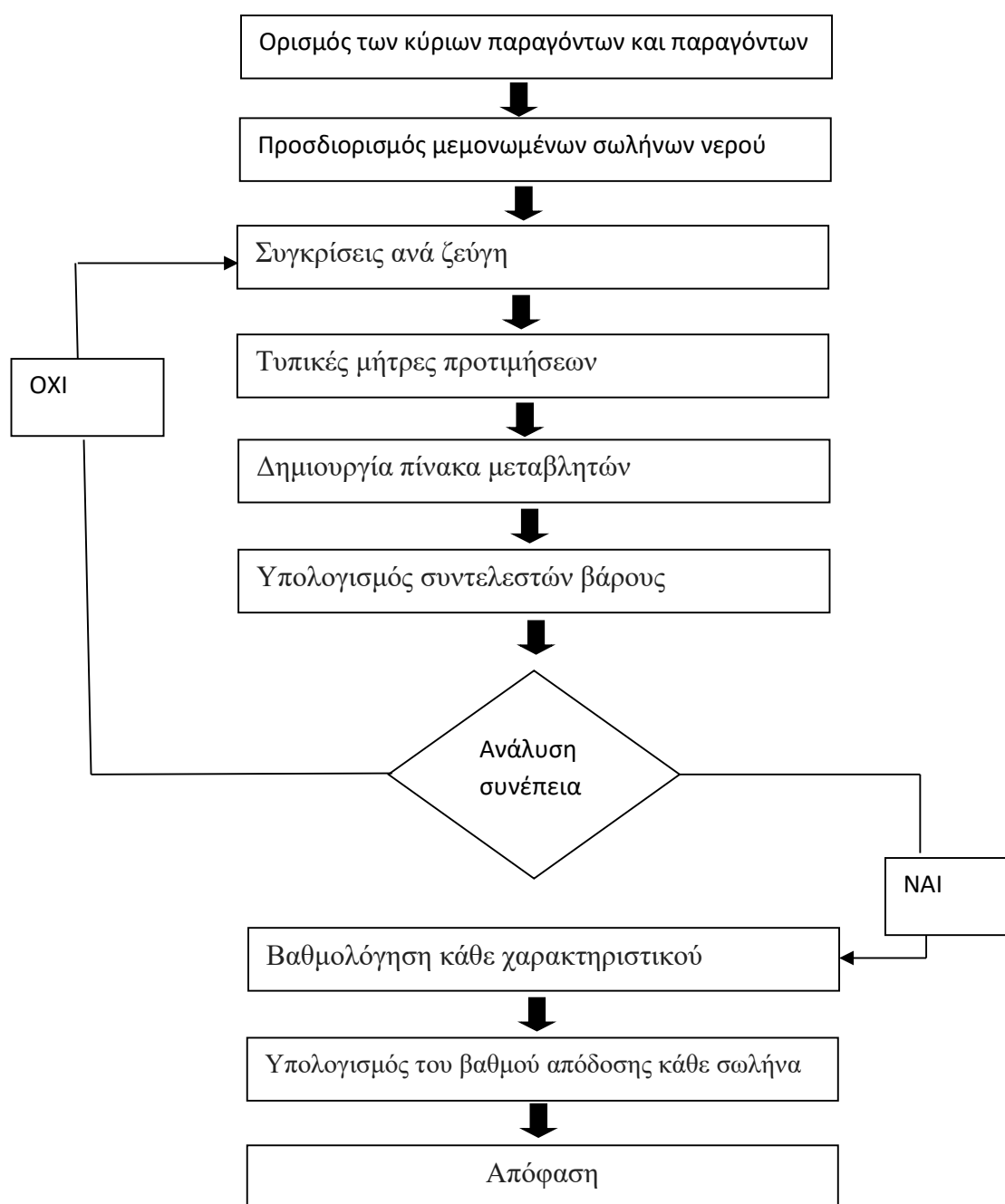
Εικόνα 5. Περιοχή μελέτης, Malatya



3.2 Μορφή μοντέλου με χρήση της ΑHP

Ο Saaty (1980) πρότεινε να ακολουθηθεί μια μεθοδολογική διαδικασία προκειμένου να εφαρμοστεί η μέθοδος ΑHP σε οποιαδήποτε προβλήματα. Για το σκοπό αυτό, το διάγραμμα ροής που δημιουργήθηκε για αυτή τη μελέτη παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.

Εικόνα 6. Διάγραμμα ροής για την τεχνική αξιολόγηση μεμονωμένων σωλήνων νερού



Πηγή: Kiliç et al., 2018

3.3 Προσδιορισμός Παραγόντων / Υπο-παραγόντων

Το πρώτο βήμα για την επίτευξη του καθορισμένου στόχου, μπορεί να αναφερθεί ως ο προσδιορισμός των παραγόντων και των δευτερευόντων παραγόντων που σχετίζονται με το πρόβλημα. Η τεχνική αξιολόγηση των ατομικών αγωγών ύδρευσης στο WDN με το μοντέλο AHP που αναπτύχθηκε σε αυτή τη μελέτη καθορίστηκε ως ο κύριος στόχος (Κιλίης 2017). Όπως φαίνεται στην Εικόνα 7, η ιεραρχική δομή που αναπτύχθηκε σε αυτή τη μελέτη περιέχει τρεις κύριους παράγοντες φυσικούς, περιβαλλοντικούς και επιχειρησιακούς. Επιπλέον, καθορίστηκαν οι έντεκα υπο-παράγοντες όπως η διάμετρος σωλήνων, μήκος σωλήνα, ηλικία, τύπος εδάφους, η ένταση της κυκλοφορίας, το πλάτος του δρόμου, η κατάσταση της επιφάνειας του δρόμου, ο ρυθμός αστοχίας, ο αριθμός διακοπών νερού και η πίεση του συστήματος κλπ.

Εικόνα 7. Η ιεραρχική δομή για την τεχνική αξιολόγηση των μεμονωμένων σωλήνων.



Πηγή: Kiliņz et al., 2018

Επιπρόσθετα, η βαθμολογία αξιολόγησης επιδόσεων των μεμονωμένων σωλήνων είναι μεταξύ 0 και 10. Κατά τον υπολογισμό αυτής της βαθμολογίας αξιολόγησης, συνυπολογίστηκαν οι συντελεστές βάρους και τα αποτελέσματα των κύριων παραγόντων και των υποπαραγόντων

3.4 Ζευγαρωτές συγκρίσεις – Προσδιορισμός συντελεστών βαρύτητας

Τα βάρη όλων των παραγόντων υπολογίστηκαν για την επίτευξη του στόχου που δίνεται στην Εικόνα 6. και για τον έλεγχο της τεχνικής και δομικής κατάστασης των σωλήνων. Για τη μέτρηση αυτών των βαρών συντίθενται σύνθετοι πίνακες σύγκρισης όλων των κύριων και υπο-συντελεστών μεταξύ τους. Σε αυτή τη μελέτη, οι απόψεις εμπειρογνομόνων και τεχνικών στελεχών που εργάζονταν σε Malatya και Denizli Water και Sewage Administrative ελήφθησαν υπόψη με βάση τις πρότυπες σχετικές τιμές σπουδαιότητας που προτάθηκαν από τον Saaty (1980) και δίνονται στην Εικόνα 8. στην σύνθεση των ζευγών σύγκρισης ζευγών και βαθμολόγηση όλων παράγοντες. Τα αποτελέσματα των ζευγών συγκρίσεων όλων των παραγόντων σύμφωνα με τις γνώμες των εμπειρογνομόνων παρατέθηκαν στις Εικόνες 8, 9, 10 και 11.

Εικόνα 8. Οι πίνακας σύγκρισης ζευγών μεταξύ κύριων παραγόντων

Κύριοι παράγοντες	Φυσικοί	Περιβαλλοντικοί	Λειτουργικοί
Φυσικοί	1	3	1
Περιβαλλοντικοί	1/3	1	1/3
Λειτουργικοί	1	3	1

Πηγή: Kilinç et al., 2018

Στην Εικόνα 8. φαίνεται ότι οι φυσικοί και λειτουργικοί παράγοντες είναι εξίσου σημαντικοί, ενώ η σημασία των φυσικών παραγόντων είναι υψηλότερη από τον περιβαλλοντικών και ότι οι λειτουργικοί παράγοντας είναι σημαντικότεροι από τους περιβαλλοντικούς.

Εικόνα 9. Οι πίνακας σύγκρισης ζευγών μεταξύ φυσικών υπο-παραγόντων

Υπο-παραγόντες	Ηλικία σωλήνα	Διάμετρος Σωλήνα	Μήκος σωλήνα	Υλικό σωλήνα
Ηλικία σωλήνα	1	7	5	3
Διάμετρος Σωλήνα	1/7	1	3	1
Μήκος σωλήνα	1/5	1/3	1	1/3
Υλικό σωλήνα	1/3	1	3	1

Πηγή: *Kilinc et al., 2018*

Από την άλλη πλευρά, σύμφωνα με τα αποτελέσματα που δίνονται στην Εικόνα 9, μπορεί να ειπωθεί ότι ο υπο-παραγόντας ηλικίας σωλήνων είναι πιο σημαντικός από τους υπο-παραγόντες της διαμέτρου, του μήκους και του υλικού των σωληνώσεων. Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι η διάμετρος των σωληνώσεων και το υλικό κατασκευής είναι εξίσου σημαντικά, με τον υπο-παραγόντα της διαμέτρου να είναι αρκετά πιο σημαντικός από τον υπο-παραγόντα μήκος σωλήνα.

Εικόνα 10. Οι πίνακας σύγκρισης ζευγών μεταξύ περιβαλλοντικών υπο-παραγόντων

Υπο-παραγόντες	Τύπος εδάφους	Κυκλοφοριακή ένταση	Πλάτος οδού	Κατάσταση οδικής επιφάνειας
Τύπος εδάφους	1	3	5	3
Κυκλοφοριακή ένταση	1/3	1	5	3
Πλάτος οδού	1/5	1/5	1	1
Κατάσταση οδικής επιφάνειας	1/3	1/3	1	1

Πηγή: *Kilinc et al., 2018*

Στην Εικόνα 10, παρατηρούμε ότι ο υπο-παραγόντας τύπου εδάφους είναι πιο σημαντικός από την ένταση της κυκλοφορίας ύδατος, της κατάστασης της οδού και του υπο-παραγόντα του πλάτους του οδικού δικτύου. Επίσης, διαπιστώνεται ότι οι υπο-παραγόντες επιφάνεια του οδοστρώματος και πλάτος οδού είναι εξίσου σημαντικοί, ενώ ο υπο-παραγόντας ένταση της κυκλοφορίας είναι πιο σημαντικός από τους επιμέρους υπο-παραγόντες κατάσταση επιφάνειας οδοστρώματος και του πλάτους οδού.

Εικόνα 11. Οι πίνακας σύγκρισης ζευγών μεταξύ λειτουργικών υπο-παραγόντων.

Υπο- παράγοντες	Επιβάρυνση συστήματος	Αριθμός διακοπών υδροδότησης	Ποσοστό αστοχίας
Επιβάρυνση συστήματος	1	1/3	1/3
Αριθμός διακοπών υδροδότησης	3	1	1
Ποσοστό αστοχίας	3	1	1

Πηγή: *Kilinç et al., 2018*

Τέλος, σύμφωνα με τα αποτελέσματα των συγκρίσεων των ζευγών που δίνεται στην Εικόνα 11. φαίνεται ότι ο αριθμός των διακοπών νερού και της πίεσης του συστήματος, είναι πιο σημαντικά από τον υπό-συντελεστή βλάβης. Τα βάρη όλων των παραγόντων και υπο-παραγόντων υπολογίστηκαν με βάση τη μεθοδολογία AHP με βάση το γνωμοδοτήσεις των εμπειρογνομόνων και των ζευγών σύγκρισης ανά ζεύγη που συνθέτονται για κάθε παράγοντα (Εικόνα 12).

Εικόνα 12. Προσδιορισμός συντελεστών βαρύτητας κύριων παραγόντων- υπο-παραγόντων.

Κύριοι Παράγοντες	Συντελεστής βαρύτητας (w_i)	Υπο-παραγόντες	Συντελεστής βαρύτητας (w_i)
Φυσικοί	0,43	Διάμετρος Σωλήνα	0,16
		Ηλικία σωλήνα	0,58
		Μήκος σωλήνα	0,19
		Υλικό σωλήνα	0,07
Περιβαλλοντικοί	0,14	Τύπος εδάφους	0,50
		Κυκλοφοριακή ένταση	0,30
		Πλάτος οδού	0,09
		Κατάσταση οδοστρώματος	0,11
Λειτουργικοί	0,43	Αριθμός διακοπών υδροδότησης	0,43
		Βαθμός αστοχίας	0,14
		Επιβάρυνση συστήματος	0,43

3.5 Ανάλυση συνέπειας

Στις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν με τη μέθοδο AHP, αφού προσδιορίστηκαν οι συντελεστές βάρους των παραγόντων, δοκιμάστηκε η συνοχή αυτών των βαρών. Για το σκοπό αυτό, προσδιορίστηκε οι δείκτες συνέπειας CI και ο λόγος συνέπειας consistency ratio (C.R.) ο οποίος ισούται με το πηλίκο του δείκτη συνέπειας προς τον αντίστοιχης τάξης R.I. (Saaty, 1980). Οι παράμετροι CR για κάθε ζεύγος σύγκρισης ζευγών. Σε αυτή τη μελέτη, οι συντελεστές βάρους που υπολογίστηκαν για κάθε παράγοντα και τα αποτελέσματα της ανάλυσης συνέπειας δίνονται στον Εικόνα 13.

Εικόνα 13. Δείκτες συνέπειας CI - Δείκτες λόγου συνέπειας CR

Κύριοι Παράγοντες	Συντελεστής βαρύτητας (w_i)	CI	CR	Υποπαράγοντες	Συντελεστής βαρύτητας (w_i)	CI	CR
Φυσικοί	0,43	0,0	-	Διάμετρος Σωλήνα	0,16	0,067	0,075
				Ηλικία σωλήνα	0,58		
				Υλικό σωλήνα	0,19		
				Μήκος σωλήνα	0,07		
Περιβαλλοντικοί	0,14	-	-	Τύπος εδάφους	0,50	0,062	0,069
				Κυκλοφοριακή ένταση	0,30		
				Πλάτος οδού	0,09		
				Κατάσταση οδοστρώματος	0,11		
Λειτουργικοί	0,43	-	-	Αριθμός διακοπών υδροδότησης η	0,43	0,000	-----
				Βαθμός αστοχίας	0,14		
				Επιβάρυνση συστήματος	0,43		

Πηγή: Kilinç et al., 2018

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 13, ενώ οι συντελεστές βαρύτητας των Φυσικών και Λειτουργικών κύριων παραγόντων είναι 0,43, το βάρος του βασικού περιβαλλοντικού παράγοντα προσδιορίστηκε ως 0,14. Από την άλλη πλευρά, η τιμή CR που υπολογίστηκε για τους κύριους παράγοντες ήταν χαμηλότερη από την οριακή τιμή

0,10. Όταν εξετάζονται οι συντελεστές βάρους που υπολογίζονται για τους υπο-παράγοντες που ανήκουν στο Φυσικό Παράγοντα στον ίδιο πίνακα, ο υψηλότερος συντελεστής ελήφθη για την ηλικία των σωληνώσεων με 0,58 και ο χαμηλότερος συντελεστής υπολογίστηκε για το μήκος σωλήνα με 0,07. Σύμφωνα με αυτά τα αποτελέσματα, μπορεί να λεχθεί ότι ο υπο-παράγοντας ηλικία σωλήνα είναι πιο αποτελεσματικός από τους άλλους Φυσικούς υπο-παράγοντες.

Σύμφωνα με τους συντελεστές βάρους που υπολογίστηκαν για τους υπο-παράγοντες που ανήκουν στον κύριο περιβαλλοντικό παράγοντα, η υψηλότερη τιμή ελήφθη για τον υπο-παράγοντα τύπου εδάφους με 0,5 ενώ ο χαμηλότερος συντελεστής βαρύτητας υπολογίστηκε για τον υπο-παράγοντα πλάτος της οδού με 0,09. Με βάση αυτά τα αποτελέσματα, μπορεί να ειπωθεί ότι ο υπο-παράγοντας τύπου εδάφους είναι πιο αποτελεσματικός από τους άλλους περιβαλλοντικούς υπο-παράγοντες. Επιπλέον, σύμφωνα με τους συντελεστές βάρους που υπολογίστηκαν για τους υπο-παράγοντες που ανήκουν στον κύριο λειτουργικό παράγοντα, το βάρος του ποσοστού αποτυχίας καθορίστηκε να είναι 0,14 ενώ τα υψηλότερα βάρη υπολογίστηκαν για τους υπο-παράγοντες αριθμός διακοπών υδροδότησης και επιβάρυνση συστήματος (0,43). Ως αποτέλεσμα, οι τιμές CR που υπολογίζονται για όλους τους υπο-παράγοντες είναι χαμηλότερες από το όριο τιμή 0,10.

3.6 Αξιολόγηση των στοιχείων/ συνιστωσών των παραγόντων

Σε αυτή τη μελέτη, μετά τον υπολογισμό των συντελεστών βαρύτητας και την ανάλυση της συνέπειας, προσδιορίστηκαν οι τιμές για τις συνιστώσες του κάθε ενός παράγοντα. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 14, οι κατηγορίες συνιστωσών και οι βαθμολογίες για κάθε ένα παράγοντα προσδιορίστηκαν ξεχωριστά λαμβάνοντας υπόψη τις γνώμες των εμπειρογνομόνων και των επαγγελματιών. Σύμφωνα με αυτόν τον πίνακα, μια τιμή 0 δείχνει ότι ο παράγοντας έχει τη μικρότερη επίδραση στη ζημιά ή την απόδοση του σωλήνα, ενώ αν η τιμή είναι 10 τότε εκφράζει ότι ο συγκεκριμένος παράγοντας ευθύνεται αρκετά στην επιδείνωση των σωλήνων.

Εικόνα 14. Οι κατηγορίες βαθμολόγησης των στοιχείων των παραγόντων

Κύριοι Παράγοντες	Υπο-παράγοντες	Ιδιότητες	Βαθμολογία (c_i)
-------------------	----------------	-----------	----------------------

Φυσικοί	Ηλικία σωλήνα (έτη)	>40	10	
		30-40	9	
		20-30	8	
		10-20	7	
		<10	5	
	Διάμετρος σωλήνα (mm)	<100	7	
		100-125	7	
		125-150	6	
		150-200	6	
		250-300	4	
		300-350	4	
	>350	3		
	Υλικό σωλήνα	ACP	9	
		PE	6	
		PVC	6	
Μήκος σωλήνα	>300	8		
	250-300	7		
	200-250	7		
	150-200	6		
	100-150	5		
	50-100	4		
<50	3			
Περιβαλλοντικοί	Τύπος εδάφους	Υψηλά επιθετικό	10	
		Επιθετικό	7	
		Μέτριο	5	
		Μη επιθετικό	3	
	Ένταση κυκλοφορίας	Υψηλή	10	
		Μέτρια	7	
		Χαμηλή	3	
	Πλάτος δρόμου (m)	>20	5	
		10-20	5	
		<10	6	
	Κατάσταση επιφάνειας οδοστρώματος	Άσφαλτος	3	
		Τσιμέντο	5	
		Χωματόδρομος	7	
	Λειτουργικοί	Αριθμός διακοπών νερού	>100	10
			75-100	9
50-70			7	
25-50			6	
0-25			5	
Ποσοστό αποτυχίας (αριθμός αποτυχιών / km / έτος)		>35	10	
		25-35	8	
		15-25	7	
		5-15	5	
<5		3		
Πίεση συστήματος		Υψηλή	10	
		Μέτρια	7	
		Χαμηλή	3	

Πηγή: Kilinc et al., 2018

Εν συνεχεία, υπολογίζονται οι συντελεστές, Φυσικών παραγόντων (PFS), Περιβαλλοντικών παραγόντων (EFS) και ο συντελεστής Λειτουργικών παραγόντων

(OFS). Οι τιμές των κύριων παραγόντων υπολογίστηκαν για να χρησιμοποιηθούν στον υπολογισμό της τιμής της τεχνικής απόδοσης των σωλήνων ύδατος χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (3), (4) και (5), αντίστοιχα.

$$PFS = \sum_{i=1}^m w_i c_i \quad (3)$$

$$EFS = \sum_{i=1}^m w_i c_i \quad (4)$$

$$OFS = \sum_{i=1}^m w_i c_i \quad (5)$$

όπου, w_f, w_c, w_l εκφράζουν τους συντελεστές βαρύτητας των φυσικών, περιβαλλοντικών και λειτουργικών κύριων παραγόντων, αντίστοιχα, ο όρος W_i είναι ο συντελεστής βαρύτητας των υπό-παραγόντων, ενώ ο όρος c_i είναι η τιμή των συντελεστών/στοιχείων του παράγοντα.

Στη μελέτη αυτή, μελετήθηκαν 17 μεμονωμένοι σωλήνες νερού συμπεριλαμβάνοντας τους προσδιορισμένους παράγοντες και υπό-παραγόντες με σκοπό την αξιολόγηση των τεχνικών επιδόσεων και υπολογίστηκαν τα PFS, EFS και OFS όπως φαίνονται στις Εικόνες 15, 16 και 17, αντίστοιχα. Όπως εξηγήθηκε στο προηγούμενο βήμα, η τιμή 0 υποδηλώνει ότι ο παράγοντας έχει τη μικρότερη επίδραση στη ζημιά ή την απόδοση του σωλήνα, ενώ η τιμή 10 εκφράζει ότι ευθύνεται αρκετά στην υποβάθμιση του σωλήνα.

Εικόνα 15. PFS

Κωδικός σωλήνα	Φυσικά χαρακτηριστικά				Βαθμολογία c_i				
	Υλικό	Ηλικία σωλήνα (Ετη)	Διάμετρος Σωλήνα (mm)	Μήκος σωλήνα (m)	Υλικό	Ηλικία σωλήνα	Διάμετρος Σωλήνα	Μήκος σωλήνα	PFS
ACP01	ACP	20	300	428	8	4	8	9	7.55
ACP02	ACP	19	150	409	7	6	8	9	7.29
ACP03	ACP	17	125	165	7	6	6	9	7.15
ACP04	ACP	19	200	561	7	6	8	9	7.29
ACP05	ACP	16	300	213	7	6	7	9	6.9
PVC01	PVC	14	90	283	7	7	7	6	6.81
PVC02	PVC	16	110	331	7	7	8	6	6.88
PVC03	PVC	32	63	139	9	7	6	6	7.9
PVC04	PVC	17	110	761	7	7	8	6	6.88
PVC05	PVC	19	75	391	7	7	8	6	6.88
PVC06	PVC	18	125	154	7	6	6	6	6.58
PVC07	PVC	17	200	425	7	6	8	6	6.72
PVC08	PVC	23	175	142	8	6	5	6	7.09

PVC09	PVC	20	150	165	8	6	6	6	7.16
PVC10	PVC	21	110	1012	8	7	8	6	7.46
PVC11	PVC	18	40	487	7	7	8	6	6.88
PVC12	PVC	10	90	242	7	7	7	6	6.81

Πηγή: Kilinç et al., 2018

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 15, οι τιμές PFS υπολογίστηκαν λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές των συντελεστών βαρύτητας των υπό-παραγόντων που αφορούν το υλικό, την ηλικία, τη διάμετρο και το μήκος του σωλήνα. Ως αποτέλεσμα της ανάλυσης, παρατηρήθηκε η υψηλότερη τιμή PFS για σωλήνα PVC03 με τιμή 7,90 (που δείχνει ότι αυτός ο σωλήνας έχει τη χειρότερη απόδοση), ενώ η χαμηλότερη τιμή παρατηρήθηκε για το σωλήνα PVC06, 6.58.

Εικόνα 16. EFS

Κωδικός σωλήνα	Περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά				Βαθμολογία C_i				
	Τύπος εδάφους	Ένταση κυκλοφορίας	Road with (m)	Κατάσταση οδοστρώματος	Τύπος εδάφους	Ένταση κυκλοφορίας	Road with	Κατάσταση οδοστρώματος	EFS
ACP01	Επιθετικό	Μέτρια	15	Άσφαλτος	7	7	5	3	6,38
ACP02	Επιθετικό	Μέτρια	15	Άσφαλτος	7	7	5	3	6,38
ACP03	Επιθετικό	Χαμηλή	7	Άσφαλτος	7	3	6	3	5,27
ACP04	Μέτριο	Μέτρια	16	Άσφαλτος	5	7	5	3	5,38
ACP05	Επιθετικό	Χαμηλή	9	Άσφαλτος	7	3	6	3	5,27
PVC01	Επιθετικό	Χαμηλή	9	Άσφαλτος	7	3	6	3	5,27
PVC02	Επιθετικό	Υψηλή	24	Άσφαλτος	7	10	5	3	7,28
PVC03	Μέτριο	Χαμηλή	8	Άσφαλτος	5	3	6	3	4,27
PVC04	Επιθετικό	Μέτριο	16	Άσφαλτος	7	7	5	3	6,38
PVC05	Επιθετικό	Χαμηλό	7	Άσφαλτος	7	3	6	3	5,27
PVC06	Επιθετικό	Χαμηλό	7	Άσφαλτος	7	3	6	3	5,27
PVC07	Επιθετικό	Χαμηλό	8	Άσφαλτος	7	3	6	3	5,27
PVC08	Επιθετικό	Μέτριο	10	Άσφαλτος	7	7	5	3	6,38
PVC09	Μέτριο	Χαμηλό	7	Άσφαλτος	5	3	6	3	4,27
PVC10	Επιθετικό	Υψηλό	44	Άσφαλτος	7	10	5	3	7,28
PVC11	Μέτριο	Χαμηλό	7	Άσφαλτος	5	3	6	3	4,27
PVC12	Επιθετικό	Μέτριο	11	Άσφαλτος	7	7	5	3	6,38

Πηγή: Kilinç et al., 2018

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που δίνονται στην Εικόνα 16, οι υψηλότερες τιμές EFS ελήφθησαν για σωλήνες PVC02 και PVC10 με τιμή 7,28 (γεγονός που δείχνει ότι ο σωλήνας αυτός έχει τη χειρότερη απόδοση), ενώ οι χαμηλότερες τιμές υπολογίστηκαν για τους σωλήνες PVC03 και PVC09 με 4.27.

Εικόνα 17. OFS

Κωδικός σωλήνα	Βαθμολογία c_i			Failure rate	Watter interution	Piesh	OFS
	Failure rate	Watter interution	piesh				
ACP01	28.037	70	22	7	8	3	5.42
ACP02	22.005	14	46	5	7	7	6.14
ACP03	18.182	55	52	7	7	7	7.00
ACP04	33.868	127	45	10	8	7	8.43
ACP05	23.474	123	44	10	7	7	8.29
PVC01	38.869	0	13	0	10	3	2.69
PVC02	33.233	13	28	5	8	7	6.28
PVC03	35.971	32	33	6	10	7	6.99
PVC04	6.570	25	40	6	5	7	6.29
PVC05	25.575	20	30	5	8	7	6.28
PVC06	32.468	14	45	5	8	7	6.28
PVC07	2.353	87	38	9	3	7	7.3
PVC08	28.169	36	23	6	8	3	4.99
PVC09	24.242	32	35	6	7	7	6.57
PVC10	19.763	128	35	10	7	7	8.29
PVC11	6.160	3	33	5	5	7	5.86
PVC12	8.264	56	40	7	5	7	6.72

Πηγή: *Kilinc et al., 2018*

Επιπλέον, όπως φαίνεται στην Εικόνα 17, οι τιμές OFS υπολογίστηκαν λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές και τους συντελεστές βαρύτητας που αφορούν βλάβες όπως είναι οι περιπτώσεις διακοπής νερού και πίεσης του συστήματος. Σαν αποτέλεσμα αυτής της ανάλυσης, η υψηλότερη τιμή OFS λήφθηκε για σωλήνες ACP04 με βαθμολογία 8,43, ενώ η χαμηλότερη τιμή υπολογίστηκε για σωλήνα PVC01 με 2,69.

3.7 Βαθμός Αξιολόγησης της Απόδοσης του Σωλήνα

Σε αυτή τη μελέτη, ο Δείκτης Αξιολόγησης Επιδόσεων (PES) που χρησιμοποιήθηκε για την τεχνική αξιολόγηση των μεμονωμένων σωλήνων νερού υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας την εξίσωση (9), λαμβάνοντας υπόψη τα PFS, EFS και OFS που υπολογίστηκαν για τους κύριους παράγοντες και τους συντελεστές βάρους τους.

$$PES = w_f PFS + w_c EFS + w_i OFS \quad (9)$$

Οι Ennaouri και Fuamba (2013) εφάρμοσαν μια μέθοδο αποφάσεων με πολλαπλά κριτήρια για την αξιολόγηση του απόδοσης των συνδυασμένων συστημάτων αποχέτευσης και υπολόγισαν τις τιμές αξιολόγησης για τις συνιστώσες των σωλήνων. Στη μελέτη τους, οι κατηγορίες αξιολόγησης ορίστηκαν σύμφωνα με τις τιμές της αξιολόγησης των επιδόσεων που υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας τις τιμές των

συντελεστών βαρύτητας των κύριων παραγόντων. Στη μελέτη μας, μια παρόμοια ταξινόμηση αξιολόγησης που πρότειναν οι Ennaoui και Fuamba (2013) δίδεται στην Εικόνα 18. που προσδιορίστηκε σύμφωνα με τις τιμές PES (η τιμή 0 δείχνει την καλή απόδοση, 10 δείχνει την πολύ κακή απόδοση). Για το προσδιορισμό της τιμής PES χρησιμοποιήθηκαν 17 επιμέρους σωλήνες νερού που επιλέχθηκαν για τη δοκιμή της τεχνικής απόδοσης, οι τιμές φαίνονται στην Εικόνα 19.

Εικόνα 18. Βαθμολογικές κλάσεις αξιολόγησης επιδόσεων.

Κλάση	Βαθμολογικές κλάσεις	Κατάσταση σωληνώσεων
A	[0-2]	Καλές επιδόσεις, Ενδέχεται να μην υπάρχει πιθανός κίνδυνος
B	[2-4]	Μέτρια απόδοση
C	[4-6]	Κακή απόδοση, Βλάβη παρατηρήσιμη
D	[6-8]	Κακή απόδοση, Υψηλός κίνδυνος ζημιάς
E	[8-10]	Πολύ κακή απόδοση, Ο κίνδυνος σημαντικών ζημιών είναι πολύ υψηλός

Πηγή: Kilinc et al., 2018

Εικόνα 19. PES

Κωδικός σωλήνα	PFS ($w_f = 0.43$)	EFS ($w_c = 0.14$)	OFS ($w_l = 0.43$)	PES	Κλάση	Κατάσταση σωλήνα
ACP01	7,55	6,38	5,42	6,47	D	Κακή απόδοση, Υψηλός κίνδυνος ζημιάς
ACP02	7.29	6.38	6.14	6.67	D	
ACP03	7.15	5.27	7	6.82	D	
ACP04	7.29	2.38	8.43	7.51	D	
ACP05	6.9	5.27	8.29	7.27	D	
PVC01	6.81	5.27	2.69	4.82	C	Κακή απόδοση, Βλάβη παρατηρήσιμη
PVC02	6.88	7.28	6.28	6.68	D	Κακή απόδοση, Υψηλός κίνδυνος ζημιάς
PVC03	7.9	4.27	6.99	7.00	D	
PVC04	6.88	6.38	6.29	6.56	D	
PVC05	6.88	5.27	6.28	6.40	D	
PVC06	6.58	5.27	6.28	6.27	D	
PVC07	6.72	5.27	7.3	6.77	D	
PVC08	7.09	6.38	4.99	6.09	D	
PVC09	7.16	4.27	6.57	6.50	D	
PVC10	7.46	7.28	8.29	7.79	D	
PVC11	6.88	4.27	5.86	6.08	D	
PVC12	6.81	6.38	6.72	6.71	D	

Πηγή: Kilinc et al., 2018

Σύμφωνα με τις τιμές PES που παρουσιάζονται στην Εικόνα 18, φαίνεται ότι ο κωδικοποιημένος σωλήνας PVC01 είναι στην κατηγορία C ενώ άλλοι είναι στην κατηγορία D. Διαπιστώθηκε ότι η δομική κατάσταση και η απόδοση όλων των σωληνών ACP είναι σε κακή κατάσταση και ο κίνδυνος ζημιάς είναι υψηλός. Η δομική

κατάσταση του σωλήνα PVC01 δεν είναι καλή και μπορεί ακόμα να παρατηρηθεί ζημιά. Επιπλέον, η δομική κατάσταση άλλων σωλήνων από PVC είναι κακή και ο κίνδυνος ζημιάς είναι υψηλός.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά, μέσα από την βιβλιογραφική έρευνα που πραγματοποιήθηκε κατά την συγγραφή αυτής της εργασίας, είναι εμφανές ότι η AHP είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την αντιμετώπιση πολύπλοκων αποφάσεων. Πρόκειται για μια μέθοδο η οποία έχει εφαρμοστεί σε εκατοντάδες παραδείγματα τόσο πραγματικά όσο και υποθετικά. Η χρήση της από οργανισμούς επιχειρηματικούς και μη αλλά και από ακαδημαϊκούς φορείς είναι συνεχής και αυξανόμενη, αφού η πολυπλοκότητα των αποφάσεων σήμερα γίνεται όλο και εντονότερη.

Επιπλέον, το γεγονός ότι η βιβλιογραφία που υπάρχει για την Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία είναι εξαιρετικά μεγάλη, ενώ ως μέθοδος προτάθηκε και χρησιμοποιήθηκε μόλις τριάντα πέντε περίπου χρόνια πριν, υπογραμμίζει την σημασία και την χρησιμότητα της με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Ακόμη και οι ερευνητές οι οποίοι έχουν κατά καιρούς αμφισβητήσει την εγκυρότητα της, έχουν ωστόσο σημειώσει σε αρκετές περιπτώσεις την αποτελεσματικότητα της στην πράξη.

Ο κατάλογος με τις εφαρμογές της μεθόδου είναι πολύ μακρύς και στην παρούσα εργασία αναφέρθηκαν πολύ λίγες εξ' αυτών. Αντίστοιχα πολλά είναι τα σημεία που συναντήσαμε στην βιβλιογραφία όπου ερευνούν κομμάτια της μεθόδου και προτείνουν εναλλακτικούς τρόπους ή και βελτιώσεις σε ορισμένα σημεία. Για να μην μακρηγορούμε πρόκειται για μια μέθοδο η οποία είναι πρακτικά αποτελεσματική, ευκολονόητη και αποτελεί ένα ενδιαφέρον ερευνητικό αντικείμενο

Σε αυτή τη μελέτη, αναπτύχθηκε ένα μοντέλο αξιολόγησης της απόδοσης με τη μέθοδο AHP για την αξιολόγηση των τεχνικών επιδόσεων μεμονωμένων σωλήνων που παρέχουν υπηρεσίες σε συστήματα διανομής νερού. Αναπτύσσοντας αυτό το μοντέλο, διάφοροι κύριοι παράγοντες, όπως φυσικοί, περιβαλλοντικοί και λειτουργικοί καθώς και συνολικά 11 υπό-παράγοντες που ανήκουν σε αυτούς τους κύριους παράγοντες λήφθηκαν υπόψη. Οι πίνακες συγκρίσεων των ζευγών και οι συντελεστές βαρύτητας για όλους τους κύριους και υπό-παράγοντες που ορίζονται στη μελέτη αυτή υπολογίστηκαν με βάση τις απόψεις εμπειρογνομώνων και επαγγελματιών. Σύμφωνα με αυτούς τους συντελεστές βαρύτητας των κύριων παραγόντων, ο υψηλότερος συντελεστής προσδιορίστηκε για το φυσικό και λειτουργικό παράγοντα με τιμή 0,43,

ενώ η αντίστοιχη τιμή του ίδιου συντελεστή για τον κύριο περιβαλλοντικό παράγοντα υπολογίστηκε ως 0,14.

Από την άλλη πλευρά, διαπιστώθηκε ότι ο λόγος συνέπειας υπολογιζόμενος για όλους τους υπό-παράγοντες ήταν χαμηλότερος από την οριακή τιμή 0,10. Στη μελέτη αυτή, μετά τον υπολογισμό των συντελεστών βαρύτητας και την ανάλυση της συνέπειας, προσδιορίστηκαν οι τιμές των συντελεστών των κύριων παραγόντων. Χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο αξιολόγησης που αναπτύχθηκε με τη μέθοδο AHP για ένα σύνολο 17 επιμέρους σωλήνων ύδρευσης παροχής υπηρεσιών νερού που επιλέχθηκαν για αυτή τη μελέτη. Για το σκοπό αυτό, πρώτα οι κύριοι συντελεστές, όπως το PFS, το EFS και το OFS υπολογίστηκαν για να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό του βαθμού τεχνικής αξιολόγησης των σωλήνων ύδρευσης. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της PFS, η υψηλότερη τιμή λήφθηκε για σωλήνα PVC03 με βαθμολογία 7,90 (που δείχνει ότι ο σωλήνας αυτός έχει τη χειρότερη απόδοση), ενώ η χαμηλότερη τιμή αυτού υπολογίστηκε για σωλήνα PVC06 με 6,58. Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι το υψηλότερο EFS προσδιορίστηκε για σωλήνες PVC02 και PVC10 με βαθμολογία 7,28, ενώ οι χαμηλότερες τιμές υπολογίστηκαν για σωλήνες PVC03 και PVC09 με 4,27. Ως αποτέλεσμα, η υψηλότερη τιμή OFS ελήφθη για σωλήνες ACP04 με βαθμολογία 8,43, ενώ η χαμηλότερη τιμή αυτού υπολογίστηκε για σωλήνα PVC01 με 2,69.

Στη μελέτη αυτή, τέλος, η τιμή της αξιολόγησης της απόδοσης (PES) που χρησιμοποιήθηκε για την τεχνική αξιολόγηση των μεμονωμένων αγωγών ύδρευσης υπολογίστηκε λαμβάνοντας υπόψη τα PFS, EFS και OFS που υπολογίστηκαν για τους κύριους παράγοντες και τους συντελεστές βαρύτητάς τους. Στη μελέτη μας, παρουσιάζεται μια ταξινόμηση παρόμοια με την ταξινόμηση αξιολόγησης που πρότειναν οι Ennaouri και Fuamba (2013) όπου προσδιορίστηκε σύμφωνα με τις τιμές PES (η τιμή 0 υποδηλώνει την καλή απόδοση, 10 δείχνει τις πολύ φτωχές αποδόσεις). Φαίνεται ότι ο κωδικοποιημένος σωλήνας PVC01 είναι στην κατηγορία C ενώ άλλοι είναι στην τάξη D. Διαπιστώθηκε ότι η δομική κατάσταση και οι επιδόσεις όλων των αγωγών ACP είναι κακές και ο κίνδυνος ζημιών είναι υψηλός. Η δομική κατάσταση του σωλήνα PVC01 δεν είναι καλή και μπορεί να προκληθεί βλάβη. Επιπλέον, η δομική κατάσταση άλλων σωλήνων PVC είναι κακή και ο κίνδυνος ζημιάς είναι υψηλός.

BΙΝΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Aull-Hyde, R., Erdogan, S., Duke, M. (2006).** *An Experiment on the Consistency of Aggregated Comparison Matrices in AHP.* European Journal of Operational Research, Vol. 171.
- Barzilai, J. (1997).** *Deriving Weights from Pairwise Comparison Matrices.* The Journal of the Operational Research Society, Vol. 48.
- Benzerra, A., Cherrared, M., Chocat, B., Cherqui, F., Zekiouk, T. (2012).** *Decision support for sustainable urban drainage system management: A case study of Jijel, Algeria.* Journal of Environmental Management.
- Choi, T., Koo, J. (2014).** *A water supply risk assessment model for water distribution network.* Desalination and Water Treatment.
- Chowdary, M., Chakraborty, D., Jeyaram, A., Murthy, K., Sharma, R., Dadhwal, K. (2013).** *Multi-Criteria Decision Making Approach for Watershed Prioritization Using Analytic Hierarchy Process Technique and GIS.* Water Resource Management.
- De Jong, P. (1984).** *A Statistical Approach to Saaty's Scaling Method for Priorities.* Journal of Mathematical Psychology, Vol. 28.
- De Oliveira, P., Neill, B., Garrett, H., Soibelman, L. (2011).** *Detection of Patterns in Water Distribution Pipe Breakage Using Spatial Scan Statistics for Point Events in a Physical Network.* Journal of computing in civil engineering.
- Ennaouri, I., Fuamba, M. (2013).** *New Integrated Condition-Assessment Model for Combined Storm-Sewer Systems.* Journal of Water Resources Planning and Management.
- Forman, E., Peniwati, K. (1998).** *Aggregating Individual Judgments and Priorities with the Analytic Hierarchy Process.* European Journal of Operational Research, Vol. 108.
- Francisque, A., Shahriar, A., Islam, N., Betrie, G., Siddiqui, B., Tesfamariam, S., Sadiq, R. (2014).** *A decision support tool for water mains renewal for small to medium sized utilities: a risk index approach.* Journal of Water Supply.

- Jenssen, R., (1992).** *Multiobjective decision support system for environmental management.* Dordrecht. The Netherlands. Kluwer Academic.
- Kessili, A., Benmamar, S. (2016).** *Prioritizing sewer rehabilitation projects using AHPPROMETHEE II ranking method.* Water Science and Technology.
- Kılınc, Y. (2017).** *Evaluation of performance of PVC and ACP pipes based on environmental factors at water distribution networks.* Msc Thesis, Inonu University.
- Kilinç, Y., Özdemir, Ö., Orhan, O., Firat, M. (2018).** *Evaluation of technical performance of pipes in water distribution systems by analytic hierarchy process.* Sustainable cities and society, vol.42.
- Laininen, P., Hämäläinen, P. (2003).** *Analyzing AHP-matrices by regression.* European Journal of Operational Research, Vol. 148.
- Mamo, G., Juran, I., Shahrour, I. (2013).** *Prioritization of Municipal Water Mains Leakages for the Selection of R&R Maintenance Strategies Using Risk Based Multi-Criteria FAHP Model.* Journal of Water Resource and Hydraulic Engineering.
- Marlow, D., Gould, S., Lane, B. (2015).** *An expert system for assessing the technical and economic risk of pipe rehabilitation options.* Expert System with Applications.
- MASKİ (2016).** Malatya Water and Sewage Administrative.
- Palchaudhuri, M., Biaswas, S. (2016).** *Application of AHP with GIS in drought risk assessment for Puruliya district, India.* Natural Hazards.
- Rahmati, O., Zeinivand, H., Besharat, M. (2016).** *Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis.* Geomatics, Natural Hazards and Risk.
- Ramanathan, R., Ganesh, S. (1994).** *Group Preference Aggregation Methods Employed in AHP: An Evaluation and an Intrinsic Process for Deriving Members' Weightages.* European Journal of Operational Research, Vol. 79.
- Saaty, L. (1977).** *A scaling method for priorities in hierarchical structures.* Journal of Mathematical Psychology, Vol. 15.
- Saaty, L. (1980).** *The Analytic Hierarchy Process, Planning, Priority Setting, Resource Allocation.* Mc Graw Hill, New York.

- Saaty, L. (1980).** *The analytic hierarchy process*. Mc Graw Hill, New York.
- Saaty, L. (1983).** *Hierarchies, reciprocal matrices and ratio scales*. Modules in Applied Mathematics, Vol. 3.
- Saaty, L. (1986).** *Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process*. Management Science, Vol. 32.
- Saaty, L. (2008).** *Relative Measurement and its Generalization in Decision Making: Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors - The Analytic Hierarchy/Network Process*. Vol. 102.
- Saaty, L., Vargas, G. (1984).** *Inconsistency and Rank Preservation*. Journal of Mathematical Psychology, Vol. 28.
- Saaty, L., Vargas, G., Whitaker, R. (2008).** *Addressing with brevity Criticisms of the Analytic Hierarchy Process*. Ανακτήθηκε από International Journal of the Analytic Hierarchy Process (IJAFP).
- Şener, E., Şener, Ş. (2015).** *Evaluation of groundwater vulnerability to pollution using fuzzy analytic hierarchy process method*. Environmental Earth Sciences.
- Singh, K., Katpatal, B. (2017).** *A GIS Based Design of Groundwater Level Monitoring Network Using Multi-Criteria Analysis and Geostatistical Method*. Water Resources Management.
- Sugihara, K., Tanaka, H. (2001).** *Interval Evaluations in the Analytic Hierarchy Process by Possibility Analysis*. Computational Intelligence, Vol. 17.
- Tsitsifli, S., Kanakoudis, V., Bakouros, I. (2011).** *Pipe Networks Risk Assessment Based on Survival Analysis*. Water Resources Management.
- Βαβάτσικος, Α. (2015).** *Συστήματα Στήριξης Αποφάσεων*. Διαθέσιμο: <https://eclass.duth.gr/modules/document/file.php/TME253/02%20AHP.pdf>
- Ιωάννης, Θ. (2012).** *Υλοποίηση της Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων (AHP)*. Πανεπιστήμιο Πειραιώς. Διαθέσιμο: <http://dione.lib.unipi.gr/xmlui/bitstream/handle/unipi/5124/Theodosis.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Καρλαύτης, Π. (2016).** *Δείκτης αξιολόγησης λειτουργικής κατάστασης οδοστρώματος*. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Κόλλια, Ι. (2012). *Ιεραρχική Ανάλυση Αποφάσεων (AHP), Ένα Μοντέλο Λήψης Αποφάσεων σε Συνθήκες Πολλαπλών Κριτηρίων.* Πανεπιστήμιο Πατρών.

Ναθαναήλ, Ε. (2016). *Διαδικασία πολυκριτήριας ανάλυσης Αναλυτική ιεραρχική μέθοδος.* Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Διαθέσιμο: <http://eclass.uth.gr>