



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
& ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΦΥΣΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ, ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Σχεδιασμός και ανάλυση αρδευτικού δικτύου υπό πίεση στον Πάνορμο Τήνου,
χρησιμοποιώντας ως κεφαλή την εκροή μονάδας βιολογικού καθαρισμού



Λουκάς Κ. Κώτσος

Επιβλέπων καθηγητής:

Νικόλαος Δέρκας, Καθηγητής ΓΠΑ

**ΑΘΗΝΑ
2022**

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
& ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Σχεδιασμός και ανάλυση αρδευτικού δικτύου υπό πίεση στον Πάνορμο Τήνου,
χρησιμοποιώντας ως κεφαλή την εκροή μονάδας βιολογικού καθαρισμού

Design and analysis of pressurized irrigation network in Panormos of Tinos island
using the flow of a wastewater treatment facility

Λουκάς Κ. Κώτσος

Εξεταστική Επιτροπή:

Νικόλαος Δέρκας, Καθηγητής ΓΠΑ (επιβλέπων)

Ιωάννης Αργυροκαστρίτης, Καθηγητής ΓΠΑ

Δρ. Αγγελική Στεφοπούλου, Ερευνήτρια Μπενάκειο Φυτοπαθολογικό Ινστιτούτο

Σχεδιασμός και ανάλυση αρδευτικού δικτύου υπό πίεση στον Πάνορμο Τήνου, χρησιμοποιώντας ως κεφαλή την εκροή μονάδας βιολογικού καθαρισμού

*ΠΜΣ Φυσικοί Πόροι, Γεωπεριβάλλον & Γεωργική Μηχανική
Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής
Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι ο σχεδιασμός και η ανάλυση ενός αρδευτικού δικτύου υπό πίεση ελεύθερης ζήτησης στην περιοχή του Πανόρμου στη νήσο Τήνο. Η ολοένα και αυξανόμενη χρήση των συλλογικών αρδευτικών δικτύων υπό πίεση και η επιτακτική ανάγκη για ορθολογική διαχείριση υδατικών πόρων, δημιουργούν προϋποθέσεις για τη βελτίωση των αγροτικών καλλιεργειών στην ελληνική πραγματικότητα. Ως αποτέλεσμα, τα πλεονεκτήματα θα είναι κοινωνικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά για την εκάστοτε περιοχή.

Η διερεύνηση αυτή περιλαμβάνει την ανάπτυξη των αρχών σχεδιασμού και ορθής λειτουργίας των αρδευτικών δικτύων υπό πίεση, από τις οποίες δομούνται τα μοντέλα σχεδιασμού και οι προσομοιώσεις της λειτουργίας αυτών αντίστοιχα. Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε η περιοχή του Πανόρμου στην οποία οι παραδοσιακοί ελαιώνες είναι εγκατεστημένοι σε αναβαθμίδες, ενώ δεν υφίστανται έργα έγγειων βελτιώσεων εκτός από μία μονάδα Βιολογικού Καθαρισμού η οποία αποτελεί ιδανική πηγή αρδευτικού νερού για την κάλυψη των αναγκών της περιοχής. Ο σχεδιασμός του δικτύου και η χωρική ανάλυση της επιλεγμένης έκτασης, ως προς το ιδιοκτησιακό καθεστώς και τα εφαρμοσμένα όρια, υλοποιήθηκε με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και Βάσεων Δεδομένων, ώστε να παραχθούν οι τελικοί ψηφιακοί χάρτες και γεωβάσεις με τα αναγκαία χωρικά δεδομένα στο λογισμικό ArcGIS.

Η προσομοίωση της λειτουργίας του δικτύου πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό COPAM, μέσω του οποίου υπολογίσθηκαν οι διάμετροι των αγωγών, η παροχή σχεδιασμού του έργου και το κόστος του συστήματος των αγωγών. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ανάλυση υδραυλικής επάρκειας μέσα από τις δυνατότητες του λογισμικού. Τέλος, για την εξέταση της ανταπόκρισης του δικτύου σε μελλοντικές μεταβολές των αρδευτικών αναγκών στο χώρο εφαρμογής, επομένως και του παράγοντα της ζήτησης, εκπονήθηκε συγκριτική ποσοτική ανάλυση ως προς την παράμετρο της ειδικής συνεχούς παροχής q_0 . Παράλληλα έγινε προσπάθεια μείωσης του φορτίου στην κεφαλή με στόχο την διερεύνηση των δυνατοτήτων για σχεδιασμό ενός πιο οικονομικού δικτύου. Συνεπώς, δομήθηκαν εναλλακτικά σενάρια λειτουργίας του συλλογικού δικτύου που σχεδιάστηκε, η αξιολόγηση των οποίων επισημαίνει την αδιάλειπτη λειτουργία του σε δυνητική αναμόρφωση αρχικώς ή μελλοντικά.

Επιστημονική Περιοχή: Εγγείες Βελτιώσεις

Λέξεις Κλειδιά: Αρδευτικά δίκτυα, βιολογικός καθαρισμός, Τήνος, Πάνορμος

Design and analysis of pressurized irrigation network in Panormos of Tinos island using the flow of a wastewater treatment facility

*MSc Natural Resources, Geoenvironment & Agricultural Engineering
Department of Natural Resources & Agricultural Engineering
Laboratory of Agricultural Hydraulics*

ABSTRACT

The current Master thesis aims at the design and analysis of an on – demand pressurised irrigation network in the Local Community of Panormos located in Tinos island. The ever – increasing use of collective pressurised irrigation networks and the necessity for a more rational management of water resources lend themselves to the overall improvement of the agricultural crops in Greek reality. As a result, the benefits will be of social, economic and environmental nature for the respective regions.

This investigation includes the development of the fundamental principles of design and operation of pressurised irrigation networks, that form the basis of the design models and the simulations of their operation. The main characteristics of the study area are the traditional olive crops, planted in terraces and the wastewater treatment facility which could be an ideal irrigation water source. The network design and spatial analysis of the chosen area, regarding ownership status and applicable boundaries, was implemented using the Geographic Information Systems and Databases to produce the final digital maps and geodatabases with the necessary spatial data, applied in the ArcGis software.

Simulation of the operation of the new network was performed with the free COPAM (Combined Optimization and Performance Analysis Model) software, through which the pipeline diameters, the design of the project and the cost of the pipeline system were calculated. Hydraulic efficiency analysis was then conducted through the software capabilities. Finally, in order to examine the network's response to future variations in the research field with regards to the irrigation needs and to therefore accordingly calculate the demand factor, a comparative quantitative analysis was enacted on the specific continuous discharge q_0 parameter. Therefore, alternative scenarios of the planned collective network were constructed, the evaluation of which indicates its uninterrupted operation in contingent reforming initially or in the future.

Scientific area: Land reclamation

Keywords: Irrigation networks, wastewater treatment facility, Tinos, Panormos

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευρετήριο Περιεχομένων.....	5
Ευχαριστίες	9
1. Εισαγωγή.....	10
1.1 Αντικείμενο και Στόχοι της Μελέτης.....	10
1.2 Ενότητες της διατριβής.....	11
1.3 Κατάλογος Λογισμικών.....	12
2. Άρδευση καλλιεργειών με επεξεργασμένα αστικά λύματα.....	13
2.1 Τωρινή κατάσταση	13
2.2 Οφέλη της χρήσης των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων στην γεωργία.....	14
2.3 Επιπτώσεις της χρήσης των αστικών λυμάτων στην γεωργία	15
2.4 Χρήση επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων για άρδευση: Η περίπτωση της Ελλάδας.....	17
3. Συλλογικά Άρδευτικά Δίκτυα Υπό Πίεση.....	19
3.1 Εισαγωγικές Έννοιες – Εγγειοβελτιωτικά Έργα	19
3.2 Ταξινόμηση των Εγγειοβελτιωτικών Έργων	20
3.3 Άρδευτικά Έργα και Μέθοδοι Άρδευσης	21
3.4 Συλλογικά Άρδευτικά Δίκτυα	22
3.5 Σχεδιασμός συλλογικού αρδευτικού δικτύου υπό πίεση	23
3.5.1 Προσδιορισμός αρδευτικών αναγκών	25
3.5.2 Οριοθέτηση της αρδευτικής περιμέτρου	26
3.5.3 Μεθοδολογία βέλτιστης χάραξης	27
3.5.4 Προσδιορισμός των παροχών μελέτης σε δίκτυα με ελεύθερη ζήτηση	28
3.5.4.1 Οι νόμοι της ζήτησης	29
3.5.5. Επιλογή της παροχής και της πίεσης των υδροστομίων	37
3.5.6 Οικονομική βελτιστοποίηση των διαμέτρων	38
3.6 Ανάλυση της λειτουργίας συλλογικού δικτύου άρδευσης	41
3.6.1 Η ανάλυση λειτουργίας υπό πίεση δικτύου άρδευσης	41
3.6.2 Η σημασία της ανάλυσης της λειτουργίας ενός δικτύου	42
3.6.3 Οι χρήστες – η ζήτηση	44
3.6.4 Το δίκτυο ως σύστημα αγωγών	45
3.6.5 Ανάλυση σε επίπεδο δικτύου	46

3.6.6 Χαρακτηριστικές καμπύλες του συστήματος των αγωγών	46
3.6.7 Ανάλυση σε επίπεδο υδροστομίου	51
3.6.8 Ολοκληρωμένη ανάλυση του δικτύου (χρήστες + σύστημα αγωγών + έργο κεφαλής).....	53
3.6.9 Συμπεράσματα της ανάλυσης.....	54
4. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών – Ανάλυση Χωρικών Δεδομένων.....	57
4.1 Βασικές Έννοιες των ΓΣΠ	57
4.2 Τα επιμέρους στοιχεία των ΓΣΠ	59
4.3 Χωρικά Δεδομένα και Μοντέλα Δεδομένων	60
4.4 Οπτικοποίηση των Χωρικών Δεδομένων	62
4.5 Βάσεις Γεωγραφικών Δεδομένων	65
4.6 Συστήματα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων (Data Base Management System).....	67
4.6.1 Βάσεις Γεωγραφικών Δεδομένων – Γεωβάσεις	68
5. Σχεδιασμός Συλλογικού Αρδευτικού Δικτύου Υπό Πίεση Χρησιμοποιώντας την εκροή από Βιολογικό Καθαρισμό – Εφαρμογή στη νήσο Τήνο.....	71
5.1 Επισκόπηση της Περιοχής Μελέτης – Υπάρχουσα Κατάσταση	71
5.1.1 Οι αναβαθμίδες και η σημασία τους για την περιοχή της μελέτης	74
5.2 Τοποκλιματικά Δεδομένα της Περιοχής Μελέτης	76
5.2.1 Κλιματικά Δεδομένα	77
5.3 Γεωλογικά και Εδαφολογικά Στοιχεία	80
5.4 Υδρολογικές Συνθήκες	81
5.5 Δημογραφικά και Κτηματολογικά Στοιχεία	84
5.6 Γεωργικές Εκμεταλλεύσεις – Χρήσεις Γης	85
5.7 Ο Βιολογικός καθαρισμός του Πανόρμου ως κεφαλή του υπό σχεδιασμό δικτύου.....	87
5.7.1 Στοιχεία των δυνατοτήτων του βιολογικού καθαρισμού του Πανόρμου για να χρησιμοποιηθεί ως κεφαλή του δικτύου.....	88
5.8 Απαιτήσεις των ελαιώνων της περιοχής μελέτης σε νερό	91
5.8.1 Εξατμισοδιαπνοή των ελαιώνων της περιοχής μελέτης	92
5.9 Σχεδιασμός του δικτύου	96
5.9.1 Θέση του έργου	96

5.9.2. Όρια και Έκταση της Περιοχής Μελέτης	97
5.9.3. Περιγραφή της Χάραξης του Δικτύου	98
5.10 Δημιουργία Ψηφιακού Υποβάθρου και Θεματικών Επιπέδων.....	98
5.10.1 Επιλογή Χαρτογραφικού Υποβάθρου.....	99
5.10.2 Επεξεργασία των Ιδιοκτησιακών Δεδομένων	100
5.10.3 Ψηφιοποίηση Περιοχής Εφαρμογής και Αρδευτικών Μονάδων	100
5.10.4 Σχεδιασμός Αρδευτικών Μονάδων	101
5.10.5 Χωρικός Σχεδιασμός του Αρδευτικού Συστήματος	102
5.11 Το τελικό δίκτυο	109
6. Ανάλυση Λειτουργίας του Υπό Πίεση Αρδευτικού Δικτύου Ελεύθερης Ζήτησης.....	112
6.1 Το ελεύθερο λογισμικό COPAM (Combined Optimization and Performance Analysis Model)	112
6.1.1 Ο 1ος τύπος του Clément	118
6.1.2 Ο 2ος τύπος του Clément	119
6.1.3 Υπολογισμός των παροχών με τη μέθοδο προσομοίωσης της ζήτησης (μέθοδος Random Generation Model) του λογισμικού COPAM.....	120
6.1.4 Η χρήση του COPAM για τη βελτιστοποίηση των διαμέτρων.....	121
6.1.5 Ανάλυση λειτουργίας του δικτύου.....	122
6.1.6 Παραδοχές του Λογισμικού COPAM.....	124
6.2 Μελέτη Εφαρμογής	126
6.2.1 Δεδομένα και παράμετροι σχεδιασμού	126
6.2.2 Δημιουργία αρχείου εισόδου	128
6.2.3 Υπολογισμός παροχών και διαστασιολόγηση νέου δικτύου	130
6.2.4 Ανάλυση λειτουργίας σε επίπεδο δικτύου.....	133
6.2.5 Ανάλυση λειτουργίας σε επίπεδο υδροστομίου.....	135
6.2.6 Αποτελέσματα ανάλυσης λειτουργίας του νέου δικτύου.....	136
6.3 Συγκριτική ποσοτική ανάλυση της ειδικής συνεχούς παροχής του νέου δικτύου.....	138
6.3.1 Σενάριο 1ο – Αύξηση της ειδικής συνεχούς παροχής κατά 20%.....	139
6.3.2 Σενάριο 2ο – Αύξηση της ειδικής συνεχούς παροχής κατά 40%.....	142
6.3.3 Σενάριο 3ο – Αύξηση της ειδικής συνεχούς παροχής κατά 60%.....	145
6.4 Συγκριτική ανάλυση αποτελεσμάτων.....	148

6.5 Σενάριο μείωσης του φορτίου στην κεφαλή του δικτύου.....	150
7. Συμπεράσματα – Προεκτάσεις.....	154
7.1 Συμπεράσματα και Αποτίμηση των αποτελεσμάτων.....	154
7.1.1 Συμπεράσματα ως προς το Χωρικό Σχεδιασμό και τη Γεωοπτικοποίηση των Δεδομένων.....	154
7.1.2 Συμπεράσματα ως προς τον Υδραυλικό Σχεδιασμό και Ανάλυση του Αρδευτικού Δικτύου.....	156
7.1.3 Συμπεράσματα ως προς την δυνατότητα της μονάδας του Βιολογικού Καθαρισμού για κάλυψη των αναγκών του δικτύου.....	158
7.2 Μελλοντικές Προεκτάσεις.....	159
ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	162
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	167
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	171

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η διατριβή αυτή μου δίνει την ευκαιρία να ευχαριστήσω όλους τους ανθρώπους που συνέβαλλαν στην ολοκλήρωση των μεταπτυχιακών σπουδών μου στο ΓΠΑ, δηλώνοντας ιδιαίτερα ικανοποιημένος καθώς η όλη διαδικασία με βοήθησε να ολοκληρώσω το γνωστικό μου επίπεδο σαν επιστήμονας Γεωπόνος.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Επιβλέποντα της διατριβής, Καθηγητή της Σχολής Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής ΓΠΑ, κ. Νικόλαο Δέρκα διότι υποστήριξε τις ανησυχίες μου και την γενικότερη προσπάθειά μου στην εκπόνηση της μελέτης. Τον ευχαριστώ για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο προσώπό μου καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης και συγγραφής της μελέτης. Η συνεργασία μαζί του με βοήθησε να βελτιώσω τον τρόπο με τον οποίο σκέφτομαι και μάλιστα τον τρόπο υλοποίησης των συλλογισμών μου ώστε να επιτυγχάνεται το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Η αλληλεπίδραση μαζί του σίγουρα με βοήθησε να ωριμάσω σαν επιστήμονας αλλά και σαν επαγγελματία.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθ. κ. Ιωάννη Αργυροκαστρίτη για τις πολύτιμες γνώσεις που μου πρόσφερε κατά τη διάρκεια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος αλλά και για την συμμετοχή του στην τριμελή επιτροπή για την αξιολόγηση της διατριβής μου.

Δεν θα μπορούσαν να παραλείψω να ευχαριστήσω θερμά την Δρ. Αγγελική Στεφοπούλου για τον χρόνο που αφιέρωσε και την πολύτιμη αρωγή της στην εκμάθηση του προγράμματος Coram, πολύτιμου εργαλείου για την εκπόνηση της παρούσας διατριβής και στην αξιολόγηση της.

Επιπρόσθετα ευχαριστώ θερμά όλους αυτούς που συνεργάστηκαν μαζί μου άμεσα ή έμμεσα και συντέλεσαν στην ολοκλήρωση της διατριβής αυτής: την μεταπτυχιακή φοιτήτρια Σκουρλέτου Ζωή, την Δημοτική Ενότητα Πανόρμου Τήνου, τον Δήμο Τήνου κ.α.

Τέλος δεν θα μπορούσα να παραλείψω τους γονείς μου οι οποίοι όχι μόνο με στήριξαν κατά την διάρκεια των σπουδών μου αλλά μου έδωσαν κίνητρο κουράγιο για την ολοκλήρωση της διατριβής αυτής.

«Με την άδειά μου, η παρούσα εργασία ελέγχθηκε από την Εξεταστική Επιτροπή μέσα από λογισμικό ανίχνευσης λογοκλοπής που διαθέτει το ΓΠΑ και διασταυρώθηκε η εγκυρότητα και η πρωτοτυπία της»

1. Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο και Στόχοι της Διατριβής

Η άσκηση της γεωργίας για την παραγωγή σοδειάς και υλικών έχει τις μεγαλύτερες υδατικές απαιτήσεις από κάθε άλλη ανθρώπινη δραστηριότητα (Winpenny et al., 2010). Στις περιοχές τις οποίες η βροχόπτωση θεωρείται ανεπαρκής για την ανάπτυξη των καλλιεργειών, η άρδευση τους καθίσταται απαραίτητη διαδικασία η οποία αυξάνει τόσο το κόστος παραγωγής όσο και το περιβαλλοντικό κόστος.

Η έλλειψη διαθέσιμων υδατικών πόρων στις περιοχές οι οποίες δεν διαθέτουν επαρκείς υδάτινους αποδέκτες, ποτάμια και λίμνες για την κάλυψη των αναγκών σε νερό οδήγησε στην ανάπτυξη συστημάτων επεξεργασίας αστικών λυμάτων σε βαθμό ώστε να καθίσταται δυνατή η επαναχρησιμοποίηση τους στην γεωργία (Bazza, 2003). Αυτά τα συστήματα σε περιπτώσεις ανεπάρκειας νερού μπορούν να αποτελέσουν μια επιλογή ίσως και μονόδρομο για την άρδευση των καλλιεργειών (Winpenny et al., 2010).

Παράλληλα η μεταφορά του νερού από την μονάδα επεξεργασίας των λυμάτων στις καλλιέργειες και η επιλογή του κατάλληλου συστήματος άρδευσης με στόχο την ελαχιστοποίηση των απωλειών και την κάλυψη της ζήτησης αποτελεί σημαντικό ζήτημα. Μάλιστα, ο σχεδιασμός και κατασκευή ενός δικτύου άρδευσης στα πλαίσια της Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων (ΔΥΠ) αποτελεί μία συστημική διαδικασία μελέτης και συνεχούς παρακολούθησης των διαθέσιμων υδατικών πόρων, των χρηστών και του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.

Οι φάσεις για την υλοποίηση του σχεδιασμού είναι οι παρακάτω:

- Υδρολογική προσέγγιση και αξιολόγηση του Υδατικού Ισοζυγίου της ευρύτερης περιοχής.
- Ολοκληρωμένη μελέτη ΔΥΠ σε επίπεδο Λεκάνης Απορροής Ποταμού (ΛΑΠ) και σε επίπεδο ζώνης της περιοχής εφαρμογής.
- Η γεωργική, εδαφολογική και οικονομοτεχνική μελέτη του πεδίου σε διευρυμένη κλίμακα.
- Σχεδιασμός αρδευτικών και στραγγιστικών έργων.
- Ανάλυση υδραυλικής επάρκειας.
- Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων.

Το αντικείμενο της διατριβής αυτής αποτελείται από τον σχεδιασμό και την υδραυλική ανάλυση ενός αρδευτικού δικτύου υπό πίεση στη νήσο Τήνο. Στους επιμέρους στόχους περιλαμβάνονται: η αξιολόγηση υπάρχουσας μονάδας επεξεργασίας λυμάτων ως προς τις δυνατότητές της να χρησιμοποιηθεί ως κεφαλή του δικτύου, οι προοπτικές χρήσης του ανακτημένου νερού για την άρδευση καλλιέργειας ελιάς, ο σχεδιασμός ενός συλλογικού δικτύου το οποίο θα λειτουργεί με ελεύθερη ζήτηση, καθώς και η ανάλυση λειτουργίας για δυνητικές αυξήσεις ή μειώσεις των αρδευτικών αναγκών, αναφορικά με το είδος, την έκταση, την κατάσταση και την εκάστοτε αξιολόγηση των καλλιεργειών. Οι ως άνω στόχοι υλοποιήθηκαν με τη συνδρομή της Γεωπληροφορικής και ειδικότερα των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ), με σκοπό τη γεωοπτικοποίηση των χωρικών δεδομένων, από το στάδιο της αναγνωριστικής μελέτης, έως την επεξεργασία και το σχεδιασμό του υπό εκπόνηση ακτινωτού δικτύου άρδευσης.

1.2 Ενοότητες της Διατριβής

Για την παρουσίαση του σχεδιασμού και της ανάλυσης αρδευτικών δικτύων υπό πίεση, καθώς και για το σχεδιασμό, την ανάλυση και τη διαχείρισή τους σε περιβάλλον ΓΣΠ, η εργασία οργανώθηκε σε έξι επιμέρους κεφάλαια, τα οποία συνοψίζονται στη συνέχεια διαδοχικά.

Στο **1ο Κεφάλαιο**, το εισαγωγικό, πραγματοποιείται αναφορά στο γενικότερο πλαίσιο διερεύνησης της διατριβής και στα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για την αποπεράτωση αυτής.

Στο **2ο Κεφάλαιο**, περιγράφεται η τωρινή κατάσταση όσον αφορά την χρήση νερού προερχόμενου από μονάδες επεξεργασίας λυμάτων στην γεωργία

Στο **3ο Κεφάλαιο**, παρατίθενται βασικές έννοιες και ορισμοί και των εγγειοβελτιωτικών έργων επιγραμματικά και εκτενέστερα των συλλογικών αρδευτικών δικτύων υπό πίεση. Παρουσιάζεται ακόμη η ανάλυση λειτουργίας σε ελεύθερη ζήτηση και τα μοντέλα του Clément.

Στο **4ο Κεφάλαιο**, γίνεται αδρομερής αναφορά στα ΓΣΠ στην ανάλυση και αναπαράσταση των χωρικών δεδομένων. Επιπρόσθετα, αναπτύσσονται και βασικές έννοιες των Βάσεων Δεδομένων (ΒΔ), των Βάσεων Γεωγραφικών Δεδομένων (ΒΓΔ) και των Συστημάτων Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων (ΣΔΒΔ), καθώς και ο ρόλος αυτών στα ΓΣΠ.

Στο **5ο Κεφάλαιο**, αναλύεται ο σχεδιασμός συλλογικού αρδευτικού υπό πίεση δικτύου ελεύθερης ζήτησης στην περιοχή της μελέτης, με επισκόπηση αυτής και στοιχεία του ιδιοκτησιακού καθεστώτος που τη διέπουν.

Στο **6ο Κεφάλαιο**, εφαρμόζεται η ανάλυση υδραυλικής επάρκειας για το δίκτυο που σχεδιάστηκε στη νήσο Τήνο. Επίσης, πραγματοποιείται συγκριτική ποσοτική ανάλυση για ορισμένες τιμές της παραμέτρου της ειδικής συνεχούς παροχής και την αντίστοιχη συμπεριφορά του υπό μελέτη δικτύου.

Στο **7ο Κεφάλαιο**, διατυπώνονται γενικά συμπεράσματα του υπό μελέτη δικτύου σε δύο συνιστώσες, ως προς τη χωρική σχεδίαση και ως προς την υδραυλική σχεδίαση και ανάλυση. Επιπλέον, προτείνονται ορισμένα μέτρα ανάπτυξης, τάσεις και εφαρμογές για τα συλλογικά δίκτυα, καθώς και οι προοπτικές για την επαναχρησιμοποίηση των αστικών λυμάτων και χρήση του ανακτημένου νερού για άρδευση καλλιεργειών.

1.3 Κατάλογος Λογισμικών της Εργασίας

Η εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε με τη χρήση των κάτωθι λογισμικών σε περιβάλλον Η/Υ:

- ArcMap (Geographic Information System) version 10.8, πρόγραμμα επεξεργασίας, σχεδίασης και διαχείρισης Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών της εταιρείας ESRI
- COPAM (Combined Optimization and Performance Analysis Model), πρόγραμμα επεξεργασίας, σχεδίασης και ανάλυσης αρδευτικών δικτύων υπό πίεση από τον FAO σε συνεργασία με CIHEAM – IAMB – ελεύθερο λογισμικό
- Google Earth Pro, πρόγραμμα ψηφιακής τρισδιάστατης απεικόνισης της Γης και δορυφορικών εικόνων – ελεύθερο λογισμικό
- Microsoft Office 2016 Suite (Word, Excel, PowerPoint and Access) – SaaS (Software as a Service) / ακαδημαϊκή χρήση

2. Άρδευση καλλιεργειών με επεξεργασμένα αστικά λυμάτα

2.1 Τωρινή κατάσταση

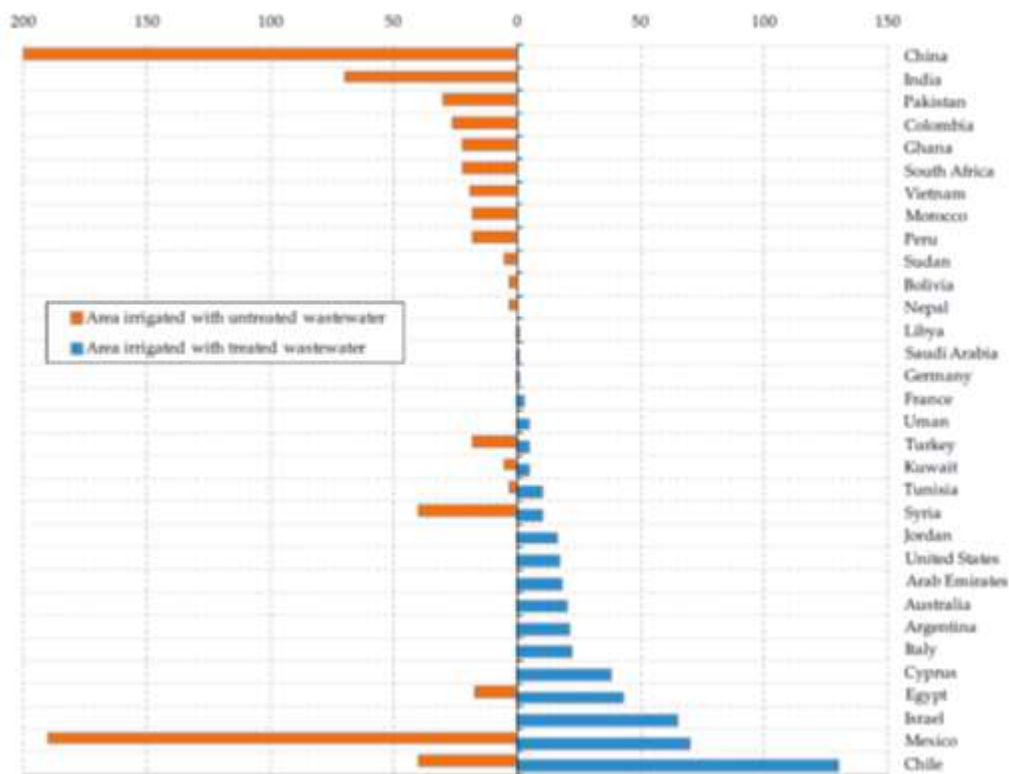
Η χρήση των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων στη γεωργία περιλαμβάνει τη χρήση επεξεργασμένων λυμάτων για την άρδευση καλλιεργειών (Jaramillo et al., 2017). Αυτός ο τύπος επαναχρησιμοποίησης τους συμβάλλει στην διαχείριση των διαθέσιμων υδατικών πόρων μέσω της ελεγχόμενης αποδέσμευσης νερού παρακάμπτοντας κατά κύριο λόγο το εμπόδιο της μη σταθερής διαθεσιμότητας αποθεμάτων νερού λόγω της εποχικότητας των βροχοπτώσεων σε μία δεδομένη περιοχή.

Σε περιοχές με προβλήματα ξηρασίας η επαναχρησιμοποίηση των αστικών λυμάτων στην γεωργία είναι σημαντική. Στο Πακιστάν το 26% της εθνικής παραγωγής λαχανικών προέρχεται από καλλιέργειες που αρδεύονται από επεξεργασμένα αστικά λύματα (Ensink et al., 2004) ενώ στο Μεξικό 260.000 ha αρδεύονται με αστικά λύματα. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) το 2013 ανέφερε ότι σχεδόν το 10% των καλλιεργούμενων εκτάσεων στον πλανήτη αρδεύεται από επεξεργασμένα ή μερικώς επεξεργασμένα αστικά λύματα (Winpenney, et al., 2017) με την καλλιεργούμενη έκταση που αρδεύεται με αυτόν τον τρόπο να προσεγγίζει τα 20 εκατομμύρια εκτάρια.

Παράλληλα η χρήση επεξεργασμένων αστικών λυμάτων για άρδευση φαίνεται να έχει αρκετές προοπτικές. Ήδη μεταξύ των ετών 2000 και 2006 καταγράφηκαν 3300 μονάδες επεξεργασίας λυμάτων παγκόσμια των οποίων τα παραγόμενα επεξεργασμένα απόβλητα χρησιμοποιούνται κυρίως για άρδευση. Αυτό που έχει ενδιαφέρον όμως είναι ότι μεγάλη ποσότητα των λυμάτων χρησιμοποιούνται χωρίς να έχουν επεξεργαστεί σε επαρκή βαθμό εγείροντας ζήτηματα για τυχόν επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στο οικοσύστημα.

Στην επόμενη ενότητα παρουσιάζονται τα οφέλη τα οποία πηγάζουν από την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων για άρδευση καλλιεργειών

Στην **Εικόνα 2.1** παρουσιάζεται η κατανομή των αρδευόμενων εκτάσεων με χρήση λυμάτων ανά χώρα.



Εικόνα 2.1. Εκτάσεις που αρδεύονται με αστικά λύματα ανά χώρα (Jamarillo et al., 2017)

2.2 Οφέλη της χρήσης των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων στην γεωργία

Η χρήση των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων στην γεωργία ωφελεί την ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον και την οικονομία. Αυτή η χρήση αντιπροσωπεύει μία εναλλακτική πρακτική η οποία υιοθετείται σε διαφορετικές περιοχές με έλλειψη αποθεμάτων νερού και με συνεχώς αυξανόμενο αστικό πληθυσμό με αυξημένες ανάγκες νερού (Jamarillo et al., 2017) ειδικότερα εξαιτίας της ταυτόχρονης μείωσης των αποθεμάτων νερού στην επιφάνεια και στο υπέδαφος και της ρύπανσής τους.

Το πιο εμφανές όφελος της χρήσης των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων στη γεωργία σχετίζεται με την μείωση στην πίεση που ασκείται στα αποθέματα γλυκού νερού. Συνεπώς τα επεξεργασμένα λύματα χρησιμεύουν ως εναλλακτική πηγή άρδευσης (Winpenney, et al., 2010) ειδικότερα σε περιοχές με εμφανή έλλειψη νερού.

Σε ορισμένες περιοχές η επαναχρησιμοποίηση των αστικών λυμάτων στη γεωργία συντελεί στη μείωση ή πλήρη απαλλαγή από το κόστος άντλησης του υπόγειου νερού το οποίο αντιπροσωπεύει το 65% (σε ακραίες περιπτώσεις) του συνολικού κόστους για την άσκηση της γεωργίας (Postigo, 2011).

Επιπλέον τα θρεπτικά συστατικά τα οποία είναι παρόντα στα λύματα, επιτρέπουν τη μείωση της χρήσης των λιμάτων και ταυτόχρονα τη μείωση του κόστους χρήσης αυτών (Jamarillo et al., 2017) με αυτό να συντελεί σε έναν περιβαλλοντικά φιλικό κύκλο των θρεπτικών στοιχείων (αζώτου και φωσφόρου) με την μείωση της εισόδου τους σε υδάτινους αποδέκτες. Τα λύματα φαίνεται να αποτελούν μία πιθανή πηγή μακρό (N, P, K) και μικρό στοιχείων (Ca, Mg, B, Mg, Fe, Mn ή Zn) [Barreto et al., 2013]. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία η επαναχρησιμοποίηση των αστικών λυμάτων φαίνεται να αυξάνει την συγκομιζόμενη σοδειά (Mascoso et al., 2017). Σαν αποτέλεσμα καταστάσεις ευτροφισμού στους υδάτινους αποδέκτες θα μπορούσαν να μειωθούν όπως και η χρήση των αγροχημικών από τους αγρότες (Jamarillo et al., 2017).

2.3 Επιπτώσεις της χρήσης των αστικών λυμάτων στην γεωργία

Η χρήση των λυμάτων στην γεωργία περιέχει κινδύνους για την γεωργία ειδικά αν τα λύματα δεν έχουν επεξεργαστεί σε ικανοποιητικό βαθμό. Η συγκέντρωση και τα είδη των παθογόνων και χημικών ουσιών τα οποία πιθανόν είναι παρόντα στα λύματα ποικίλλουν ανάλογα με την περιοχή και εξαρτώνται κυρίως από την υγειονομική και κοινωνικο-οικονομική κατάσταση της εκάστοτε κοινότητας (Gerba, 2003). Η συγκέντρωση των ισοματιών, πρωτοζώων και ελμίνθων στα λύματα μπορεί να είναι 10-1000 φορές μεγαλύτερη στις αναπτυσσόμενες χώρες από τις αναπτυγμένες (Jimenez et al., 2010). Στον **Πίνακα 2.1** παρουσιάζονται ορισμένοι κίνδυνοι οι οποίοι είναι παρόντες στα λύματα.

Παράλληλα η χρήση των αστικών λυμάτων στην γεωργία φαίνεται να έχει επιπτώσεις στο περιβάλλον και πιο συγκεκριμένα στο έδαφος. Στην βιβλιογραφία αναφέρονται περιπτώσεις αλλαγής των φυσικοχημικών παραμέτρων του εδάφους (Becerra et al., 2015) κάτι το οποίο μπορεί να διαταράξει την εδαφική μικροχλωρίδα επηρεάζοντας έτσι την γονιμότητα του συγκεκριμένου εδάφους. Σε αρκετές μελέτες αναφέρονται αλλαγές του εδαφικού pH εξαιτίας της άρδευσης με επεξεργασμένα αστικά λύματα κάτι το οποίο με τη σειρά του έχει επιπτώσεις στην διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά, στην Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (ΙΑΚ) και στην ανοργανοποίηση της οργανικής ουσίας.

Πίνακας 2.1. Χημικοί και Βιολογικοί κίνδυνοι σχετιζόμενοι με τη χρήση ατελώς επεξεργασμένων λυμάτων στην γεωργία (Πηγή WHO)

Κατηγορία Κινδύνου	Παθογόνο / Χημικές Ουσίες
Βιολογικός: Βακτήρια, Πρωτόζωα Έλμινθες Ιοί Σχιστοσώματα	<i>E. Coli</i> , <i>Vibrio cholerae</i> , <i>Salmonella</i> spp., <i>Shigella</i> spp., <i>Ascaris</i> , <i>Ancylostoma</i> , Hepatitis A & E, Adenovirus, Rotavirus, Norovirus
Χημικός: Διάφορες ουσίες Βαρέα μέταλλα Υδρογονάνθρακες Παρασιτοκτόνα	Αρσενικό, Κάδμιο, Υδράργυρος, Διοξίνες, Φουράνια, PCBs

Επιπλέον η χρήση των αστικών λυμάτων για άρδευση καλλιεργειών φαίνεται να αυξάνει την αλατότητα των εδαφών και να προάγει την νατρίωση τους μειώνοντας έτσι την διαπερατότητα τους (Fierer et al., 2006) αλλά και την μικροβιακή κατάσταση του εδάφους.

Σε αρκετές περιπτώσεις η άρδευση με αστικά λύματα προάγει τη προσρόφηση βαρέων μετάλλων και χημικών ρυπαντών στα κολλοειδή του εδάφους υποβαθμίζοντας την ποιότητα τους. Ταυτόχρονα ουσίες με υψηλή ικανότητα μετακίνησης καταφέρνουν να διεισδύσουν στο υπέδαφος ρυπαίνοντας έτσι τα αποθέματα υπόγειου νερού (Mascoso et al., 2017).

Σαν συμπέρασμα, εκτός από τα οφέλη τα οποία έχει η χρήση των αστικών λυμάτων στη γεωργία εμπεριέχονται και κίνδυνοι. Εξαιτίας των παραπάνω η χρήση των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων στη γεωργία υπόκειται σε περιορισμούς οι οποίοι εξαρτώνται από τον τύπο του εδάφους προς άρδευση, το είδος της καλλιέργειας, τα προϊόντα που παράγονται, την κατηγορία των καταναλωτών και γενικά από όλους τους παράγοντες που εμπλέκονται στην αλυσίδα (Mascoso, 2017). Για αυτό τον λόγο πριν την εφαρμογή τους πρέπει να έχει προηγηθεί μία εκτίμηση των πιθανών κινδύνων και ρίσκου (risk assessment) σύμφωνα με τις αρχές του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO, 2006). Σύμφωνα με την βιβλιογραφία η εκτίμηση των κινδύνων μπορεί να βασίζεται σε 3 κατηγορίες μελετών: (i) Μικροβιολογικές εργαστηριακές μελέτες, (ii) Επιδημιολογικές μελέτες, (iii) Συνολική εκτίμηση ρίσκου όσον αφορά τους μικροβιολογικούς κινδύνους. Μάλιστα

ερευνητές όπως οι Barker et al. (2013) έχουν αναπτύξει μοντέλα για την εκτίμηση αυτού του ρίσκου.

2.4 Χρήση επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων για άρδευση: Η περίπτωση της Ελλάδας

Στην Ελλάδα συνήθως τα αποθέματα των διαθέσιμων υδατικών πόρων εμφανίζουν αυξομειώσεις (Bakoroulou et al., 2011). Αυτό οφείλεται στις ακανόνιστες βροχοπτώσεις, στη μεγάλη ζήτηση του νερού τους καλοκαιρινούς μήνες (εξαιτίας του τουρισμού και της ανάγκης για άρδευση των καλλιεργειών) και τις δυσκολίες μεταφοράς νερού λόγω του ιδιαίτερου αναγλύφου του εδάφους. Το 83% του συνόλου των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων παράγεται σε περιοχές με υδατικά ελείμματα όπου η ανάκτηση των επεξεργασμένων λυμάτων μπορεί να ικανοποιήσει την αυξημένη ζήτηση (Angelakis et al., 2003).

Σε περιοχές όπως η Θεσσαλία όπου παρατηρείται έντονα το φαινόμενο ραγδαίων μεταβολών των αποθεμάτων των υδατικών πόρων με μείωση τους κυρίως το καλοκαίρι η χρήση επεξεργασμένων αστικών λυμάτων είναι μία επιλογή κάλυψης των αναγκών (Bakoroulou et al., 2011). Μάλιστα από τα 240.000 εκτάρια καλλιεργούμενης έκτασης τα περισσότερα αφορούν καλλιέργειες ιδιαίτερα απαιτητικές σε νερό. ενώ η μεταφορά νερού με τη χρήση εγγειοβελτιωτικών έργων δεν φαίνεται να μπορεί να λύσει το πρόβλημα. Παράλληλα η άντληση νερού από τις γεωτρήσεις εντείνει το πρόβλημα της αύξησης της εδαφικής αλατότητας. Σύμφωνα με τους ερευνητές (Bakoroulou et al., 2011) τα επεξεργασμένα αστικά λύματα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την άρδευση καλλιεργειών όταν το συγκομιζόμενο προϊόν της καλλιέργειας δεν προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση. Η άρδευση με επεξεργασμένα αστικά απόβλητα καλλιεργειών όπου τα προϊόντα καταναλώνονται από τον άνθρωπο μπορεί να πραγματοποιηθεί αλλά μόνο σε συγκεκριμένες περιπτώσεις και με τη χρήση λυμάτων από συγκεκριμένες μονάδες επεξεργασίας. Το κύριο συμπέρασμα είναι γενικά ότι τα λύματα θα πρέπει να χρησιμοποιούνται με προσοχή αφού προηγηθεί η εκτίμηση όλων των πιθανών κινδύνων.

Ερευνητές όπως η Agrafioti et al. (2012) ασχολήθηκαν με την δημιουργία προγραμμάτων και σχεδίων για την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων στην γεωργία με σκοπό την άρδευση καλλιεργειών. Μελέτησαν

την εφαρμογή άρδευσης με επεξεργασμένα λύματα σε καλλιέργειες όπως τα ελαιόδεντρα, την άμπελο και το μαρούλι στο νησί της Κρήτης. Υποστηρίζουν ότι η χρήση αυτής της εναλλακτικής πηγής άρδευσης θα ήταν πολύ ωφέλιμη για το νησί καθώς μία σημαντική έκταση (εκτός από κηπευτικά) θα μπορούσε να αρδευθεί με αυτόν τον τρόπο. Μάλιστα τα αποτελέσματα έδειξαν ότι θα μπορούσε να αρδευθεί \approx 25% των αμπελώνων του νησιού εξοικονομώντας μεγάλες ποσότητες νερού κυρίως κατά τους θερινούς μήνες. Παρ'όλα αυτά η συνεχής παρακολούθηση των ποιοτικών παραμέτρων των λυμάτων σε τέτοιες περιπτώσεις καθίσταται κρίσιμη για την διασφάλιση της ποιότητας τους.

Παράλληλα οι Kalavrouziotis et al., (2011) αναδεικνύουν επίσης το πρόβλημα της υψηλής αλατότητας του νερού σε περιοχές της Ελλάδας όπως στην Αν. Πελοπόννησο, Θεσσαλία, Κυκλάδες και Κρήτη. Υποστηρίζουν με την σειρά τους ότι η εφαρμογή συστήματος άρδευσης με βάση τα επεξεργασμένα λύματα θα βοηθούσε στην επίλυση του προβλήματος της έλλειψης Υδατικών Πόρων (ΥΔΠ). Μελετώντας την περιοχή της Αιτωλοακαρνανίας βρήκαν ότι η άρδευση με επεξεργασμένα λύματα θα υπερκάλυπτε την ζήτηση των καλλιεργειών.

Επιπλέον σύμφωνα με τους Bourazanis et al. (2016), η άρδευση με επεξεργασμένα αστικά λύματα μπορεί να αποτελέσει εναλλακτική λύση για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών της καλλιέργειας της ελιάς. Στο πείραμα που παραγματοποιήθηκε φάνηκε ότι η σωστή εφαρμογή λυμάτων τριτοβάθμιας επεξεργασίας σε ελαιώνες μπορεί να αυξήσει την παραγωγικότητα των δένδρων βελτιώνοντας την γονιμότητα του εδάφους. Μάλιστα η εξεταζόμενη ποικιλία Κορωνέϊκη ανταποκρίθηκε θετικά στην εφαρμογή επεξεργασμένων αστικών λυμάτων παρουσιάζοντας αύξηση στην παραγωγή καρπών ενώ παράλληλα η άρδευση με την παραπάνω μέθοδο επέδρασε θετικά στην διατροφική αξία του καρπού. Επιπλέον, η άρδευση με αυτή την μέθοδο εμπλουτίσε το έδαφος με θρεπτικά στοιχεία λειτουργώντας σαν μορφή υδρολίπανσης.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι η εθνική νομοθεσία για την χρήση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων χαρακτηρίζεται από την Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) αρ. 145116/2011 η οποία αποσαφηνίζει τον καθορισμό μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και των άλλων διατάξεων. Σύμφωνα με την Κ.Υ.Α. απαιτείται η εκπόνηση μελέτης σχεδιασμού και εφαρμογής του συστήματος της άρδευσης

ανάλογα με το συγκεκριμένο είδος της καλλιέργειας και τη συγκεκριμένη περιοχή. Η μελέτη αυτή περιλαμβάνει:

- το υδατικό ισοζύγιο, σε συνάρτηση και με τις αρδευόμενες καλλιέργειες και το ισοζύγιο οργανικού φορτίου και θρεπτικών καθώς και κρίσιμων ιχνοστοιχείων, προκειμένου να προσδιορισθεί η ανά μονάδα αρδευόμενης επιφάνειας επιτρεπόμενη φόρτιση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα,
- τον υπολογισμό της συνολικά απαιτούμενης εδαφικής έκτασης,
- τα προγράμματα παρακολούθησης των ποιοτικών χαρακτηριστικών των επαναχρησιμοποιούμενων υγρών αποβλήτων και κατά περίπτωση, τα απαιτούμενα προγράμματα παρακολούθησης των χαρακτηριστικών του εδάφους και των αρδευόμενων καλλιεργειών,
- τα τυχόν απαιτούμενα πρόσθετα μέτρα και όρια για την συγκεκριμένη εφαρμογή (ενδεχόμενη περίφραξη της αρδευόμενης έκτασης, τρόπος άρδευσης, κλπ), καθώς και τα απαιτούμενα μέτρα ενημέρωσης και προστασίας για τους χρήστες και τους καταναλωτές, που πρέπει να λαμβάνονται, με ευθύνη του φορέα υλοποίησης της άρδευσης, ο οποίος μπορεί να είναι ο φορέας διαχείρισης ή ο άμεσος χρήστης του ανακτημένου νερού. Μεταξύ των μέτρων αυτών μπορεί να υιοθετούνται αυτόματα ή ημιαυτόματα αρδευτικά συστήματα για ελαχιστοποίηση της επαφής των χειριστών με τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα,
- τον προσδιορισμό των τυχόν ελάχιστων απαιτούμενων αποστάσεων της συγκεκριμένης εφαρμογής από υφιστάμενες ή μελλοντικές υδροληψίες ή άλλες χρήσεις.

3. Συλλογικά Αρδευτικά Δίκτυα Υπό Πίεση

3.1 Εισαγωγικές Έννοιες – Εγγειοβελτιωτικά Έργα

Με τον όρο εγγειοβελτιωτικά έργα νοούνται όλα τα έργα που έχουν ως σκοπό την ανάπτυξη και διατήρηση των υδατικών, εδαφικών και γεωργικών πόρων. Συνεπώς, στα εγγειοβελτιωτικά έργα περιλαμβάνονται όλα σχεδόν τα έργα, υδραυλικά και άλλα που γίνονται στις γεωργικές εκτάσεις. Συναντώνται είτε ως αυτοτελή είτε σε συνδυασμό με άλλα έργα υδατικών πόρων που αποβλέπουν σε άλλους σκοπούς (π.χ.

ύδρευση οικισμών, παραγωγή ενέργειας). Τα τελευταία είναι γνωστά ως έργα πολλαπλού σκοπού, (Τσακίρης και Δέρκας, 2006).

Έργα τα οποία εντάσσονται στις έγγειες βελτιώσεις μίας περιοχής διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- Έργα αντιπλημμυρικής προστασίας και διευθέτησης υδατορευμάτων
- Αποχετευτικά
- Στραγγιστικά
- Αρδευτικά
- Έργα αγροτικής οδικής επικοινωνίας

Με τον όρο εγγειοβελτιωτικά έργα, στο μεγαλύτερο ποσοστό των περιπτώσεων, εννοούμε έργα με πολλαπλή βελτίωση που περιέχουν δηλαδή συνδυασμό συστημάτων άρδευσης, αποχέτευσης και προσπέλασης (οδικό δίκτυο) και συνήθως και στράγγισης, εφόσον οι εδαφικές και λοιπές συνθήκες το επιβάλλουν.

3.2 Ταξινόμηση των Εγγειοβελτιωτικών Έργων

Σύμφωνα με τη Νομοθετική Διάταξη (Ν.Δ.) 3881/58 τα εγγειοβελτιωτικά έργα ανάλογα με το μέγεθος και το είδος τους ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες – τάξεις:

Α. Έργα Α' Τάξης: τα έργα που αποβλέπουν στη ριζική βελτίωση των συνθηκών γεωργικής εκμετάλλευσης εκτεταμένων περιοχών (π.χ. τα έργα διευθέτησης μεγάλων χειμάρρων και ποταμών, φράγματα αποθήκευσης ή εκτροπής με τα κύρια αρδευτικά δίκτυα που τροφοδοτούνται από αυτά, έργα προστασίας εδαφών από τη θάλασσα και γενικά έργα βασικής σημασίας μιας περιοχής).

Β. Έργα Β' Τάξης: τα αυτοτελή έργα τοπικού ενδιαφέροντος ή συμπληρώματα έργων Α' Τάξης, (π.χ. αρδευτικά και στραγγιστικά δίκτυα, αντιπλημμυρικά έργα, έργα αξιοποίησης παθογενών ή άγονων εδαφών, έργα εμπλουτισμού των υδροφόρων υπογείων υδροφόρων στρωμάτων και άλλα έργα τοπικής σημασίας).

Γ. Έργα Γ' Τάξης: αφορούν ομάδες ιδιοκτησιών ή ατομικές ιδιοκτησίες και είναι γενικά μικρά αυτοτελή έργα μικρής τοπικής σημασίας, (π.χ. ανορύξεις φρεάτων και γεωτρήσεων, ισοπεδώσεις, εκριζώσεις δασικών εκτάσεων κ.α.).

3.3 Αρδευτικά Έργα και Μέθοδοι Άρδευσης

Ως Άρδευση νοείται η προσαγωγή του νερού στις καλλιέργειες με τεχνικά μέσα με σκοπό την κανονική τους ανάπτυξη και απόδοση. Ο ρόλος της άρδευσης είναι ιδιαίτερα σημαντικός, σε συνδυασμό με αυτό των στραγγίσεων, για τη διατήρηση των εδαφικών γεωργικών πόρων (Δέρκας, 1999). Τα αρδευτικά έργα διακρίνονται στα εξής μέρη:

- Έργα συλλογής, αποθήκευσης ή υδροληψίας
- Συστήματα μεταφοράς και διανομή αρδευτικού νερού
- Συστήματα εφαρμογής

Επιπρόσθετα, σε περίπτωση που το αρδευτικό έργο συνοδεύεται από το αντίστοιχο στραγγιστικό διακρίνονται και τα παρακάτω μέρη:

- Δίκτυο συλλογής και απομάκρυνσης πλεονάζοντος νερού
- Έργο απόθεσης στον τελικό αποδέκτη.

Γενικότερα, έχει επικρατήσει ο όρος «άρδευση» και «αρδευτικό», διότι οι αρδεύσεις αποτελούν την αποφασιστικότερη βελτίωση, όταν γίνεται αναφορά σε αρδευτικά έργα. Ωστόσο, πρόκειται περί συνδυασμού περισσότερων βελτιώσεων. Υπό αυτό το πρίσμα θα χρησιμοποιηθούν οι προαναφερόμενοι όροι και στη συνέχεια της παρούσας εργασίας. Τα αρδευτικά δίκτυα διακρίνονται ανάλογα το είδος των αγωγών που χρησιμοποιούνται κατά τη μεταφορά και τη διανομή του νερού σε:

- Δίκτυα ανοικτών αγωγών – διωρύγων
- Δίκτυα κλειστών σωληνωτών αγωγών υψηλής πίεσης
- Δίκτυα κλειστών σωληνωτών αγωγών χαμηλής πίεσης.

Τέλος, οι βασικές μέθοδοι αρδεύσεων ανάλογα με τον τρόπο εφαρμογής του αρδευτικού νερού έχουν ως εξής:

- Την άρδευση με καταιονισμό ή με τεχνητή βροχή
- Την επιφανειακή άρδευση
- Την τοπική άρδευση ή μικροάρδευση
- Την υπόγεια άρδευση ή υπάρδευση.

3.4 Συλλογικά Αρδευτικά Δίκτυα (Τσακίρης και Δέρκας, 2006)

Τα συλλογικά αρδευτικά δίκτυα είναι υδραυλικά συστήματα που σκοπός τους είναι η μεταφορά του νερού από το σημείο υδροληψίας (φυσική ή τεχνητή λίμνη, εκτροπή ποταμού, γεώτρηση) στην αρδευτική περίμετρο και να το διανέμουν στις διάφορες αρδευτικές μονάδες.

Τα συλλογικά αρδευτικά δίκτυα μέχρι τα μέσα του 20^{ου} αιώνα ήταν δίκτυα ανοικτών αγωγών, ενώ η εφαρμογή του νερού πραγματοποιούνταν με επιφανειακές μεθόδους, όπως άρδευση με αυλάκια, με περιορισμένη διάχυση (μέθοδος με λωρίδες) ή με κατάκλυση (μέθοδος των λεκανών). Η διανομή του νερού γινόταν με τη βαρύτητα από την υδροληψία προς τα αγροτεμάχια. Ωστόσο, μετά το 1970 κατασκευάστηκαν δίκτυα με κλειστούς αγωγούς υπό πίεση, γεγονός το οποίο σηματοδότησε την ανάπτυξη των συστημάτων του καταιονισμού και της μικροάρδευσης.

Οι επιδράσεις της προαναφερθείσας μεταβολής θα έχουν ως αποτέλεσμα τη διαφοροποίηση στις μεθόδους διανομής του αρδευτικού νερού εν συνεχεία. Συγκεκριμένα, τα επιφανειακά συστήματα μεταφοράς, διανομής και εφαρμογής του αρδευτικού νερού ήταν άρρηκτα συνδεδεμένα με τη μέθοδο της εκ περιτροπής ζήτησης, όμως στα υπό πίεση δίκτυα εφαρμόστηκε η μέθοδος διανομής με ελεύθερη ζήτηση.

Οι μέθοδοι διανομής του αρδευτικού νερού συνοψίζονται ως εξής:

1) Η μέθοδος συνεχούς ροής. Στη μέθοδο αυτή το αρδευτικό νερό διανέμεται κατά τρόπο συνεχή σε όλες τις αρδευτικές διώρυγες, σύμφωνα με το δικαίωμα για χρήση ή ανάλογα με τις αρδευόμενες εκτάσεις.

2) Η μέθοδος της εκ περιτροπής διανομής. Κατά τη μέθοδο αυτή οι διώρυγες έχουν οργανωθεί σε αρδευτικές ομάδες και σύμφωνα με καθορισμένο πρόγραμμα κάθε ομάδα λειτουργεί ορισμένες μέρες. Παρόμοια οργάνωση ισχύει και για τα αγροτεμάχια στα οποία δίνεται νερό σε προκαθορισμένο χρόνο και διάρκεια.

3) Η μέθοδος με ελεύθερη ζήτηση. Στην περίπτωση αυτή, οι γεωργοί είναι εκείνοι που καθορίζουν το χρόνο και τη διάρκεια άρδευσης του αγροτεμαχίου τους. Το σύστημα αυτό αναπτύχθηκε στα δίκτυα υπό πίεση, ωστόσο υπάρχουν και δίκτυα της διάταξης αυτής που λειτουργούν με τη μέθοδο της εκ περιτροπής διανομής είτε σε επίπεδο τομέα είτε σε επίπεδο υδροληψίας.

4) Η μέθοδος με περιορισμένη ζήτηση. Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε λόγω του μεγάλου κόστους των δικτύων ελεύθερης ζήτησης και του περιοριστικού χαρακτήρα της διανομής με πρόγραμμα, όπου οι αγρότες μπορούν να χρησιμοποιούν το νερό κατά βούληση κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις, όπως για παράδειγμα, ορισμένες ημέρες της εβδομάδας ή όταν ο γείτονάς τους, με τον οποίον μοιράζονται το ίδιο υδροστόμιο ή την ίδια υδροληψία, δεν αρδεύει. Η εν λόγω μέθοδος θα μπορούσε να χαρακτηριστεί μία ενδιάμεση μορφή μεταξύ ελεύθερης ζήτησης και της εκ περιτροπής διανομής, η οποία παρέχει ουσιαστικά στο χρήστη ελευθερία μεταξύ ελεύθερης ζήτησης και προγράμματος (Dercas, 1989).

Η επικρατέστερη των μεθόδων για τα συλλογικά δίκτυα υπό πίεση, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι αυτή της ελεύθερης ζήτησης. Στο σύστημα αυτό οι καλλιεργητές μπορούν να καθορίσουν πότε και πόσο πρέπει να αρδεύσουν ανάλογα με τις ανάγκες των καλλιεργειών της εκμετάλλευσής τους. Η χρησιμοποίηση των υδροστομίων όποτε θέλουν και για όσο το χρειάζονται, δίνει ιδιαίτερη ελευθερία στους αγρότες, βελτιώνει την οργάνωση των εργασιών τους και τελικά πραγματοποιείται αποτελεσματικότερη χρήση του νερού. Προϋπόθεση βέβαια είναι οι χρήστες να γνωρίζουν και να τηρούν τις αρχές της άρδευσης (συχνότητα και δόση άρδευσης) και να μην αρδεύουν εμπειρικά (Σταμούλη, 2014). Το σύστημα αυτό οδήγησε στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της άρδευσης και των συνθηκών εργασίας των χρηστών. Συν τοις άλλοις, η δεδομένη μέθοδος έχει αποδειχθεί πιο αποδοτική κυρίως στις περιπτώσεις πολυκαλλιέργειας.

3.5 Σχεδιασμός συλλογικού αρδευτικού δικτύου υπό πίεση

Τα δίκτυα υπό πίεση είναι συστήματα αγωγών με ακτινωτή διάταξη, σε αντίθεση με τα κλειστά δίκτυα ύδρευσης, τα οποία μεταφέρουν το νερό από το σημείο υδροδότησης με άντληση ή με βαρύτητα (όταν η τοπογραφία το επιτρέπει) υπό πίεση μέχρι τα σημεία διανομής του νερού κοντά στις αρδευτικές μονάδες. Στα σημεία διανομής βρίσκονται οι υδροληψίες που φέρουν συνήθως από 1 έως 4 υδροστόμια (σε ορισμένους τύπους υδροληψιών έως και 6). Τα υδροστόμια αυτά επιτρέπουν στους χρήστες να συνδέουν τα ατομικά τους συστήματα άρδευσης και να αρδεύουν τα αγροτεμάχιά τους με καταιονισμό ή μικροάρδευση. Βασικό πλεονέκτημα του συστήματος είναι η δυνατότητα χρήσης όλων των σύγχρονων μεθόδων άρδευσης, ενώ μειονέκτημα αποτελεί το υψηλό κόστος λειτουργίας λόγω κυρίως του

ενεργειακού κόστους. Επίσης, τα αρδευτικά δίκτυα υπό πίεση δεν έχουν τις δεσμεύσεις που έχουν τα επιφανειακά δίκτυα από την τοπογραφική διαμόρφωση της περιμέτρου (Τσακίρης και Δέρκας, 2006).

Οι μελέτες των αρδευτικών δικτύων είναι πολύπλοκες και χρονοβόρες και εκτελούνται από επιτελεία πολλών ειδικοτήτων (μηχανικών, γεωπόνων, οικονομολόγων κ.λπ.). Τα αναγκαία στοιχεία για τη σύνταξη των μελετών των συλλογικών αρδευτικών δικτύων αφορούν στο φυσικό περιβάλλον (τοπογραφία, γεωλογία, εδαφολογία, εδαφομηχανική, μετεωρολογία, υδρολογία και υδρογεωλογία), στο κτηματολόγιο της περιοχής όπως επίσης και στην οικονομικό – τεχνική κατάσταση των γεωργικών εκμεταλλεύσεων (διαθέσιμοι οικονομικοί πόροι, εξοπλισμός, χρησιμοποιούμενη τεχνολογία), στις κοινωνικές συνθήκες στην ευρύτερη περιοχή του έργου (ηλικιακή πυραμίδα, μορφωτικό επίπεδο, διαθέσιμο εργατικό δυναμικό κ.λπ.).

Οι παράμετροι που εμπλέκονται στη σχεδίαση ενός αρδευτικού δικτύου υπό πίεση το οποίο λειτουργεί με ελεύθερη ζήτηση μπορούν να ομαδοποιηθούν σε δύο ξεχωριστές κατηγορίες, σύμφωνα με τους Galand και Jean (1979):

- Στις παραμέτρους πλαισίου (paramètres de contexte). Οι παράμετροι αυτοί είναι αποτέλεσμα της επίδρασης του κλίματος, του τύπου εδάφους, όπως και των υδροτεχνικών και αγρονομικών χαρακτηριστικών της αρδευτικής περιμέτρου. Λαμβάνουν συγκεκριμένες και προκαθορισμένες τιμές και συνεπώς ο μελετητής δε μπορεί να επέμβει στον καθορισμό των τιμών τους.
- Στις παραμέτρους απόφασης (paramètres de décision). Οι παράμετροι απόφασης δεν είναι προκαθορισμένες, αλλά αποτελούν επιλογή του μελετητή του έργου και μάλιστα χωρίς να υπάρχει συνήθως σαφής τεκμηρίωση της επιλογής αυτής, (Bethery et al., 1981).

Οι παραπάνω παράμετροι συνιστούν παράγοντα της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών (ποιότητα λειτουργίας του δικτύου, χρονική απόδοση του δικτύου) και τη σχεδίαση του δικτύου (πυκνότητα εγκατεστημένων υδροστομίων, μελλοντικά υδροστόμια κ.λπ.), (Σταμούλη, 2014).

Τα στάδια κατά τη μελέτη ενός συλλογικού αρδευτικού δικτύου υπό πίεση – ελεύθερης ζήτησης συνοψίζονται σύμφωνα με τις παρακάτω ενέργειες:

1. Ο προσδιορισμός των αρδευτικών αναγκών.
2. Η οριοθέτηση των αρδευτικών μονάδων.

3. Ο καθορισμός των σημείων διανομής του νερού (υδροληψίες) και η επιλογή των παροχών των υδροστομίων.
4. Η χάραξη του δικτύου.
5. Ο υπολογισμός των παροχών σχεδιασμού των αγωγών.
6. Η οικονομική βελτιστοποίηση των διαμέτρων των αγωγών και του έργου κεφαλής.

Τα προαναφερθέντα στάδια είναι τα αναγκαία για έναν ολοκληρωμένο σχεδιασμό συλλογικού αρδευτικού που λειτουργεί υπό πίεση. Ανάλογα με το στόχο της μελέτης άλλες φάσεις που μπορεί να περιλαμβάνει είναι ο υπολογισμός του αντλητικού συγκροτήματος και η ρύθμισή του, η αντιπληγματική προστασία και η ενίσχυση ενός υπάρχοντος δικτύου (Στεφοπούλου, 2013).

Εν συνεχεία αναλύονται τα στάδια μελέτης και σχεδιασμού των συλλογικών αρδευτικών δικτύων υπό πίεση με τη μέθοδο της ελεύθερης ζήτησης σε αντίστοιχες υποενότητες.

3.5.1 Προσδιορισμός αρδευτικών αναγκών (Δέρκας, 1999)

Η πιο δύσκολη φάση της μελέτης ενός αρδευτικού δικτύου είναι η εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών. Στο στάδιο αυτό της μελέτης πρέπει να γίνει αξιολόγηση της κατανομής καλλιεργειών κατά τη διάρκεια ζωής του έργου. Εν συνεχεία, βάσει των μετεωρολογικών δεδομένων μίας μεγάλης χρονικής περιόδου, της μεγαλύτερης δυνατής διαθέσιμης για τον εξεταζόμενο χώρο, υπολογίζονται οι ανάγκες των φυτών σε νερό και οι ανάγκες τους σε αρδευτικό νερό. Η φάση αυτή της μελέτης οδηγεί συχνά σε αστοχίες διότι είναι δύσκολο να εκτιμηθεί, έστω και με σχετική ακρίβεια, η κατανομή καλλιεργειών στο χρονικό ορίζοντα της ζωής του έργου (30 – 40 έτη).

Δύο χαρακτηριστικές περιπτώσεις αποτελούν τα έργα Αλφειού και Πηνειού της Περιφερειακής Ενότητας (Π.Ε.) Ηλείας, όπου γίνεται αντιληπτός και υπολογίζεται ο βαθμός αστοχίας στην εκτίμηση της κατανομής των καλλιεργειών (Karantounias & Dercas, 1999). Από τη συγκριτική ανάλυση των καλλιεργειών διαπιστώθηκε ότι το 1995, έπειτα από 23 χρόνια από την ολοκλήρωση των έργων του Αλφειού και 15 χρόνια από την ολοκλήρωση των έργων του Πηνειού αντίστοιχα, οι αρδεύσεις είχαν αναπτυχθεί σημαντικά λιγότερο από την εκτίμηση της μελέτης. Επιπρόσθετα, υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις και στις εκτάσεις που καταλαμβάνουν οι διάφορες καλλιέργειες, καθώς επίσης δεν εξοπλίστηκε το σύνολο της προβλεπόμενης έκτασης και στα δύο έργα.

Λόγω των αντικειμενικών δυσκολιών εκτίμησης της κατανομής των καλλιεργειών που θα αναπτυχθεί κατά τη διάρκεια ζωής ενός εγγειοβελτιωτικού έργου, ορισμένοι οργανισμοί μελέτης, σχεδιασμού και διαχείρισης συλλογικών αρδευτικών δικτύων, όπως η Société du Canal de Provence (SCP) στη Γαλλία, υιοθετούν μία διαφορετική προσέγγιση. Δέχονται ότι είναι σημαντικά παρακινδυνευμένη μία τέτοια προσέγγιση και κάνουν εκτίμηση της κατανομής των καλλιεργειών για τρεις χρονικούς ορίζοντες: 1 – 5 έτη, 6 – 10 έτη, 11 – 15 έτη. Το έργο θα κατασκευαστεί για την αρχική κατανομή καλλιεργειών 1 – 5 έτη, με πρόβλεψη ωστόσο για περαιτέρω ενισχύσεις (π.χ. στο αντλιοστάσιο κεφαλής μπορεί να μην τοποθετηθούν εξαρχής όλες οι αντλίες αλλά το κτίριο θα έχει τις τελικές του διαστάσεις) και στη συνέχεια, θα υπάρχει παρακολούθηση του έργου προκειμένου να ενισχύεται την κατάλληλη χρονική στιγμή. Αυτό που επιδιώκεται είναι το έργο να προσαρμόζεται στη ζήτηση και να μην παρατηρείται το φαινόμενο της μερικής αξιοποίησης των επενδυμένων κεφαλαίων (είναι συχνό φαινόμενο το ποσοστό των αρδεύσεων να μην ξεπερνά το ποσοστό 60 – 65% της εξοπλισμένης έκτασης).

Επισημαίνεται ότι η προσέγγιση της Société du Canal de Provence προϋποθέτει σοβαρή παρακολούθηση της λειτουργίας του δικτύου, έγκαιρο εντοπισμό των προβλημάτων και τέλος, μηχανισμούς γρήγορης μελέτης και ανάθεσης των έργων ενίσχυσης.

3.5.2 Οριοθέτηση της αρδευτικής περιμέτρου (Δέρκας, 1999)

Στις αρχικές φάσεις της μελέτης τα όρια της αρδευτικής περιμέτρου δεν είναι σαφώς προσδιορισμένα. Όταν όμως γίνει η εδαφολογική μελέτη, προσδιοριστούν ζώνες με παθογένεια και εδάφη που χρήζουν βελτίωσης, ολοκληρωθεί η γεωργοτεχνική - γεωργοοικονομική μελέτη, προσδιοριστούν οι αρδευτικές ανάγκες ανά μονάδα επιφανείας, και οι διαθέσιμοι υδατικοί πόροι, ο μελετητής θα είναι σε θέση να προσδιορίσει τα όρια της περιμέτρου λαμβάνοντας υπόψη και τους διαθέσιμους οικονομικούς πόρους. Στην περίπτωση που το έργο, εκτός από συστήματα υπό πίεση, περιλαμβάνει και ζώνες με ανοικτούς αγωγούς (χρήση επιφανειακών αρδευτικών συστημάτων) η τοπογραφία θα είναι πολύ σημαντικός παράγοντας στον προσδιορισμό των ορίων της αρδευτικής περιμέτρου.

3.5.3 Μεθοδολογία βέλτιστης χάραξης (Clément και Galand, 1979, Lamadalena και Sagardoy, 2000, Τσακίρης και Δέρκας, 2006)

Αφού ορισθούν τα σημεία υδροδότησης όπου θα βρίσκονται οι υδροληψίες με τα υδροστόμια, θα γίνει η χάραξη του δικτύου. Η χάραξη προκειμένου να φθάσει στη βέλτιστη λύση περνά από διαδοχικά στάδια (Τσακίρης και Δέρκας, 2006):

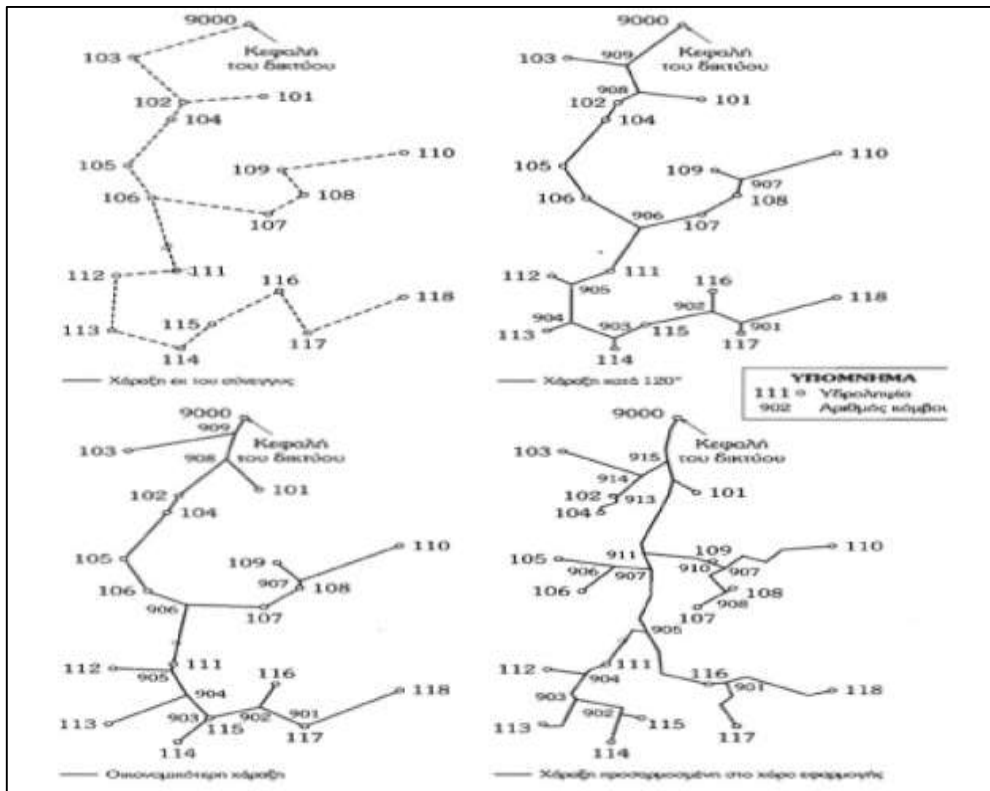
1. Χάραξη εκ του σύνεγγυς. Στόχος είναι να συνδεθούν οι υδροληψίες με την κεφαλή μέσω της πλέον σύντομης χάραξης χωρίς την παρεμβολή κόμβων. Η κεφαλή του δικτύου συνδέεται με την πλησιέστερη υδροληψία και αυτή με την πλησιέστερη επομένη και ούτω καθεξής (χρήση αλγορίθμων Sollin και Kruskal).

2. Χάραξη 120°. Οι αγωγοί δε συνδέονται μόνο στις υδροληψίες αλλά δημιουργούνται και ενδιάμεσοι κόμβοι (χωρίς υδροληψία), όπου τρεις αγωγοί συνδέονται υπό γωνία 120°. Στη χάραξη αυτή οι αγωγοί που συντρέχουν στον ίδιο κόμβο θεωρούνται της αυτής διαμέτρου και συνεπώς και του ίδιου κόστους ανά μονάδα μήκους (αυτή η παραδοχή οδηγεί στη λύση των 120°).

3. Η οικονομικότερη χάραξη. Η προηγούμενη χάραξη διαστασιολογείται βελτιστοποιώντας τις διαμέτρους. Χρησιμοποιώντας ως οδηγό τις διαμέτρους που έδωσε η διαστασιολόγηση, τροποποιούνται τα μήκη των αγωγών (αυξάνουμε τους αγωγούς μικρότερης διαμέτρου – συνεπώς μικρότερου κόστους) και αντίστοιχα μειώνεται το μήκος του αγωγού της μεγαλύτερης διαμέτρου (μεγάλου κόστους).

4. Χάραξη προσαρμοσμένη στην υπάρχουσα κατάσταση του χώρου εφαρμογής. Στο τέλος η χάραξη θα πρέπει να προσαρμοστεί στα εμπόδια που υπάρχουν στην υπό μελέτη περίμετρο (π.χ. ύπαρξη μεγάλων οδών, οικοδομημάτων κλπ.). Η χάραξη του σταδίου (3) προσαρμόζεται στις ιδιαιτερότητες του πεδίου, δεδομένου ότι υπάρχουν εμπόδια που θα πρέπει να παρακαμφθούν (π.χ. ένας αυτοκινητόδρομος, μια βιομηχανία, κοκ). Επισημαίνεται ότι ο μελετητής συνήθως προσπαθεί να αποφεύγει τις διελεύσεις των αγωγών μέσα από τα αγροτεμάχια προκειμένου να μειώσει τις αντιδράσεις των αγροτών στην υλοποίηση του έργου και να ελαχιστοποιήσει τις αποζημιώσεις που θα πρέπει να δώσει στους ιδιοκτήτες αυτών των αγροτεμαχίων, (Δέρκας, 1999).

Στο **Σχήμα 3.1** που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι διάφορες φάσεις της χάραξης.



Σχήμα 3.1: Διαδοχικά στάδια χάραξης αρδευτικού δικτύου (Τσακίρης και Δέρκας, 2006).

Η παραπάνω μέθοδος βήμα – βήμα μπορεί να εφαρμοστεί σε περιοχές που υπάρχει διάσπαρτη γεωργική εκμετάλλευση χωρίς αναδασμό. Στην Ελλάδα ο αναδασμός πριν από την κατασκευή του έργου είναι υποχρεωτικός. Στην περίπτωση αυτή η χάραξη απλοποιείται διότι ακολουθεί τη γεωμετρική χάραξη των αρδευτικών μονάδων και οι αγωγοί περνούν κυρίως από αγροτικούς δρόμους (Δέρκας, 2006).

3.5.4 Προσδιορισμός των παροχών μελέτης σε δίκτυα με ελεύθερη ζήτηση

Στην ελεύθερη ζήτηση η ονομαστική παροχή των υδροστομίων "d" (L/s) είναι πολύ μεγαλύτερη από την ειδική συνεχή παροχή "q₀" (L/s/ha), την απαραίτητη δηλαδή παροχή για να καλύψει τις ανάγκες των καλλιεργειών σε 24ωρη βάση κατά την περίοδο αιχμής. Για το λόγο αυτό, είναι βέβαιο ότι η παροχή "Q" μέσα σε έναν αγωγό που έχει κατάντη R' υδροστόμια ονομαστικής παροχής "d" τα οποία αρδεύουν μία έκταση "Si" (ha), θα παίρνει τιμές τέτοιες ώστε:

$$Si q_0 \leq Q \leq R' \cdot d$$

Οι υψηλές τιμές των "d" έχουν ως επακόλουθο τα υδροστόμια να λειτουργούν ένα μέρος του χρόνου εντός του 24ώρου. Συνεπώς, η πιθανότητα να είναι εν χρήση όλα συγχρόνως είναι πολύ μικρή. Το πρόβλημα που τίθεται είναι να υπολογισθεί η παροχή αιχμής με τέτοιο τρόπο, ώστε να ελαχιστοποιηθούν στο μέγιστο δυνατό οι διάμετροι των σωληνώσεων μεταφοράς.

Τα προαναφερθέντα ζητήματα είχαν ως αποτέλεσμα τη χρήση πιθανολογικών προσεγγίσεων για τον υπολογισμό των παροχών στα τμήματα του δικτύου αλλά και στην κεφαλή ενός συλλογικού αρδευτικού δικτύου υπό πίεση με ελεύθερη ζήτηση, (Lamaddalena and Sagardoy, 2000).

Για την εκτίμηση αυτής της παροχής, ο Γάλλος μηχανικός René Clément πρότεινε δύο στατιστικά μοντέλα, τα οποία και θα αναλυθούν παρακάτω.

3.5.4.1 Οι νόμοι της ζήτησης (Clément, 1955, 1966)

Πρώτος νόμος της ζήτησης (πρώτος τύπος του Clément)

Ο Clément για να αναπτύξει το μοντέλο του έκανε τις εξής δύο υποθέσεις:

1. Όλα τα υδροστόμια είναι όμοια και ανεξάρτητα μεταξύ τους
2. Η πιθανότητα λειτουργίας κάθε υδροστομίου "p" είναι σταθερή και ίση προς

$$p = \frac{t}{T} = \frac{\text{Χρόνος αναγκαίος για να παράσχει την αναγκαία ποσότητα νερού}}{\text{Χρόνος διαθέσιμος}}$$

Πρέπει καταρχήν να διευκρινίσουμε ότι ο υπολογισμός της παροχής αιχμής πρέπει να γίνει για την περίοδο της εποχής άρδευσης με τις μεγαλύτερες ανάγκες, δηλαδή την περίοδο αιχμής "T". Ο Clément δέχεται ότι κατά την περίοδο αυτή είναι δυνατό το δίκτυο να μην χρησιμοποιείται συνεχώς, δηλαδή ότι υπάρχουν χρονικά διαστήματα κατά τα οποία η παροχή είναι μηδενική. Έτσι εισάγει τον διαθέσιμο χρόνο T' που είναι $T' = r \cdot T$, ορίζοντας το "r" σαν χρονική απόδοση του δικτύου.

Με τις προαναφερθείσες υποθέσεις μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον διωνυμικό νόμο για να μοντελοποιήσουμε το φαινόμενο της λειτουργίας των υδροστομίων. Υπό την προϋπόθεση ότι ο αριθμός των υδροστομίων είναι αρκετά

μεγάλος και η πιθανότητα "p" δεν είναι πλησίον του 0 ή του 1, μπορούμε να προσεγγίσουμε τον διωνυμικό νόμο με τον κανονικό και να καταλήξουμε στον πρώτο νόμο της ζήτησης ή πρώτο τύπο του Clément (1955),

$$N = R \cdot p + U(Pq)\sqrt{R \cdot p \cdot q} \quad (3.1)$$

Επιπλέον, θεωρώντας ότι όλα τα υδροστόμια είναι ομοιογενή και έχουν την ίδια ονομαστική παροχή, για τη συνολική παροχή να λειτουργούν N (κατάντη) υδροστόμια, ισχύει:

$$Q = N \cdot d \Rightarrow$$

$$Q = R \cdot p \cdot d + U(Pq)\sqrt{R \cdot p \cdot q \cdot d^2} \quad (3.2)$$

Όπου:

N: μέγιστος αριθμός συγχρόνως λειτουργούντων υδροστομίων

Q: παροχή αιχμής

R: συνολικός αριθμός υδροστομίων

d: ονομαστική παροχή των υδροστομίων

p: πιθανότητα λειτουργίας των υδροστομίων

q: 1-p (η μη δυνατότητα ικανοποίησης της ζήτησης για N υδροστόμια ανοικτά)

U: τυποποιημένη μεταβλητή

Pq: ποιότητα λειτουργίας του δικτύου (αθροιστική πιθανότητα).

Η σχέση μεταξύ της "Pq" και της "U" έχει ως εξής:

$$Pq = \Pi(U) = \int_{-\infty}^U \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} dz$$

Ενώ η πιθανότητα λειτουργίας των υδροστομίων δίνεται και από τους ακόλουθους τύπους:

$$\frac{t}{T'} = \frac{t}{r \cdot T} = \frac{S_i \cdot q_0}{r \cdot R \cdot d} = \frac{A \cdot S_e \cdot q_0}{r \cdot R \cdot d} \quad (3.3)$$

Όπου:

t : ο απαραίτητος χρόνος για να καλυφθούν οι ανάγκες σε νερό

T' : ο διαθέσιμος χρόνος κατά την περίοδο αιχμής

T : η περίοδος αιχμής

S_i : η αρδευόμενη επιφάνεια

S_e : η εξοπλισμένη επιφάνεια, δηλ. η επιφάνεια που μόνο η εγκατάσταση υδροληψίας και υδροστομίου αρκούν για να μας παρασχεθεί νερό (δεν χρειάζεται καμία άλλη επέμβαση στο συλλογικό δίκτυο)

A : πυκνότητα άρδευσης με $A = S_i/S_e$

q_0 : ειδική συνεχής παροχή αιχμής (είναι η ειδική παροχή αιχμής που αναφέρεται σε 24ωρη λειτουργία του δικτύου)

r : χρονική απόδοση ή βαθμός χρησιμοποίησης του δικτύου

Η παράμετρος U είναι η τυποποιημένη μεταβλητή και λαμβάνει τιμές σύμφωνα με τον **Πίνακα 3.1** παρακάτω, ανάλογα δηλαδή με την ποιότητα λειτουργίας P_q .

Πίνακας 3.1: Συνάρτηση κατανομής της τυποποιημένης μεταβλητής $U(P_q)$ και συντελεστής ποιότητας λειτουργίας P_q , (Lamaddalena and Sagardoy, 2000).

P_q	$U(P_q)$
0.90	1.285
0.91	1.345
0.92	1.405
0.93	1.475
0.94	1.555
0.95	1.645
0.96	1.755
0.97	1.885
0.98	2.055
0.99	2.324

Επισημαίνεται ότι ο ορισμός του " r " έχει αλλάξει και σήμερα θεωρείται ένας συντελεστής προσαρμογής του μοντέλου στην πραγματικότητα, (Δέρκας, 1999).

Οι σχέσεις (3.1) και (3.2) ισχύουν για υδροστόμια ομοιογενή ως προς την παροχή και την πιθανότητα λειτουργίας. Για ένα σύνολο ετερογενών υδροστομιών, διαιρούμε τον πληθυσμό σε (i) ομοιογενείς υπό – πληθυσμούς. Χρησιμοποιώντας στη συνέχεια την ιδιότητα του κανονικού νόμου να διατηρείται κατά την πρόσθεση, έχουμε τη σχέση:

$$Q = \sum_i R_i \cdot p_i \cdot d_i + U(Pq) \sqrt{\sum_i R_i \cdot p_i \cdot q_i \cdot d_i^2} \quad (3.4)$$

Τέλος, αν θεωρήσουμε κάθε υδροστόμιο "j" ξεχωριστά, όπου το κάθε ένα είναι παροχής "d_j" και υπακούει σε ένα διωνυμικό νόμο με πιθανότητα "p_j" και q_j=1 – p_j αντίστοιχα.

Επίσης, σύμφωνα με τον ισχυρό νόμο των μεγάλων αριθμών, το άθροισμα "R" τυχαίων μεταβλητών (R: μεγάλο) συγκλίνει προς το νόμο του Laplace με τα εξής χαρακτηριστικά:

Μέση τιμή παροχής: $\sum p_j \cdot d_j$

Διασπορά παροχής: $\sum p_j \cdot q_j \cdot d_j^2$

Τελικά καταλήγουμε στη γενικευμένη μορφή του τύπου του Clément,

$$Q = \sum_{j=1}^{j=R} p_j \cdot d_j + U(Pq) \sqrt{\sum_{j=1}^{j=R} p_j \cdot q_j \cdot d_j^2} \quad (3.5)$$

Δεύτερος νόμος της ζήτησης (δεύτερος τύπος του Clément)

Ο Clément ανέπτυξε ένα δεύτερο μοντέλο υπολογισμού παροχών σε αρδευτικά δίκτυα ελεύθερης ζήτησης, έχοντας λάβει υπόψη τους περιορισμούς που τέθηκαν στο πρώτο μοντέλο, (Clément, 1966). Η λειτουργία του δικτύου περιγράφεται από μια στοχαστική διαδικασία γέννησης και θανάτου: στοχαστική αλυσίδα MARKOV, μόνιμος, ασυνεχής, ομοιογενής μέσα στο χρόνο.

- Ο αριθμός των υδροστομιών είναι R. Ο αριθμός των ανοικτών υδροστομιών είναι $N \leq R$.
- Όλα τα υδροστόμια είναι όμοια.

- Οι διάρκειες άρδευσης των υδροστομιών είναι ανεξάρτητες.
- Οι διάρκειες άρδευσης ακολουθούν την ίδια κατανομή με μέση τιμή 'Θ'.
- Το δίκτυο λειτουργεί μόνο ένα μέρος του συνολικού χρόνου της περιόδου αιχμής.

B. Χαρακτηριστικά της διαδικασίας

Τα μόνα δυνατά "βήματα" του συστήματος (αλλαγές καταστάσεως του συστήματος) είναι προς τις άμεσα γειτονικές καταστάσεις: από το j στο $j + 1$ ή στο $j - 1$ εάν $0 < j < N$ ή από το 0 στο 1 και τέλος από το N στο $N - 1$.

Εάν σε κάποια χρονική στιγμή "t" το σύστημα είναι στην κατάσταση "j" η πιθανότητα "λ_j" να παρουσιαστεί νέα ζήτηση (άνοιγμα υδροστομιού) μέσα στο χρονικό διάστημα dt είναι μεγαλύτερη όσο ο αριθμός των κλειστών υδροστομιών "R - j" είναι μεγάλος.

Μια καλή προσέγγιση είναι να θεωρήσουμε ότι η πιθανότητα αυτή "λ_j" είναι ανάλογη της "R - j".

$$\lambda_j \cdot dt = \lambda \cdot (R - j) \cdot dt \quad (3.6)$$

Εάν τη χρονική στιγμή "t" το σύστημα είναι στην κατάσταση "j", η πιθανότητα "μ_j" να περάσει στην κατάσταση "j - 1" : τέλος μίας ζήτησης, στο χρονικό διάστημα dt είναι:

$$\mu_j \cdot dt = \mu \cdot j \cdot dt \quad (3.7)$$

Όπου,

$\mu = 1/\Theta$ και

Θ : μέση διάρκεια της άρδευσης.

Το σύστημα γίνεται οριακά στάσιμο, ανεξάρτητο δηλαδή από τις αρχικές συνθήκες, όταν το "t" τείνει στο άπειρο. Το σύστημα τη δεδομένη στιγμή βρίσκεται σε στατιστική ισορροπία.

Στη συνέχεια, με βάση τις προηγούμενες υποθέσεις:

Υπολογίζεται ο χρόνος υπερφόρτωσης του συστήματος " P_N ", το ποσοστό δηλαδή μέσα στο χρόνο που το σύστημα είναι υπερφορτωμένο

$$P_N = \frac{\binom{R}{N} p^N q^{R-N}}{\sum_{k=0}^N \binom{R}{k} p^k q^{R-k}} \quad (3.8)$$

Όπου p και q η πιθανότητα ενός υδροστομίου να είναι ανοικτό ή κλειστό αντίστοιχα ($p=1-q$).

Μετά υπολογίζεται το επίπεδο μη ικανοποίησης της ζήτησης " P_a " (εκφράζει το μέσο ποσοστό κλήσεων που βρίσκει το σύστημα κορεσμένο και δεν ικανοποιούνται). Για τον υπολογισμό της P_a χρησιμοποιείται ο τύπος του P_N θεωρώντας ότι υπάρχουν " $R-1$ " υδροστόμια αντί " R "

$$P_a = \frac{\binom{R-1}{N} p^N q^{R-1-N}}{\sum_{k=0}^N \binom{R-1}{k} p^k q^{R-1-k}} \quad (3.9)$$

Στη συνέχεια εφαρμόζεται η προσέγγιση με την κανονική κατανομή.

Έστω

- $\Psi(U')$ η συνάρτηση πυκνότητας της κανονικής κατανομής
- $\Pi(U')$ η συνάρτηση κατανομής της κανονικής κατανομής

Οι συναρτήσεις $\Psi(U')$, $\Pi(U')$ δίνονται από πίνακες σε όλα τα βιβλία στατιστικής και από τη θεωρία των πιθανοτήτων δίνεται:

$$\binom{R-1}{N} p^N q^{R-1-N} = \frac{1}{\sqrt{(R-1)pq}} \Psi(U')$$

Με U' (ανηγμένη μεταβλητή):

$$U' = \frac{N - (R-1)p}{\sqrt{(R-1)pq}} \quad (3.10)$$

Η σχέση (3.6) διαμορφώνεται για την πιθανότητα κορεσμού – συσσώρευση ζήτησης

$$P_a = \frac{1}{\sqrt{(R-1)p \cdot q}} \cdot \frac{\Psi(U')}{\Pi(U')} \rightarrow$$

Θέτοντας

$$H(U') = P_a \sqrt{(R-1)p \cdot q} \quad (3.11)$$

Επίσης από την εξίσωση (3.10)

$$N = (R-1)p + U' \sqrt{(R-1)pq} \quad (3.12)$$

$$N = (R-1)p + \frac{U' \cdot H(U')}{P_a} \quad (3.13)$$

Η σχέση (3.12) είναι παραπλήσια του πρώτου τύπου του Clément (εξίσωση 3.1), υπολογίζοντας το μέγιστο αριθμό υδροστομίων που μπορούν να λειτουργήσουν συγχρόνως σε ένα δίκτυο όπου είναι εγκατεστημένα R συνολικά υδροστόμια, αλλά η ανηγμένη μεταβλητή U' εξαρτάται σε αυτή την περίπτωση από τις παραμέτρους R, p, q και P_a , (Dercas, 1989, Lamaddalena and Sagardoy, 1997). Επιπλέον, η παράμετρος p στο δεύτερο νόμο εξομοιώθηκε μόνο προσεγγιστικά με την πιθανότητα λειτουργίας των υδροστομίων (Dercas, 1989).

Ο Clément προτείνει τα μικρά δίκτυα να υπολογίζονται με το πρώτο μοντέλο και ποιότητα λειτουργίας $P_q=99\%$, ενώ τα μεγάλα δίκτυα να υπολογίζονται με το δεύτερο μοντέλο με πιθανότητα κορεσμού $P_a=1\%$, (Lamaddalena and Sagardoy, 2000).

Τονίζεται ότι το μοντέλο που οδηγεί στον πρώτο τύπο της ζήτησης υποθέτει ότι η πλεονάζουσα ζήτηση διατηρείται, ενώ στο δεύτερο τύπο αποκλείεται (Dercas, 1989).

Επίσης, η συμπεριφορά των αγροτών θεωρείται ως αμετάβλητη και στις δύο περιπτώσεις, (Δέρκας, 1999).

Πρέπει να διευκρινιστεί ότι μόνο ο πρώτος τύπος του Clément χρησιμοποιείται, επειδή η εφαρμογή του είναι σχετικώς ευκολότερη από αυτή του δεύτερου τύπου, (Δέρκας, 1999).

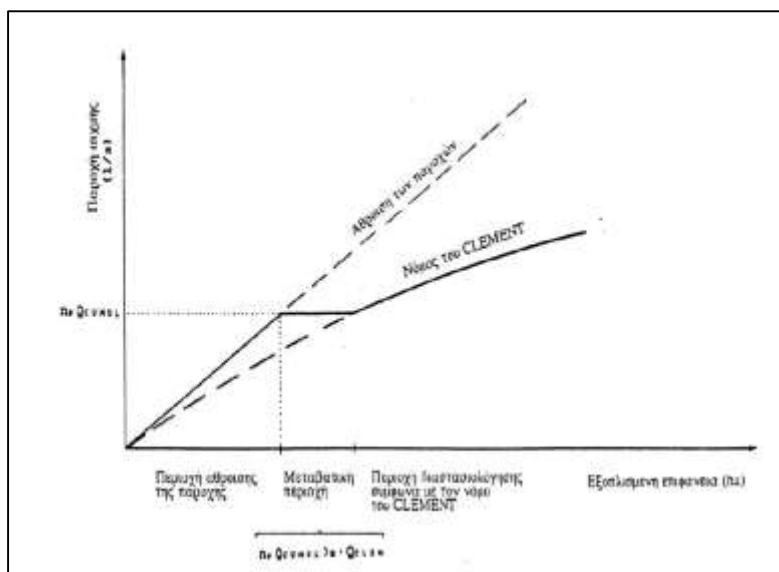
Εφαρμογή του νόμου του Clément στα άκρα των δικτύων (Dercas and Karantounias , 1997)

Όταν ο αριθμός των κατάντη υδροστομιών είναι πολύ μικρός, ο τύπος του Clément δεν μπορεί να εφαρμοστεί, διότι για να επιτευχθεί ο νόμος της ελεύθερης ζήτησης, έγινε η προσέγγιση του διωνυμικού νόμου από τον κανονικό. Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα στα άκρα των δικτύων, η συνήθης πρακτική είναι η άθροιση (CUMUL) της παροχής Q_{CUMUL} ενός αριθμού n_p ακραίων υδροστομιών $n_p Q_{CUMUL}$ και η χρησιμοποίησή της ως παροχής μελέτης για τη διαστασιολόγηση των αγωγών που τροφοδοτούν τα ανωτέρω υδροστόμια. Ο αριθμός n_p λαμβάνει τιμές από 2 έως 12 ανάλογα με το μελετητή.

Όταν ο αριθμός των κατάντη υδροστομιών R' καταστεί μεγαλύτερος από n_p ($R' > n_p$) εφαρμόζεται η σχέση του Clément και υπολογίζεται η παροχή του $Q_{R'(CLEM)}$.

Αν $Q_{R'(CLEM)} > n_p Q_{CUMUL}$, τότε επιλέγεται η $Q_{R'(CLEM)}$ ως παροχή σχεδιασμού του ξεχωριστού αγωγού. Διαφορετικά, χρησιμοποιείται το άθροισμα παροχών $n_p Q_{CUMUL}$.

Ομοίως εφαρμόζεται η μέθοδος και στους ανάντη υπάρχοντες αγωγούς. Ακολουθεί σχηματικά η αναπαράσταση της μεταβολής της παροχής σχεδιασμού των αγωγών (παροχή αιχμής) συναρτήσει της κατάντη εξοπλισμένης έκτασης (Σχήμα 3.2).



Σχήμα 3.2: Παροχή σχεδιασμού των αγωγών σε σχέση με την εξοπλισμένη έκταση του δικτύου (δίκτυο με ελεύθερη ζήτηση), (Δέρκας, 1999).

3.5.5 Επιλογή της παροχής και της πίεσης των υδροστομίων (Δέρκας, 1999)

Ιδιαίτερα σημαντικοί παράγοντες για την οικονομία και τη λειτουργικότητα ενός δικτύου είναι η πίεση και η παροχή που διαθέτουν οι αγρότες στα υδροστόμια. Οι παράμετροι αυτές θα καθορίσουν τον τύπο και το βαθμό κάλυψης των συστημάτων άρδευσης που θα μπορούν να χρησιμοποιήσουν οι αγρότες.

Υπενθυμίζεται ότι οι κύριοι τύποι αρδευτικού εξοπλισμού που χρησιμοποιούνται σε ένα υπό πίεση δίκτυο κατηγοριοποιούνται ως εξής:

A) Στην άρδευση με καταιονισμό

- Οι σταθεροί εκτοξευτήρες χαμηλής και μέσης πίεσης. Έχουν ανάγκη 1,4 έως 4 bars και παροχή 0,6 με 6 m³/h.
- Οι σταθεροί εκτοξευτήρες υψηλής πίεσης:
 - Κανόνια (4 – 6 bars και παροχή 15 – 100 m³/h).
 - Γιγάντιοι εκτοξευτήρες (4 – 6 bars και 25 – 125 m³/h).
 - Τα καρούλια (6 – 10 bars και 30 – 100 m³/h)
 - Οι γιγάντιες ράμπες που αυτοκινούνται κυκλικά ή μετωπικά.

B) Στη μικροάρδευση

- οι σταλακτήρες,
- οι μικροεκτοξευτήρες κ.α.

Η σύγχρονη και διαρκώς αυξανόμενη τάση χρησιμοποίησης των καρουλιών, λόγω ότι βοηθούν στην αυτοματοποίηση της αρδευτικής διαδικασίας, οδηγεί σε τάση για αύξηση της πίεσης στα συλλογικά δίκτυα αντίστοιχα. Όσο αφορά την SCP, ενώ παλιότερα επέλεγαν 4,5 bars στη δυσμενέστερη υδροληψία, εγκαθιστούν πλέον με 6 bars ελάχιστη πίεση. Στην Ελλάδα, δεχόμαστε πλέον συχνά στις νέες μελέτες μία πίεση των 6 bars, αντί των 4,5 bars που ίσχυαν στο παρελθόν.

Σχετικά με παροχή των υδροστομίων, αυτή επιδρά όπως έχει ήδη αναφερθεί στην ελευθερία του χρήστη. Για την ακρίβεια, όσο μεγαλύτερη είναι η παροχή, τόσο γρηγορότερα αυτός θα μπορέσει να αρδεύσει, πράγμα το οποίο τον βοηθά στην οργάνωση της εργασίας του.

Τις περισσότερες φορές η επιλογή της εγκατεστημένης παροχής από τον μελετητή γίνεται βάσει της εμπειρίας που έχει αποκτηθεί στην περιοχή του δικτύου. Στην

Ελλάδα δεχόμαστε συνήθως 4 – 5 m³/h ανά αρδευόμενο εκτάριο. Στην Προβηγκία η SCP, ανάλογα με τις υπάρχουσες και προβλεπόμενες καλλιέργειες, διαλέγει για τα δίκτυά της μία εγκατεστημένη παροχή που κυμαίνεται μεταξύ 5 – 30 m³/h ανά αρδευόμενο εκτάριο (2,5 με 15 φορές την ειδική συνεχή παροχή αιχμής), (Δέρκας, 1999).

Η αύξηση της εγκατεστημένης παροχής, όπως ανωτέρω επισημάνθηκε, οδηγεί σε δίκτυα που παρέχουν μεγαλύτερη ελευθερία στους χρήστες, ωστόσο χρειάζονται αγωγούς μεγαλύτερων διαμέτρων, και ως εκ τούτου θα προκύψουν δίκτυα μεγαλύτερου κόστους.

Συμπερασματικά, η επιλογή των παροχών και πιέσεων στα υδροστόμια γίνεται εμπειρικά με στόχο να συμβιβαστούν δύο αντίθετες τάσεις:

- του χρηματοδότη του έργου, που θέλει ένα δίκτυο οικονομικό (μικρές παροχές και πιέσεις), και
- των αγροτών, που θέλουν υψηλές τιμές για τις εν λόγω παραμέτρους, ώστε να διευκολυνθεί η άρδυσή τους (συντόμευση του χρόνου επέμβασης, χρήση καρουλιών κ.λπ.).

Μία πιο ορθολογική προσέγγιση, ιδίως σε περιοχές δίχως εμπειρία σε δίκτυα υπό πίεση, αποτελεί η βελτιστοποίηση του αρδευτικού εξοπλισμού του αγροτεμαχίου. Αυτή η προσέγγιση του προβλήματος οδηγεί με τη σειρά της σε μία ορθολογική επιλογή των παροχών και πιέσεων και αποκλείει τις λύσεις που βασίζονται σε μεταφορά προδιαγραφών από περιοχή σε περιοχή, χωρίς ωστόσο να λαμβάνονται υπόψη οι ιδιαιτερότητες της κάθε μίας.

Συνεπώς, υπάρχει δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί και για τον καθορισμό του βέλτιστου μεγέθους των μονάδων άρδευσης σε νέα δίκτυα που κατασκευάζονται κατόπιν αναδασμού.

3.5.6 Οικονομική βελτιστοποίηση των διαμέτρων (Τσακίρης και Δέρκας, 2006)

Μετά τη χάραξη ενός ακτινωτού δικτύου και τον υπολογισμό των παροχών σχεδιασμού των αγωγών γίνεται η οικονομική βελτιστοποίηση των διαμέτρων του δικτύου. Στη βελτιστοποίηση θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το μήκος των αγωγών, η παροχή των αγωγών, το υψόμετρο και το έργο κεφαλής (αντλιοστάσιο ή ταμιευτήρας). Το φορτίο στο έργο κεφαλής μπορεί να είναι προκαθορισμένο (π.χ.

ταμειντήρας προϋπάρχει) ή και να αποτελέσει αυτό το στοιχείο της βελτιστοποίησης (π.χ. νέο αντλιοστάσιο). Η επιλογή των διαμέτρων θα πρέπει αφενός να ικανοποιεί τις υδραυλικές απαιτήσεις του δικτύου και αφετέρου θα πρέπει ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος του δικτύου. Σε όλες τις περιπτώσεις, υπάρχει θεωρητικά μία μόνο πιεζομετρική γραμμή, για την οποία οι αντίστοιχες διάμετροι καθιστούν το κόστος του δικτύου ελάχιστο, η οποία ονομάζεται οικονομική πιεζομετρική γραμμή, (Κατσίμπα, 2009).

Οι μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι οι παρακάτω:

- Ο γραμμικός προγραμματισμός (Karmeli et al.,1968, Alperovits and Shamir, 1977, Kale et al., 2008)
- Ο δυναμικός προγραμματισμός (Liang, 1971, Yang et al., 1975)
- Η ασυνεχής μέθοδος του Labye, (Labye, 1966)
- Η συνεχής μέθοδος του Labye, (Labye,1961)
- Μέθοδοι βελτιστοποίησης με ασαφή λογική (Spiliotis and Tsakiris, 2007)

Η ανωτέρω μέθοδος του Labye είναι μία μέθοδος δυναμικού προγραμματισμού. Ο χαρακτηρισμός ασυνεχής μέθοδος προκύπτει από το γεγονός ότι εξετάζονται αποκλειστικά οι εμπορικοί διάμετροι (Κατσίμπα, 2009). Επιπλέον, διακρίνεται και για την ακρίβειά της, ενώ ταυτόχρονα δεν έχει ανάγκη μεγάλο υπολογιστικό χρόνο, ούτε μεγάλη υπολογιστική ισχύ. Ο λόγος αυτός ήταν που επικράτησε για πολλά έτη για την οικονομική βελτιστοποίηση των διαμέτρων σε σχέση με τη μέθοδο του γραμμικού προγραμματισμού για μεγάλα αρδευτικά δίκτυα, τα οποία απαιτούσαν πολύ μεγαλύτερη υπολογιστική ισχύ.

Στην ελληνική πραγματικότητα, η χρήση της ασυνεχούς μεθόδου του Labye είναι η επικρατέστερη για τη διαστασιολόγηση των αρδευτικών δικτύων, ιδίως για δίκτυα που τροφοδοτούνται από ένα μόνο αντλιοστάσιο στην κεφαλή του έργου. Εν συνεχεία παρατίθενται αδρομερώς αυτή η μέθοδος.

Ασυνεχής μέθοδος του Labye (Labye, 1961, 1966, CEMAGREF, 1983)

Απαραίτητα δεδομένα:

- Η χάραξη του δικτύου και η παροχή σχεδιασμού σε κάθε κλάδο (ορίζεται ως κλάδος το τμήμα αγωγού που βρίσκεται μεταξύ δύο κόμβων ή ενός κόμβου και ενός πέρατος του δικτύου).

- Η ελάχιστη πιεζομετρική στάθμη που είναι απαραίτητη σε κάθε υδροληψία.

- Ο πίνακας με τους διαθέσιμους αγωγούς στην αγορά. Στον πίνακα αυτό υπάρχει για κάθε διάμετρο το κόστος, η τραχύτητα, η ανωτέρα και η κατωτέρα ταχύτητα και η ονομαστική πίεση. Το προαναφερθέν κόστος αναφέρεται στο κόστος προμήθειας αγωγών και ειδικών εξαρτημάτων, μεταφοράς, εκσκαφής, τοποθέτησης, κόστος κάθε εργασίας σύνδεσης των σωλήνων για τη διαμόρφωση του αγωγού, δοκιμασίας των αγωγών και εγκιβωτισμού. Στην περίπτωση που θα χρησιμοποιηθούν αγωγοί διαφόρων υλικών (π.χ. χάλυβας, PVC κλπ.) και χαρακτηριστικών (π.χ. διαφόρου ονομαστικής πίεσης) θα πρέπει να δημιουργηθεί ανάλογος αριθμός πινάκων με αγωγούς ομοιόμορφων χαρακτηριστικών.

Φάσεις της μεθόδου Labye:

A. Φάση ανόδου: Κατά τη φάση αυτή εκκινώντας από τα κατάντη του δικτύου (τα άκρα του δικτύου) και «κινούμενοι» προς τα ανάντη (προ την κεφαλή) προσδιορίζεται ο νόμος βέλτιστης λύσης σε σχέση με το διαθέσιμο φορτίο (το κόστος αγοράς και εγκατάστασης των αγωγών σαν συνάρτηση του πιεζομετρικού φορτίου στον υπό μελέτη κόμβο). Ο νόμος αυτό προσδιορίζεται σε κάθε κόμβο και τέλος στην κεφαλή του δικτύου.

B. Φάση καθόδου: Βασιζόμενοι σε αυτό το νόμο της βέλτιστης λύσης στην κεφαλή του δικτύου και στις συνθήκες φορτίου στην κεφαλή (φορτίο βελτιστοποιημένου αντλιοστασίου, ή στάθμη ταμιευτήρα) προσδιορίζεται η βέλτιστη διάμετρος για τον κλάδο/αγωγό κεφαλής. Στη συνέχεια υπολογίζουμε το πιεζομετρικό φορτίο στον επόμενο κατάντη κόμβο, αφαιρώντας το φορτίο κεφαλής, τις απώλειες του κεντρικού αγωγού. Στο νέο αυτό κόμβο θα χρησιμοποιηθεί ο αντίστοιχος νόμος βέλτιστης λύσης και όλη η διαδικασία επαναλαμβάνεται προκειμένου να διαστασιοποιηθούν οι υπόλοιποι αγωγοί του δικτύου.

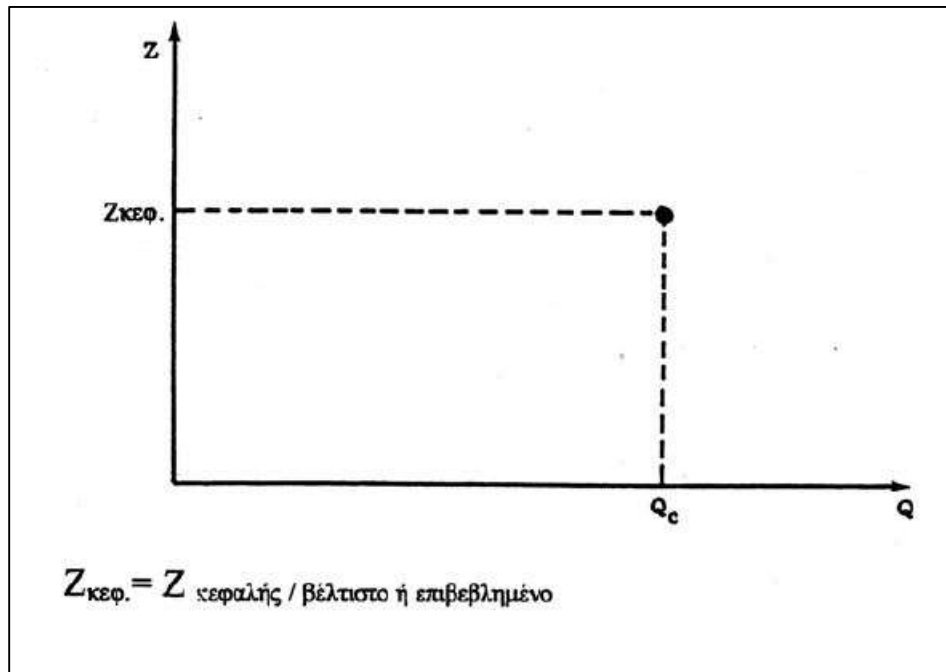
3.6 Ανάλυση της λειτουργίας συλλογικού δικτύου άρδευσης

Στο κεφάλαιο αυτό διασαφηνίζεται η σημασία της ανάλυσης ενός συλλογικού αρδευτικού δικτύου σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων προσομοίωσης. Με τον τρόπο αυτό αξιολογείται η επάρκειά του, καθορίζονται τα αίτια σε περίπτωση ανεπάρκειας και διατυπώνονται τα προτεινόμενα μέτρα ενίσχυσης ή και ανάταξης του δικτύου. Πρόκειται επίσης και για ένα στάδιο ελέγχου και επανεκτίμησης του σχεδιασμού.

3.6.1 Η ανάλυση λειτουργίας υπό πίεση δικτύου άρδευσης

Κατά τη μελέτη ενός αρδευτικού δικτύου υπό πίεση ελεύθερης ζήτησης αναφερομαστε σε ένα συγκεκριμένο σημείο λειτουργίας ($Q_C=Q_{\text{αιχμής κεφαλής}}$, $Z_{\text{κεφαλής}}$ / βέλτιστο ή επιβεβλημένο). **(Σχήμα 3.3)** και ότι δεν είναι γνωστό ποια θα είναι η συμπεριφορά του για τα άλλα σημεία λειτουργίας του διαγράμματος $Z=f(Q)$. Για το λόγο αυτό, θα πρέπει να διερευνηθεί η υδραυλική συμπεριφορά και στα άλλα σημεία του διαγράμματος $Z=f(Q)$, ιδίως για τις παροχές που παρουσιάζουν μεγάλη συχνότητα.

Η διερεύνηση αυτή είναι ιδιαίτερα δύσκολη όταν το δίκτυο έχει σχεδιαστεί για ελεύθερη ζήτηση. Κι αυτό διότι οι χρήστες είναι εκείνοι που καθορίζουν την άρδευση, με αποτέλεσμα να μην είναι προκαθορισμένος ο αριθμός και η θέση των υδροστομίων που θα λειτουργήσουν συγχρόνως και συνεπώς οι παροχές που θα ζητηθούν και το αναγκαίο φορτίο στην κεφαλή.



Σχήμα 3.3: Αναγκαίο φορτίο στη κεφαλή για την παροχή αιχμής, (Δέρκας, 2001)

Αποτέλεσμα αυτής της σύνθετης λειτουργίας είναι ο σχηματισμός ενός μεγάλου αριθμού πιθανών τυχαίων συνδυασμών ανοιχτών υδροστομίων. Ένας συνδυασμός ανοιχτών υδροστομίων r είναι ένα σύνολο ανοιχτών υδροστομίων για τα οποία η συνολική του παροχή αντιστοιχεί σε μία δεδομένη τιμή παροχής στην κεφαλή του δικτύου, (Lamaddalena and Sagardoy, 2000).

Στα πλαίσια της ανάλυσης του δικτύου μελετώνται ξεχωριστά αλλά και στα πλαίσια της αλληλεξάρτησής τους οι τρεις συνιστώσες του αρδευτικού δικτύου:

- οι παροχές που εκφράζουν τη συμπεριφορά των αγροτών,
- η ανταπόκριση του δικτύου,
- η συμπεριφορά του αντλιοστασίου.

3.6.2 Η σημασία της ανάλυσης της λειτουργίας ενός δικτύου (Δέρκας, 2001)

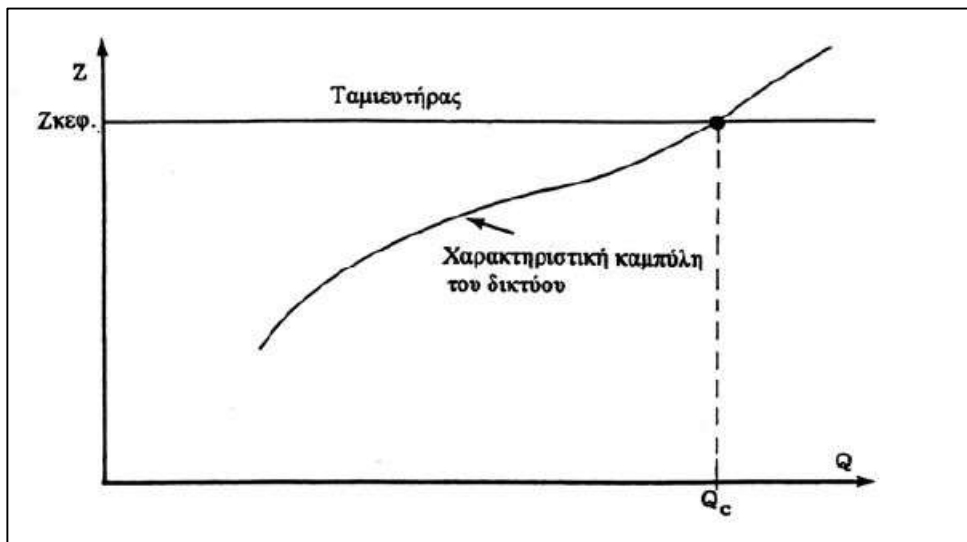
Α. Δίκτυο κατασκευασμένο πλήρως εξ αρχής)

Στην περίπτωση μελέτης δικτύου, μας ενδιαφέρει να εξετάσουμε πώς θα συνεργασθεί το μελλοντικό δίκτυο με το έργο κεφαλής (ταμιευτήρα ή αντλιοστάσιο) ανάλογα με τη ζήτηση που θα εμφανισθεί.

Όταν το δίκτυο τροφοδοτείται από υπάρχοντα ταμιευτήρα, η βελτιστοποίηση των διαμέτρων του δικτύου γίνεται για τη στάθμη που επιβάλλει ο ταμιευτήρας και πρέπει να καθορίζεται η χαρακτηριστική καμπύλη του δικτύου προκειμένου να γίνεται φανερή η συμπεριφορά του συστήματος για διάφορες παροχές στην κεφαλή, (Σχήμα 3.4).

Όταν το δίκτυο τροφοδοτηθεί από ταμιευτήρα που πρόκειται να κατασκευασθεί, το φορτίο $Z_{\text{ταμ}}=Z_{\text{κεφ}}$ καθορίζεται με βάση τεχνικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά κριτήρια και στη συνέχεια γίνεται η βελτιστοποίηση του συστήματος των αγωγών.

Αναφερόμενοι στα οικονομικά κριτήρια θα πρέπει να σημειωθεί ότι για την επιλογή της θέσης και του αντίστοιχου φορτίου του ταμιευτήρα θα πρέπει να ελαχιστοποιηθεί το σύνολο «κόστος ταμιευτήρα + κόστος δικτύου».



Σχήμα 3.4. Αναγκαίο φορτίο στην κεφαλή σε συνάρτηση με την καλουμένη παροχή, (Δέρκας, 2001).

Στη περίπτωση που το δίκτυο πρόκειται να τροφοδοτηθεί από αντλιοστάσιο, θα πρέπει να προσδιορισθεί η χαρακτηριστική καμπύλη του δικτύου προκειμένου να καθορισθούν κατά τον βέλτιστο τρόπο τα χαρακτηριστικά του αντλιοστασίου.

Β. Δίκτυο με τη λογική των προοδευτικών ενισχύσεων

Στην περίπτωση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντικό να μπορεί να προβλεφθεί εκ των προτέρων ποιοι αγωγοί και με ποια προτεραιότητα θα πρέπει να ενισχυθούν. Επιπλέον, ποιες ενισχύσεις των αντλιοστασίων είναι αναγκαίες, καθώς και αν θα πρέπει να γίνει και σε ποια σημεία εγκατάσταση νέων αντλιών επί της γραμμής /

boosters προκειμένου να ανταποκριθεί το μελλοντικό δίκτυο στην εξελισσόμενη ζήτηση.

Η μελέτη αυτή θα μας δώσει τη δυνατότητα να προγραμματίσουμε τις μελλοντικές ενισχύσεις του δικτύου και να αποφύγουμε βασικά λάθη σχεδιασμού.

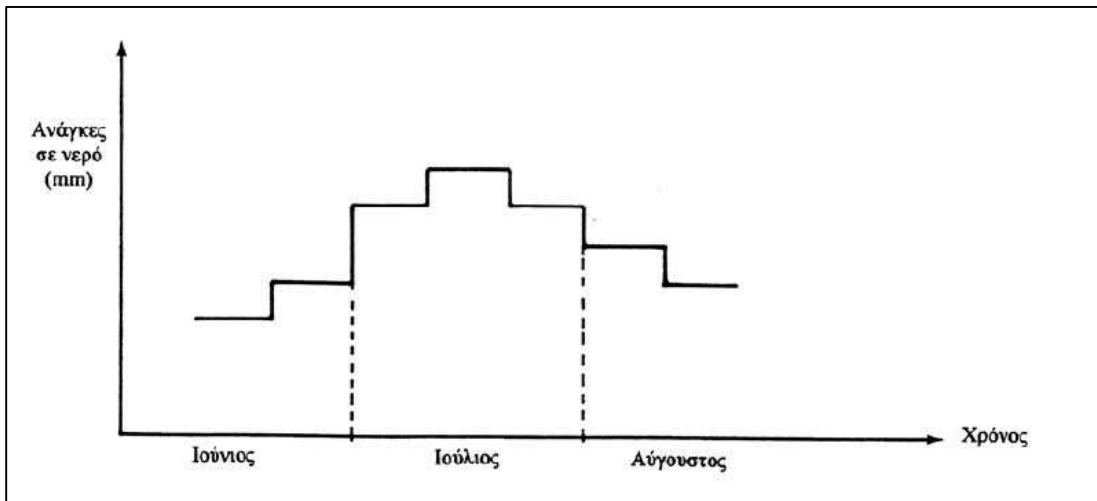
Γ. Δίκτυο που ήδη λειτουργεί.

Για ένα δίκτυο που είναι σε λειτουργία, θα πρέπει να αναλυθούν τα προβλήματα που παρουσιάζει (πχ ποια υδροστόμια παρουσιάζουν ανεπάρκειες πίεσης/παροχής και για πόσο χρόνο, ποιοι αγωγοί είναι υποδιαστασιοποιημένοι κ.α.) προκειμένου να μελετηθούν και να προβλεφθούν οι κατάλληλες ενισχύσεις.

3.6.3 Οι χρήστες – η ζήτηση

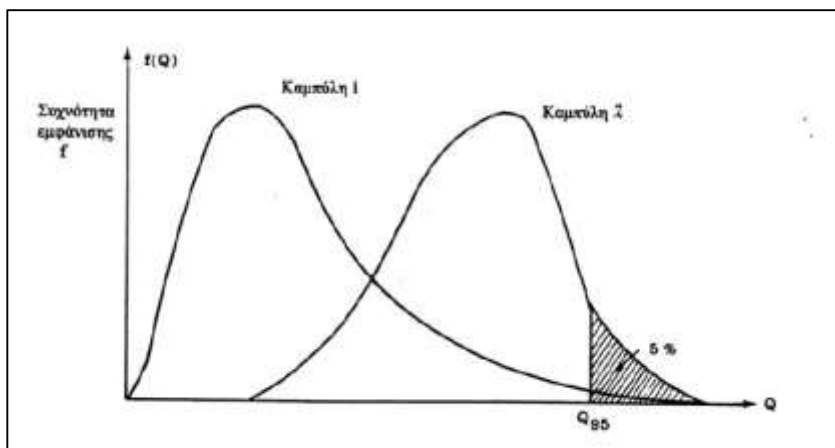
Η παράμετρος που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη δυσκολία εκτίμησης κατά τη μελέτη ενός δικτύου είναι οι παροχές που θα παρουσιάζονται στους αγωγούς. Η εκτίμηση των μεγάλων παροχών κατά την περίοδο αιχμής θα επιτρέψει να επιλεγούν οι απαιτούμενες διαμέτροι για τους αγωγούς του δικτύου, ενώ η εκτίμηση της συχνότητας με την οποία θα εμφανίζονται όλες οι παροχές κατά τη διάρκεια όλης της καλλιεργητικής περιόδου θα επιτρέψει τον υπολογισμό του κόστους άντλησης.

Οι εδαφοκλιματικές συνθήκες και οι καλλιέργειες στην περιοχή μελέτης θα επιτρέψουν ακολούθως την εκτίμηση των αναγκών, ανά μήνα ή καλύτερα ανά δεκαήμερο. Οι ανάγκες αυτές (**Σχήμα 3.5**), που αναφέρονται σε ένα μέσο έτος ή έτος ορισμένης συχνότητας επαναφοράς, ανάλογα με την επιλογή του μελετητή, σύμφωνα με τη μέθοδο διανομής του νερού στα υδροστόμια και τις μεθόδους άρδευσης που εφαρμόζουν οι αγρότες στα αγροτεμάχια, θα μετατραπούν σε παροχές στους αγωγούς και στο αντλιοστάσιο του δικτύου.



Σχήμα 3.5: Ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό (αναφορά σε έτος ορισμένης συχνότητας επαναφοράς), (Δέρκας, 2001).

Η κατανομή συχνότητας εμφάνισης των παροχών (**Σχήμα 3.6**) είναι ένα πολύ σημαντικό στοιχείο το οποίο θα βοηθήσει στην εκτίμηση της σοβαρότητας των αστοχιών του δικτύου. Στο **Σχήμα 3.6** η Καμπύλη 1 αναφέρεται σε όλη την καλλιεργητική περίοδο, ενώ η Καμπύλη 2 στην περίοδο αιχμής.



Σχήμα 3.6.: Κατανομή της συχνότητας εμφάνισης των παροχών: σε όλη την καλλιεργητική περίοδο (**Καμπύλη 1**) και στην περίοδο αιχμής (**Καμπύλη 2**), (Δέρκας, 2001).

3.6.4 Το δίκτυο ως σύστημα αγωγών

Το κεφάλαιο αυτό στοχεύει στην ανάλυση του δικτύου, μη λαμβάνοντας υπόψη το σύστημα τροφοδοσίας στην κεφαλή του δικτύου, τουλάχιστον σε επίπεδο μελέτης.

Θα προσδιοριστούν τα απαραίτητα φορτία κεφαλής προκειμένου να υπάρξει ικανοποίηση της ζήτησης.

Η προσέγγιση που ακολουθεί έχει δύο σκέλη:

- Στο πρώτο σκέλος γίνεται μια συνολική ανάλυση της λειτουργίας του δικτύου (εν λειτουργία ή στη φάση μελέτης), όπου προσδιορίζεται η χαρακτηριστική καμπύλη του δικτύου $Z=f(Q)$, όπου Z το φορτίο και Q η ζητούμενη παροχή στην κεφαλή. Το φορτίο στην κεφαλή δεν πρέπει να γίνει μικρότερο αυτού που προσδιορίζεται από την $Z=f(Q)$ προκειμένου η λειτουργία του δικτύου να θεωρηθεί "καλή". Η προαναφερθείσα καμπύλη οριοθετεί την "καλή λειτουργία του δικτύου" (ανάλυση σε επίπεδο δικτύου).

- Στο δεύτερο σκέλος θα αναζητηθούν τα "αδύνατα" σημεία του δικτύου (υδροστόμια που παρουσιάζουν προβλήματα λειτουργίας και υποδιαστασιολογημένοι αγωγοί), τα σημεία στα οποία πρέπει πρώτα να επικεντρωθεί η προσπάθεια ενίσχυσης και ανάταξης (ανάλυση σε επίπεδο υδροστομίου).

3.6.5 Ανάλυση σε επίπεδο δικτύου

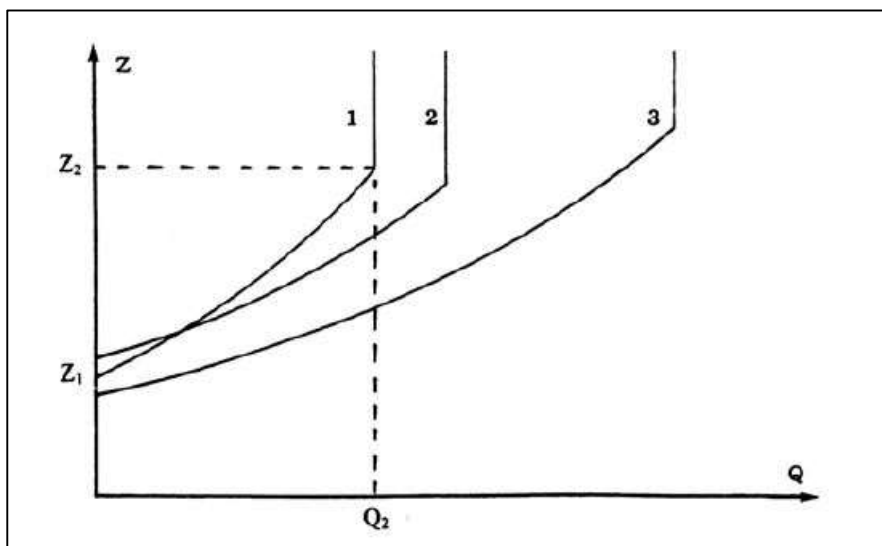
Η ανάλυση αυτή θα επιτρέψει να εκτιμηθεί η γενική συμπεριφορά του συστήματος των αγωγών. Με μια διαδικασία προσομοίωσης της λειτουργίας των υδροστομίων χρησιμοποιώντας τυχαίους αριθμούς για το άνοιγμα των υδροστομίων (δημιουργία μεγάλου αριθμού συνδυασμών ανοικτών – κλειστών υδροστομίων) θα χαραχθούν οι χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες και θα εκτιμηθεί σε τι βαθμό το δίκτυο, σε συνδυασμό πάντα με το έργο κεφαλής, εξυπηρετεί τους χρήστες. Η μέθοδος των χαρακτηριστικών με δείκτες προτάθηκε από τους Labye et al (1975).

3.6.6 Χαρακτηριστικές καμπύλες του συστήματος των αγωγών (Labye et al., 1975; Bethery et al., 1981; Bethery, 1990; CEMAGREF, 1983; Lamadalena and Sagardoy, 2000, Stefopoulou and Dercas, 2011a; b).

Για να αναλυθεί ένα δίκτυο θα πρέπει καταρχάς να χαραχθούν χαρακτηριστικές καμπύλες του $Z=f(Q)$ προκειμένου να είναι δυνατόν άμεσα να προσδιορίζεται το φορτίο που πρέπει να είναι διαθέσιμο στη κεφαλή ώστε να ικανοποιηθεί μια ζήτηση

Q_0 που θα παρουσιαστεί. Η χαρακτηριστική καμπύλη του δικτύου εξαρτάται από τα υδροστόμια που έχουν ανοίξει και συγκεκριμένα, τον αριθμό τους, την ονομαστική τους παροχή και τη θέση τους.

Γίνεται η υπόθεση ότι σε ένα δίκτυο ανοίγει ένας αριθμός υδροστομίων. Για να αρχίσει να υπάρχει παροχέτευση νερού θα πρέπει το φορτίο στην κεφαλή του δικτύου να είναι μεγαλύτερο από το γεωμετρικό ύψος του χαμηλότερου υδροστομίου, προσαυξημένο κατά τις απώλειες φορτίου μέχρι το συγκεκριμένο υδροστόμιο. Το μέγεθος Z_1 λοιπόν είναι καθορισμένο και είναι το αρχικό σημείο της χαρακτηριστικής καμπύλης $Z=f(Q)$ του δικτύου για τον συγκεκριμένο συνδυασμό ανοικτών υδροστομίων (**Σχήμα 3.7**).



Σχήμα 3.7: Χαρακτηριστικές καμπύλες δικτύου για διάφορους συνδυασμούς ανοικτών υδροστομίων.

Αυξάνοντας το φορτίο στην κεφαλή, η παροχή του προαναφερθέντος υδροστομίου θα αρχίσει να αυξάνει και θα αρχίσουν να παροχετεύουν νερό και άλλα υδροστόμια. Με την αύξηση του φορτίου στην κεφαλή η παροχή των υδροστομίων θα συνεχίσει να αυξάνει μέχρι του σημείου όπου θα επιτευχθεί στο ένα μετά το άλλο στα υδροστόμια η ονομαστική παροχή και θα επέμβουν οι περιοριστές παροχής. Η μεγαλύτερη λοιπόν παροχή, για συγκεκριμένο συνδυασμό ανοικτών υδροστομίων, είναι Q_2 (**Σχήμα 3.7**), όπου όλα τα ανοικτά υδροστόμια λειτουργούν με την ονομαστική παροχή τους. Το αντίστοιχο πιεζομετρικό φορτίο στην κεφαλή του δικτύου είναι Z_2 , ίσο με το γεωμετρικό ύψος του πιο δυσμενώς τοποθετημένου υδροστομίου προσαυξημένου κατά την απαραίτητη πίεση λειτουργίας και κατά τις αντίστοιχες απώλειες φορτίου.

Αν το φορτίο στην κεφαλή του δικτύου αυξηθεί πέραν του Z_2 , η παροχή θα παραμείνει Q_2 (μέσα στα πλαίσια ακρίβειας λειτουργίας των περιοριστών παροχής), διότι έχουν επέμβει σε όλα τα υδροστομία οι περιοριστές παροχής και δεν επιτρέπουν να αυξηθεί πέραν της ονομαστικής παροχής.

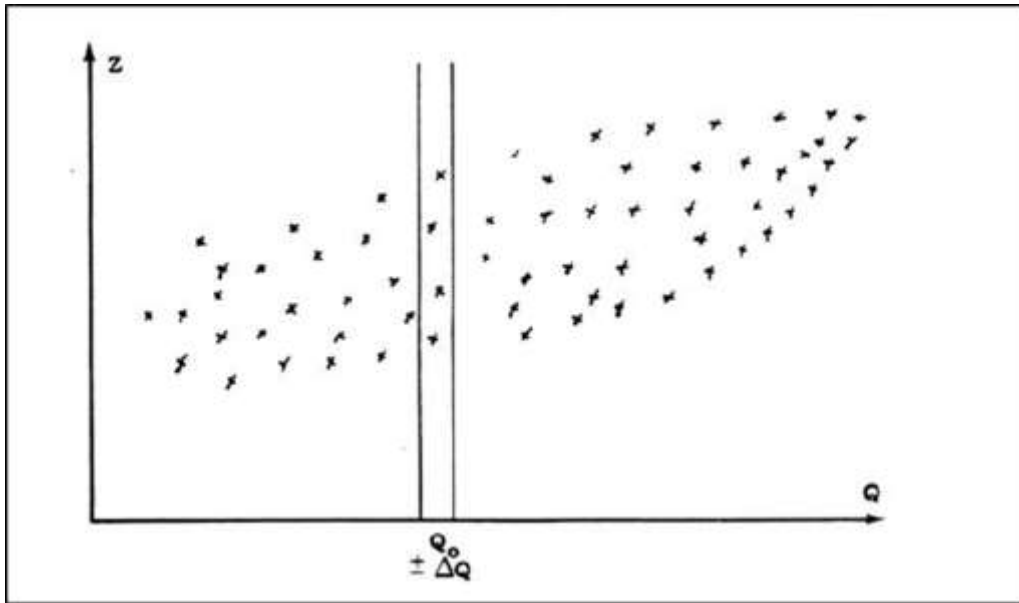
Συνεπώς, η επιτευχθείσα Καμπύλη (1) (**Σχήμα 3.7**) είναι η χαρακτηριστική καμπύλη του δικτύου για τον προαναφερθέντα συνδυασμό ανοικτών υδροστομίων. Αν ο συνδυασμός των ανοικτών υδροστομίων είναι διαφορετικός, θα επιτευχθεί μία άλλη χαρακτηριστική καμπύλη (**Καμπύλη 2, Σχήμα 3.7**). Συμπεραίνεται ότι οι χαρακτηριστικές καμπύλες για το συγκεκριμένο δίκτυο θα είναι τόσες, όσοι και οι συνδυασμοί των ανοικτών υδροστομίων.

Το σύνολο αυτό των χαρακτηριστικών καμπυλών του δικτύου θα πρέπει να γίνει αντικείμενο στατιστικής επεξεργασίας για να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για το δίκτυο.

Χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες (τύπου I)

Οι δείκτες εκφράζουν το ποσοστό (%) συνδυασμών ανοικτών υδροστομίων χωρίς προβλήματα λειτουργίας.

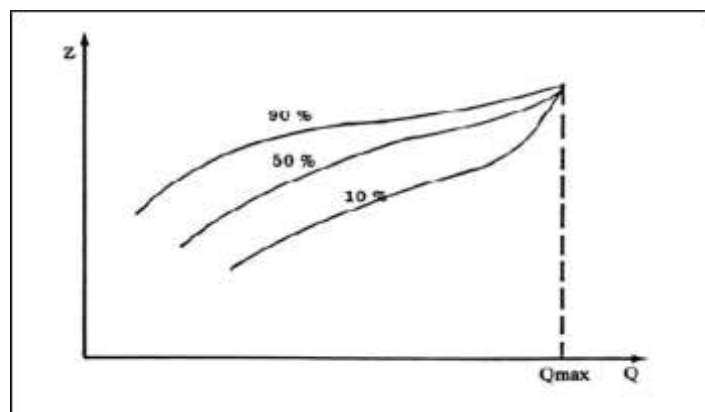
Έστω ότι έχουν υπολογιστεί τα ζεύγη (Z_2Q_2) όλων των δυνατών συνδυασμών ανοικτών υδροστομίων. Τα ζεύγη αυτά παρουσιάζονται στο διάγραμμα (Z, Q) υπό μορφή ενός "σμήνους" σημείων που μπορούν να αναλυθούν με τις μεθόδους της στατιστικής με σκοπό την καλύτερη διαχείριση της πληροφορίας που παρέχουν (**Σχήμα 3.8**).



Σχήμα 3.8: Ακραία σημεία (Z_2, Q_2) των πραγματικών χαρακτηριστικών του δικτύου.

Συνεπώς, είναι εφικτό για δεδομένη παροχή Q_0 να υπολογιστεί η κατανομή των αναγκαίων φορτίων στην κεφαλή ώστε να λειτουργήσουν ικανοποιητικά οι συνδυασμοί ανοικτών υδροστομίων που προκαλούν παροχή στην κεφαλή Q_0 . Στη συνέχεια, μπορούν να υπολογιστούν τα φορτία που επιτρέπουν να υπάρχει ικανοποίηση στο 75%, 90% κ.λπ. των συνδυασμών ανοικτών υδροστομίων που καλούν παροχή Q_0 .

Από τα φορτία αυτά προκύπτουν οι χαρακτηριστικές με δείκτες σε ποσοστό (%) ικανοποίησης συνδυασμών ανοικτών υδροστομίων που ονομάζονται "χαρακτηριστικές με δείκτες" (C_i) (**Σχήμα 3.9**).

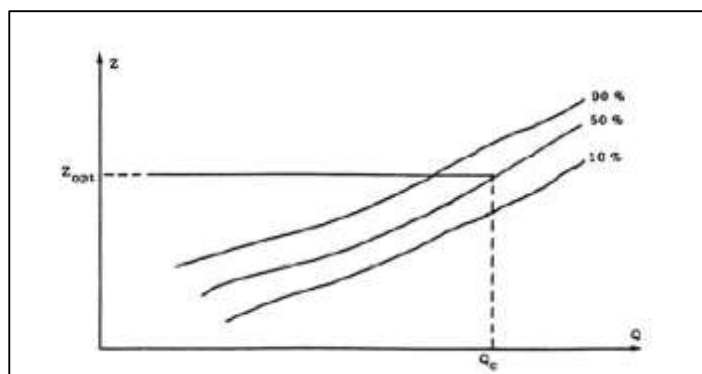


Σχήμα 3.9: Χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες και σημείο μελέτης δικτύου, (Δέρκας, 2001).

Το διάγραμμα με τις χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες επιτρέπει να εκτιμάται σε ποιο βαθμό το έργο κεφαλής παρέχει ικανοποίηση της ζήτησης για διάφορες παροχές (από 0 έως Q_{max}) στην κεφαλή. Πρόκειται για ένα σημαντικό εργαλείο, παρά το γεγονός ότι για την κατασκευή του χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα ακραία σημεία (Z_2, Q_2) των πραγματικών χαρακτηριστικών του δικτύου. Κάθε συνδυασμός ανοικτών υδροστομίων, όπου έστω και ένα υδροστόμιο παρουσιάζει μικρό πρόβλημα, θεωρείται ανεπιτυχής όταν το φορτίο στην κεφαλή δεν είναι ικανό να εξασφαλίσει τη σωστή λειτουργία όλων των συγκεκριμένων υδροστομίων.

Επισημαίνεται ότι άλλοι δύο τύποι χαρακτηριστικών καμπυλών με δείκτες υφίστανται, εκτός του τύπου I, οι οποίοι παρόλα αυτά δεν έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι σήμερα, (Σταμούλη, 2014). Μόνο ο πρώτος βρίσκεται σε χρήση, διότι ο υπολογισμός του είναι ευκολότερος και ταχύτερος. Για το λόγο αυτό, κάθε φορά που θα γίνεται εφεξής χρήση χαρακτηριστικών καμπυλών με δείκτες θα αναφερόμαστε σε αυτό το είδος των χαρακτηριστικών. Υπογραμμίζεται ότι κατά τη δημιουργία αυτών των καμπυλών τοποθετηθήκαμε στην πλευρά της ασφάλειας, χρησιμοποιώντας από τις πραγματικές χαρακτηριστικές καμπύλες τα ακραία μόνο σημεία (Z_2, Q_2). Η όλη ανάλυση του δικτύου ως σύνολο γίνεται σε επίπεδο συνδυασμών ανοικτών υδροστομίων που παρουσιάζουν προβλήματα.

Στην περίπτωση που το δίκτυο έχει υπολογισθεί σύμφωνα με τις μεθόδους Clément για τις παροχές αιχμής στα συλλογικά αρδευτικά δίκτυα σε ελεύθερη ζήτηση και με τη μέθοδο Labye για την οικονομική βελτιστοποίηση των διαμέτρων, το αντίστοιχο σημείο (Z_{opt}, Q_c) βρίσκεται συνήθως κοντά στη χαρακτηριστική C1 50% (Σχήμα 3.10).



Σχήμα 3.10: Χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες και σημείο μελέτης δικτύου, (Δέρκας, 2001).

3.6.7 Ανάλυση σε επίπεδο υδροστομίου (CEMAGREF, 1983; Lamadalena and Sagardoy, 2000; Khadra and Lamadalena, 2010).

Μετά την ανάλυση με τις χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες, η οποία έδωσε μια γενική εικόνα της συμπεριφοράς του δικτύου, είναι αναγκαίο να πραγματοποιηθεί μια πιο ενδελεχής αξιολόγηση της ποιότητας λειτουργίας του αρδευτικού δικτύου υπό πίεση με τον προσδιορισμό των παροχών και πιέσεων που επιτυγχάνονται στα υδροστόμια κάτω από διάφορα καθεστώτα ζήτησης. Αυτό θα επιτρέψει να προσδιοριστούν τα υδροστόμια που παρουσιάζουν έλλειμμα παροχής και πίεσης όπως και οι υποδιαστασιοποιημένοι αγωγοί (αγωγοί με μεγάλες απώλειες ενέργειας).

Για την ανάλυση σε επίπεδο υδροστομίου καθορίζονται οι ανάντη συνθήκες (πιεζομετρικό φορτίο, Z και παροχή στη κεφαλή, Q) και προσομοιώνεται μεγάλος αριθμός καθεστώτων ζήτησης για υψηλές παροχές κεφαλής Q (συνήθως οι προσομοιώσεις γίνονται για παροχές έως την παροχή αιχμής π.χ. Q_{CLEM}).

Για τη δημιουργία αυτών των καθεστώτων ζήτησης χρησιμοποιείται γεννήτρια τυχαίων αριθμών (που ακολουθεί ομοιόμορφη κατανομή) που επιτρέπει κάτω από ορισμένους κανόνες το άνοιγμα (λειτουργία) των υδροστομίων και συνήθως ενσωματώνεται σε κάποιο λογισμικό. Στη συνέχεια, έχοντας ως σημείο εκκίνησης το μεγάλο αριθμό καταστάσεων λειτουργίας του δικτύου (συνδυασμοί ανοικτών – κλειστών υδροστομίων), προσομοιώνονται οι αντίστοιχες μόνιμες ροές που ζητούν τη συγκεκριμένη παροχή Q στην κεφαλή. Από κάθε προσομοίωση, προκύπτουν οι παροχές και οι πιέσεις των υδροστομίων για το συγκεκριμένο συνδυασμό ανοικτών – κλειστών υδροστομίων. Οι παροχές μπορεί να είναι ίσες ή μικρότερες της ονομαστικής τους παροχής. Οι πιέσεις (ανάντη του ρυθμιστή πίεσης) μπορούν να είναι μεγαλύτερες, ίσες ή μικρότερες της ονομαστικής πίεσης.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την υλοποίηση ενός σημαντικού αριθμού προσομοιώσεων, είναι δυνατό να επεξεργαστούν στατιστικά και να προκύψει με τον τρόπο αυτό η πιθανότητα ενός υδροστομίου να αποτύχει να δώσει την ονομαστική του παροχή και πίεση, αλλά και η έκταση της αποτυχίας αυτής.

Επίσης, ένα ακόμη σημαντικό αποτέλεσμα των προσομοιώσεων είναι ο υπολογισμός των απωλειών ενέργειας ανά τρέχον μέτρο, το οποίο οδηγεί στον προσδιορισμό των υποδιαστασιοποιημένων αγωγών (αγωγοί οι οποίοι λόγω της

ανάπτυξης των αρδεύσεων στην περίμετρο εμφανίζουν κορεσμό). Οι αγωγοί αυτοί χρήζουν επεμβάσεων ενίσχυσης.

Δείκτης Αξιοπιστίας

Στα πλαίσια της ανάλυσης λειτουργίας σε επίπεδο υδροστομίου χρησιμοποιείται συχνά ο συντελεστής αξιοπιστίας του Hashimoto (Hashimoto 1980; Hashimoto et al., 1982). Ο συντελεστής αξιοπιστίας του Hashimoto a_j για κάθε υδροστόμιο j προσδιορίζει πόσο πιθανό είναι ένα υδροστόμιο να έχει το ονομαστικό του φορτίο πίεσης, ειδικά κατά την περίοδο αιχμής. Ο δείκτης αυτός προσδιορίζεται από τη μαθηματική σχέση:

$$a_j = \frac{\sum_{r=1}^C I_{h_{j,r}} I_{p_{j,r}}}{\sum_{r=1}^C I_{h_{j,r}}} \quad (3.14)$$

Όπου,

- $I_{h_{j,r}} = 1$: εάν το υδροστόμιο j είναι ανοιχτό στη συγκεκριμένη προσομοίωση r ,
- $I_{h_{j,r}} = 0$: εάν το υδροστόμιο j είναι κλειστό στη συγκεκριμένη προσομοίωση r ,
- $I_{p_{j,r}} = 1$: εάν το φορτίο πίεσης στο υδροστόμιο j , το οποίο είναι ανοιχτό στην προσομοίωση r , είναι μεγαλύτερο από το ελάχιστο απαιτούμενο φορτίο πίεσης,
- $I_{p_{j,r}} = 0$: εάν το φορτίο πίεσης στο υδροστόμιο j , το οποίο είναι ανοιχτό στην προσομοίωση r , είναι μικρότερο από το ελάχιστο απαιτούμενο φορτίο πίεσης και
- C : ο συνολικός αριθμός των προσομοιώσεων που υλοποιήθηκαν.

Σε επίπεδο υδροστομίου έχουν προταθεί διάφορα μοντέλα (CEMAGREF, 1983; Lamaddalena and Sagardoy, 2000; Khadra and Lamaddalena, 2010) που υιοθετούν συνθήκες μόνιμης ροής. Το λογισμικό Nireus το οποίο χρησιμοποιεί μοντέλο της παραπάνω λογικής προτάθηκε από την Δρ. Στεφοπούλου (Steforoulou 2013,

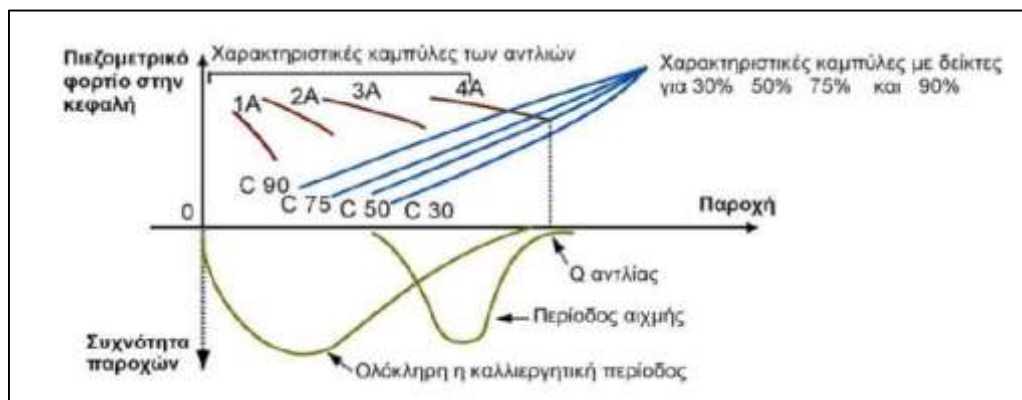
Steforoulou & Dercas, 2017) και εκτελεί ανάλυση σε επίπεδο υδροστομίου αλλά και υδροστομίου. Στα πλαίσια επίσης της διατριβής αυτής προτάθηκε εξελισμένος δείκτης αξιοπιστίας ο οποίος λαμβάνει υπόψη και το εύρος αστοχίας στη πίεση των υδροστομίων. Στην Ελλάδα, αλλά και σε πολλές άλλες χώρες της Μεσογείου, χρησιμοποιείται κατά το πλειοψηφούν το μοντέλο AKLA το οποίο ενσωματώνεται στο λογισμικό COPAM (Lamaddalena and Sagardoy, 2000) και υπολογίζει τις μόνιμες ροές (permanent regimes) για ένα μεγάλο αριθμό προσομοιώσεων / τυχαίων συνδυασμών ανοιχτών – κλειστών υδροστομίων και για επιλεγμένο αριθμό παροχών στην κεφαλή του δικτύου.

Ωστόσο, άλλα μοντέλα υποθέτουν συνθήκες μη μόνιμης ροής, όπως το GERSTAR (Estrada et al., 2009), το FLUCS (Lamaddalena and Ferreira, 2007a;b) και το EPANET (Rosseman, 2000). Τα μοντέλα μη μόνιμης ροής είναι καταλληλότερα για δίκτυα που δεν διαθέτουν περιοριστές παροχής και ρυθμιστές πίεσης.

3.6.8 Ολοκληρωμένη ανάλυση του δικτύου (χρήστες + σύστημα αγωγών + έργο κεφαλής)

Η υποενότητα αυτή αναφέρεται στη συνολική εξέταση των τριών συνιστωσών (έργο κεφαλής, δίκτυο – αγωγοί, χρήστες) ενός συλλογικού αρδευτικού δικτύου υπό πίεση με ελεύθερη ζήτηση. Η ανάγκη για συνδυαστική ανάλυση των τριών αυτών συνιστωσών είναι προφανής στο στάδιο του σχεδιασμού νέου, όπως επίσης και κατά το στάδιο της ανάλυσης λειτουργίας νέου αλλά και υπάρχοντος αρδευτικού δικτύου. Επαγωγικά, από την αλληλεξάρτηση αυτή προκύπτει ότι ο μελετητής όπως και ο διαχειριστής του έργου μελλοντικά, θα πρέπει να είναι σε θέση να αναλύει και να ελέγχει εμπεριστατωμένα και συνδυαστικά τις συνιστώσες αυτές, ώστε να εφαρμόσει την κατάλληλη στρατηγική και τα απαραίτητα μέτρα.

Στο **Σχήμα 3.11** παρατίθενται οι χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες του δικτύου αγωγών και οι χαρακτηριστικές καμπύλες του αντλιοστασίου (διάγραμμα $Z=f(Q)$), καθώς επίσης και δύο καμπύλες συχνότητας εμφάνισης των παροχών για ολόκληρη την καλλιεργητική περίοδο και για την περίοδο αιχμής (Bethery et al., 1981). Οι δύο τελευταίες καμπύλες εκφράζουν τη συμπεριφορά των αγροτών για τις αντίστοιχες χρονικές περιόδους.



Σχήμα 3.11: Διάγραμμα ολοκληρωμένης ανάλυσης λειτουργίας δικτύου, (Στεφοπούλου, 2013).

Στο παράδειγμα που παρουσιάζεται στο άνωθεν σχήμα, το σύστημα συμπεριφέρεται ικανοποιητικά επειδή οι παροχές που συνήθως καλούνται επιτρέπουν ένα βαθμό ικανοποίησης των συνδυασμών των ανοικτών υδροστομιών >90%, και μόνο όταν καλείται η παροχή αιχμής Q_c η ικανοποίηση μειώνεται στο επίπεδο του 50%.

Αλλά ακόμη και σε αυτή την περίπτωση, μόνο μερικά υδροστόμια θα έχουν ορισμένα προβλήματα λειτουργίας (μειωμένη παροχή/πίεση), γεγονός που στην πράξη έχει αποδειχθεί ότι δεν είναι ιδιαίτερα ενοχλητικό.

Από τα παραπάνω συνάγεται το συμπέρασμα ότι κατά την ανάλυση της λειτουργίας ενός συλλογικού αρδευτικού δικτύου υπό πίεση, η συμπεριφορά των τριών συνιστωσών του (έργο κεφαλής, δίκτυο – αγωγοί, χρήστες) δεν είναι ανεξάρτητες, αλλά χαρακτηρίζονται από υψηλό βαθμό αυτοσυσχέτισης, γεγονός που αναδεικνύει την πολυπλοκότητα της ανάλυσής τους.

3.6.9 Συμπεράσματα της ανάλυσης

Η ανάλυση των παροχών σε ένα δίκτυο σε συνδυασμό με την ανάλυση του δικτύου αγωγών και του έργου κεφαλής θα επιτρέψει να εκτιμηθεί αν υπάρχει πρόβλημα ζήτησης και σε ποιο βαθμό. Σε περίπτωση που αυτό επαληθεύεται, θα προτείνεται η ενίσχυση του συστήματος «δίκτυο – έργο κεφαλής», με βάση παραμέτρους οι τιμές των οποίων θα έχουν εκτιμηθεί με αρκετή ακρίβεια.

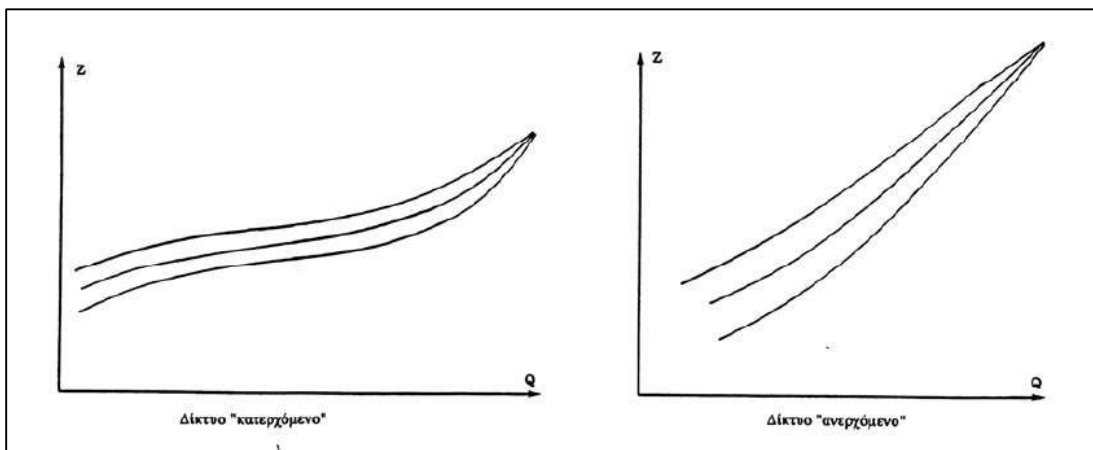
Η ανάλυση σε υφιστάμενα δίκτυα θα μας επιτρέψει την εκτίμηση των υδραυλικών παραμέτρων, όπως του συντελεστή r ή του ποσοστού άρδευσης, της

ειδικής συνεχούς παροχής κ.λπ., τη σύγκριση αυτών με τις παραμέτρους της αρχικής μελέτης και την εξαγωγή στατιστικών αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων για πιθανές αστοχίες.

Επιπροσθέτως, χρήζει ιδιαίτερης σημασίας το γεγονός ότι θα αποκτηθεί εμπειρία ώστε σε μελλοντικές μελέτες δικτύων με ομοειδή χαρακτηριστικά (είδος καλλιέργειας, συστήματα άρδευσης, συμπεριφορά χρηστών, έκταση γεωργικής ιδιοκτησίας κ.α.) να επιλέγονται με μεγαλύτερη ακρίβεια οι παράμετροι.

Όσο αφορά τις χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες, πρόκειται για ανιούσες καμπύλες, η κλίση των οποίων αυξάνει με την αύξηση των απωλειών ενέργειας. Ένας ακόμη καταλυτικός παράγοντας που τις επηρεάζει άμεσα είναι και η τοπογραφία της περιοχής.

Ειδικότερα, όταν σε ένα δίκτυο λόγω τοπογραφίας το αντλιοστάσιο βρίσκεται σε χαμηλότερο υψόμετρο του υπολοίπου δικτύου (ανερχόμενο δίκτυο), τότε οι χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες είναι ιδιαίτερα ανιούσες (**Σχήμα 3.12**). Όταν όμως το αντλιοστάσιο βρίσκεται σε μεγαλύτερο υψόμετρο του δικτύου (κατερχόμενο δίκτυο), οι καμπύλες είναι μικρότερης κλίσης, κυρίως στις μέσες παροχές, και η αιτία αυτού είναι η διαφορά υψομέτρου αντισταθμίζει ένα μέρος των απωλειών ενέργειας.



Σχήμα 3.12: Χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες σε δίκτυα διαφορετικού τοπογραφικού αναγλύφου, (Δέρκας, 2001).

Η χάραξη πολλών χαρακτηριστικών καμπυλών με δείκτες ενός δικτύου, απαιτεί πολλές προσομοιώσεις της υδραυλικής λειτουργίας του δικτύου για διάφορες παροχές και διάφορους συνδυασμούς ανοικτών υδροστομιών. Τα αποτελέσματα

αυτών των υδραυλικών προσομοιώσεων θα οδηγήσουν στον εντοπισμό αγωγών με υψηλές απώλειες, αλλά και στις πλέον απαιτητικές υδροληψίες. Η διερεύνηση αυτή θα υποδείξει αρχικά στο μελετητή αν είναι πάντα τα ίδια υδροστόμια και οι ίδιοι αγωγοί που παρουσιάζουν σοβαρό πρόβλημα. Συν τοις άλλοις, οι υποδιαστασιολογημένοι αγωγοί είναι αυτοί που παρουσιάζουν υψηλές απώλειες όταν αυξάνουν οι παροχές.

Σε αντίθετη περίπτωση, αν ένα δίκτυο είναι σωστά διαστασιολογημένο, τα υδροστόμια και οι αγωγοί που θα παρουσιάζουν πρόβλημα θα είναι κατανεμημένα σε όλη την έκτασή του. Κατά το στάδιο της μελέτης, θα διαπιστωθεί προσομοιώνοντας τη λειτουργία των υδροστομίων (δημιουργία τυχαίων συνδυασμών ανοικτών υδροστομίων) το πρόβλημα στο έργο κεφαλής και η ανάγκη ενίσχυσής του.

Επιπλέον, αν η αύξηση της παροχής έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση πολλών προβληματικών υδροστομίων και αγωγών σε δεδομένο κλάδο, τότε συνίσταται η εξέταση της δυνατότητας ενίσχυσης του συγκεκριμένου κλάδου, μέσω ενίσχυσης των αγωγών ή/και τοποθέτηση στη κεφαλή του κλάδου ενισχυτικής αντλίας (booster).

Στο σημείο αυτό πρέπει να προστεθεί ότι όταν αυξάνει η παροχή, οι αγωγοί οι οποίοι θα εμφανίσουν πρώτοι κορεσμό, είναι όσοι είχαν ταχύτητες κοντά στο ανώτερο επιτρεπτό όριο κατά τη διαδικασία της βελτιστοποίησης. Επισημαίνεται ότι οι υδροληψίες που θα παρουσιάσουν πρώτες πρόβλημα είναι αυτές που δεν διέθεταν περίσσεια πίεσης κατά τη βελτιστοποίηση.

4. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών – Ανάλυση Χωρικών Δεδομένων

4.1 Βασικές Έννοιες των ΓΣΠ

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ), τα οποία είναι διεθνώς γνωστά ως Geographical Information Systems (GIS) αποτελούν μία νέα γενιά ψηφιακών συστημάτων και τεχνολογιών, καθώς επίσης και κλάδο της επιστήμης της Γεωπληροφορικής. Με έναν απλό ορισμό, ένα ΓΣΠ μπορεί να θεωρηθεί σαν μία αποθήκη ψηφιακών χαρτών, ή ένα εργαλείο για τη λύση γεωγραφικών προβλημάτων και την εφαρμογή επεξεργασιών σε χωρικά δεδομένα, (Κόλλια, 2006). Επίσης, για τον ορισμό των GIS έχει επικρατήσει ότι είναι ένα οργανωμένο ψηφιακό σύστημα μηχανικών μερών (hardware) και λογισμικού (software), κατάλληλο για τη συλλογή, την αποθήκευση, την ενημέρωση, την επεξεργασία, την ανάλυση και την παρουσίαση όλων των τύπων των γεωγραφικών πληροφοριών, (Burrough, 1986, Maguire et al., 1991, Καλύβας, 2012).

Οι ραγδαίες εξελίξεις στον τομέα της Πληροφορικής και η ανάγκη για την αποθήκευση και διαχείριση δεδομένων που αφορούν πληροφορίες του πραγματικού κόσμου, οδήγησαν στη δημιουργία και ανάπτυξη των Συστημάτων Βάσεων Δεδομένων, τα οποία με την προσθήκη της χωρικής πληροφορίας εισήχθησαν στους επιστημονικούς τομείς της Χαρτογραφίας και της Γεωγραφίας, δημιουργώντας έτσι την επιστήμη της Γεωπληροφορικής και κατά συνέπεια τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Ως εκ τούτου, γίνεται αντιληπτή η αλληλένδετη σχέση μεταξύ των GIS και των Βάσεων Δεδομένων (ΒΔ), (Κόλλια, 2006).

Τα GIS επιτρέπουν στους χρήστες να δημιουργήσουν μία εικόνα του πραγματικού κόσμου σε ψηφιακό περιβάλλον, συλλέγοντας και συνδέοντας γεωγραφικά δεδομένα από διαφορετικές πηγές φαινομενικά ασύνδετων μεταξύ τους. Από το παρελθόν έχουν αναπτυχθεί και διαρκώς αναπτύσσονται πολλά πακέτα λογισμικών, τα οποία παρέχουν ένα σύνολο από νευραλγικά εργαλεία για τη διαχείριση και ανάλυση των γεωγραφικών δεδομένων. Επισημαίνεται ότι στα συστήματα Βάσεων Δεδομένων οι όροι δεδομένα, πληροφορίες και γνώση είναι διαφοροποιημένοι. Τα δεδομένα, αποτελούν απεικονίσεις του πραγματικού κόσμου, αντιπροσωπεύοντας τη γνώση του ανθρώπου πάνω σε αυτόν σε μια συγκεκριμένη

χρονική στιγμή, σε αντίθεση με την πληροφορία που παράγεται από τα δεδομένα με τη χρήση της διακριτικής και γνωστικής του ικανότητας, **(Εικόνα 4.1)**. Τα μετά – δεδομένα (metadata) είναι επιπρόσθετα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιούνται σε πολλές περιπτώσεις ώστε να καταστούν αντιληπτά τα δεδομένα.



Εικόνα 4.1: Από τα δεδομένα στις πληροφορίες και στη γνώση (Κάβουρας κ.α., 2015).

Η χωρική συνιστώσα είναι το χαρακτηριστικό το οποίο διαφοροποιεί τα ΓΣΠ από άλλα πληροφοριακά συστήματα, καθιστώντας τα απαραίτητα εργαλεία για την οργάνωση και παράσταση χωρικών πληροφοριών και την ανάλυση των χωρικών επιδράσεων εναλλακτικών αποφάσεων σε πολλά πεδία μελέτης, (Κόλλια, 2006). Συγκεκριμένα, έχουν ενσωματωθεί στις εργασίες πολλών επαγγελματιών και επιστημόνων, όπως γεωγράφων, μηχανικών, γεωπόνων, γεωλόγων και επαγγελματιών σε άλλους τομείς, στα στάδια της διαχείρισης και ανάλυσης των δεδομένων από οποιαδήποτε πηγή και αν προέρχονται. Στη συνέχεια παρατίθενται ορισμένα από τα πλέον συχνά πεδία εφαρμογής τους.

Χρήσεις-Εφαρμογές των GIS (Κάβουρας, 2007):

- Κτηματολόγιο
- Δίκτυα κοινής ωφέλειας
- Αυτόματη Σχεδίαση (CAD)
- Θεματική Χαρτογραφία
- Υδρογραφία
- Φωτογραμμετρία – Τηλεπισκόπηση
- Περιγραφή τοπογραφικού αναγλύφου
- Φυσικοί διαθέσιμοι πόροι
- Σχεδιασμός μεταφορών
- Αντιμετώπιση έκτακτων αναγκών
- Απογραφές – Δημογραφία

- Γεω – marketing
- Γεωτεχνική
- Αρχαιολογία
- Στρατιωτικές εφαρμογές

Αποστολή των ΓΣΠ είναι να αποτελέσουν καθοριστικούς μοχλούς στήριξης των σύγχρονων και μελλοντικών κοινωνιών στην προσπάθεια τους να πετύχουν αρμονική συμβίωση με το περιβάλλον και σημαντική βελτίωση του επιπέδου ζωής των ανθρώπων. Αποτελούν εργαλεία τεκμηρίωσης απέναντι σε αυθαίρετες αποφάσεις και όχι απλά τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα της λήψης αποφάσεων, με φάσμα εφαρμογής σχεδόν το σύνολο των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, (Μανιάτης, 1996).

4.2 Τα επιμέρους στοιχεία των ΓΣΠ

Η σωστή λειτουργία ενός Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών άμεσα εξαρτάται από τα βασικά συστατικά του. Τα συστατικά αυτά έχουν ως ακολούθως και παρουσιάζονται στο **Σχήμα 4.1** σχηματικά, σύμφωνα με τους Κάβουρα και συνεργάτες (2015):

- Το υπολογιστικό σύστημα, που πρακτικά σημαίνει όλος ο μηχανικός εξοπλισμός (hardware) και το λειτουργικό του σύστημα (operating system),
- το λογισμικό (software),
- τα χωρικά δεδομένα,
- τις διαδικασίες ανάλυσης και διαχείρισης των δεδομένων,
- τους χρήστες, δηλαδή το ανθρώπινο δυναμικό που απασχολείται.



Σχήμα 4.1: Συστατικά στοιχεία ενός ΣΓΠ, (Κάβουρας κ.α., 2015).

Τα γεωγραφικά δεδομένα εμφανίζονται σε πολλές και διαφορετικές μορφές. Μπορεί να είναι είτε φυσικά δεδομένα, όπως οι εδαφολογικές ή οι κλιματικές συνθήκες, είτε να έχουν συλλεχθεί από συσκευές όπως τα GPS ή οι ηλεκτρονικοί αισθητήρες, είτε να προέρχονται από χάρτες, σχεδιαγράμματα, ερωτηματολόγια ή βιβλία, ακόμη και να είναι επεξεργασμένα δεδομένα από Remote Sensing (RS), (Κόλλια, 2006). Σε αρκετές περιπτώσεις συναντώνται σε υφιστάμενες ΒΔ και είναι διαθέσιμα προς τους πολίτες, (geodata.gov).

4.3 Χωρικά Δεδομένα και Μοντέλα Δεδομένων

Τα γεωγραφικά δεδομένα ή χωρικά (spatial data), συσχετίζονται με μια σειρά από περιγραφικά δεδομένα. Η χαρακτηριστική δυνατότητα που παρέχουν τα GIS έγκειται στη σύνδεση της χωρικής με την περιγραφική πληροφορία, διότι η τελευταία δεν έχει από μόνη της χωρική υπόσταση. Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την λειτουργία αυτή βασίζεται στα κάτωθι μοντέλα δεδομένων, (Wikipedia.org):

- Στο σχεσιακό (relational) μοντέλο δεδομένων, όπου τα περιγραφικά δεδομένα πινακοποιούνται χωριστά και αργότερα συσχετίζονται με τα

χωρικά δεδομένα μέσω κάποιων μοναδικών τιμών που είναι κοινές και στα δύο είδη δεδομένων.

- Στο αντικειμενοστραφές (object – oriented) μοντέλο δεδομένων, όπου τα χωρικά και τα περιγραφικά δεδομένα συγχωνεύονται σε αντικείμενα, τα οποία μπορεί να μοντελοποιούν κάποια αντικείμενα με φυσική υπόσταση (π.χ. κατηγορία = "δρόμος", όνομα = "Πανεπιστημίου", γεωμετρία = "[X1,Y1],[X2,Y2]...", πλάτος = "20μέτρα").

Το Σχεσιακό Μοντέλο Δεδομένων: Η σχεσιακή δομή δεδομένων περιγράφεται από πίνακες οι οποίοι καλούνται σχέσεις. Κάθε σχέση αποτελείται από ένα σύνολο γραμμών οι οποίες ονομάζονται πλειάδες ή εγγραφές. Κάθε εγγραφή είναι μοναδική και η σειρά τοποθέτησης τους δεν είναι ρητά καθορισμένη. Οι στήλες κάθε σχέσης ονομάζονται γνωρίσματα (attributes) ή πεδία (fields). Η τομή κάθε στήλης και γραμμής ενός πίνακα αποτελεί την τιμή του πεδίου ή το χαρακτηριστικό του.

Σε κάθε σχέση υπάρχει μία μοναδική ταυτότητα των εγγραφών η οποία μπορεί να είναι μία ιδιότητα ή ένας συνδυασμός ιδιοτήτων. Η ταυτότητα αυτή καλείται κλειδί (key) και στο σχεσιακό μοντέλο υπάρχουν τριών ειδών κλειδιά, (Χαλκιάς, 2006):

- Το υποψήφιο κλειδί (candidate key): κάθε γνώρισμα ή συνδυασμός γνωρισμάτων που ταυτοποιεί τις εγγραφές μιας σχέσης.
- Το πρωτεύον κλειδί (primary key): είναι το υποψήφιο κλειδί που επιλέγεται για την ταυτοποίηση των εγγραφών μιας σχέσης.
- Το ξένο κλειδί (foreign key): κάθε κλειδί μιας σχέσης που έχει το ίδιο πεδίο ορισμού με το κλειδί μιας άλλης σχέσης.

Το Αντικειμενοστραφές Μοντέλο Δεδομένων: Σε αντίθεση με το σχεσιακό μοντέλο, για την αντικειμενοστραφή δομή δεδομένων δεν υφίσταται κάποια συγκεκριμένη τυποποίηση. Ωστόσο, η δομή αυτή μπορεί να αναλυθεί με τους παρακάτω όρους, (Χαλκιάς, 2006):

- Ταυτότητα αντικειμένου: είναι μοναδική και υλοποιείται από το σύστημα μέσω ενός μοναδικού αναγνωριστικού αντικειμένου. Στη δομή αυτή τα αναγνωριστικά αντικειμένου είναι αμετάβλητα.
- Τιμές ή καταστάσεις: αναφέρονται στα σύνθετα αντικείμενα και μπορούν να κατασκευάζονται από άλλα αντικείμενα με τη χρήση των τελεστών κατασκευής τύπων.

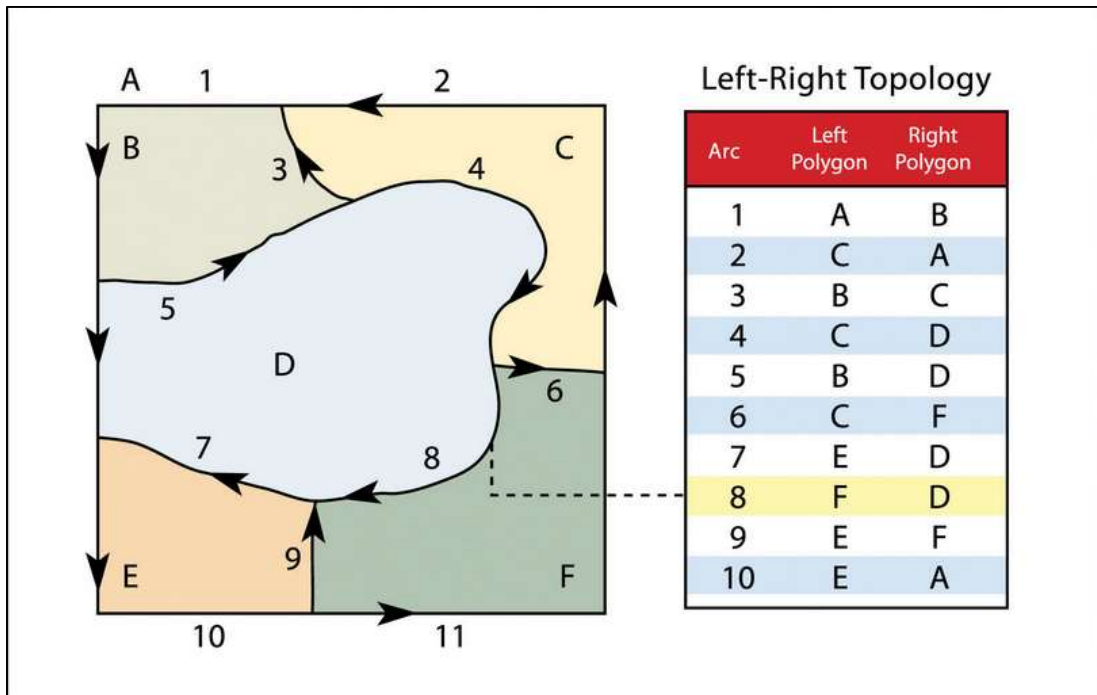
4.4 Οπτικοποίηση των Χωρικών Δεδομένων

Τα γεωμετρικά δεδομένα που εισάγονται σε ΓΣΠ, βοηθούν στην ανάπτυξη μίας εικόνας της γήινης επιφάνειας. Υπάρχουν δύο θεωρήσεις ή μοντέλα για την περιγραφή της γήινης επιφάνειας. Το πρώτο μοντέλο, ονομάζεται μοντέλο πεδίων (field – based approach) και θεωρεί τη γήινη επιφάνεια ως ένα χωρικό συνεχές και ομογενές μέσο. Το δεύτερο μοντέλο ονομάζεται μοντέλο αντικειμένων (object – oriented) και θεωρεί ότι ο γεωγραφικός χώρος αποτελείται από στοιχεία (features) ή αντικείμενα (objects) τα οποία έχουν γεωμετρική θέση και σχήμα.

Για την υλοποίηση των θεωρήσεων αυτών έχουν καθιερωθεί δύο γεωμετρικές δομές δεδομένων, η διανυσματική (vector) και η κανονικοποιημένη ή ψηφιδωτή (raster) αντίστοιχα. Η διαφορά στην απεικόνιση του πραγματικού κόσμου ανάλογα με τη δομή των δεδομένων και το μοντέλο το οποίο ακολουθούν αναλύεται ως εξής:

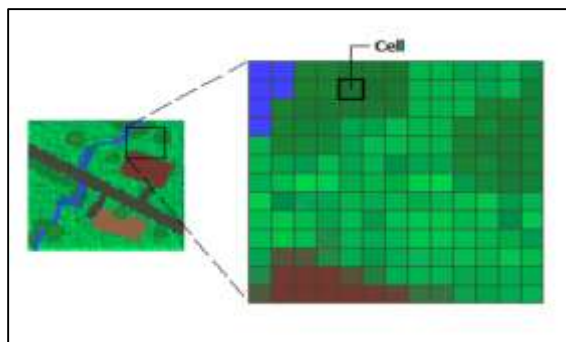
Α. Διανυσματική δομή δεδομένων: Στη διανυσματική δομή δεδομένων (vector data structure) (Εικόνα 4.2) η βασική λογική μονάδα αντιστοιχεί σε μία γραμμή η οποία μπορεί να αναπαριστά μια ισούψή καμπύλη, ένα ποταμό, ένα δρόμο, το όριο μιας επιφάνειας ή ένα γραμμικό τμήμα των παραπάνω. Ένα διανυσματικό σύστημα, απεικονίζει τα δεδομένα ως σύνολα χωρικών προτύπων. Στα δισδιάστατα μοντέλα τα χωρικά πρότυπα είναι σημεία, γραμμές και πολύγωνα, ενώ στα τρισδιάστατα χρησιμοποιούνται επιπλέον οι επιφάνειες και οι όγκοι. Τα χωρικά πρότυπα που χρησιμοποιούνται κάθε φορά εξαρτώνται από την κλίμακα παρατήρησης ή το επίπεδο γενίκευσης. Σε μικρή κλίμακα, οι πόλεις επί παραδείγματι αναπαρίστανται από σημεία, ενώ οι δρόμοι αναπαρίστανται από γραμμές. Ωστόσο, καθώς αυξάνεται η κλίμακα παρατήρησης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η επιφανειακή διάσταση των οντοτήτων, (Κόλλια, 2006).

Οι γραμμές ή τα τόξα είναι σειρές διατεταγμένων σημείων των οποίων καταγράφονται οι συντεταγμένες. Οι επιφάνειες ή τα πολύγωνα αποθηκεύονται επίσης ως διατεταγμένες σειρές σημείων, παρά το γεγονός ότι το αρχικό και τελικό σημείο ταυτίζονται ώστε να ορίζεται ένα κλειστό σχήμα. Τα σημεία σε μια διανυσματική δομή δεδομένων περιγράφονται ως γραμμές μηδενικού μήκους.



Εικόνα 4.2: Παράδειγμα διανυσματικής δομής δεδομένων (vector data structure) πολυγώνων και της σχετικής τοπολογίας τους, (lardbucket.org).

Β. Κανονικοποιημένη δομή δεδομένων: Η κανονικοποιημένη/πλεγματική δομή δεδομένων (raster data structure) (Εικόνα 4.3) αντιλαμβάνεται το χώρο ως μωσαϊκή διαίρεση κυψελίδων – ψηφίδων (tessellation of cells), δηλαδή τοποθετεί και αποθηκεύει τα δεδομένα χρησιμοποιώντας ένα πίνακα ή ένα κানাβο κυψελίδων. Όταν γίνεται αναφορά σε ένα φατνίο/ κυψελίδα, συνήθως είναι άμεσα συνυφασμένο με τον όρο εικονοστοιχείο (pixel). Η ψηφιδωτή δομή δεδομένων χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου το χωρικό φαινόμενο το οποίο αποτυπώνεται χαρακτηρίζεται ως συνεχής μεταβλητή (π.χ. το υψόμετρο του εδάφους) ή σε περιπτώσεις που στο ΓΣΠ πρέπει να εισαχθεί μία δορυφορική εικόνα ή μία σαρωμένη αεροφωτογραφία.



Εικόνα 4.3: Παράδειγμα της πλεγματικής/ κανονικοποιημένης δομής δεδομένων (raster data structure), (desktop.arcgis.com).

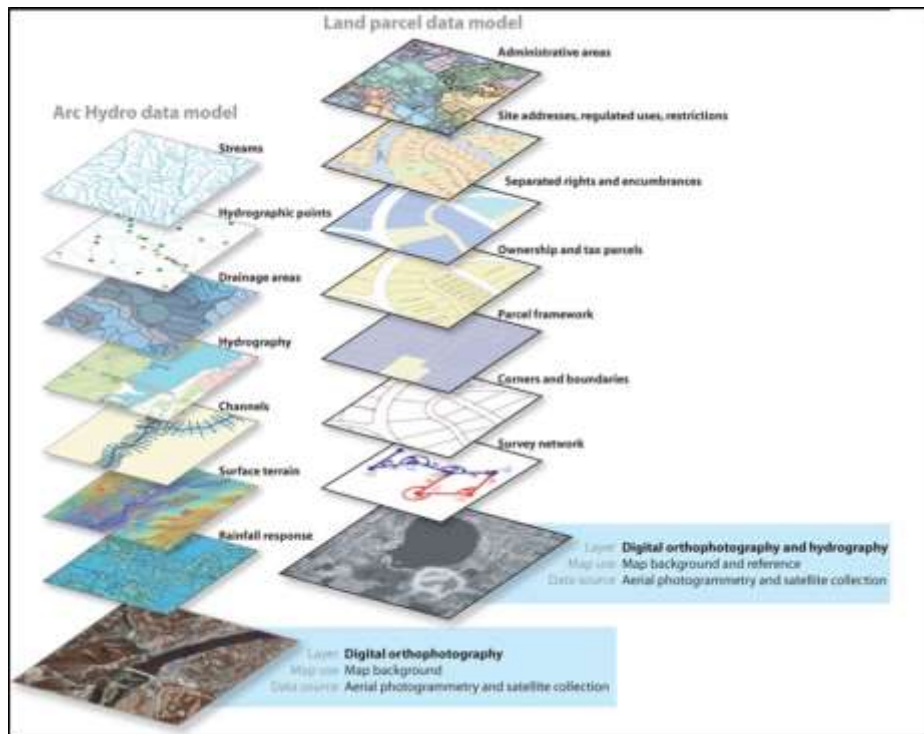
Οι δύο δομές διαχειρίζονται γεωμετρική πληροφορία, η οποία αναφέρεται στις μετρητικές (metrics) και στις τοπολογικές (topology) ιδιότητες των στοιχείων.

Οι μετρητικές ιδιότητες αναφέρονται στη θέση, τον προσανατολισμό, το σχήμα και το μέγεθος των γεωμετρικών στοιχείων, (Κάβουρας, 2007). Συγκεκριμένα ισχύουν τα παρακάτω:

- Η θέση και ο προσανατολισμός εκφράζονται σε σχέση με κάποιο σύστημα αναφοράς. Η θέση κάθε σημείου προσδιορίζεται από ένα ζεύγος συντεταγμένων, ενώ ο προσανατολισμός των πλευρών δίνεται από τη γωνία που σχηματίζουν με τον άξονα συντεταγμένων.
- Το σχήμα και το μέγεθος των γεωμετρικών στοιχείων εκφράζονται ανεξάρτητα από το σύστημα συντεταγμένων. Οι μετρήσεις αυτές προκύπτουν από το μήκος των πλευρών των γεωμετρικών στοιχείων και από τις γωνίες που σχηματίζουν οι πλευρές μεταξύ τους. Επομένως, η πληροφορία αυτή παραμένει αμετάβλητη μετά από οποιοδήποτε μετασχηματισμό του συστήματος συντεταγμένων που διατηρεί σταθερή την κλίμακα και τη γωνία μεταξύ των αξόνων.

Οι τοπολογικές σχέσεις ορίζονται ανεξάρτητα από τη θέση, τον προσανατολισμό, το σχήμα και το μέγεθος των αντικειμένων. Επομένως, παραμένουν αμετάβλητες κάτω από οποιοδήποτε μετασχηματισμό του συστήματος συντεταγμένων. Επιπρόσθετα, αναφέρεται ότι οι τοπολογικές σχέσεις παραμένουν αμετάβλητες και κάτω από παραμορφώσεις όπως στροφή, μετάθεση και αλλαγή της κλίμακας.

Οργάνωση της Χωρικής Πληροφορίας: Τα δεδομένα ανεξάρτητα της δομής τους και της πηγής τους σε ένα GIS συχνά οργανώνονται σε πληροφοριακά θεματικά επίπεδα (layers) τα οποία έχουν κοινή χωρική αναφορά (Χαλκιάς, 2015). Το καθένα από αυτά τα επίπεδα περιλαμβάνει είτε δεδομένα στην αρχική τους μορφή (π.χ. τοπογραφικές μετρήσεις), είτε επεξεργασμένες θεματικές πληροφορίες (π.χ. ποτάμια, υδατορεύματα, οικισμοί, δρόμοι κα), όπως φαίνεται και στο παράδειγμα της **Εικόνας 4.4** παρακάτω.



Εικόνα 4.4: Παραδείγματα χρήσης διανυσματικών και πλεγματικών Θ.Ε. (layers) χωρικών δεδομένων υδρολογίας και γεωτεμαχίων, (esri.com).

Κύριο χαρακτηριστικό σε αυτή τη λογική των επιπέδων είναι η ύπαρξη ενός κοινού συστήματος αναφοράς (Reference System), ώστε να καθίσταται δυνατή η συνδυαστική αξιοποίηση τους ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη. Στα σύγχρονα λογισμικά ΓΣΠ υπάρχει η δυνατότητα επιλογής του συστήματος αναφοράς και της χαρτογραφικής προβολής (Map Projection) μέσα από ευρεία γκάμα, η οποία εξυπηρετεί περίπου το σύνολο των επικρατέστερων από τα παραπάνω ανά περιοχή ή κράτος.

4.5 Βάσεις Γεωγραφικών Δεδομένων

Μία βάση δεδομένων (ΒΔ) μπορεί να ορισθεί ως μία οργανωμένη συλλογή συσχετιζόμενων δεδομένων. Ειδικότερα, μία βάση δεδομένων ονομάζεται βάση γεωγραφικών δεδομένων (ΒΓΔ) όταν τα κύρια δεδομένα της συνδέονται με μια συγκεκριμένη θέση στον γεωγραφικό χώρο μέσω ενός συστήματος συντεταγμένων. Για παράδειγμα, τα δεδομένα μίας βάσης μπορεί να σχετίζονται με την περιγραφή κάποιας γεωγραφικής περιοχής ή ενός γεωγραφικού φαινομένου. Τα τελευταία χρόνια, ο όγκος και η πολυπλοκότητα των ΒΓΔ αυξάνονται με ραγδαίο ρυθμό,

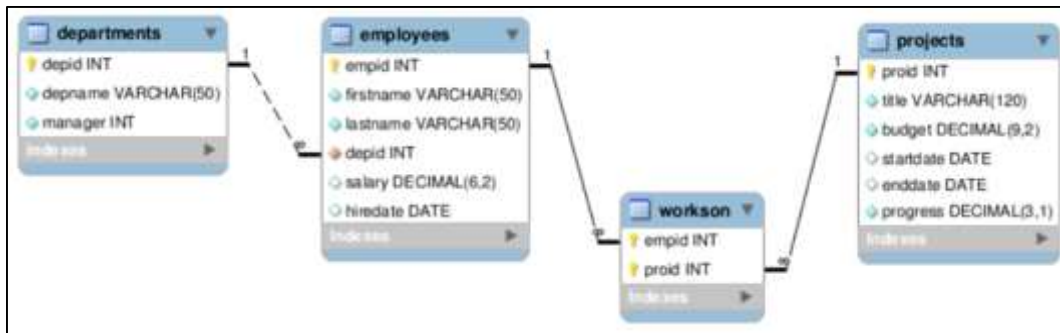
ακολουθώντας τις τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα των ΣΓΠ και ειδικότερα της συλλογής γεωγραφικών δεδομένων, (Κάβουρας και συνεργάτες, 2015).

Το περιβάλλον των ΒΔ ονομάζεται Data Base Management System (DBMS) και πρόκειται για μια συλλογή αρχείων δεδομένων, τα περιεχόμενα των οποίων αλληλεξαρτώνται και αλληλοσυμπληρώνονται συνθέτοντας το σύνολο του πληροφοριακού περιεχομένου του συστήματος. Το πληροφοριακό περιεχόμενο, η δομή και η πρόσβαση στα δεδομένα βρίσκονται κάτω από τον έλεγχο του λογισμικού που λειτουργεί την βάση των δεδομένων. Το λογισμικό αυτό λειτουργεί ένα επίπεδο υψηλότερα από το λειτουργικό σύστημα του υπολογιστή και αποκρύπτει τις λεπτομέρειες του δεύτερου από τον χρήστη του DBMS. Περιλαμβάνει υποσυστήματα καταχώρησης, ενημέρωσης και ανάκλησης δεδομένων, (Silberschatz et al, 2002).

Η λειτουργική αίσθηση που δίνει το DBMS στον χρήστη και στον προγραμματιστή χαρακτηρίζεται από:

- Ανεξαρτησία από συγκεκριμένη γλώσσα προγραμματισμού.
- Φυσική ανεξαρτησία των δεδομένων: αλλαγές στον τρόπο με τον οποίο τα δεδομένα καταχωρούνται στον δίσκο δεν πρέπει να επηρεάζουν τον κώδικα που τα επεξεργάζεται.
- Διακρίνεται η υποστήριξη δύο τύπων μοντέλου καταχώρησης της πληροφορίας: α) το λογικό μοντέλο και β) το φυσικό μοντέλο.

Το λογικό μοντέλο: Το λογικό μοντέλο συνιστά μία όχι πραγματική εικόνα που υποστηρίζεται, όσο αφορά την οργάνωση της πληροφορίας, με στόχο τη διευκόλυνση της επεξεργασίας αυτής και τη φιλικότητα επικοινωνίας με το χρήστη. Τα δεδομένα παρουσιάζονται στο χρήστη και τον προγραμματιστή με τον τρόπο που τους εξυπηρετεί, ώστε να λειτουργούν εύκολα στο περιβάλλον της ΒΔ. Το σχεσιακό μοντέλο DBMS (RDBMS) αποτελεί ένα σύνηθες παράδειγμα, όπου όλα τα δεδομένα παρουσιάζονται να είναι καταχωρημένα υπό μορφή πινάκων, (**Εικόνα 4.5**).



Εικόνα 4.5: Παράδειγμα εφαρμογής σχεσιακού μοντέλου RDBMS με τα δεδομένα καταχωρημένα σε πίνακες και οι μεταξύ τους σχέσεις (w3resource.com).

Το φυσικό μοντέλο: Το μοντέλο αυτό βρίσκεται πλησιέστερα στον πραγματικό τρόπο με τον οποίο είναι καταχωρημένα τα δεδομένα στη περιφερειακή μνήμη. Σε πολλές περιπτώσεις είναι προσαρμοσμένο ώστε να εκμεταλλεύεται τις δυνατότητες του συγκεκριμένου υπολογιστή που χρησιμοποιείται. Επιπλέον, είναι πιο κατανοητό για τον χρήστη ο οποίος αντιλαμβάνεται και λειτουργεί μόνο το λογικό μοντέλο του DBMS.

4.6 Συστήματα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων (Data Base Management System)

Για τη δημιουργία και τη διαχείριση ΒΔ, έχουν αναπτυχθεί ειδικές εφαρμογές λογισμικού που ονομάζονται συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων (ΣΔΒΔ). Τα ΣΔΒΔ εξασφαλίζουν την αποτελεσματική και οργανωμένη αποθήκευση, τη συνεκτικότητα καθώς και την εύκολη και ελεγχόμενη προσπέλαση δεδομένων. Οι συνηθέστερες λειτουργίες που παρέχει ένα ΣΔΒΔ επιγραμματικά έχουν ως εξής, (Κάβουρας και συνεργάτες, 2015):

- Λειτουργίες ή εργαλεία για τη μαζική εισαγωγή δεδομένων στη βάση. Σε ορισμένες περιπτώσεις απαιτείται να προηγηθεί μετατροπή των δεδομένων προς εισαγωγή σε μορφή συμβατή προς το ΣΔΒΔ.
- Γλώσσα ερωτημάτων για την υποβολή ερωτημάτων/εντολών προς τη ΒΔ. Συνήθως, τα περισσότερα ΣΔΒΔ υποστηρίζουν τη δομημένη γλώσσα ερωτημάτων SQL (Structured Query Language).
- Μηχανισμοί δεικτοδότησης για την επιτάχυνση της διαδικασίας αναζήτησης στη ΒΔ.

- Μηχανισμός ασφαλείας για την ελεγχόμενη πρόσβαση στα δεδομένα.
- Μηχανισμός ανάκτησης δεδομένων σε περίπτωση βλάβης του συστήματος.
- Ειδικά εργαλεία για εύκολη/καθοδηγούμενη δημιουργία και ενημέρωση των δεδομένων.
- Ειδικά εργαλεία για τη δημιουργία διεπαφών (interfaces) προσπέλασης, παρουσίασης και εκτύπωσης δεδομένων και πληροφοριών.

4.6.1 Βάσεις Γεωγραφικών Δεδομένων – Γεωβάσεις

Οι ΒΓΔ σχεδιάζονται, δημιουργούνται και συντηρούνται με τρόπο ώστε να μπορούν να στηρίζουν τις διαδικασίες ανάλυσης, εξαγωγής συμπερασμάτων και λήψης αποφάσεων που συντελούνται στο πλαίσιο των GIS. Τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν σε σχέση με τα απλά αρχεία δεδομένων διαρθρώνονται ως εξής:

- εφαρμογή ενός αποτελεσματικότερου τρόπου οργάνωσης των δεδομένων, αποφεύγοντας την αποθήκευση περιττών πληροφοριών,
- γρηγορότερη και ευκολότερη ενημέρωση και αναζήτηση δεδομένων,
- ταυτόχρονη προσπέλαση της ίδιας ΒΓΔ από πολλούς χρήστες, εξοικονομώντας χρόνο και διευκολύνοντας τη διαχείριση των δεδομένων,
- ανάπτυξη GIS ανεξάρτητα από τη ΒΓΔ, χρήση της ίδιας ΒΓΔ από πολλά και διαφορετικά GIS.

Ο σχεδιασμός μιας ΒΓΔ περιλαμβάνει τρία βασικά στάδια μοντελοποίησης, τα οποία και θα αναλυθούν παρακάτω σε πέντε συνιστώσες. Τα στάδια αυτά είναι (Κάβουρας και συνεργάτες, 2015):

- i. το εννοιολογικό,
- ii. το λογικό και
- iii. το φυσικό.

Οι συνιστώσες σχεδιασμού διαμορφώνονται ως εξής:

- **Ορισμός υποσυνόλου ενδιαφέροντος του πραγματικού κόσμου:** Το βήμα αυτό συνίσταται στην καταγραφή των απαιτήσεων του ή των GIS που θα προσπελαίνουν τη ΒΓΔ. Περιλαμβάνει τον καθορισμό του σκοπού, των

χρηστών, των λειτουργιών που θα υποστηρίζονται, των δεδομένων που θα εμπλέκονται, κλπ.

- **Καθορισμός των οντοτήτων και των αναμεταξύ τους συσχετίσεων:** Αφορά τον καθορισμό των οντοτήτων που συμμετέχουν στο υποσύνολο του πραγματικού κόσμου που περιγράφηκε προηγουμένως, καθώς και ο τρόπος με τον οποίο συσχετίζονται. Επαγωγικά χρησιμοποιούνται διαγράμματα οντοτήτων – συσχετίσεων (entity – relationship diagrams), τα βασικά συστατικά των οποίων είναι:

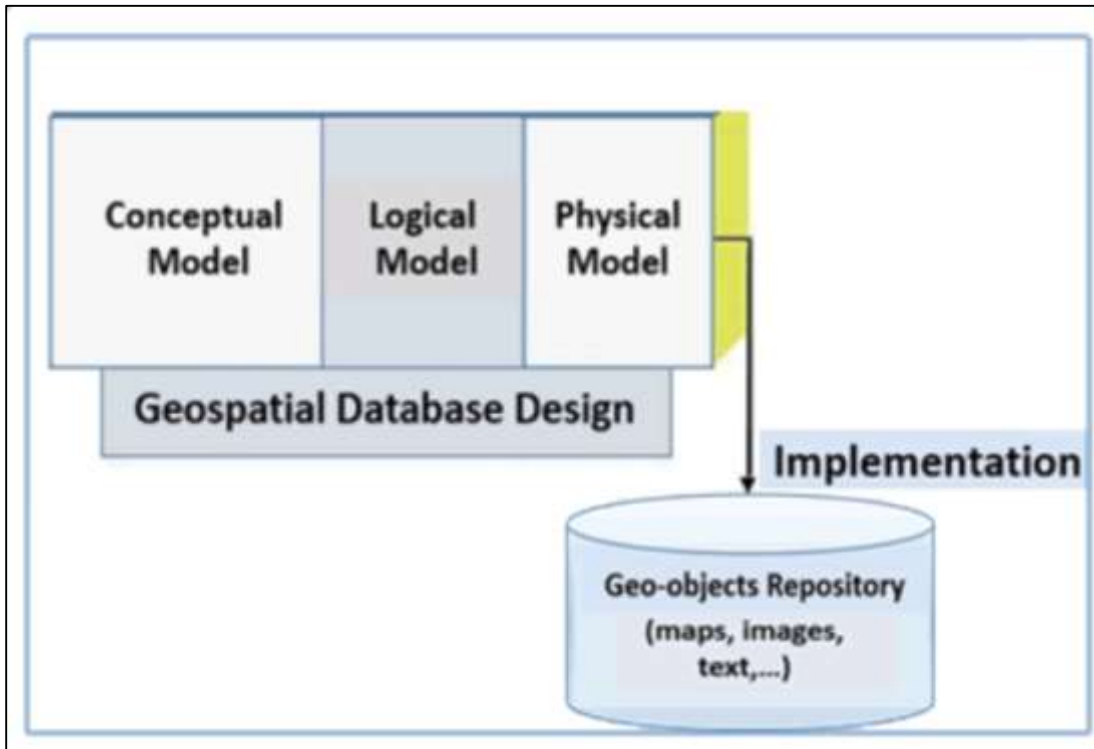
- 1) οι οντότητες και οι κατηγορίες οντοτήτων,
- 2) οι αναμεταξύ τους συσχετίσεις και
- 3) τα χαρακτηριστικά των οντοτήτων και των συσχετίσεων.

Μια οντότητα μπορεί να είναι ένα πρόσωπο, ένα φαινόμενο, ένα συμβάν, ένας χώρος, κλπ. Μπορεί να έχει φυσική υπόσταση, ή μπορεί να είναι αφηρημένη, όπως μία επαγγελματική δραστηριότητα, μία αγορά, κ.α. Μια συσχέτιση περιγράφεται από έναν βαθμό που ορίζει τον αριθμό των εμπλεκόμενων οντοτήτων και ενδεχομένως από χαρακτηριστικά.

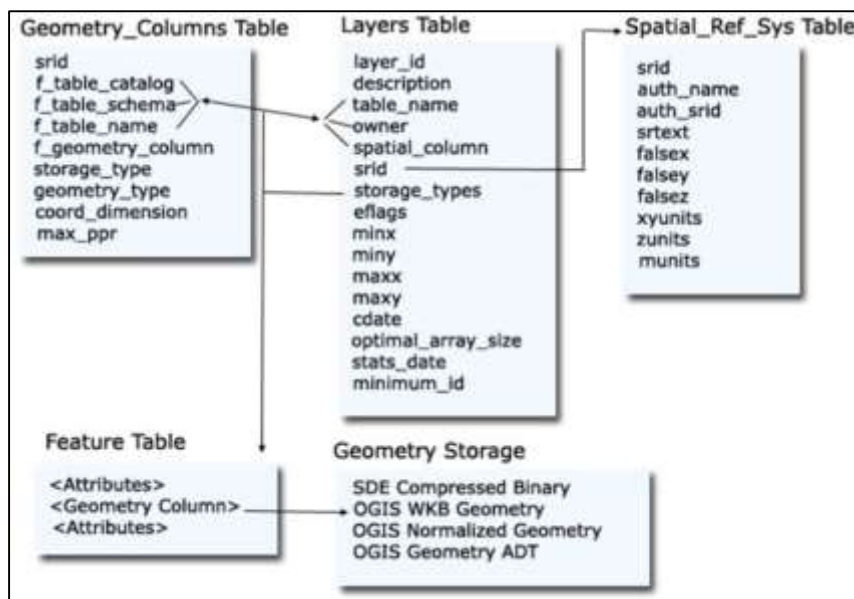
- **Επιλογή του ΣΔΒΔ που θα χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία της ΒΓΔ:** Η επιλογή του ΣΔΒΔ περιλαμβάνει την επιλογή του είδους των ΣΔΒΔ (σχεσιακό, αντικειμενοστραφές, αντικειμενοσχεσιακό) και της συγκεκριμένης εφαρμογής λογισμικού που θα χρησιμοποιηθεί. Το βήμα αυτό είναι απόλυτα κρίσιμο διότι θα επηρεάσει άμεσα τον τρόπο σχεδιασμού της ΒΓΔ.
- **Σχεδίαση του λογικού μοντέλου:** Η σχεδίαση του λογικού μοντέλου βασίζεται άμεσα στο εννοιολογικό μοντέλο. Ουσιαστικά μεταφέρεται το διάγραμμα οντοτήτων – συσχετίσεων σε όρους του μοντέλου που υποστηρίζεται από το επιλεγμένο DBMS.
- **Σχεδίαση του φυσικού μοντέλου:** Το βήμα αυτό αφορά στη σχεδίαση του φυσικού μοντέλου. Πραγματοποιείται με το λογισμικό που παρέχεται από το επιλεγμένο DBMS, το οποίο συνήθως συνιστά ενδεχομένως μία πιο σύνθετη μορφή της SQL με χωρικούς τύπους δεδομένων και συναρτήσεις υποστήριξης χωρικών ερωτημάτων

Τα στάδια μοντελοποίησης του σχεδιασμού των ΒΓΔ αναπαρίστανται σχηματικά και στο **Σχήμα 4.2** που ακολουθεί. Επίσης, η διαχείριση της πληροφορίας μέσα από

3 DBMS υπό μορφή πινάκων, όπως ο πίνακας με στήλες γεωμετρίας, τα θεματικά επίπεδα (layers), καθώς και το σύστημα χωρικής συσχέτισης πινακοποιημένο, συνθέτουν μία πλήρη ΒΓΔ και οπτικοποιείται από το **Σχήμα 4.3**.



Σχήμα 4.2: Υλοποίηση σχεδιασμού Γεωβάσης σύμφωνα με τα τρία στάδια μοντελοποίησης (www.omicsonline.org, 2017).



Σχήμα 4.3: Σχηματική διάρθρωση μίας Γεωβάσης με τα DBMS που περιλαμβάνει (arcgis.com).

5. Σχεδιασμός Συλλογικού Αρδευτικού Δικτύου Υπό Πίεση χρησιμοποιώντας την εκροή από Βιολογικό Καθαρισμό – Εφαρμογή στην νήσο Τήνο

5.1 Επισκόπηση της Περιοχής Μελέτης – Υπάρχουσα Κατάσταση

Η περιοχή στην οποία πρόκειται να σχεδιαστεί το συλλογικό αρδευτικό δίκτυο έχοντας ως κεφαλή μονάδα βιολογικού καθαρισμού εντοπίζεται στην νήσο Τήνο και συγκεκριμένα στην περιοχή Πάνορμος, μόλις 2 χιλιόμετρα από το ιστορικό χωριό Πύργος. Ο Πύργος αποτελεί έναν παραδοσιακό οικισμό της τεως «Ιστορικής Κοινότητας Πανόρμου» και νυν Δήμου Τήνου, ο οποίος συστάθηκε με το πρόγραμμα «Καλλικράτης» την 1η Ιανουαρίου του 2011, με την συνένωση διάφορων κοινοτήτων και δήμων. Στην ευρύτερη περιοχή υφίστανται οι οικισμοί Πάνορμος, Μαρλάς και Πλατειά. Βρίσκεται στο Βορειοδυτικό τμήμα του νησιού, 23 χιλιόμετρα από την πόλη της Τήνου.

Στην **Εικόνα 5.1** διακρίνεται στον χάρτη η περιοχή του Πανόρμου η οποία αποτελεί και την περιοχή μελέτης και οι κοντινοί οικισμοί.



Εικόνα 5.1 Άποψη της νήσου Τήνου στην οποία διακρίνεται η περιοχή μελέτης

Στην **Εικόνα 5.2** διακρίνεται ο παραθαλάσσιος οικισμός του Πανόρμου όπου στο βάθος βρίσκεται η περιοχή μελέτης



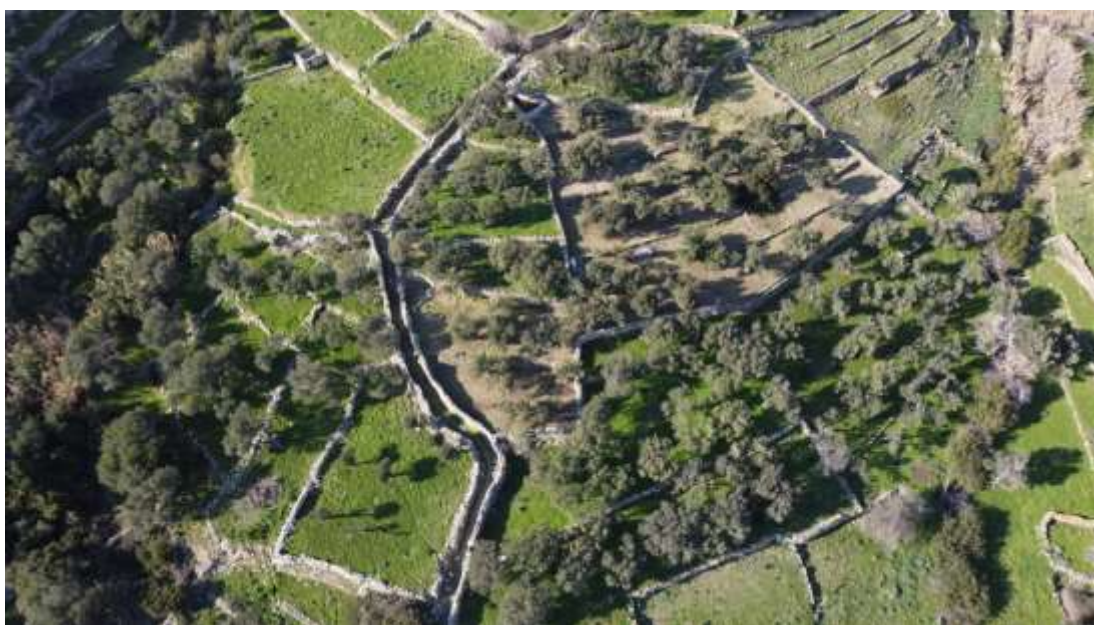
Εικόνα 5.2 Ο παραθαλάσσιος οικισμός του Πανόρμου. Με το κόκκινο βέλος σημειώνεται η περιοχή της μελέτης

Στην περιοχή μελέτης, το ανάγλυφο χαρακτηρίζεται ως πεδινό και το μέσο υψόμετρο υπολογίζεται στα +50 μέτρα. Στην έκταση του υπό μελέτη αρδευτικού έργου το ελάχιστο υψόμετρο υπολογίζεται +4 μέτρα, ενώ το μέγιστο στα +58 μέτρα κατά προσέγγιση. Το έδαφος είναι επικλινές με έντονη την παρουσία των αναβαθμίδων (λεπτομερής αναφορά στη συνέχεια). Η υπό μελέτη περιοχή αντιμετωπίζεται ως ενιαία με ουσιαστικό φυσικό όριο την επαρχιακή οδό του Πανόρμου και ένα ρέμα μικρών διαστάσεων (**Εικόνα 5.3**)



Εικόνα 5.3 Αποψη της περιοχής μελέτης. Διακρίνεται το ρέμα και η επαρχιακή οδός. Στο βάθος ο οικισμός του Πανόρμου

Η γεωργία στην περιοχή μελέτης περιορίζεται σε καλλιέργειες ανθεκτικές στους έντονους υφάλμυρους ανέμους. Η ελαιοκαλλιέργεια ευδοκμεί στην περιοχή διότι ευνοείται από το Μεσογειακού τύπου κλίμα, το οποίο είναι ζεστό, ξηρό με μέτριες βροχοπτώσεις και έντονη ηλιοφάνεια. Στην περιοχή του Πανόρμου συγκεκριμένα με τις πολυάριθμες αναβαθμίδες, η ελαιοκαλλιέργεια αποτελεί την κύρια καλλιέργεια εδώ και εκατοντάδες χρόνια η οποία όμως συνεχώς εγκαταλείπεται λόγω της αλλαγής του τρόπου ζωής και της έντονης αστικοποίησης (**Εικόνα 5.4**).



Εικόνα 5.4 Παραδοσιακός Ελαιώνας καλλιεργούμενος σε αναβαθμίδες στην περιοχή του Πανόρμου

Επισημαίνεται ότι δεν υφίσταται συλλογικό αρδευτικό δίκτυο στην περιοχή και γενικότερα άλλα έργα εγγείων βελτιώσεων εκτός από μια μονάδα επεξεργασίας αστικών λυμάτων (θα αναλυθεί σε ξεχωριστή ενότητα). Η άρδευση των καλλιεργειών πραγματοποιείται από έναν περιορισμένο αριθμό φυσικών πηγών ενώ στο πεδινό τμήμα της περιοχής ευρίσκονται και ορισμένες γεωτρήσεις. Οι εποχικές διακυμάνσεις των βροχοπτώσεων και η γενικότερη έλλειψη διαθέσιμων υδατικών πόρων στην περιοχή του Πανόρμου περιορίζει σημαντικά την δυνατότητα άρδευσης των καλλιεργειών και συνεπώς την δυνατότητα ανάπτυξης της γεωργίας στην ευρύτερη περιοχή.

5.1.1 Οι αναβαθμίδες και η σημασία τους για την περιοχή της μελέτης

Οι αναβαθμίδες αποτελούν κύριο χαρακτηριστικό της ευρύτερης περιοχής μελέτης και συνεπώς σκόπιμη κρίνεται η αναφορά σε αυτές.

Ο ακριβής ορισμός ορίζει ως αναβαθμίδες τις σχετικά επίπεδες εκτάσεις που δημιουργούνται σε επικλινείς εκτάσεις με κατασκευή τοιχοποιίας που στηρίζει το επίπεδο έδαφος (παρόμοια κατασκευή είναι τα αυλάκια καλλιέργειας, και αυτά παράλληλα με τις ισοϋψείς, αλλά χωρίς υποστηρικτικό τοίχο). Η κατασκευή τους γίνεται με εκσκαφή του εδάφους πάνω από το σημείο που θα κατασκευαστεί η αναβαθμίδα και κατασκευή τραπεζοειδούς τοίχου αντιστήριξης. **(Εικόνα 5.5).**



Εικόνα 5.5. Αναβαθμίδες στην περιοχή του Πανόρμου Τήνου

Οι κατασκευές αυτές είναι αναπόσπαστα στοιχεία των κατά τόπους και εποχή διαχειριστικών συστημάτων, καθώς αν δεν εξυπηρετούσαν λειτουργικούς σκοπούς δεν θα κατασκευάζονταν. Αποτελούν χαρακτηριστικό του «παραδοσιακού» Ελληνικού αγροτικού τοπίου. Στη Μεσόγειο οι αναβαθμίδες και η καλλιέργεια σε αναβαθμίδες αφορά κυρίως σιτηρά, αμπελώνες και δενδρώνες και σπανιότερα σε καλλιέργεια κηπευτικών και άρδευση (Γάσπαρης 1997, Grove and Rackham 2002).

Όσον αφορά στον ρόλο των αναβαθμίδων και τις πρακτικές, τα ερωτήματα που πρέπει να απαντηθούν είναι από ποιον κατασκευάζονται, με ποιόν τρόπο, και ποιός ο ακριβής σκοπός τους:

- Κατασκευάζονται από τον ντόπιο πληθυσμό ακολουθώντας μία συγκεκριμένη τεχνική
- Η διαμόρφωση τους και γενικότερα η κατασκευή τους εξαρτάται από τη χρήση γης, τη γεωλογία της περιοχής, την κλίση και την έκθεση, μαζί με παράγοντες όπως η διαθεσιμότητα και η ποιότητα της τοπικής πέτρας που δίνουν διαφορετικά είδη τοιχοποιίας και ύψη.
- Κύριος σκοπός τους είναι η επέκταση της καλλιεργήσιμης γης σε επικλινείς εκτάσεις (Jameson et al. 1994, Grove and Rackham 2002).

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι το γεγονός ότι οι αναβαθμίδες (αλλά και άλλα χαρακτηριστικά) βρίσκονται σε επικλινείς εκτάσεις ή/και σε περιοχές όπου η αγροτική δραστηριότητα έχει εγκαταλειφθεί ή έχει «μεταφερθεί» στα πεδινά, τις έχει ‘προστατεύσει’ σε κάποιο βαθμό. Πράγματι όλα τα χαρακτηριστικά περιοχών όπου ο εκσυγχρονισμός και η εκμηχάνιση της γεωργίας ήταν άμεσα δυνατή, καταστράφηκαν προς όφελος νέων, από νέα συστήματα και πρακτικές (αυτό έχει συμβεί γενικά στη Μεσόγειο, βλ. Horden and Purcell 2000, Grove and Rackham 2002). Το γεγονός αυτό έχει συμβάλλει στην εν δυνάμει διατήρηση του πολιτισμικού αυτού κεφαλαίου, το οποίο όμως υποβαθμίζεται εξαιτίας κυρίως της ανεξέλεγκτης βόσκησης στις περιοχές με αναβαθμίδες και της ελλειπούς ή και ανύπαρκτης συντήρησης.

Η προσπάθεια διατήρησης των αναβαθμίδων οι οποίες αποτελούν αναμφισβήτητα κομμάτι της πολιτιστικής κληρονομιάς της ευρύτερης περιοχής της μελέτης αντικατοπτρίζεται από Το Μέτρο 3.12 «Ανακατασκευή Αναβαθμίδων σε Επικλινείς Εκτάσεις για την Προστασία των Εδαφών από τη Διάβρωση» ανήκει στον 3ο Άξονα (Γεωργο-περιβαλλοντικά μέτρα στο γενικό πλαίσιο εφαρμογής του Καν.1257/99) του Εγγράφου Προγραμματισμού Αγροτικής Ανάπτυξης (ΕΠΑΑ) του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων. Στόχο έχει την (α) προστασία του εδάφους από διάβρωση, (β) την καλύτερη αξιοποίηση-αποθήκευση του νερού της βροχής, (γ) την διατήρηση του αγροτικού τοπίου και των χαρακτηριστικών του, (δ) τη βελτίωση της βιοποικιλότητας και (ε) την αποκατάσταση των οικολογικών λειτουργιών του γεωργικού χώρου (ΚΥΑ 566, Άρθρο 2).

Από τα παραπάνω εξάγεται το συμπέρασμα ότι η κατασκευή ενός συλλογικού δικτύου στην περιοχή του Πανόρμου δεν αποτελεί μόνο μέσο ανάπτυξης της

γεωργίας της ευρύτερης περιοχής αλλά και μέσο διατήρησης της πολιτιστικής κληρονομιάς του τόπου.

5.2 Τοποκλιματικά Δεδομένα της Περιοχής Μελέτης

Η περιγραφή των κλιματικών συνθηκών της περιοχής του Πανόρμου θα πραγματοποιηθεί με τη χρήση στοιχείων Μετεωρολογικών Σταθμών (Μ.Σ.) που βρίσκονται στην περιοχή. Στην περιοχή του Πανόρμου έχει εγκατασταθεί ο Μ.Σ. Πύργου Τήνου. Ο Μ.Σ. της Τήνου βρίσκεται σε λειτουργία από το 2016 αλλά λόγω μικρής διαθέσιμης χρονοσειράς μετεωρολογικών δεδομένων δεν καλύπτει τις ανάγκες της μελέτης. Συνεπώς, θα χρησιμοποιηθούν τα κλιματικά δεδομένα του Μ.Σ. Τήνου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (Ε.Α.Α.) λόγω εγγύτητας και πληρότητας των δεδομένων. Ο Μ.Σ. Τήνου παρέχει δεδομένα από το 2008. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες του σταθμού της Τήνου έχουν ως εξής:

Γεωγραφικό Πλάτος: 37°32'21.97"N

Γεωγραφικό Μήκος: 25° 9'46.58"E

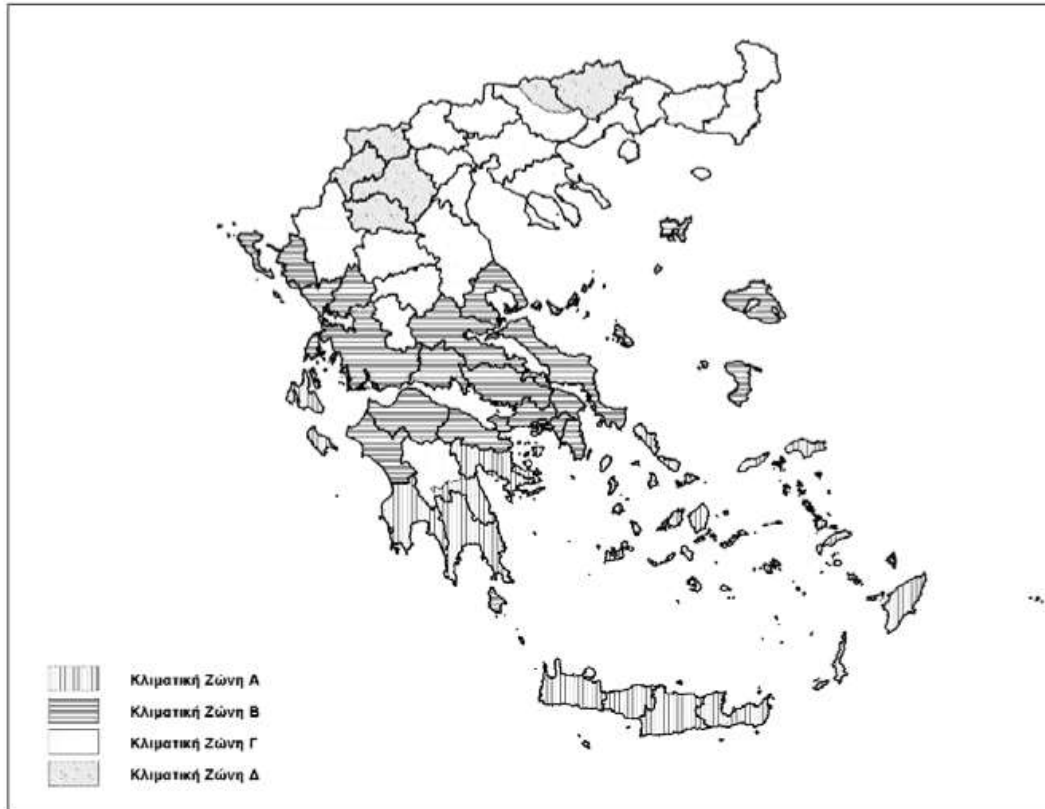
Υψόμετρο: 20 m (a.s.l.)

5.2.1 Κλιματικά Δεδομένα

Η Περιοχή του Πανόρμου της νήσου Τήνου στο σύνολό της εντάσσεται στην κλιματική ζώνη Α κατά ΚΕΝΑΚ, δηλαδή στην πλέον θερμή ζώνη της χώρας, (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. ΚΕΝΑΚ, 2017) σύμφωνα με τον **Πίνακα 5.1** και το **Σχήμα 5.1**.

Πίνακας 5.1: Κατανομή νομών (Π.Ε.) ανά κλιματική ζώνη της ελληνικής επικράτειας (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. ΚΕΝΑΚ, 2017).

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΝΟΜΟΙ
ΖΩΝΗ Α	Ηράκλειο, Χανιά, Ρέθυμνο, Λασιθί, Κυκλάδες, Δωδεκάνησα, Σάμος, Μεσσηνία, Λακωνία, Αργολίδα, Ζάκυνθος, Κεφαλονιά, Ιθάκη
ΖΩΝΗ Β	Κορινθία, Ηλεία, Αχαΐα, Αιτωλοακαρνανία, Φθιώτιδα, Φωκίδα, Βοιωτία, Αττική, Εύβοια, Μαγνησία, Σποράδες, Λέσβος, Χίος, Κέρκυρα, Λευκάδα, Θεσπρωτία, Πρέβεζα, Άρτα
ΖΩΝΗ Γ	Αρκαδία, Ευρυτανία, Ιωάννινα, Λάρισα, Καρδίτσα, Τρίκαλα, Περία, Ημαθία, Πέλλα, Θεσσαλονίκη, Κιλκίς, Χαλκιδική, Σέρρες, Καβάλα, Δράμα, Θάσος, Σαμοθράκη, Ξάνθη, Ροδόπη, Έβρος
ΖΩΝΗ Δ	Γρεβενά, Κοζάνη, Καστοριά, Φλώρινα



Σχήμα 5.1: Σχηματική απεικόνιση των κλιματικών ζωνών της ελληνικής επικράτειας (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. ΚΕΝΑΚ, 2017).

Η μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα, οι μέσες μηνιαίες μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες, της περιόδου 2008 – 2019 του Μ.Σ. Τήνου, παρατίθενται στον **Πίνακα 5.2** που ακολουθεί. Από τον εν λόγω πίνακα διαπιστώνεται ότι:

- Δεν υφίσταται μέση ή και ελάχιστη μέση θερμοκρασία κάτω του 0°C.
- Η μέση ετήσια θερμοκρασία για τον προαναφερόμενο Μ.Σ. είναι 18,9°C.
- Η μέση μηνιαία θερμοκρασία άνω των 20°C παρατηρείται για την περίοδο από Μάιο έως και Σεπτέμβριο.
- Οι υψηλότερες μέσες θερμοκρασίες παρουσιάζονται τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο και στη συνέχεια Ιούνιο και Σεπτέμβριο. Η περίοδος αυτή ταυτίζεται με την περίοδο των αρδεύσεων.
- Οι μέσες ελάχιστες θερμοκρασίες παρατηρούνται διαδοχικά τον Ιανουάριο, τον Φεβρουάριο, το Δεκέμβριο και το Μάρτιο.

Πίνακας 5.2: Η μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα, οι μέσες μηνιαίες μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες, της περιόδου 2008 – 2019 του Μ.Σ. Τήνου, (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, www.meteo.gr).

Μήνες	Τμέση (°C)	Τμέση μέγιστη (°C)	Τμέση ελάχιστη(°C)
Ιανουάριος	11.9	13.9	9.65
Φεβρουάριος	12.7	14.9	10.43
Μάρτιος	13.8	16.2	11.4
Απρίλιος	16.4	19.3	13.8
Μάϊος	20.2	23.2	17.5
Ιούνιος	24.3	27.4	21.6
Ιούλιος	26.6	29.6	24
Αύγουστος	26.5	29	24
Σεπτέμβριος	23.8	26.4	21.5
Οκτώβριος	19.7	22	17.8
Νοέμβριος	16.7	18.8	14.8
Δεκέμβριος	13.3	15.4	11.16

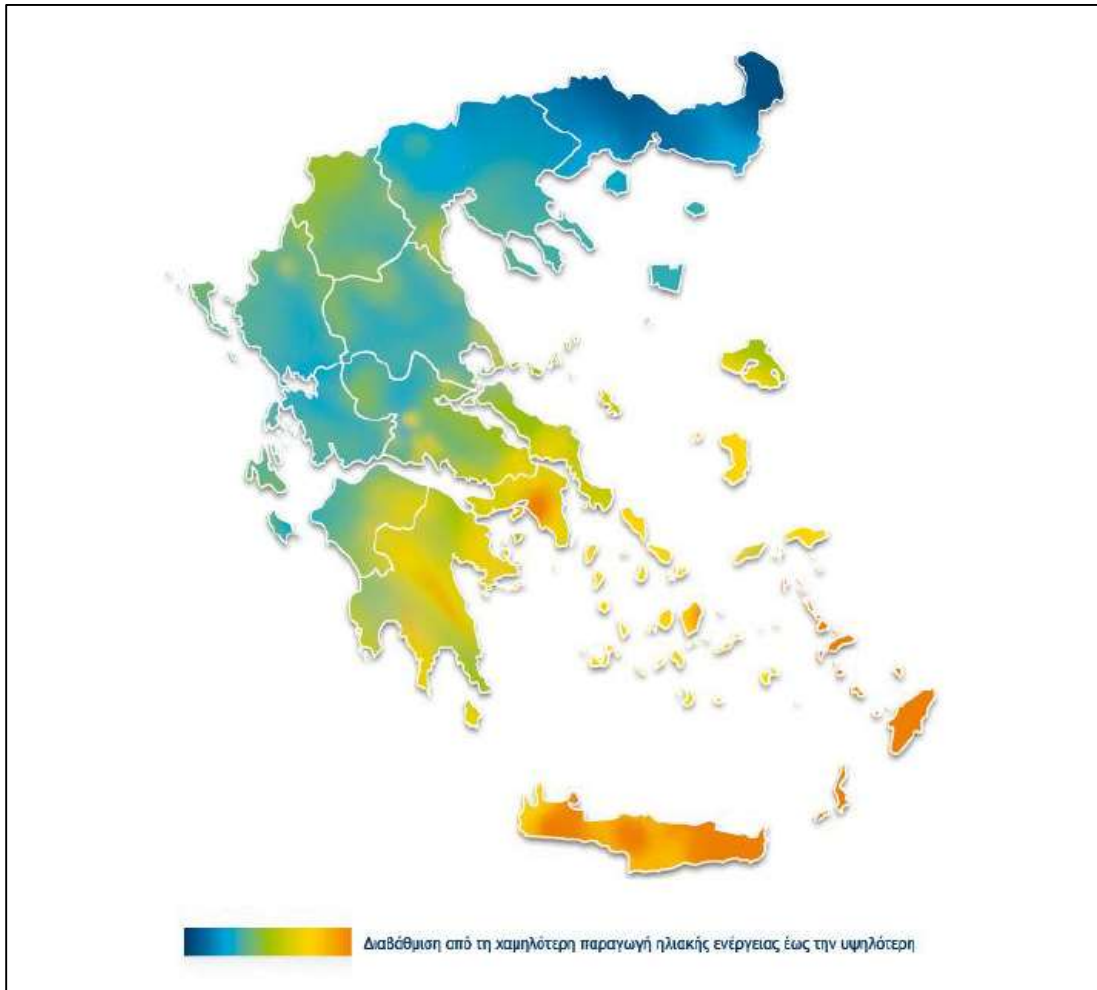
Οι βροχοπτώσεις στην περιοχή μελέτης κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα, με τη συνολική ετήσια βροχόπτωση για το Μ.Σ. Τήνου να ανέρχεται στα 368 χιλιοστά. Το μέγιστο ύψος βροχόπτωσης παρουσιάζεται το μήνα Ιανουάριο με 91,3 χιλιοστά και τον ελάχιστο τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο όπου το ύψος των βροχοπτώσεων είναι μηδαμινό (**Πίνακας 5.3**). Κατά τη διάρκεια (Μάϊος – Σεπτέμβριος) της αρδευτικής περιόδου παρατηρείται ανεπάρκεια βροχοπτώσεων, το ύψος των οποίων κυμαίνεται από 7,1 χιλιοστά τον Μάϊο, 4,3 χιλιοστά τον Ιούνιο ενώ δεν παρατηρούνται καθόλου βροχοπτώσεις τον Ιούλιο και Αύγουστο.

Πίνακας 5.3: Το μέσο ύψος βροχόπτωσης (χιλιοστά, mm), 2008 – 2019 του Μ.Σ. Τήνου, (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, www.meteo.gr).

Μήνες	Μέσο Ύψος Βροχόπτωσης (mm)
Ιανουάριος	91.3
Φεβρουάριος	66.9
Μάρτιος	34.7
Απρίλιος	18.9
Μάϊος	7.1
Ιούνιος	4.3
Ιούλιος	0
Αύγουστος	0
Σεπτέμβριος	8.7
Οκτώβριος	35.1
Νοέμβριος	37.4
Δεκέμβριος	63.6

Οι άνεμοι που επικρατούν στην περιοχή, λόγω της γεωγραφικής της θέσης και του προσανατολισμού, είναι βόρειοι, βορειοδυτικοί, οι οποίοι σχεδόν όλο το έτος είναι ισχυροί με μεγάλη διάρκεια. Για την αρδευτική περίοδο (Μάϊος – Σεπτέμβριος) δεν παρατηρούνται άνεμοι μεγαλύτεροι των 9 BEAUFORT, ενώ για μεγάλο χρονικό διάστημα του μήνα φυσούν άνεμοι ταχύτητας μεγαλύτερης των 6 BEAUFORT. Εντούτοις, οι άνεμοι μεγαλύτερης ταχύτητας των 6 BEAUFORT υπολογίζονται σε περίπου 50% του συνόλου για την αρδευτική περίοδο. Το δεδομένο αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στις περιπτώσεις άρδευσης με τεχνητή βροχή (Μ.Σ., Τήνου).

Η περιοχή του Πανόρμου γενικά χαρακτηρίζεται από έντονο ηλιακό δυναμικό, ακόμη και κατά τη χειμερινή περίοδο, με την περιοχή να τοποθετείται στην επόμενη κατηγορία από τη μεγαλύτερη της ελληνικής επικράτειας, στην οποία εντάσσονται τα νησιά του Νοτίου Αιγαίου, των Κυκλάδων και της Κρήτης (Κομνηνού, 2012). Συνεπώς, υπάρχουν μεγάλες ανάγκες των φυτών σε νερό και ακόμη μεγαλύτερες κατά τους θερινούς μήνες.



Σχήμα 5.2: Χρωματική κατανομή ηλιακής έντασης στην ελληνική επικράτεια, (Κομνηνού, 2012).

5.3 Γεωλογικά και Εδαφολογικά Στοιχεία (Στοιχεία από Καϊμάκη & Αντιπάτη, 1994)

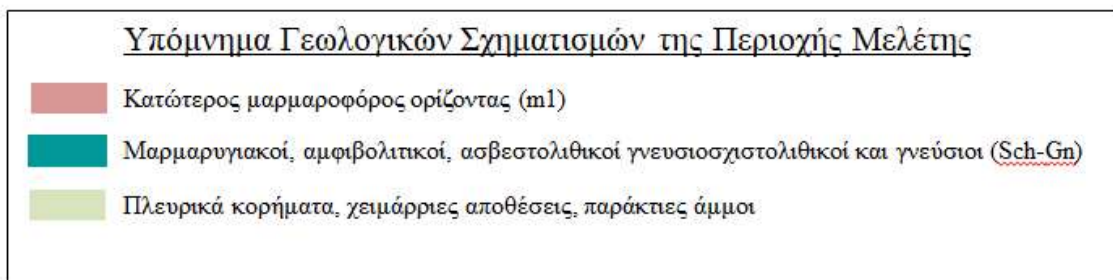
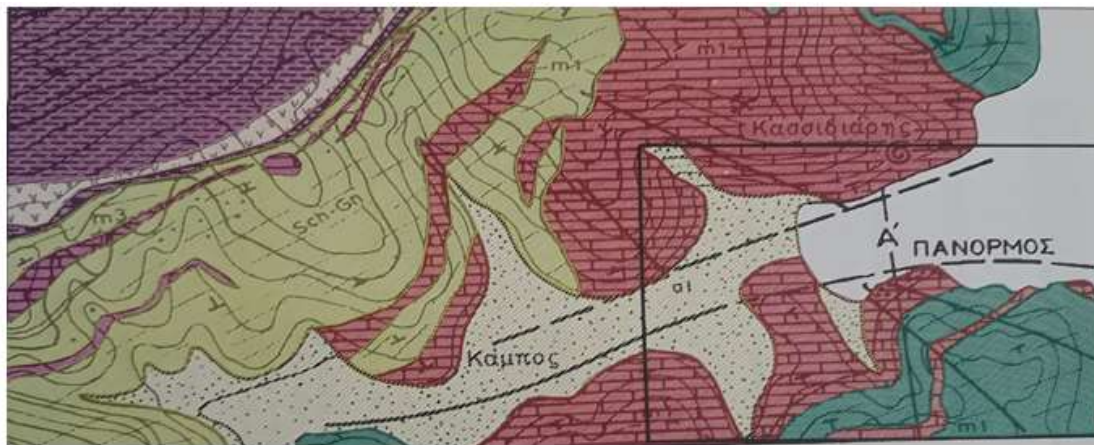
Στην περιοχή του Πανόρμου συναντώνται μεταμορφίτες της Κατώτερης σειράς και τεταρτογενή ιζήματα (**Σχήμα 5.3**). Σε ότι αφορά του μεταμορφίτες συναντώνται αφενός σε μάρμαρα και αφετέρου μαρμαρυγικοί, αμφιβολιτικοί, ασβεστολιθικοί σχιστόλιθοι, γνευσιοσχιστόλιθοι και γνεύσιοι. Τα πετρώματα αυτά είναι Μεσοζωικής ηλικίας.

Το μάρμαρο του Πανόρμου ανήκει στον κατώτερο μαρμαροφόρο ορίζοντα (m1). Είναι παχυπλακώδες, κάποτε άστρωτο, κατά θέσεις δολομιτικό, χρώματος τεφρόλευκου μέχρι λευκού. Σε μία περίπτωση νοτίως και κοντά στον οικισμό Πάνορμο, εξελίσσεται προς τα πάνω σε σιπολλίνη ο οποίος βαθμιαία μεταπίπτει σε

ασβεστιτικό-μαρμαρυγιακό σχιστόλιθο. Το πάχος του οριζοντα m1 εκτιμάται ότι είναι μεγαλύτερο των 200m.

Τα τεταρτογενή ιζήματα είναι ολοκαινικής ηλικίας και πρόκειται για σαθρά ιζήματα και αποθέσεις (αλλουβιακά πεδία) που καλύπτουν τις χαμηλές παραλιακές ζώνες. Ακόμη συναντώνται στις πλαγιές (έχοντας προκύψει από την αποσάθρωση των μεταμορφωμένων πετρωμάτων) και συγκρατούνται με τεχνητές αναβαθμίδες.

Το πάχος των στρωμάτων αυτών κυμαίνεται από λίγα εκατοστά μέχρι αρκετά μέτρα. Τα εδάφη αυτά αποτελούνται από λεπτόκοκκα συστατικά (άργιλο, πηλό, ιλύ) σε βάθος από 0-80εκ. και σε μεγαλύτερα βάθη από αδρομερή ιζήματα (άμμο, κροκάλες, λατύπες κ.λ.π.)



Σχήμα 5.3. Γεωλογικοί Σχηματισμοί της περιοχής του Πανόρμου

5.4 Υδρολογικές Συνθήκες

Εξετάζοντάς την από πλευράς υδατικού δυναμικού, η περιοχή μελέτης ανήκει στο Υδατικό Διαμέρισμα (ΥΔ) με κωδικό EL14 της Ελλάδας, το οποίο επίσημα ονομάζεται «Υδατικό Διαμέρισμα Νήσων Αιγαίου» και υπάγεται στη Λεκάνη Αποροής Κυκλάδων με κωδικό EL37, (ΦΕΚ 1383/Β/2010 και διόρθωση ΦΕΚ

1572/B/2010). Πρόκειται για μία πεδινή λεκάνη στην οποία επικρατεί το ήπιο εύκρατο μεσογειακό κλίμα.

Σε γενικές γραμμές οι υδρογεωλογικές συνθήκες στη νήσο Τήνο κρίνονται ως δυσμενείς, λόγω έλλειψης ικανών επιφανειακών ταμιευτήρων, λόγω υπεραντλήσεων και λόγω της μόνιμης υφαλμύρισης. Οι περισσότερες υδροφορίες εντοπίζονται σε θέσεις ρηγμάτων. Τα μεταμορφωμένα πετρώματα που δομούν την νήσο, εμφανίζουν δευτερογενές πορώδες, λόγω διακλάσεων και διαρρήξεων. Σημαντική είναι η παρουσία πηγών επαφής. Το συνολικό αντλούμενο νερό από αυτή την ενότητα πετρωμάτων, αγγίζει τα 40 m³/day. Στα μαγματικά πετρώματα, εμφανίζεται υδροφορία λόγω δευτερογενούς πορώδους, με παροχές που φτάνουν τα 70 m³/day, και αποδίδουν καλής ποιότητας νερό. Όσον αφορά τα σύγχρονα ιζήματα, εμφανίζουν υδροφορία τόσο λόγω πρωτογενούς όσο και λόγω δευτερογενούς πορώδους ωστόσο λόγω της μικρής επιφανειακής τους εμφάνισης, οι υδροφόροι είναι μικρής έως μέτρια δυναμικότητας. Τα εκμεταλλεύσιμα ρυθμιστικά υδατικά αποθέματα της νήσου ανέρχονται ≈ 430000 m³/ χρόνο.

Τα βασικά υδρογραφικά δίκτυα του νησιού είναι δενδριδικού τύπου και μη – μόνιμης ροής. Σύμφωνα με τον Γ. Στουρνάρα (2001) το υδρογραφικό δίκτυο της Τήνου βρίσκεται σε αρχικό στάδιο ωριμότητας, επικρατεί η κατά βάθος διάβρωση, γι' αυτό παρατηρείται όξυνση και επιμήκυνση των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου και περιορισμός της έκτασης των μεσοποτάμιων περιοχών. Τα μεγαλύτερα ποτάμια –χειμαρροι βρίσκονται στο βόρειο τμήμα του νησιού, ενώ στο νότιο υπάρχουν λιγότερα και πιο μικρά σε μήκος και σε αριθμό τάξεων των κλάδων τους. Στην περιοχή του Πανόρμου αναφέρεται ένας ποταμός – χειμαρρος περιοδικής εκροής.

Η ποιότητα των υδάτων παρουσιάζεται επιβαρημένη στα πεδινά (αυξημένα χλωριόντα), ενώ σε υψηλότερες τοπογραφικά θέσεις η ποιότητα βελτιώνεται σημαντικά. Η ρυπαντική επικινδυνότητα όπως προκύπτει από το χάρτη τρωτότητας είναι σχετικά πιο αυξημένη στη νοτιοανατολική πλευρά της νήσου. Στην Υδρογεωλογική Μελέτη – Υδατικό Διαμέρισμα Νήσων Αιγαίου, ΙΓΜΕ 2010 στα συμπεράσματα αναφέρεται:

- Η πλειονότητα των γεωλογικών σχηματισμών, που απαντά στη Νήσο Τήνο είναι μέτριας έως χαμηλής απόδοσης, με υδροφορία να αναπτύσσεται, κατά κύριο λόγο, σε ρωγματικά και καρστικά υδρογεωλογικά περιβάλλοντα.

- Το καρστικό υδροσύστημα αναπτύσσεται εντός των ενστρώσεων μαρμάρων και σιπολινών, που απαντούν σε σχιστολιθικό περιβάλλον. Το ρωγματικό υδροσύστημα αναπτύσσεται σε σχιστολιθικά πετρώματα και είναι χαμηλής σχετικά απόδοσης, με την υδροφορία να διαμορφώνεται στον αποσαθρωμένο μανδύα των σχιστολιθικών πετρωμάτων. Εντός των πετρωμάτων αυτών παρεμβάλλονται ορίζοντες μαρμάρου με ικανοποιητική σχετικά υδροφορία.
- Ο κυριότερος υδροχημικός τύπος νερού, που επικρατεί, είναι $Mg - SO_4$, αλλά σε παράκτιες περιοχές ο υδροχημικός τύπος του νερού γίνεται $Na - Cl$. Πρόβλημα στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού φαίνεται να υπάρχει στην αυξημένη συγκέντρωση των χλωριόντων, σε παράκτιες περιοχές, όπως αυτές της Κώμης, Κιονίων και όρμου Υστερνίων, αφού η υπεράντληση των υδροφορέων κατά τη θερινή περίοδο οδηγεί συχνά σε φαινόμενα υφαλμύρωσης.
- Σε ό,τι αφορά την αρδευτική καταλληλότητα, η πλειονότητα των νερών χαρακτηρίζεται ως χαμηλού κινδύνου αλκαλίωσης και μέτριου έως υψηλού κινδύνου νατρίωσης, ως αποτέλεσμα της υφαλμύρωσης των παράκτιων υδροφορέων. Συχνές είναι και οι αυξημένες τιμές του μικροβιακού φορτίου του υπόγειου νερού, γεγονός που το καθιστούν πολλές φορές ακατάλληλο για οικιακή κατανάλωση χωρίς την κατάλληλη επεξεργασία (π.χ. χλωρίωση).
- Το αυξημένο μικροβιακό φορτίο καταδεικνύει τη μόλυνση του νερού κυρίως από αστικά απόβλητα και λύματα, λόγω παντελούς έλλειψης αποχετευτικού δικτύου σε πολλούς οικισμούς. Ο προσχωματικός υδροφόρος ορίζοντας Κώμης – Καλλονής έχει ποιοτικά υποβαθμιστεί σε σημαντικό βαθμό, εξαιτίας του ρυπαντικού φορτίου που δέχεται από τα αστικά λύματα των γύρω οικισμών. Σε παραπλήσια συμπεράσματα καταλήγει και η «Υδρογεωλογική Μελέτη ν. Τήνου» που εκπονήθηκε για λογαριασμό της Ν.Α. Κυκλάδων το 2002, όπου αναφέρεται ότι τα υπόγεια νερά στη ν. Τήνο χρήζουν προστασίας.



Εικόνα 5.6 Φυσική πηγή νερού στην περιοχή του Πανόρμου

5.5 Δημογραφικά και Κτηματολογικά Στοιχεία

Μείζονος σημασίας είναι το γεγονός ότι στην περιοχή του Πανόρμου Τήνου δεν έχει ολοκληρωθεί η κτηματογράφηση και ως εκ τούτου η σύνταξη Κτηματολογίου βρίσκεται σε εξέλιξη (**Εικόνα 5.7**). Με άλλα λόγια, δεν έχει συγκροτηθεί μία ενιαία, συστηματική και ενημερωμένη καταγραφή της κτηματικής περιουσίας.



Εικόνα 5.7 Στην εικόνα διαπιστώνεται η μη ύπαρξη Κτηματολογίου για την περιοχή του Πανόρμου (www.ktimanet.gr)

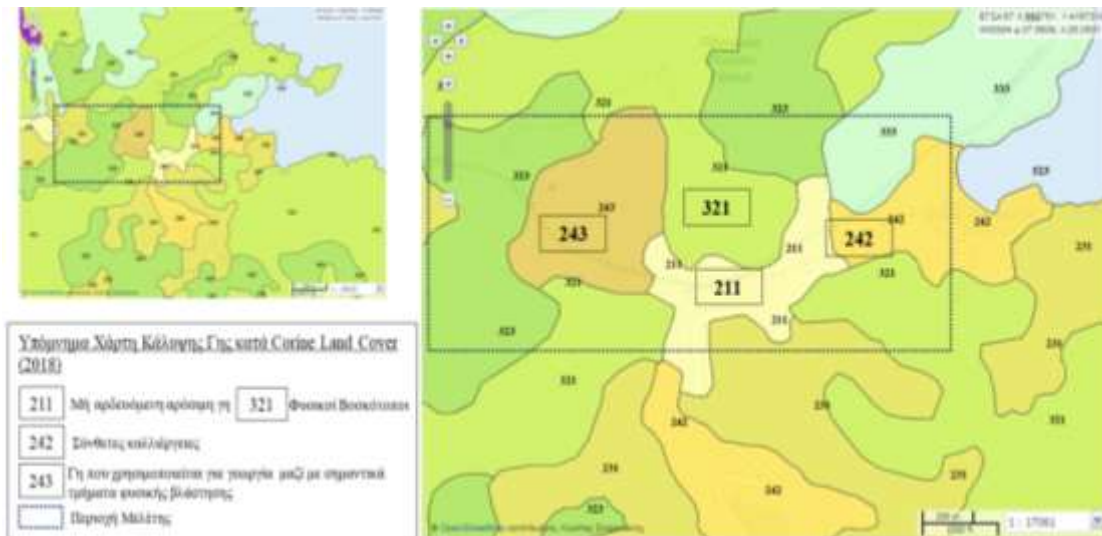
Όσο αφορά τα δημογραφικά χαρακτηριστικά του Πανόρμου, σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛ.ΣΤΑΤ.) και την τελευταία απογραφή που διενεργήθηκε το 2011, ο μόνιμος πληθυσμός ήταν 432 κάτοικοι το οποίο εξάγεται ως άθροισμα των πληθυσμών των οικισμών του Πανόρμου και Πύργου.

Στις απογραφές του 1991 και του 2001 ο πληθυσμός ανέρχεται σε 401 και 460 κατοίκους αντίστοιχα, γεγονός που αποδεικνύει ότι ο πληθυσμός αυξήθηκε κατά την περίοδο 1991 – 2001, ενώ την περίοδο 2001 – 2011 ελαττώθηκε.

Χαρακτηριστικό όμως της περιοχής του Πανόρμου είναι η μεγάλη διακύμανση του πληθυσμού ανάλογα με την εποχή (χειμώνα-καλοκαίρι). Σε ότι αφορά το θερινό πληθυσμό, προβλέπεται ιδιαίτερα θετική πληθυσμιακή μεταβολή. Αυτό σε ένα βαθμό οφείλεται στην αναμενόμενη ποσοτική διαφοροποίηση του τουρισμού και την στροφή της τουριστικής ζήτησης από την πρωτεύουσα στην ενδοχώρα και τις παραλίες του νησιού γεγονός που προβλέπεται να οδηγήσει στην αύξηση των μέσων χρόνων παραμονής των τουριστών στα καταλύματα της υπόλοιπης νήσου. Ιδιαίτερα σημαντική αναμένεται, με βάση την τάση των τελευταίων χρόνων η ανάπτυξη και της παραθεριστικής κατοικίας με κύριο πόλο προσέλευσης του ενδιαφέροντος το λεκανοπέδιο Αττικής (Στοιχεία: Δήμος Τήνου).

5.6 Γεωργικές Εκμεταλλεύσεις – Χρήσεις Γης

Στην εξεταζόμενη περιοχή, το μείζον ποσοστό της έκτασης καταλαμβάνουν οι φυσικοί βοσκότοποι και έπειτα η μη αρδευόμενη αρόσιμη γη (**Χάρτης 5.1**). Η κατηγοριοποίηση που ακολουθείται με βάση τα γεωχωρικά δεδομένα της κάλυψης γης Corine Land Cover για το έτος 2018 του προγράμματος της Ευρωπαϊκής Ένωσης «Copernicus Land Monitoring Services», το οποίο είχε ως στόχο την παροχή ολοκληρωμένης και έγκαιρης πληροφόρησης όσον αφορά τις μορφές κάλυψης και χρήσεων γης και τις μεταβολές αυτών, σε εθνικό επίπεδο.



Χάρτης 5.1 Το είδος κάλυψης στην περιοχή μελέτης με βάση την ταξινόμηση Corine Land Cover 2018 σε διαφορετικές κλίμακες

Οι γεωργικές εκμεταλλεύσεις στην περιοχή μελέτης περιορίζονται σε ιδιωτική χρήση και ελάχιστα σε επαγγελματική. Στο σύνολο της περιοχής ανευρίσκονται εγκαταλειμμένοι παραδοσιακοί ελαιώνες εγκατεστημένοι προ πολλών ετών (**Εικόνα 5.8**) οι οποίοι καταλαμβάνουν 166 στρέμματα. Η μέση έκταση των αγροτεμαχίων είναι μικρή λόγω της μορφολογίας της περιοχής και ανέρχεται στα 2,7 στρέμματα.



Εικόνα 5.8 Άποψη των εκμεταλλεύσεων της περιοχής μελέτης με τους παραδοσιακούς ελαιώνες

5.7 Ο Βιολογικός καθαρισμός του Πανόρμου ως κεφαλή του υπό σχεδιασμό δικτύου (Στοιχεία από Δήμο Τήνου)

Η κατασκευή του βιολογικού καθαρισμού του Πανόρμου ξεκίνησε το 1994 και ολοκληρώθηκε το 2001. Αποτελεί ένα σύστημα επεξεργασίας λυμάτων με τη μέθοδο του παρατεταμένου αερισμού με την διεργασία της ταυτόχρονης νιτροποίησης-απονιτροποίησης (Εικόνα 5.9).



Εικόνα 5.9 Άποψη των εγκαταστάσεων της μονάδας του βιολογικού καθαρισμού του Πανόρμου

Η εγκατάσταση της επεξεργασίας των λυμάτων στην εν λόγω μονάδα περιλαμβάνει την μηχανική (φυσική) επεξεργασία, τη βιολογική επεξεργασία, την απολύμανση και τέλος την επεξεργασία της ιλύος.

Τα κύρια τμήματα/ διαδικασίες της εγκατάστασης όσον αφορά το στάδιο της μηχανικής επεξεργασίας περιλαμβάνουν:

- Εσχαρισμό αποτελούμενο από επίπεδη εσχάρα και μια τοξωτή αυτοκαθαριζόμενη εσχάρα
- Μέτρηση παροχής σε διώρυγα με μετρητή Parshall
- Εξάμμωση – απολίπανση πραγματοποιούμενη μέσα σε αεριζόμενο εξαμμοτή και τρεις κώνους αποθηκεύσεως άμμου, συνοδευόμενη με κλίνη εκπλύσεως άμμου

Η βιολογική επεξεργασία περιλαμβάνει:

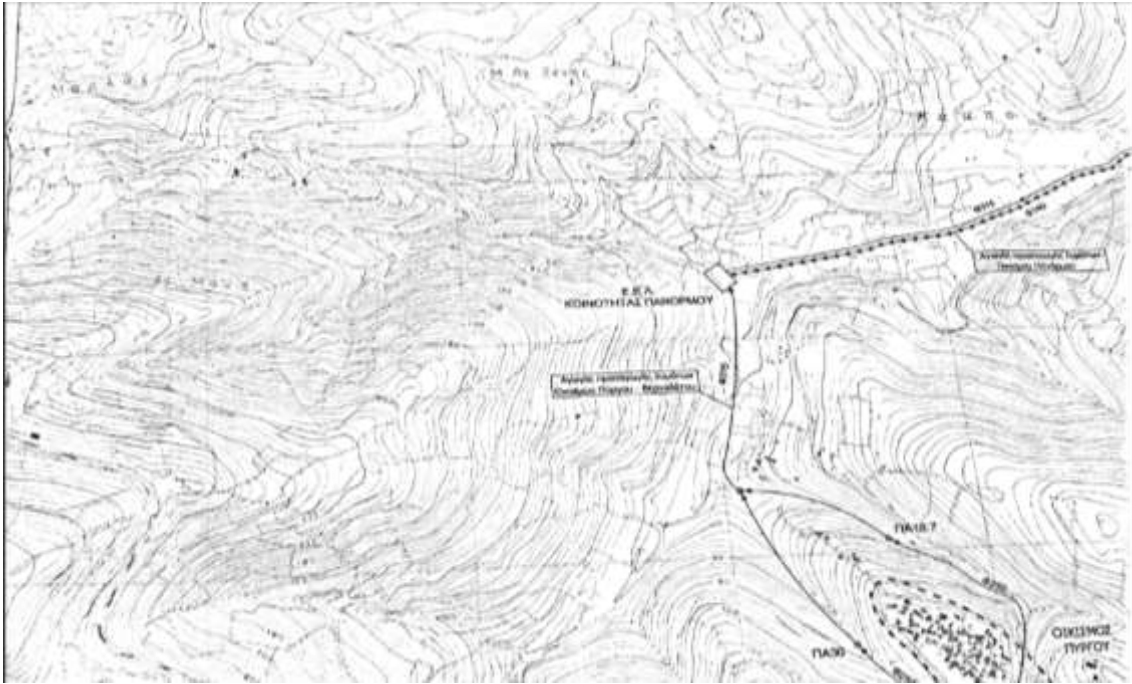
- Μερισμό
- Αερισμό πραγματοποιούμενο εντός τριών δεξαμενών αερισμού συνοδευόμενων από θύλακες απονιτροποίησης. Μέσα σε κάθε δεξαμενή αερισμού είναι τοποθετημένα συγκροτήματα διαχυτήρων, τα οποία διαχέουν τον αέρα από τους φυσητήρες στο υπό ανάδευση υγρό.
- Τελική καθίζηση πραγματοποιούμενη μέσα σε μία κυκλική δεξαμενή εντός της οποίας περιστρέφεται μηχανικό ξέστρο, και σε μία μικρότερη τετραγωνική δεξαμενή σχήματος ανεστραμένης κόλουρης πυραμίδας.

Η απολύμανση των λυμάτων πραγματοποιείται με τη βοήθεια διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου (NaOCl) εντός δεξαμενής μαιανδρικού τύπου.

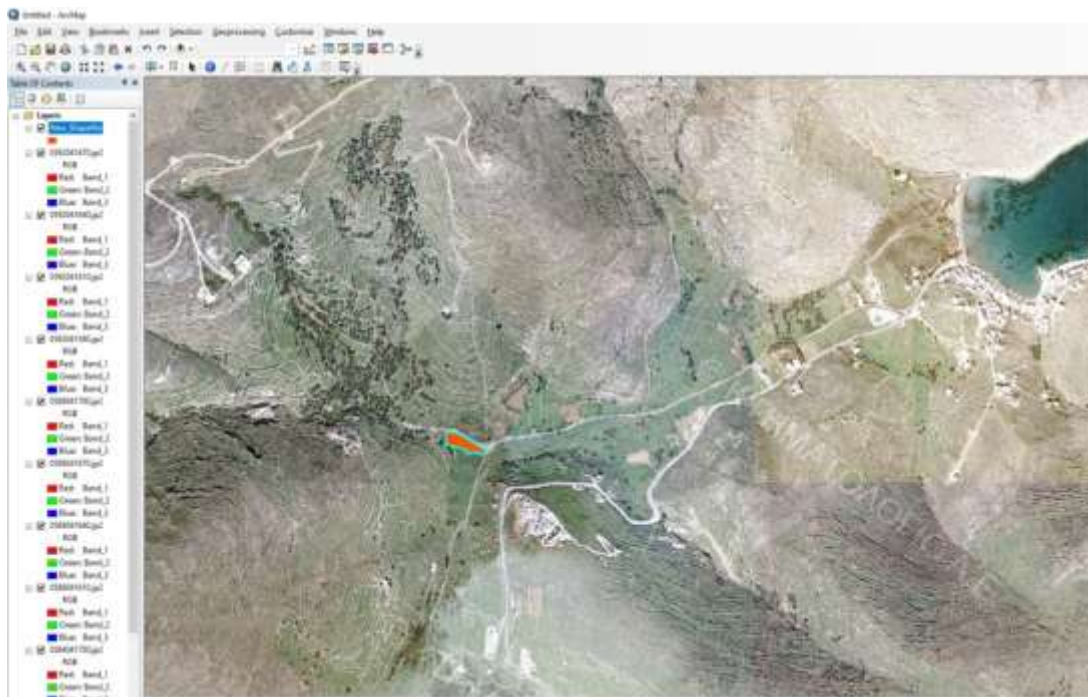
Στην παρούσα διατριβή η μελέτη της χρήσης των επεξεργασμένων αποβλήτων από την μονάδα βιολογικού καθαρισμού της περιοχής με στόχο την άρδευση των ελαιώνων της περιοχής γίνεται σε θεωρητικό επίπεδο. Στην παρούσα φάση δεν υπάρχουν ακριβή δεδομένα για την αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας των λυμάτων από την μονάδα της περιοχής σε βαθμό ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για άρδευση καλλιεργειών. Παρόλα αυτά οι μελετητές του συγκεκριμένου έργου έχουν διατυπώσει στοιχεία τα οποία είναι αρκετά χρήσιμα σε πιθανή προσπάθεια κατασκευής αρδευτικού δικτύου με κεφαλή νερού την μονάδα επεξεργασία και συνεπώς ως πηγή νερού τα επεξεργασμένα λύματα.

5.7.1 Στοιχεία όσον αφορά τις δυνατότητες του βιολογικού καθαρισμού του Πανόρμου για να χρησιμοποιηθεί ως κεφαλή του δικτύου

Η μονάδα βιολογικού καθαρισμού του Πανόρμου βρίσκεται τοπογραφικά στο κέντρο του δικτύου υπό σχεδιασμό (**Εικόνα 5.10 & 5.11**). Είναι εγκατεστημένη σε υψόμετρο 16 m (a.s.l) και ουσιαστικά χωρίζει την περιοχή σε δύο τμήματα. Στην μονάδα είναι εγκατεστημένες αντλίες οι οποίες όμως δεν μπορούν να συνεισφέρουν στην προώθηση του νερού στον υπό σχεδιασμό δίκτυο. Συνεπώς οποιαδήποτε κατασκευή συλλογικού δικτύου στην περιοχή θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει και την εγκατάσταση νέας αντλίας με τεχνικά χαρακτηριστικά βασιζόμενα στα χαρακτηριστικά του δικτύου.



Εικόνα 5.10 Το πρωτότυπο σχέδιο όπου αποτυπώνεται η περιοχή μελέτης με την μονάδα βιολογικού καθαρισμού του Πανόρμου



Εικόνα 5.11 Αποψη του πολυγώνου (polygon) της μονάδας του βιολογικού καθαρισμού (κόκκινο χρώμα) του Πανόρμου σε σχέση με την περιοχή μελέτης όπως αποτυπώνεται στο λογισμικό Arcmap 10.8

Όσον αφορά τις θεωρητικές δυνατότητες του βιολογικού καθαρισμού για παραγωγή επεξεργασμένων λυμάτων, αυτές έρχονται σε άμεση συσχέτιση με τις

παροχές ακαθάρτων δηλαδή των λυμάτων που εισρέουν στη μονάδα. Οι μελετητές του έργου για την περιοχή του Πανόρμου αποτύπωσαν προσεγγιστικά την μεταβολή της ειδικής παροχής των ακαθάρτων (λίτρα/ κάτοικο/ ημέρα) σε χρονικό ορίζοντα τεσσαρακονταετίας (**Πίνακας 5.2**) βασιζόμενοι σε προσωπική εμπειρία αλλά και στην βιβλιογραφία (Metcalf & Eddy, 1991).

Πίνακας 5.2 Ειδικές παροχές ακαθάρτων ανά κατηγορία κατοίκου / επισκέπτη (λίτρα/ κάτοικο/ ημέρα)

	Μόνιμοι Κάτοικοι	Διανυκτερεύοντες επισκέπτες	Διερχόμενοι επισκέπτες
1994	150	200	30
2014	200	250	30
2034	220	285	30

Παράλληλα υπολογίζονται οι παροχές λυμάτων και η μεταβολή τους σε χρονικό ορίζοντα τεσσαρακονταετίας με εποχικό διαχωρισμό (χειμώνας – καλοκαίρι) λαμβάνοντας υπόψιν την μεταβολή του πληθυσμού της περιοχής του Πανόρμου (**Πίνακας 5.3 & 5.4**):

Πίνακας 5.3 Μεταβολή του πληθυσμού της περιοχής του Πανόρμου με εποχικό διαχωρισμό (χειμώνας – καλοκαίρι) σε ορίζοντα τεσσαρακονταετίας.

	Χειμώνας	Καλοκαίρι
1994	500	2500
2014	580	2930
2034	680	3440

Πίνακας 5.4 Παροχές ακαθάρτων (σε m³/day)

	Χειμώνας			Καλοκαίρι		
	Qμέση (m ³ /day)	Qmax (m ³ /day)	Qαιχμ (L/s)	Qμέση (m ³ /day)	Qmax (m ³ /day)	Qαιχμ (L/s)
1994	82.5	123.8	4.3	555.5	833.2	22.2
2014	127.6	191.4	6.6	806.8	1210.3	30.4
2034	164.6	246.8	8.5	1062.8	1594.2	38.4

Όπως παρατηρούμε από τον **Πίνακα 5.4** η συνεχώς αυξανόμενη παροχή ακαθάρτων μέσα στην περίοδο 1994 – 2034 σημαίνει και την αναλογική δυνατότητα για αύξηση της παραγωγής ανακτημένου νερού. Κάτι τέτοιο αναδεικνύει και τις περιβαλλοντικές διαστάσεις του έργου που θα χρησιμοποιήσει ως κεφαλή τη

συγκεκριμένη μονάδα βιολογικού καθαρισμού. Κάποια από τα οφέλη που μπορεί να έχει η εφαρμογή του ανακτημένου νερού ως νερό άρδευσης σχετίζονται με την μειωμένη ρύπανση του υπόγειου νερού από τα αζωτούχα λιπάσματα (Chen et al., 2013) και την αύξηση των αποθεμάτων υπόγειου νερού (Alcon et al., 2012). Σε χώρες όπως η Ισπανία η χρήση ανακτημένου νερού για την αποκατάσταση και ενίσχυση των διαθέσιμων υδατικών πόρων έχει ήδη προταθεί (van der Gun & Lipponen, 2010). Σύμφωνα με την Ελληνική Νομοθεσία (ΦΕΚ 354/Β/8-3-2011) επιτρέπεται η τροφοδότηση και εμπλουτισμός του υπόγειου υδροφορέα με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα εφόσον η συγκεκριμένη περιοχή δεν αποτελεί υδατικό σύστημα που χρησιμοποιείται ή μελλοντικά έχει οριστεί να χρησιμοποιηθεί για την απόληψη πόσιμου ύδατος. Η περιοχή του Πανόρμου δεν αποτελεί τέτοια προστατευόμενη περιοχή (ΥΠΕΚΑ, 2017) συνεπώς το πλεόνασμα του ανακτημένου νερού θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στον εμπλουτισμό του υδροφορέα της περιοχής μελέτης εφόσον είχε τα απαραίτητα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Συνεπώς τα επεξεργασμένα λύματα δεν θα καταλήγουν εξ ολοκλήρου στη θάλασσα όπως γίνεται μέχρι στιγμής στην περιοχή του Πανόρμου με ότι αυτό συνεπάγεται περιβαλλοντικά.

5.8 Απαιτήσεις των ελαιώνων της περιοχής μελέτης σε νερό

Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης το αντιπροσωπευτικό στρέμμα της περιοχής μελέτης καταλαμβάνεται εξ'ολοκλήρου από την καλλιέργεια της ελιάς.

Οι απαιτήσεις σε άρδευση των ελαιώνων της περιοχής μελέτης ουσιαστικά υπολογίζονται από την διαφορά μεταξύ της ποσότητας του νερού που εξατμισοδιαπνέει η καλλιέργεια και της βροχόπτωσης (FAO 56). Πιο συγκεκριμένα οι απαιτήσεις της καλλιέργειας σε νερό (όχι σε άρδευση) ορίζονται ως η ποσότητα του νερού η οποία απαιτείται για να αναπληρωθούν οι απωλεσθείσες ποσότητες του νερού μέσω της εξατμισοδιαπνοής (FAO 56).

Συνεπώς για τον υπολογισμό των απαιτήσεων σε άρδευση της περιοχής μελέτης πραγματοποιήθηκε αρχικά υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής και έπειτα αφού συσχετίστηκε με τα βροχομετρικά στοιχεία της περιοχής μελέτης υπολογίσθηκαν οι μήνες στους οποίους οι ανάγκες σε νερό υπερβαίνουν το ύψος της βροχόπτωσης και συνεπώς οι μήνες στους οποίους απαιτείται άρδευση.

5.8.1 Εξατμισοδιαπνοή των ελαιώνων της περιοχής μελέτης

Η εξατμισοδιαπνοή μίας καλλιέργειας ορίζεται ως:

$$ET_c = K_c * ET_o \quad (\text{FAO 56}) \quad (5.1)$$

Όπου :

- ET_o είναι η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς και η οποία εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την περιοχή μελέτης σε mm / ημέρα (mm day^{-1})
- K_c είναι ο φυτικός συντελεστής και εξαρτάται από την καλλιέργεια, το στάδιο αναπτυξής της κλπ.

Ο ακριβής υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (ET_o) είναι πολύ σημαντικός για την εύρεση των απωλειών της καλλιέργειας σε νερό και του υπολογισμού του υδατικού ισοζυγίου (Todorovic, 2013). Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) αρχικά χρησιμοποίησε για τον υπολογισμό την μέθοδο FAO Penman – Monteith (Allen et al., 1998). Επειδή όμως η συγκεκριμένη μέθοδος είναι απαιτητική στη συλλογή των δεδομένων και δεδομένου ότι η οποιαδήποτε έλλειψή τους μειώνει την ακρίβεια της μεθόδου έγιναν προσπάθειες για την εισαγωγή καινούριων μοντέλων για τον υπολογισμό της ET_o . Ένα από αυτά τα μοντέλα το οποίο δίνει ακριβείς υπολογισμούς της ET_o όταν υπάρχουν περιορισμένα κλιματικά δεδομένα είναι το μοντέλο των Hangreaves – Samani (HS, Hangeaves and Samani, 1985).

Στην παρούσα μελέτη για τον υπολογισμό της ET_o χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο HS γιατί δίνει αποδεκτά, ακριβή αποτελέσματα και είναι δοκιμασμένο σε διαφορετικά κλίματα (Shahidian et al., 2012). Το κύριο πλεονέκτημα του αποδίδεται στο γεγονός ότι τα μοναδικά μετεωρολογικά δεδομένα που απαιτούνται να εισαχθούν είναι αυτά των μετρήσεων της θερμοκρασίας.

Η εξίσωση HS που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη είναι αυτή που αποδόθηκε από τους Moratitel et al. (2020) και αποτελεί βαθμονομημένη μορφή, προσαρμοσμένη στα μεσογειακά ημί-ξερα κλίματα όπως το κλίμα της περιοχής μελέτης:

$$ET_o = 0.0135 * k_{Rs} * 0.408 * R_a * (T_{av} + 17.8) * (T_{max} - T_{min})^{0.5} \quad (\text{mm day}^{-1})$$

Όπου:

- k_{RS} : Συντελεστής βαθμονόμησης με τιμή 0.19 (παραθαλάσσιες περιοχές)
- R_a : Εξωγήινη ακτινοβολία σε MJ/m²/day όπου μπορεί να βρεθεί από πίνακες (**Πίνακας 1 Παραρτήματος**, Samani, 2000). Ο μετασχηματισμός σε mm day⁻¹ γίνεται ως εξής:

$$R_a * 0.408 \text{ (FAO 56)}$$

Με την $R_a = 24 (60)/\pi * G_{sc} \int [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)]$

Όπου:

- G_{sc} ηλιακή σταθερά = 0.0820 MJm⁻²day⁻¹
- d_r Αντίστροφη σχετική απόσταση Γης – Ήλιου = $1 + 0.033 \cos(\frac{2\pi JD}{365})$

και:

- JD = ημέρα του χρόνου
- ω_s = γωνία δύσης ηλίου (rad)
- $\omega_s = \arccos[-\tan(j)\tan(d)]$
- δ = ηλιακή απόκλιση (rad) = $0.409 \sin(2\pi \frac{JD}{365} - 1.39)$
- φ = γεωγραφικό πλάτος της περιοχής

Επίσης

- T_{av} = Ο μέσος όρος της μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας
- T_{max} , T_{min} : Η ημερίσια μέγιστη και ημερίσια ελάχιστη θερμοκρασία

Συνεπώς χρησιμοποιώντας τα μετεωρολογικά δεδομένα του Μ.Σ. Τήνου προκύπτουν τα εξής όσον αφορά την ET_o για την περιοχή του Πανόρμου για την περίοδο 2008-2019 (**Πίνακας 5.4 & 5.5 & 5.6**).

Πίνακας 5.4 Υπολογισμός της ET_o για κάθε μήνα του έτους ανά ημέρα αλλά και συνολικά (σύνολο του μήνα) σύμφωνα με το βαθμονομημένη εξίσωση των Hangreaves – Samani (Περίοδος 2008-2019)

Μήνας	ET_o mm day ⁻¹ (Average)	ET_o mm month ⁻¹ (Average)
Ιανουάριος	1.03	32.1
Φεβρουάριος	1.42	39.8
Μάρτιος	2.04	63.2
Απρίλιος	2.93	88.0
Μάϊος	3.77	116.8
Ιούνιος	4.37	131.2

Ιούλιος	4.42	137.0
Αύγουστος	3.77	116.7
Σεπτέμβριος	2.94	88.1
Οκτώβριος	1.90	58.9
Νοέμβριος	1.25	37.4
Δεκέμβριος	0.98	30.4

- Η ετήσια συνολική ET_0 ανέρχεται στα 934 mm year^{-1}

Πίνακας 5.5 Εποχιακή διαβάθμιση της ET_0 (mm) σύμφωνα με το βαθμονομημένη εξίσωση των Hangreaves – Samani (Περίοδος 2008-2019)

ET_0 Χειμώνας	ET_0 Άνοιξη	ET_0 Καλοκαίρι	ET_0 Φθινόπωρο
102.3	267.9	384.9	184.3

Έπειτα υπολογίστηκε ο φυτικός συντελεστής K_c για την καλλιέργεια της ελιάς σύμφωνα με το εγχειρίδιο FAO No.56 (**Πίνακας 5.6**), ο οποίος αντιστοιχεί σε κλίματα με βροχόπτωση $< 400\text{mm}$ ετησίως όπως στην περιοχή μελέτης με την ετήσια βροχόπτωση να ανέρχεται στα 368 mm .

Πίνακας 5.6 Προτεινόμενες τιμές K_c για την καλλιέργεια της ελιάς για ξηρικά κλίματα με ετήσιο ύψος βροχόπτωσης $< 400 \text{ mm}$ (FAO 56)

Μήνας	K_c
Ιανουάριος	0.475
Φεβρουάριος	0.475
Μάρτιος	0.5
Απρίλιος	0.5
Μάιος	0.5
Ιούνιος	0.525
Ιούλιος	0.525
Αύγουστος	0.525
Σεπτέμβριος	0.6
Οκτώβριος	0.6
Νοέμβριος	0.6
Δεκέμβριος	0.475

Συνεπώς από τον τύπο **5.1** και τον επιμέρους υπολογισμό των ET_o και K_c υπολογίστηκε η μηνιαία εξατμισοδιαπνοή ET_c για την καλλιέργεια της ελιάς στην περιοχή μελέτης (**Πίνακας 5.7**)

Πίνακας 5.7 Μηνιαία εξατμισοδιαπνοή ET_c για την καλλιέργεια της ελιάς στην περιοχή του Πανόρμου

Μήνας	ET_c (mm month⁻¹)
Ιανουάριος	15.2
Φεβρουάριος	18.9
Μάρτιος	31.6
Απρίλιος	44.0
Μάιος	58.4
Ιούνιος	68.9
Ιούλιος	71.9
Αύγουστος	61.3
Σεπτέμβριος	52.8
Οκτώβριος	35.3
Νοέμβριος	22.4
Δεκέμβριος	14.5

Συμπερασματικά:

- Η ετήσια εξατμισοδιαπνοή για την καλλιέργεια της ελιάς στην περιοχή του Πανόρμου ανέρχεται ~495 mm
- Ο μήνας με τις περισσότερες απαιτήσεις σε νερό για την ελιά είναι ο Ιούνιος, ο Ιούλιος και ο Αύγουστος με τον Ιούλιο να θεωρείται ο μήνας αιχμής
- Συνδυάζοντας το μηνιαίο ύψος βροχόπτωσης για την περιοχή μελέτης και την μηνιαία εξατμισοδιαπνοή η αρδευτική περίοδος ξεκινά από τον μήνα Απρίλιο και τελειώνει οριακά τον μήνα Οκτώβριο (**Πίνακας 5.7**). Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι το συμπέρασμα αυτό αφορά μόνο το καθαρό ισοζύγιο μεταξύ της εξατμισοδιαπνοής και της βροχόπτωσης σύμφωνα με το FAO no.56. Δηλαδή δεν περιέχονται οι παράγοντες της αποθήκευσης νερού στο έδαφος.

Τα δεδομένα της εξατμισοδιαπνοής, των αναγκών σε άρδευση ποσοτικά και χρονικά της περιοχής μελέτης θα φανούν πολύ χρήσιμα για τον μετέπειτα υπολογισμό της ειδικής συνεχούς παροχής στην ενότητα της ανάλυσης του δικτύου.

5.9 Σχεδιασμός του δικτύου

Στην ενότητα αυτή περιγράφεται η διαδικασία χάραξης του αρδευτικού δικτύου κατά στάδια σε περιβάλλον ΓΣΠ με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS version 10.8 (ArcGis 10.8, ESRI) και συγκεκριμένα του βοηθητικού λογισμικού ArcMap version 10.8. Μέσω του λογισμικού αυτού παρέχεται στους χρήστες η δυνατότητα προβολής, επεξεργασίας, δημιουργίας και ανάλυσης γεωπληροφοριακών δεδομένων. Με τον τρόπο αυτό θα επεξεργασθεί και θα αναλυθεί σε χωρικό επίπεδο και τελικά θα αποδοθεί σε χάρτες και βάσεις περιγραφικών και γεωγραφικών δεδομένων το συλλογικό αρδευτικό δίκτυο της μελέτης.

5.9.1 Θέση του έργου

Η γεωγραφική θέση της περιοχής μελέτης ορίζεται από τις κάτωθι γεωγραφικές συντεταγμένες, όπως προκύπτει από την εισαγωγή των πολυγώνων στην ελεύθερη τρισδιάστατη (3D) πλατφόρμα Google Earth Pro, (**Χάρτης 5.2**):

Γεωγραφικό Μήκος Ανατολικό: 25° 1'59.72" έως 25° 2'58.78"

Γεωγραφικό Πλάτος Βόρειο: 37°39'10.36" έως 37°38'48.70"



Χάρτης 5.2: Η περιοχή μελέτης μέσα από την ελεύθερη πλατφόρμα Google Earth Pro.

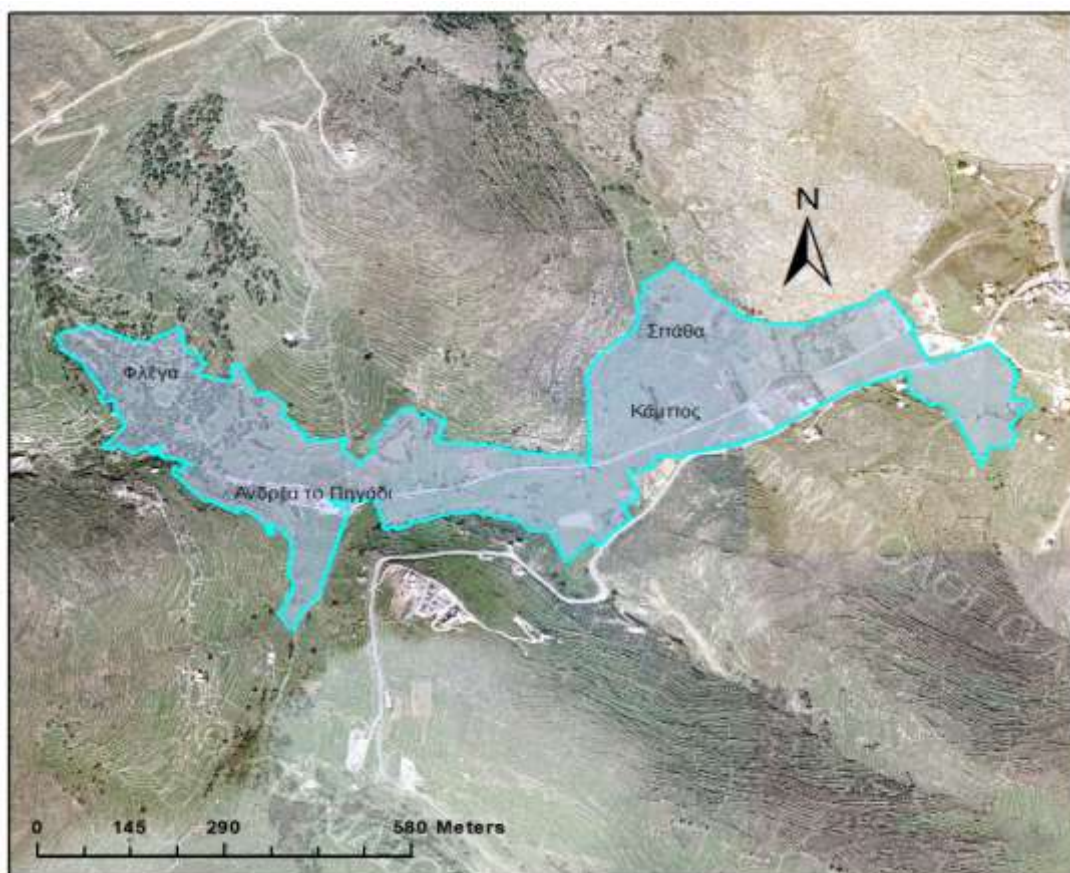
5.9.2 Όρια και Έκταση της Περιοχής Μελέτης

Η περιοχή μελέτης εντάσσεται, από διοικητικής πλευράς, στην Περιφέρεια Ν. Αιγαίου, στην Περιφερειακή Ενότητα (Π.Ε.) Τήνου

Η περιοχή στην οποία πρόκειται να σχεδιασθεί το αρδευτικό έργο εκτείνεται στην ευρύτερη περιοχή του Πανόρμου. Συγκεκριμένα τα όρια της περιοχής μελέτης προσδιορίζονται από τα εξής τοπωνύμια (**Χάρτης 5.3**):

- **Φλέγα:** Δυτικό άκρο της περιοχής μελέτης
- **Σπάθα:** Βόρειο άκρο της περιοχής μελέτης
- **Αργαστήρια ή «Ανδρέα το Πηγάδι-Αθυματίστρια»:** Τοπωνύμιο στο οποίο βρίσκεται ο βιολογικός καθαρισμός
- **Κάμπος Πανόρμου ή απλά Κάμπος:** Πεδινό τμήμα της περιοχής μελέτης

Η συνολική έκταση της περιοχής μελέτης ανέρχεται σε 284 στρέμματα, όπως προκύπτει από την ψηφιοποίηση και τον υπολογισμό μέσω του λογισμικού ArcGis, (**Χάρτης 5.3**).



Χάρτης 5.3 Όρια περιοχής μελέτης του συλλογικού αρδευτικού υπό πίεση για την Περιοχή του Πανόρμου με τα τοπωνύμια, σε κλίμακα 1:8000.

5.9.3 Περιγραφή της Χάραξης του Δικτύου

Στην υποενότητα αυτή επεξηγείται το θεωρητικό υπόβαθρο της διαδικασίας της σχεδίασης του δικτύου στην περιοχή εφαρμογής και οι συνιστώσες που λαμβάνονται υπόψη, σύμφωνα με την υπάρχουσα κατάσταση. Η βέλτιστη χάραξη του δικτύου αποτελεί ένα πολυσύνθετο πρόβλημα για το μελετητή, διότι πρέπει να εφαρμόζεται η συντομότερη διαδρομή η οποία θα εξυπηρετεί τα υδροστόμια ταυτόχρονα με την οικονομικότερη δυνατή λύση (Τσακίρης και Δέρκας, 2006).

Στην παρούσα εργασία θα σχεδιασθεί ακτινωτό δίκτυο, το οποίο αποσκοπεί στη σύνδεση των υδροληψιών με την κεφαλή του δικτύου. Η χάραξη θα πραγματοποιηθεί προσαρμοσμένη στο χώρο εφαρμογής, θα πρέπει δηλαδή να εναρμονιστεί στα υφιστάμενα εμπόδια της εξεταζόμενης περιοχής, όπως για παράδειγμα κτίσματα, μαντρότοιχοι, οδικό δίκτυο κ.α. Η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοσθεί σε περιοχές που υπάρχει διάσπαρτη γεωργική εκμετάλλευση χωρίς αναδασμό (Τσακίρης και Δέρκας, 2006). Πράγματι στην περιοχή του Πανόρμου δεν έχει συντελεστεί αναδασμός και από τα ιδιοκτησιακά δεδομένα της περιοχής προκύπτει η κατανομή των κλήρων σε διάφορα σημεία για τους αγρότες και σε σπάνιες περιπτώσεις εντοπίζονται γειτονικά τεμάχια ίδιου ιδιοκτήτη. Διαφορετικά, σε περίπτωση περατωμένου αναδασμού το έργο θα είχε γεωμετρική χάραξη του αρδευτικού δικτύου.

Με γνώμονα τη βέλτιστη και οικονομικότερη κατασκευή των υπό μελέτη δικτύων, επιδιώκεται η διέλευση από μη ασφαλτοστρωμένους αγροτικούς, ή και μεταξύ ιδιοκτησιών, δρόμους (ιδιωτικές οδοί). Σε κεντρικά σημεία των οικισμών ο σχεδιασμός ακολουθεί παράλληλα την ασφαλτοστρωμένη υπάρχουσα οδοποιία. Η χάραξη αυτή πραγματοποιήθηκε στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό.

5.10 Δημιουργία Ψηφιακού Υποβάθρου και Θεματικών Επιπέδων

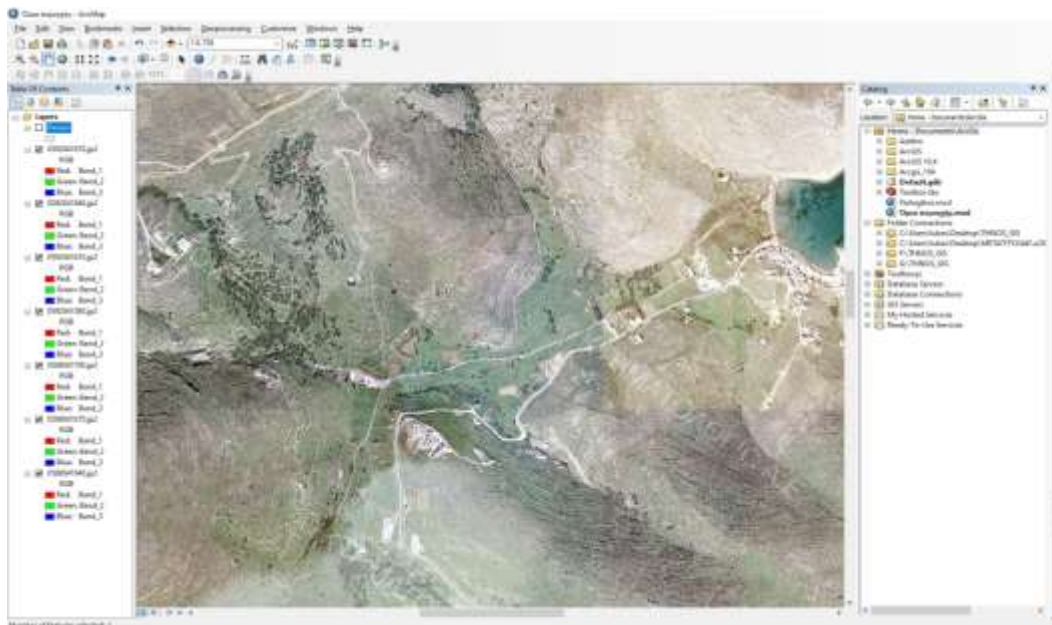
Το εν λόγω στάδιο πραγματεύεται τη χωρική και περιγραφική διαδικασία με την οποία θα σχεδιαστεί το αρδευτικό δίκτυο στην περιοχή μελέτης με βάση τις διαθέσιμες πληροφορίες. Έπεται της φάσης συλλογής πληροφοριών, ως αφητηρία έχει την επεξεργασία των δεδομένων και ακολουθεί ο χωρικός σχεδιασμός του δικτύου. Στα πλαίσια της μελέτης αναλύεται χωρικά το επικείμενο δίκτυο και η ευρύτερη περιοχή αυτού. Η επίτευξη των παραπάνω υλοποιήθηκε σε περιβάλλον

ΓΣΠ για τα στάδια χαρτογραφικής επεξεργασίας, σχεδιασμού και ανάλυσης, καθώς και για τη διαχείριση των χωρικών δεδομένων.

5.10.1 Επιλογή Χαρτογραφικού Υποβάθρου

Η περιοχή της εφαρμογής θα αναπαρασταθεί σε χάρτη με σκοπό την υλοποίηση του εγγειοβελτιωτικού έργου. Συνεπώς, το πρώτο βήμα αποτελεί η εύρεση του κατάλληλου χαρτογραφικού υποβάθρου.

Ως γεωγραφικό υπόβαθρο της περιοχής επιλέχθηκαν οι ορθοφωτογραφίες LSO της ΕΚΧΑ, περιόδου 2007 – 2009 όπως αυτές χορηγήθηκαν από την υπηρεσία σε αρχεία ψηφιδωτής μορφής (raster). Τα παραπάνω αρχεία καλύπτουν την προς μελέτη περιοχή του Πανόρμου (**Εικόνα 5.12**). Επίσης, χρησιμοποιήθηκε ως υπόβαθρο η πλατφόρμα Google Earth Pro, η οποία παρέχει ελεύθερα χαρτογραφικά δεδομένα σε ορθοφωτογραφίες διαφόρων λήψεων ανά χρονικές περιόδους. Το λογισμικό της Google λειτούργησε ως μέσο σύγκρισης και καλύτερης οπτικοποίησης για δυσχερή ως προς τη φωτοερμηνεία τμήματα. Όμοια λειτούργησε και το ψηφιακό υπόβαθρο της ΕΚΧΑ με τις ορθοφωτογραφίες της περιόδου 2015 – 2016, το οποίο χρησιμοποιείται μέσα από την ιστοσελίδα της υπηρεσίας.



Εικόνα 5.12: Το χαρτογραφικό υπόβαθρο της ΕΚΧΑ περιόδου 2007 – 2009 για την περιοχή μελέτης σε raster μορφή στο ArcGIS (ArcMap 10.8).

Τα raster αρχεία εισήχθησαν στο λογισμικό ArcMap 10.8 με την εντολή Add Raster Layer (θεματικό επίπεδο εικόνας), αφού ξεκίνησε νέο Project και έτσι δημιουργήθηκε μία ολοκληρωμένη εικόνα για την ευρύτερη περιοχή. Επιλέγεται το προβολικό σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ'87/ Greek Grid (CRS: GGRS87/ Greek Grid) κατά την εισαγωγή. Με αυτό το βήμα διαμορφώνεται η πρώτη επαφή του μελετητή σχετικά με τη γεωμορφολογική κατάσταση της και την τοπογραφία της περιμέτρου.

5.10.2 Επεξεργασία των Ιδιοκτησιακών Δεδομένων

Έχοντας επιλέξει την περιοχή του Πανόρμου Τήνου ως περιοχή υλοποίησης εγγειοβελτιωτικού έργου, συνεπάγεται ότι πρέπει να συγκεντρωθεί το σύνολο των χωρικών και περιγραφικών δεδομένων της υπάρχουσας κατάστασης. Τα δεδομένα αυτά θα καταστήσουν γνωστό στο μελετητή την τοπογραφία, το ιδιοκτησιακό καθεστώς και το είδος των καλλιεργειών της περιοχής. Το μειονέκτημα που συναντάται σε αυτή τη φάση αρχικά είναι η μη ύπαρξη Κτηματολογίου. Για το λόγο αυτό δεν υφίσταται σαφής και εκσυγχρονισμένη πληροφορία για τα όρια των ιδιοκτησιών και την κατανομή αυτών στους αντίστοιχους δικαιούχους. Επιπλέον, στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής δεν έχουν υλοποιηθεί μελέτες και έργα αγροτικής οδοποιίας.

Οι άνωθεν αιτίες συνετέλεσαν στην έρευνα και εξεύρεση των υπαρχόντων πληροφοριών και τελικά αξιοποιήθηκαν πληροφορίες από την Δημοτική Ενότητα Πανόρμου και από κατοίκους της περιοχής. Στην περιοχή μελέτης οι περιουσίες της περιοχής έχουν σαφή όρια μεταξύ τους τα οποία χαρακτηρίζονται από λίθινο φράκτη, την παραδοσιακή ξερολιθιά.

Τα αρχεία διανυσματικών δεδομένων σε μορφή .shp (ESRI shapefile) και οι σχετικές αυτών ΒΔ, τα στοιχεία αυτά εισήχθησαν στο ArcMap 10.8 επιλέγοντας το εικονίδιο Add Vector Layer και ορίζοντας ως προβολικό σύστημα αναφοράς το ΕΓΣΑ'87 (GGRS87/ Greek Grid).

5.10.3 Ψηφιοποίηση Περιοχής Εφαρμογής και Αρδευτικών Μονάδων

Η ψηφιοποίηση της περιοχής μελέτης περίπτωσης διαμορφώθηκε από το σχεδιασμό των αρδευτικών ενοτήτων, η άθροιση των οποίων σχηματίζει την αρδευτική περίμετρο. Σε αντίθεση λοιπόν με τη συνήθη τακτική, η περιοχή μελέτης περίπτωσης

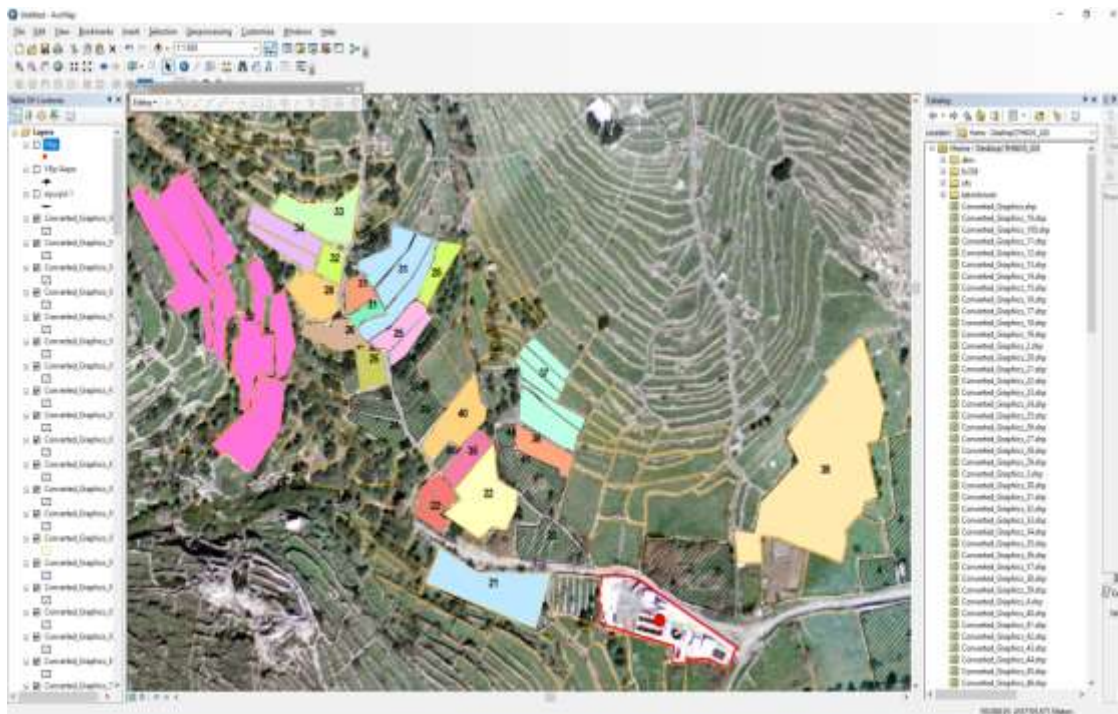
αναμορφώθηκε στο επόμενο βήμα του σχεδιασμού. Κοινή βάση και των δύο αυτών Θ.Ε. υπήρξε το Layer της Περιοχής Μελέτης.

5.10.4 Σχεδιασμός Αρδευτικών Μονάδων

Κατά το πρώτο βήμα θα πρέπει να πραγματοποιηθεί οπτικός έλεγχος της διάρθρωσης των πολυγώνων των γεωτεμαχίων ως προς το σχήμα και το μέγεθος και τη διάταξή τους εντός διανομής. Ένα ακόμη βήμα αποτελεί ο έλεγχος ως προς τους ιδιοκτήτες και τον διαμοιρασμό αυτών με τα αντίστοιχα τεμάχια διανομής, ώστε να εξακριβωθεί η πιθανότητα εγγύτητας μεταξύ των τελευταίων. Το σημείο αυτό είναι καθοριστικό για την εξέλιξη της αρδευτικής περιμέτρου, διότι προσδιορίζει κατά πόσο μπορούν να οριοθετηθούν αρδευτικές ενότητες οι οποίες αφορούν αποκλειστικά ένα δικαιούχο, ο οποίος με τη σειρά του θα αρδεύει από ένα υδροστόμιο ή θα πρέπει να το μοιράζεται με περισσότερους χρήστες.

Η χωρική διερεύνηση στην περιοχή κατέδειξε ότι τα κτήματα είχαν διανεμηθεί σε διάφορα σημεία της τότε κοινότητας και δε γειτνιάζουν στην πλειονότητά τους (**Εικόνα 5.13**). Συνεπώς, θα δομηθούν οι αρδευτικές μονάδες από μικρές κυρίως ιδιοκτησίες και από διαφορετικούς δικαιούχους, με μέσο εμβαδό τα 3 στρέμματα (0.3 ha). Το γήινο ανάγλυφο, το μέγεθος και το σχήμα των ιδιοκτησιών είναι αυτό που θα καθορίσει το τελικό εμβαδό της εκάστοτε ενότητας, εφόσον πρόκειται για ημιορεινή περιοχή με κατακερματισμένες ιδιοκτησίες. Ένα ακόμη ζήτημα που αναδεικνύεται από τη διερεύνηση αυτή είναι η έλλειψη δεδομένων σε αρκετά μεγάλο μέρος της περιοχής μελέτης, οπότε δεν υφίσταται σαφής πληροφορία για το ιδιοκτησιακό καθεστώς. Τα στοιχεία αυτά είχαν καταχωρηθεί ως αγνώστου ιδιοκτήτη.

Ο σχεδιασμός των αρδευτικών μονάδων έχει ως αφετηρία τη δημιουργία ενός νέου διανυσματικού πολυγωνικού Θ.Ε. Μείζον κριτήριο αποτελούν τα υλοποιημένα όρια στο χώρο εφαρμογής από τις ορθοφωτογραφίες, όπου ακολουθούνται με δέουσα σημασία και σε συνεργασία με το διανυσματικό υπόβαθρο. Καταλυτική υπήρξε και η αρωγή του Google Earth Pro σε πολλές περιπτώσεις, με την απόδοση καλύτερης ευκρίνειας από νεότερα υπόβαθρα και την παράθεση φωτογραφιών σε αστικά κυρίως σημεία μέσω της εφαρμογής Street View. Επίσης, η φωτοερμηνεία της περιοχής ισχυροποιήθηκε και επικυρώθηκε και με το επικαιροποιημένο υπόβαθρο της ΕΚΧΑ με ορθοφωτογραφίες της περιόδου 2015 – 2016.



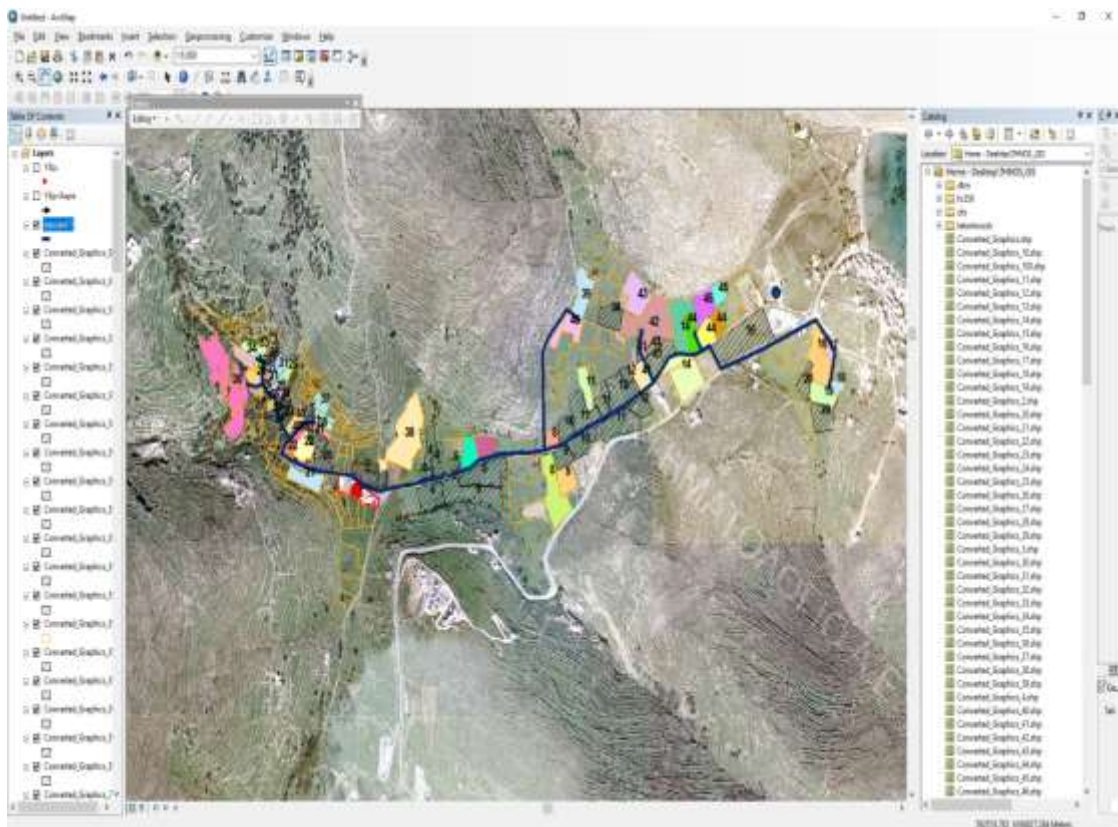
Εικόνα 5.13 Σχεδίαση και οπτικοποίηση των αρδευτικών μονάδων και αρίθμηση τους στο λογισμικό ArcMap 10.8 του ArcGis

Για την ολοκλήρωση της διαδικασίας απαιτήθηκαν αρκετές δοκιμές και συγκρίσεις μεταξύ των υποψηφίων πολυγώνων ώστε να προσεγγίζουν κατά το δυνατόν καλύτερα την υπάρχουσα διανομή και τα υλοποιημένα όρια. Η ψηφιοποίηση των πολυγώνων συμπεριέλαβε και τεμάχια ή περιοχές γειτονικά της διανομής, με γνώμονα φυσικά ή τεχνητά όρια. Η οριστικοποίηση του Θ.Ε. πραγματοποιήθηκε με τη σχεδίαση των αγωγών και των υδροστομιών του δικτύου, στοιχεία τα οποία διευθετούν τη διανομή του νερού στον αγρό. Η χάραξη των αρδευτικών μονάδων έγινε προσαρμοσμένη στην υπάρχουσα κατάσταση του χώρου εφαρμογής. Συνολικά κατασκευάστηκαν 45 μονάδες άρδευσης και δημιουργήθηκε στον Attribute Table το πεδίο αρίθμησης εγγραφών id και το πεδίο Area με τα εμβαδά ανά πολύγωνο.

5.10.5 Χωρικός Σχεδιασμός του Αρδευτικού Δικτύου

Αφού ολοκληρωθεί η ψηφιοποίηση των αρδευτικών μονάδων και της περιοχής μελέτης περίπτωσης, ακολουθεί η χωρική σχεδίαση του συλλογικού αρδευτικού έργου με σκοπό την παραγωγή της τελικής πρότασης.

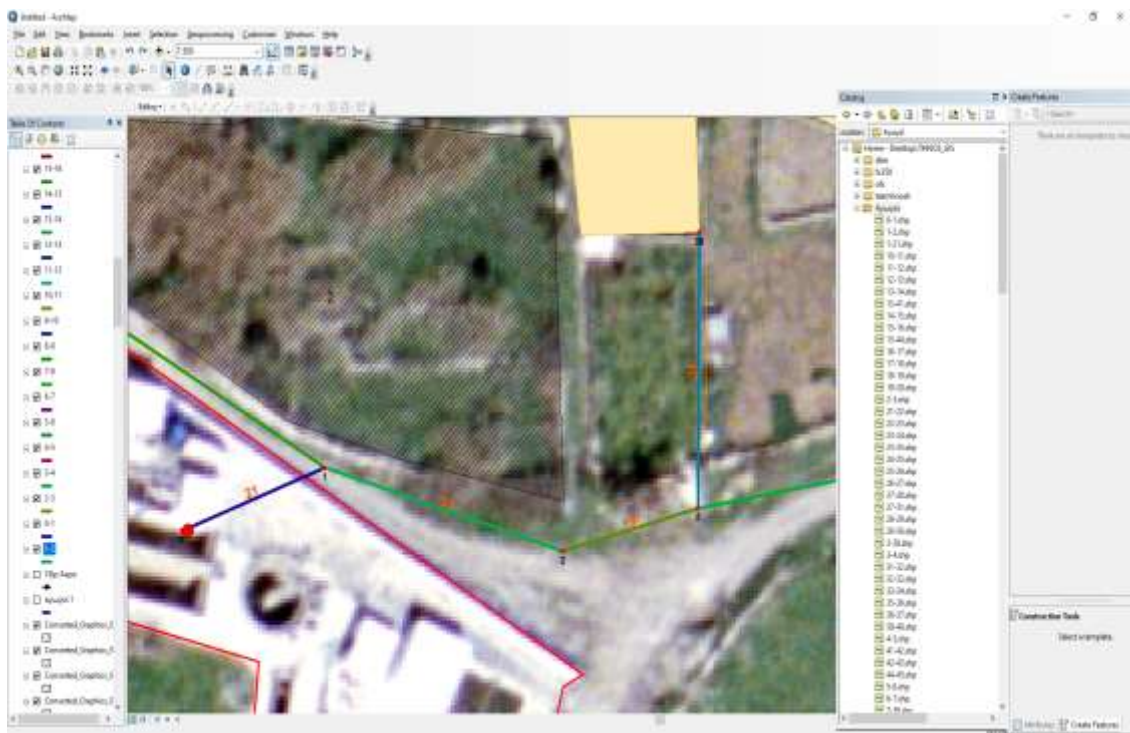
Αρχικά δημιουργήθηκε νέο Θ.Ε. γραμμών (Αγωγοί) με σκοπό τη σχεδίαση των μεγάλων τμημάτων αγωγών που καλύπτουν τις κυριότερες διαδρομές σε όλο το εύρος της περιοχής ενδιαφέροντος. Με αφετηρία τον βιολογικό καθαρισμό, σχεδιάζονται υπό μορφή τμημάτων γραμμών οι αγωγοί, οι οποίοι ακολουθούν τις κύριες και φωτοερμηνευτικά ευκρινείς αρτηρίες της υπάρχουσας αγροτικής οδοποιίας. Η επικύρωση των τμημάτων αυτών ολοκληρώθηκε με τη μετάβαση και περιήγηση στους δρόμους της κοινότητας. Αφού υλοποιήθηκαν ορισμένες δοκιμαστικές χαράξεις, δημιουργήθηκε και αποθηκεύτηκε το οριστικό vector line layer με ονομασία Αγωγοί, το οποίο περιέχει τους βασικούς κλάδους μεταφοράς του νερού στο χώρο εφαρμογής, (Εικόνα 5.14). Στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης ακολουθεί ελαφρά καθοδική πορεία ενώ στο δυτικό-βορειοδυτικό ανοδική πορεία. Επίσης, σχεδιάστηκε να διασχίζει την παράλληλα την οδοποιία, στο όριο με τις όμορες ιδιοκτησίες.



Εικόνα 5.14 Το vector line layer Αγωγοί με τις κύριες διαδρομές μεταφοράς του νερού ως προς τις αρδευτικές μονάδες στην περιοχή του Πανόρμου σε κλίμακα 1:5000.

Οι διαδρομές που θα ακολουθήσει το νερό άρδευσης είναι μείζονος σημασίας για την εκτέλεση των υδραυλικών υπολογισμών κατά το βέλτιστο τρόπο, το οποίο θα υλοποιηθεί στη συνέχεια με την αρωγή του COPAM software.

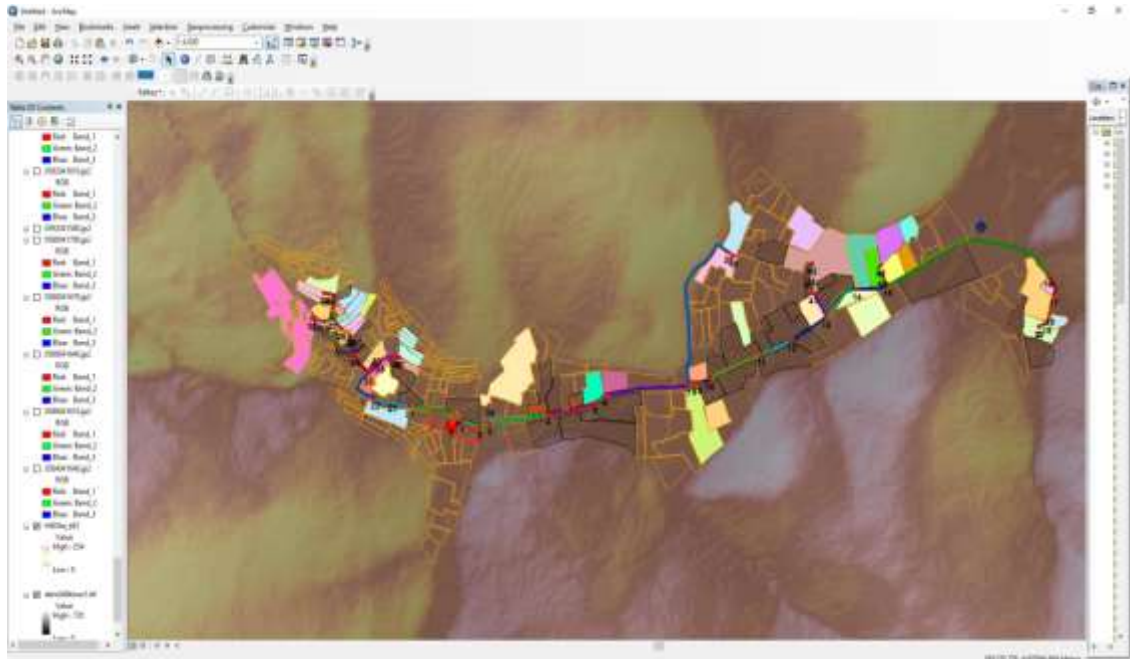
Η προσθήκη της στήλης – πεδίου Length για το συγκεκριμένο Θ.Ε. κρίνεται σημαντική, διότι παραθέτει τα επιμέρους μήκη των κλάδων, τα οποία και θα καταχωρηθούν στο υδραυλικό λογισμικό προσομοίωσης. Η ενέργεια αυτή πραγματοποιήθηκε στον Πίνακα Στοιχείων (Attribute Table) με την ομώνυμη γεωμετρική συνάρτηση (Εικόνα 5.15)



Εικόνα 5.15 Τμήματα αγωγών και το μήκος τους (label features) μέσα από το λογισμικό Arcmap 10.8

Σε αντίθεση με τους κύριους αγωγούς που θα εκτελούν μεγάλες διαδρομές παράλληλα με το οδικό δίκτυο, οι επιμέρους αγωγοί σχεδιάζονται έτσι ώστε να αποφευχθούν οι κατά το δυνατόν περισσότερες απαλλοτριώσεις, να εξυπηρετούνται κατά βέλτιστο τρόπο τα όμορα αγροτεμάχια και να προδιαγραφούν τα ελάχιστα μέτρα αγωγών για την αποπεράτωση του συλλογικού δικτύου. Σε περίπτωση που διασχίζουν κάθετα το υφιστάμενο οδικό δίκτυο θα πρέπει να εκτελεστούν τα ανάλογα τεχνικά έργα έως και την αποκατάστασή του. Οι εφαρμογές αυτές υλοποιήθηκαν στο ελάχιστο δυνατό, ως απόρροια πολλών δοκιμών χάραξης. Στην

Εικόνα 5.16 για την αναπαράσταση του δικτύου των αγωγών και την οπτικοποίηση του αναγλύφου της περιοχής χρησιμοποιείται ως υπόβαθρο το Ψ.Μ.Ε. (DEM) hillshade της ευρύτερης. περιοχής.



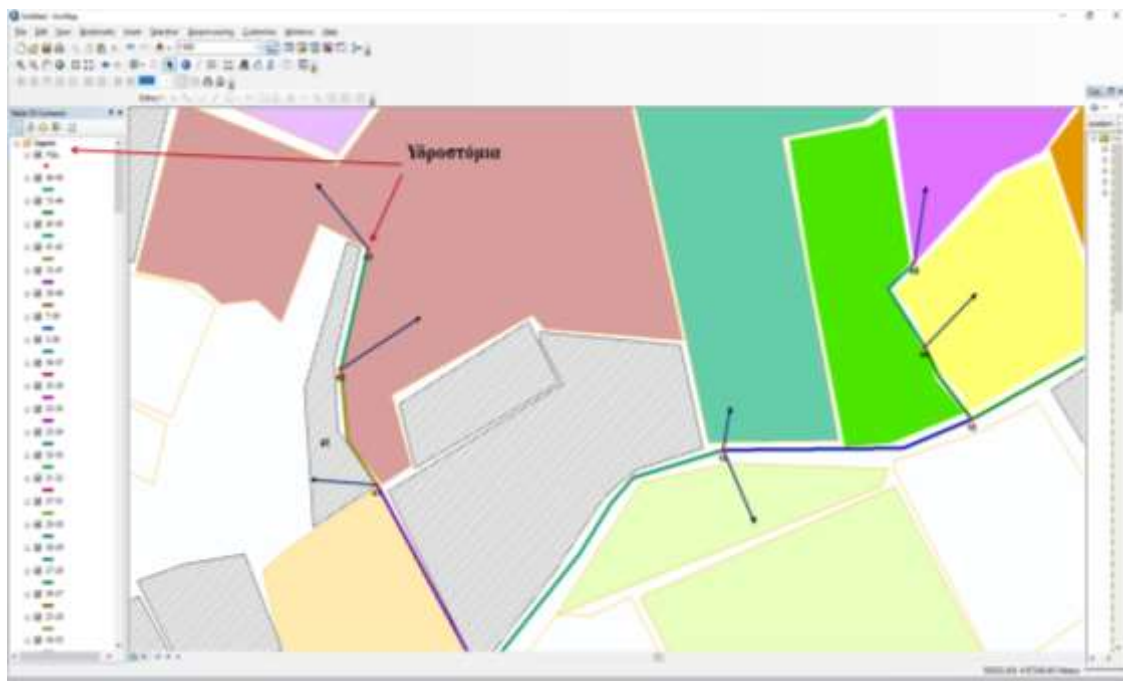
Εικόνα 5.16 Το vector line layer Αγωγοί με τους επιμέρους αγωγούς μεταφοράς του νερού ως προς την περιοχή μελέτης, και υπόβαθρο το Ψ.Μ.Ε. (DEM) hillshade της ευρύτερης περιοχής. Κλίμακα 1:4000.

Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε έλεγχος για την τοπολογία των γραμμικών Θ.Ε. που κατασκευάστηκαν με τη δόμηση των ανάλογων τοπολογικών κανόνων. Εν κατακλείδι, σχεδιάστηκε ακτινωτό δίκτυο αγωγών προσαρμοσμένο όμως στο χώρο εφαρμογής.

Τα υδροστόμια του αρδευτικού συστήματος αντιμετωπίστηκαν σε πλήρη αλληλεξάρτηση με τη φάση της σχεδίασης του Θ.Ε. των επιμέρους αγωγών. Η δόμηση του Θ.Ε. συνδέεται άρρηκτα με τη γεωμορφολογία του χώρου εφαρμογής αλλά σε μεγαλύτερο βαθμό με την υπάρχουσα κατάσταση των ιδιοκτησιών του. Ο στόχος που τέθηκε ήταν στα όρια αγροτεμαχίων ή όμορων ιδιοκτησιών να τοποθετηθούν υδροληψίες ενός ή δύο υδροστομίων και να περιοριστεί κατά το ελάχιστο η εξυπηρέτηση μη όμορων αγροτεμαχίων.

Η θέση των υδροληψιών αποτελεί μία λύση συμβιβασμού μεταξύ της επιθυμίας των χρηστών και του μελετητή του δικτύου. Για τους μεν πρώτους επειδή επιθυμούν

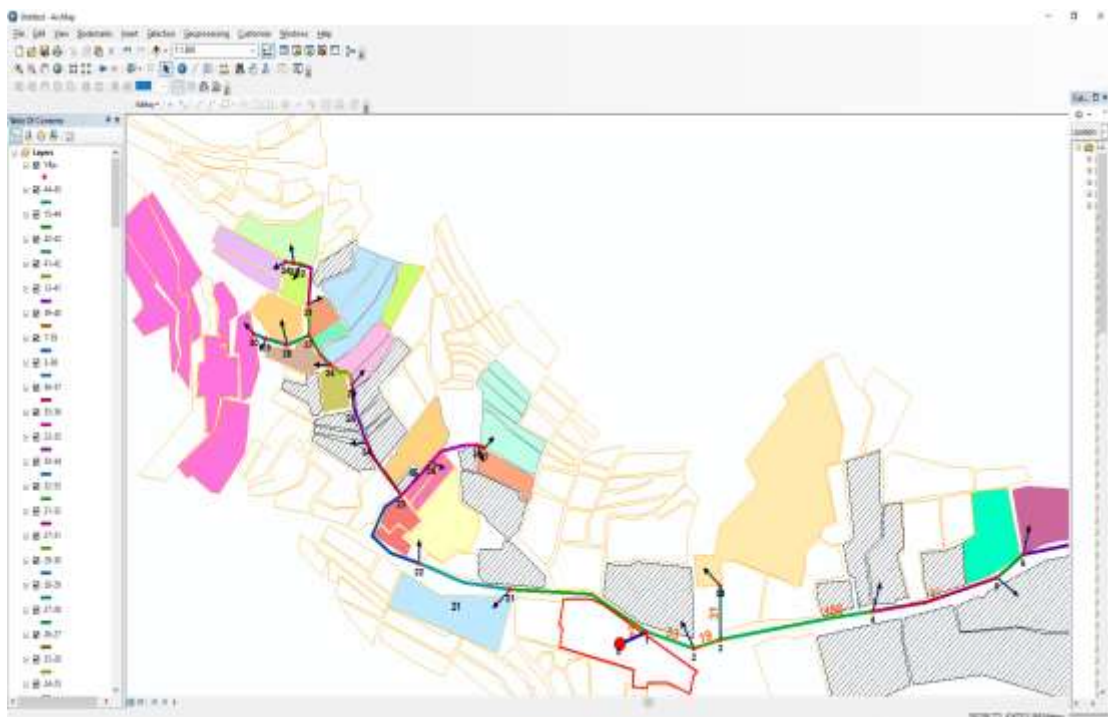
να έχουν το δικό τους υδροστόμιο στην άκρη της ιδιοκτησίας τους, σε αντίθεση με την ελάττωση του αριθμού των υδροληψιών που επιδιώκει ο δεύτερος, με σκοπό τη μείωση του κόστους του αρδευτικού έργου, (Γσακίρης και Δέρκας, 2006). Συνεπώς, η ελάττωση των σημείων διανομής έχει ως απόρροια την αναγκαιότητα τροφοδοσίας και γεωτεμαχίων που βρίσκονται σε ορισμένη απόσταση από την υδροληψία. Στη δεδομένη εφαρμογή πραγματοποιήθηκε μεγάλος αριθμός χαράξεων για τους επιμέρους κλάδους και τις υδροληψίες του δικτύου, ώστε αρχικά να ικανοποιηθεί η επιθυμία των αγροτών για εξατομικευμένο υδροστόμιο, με σκοπό την κατασκευή ενός συλλογικού δικτύου φιλικότερου στους χρήστες. Ακολούθως δημιουργήθηκε το διανυσματικό Θ.Ε. σημείων υδροστόμια το οποίο αντιπροσωπεύει τα εγκατεστημένα στον αγρό υδροστόμια, στο οποίο με την εντολή Add Feature εισάγονται στους αγωγούς του συστήματος, (Εικόνα 5.17).



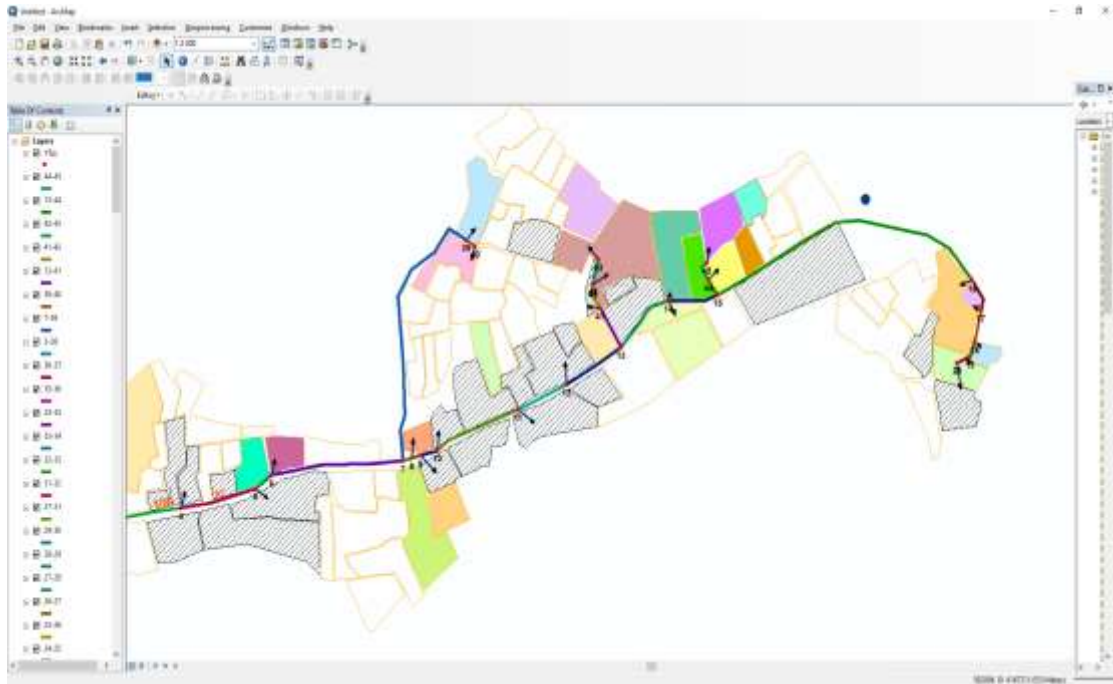
Εικόνα 5.17: Προσθήκη στοιχείου στο σημειακό Θ.Ε. υδροστόμια για την εισαγωγή των υδροληψιών του έργου.

Επειδή στην περιοχή μελέτης η μέση έκταση των αγροτεμαχίων είναι μικρή διαπιστώνεται ότι η πλέον συμφέρουσα και για τις δύο πλευρές λύση είναι η εγκατάσταση μίας υδροληψίας/υδροστομίου ανά αρδευτική μονάδα (30 στρέμματα) η οποία θα αποτελείται από 2-3 αγροτεμάχια, σύμφωνα με τα γαλλικά πρότυπα της SCP, με τη χρήση υδροστομίων με ανώτερη ακτίνα δράσης έως 200 m για παροχή

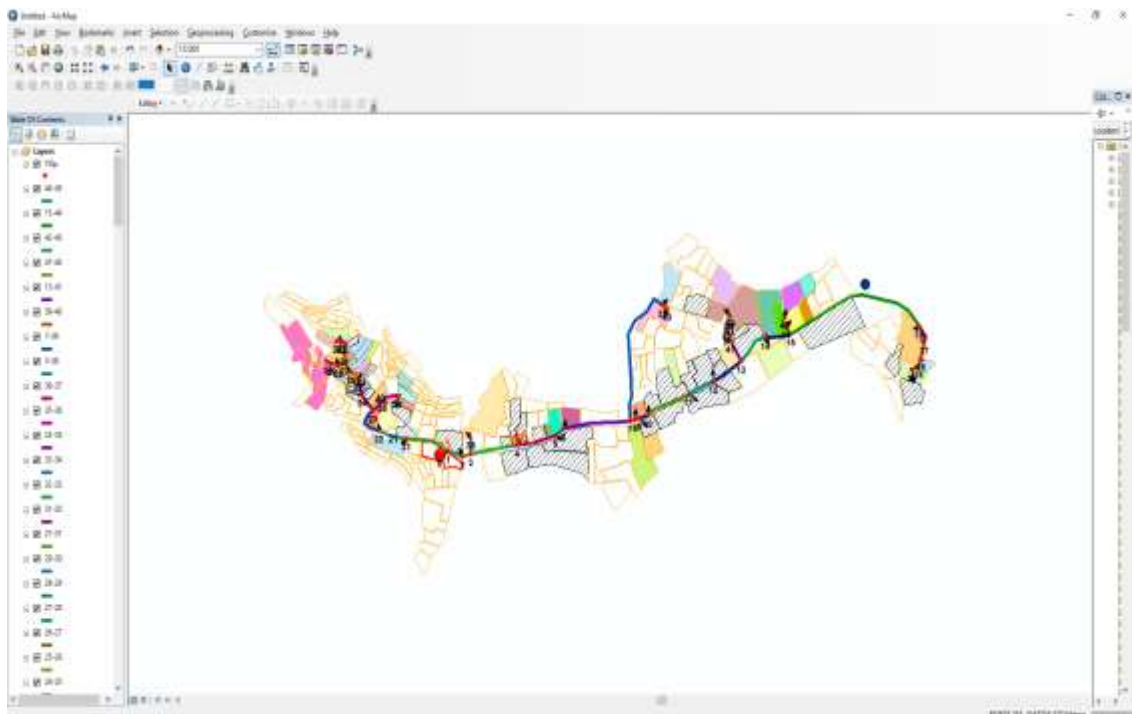
υδροστομίου 6 L/s (21.6m³/h). Η μέθοδος άρδευσης που θα εφαρμοστεί είναι η στάγδην άρδευση, η οποία συνηθίζεται στις δενδροκαλλιέργειες και συνιστά λύση εξοικονόμησης ύδατος. Στο σημείο αυτό τονίζεται ότι ελαττώθηκαν σε συνδυασμό με τα υδροστόμια τα μήκη των αγωγών, ενώ σε πολλές περιπτώσεις διαγράφηκαν τμήματα αυτών και διαφοροποιήθηκε το σχήμα τους. Υπήρξε μέριμνα ώστε να περιορισμό των μεγάλων αποστάσεων μεταξύ υδροστομίων και υδροδοτούμενων γεωργικών εκμεταλλεύσεων και τη σχεδίαση ενός πιο εύχρηστου δικτύου ελεύθερης ζήτησης για την ανάπτυξη των αρδεύσεων. Η κατανομή των υδροστομίων και η αρίθμησή τους επί του ακτινωτού δικτύου παρουσιάζεται στην **Εικόνες 5.18 & 5.19 & 5.20**. Τα στοιχεία αυτά αποτυπώνονται με ακρίβεια με στόχο τη βέλτιστη υδραυλική ανάλυση στη συνέχεια.



Εικόνα 5.18: Το σημειακό Θ.Ε. υδροστόμια των υδροληψιών και το σύστημα αγωγών του έργου σε σχέση με την περιοχή της μελέτης (Δυτικό τμήμα) σε κλίμακα 1:1500.



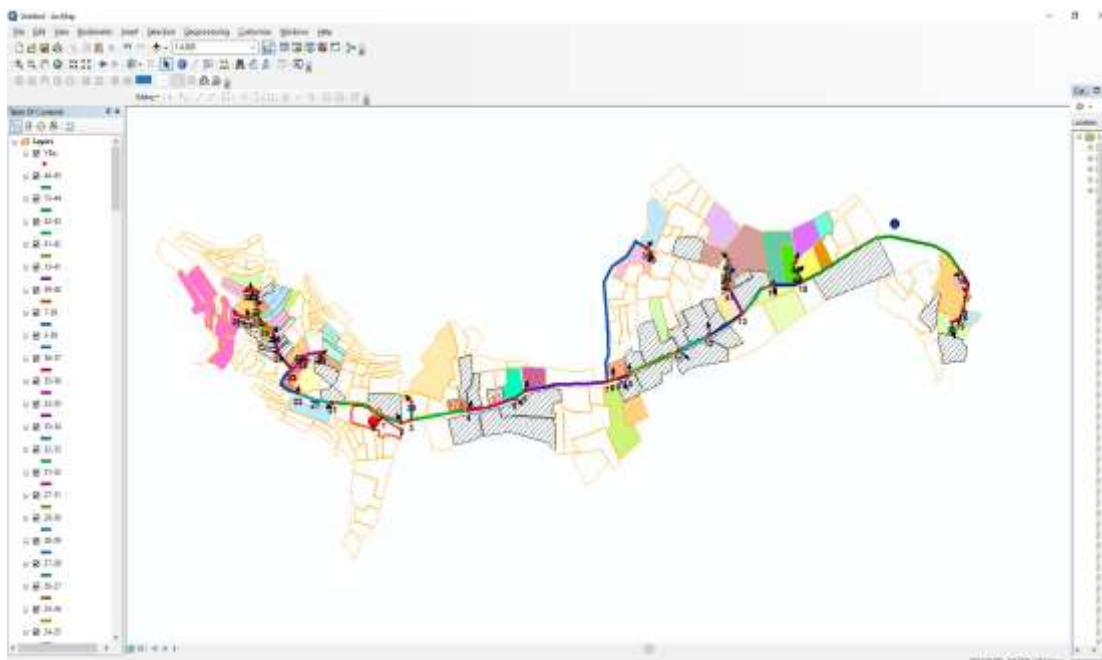
Εικόνα 5.19: Το σημειακό Θ.Ε. υδροστόμια των υδροληψιών και το σύστημα αγωγών του έργου σε σχέση με την περιοχή της μελέτης (Ανατολικό τμήμα) σε κλίμακα 1:1500.



Εικόνα 5.20: Το σημειακό Θ.Ε. υδροστόμια των υδροληψιών και το σύστημα αγωγών του έργου σε σχέση με την περιοχή της μελέτης (Τελικό) σε κλίμακα 1:1500.

5.11 Το τελικό δίκτυο

Η χάραξη του συστήματος υλοποιήθηκε κατά κύριο λόγο στα όρια των κτημάτων και σε τμήματα της μελέτης όπου δεν επαρκούν τα ιδιοκτησιακά δεδομένα και πραγματοποιήθηκε με βάση τη φωτοερμηνεία. Βασικός στόχος υπήρξε να πραγματοποιηθούν οι κατά το δυνατόν λιγότερες επεμβάσεις εντός αγρών ή αστικών τμημάτων. Το ζήτημα της εξυπηρέτησης των χρηστών αντιμετωπίστηκε λεπτομερώς με τη χρήση του GIS λογισμικού και την αυξομείωση της κλίμακας για την καλύτερη παρατήρηση του ψηφιακού υποβάθρου της γήινης επιφάνειας. Η διαδικασία αυτή αντικαθιστά την παραδοσιακή μέθοδο του χάρτη εργασίας, όπου τα δεδομένα επεξεργάζονταν υπό κλίμακα 1:2000 και 1:5000. Η τεχνική της γεωοπτικοποίησης στην παρούσα διατριβή ικανοποιεί συμπερασματικά τη φάση της μελέτης – σχεδιασμού του υδραυλικού έργου, όπως έχει ήδη ειπωθεί, με τη χωρική του υλοποίηση, (Εικόνα 5.21 & 5.22 & 5.23, Χάρτης 5.4). Η φάση αυτή είναι κρίσιμη ως προς τη χάραξη και την οριοθέτηση του αρδευτικού συστήματος, ώστε να αποφευχθούν μελλοντικά προβλήματα στη λειτουργία και τη διαχείρισή του. Το GIS περιβάλλον καθότι δυναμικό, ευνοεί τις όποιες αλλαγές και τροποποιήσεις αποφασιστούν ή ανακύψουν από το υδραυλικό μοντέλο προσομοίωσης κατά την ανάλυση του νέου δικτύου.



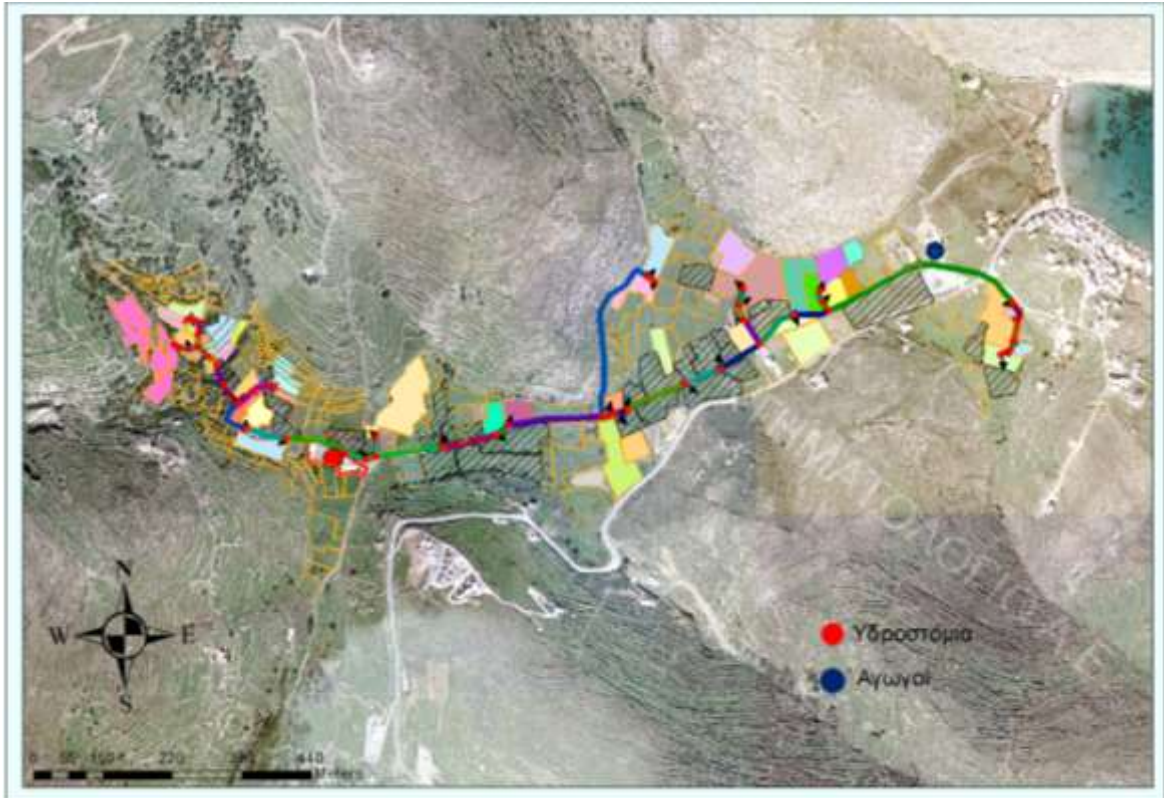
Εικόνα 5.21: Το δίκτυο με τις υδροληψίες, το σύστημα των αγωγών και τις αρδευτικές μονάδες σε σχέση με την περιοχή της μελέτης υπό κλίμακα εργασίας 1:4000.



Εικόνα 5.22: Το τελικό δίκτυο με τις υδροληψίες (Ανατολικό Τμήμα), το σύστημα των αγωγών και τις αρδευτικές μονάδες σε σχέση με την περιοχή της μελέτης υπό κλίμακα εργασίας 1:2500.



Εικόνα 5.23: Το τελικό δίκτυο με τις υδροληψίες (Δυτικό Τμήμα), το σύστημα των αγωγών και τις αρδευτικές μονάδες σε σχέση με την περιοχή της μελέτης υπό κλίμακα εργασίας 1:1500.



Χάρτης 5.4: Η τελική μορφή του δικτύου στο ArcMap 10.8 με τις υδροληψίες, το σύστημα των αγωγών και τις αρδευτικές μονάδες σε σχέση με την περιοχή της μελέτης υπό κλίμακα εργασίας 1:6000

Επιπροσθέτως, με τη διαμόρφωση του τελικού δικτύου διενεργήθηκαν οι αναγκαίες χωρικές διαδικασίες για την υποστήριξη της υδραυλικής μελέτης. Εκτός του εμβαδού της εκάστοτε αρδευτικής μονάδας, το οποίο λαμβάνεται από το πεδίο Area που δημιουργήθηκε στο σχετικό Θ.Ε., στα απαραίτητα δεδομένα προς καταχώρηση στο πρόγραμμα COPAM συγκαταλέγονται τα μήκη των αγωγών και το υψόμετρο κάθε κόμβου. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι κάθε αγωγός του συστήματος απαρτίζεται από δύο κόμβους αποκλειστικά, επομένως για λόγους εύρυθμης και ταχύτερης επεξεργασίας κάθε τμήμα αγωγού θα συντίθεται από μία μόνο γραμμή (line). Συν τοις άλλοις, ο τεμαχισμός των αγωγών σε κόμβους υλοποιείται και όταν υφίσταται υδροληψία, οπότε αντιμετωπίζεται υδραυλικά ως νέο τμήμα.

6. Ανάλυση Λειτουργίας του Υπό Πίεση Αρδευτικού Δικτύου Ελεύθερης Ζήτησης

6.1 Το ελεύθερο λογισμικό COPAM (Combined Optimization and Performance Analysis Model) (Lamaddalena, 1997)

Για την επίτευξη του υπολογισμού αρδευτικών δικτύων υπό πίεση μεγάλης κλίμακας, αναπτύχθηκε από τον Lamaddalena (1997), το ελεύθερο λογισμικό (free software) COPAM (Combined Optimization and Performance Analysis Model). Στη συνέχεια δημοσιεύτηκε με πλήρη οδηγό τον Food and Agriculture Organization (FAO) σε συνεργασία με το Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes – Mediterranean Agronomic Institute of Bari (CIHEAM – IAMB) από τους Lamaddalena και Sagardoy (2000). Το εν λόγω λογισμικό διατίθεται δωρεάν από τον FAO και συγκεκριμένα, από τη βάση δεδομένων Land and Water On-line Documents Database της διαδικτυακής σελίδας του οργανισμού.

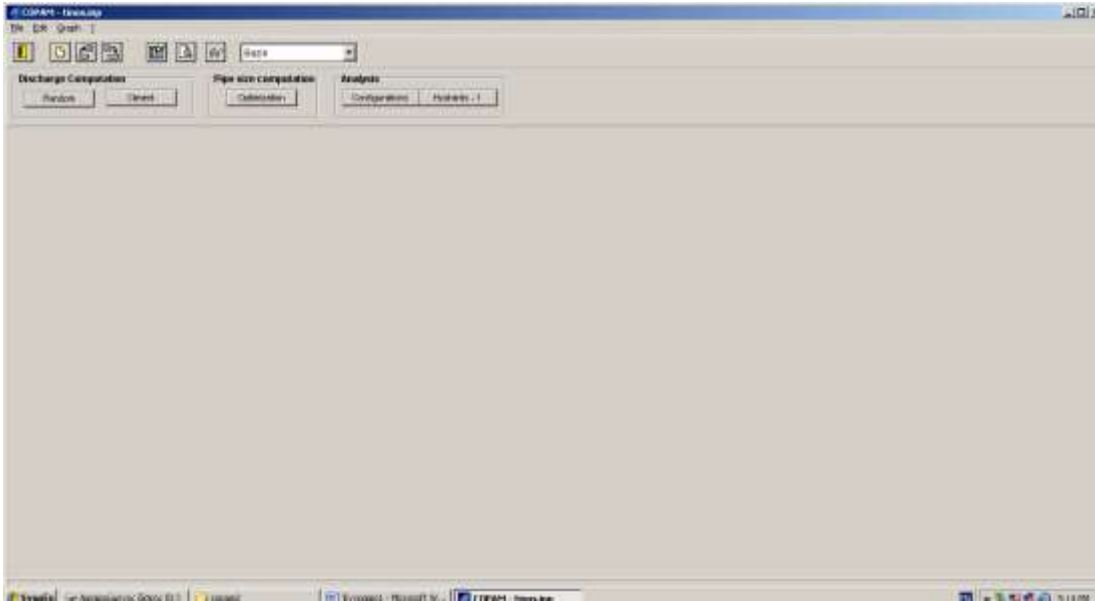
Τα λογισμικά υπολογισμού αρδευτικών δικτύων απαιτούν λεπτομερείς πληροφορίες για τα δεδομένα του δικτύου των αγωγών μεταφοράς νερού από την πηγή του νερού μέχρι τις υδροληψίες. Με το λογισμικό COPAM μπορεί να πραγματοποιηθεί (Lamaddalena and Sagardoy, 2000):

- υπολογισμός των παροχών σχεδιασμού των αγωγών με τη μέθοδο Clément (1ος και 2ος νόμος) και την Τυχαία (Random) μέθοδο (τυχαίο άνοιγμα των υδροστομίων με γεννήτρια τυχαίων αριθμών αριθμών),
- βελτιστοποίηση του αρδευτικού δικτύου (Ασυνεχής Μέθοδος Labye)
- ανάλυση της απόδοσής του, με τις μεθόδους:
 1. Χαρακτηριστικών καμπυλών (Configuration)
 2. Υδροστομίων (Hydrants – 1)

Η χρήση του πραγματοποιείται σε Λειτουργικό Σύστημα (Operating System) Microsoft Windows OS και 32 – bit processor (επεξεργαστής). Το τελευταίο χαρακτηριστικό αποτελεί και σημαντικό περιορισμό επί του παρόντος, δεδομένου ότι οι επεξεργαστές που χρησιμοποιούνται πλέον στα υπολογιστικά συστήματα είναι «επόμενης γενιάς».

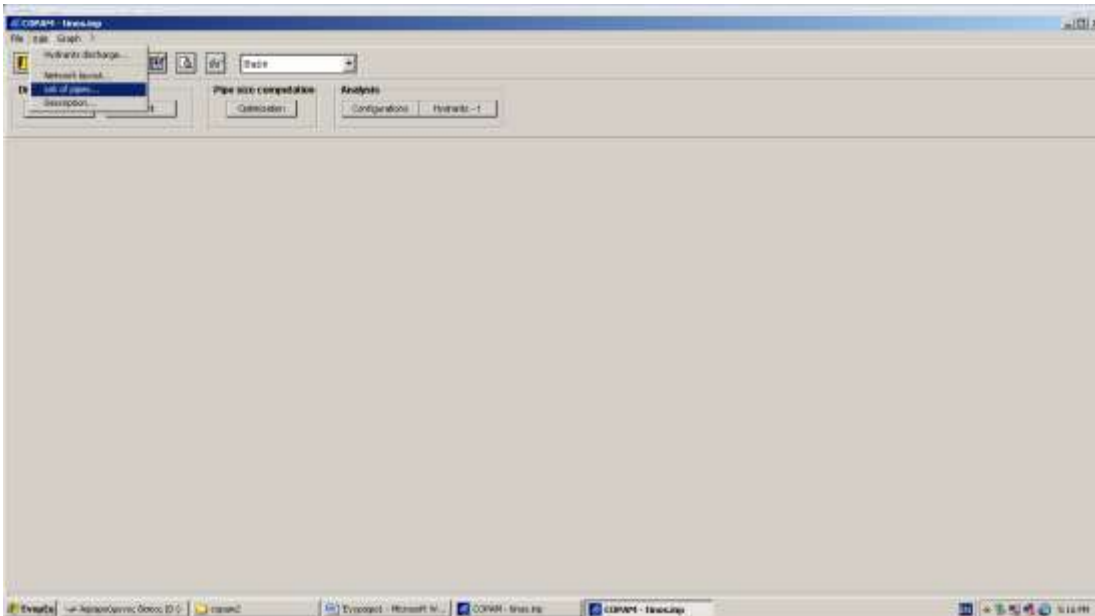
Η εγκατάστασή του είναι σχετικά απλή στον ηλεκτρονικό υπολογιστή (H/Y) και απαιτεί τις βασικές γνώσεις του Windows OS. Ο φάκελος «copam.exe»

αποθηκεύεται στο σκληρό δίσκο και η έναρξη του λογισμικού γίνεται με το άνοιγμα του αρχείου «coram.exe», (Εικόνα 6.1).



Εικόνα 6.1 COPAM Software. Έναρξη του λογισμικού σε περιβάλλον Windows.

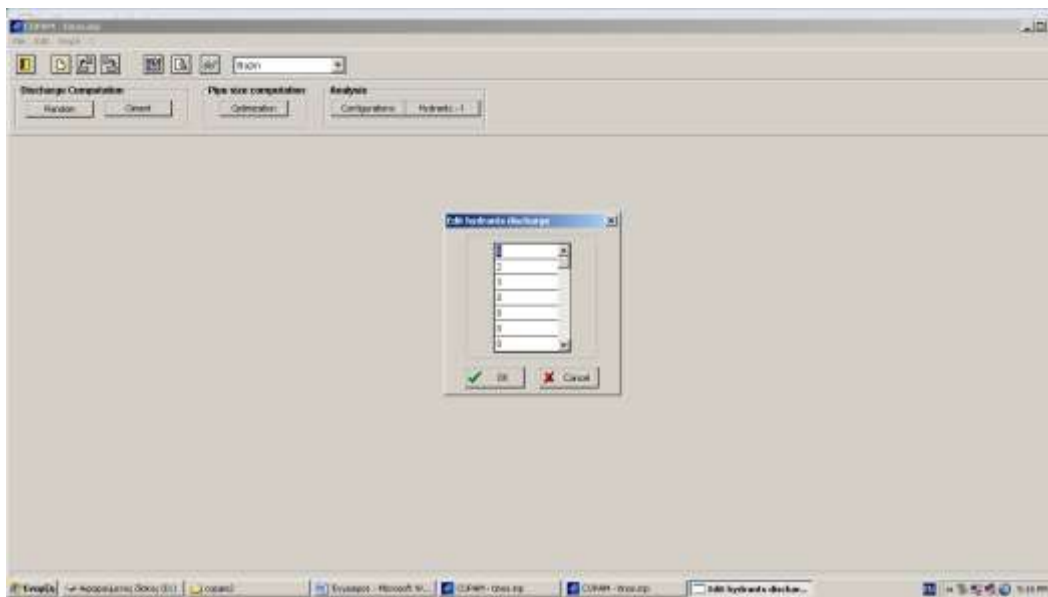
Στο παράθυρο Edit (Εικόνα 6.2) παρουσιάζονται τα πεδία στα οποία καταχωρούνται τα δεδομένα του αρχείου εισόδου. Σε περίπτωση υφιστάμενου αρχείου επεξεργάζονται ή τροποποιούνται.



Εικόνα 6.2 COPAM Software. Επιλογές που αναδύονται από το παράθυρο Edit.

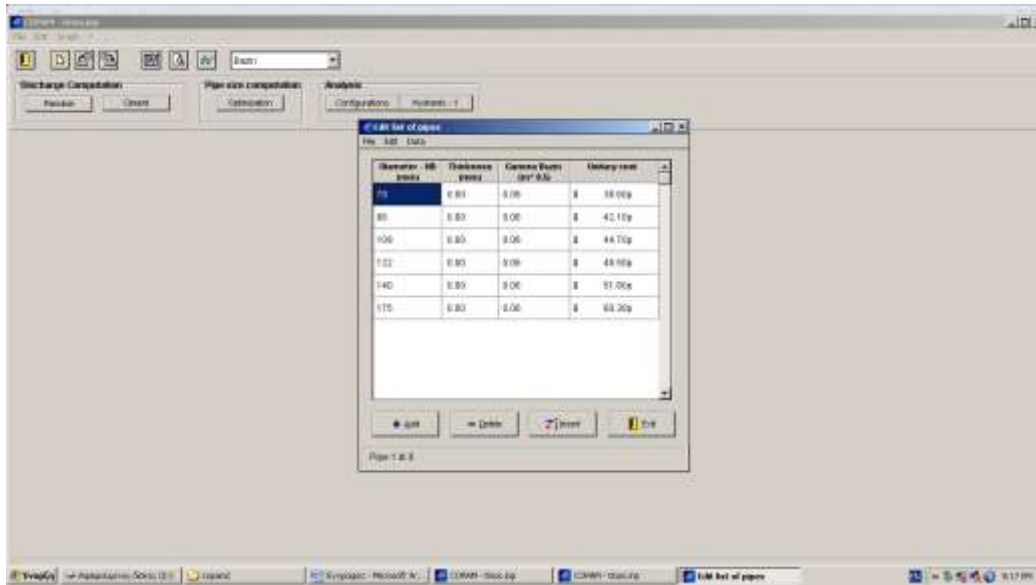
Για όλες τις λειτουργίες του προγράμματος το αρχείο εισόδου (input file), που περιέχει τα δεδομένα του αρδευτικού δικτύου, είναι το ίδιο. Δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας νέου αρχείου εισόδου ή ανοίγματος υπάρχοντος αρχείου.

Η πρώτη επιλογή Hydrants Discharge αφορά στην καταχώριση των ονομαστικών παροχών των διαθέσιμων υδροστομίων του δικτύου, οι οποίες μπορεί να είναι περισσότερες από μια (**Εικόνα 6.3**). Αυτές πρέπει να καταχωρηθούν σε μονάδες L/s και με αύξουσα σειρά μεγέθους.



Εικόνα 6.3 Παράθυρο καταχώρισης παροχών υδροστομίων.

Η επιλογή List of pipes αφορά στην καταχώριση των στοιχείων των εμπορικών διαμέτρων (**Εικόνα 6.4**).



Εικόνα 6.4 Παράθυρο καταχώρησης στοιχείων των αγωγών του εξεταζόμενου δικτύου.

Τα στοιχεία που απαιτούνται είναι:

- η ονομαστική (εξωτερική) διάμετρος (Nominal Diameter) του σωλήνα (mm),
- το πάχος των τοιχωμάτων (mm),
- ο συντελεστής τραχύτητας γ του Bazin ($m^{1/2}$) και
- το μοναδιαίο κόστος του σωλήνα (νόμισμα/ m μήκους).

Σχετικά με την είσοδο των δεδομένων ισχύει:

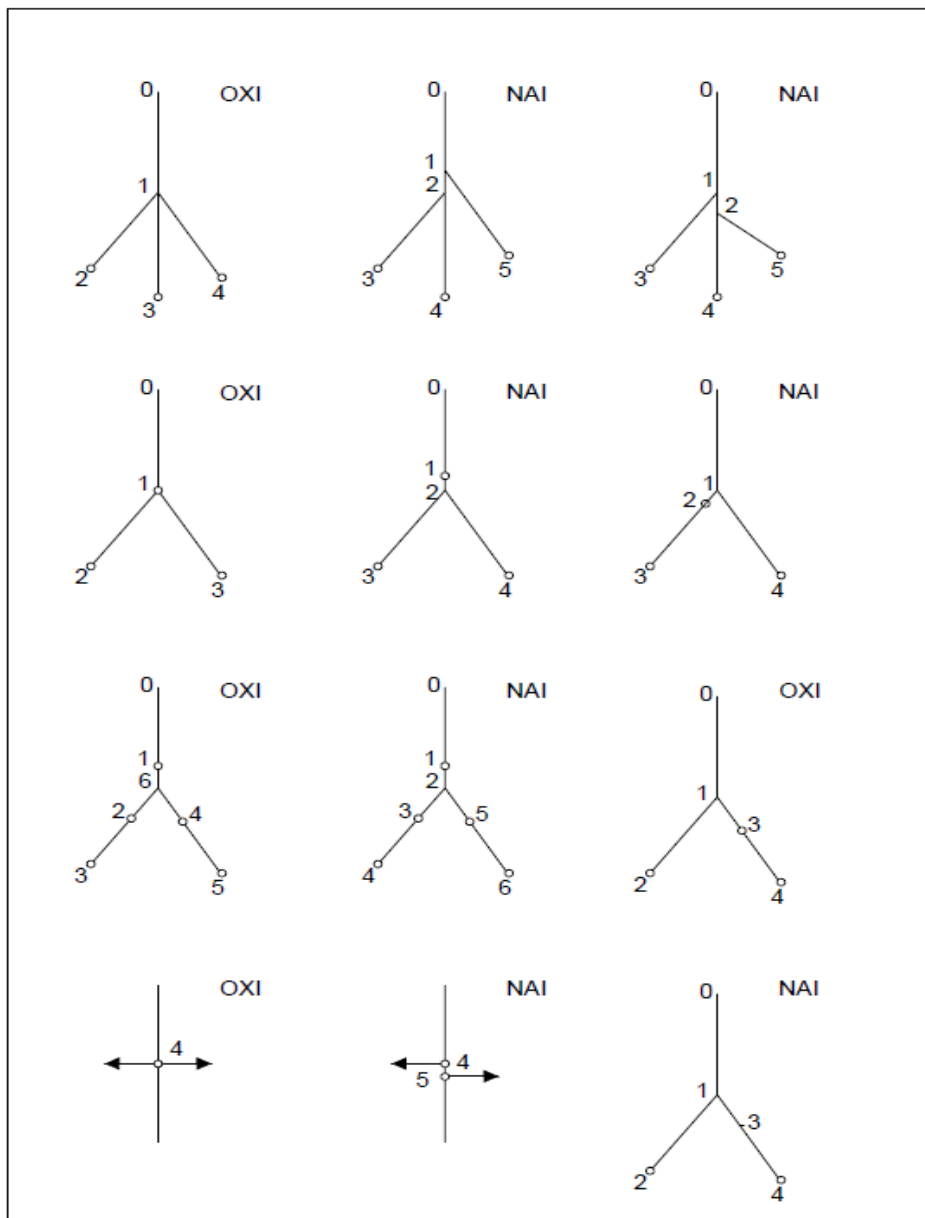
- Το είδος του νομίσματος της χώρας που θα κατασκευαστεί το δίκτυο, αναγνωρίζεται αυτόματα από τις τοπικές ρυθμίσεις του υπολογιστή.
- Η καταχώριση γίνεται κατά σειρά μοναδιαίου κόστους, με αφετηρία το μικρότερο. Το υλικό του σωλήνα και η μέθοδος κατασκευής του αντιπροσωπεύεται από το συντελεστή γ του Bazin.
- Η μορφή δεδομένων που επιτρέπει το COPAM για την αρίθμηση των στοιχείων του αρδευτικού δικτύου είναι η ορθολογική κατιούσα αρίθμηση.

Άλλοι περιορισμοί του προγράμματος είναι:

- Όλοι οι ακραίοι κόμβοι πρέπει να έχουν υδροληψίες.
- Κάθε αγωγός πρέπει να έχει κατάντη ένα ή δυο το πολύ αγωγούς. Αν στην πραγματικότητα διακλαδίζεται σε τρεις αγωγούς, τότε ο τρίτος πρέπει να εμφανιστεί ότι απέχει από τον κόμβο των άλλων δυο κατά ένα ιδεατό τμήμα αγωγού ελάχιστου μήκους, (ακολουθείται γενικά $L=1m$), και ο νέος κόμβος λαμβάνει συνεχόμενο αριθμό. Το μικρό αυτό πρόσθετο μήκος μπορεί να

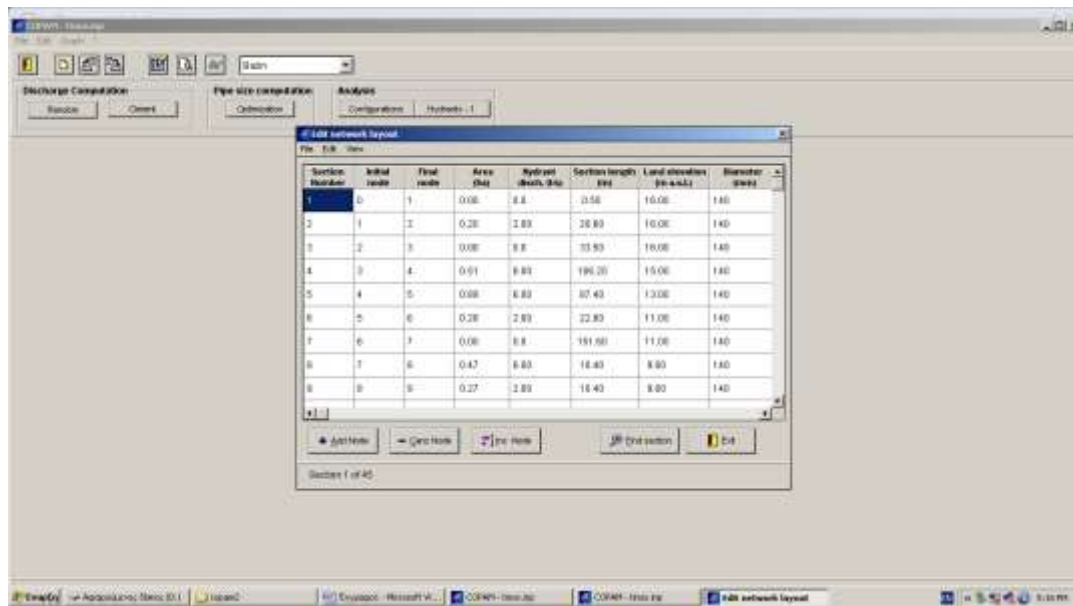
αφαιρείται από το μήκος του επόμενου τμήματος αγωγού, ώστε το συνολικό μήκος των αγωγών να ισούται με το πραγματικό. Η εν λόγω πρακτική δε δημιουργεί κανένα πρόβλημα στην ανάλυση. Ωστόσο, έχει ως άμεσο επακόλουθο η αρίθμηση του δικτύου συνολικά να αποπερατώνεται με βάση τους κόμβους και τα υδροστόμια, σε αντίθεση με την συνηθισμένη πρακτική που είναι η αρίθμηση σύμφωνα με τους κόμβους και τις υδροληψίες.

- Στον κόμβο συνάντησης τριών αγωγών δεν πρέπει να υπάρχει υδροστόμιο. Αν υπάρχει, προστίθεται ένα ιδεατό τμήμα αγωγού ελάχιστου μήκους ($L=1\text{m}$) με το υδροστόμιο στο άκρο του που λαμβάνει συνεχόμενο αριθμό.
- Αν υπάρχουν υδροληψίες με δυο ή περισσότερα υδροστόμια, πρέπει να εμφανιστούν επίσης ότι απέχουν μεταξύ τους κατά ιδεατό τμήμα αγωγού ελάχιστου μήκους ($L=1\text{m}$).



Σχήμα 6.1: Παραδείγματα αρίθμησης κόμβων, (Lamaddalena και Sagardoy, 2000).

Η επιλογή Network Layout αφορά στην καταχώριση των στοιχείων που περιγράφουν τη μορφή και το μέγεθος του αρδευτικού δικτύου, την έκταση που αρδεύεται και τη μορφή του εδάφους της περιοχής (**Εικόνα 6.5**).



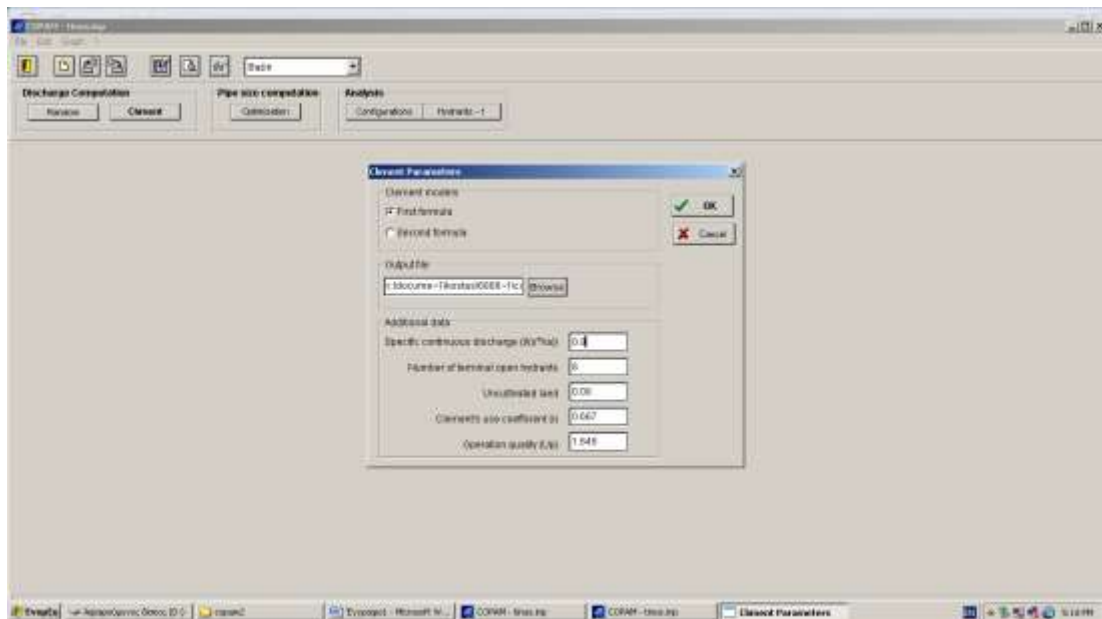
Εικόνα 6.5 Εισαγωγή δεδομένων – στοιχείων του υπό μελέτη δικτύου.

Για τον υπολογισμό των παροχών με το λογισμικό COPAM, από την αρχική οθόνη επιλέγεται στη λειτουργία Discharge Computation η επιλογή Clément. Από το παράθυρο Clément Parameters που εμφανίζεται επιλέγεται ο 1ος ή ο 2ος τύπος του Clément.

6.1.1 Ο 1ος τύπος του Clément

Όταν επιλέγεται ο υπολογισμός παροχών του δικτύου με τον 1ο τύπο του Clément, πρέπει να καταχωρηθούν τα ακόλουθα δεδομένα στα αντίστοιχα πεδία (**Εικόνα 6.6**):

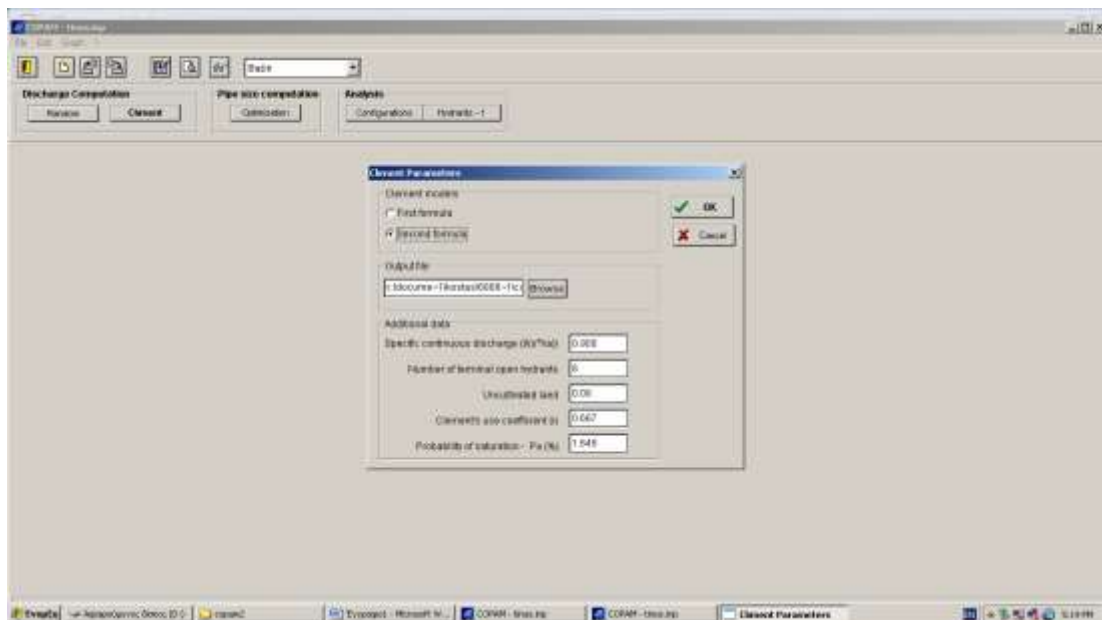
- Η διαδρομή και το όνομα του αρχείου αποτελεσμάτων (Output file) που θα προκύψει (με προέκταση .cle).
- Η συνεχής ειδική παροχή άρδευσης q_0 (L/s/ha) (για 24ωρη λειτουργία του δικτύου)
- Ο μέγιστος αριθμός ανοικτών υδροστομιών στα άκρα του δικτύου (στο πέρας των κλάδων του δικτύου).
- Ποσοστό ακαλλιέργητης έκτασης (%)
- Η απόδοση χρονικής χρησιμοποίησης του δικτύου r σε απόλυτο αριθμό (hr/24 hr)
- συντελεστής ποιότητας λειτουργίας $U(F(x))$, που προκύπτει βάσει της ποιότητας λειτουργίας του Clément



Εικόνα 6.6: Εισαγωγή τιμών των παραμέτρων του 1^{ου} τύπου του Clément.

6.1.2. Ο 2ος τύπος του Clément

Όταν επιλέγεται ο υπολογισμός παροχών του δικτύου με το 2ο τύπο του Clément, πρέπει να εισαχθούν τα δεδομένα στα αντίστοιχα πεδία (Εικόνα 6.7).



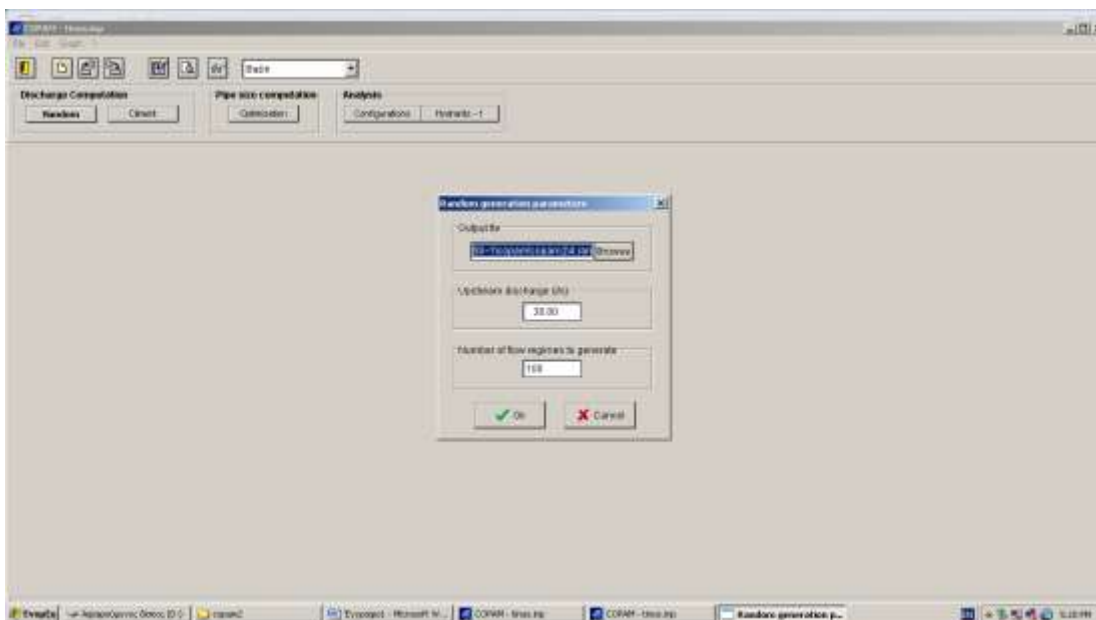
Εικόνα 6.7 Πεδίο καταχώρησης τιμών του 2^{ου} τύπου του Clément

Το μόνο στοιχείο που διαφέρει από τον 1ο τύπο του Clément είναι ότι, αντί του συντελεστή ποιότητας λειτουργίας $U(F(x))$, πρέπει να καταχωρηθεί η πιθανότητα κορεσμού $P(a)$ (%), η οποία συνήθως λαμβάνεται ίση με 1%.

Ο δεύτερος τύπος του Clément δεν έτυχε συχνής εφαρμογής παρά το γεγονός ότι χαρακτηρίζεται από καλύτερο θεωρητικό υπόβαθρο λόγω ότι παρουσιάζει μεγαλύτερη δυσκολία εφαρμογής.

6.1.3 Υπολογισμός των παροχών με τη μέθοδο προσομοίωσης της ζήτησης (μέθοδος **Random Generation Model**) του λογισμικού COPAM

Για τον υπολογισμό των παροχών με τη μέθοδο προσομοίωσης της ζήτησης του λογισμικού COPAM, από την αρχική οθόνη επιλέγεται στο πλαίσιο Discharge Computation το πεδίο Random. Το λογισμικό COPAM για τη γένεση τυχαίων κατανομών ανοικτών υδροστομίων (RGM: Random Generation Model) έχει ενσωματωμένο το πρόγραμμα Random σε γλώσσα προγραμματισμού Turbo Pascal v.6.0. Με την επιλογή Random το παράθυρο που αναδύεται όπως παρακάτω (**Εικόνα 6.8**).



Εικόνα 6.8 Random Generation Model – Εισαγωγή παραμέτρων.

Τα δεδομένα που απαιτούνται για εισαγωγή:

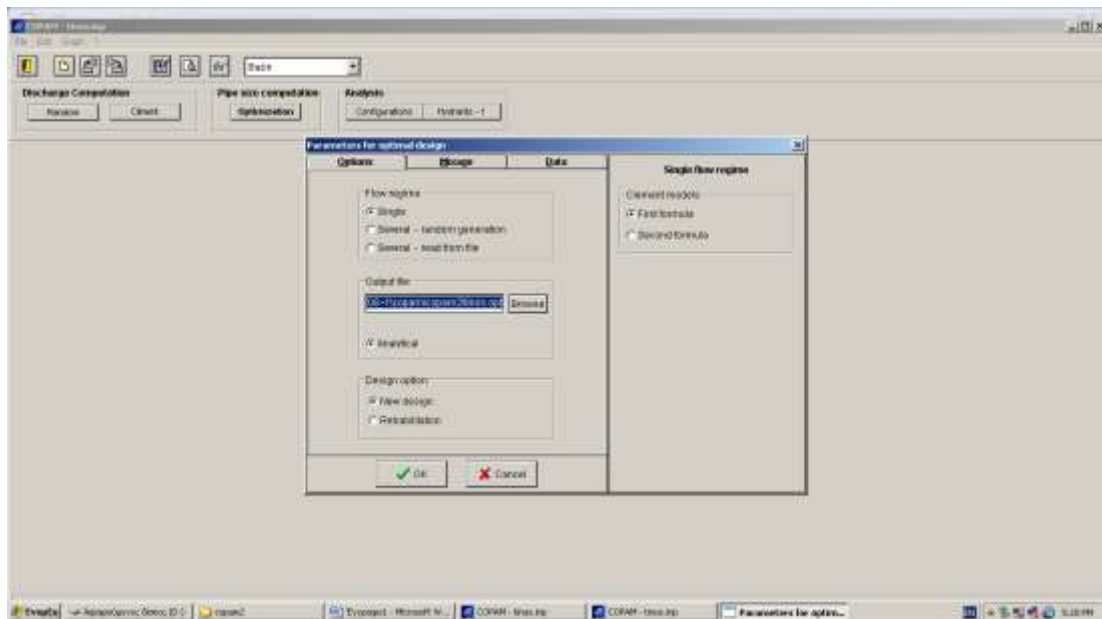
- Η διαδρομή και το όνομα του αρχείου αποτελεσμάτων (Output file) που θα προκύψει (με προέκταση .ran).
- Η παροχή σχεδιασμού στην κεφαλή του δικτύου (L/s). Αυτή δεν είναι γνωστή a priori. Για τη δυνατότητα παραγωγής διαφορετικών κατανομών ανοικτών υδροστομίων, αυτή η παροχή πρέπει να έχει υπολογιστεί προηγουμένως με τη μέθοδο του Clément.
- Ο αριθμός των τυχαίων κατανομών ανοικτών υδροστομίων που θα παραχθούν από το πρόγραμμα με συνολική παροχή αυτή που έχει οριστεί στη κεφαλή. Υπογραμμίζεται ότι το πρόγραμμα δέχεται αριθμούς πολλαπλάσιους του 10.

Το πρόγραμμα υπολογίζει τις τυχαίες κατανομές ανοικτών υδροστομίων που ορίστηκαν και τις παροχές σε κάθε αγωγό για καθεμιά από αυτές. Τα αποτελέσματα λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό των βέλτιστων διαμέτρων των αγωγών του δικτύου.

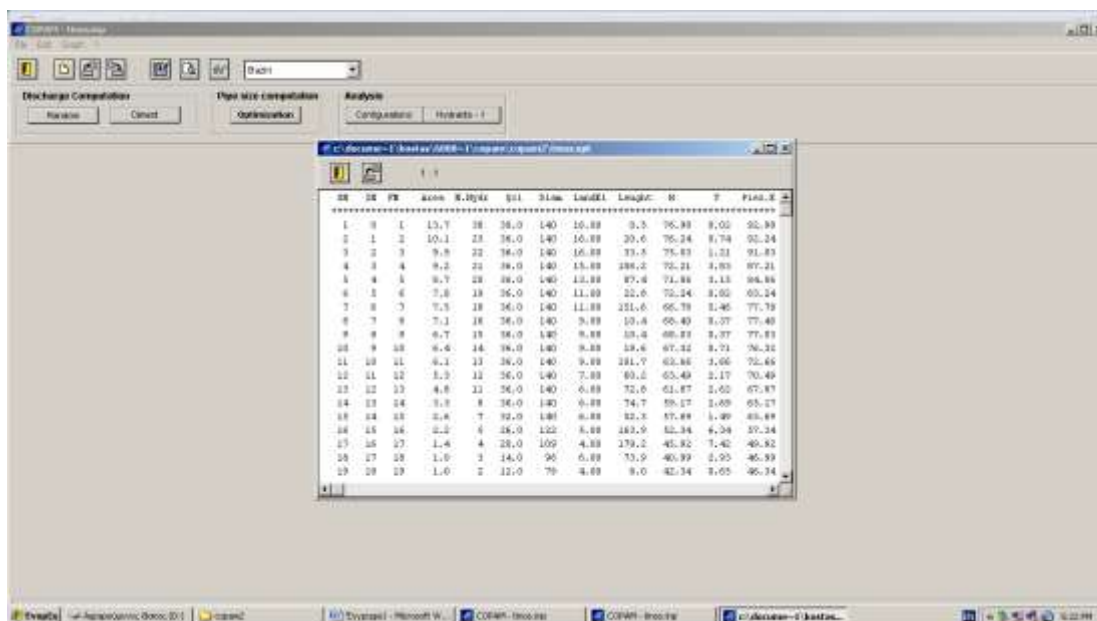
Στη μελέτη αυτή θα χρησιμοποιηθεί αποκλειστικά το 1ο μοντέλο του Clément για την ανάλυση του δικτύου.

6.1.4 Η χρήση του COPAM για τη βελτιστοποίηση των διαμέτρων

Για τον υπολογισμό των βέλτιστων διαμέτρων γίνεται χρήση της επιλογής Optimization όπου με τη χρήση του μοντέλου ELIDM Model (Extended Labye's Iterative Discontinuous Method) γίνεται η βελτιστοποίηση των διαμέτρων **(Εικόνα 6.9 & 6.10)**



Εικόνα 6.9 Παράμετροι βέλτιστου σχεδιασμού – Πεδίο καταχώρησης Options της Μεθόδου Μίας Παροχής.



Εικόνα 6.10: Αποτελέσματα βελτιστοποίησης διαμέτρων αγωγών και παροχών δικτύου με τη Μέθοδο του Clément (Μοντέλο 1^ο).

6.1.5 Ανάλυση λειτουργίας του δικτύου

Η ανάλυση λειτουργίας του δικτύου με τη χρήση του προγράμματος COPAM, πραγματοποιείται είτε σε επίπεδο δικτύου με το Μοντέλο των Χαρακτηριστικών

Καμπυλών, είτε σε επίπεδο υδροστομίου με τη χρήση του Μοντέλου AKLA, (Εικόνες 6.11 & 6.12). Αμφότερες απαιτούν την εισαγωγή των κάτωθι παραμέτρων:

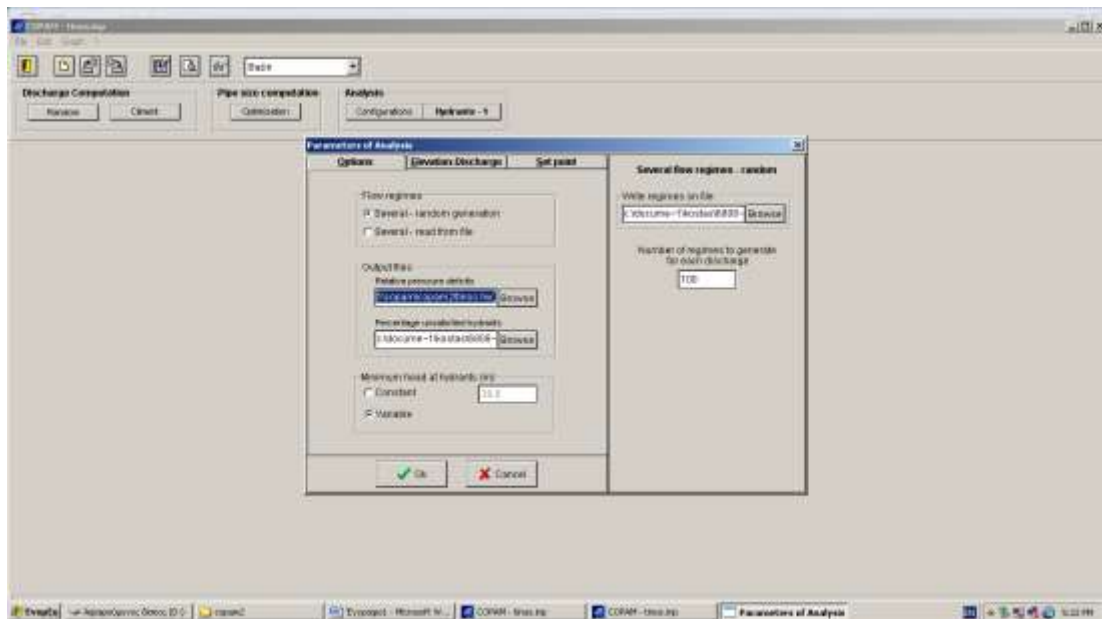
- Το πιεζομετρικό φορτίο στην κεφαλή του δικτύου Ζκεφ (m).
- Η παροχή του Clément στην κεφαλή του δικτύου QClément (L/s).
- Το απαιτούμενο φορτίο στα υδροστόμια (m).
- Οι παροχές κεφαλής που θα εξεταστούν συμπεριλαμβανομένης της αθροιστικής παροχής όλων των υδροστομίων (L/s).
- Ο αριθμός των τυχαίων κατανομών ανοικτών υδροστομίων που θα παραχθούν από το λογισμικό για κάθε τιμή της παροχής στην κεφαλή (N). Ο αριθμός αυτός πρέπει να είναι πολλαπλάσιος του 10.

The screenshot shows the 'Parameters of analysis' dialog box. It is divided into several sections:

- Flow regimes:** A radio button is selected for 'Several - random generation'.
- Output file:** A text box contains 'd:\copam\tinos.ica' and a 'Browse' button.
- Write regimes on file:** A text box contains 'd:\copam\tinos.reg' and a 'Browse' button.
- Set point data:** Two text boxes: 'Upstream piezometric elevation (m a.s.l.)' with value '93.00' and 'Upstream discharge (l/s)' with value '36.00'.
- Upstream discharge to test (l/s):** A list box with values: 20, 40, 60, 80, 100, 148, 0, 0.
- Minimum head at hydrants (m):** Two radio buttons: 'Constant' (unselected) and 'Variable' (selected). A text box contains '30.0'.
- N. regimes for each discharge:** A text box contains '100'.

At the bottom, there are 'Ok' and 'Cancel' buttons.

Εικόνα 6.11: Παράμετροι ανάλυσης δικτύου με τη Μέθοδο των Χαρακτηριστικών Καμπυλών.



Εικόνα 6.12: Παράμετροι ανάλυσης με τη Μέθοδο AKLA.

6.1.6 Παραδοχές του Λογισμικού COPAM

Γραμμικές απώλειες φορτίου – Τοπικές απώλειες: Το COPAM για τον υπολογισμό των γραμμικών απωλειών φορτίου στους υπό πίεση αγωγούς λόγω των τριβών χρησιμοποιεί την τροποποιημένη εξίσωση των Darcy – Weisbach:

$$h_f = 0.000857 \left(1 + 2\gamma D^{-0.5}\right)^2 Q^2 D^{-0.5} L \quad (6.1)$$

Όπου,

γ : ο συντελεστή τραχύτητας του Bazin ($m^{1/2}$)

D : η εσωτερική διάμετρος του αγωγού (mm)

Q : η παροχή του αγωγού (m^3/s)

L : το μήκος του αγωγού (m)

Οι τοπικές απώλειες αγνοούνται από το πρόγραμμα στους υπολογισμούς, καθώς θεωρούνται ως αμελητέες σε σχέση με τις γραμμικές απώλειες.

Γενικότερα, η μέθοδος Labye, την οποία χρησιμοποιεί το λογισμικό COPAM, δεν μπορεί να λάβει υπόψη της τις τοπικές απώλειες με άλλο τρόπο, εκτός από την αύξηση του συντελεστή τραχύτητας του σωλήνα κατά ένα ποσοστό, ώστε οι

γραμμικές απώλειες να αυξάνονται κατά 10 έως 15 %, σύμφωνα με την Εγκύκλιο Δ. 22200/30-7-1977 του άλλοτε Υπουργείου Δημοσίων Έργων.

Επίσης, το κόστος ειδικών τεμαχίων μπορεί να ληφθεί υπόψη μόνο ενσωματωμένο στο κόστος του κύριου αγωγού π.χ. με αύξηση του μοναδιαίου κόστους (Lamaddalena and Sagardoy, 2000).

Β. Τραχύτητα των σωλήνων: Το λογισμικό COPAM όσο αφορά την τραχύτητα των σωλήνων, λαμβάνει υπόψη του το συντελεστή τραχύτητας “ γ ” Bazin ($m^{1/2}$), ο οποίος εξαρτάται από το υλικό του σωλήνα και τη μέθοδο κατασκευής του (Πίνακας 6.1) (Lamaddalena and Sagardoy, 2000).

Πίνακας 6.1: Συντελεστές τραχύτητας “ γ ” Bazin για διάφορα υλικά σωληνώσεων (Lamaddalena and Sagardoy, 2000).

TYPE OF PIPE	Equivalent homogenous roughness ϵ (mm)	γ ($m^{1/2}$)
1- Technically smooth tubes (glass, brass, drawn copper, resin)	0 – 0.02	–
2- Steel pipes		
A) Time degradable coverings		
- New pipes, varnished by centrifugation	0.05	–
- Bitumened by immersion	0.1 – 0.15	≤ 0.06
- In current duty with light rust	0.2 – 0.4	0.10
- With asphalt or tar applied by hands	0.5 – 0.6	0.16
- With diffused tubercolisation	1 – 3	0.23
B) Non degradable coverings		
- Cement applied by centrifugation	0.05 + 0.15	≤ 0.06
3- Welded sheet-pipes		
- In good conditions	0.2 – 0.3	0.10
- In current duty with crusting	0.4 – 1.0	0.16
4- Nailed sheet-pipes		
- 1 line of longitudinal nails	0.3 – 0.4	0.10
- 2 lines of longitudinal nails	0.6 – 0.7	0.16
- Idem with crusting	1 3.0	0.30
- 4-6 lines of longitudinal nails	2.0	0.23
- 6 lines of longitudinal nails + 4 transversal	3.0	0.30
- Idem with crusting	1 5.0	0.36
5- Cast iron pipes		
- With centrifuged-cemented covering	0.1	≤ 0.06
- New, covered internally with bitumen	0.15	0.06
- New, not covered	0.2 – 0.4	0.10
- With light crusting	0.4 – 1.0	0.16
- In current duty, partially rusted	1.0 – 2.0	0.23
- Strongly encrusted	3.0 – 5.0	0.36
6- Cement-pipes		
- Asbestos cement	0.1	≤ 0.06
- New reinforced concrete, plaster perfectly smooth	0.1 – 0.15	0.06
- Reinforced concrete with smooth plaster, in work for many years	2.0	0.23
- Tunnels with cement plaster, depending on the degree of finish	2.0 – 5.0	0.23 + 0.36

Γ. Επιτρεπόμενες ταχύτητες: Το λογισμικό COPAM χρησιμοποιεί για όλες τις διαμέτρους εμπορίου το ίδιο εύρος επιτρεπόμενων ταχυτήτων νερού στους αγωγούς, και συγκεκριμένα $V_{min} = 0.2$ m/s και $V_{max} = 2.5$ m/s.

Η μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα που χρησιμοποιεί το COPAM είναι μεγαλύτερη, στις περισσότερες περιπτώσεις, από τις μέγιστες ταχύτητες της

Εγκυκλίου Δ.22.200/30 – 07 – 1977 του άλλοτε Υ.Δ.Ε. (Παράρτημα – Νομοθεσία). Αυτό έχει ως συνέπεια να γίνονται αποδεκτές προς χρήση μικρότερες διάμετροι εμπορίου, με συνέπεια τη μείωση του κόστους του αρδευτικού δικτύου.

6.2 Μελέτη Εφαρμογής

Το εξεταζόμενο δίκτυο σχεδιάστηκε στην περιοχή του Πανόρμου Τήνου σε περιβάλλον GIS και στην ενότητα αυτή θα προσομοιωθεί και θα αναλυθεί με τα μαθηματικά μοντέλα και επεκτάσεις που περιλαμβάνει το υδραυλικό λογισμικό COPAM. Η ανάλυσή του θα εκτελεστεί σε επίπεδο δικτύου καθώς και σε επίπεδο υδροστομίου και συγκροτεί το σενάριο βάσης της μελέτης που θα ακολουθήσει.

6.2.1 Δεδομένα και παράμετροι σχεδιασμού

Για το νέο εξεταζόμενο δίκτυο θα ισχύουν τα παρακάτω δεδομένα:

- Το σύστημα διανομής αρδευτικού νερού θα είναι η Ελεύθερη Ζήτηση.
- Ο συντελεστής χρονικής λειτουργίας ανά 24ωρο του δικτύου (r) θα είναι ίσος με $16/24$ ή 0.667 .
- Η μέση ειδική συνεχής παροχή (q_0) επιλέγεται ίση με $0,9$ L/s/ha.
- Απαιτούμενο φορτίο πίεσης στο υδροστόμιο $30m$.
- Πιεζομετρικό φορτίο στην κεφαλή του δικτύου ($Z_{κεφ}$) ίσο με 93 m.
- Ο αριθμός εγκατεστημένων υδροστομίων R είναι ίσος με 38 σύμφωνα με την τελική χάραξη.
- Η ονομαστική παροχή των υδροστομίων d ίση με 2 & 6 L/s.
- Τυπικό μέγεθος αρδευτικής μονάδας που εξυπηρετείται από ένα υδροστόμιο είναι τα 30 στρέμματα (3 ha), στην πράξη ωστόσο είναι κυμαινόμενο.
- Ποιότητα λειτουργίας του δικτύου ίση με $P_q=95\%$, συνεπώς $U(P_q)=1.645$.

Το πιεζομετρικό φορτίο στην κεφαλή λαμβάνει την τιμή της ανώτατης στάθμης της $\Delta 1$ δεξαμενής από όπου και θα τροφοδοτείται.

Κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι η τιμή της ειδικής συνεχούς παροχής επιλέχθηκε $0,9$ L/s/ha αντί $0,27$ L/s/ha που προτείνει η οικονομοτεχνική όπως και η γεωργοτεχνική μελέτη, η οποία αποτελεί τη μέγιστη ειδική παροχή για το μήνα Ιούλιο για την περιοχή του Πανόρμου. Η νέα προτεινόμενη τιμή του μήνα αιχμής

του μέσου έτους απορρέει από την εκτίμηση της μελλοντικής γεωργικής κατάστασης και τις υπάρχουσες τάσεις του πληθυσμού για επένδυση στον πρωτογενή τομέα παραγωγής. Εκτιμάται επίσης από τις μέχρι σήμερα συγκεντρώσεις και ενημερώσεις του πληθυσμού, το ενδιαφέρον των κατοίκων και των αγροτών της κοινότητας θα αυξηθεί σημαντικά με την έλευση του αρδευτικού συστήματος. Κατά τη φάση του σχεδιασμού, η εκτίμηση των αναγκών νερού για άρδευση σε επίπεδο περιμέτρου συνιστά μία παράμετρο πρωταρχικής σημασίας, η οποία μελετά την εξέλιξη της κατανομής των καλλιεργειών ανά πέντε (5) έτη για τα πρώτα 15 χρόνια και σε επίπεδο καλλιεργειών με βάση τους ετήσιους καταναλισκόμενους όγκους νερού ανά καλλιέργεια, (Δέρκας, 2001).

Ο συντελεστής τραχύτητας των αγωγών του Bazin (γ) λαμβάνει τιμή ίση με 0.06 για τους αγωγούς PVC που θα εγκατασταθούν. Οι τιμές αυτές προκύπτουν από τη βιβλιογραφία και τις σύγχρονες πρακτικές της ελληνικής αγοράς.

Στη συνέχεια παρατίθεται σε μορφή πίνακα η λίστα με τις διαμέτρους των αγωγών που προτείνεται να εφαρμοστούν στο έργο, το είδος του υλικού κατασκευής και το αναλογούν κόστος ανά μέτρο σωλήνα, για κλάση 12,5 bars, (Πίνακας 6.2). Η λίστα αυτή χρησιμοποιείται ευρέως στην ελληνική αγορά κατόπιν έρευνας που διενεργήθηκε.

Πίνακας 6.2 Στοιχεία διαμέτρων, υλικών και κόστους των αγωγών για το υπό μελέτη δίκτυο.

Διάμετρος (εσωτ. mm)	Υλικό	Κόστος (€/m)
79	PVC	38,6
96	PVC	42,1
109	PVC	44,7
122	PVC	48,5
140	PVC	51,8
175	PVC	60,3

Τα στοιχεία αυτά θα καταχωρηθούν επίσης στο λογισμικό COPAM στη συνέχεια για τη διαστασιολόγηση του νέου αυτού δικτύου.

6.2.2 Δημιουργία αρχείου εισόδου

Το πρώτο βήμα επεξεργασίας στο λογισμικό αποτελεί η δημιουργία ενός αρχείου εισόδου (input file), στο οποίο εισάγονται τα στοιχεία του δικτύου. Τα στοιχεία που απαιτούνται είναι η καταχώρηση των ανάντη και κατάντη κόμβων του νέου δικτύου, η έκταση που αρδεύεται σε κάθε υδροστόμιο/ υδροληψία, το μήκος του αγωγού και τέλος, το υψόμετρο του κατάντη κόμβου. Αν στον κατάντη κόμβο δεν υπάρχει υδροστόμιο/ υδροληψία η αρδευόμενη έκταση θεωρείται μηδενική.

Τα στοιχεία αυτά θα επιτρέψουν τη διαστασιολόγηση του δικτύου και στον καθορισμό των παροχών σε κάθε αγωγό, όπως και της παροχής σχεδιασμού στη κεφαλή ($Q_{\sigma\gamma\epsilon\delta}=Q_{\kappa\lambda\epsilon\mu}$).

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί η σημασία της προσεκτικής και ορθής αρίθμησης σύμφωνα με τους κανόνες του COPAM. Η σωστή προετοιμασία του αρχείου εισόδου με άλλα λόγια συνιστά καταλυτικό παράγοντα για το εξαγόμενο αποτέλεσμα του νέου δικτύου, όσο αφορά τη διάταξή του, τη λειτουργία και την εξάλειψη πιθανών σφαλμάτων.

Το αρχείο που δημιουργήθηκε (**Πίνακας 6.3**) περιλαμβάνει όλα τα αναγκαία δεδομένα του δικτύου αγωγών για τη διαστασιολόγηση του έργου. Το δίκτυο σχεδιάστηκε χωροθετήθηκε σε περιβάλλον GIS.

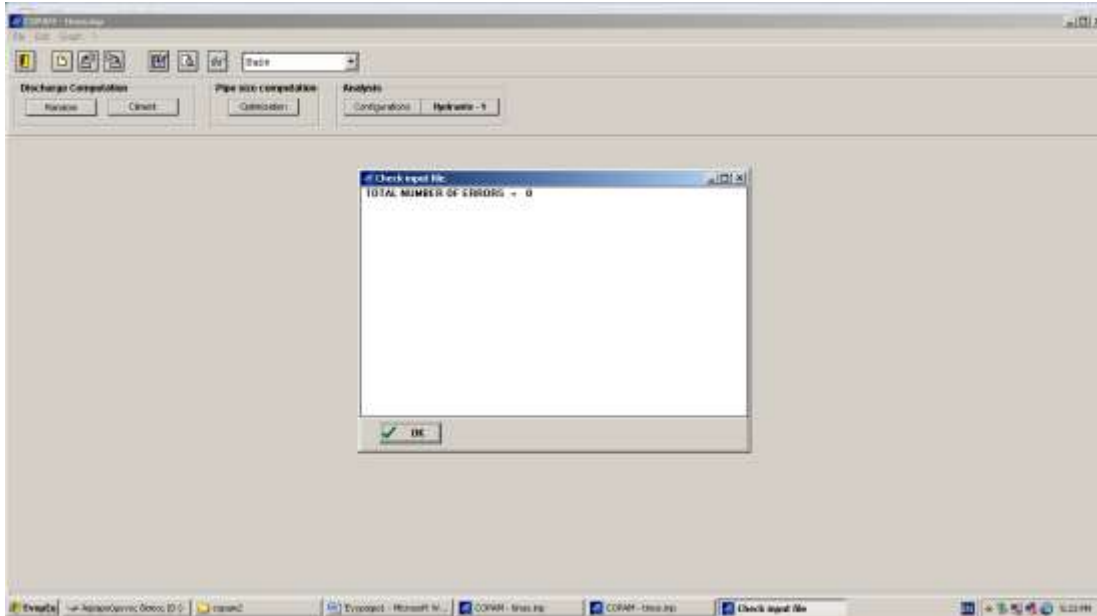
Πίνακας 6.3 Αρχείο εισόδου του δικτύου στο COPAM για το υπό μελέτη δίκτυο. Διευκρίνηση: Ονομαστική παροχή ίση με 0 ltr/sec και έκταση 0 ha σημαίνει την μη ύπαρξη υδροστομίου αλλά διακλάδωσης.

A/A Κόμβου	Ανάντη Κόμβος	Κατάντη Κόμβος	Έκταση (ha)	Ονομαστική Παροχή Υδροστομίου (ltr/sec)	Μήκος (m)	Υψόμετρο (m) κατάντη κόμβου
0-1	0	1	0	0	0.5	16
1-2	1	2	0.20	2	20.6	16
2-3	2	3	0.00	0	33.5	16
3-4	3	4	0.51	6	106.2	15
4-5	4	5	0.89	6	87.4	13
5-6	5	6	0.28	2	22.8	11
6-7	6	7	0.00	0	151.6	11
7-8	7	8	0.47	6	10.4	9
8-9	8	9	0.27	2	10.4	9

9-10	9	10	0.29	2	19.6	9
10-11	10	11	0.83	6	101.7	9
11-12	11	12	0.45	6	60.2	7
12-13	12	13	0.00	0	72.8	6
13-14	13	14	0.72	6	74.7	6
14-15	14	15	0.00	0	52.3	6
15-16	15	16	0.73	6	163.9	5
16-17	16	17	0.39	6	179.2	4
17-18	17	18	0.06	2	73.9	6
18-19	18	19	0.47	6	8.0	4
19-20	19	20	0.50	6	9.0	4
1-21	1	21	0.50	6	150.0	15
21-22	21	22	0.09	2	60.0	25
22-23	22	23	0.00	0	15.0	30
23-24	23	24	0.06	2	28.8	28
24-25	24	25	0.22	2	18.4	37
25-26	25	26	0.07	2	22.0	38
26-27	26	27	0.00	0	15.0	41
27-28	27	28	0.22	2	18.4	44
28-29	28	29	0.06	2	28.8	40
29-30	29	30	0.67	6	30.0	58
27-31	27	31	0.70	6	6.0	46
31-32	31	32	0.09	2	35.0	48
32-33	32	33	0.20	2	7.0	48
33-34	33	34	0.09	2	20.0	46
23-35	23	35	0.17	2	34.6	23
35-36	35	36	0.16	2	5.0	29
36-37	36	37	0.30	2	6.0	31
3-38	3	38	0.65	6	30.0	18
7-39	7	39	0.17	2	120.0	8
39-40	39	40	0.20	2	11.4	8
13-41	13	41	0.66	6	46.1	6
41-42	41	42	0.47	6	26.0	6
42-43	42	43	0.40	6	25.7	6
15-44	15	44	0.14	2	18.0	5
44-45	44	45	0.30	6	7.8	7

Αφού καταχωρήθηκαν τα δεδομένα εισόδου, ακολούθησε ο έλεγχος του αρχείου εισόδου, ώστε να διορθωθούν οι όποιες παραλείψεις και σφάλματα. Ο έλεγχος

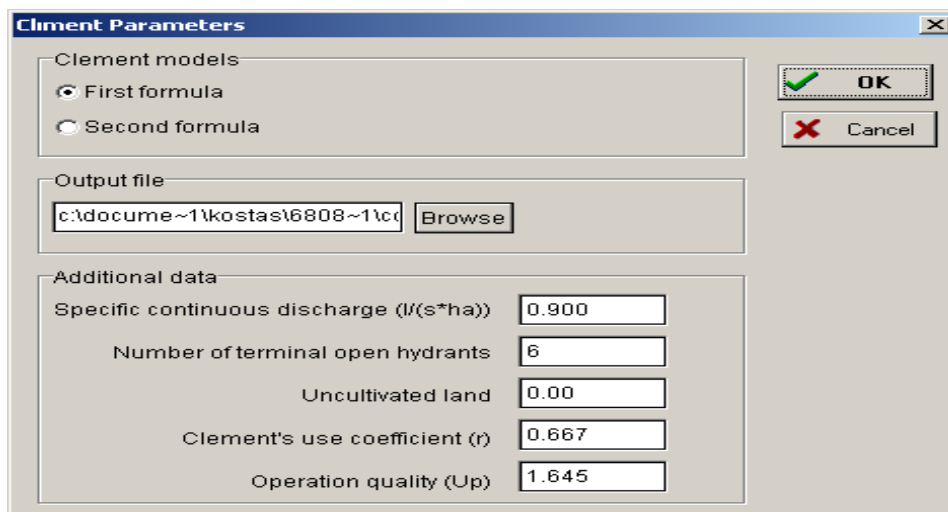
πραγματοποιείται με το εικονίδιο Check input file (**Εικόνα 6.13**), μέχρις ότου τα λάθη μηδενιστούν.



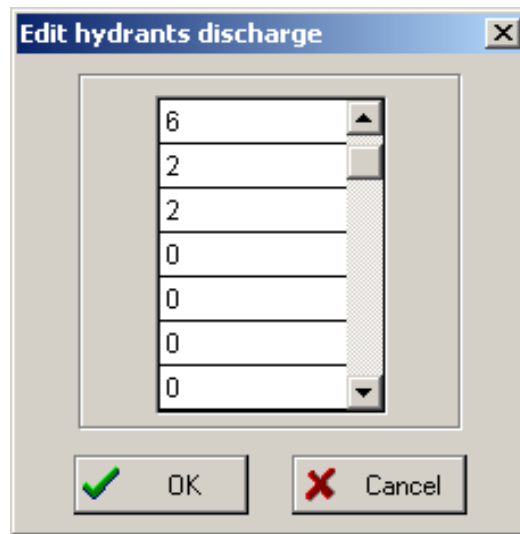
Εικόνα 6.13 Έλεγχος δεδομένων εισόδου στο COPAM.

6.2.3 Υπολογισμός παροχών και διαστασιολόγηση νέου δικτύου

Το δίκτυο του Πανόρμου σχεδιάστηκε για σύστημα διανομής ελεύθερης ζήτησης και ο υπολογισμός των παροχών προκύπτει από το πρώτο μοντέλο του Clément. Ακόμη, γίνεται η παραδοχή ότι η παροχή υπολογίζεται αθροιστικά για τα 6 ακραία υδροστόμια κάθε κλάδου, (**Εικόνα 6.14**).



Εικόνα 6.14 Εισαγωγή στοιχείων λειτουργίας με το πρώτο μοντέλο του Clément. Σειρά έχει ο καθορισμός της τιμής της ονομαστικής παροχής των υδροστομίων του δικτύου, η οποία θα είναι ίση με 2 & 6 L/s, (**Εικόνα 6.15**).



Εικόνα 6.15 Εισαγωγή τιμής ονομαστικής παροχής υδροστομίων.

Τέλος, καταχωρούνται οι τιμές των διαμέτρων του Πίνακα 5.2 με τα αντίστοιχα κόστη, καθώς και τις τιμές του συντελεστή γ Bazin, (**Εικόνα 6.16**).

Diameter - HD (mm)	Thickness (mm)	Gamma Bazin (m ^{0.5})	Unitary cost
79	0.00	0.06	€ 38.60p
96	0.00	0.06	€ 42.10p
109	0.00	0.06	€ 44.70p
122	0.00	0.06	€ 48.50p
140	0.00	0.06	€ 51.00p
175	0.00	0.06	€ 60.30p

Εικόνα 6.16 Εισαγωγή στοιχείων των αγωγών του υπό μελέτη δικτύου.

Με την ολοκλήρωση της καταχώρησης των δεδομένων εισόδου, το λογισμικό έχει λάβει τα αναγκαία στοιχεία ώστε να προσαρμόσει και τελικά να αποδώσει την πλέον ικανοποιητική λύση για τις παροχές και τις διαστάσεις των αγωγών του νέου δικτύου. Η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται με εφαρμογή των βημάτων της παραγράφου για τη βελτιστοποίηση του δικτύου με τη Μέθοδο του Clément. Με το

πέρασ των βημάτων και το άνοιγμα του αρχείου ranormos.opt (optimization) προκύπτει το output file του COPAM με αναλυτικά αποτελέσματα, όπως αυτά παρατίθενται στους ακόλουθους πίνακες (Πίνακες 6.4 και 6.5).

Πίνακας 6.4: Αποτελέσματα βελτιστοποίησης του νέου δικτύου στο COPAM.

SN	IN	FN	Area	N.Hydr	Qcl	Diam	LandEl	Length
1	0	1	13.7	38	36	140	16	0.5
2	1	2	10.1	23	36	140	16	20.6
3	2	3	9.9	22	36	140	16	33.5
4	3	4	9.2	21	36	140	15	106.2
5	4	5	8.7	20	36	140	13	87.4
6	5	6	7.8	19	36	140	11	22.8
7	6	7	7.5	18	36	140	11	151.6
8	7	8	7.1	16	36	140	9	10.4
9	8	9	6.7	15	36	140	9	10.4
10	9	10	6.4	14	36	140	9	19.6
11	10	11	6.1	13	36	140	9	101.7
12	11	12	5.3	12	36	140	7	60.2
13	12	13	4.8	11	36	140	6	72.8
14	13	14	3.3	8	36	140	6	74.7
15	14	15	2.6	7	32	140	6	52.3
16	15	16	2.2	5	26	122	5	163.9
17	16	17	1.4	4	20	109	4	179.2
18	17	18	1	3	14	96	6	73.9
19	18	19	1	2	12	79	4	8
20	19	20	0.5	1	6	79	4	9
21	1	21	3.6	15	24	140	15	150
22	21	22	3.1	14	20	122	25	60
23	22	23	3	13	20	122	30	15
24	23	24	2.4	10	20	122	28	28.8
25	24	25	2.3	9	20	122	37	18.4
26	25	26	2.1	8	20	122	38	22
27	26	27	2	7	20	122	41	15
28	27	28	1	3	10	109	44	18.4
29	28	29	0.7	2	8	96	40	28.8
30	29	30	0.7	1	6	96	58	30
31	27	31	1.1	4	12	79	46	6
32	31	32	0.4	3	6	79	48	35
33	32	33	0.3	2	4	79	48	7
34	33	34	0.1	1	2	79	46	20
35	23	35	0.6	3	6	79	23	34.6
36	35	36	0.5	2	4	79	29	5
37	36	37	0.3	1	2	79	31	6
38	3	38	0.6	1	6	79	18	31.2
39	7	39	0.4	2	4	79	8	120
40	39	40	0.2	1	2	79	8	11.4
41	13	41	1.5	3	18	96	6	46.1
42	41	42	0.9	2	12	79	6	26
43	42	43	0.4	1	6	79	6	25.7
44	15	44	0.4	2	8	79	5	18
45	44	45	0.3	1	6	79	7	62.9

Πίνακας 6.5: Αποτελέσματα βελτιστοποίησης του νέου δικτύου στο COPAM με το συνολικό κόστος των αγωγών σε Ευρώ (€).

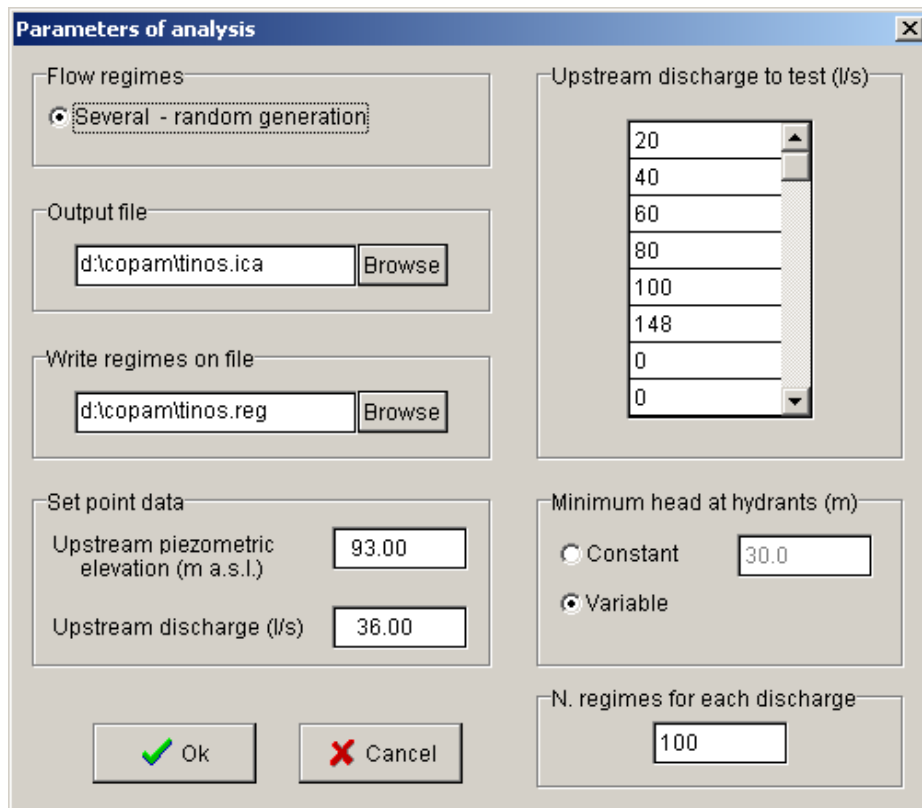
Diameters	Length	Cost (€)
79	370.7	14309
96	178.8	7527
109	197.6	8833
122	163.9	7949
140	1133.9	58736
TOTAL COST: 97354.4 €		

Τα δεδομένα που εξάγει ο **Πίνακας 6.5** αποτελούν μία σαφή και σημαντική ένδειξη για την κοστολόγηση του έργου για το μελετητή, καθώς και για τους φορείς ανάθεσης και υλοποίησης σε επόμενα στάδια. Σημειωτέο δε ότι δεν περικλείει το κόστος του αντλιοστασίου αλλά μόνο μόνο κόστος του συστήματος αγωγών.

6.2.4 Ανάλυση λειτουργίας σε επίπεδο δικτύου

Για την ανάλυση της λειτουργίας του δικτύου που σχεδιάστηκε κι έπειτα προσομοιώθηκε μέσω υδραυλικών υπολογισμών από το COPAM, θα εξεταστεί αρχικά το δίκτυο ως σύστημα αγωγών. Πιο αναλυτικά, θα υλοποιηθούν μία σειρά από προσομοιώσεις για διάφορες τιμές της παροχής στην κεφαλή του δικτύου, ώστε τελικά να αποδοθούν οι χαρακτηριστικές καμπύλες αυτού. Ο αριθμός προσομοιώσεων επιλέχθηκε ίσος με $N=100$ για κάθε τιμή, έτσι να αναλυθεί και να προσομοιωθεί επαρκώς η υδραυλική λειτουργία του δικτύου. Συμπληρώνεται ότι ο αριθμός N των προσομοιώσεων πρέπει να είναι πολλαπλάσιος του 10, σύμφωνα με τους περιορισμούς που θέτουν τα μοντέλα του λογισμικού.

Επιλέγοντας την ανάλυση με το Μοντέλο των Χαρακτηριστικών Καμπυλών (Characteristic Curves Model) στο εικονίδιο Configurations, εμφανίζεται το πτυσσόμενο παράθυρο στο οποίο δίνονται οι τιμές των παραμέτρων για την εκτέλεση στατιστικής ανάλυσης και την εξαγωγή των χαρακτηριστικών καμπυλών, **(Εικόνα 6.17)**.



Εικόνα 6.17 Εισαγωγή παραμέτρων ανάλυσης του δικτύου με το Μοντέλο των Χαρακτηριστικών Καμπυλών.

Στις παραμέτρους εισαγωγής συμπεριλαμβάνονται το σημείο ρύθμισης (set point) του δικτύου, το οποίο προκύπτει από την παροχή σχεδιασμού (παροχή στην κεφαλή) ίση με 36 L/s και στο πιεζομετρικό φορτίο στην κεφαλή με τιμή 93 m. Επιπρόσθετα, καταχωρείται η ελάχιστη πίεση υδροληψίας ίση με 30m, το πλήθος των προσομοιώσεων $N=100$ και οι διάφορες τιμές παροχής στην κεφαλή, όπου για κάθε μία από αυτές θα υπολογιστεί η κατανομή των αναγκαίων φορτίων για να λειτουργούν ικανοποιητικά οι συνδυασμοί ανοικτών υδροστομίων έχοντας παροχή στην κεφαλή ίση με κάθε μία από αυτές

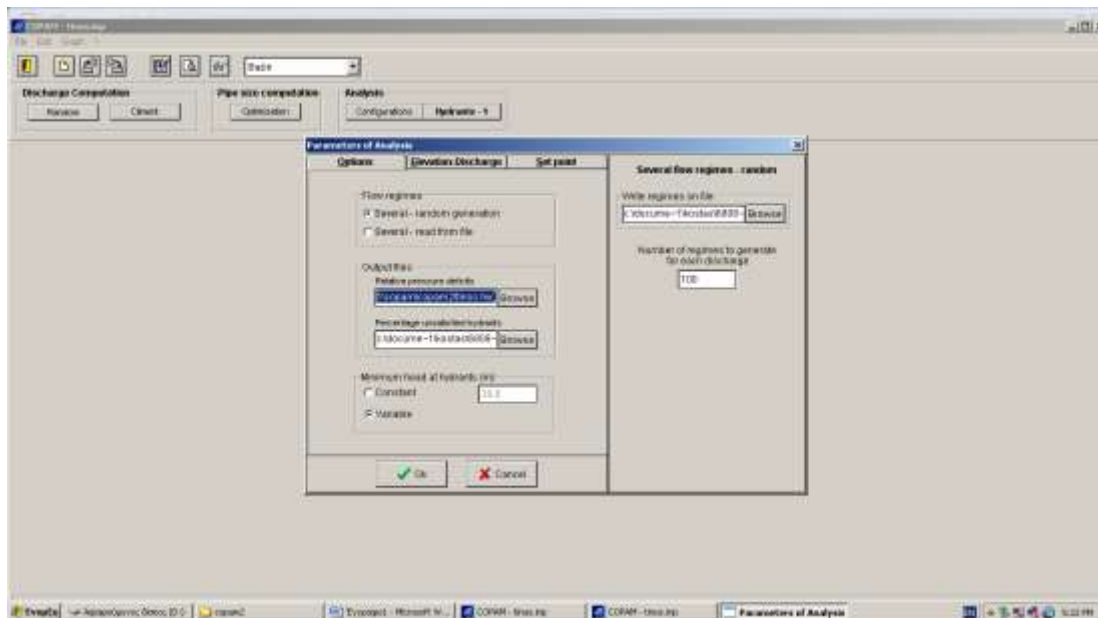
Η εν λόγω μέθοδος αποδίδει μία εικόνα της γενικής λειτουργικής κατάστασης του δικτύου, λαμβάνοντας υπόψη ότι στηρίζεται σε ένα πολύ αυστηρό κριτήριο (ένας συνδυασμός θεωρείται ανεπιτυχής ακόμη και όταν ένα μόνο υδροστόμιο έχει φορτίο μικρότερο από το ελάχιστο απαιτούμενο).

Να σημειωθεί ότι δόθηκαν τιμές μικρότερες και μεγαλύτερες από την παροχή σχεδιασμού που αρχικά υπολογίστηκε κατά τη βελτιστοποίηση του έργου, έχοντας πάντα ως καταληκτική παροχή την αθροιστική παροχή του συνόλου των υδροστομίων,

$$Q_{CUMUL} = R \cdot d = 148 \text{ L/s.}$$

6.2.5 Ανάλυση λειτουργίας σε επίπεδο υδροστομίου

Η ανάλυση σε επίπεδο υδροστομίου συνιστά μία πιο λεπτομερή καταγραφή και παρουσίαση του υπό μελέτη δικτύου καθώς παρέχει πληροφορίες για την τοπική υδραυλική συμπεριφορά του. Η μέθοδος αυτή στο λογισμικό COPAM υλοποιείται μέσω του Μοντέλου AKLA με επιλογή στο εικονίδιο Hydrants – 1. Στο παράθυρο που αναδύεται γίνεται η εισαγωγή των παραμέτρων των παραμέτρων του μοντέλου όπως φαίνεται στην **Εικόνα 6.18** που ακολουθεί.



Εικόνα 6.18 Εισαγωγή παραμέτρων ανάλυσης του δικτύου με το Μοντέλο AKLA (AKLA Model).

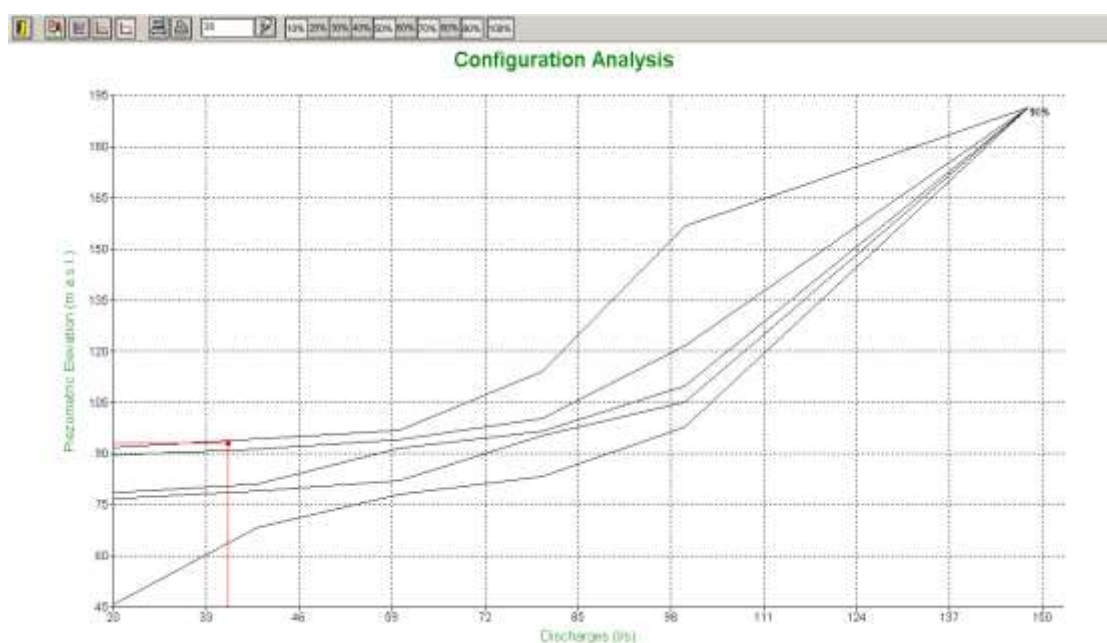
Οι βασικές παράμετροι που πρέπει να καθοριστούν είναι τα «καθεστώτα ροής», το ελάχιστο πιεζομετρικό φορτίο, ο αριθμός προσομοιώσεων και το σημείο ρύθμισης (set point), το οποίο ενημερώνεται αυτόματα. Ως «καθεστώ ροής» επιλέχθηκε η παραγωγή τυχαίων αριθμών που ακολουθούν κανονική κατανομή (several – random generation).

Με τις προσομοιώσεις που θα εκτελεστούν υπολογίζεται η σχετική περίσσεια – έλλειμμα φορτίου καθώς και ο δείκτης αξιοπιστίας σε κάθε υδροστόμιο. Η διαδικασία αυτή θα προσφέρει μία πιο ολοκληρωμένη ανάλυση της λειτουργίας του

δικτύου, ώστε να ερμηνευθούν και να διορθωθούν τα όποια ελλιπή στοιχεία κατά το στάδιο της μελέτης.

6.2.6 Αποτελέσματα ανάλυσης λειτουργίας του νέου δικτύου

Θα εξεταστούν τα αποτελέσματα της ανάλυσης σε επίπεδο δικτύου. Οι χαρακτηριστικές καμπύλες που προέκυψαν από το ομώνυμο μοντέλο δίνονται στη συνέχεια στο **Σχήμα 6.2**.



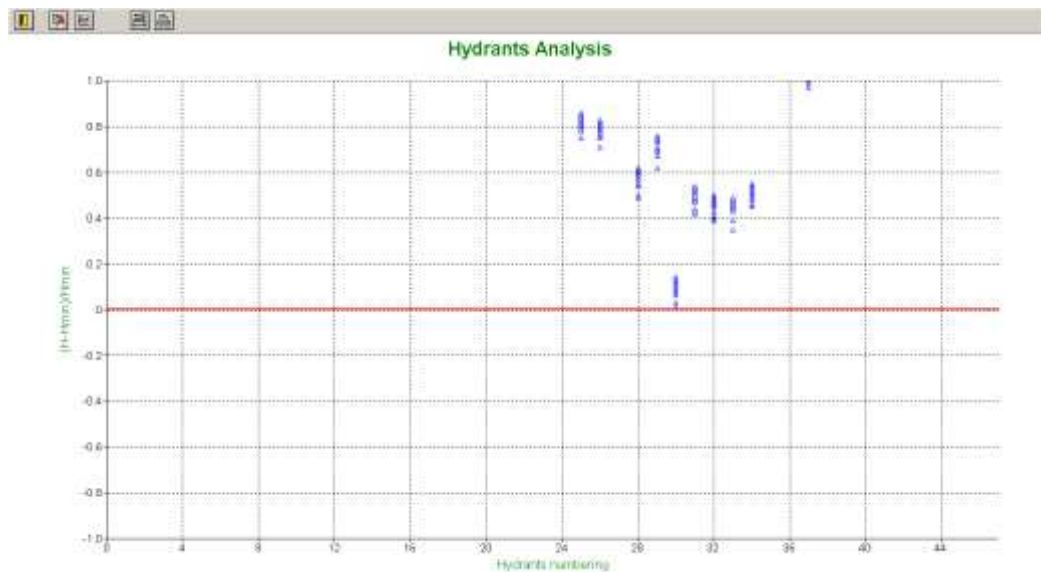
Σχήμα 6.2 Χαρακτηριστικές Καμπύλες του νέου δικτύου C₁₀, C₅₀, C₇₀, C₉₀, C₁₀₀, με βάση το σημείο ρύθμισης.

Από το άνωθεν Σχήμα παρατηρείται ότι το σημείο ρύθμισης (93, 36) εντοπίζεται κοντά στην χαρακτηριστική καμπύλη του 100%. Συμπληρώνεται ότι, ένα δίκτυο θεωρείται ότι λειτουργεί ικανοποιητικά αν το σημείο ρύθμισης πέσει επάνω σε μία χαρακτηριστική καμπύλη περίπου από 50% και πάνω, (Δέρκας, 2001, Στεφοπούλου και Δέρκας, 2009).

Συμπεραίνεται ότι το δίκτυο μπορεί να ικανοποιήσει τη ζήτηση που δημιουργεί το 100% των διαμορφώσεων χωρίς κανένα πρόβλημα.

Για την πιο αναλυτική μελέτη της λειτουργίας του δικτύου προστίθεται και η ανάλυση σε επίπεδο υδροστομίου, με τα διαγράμματα σχετικού ελλείμματος –

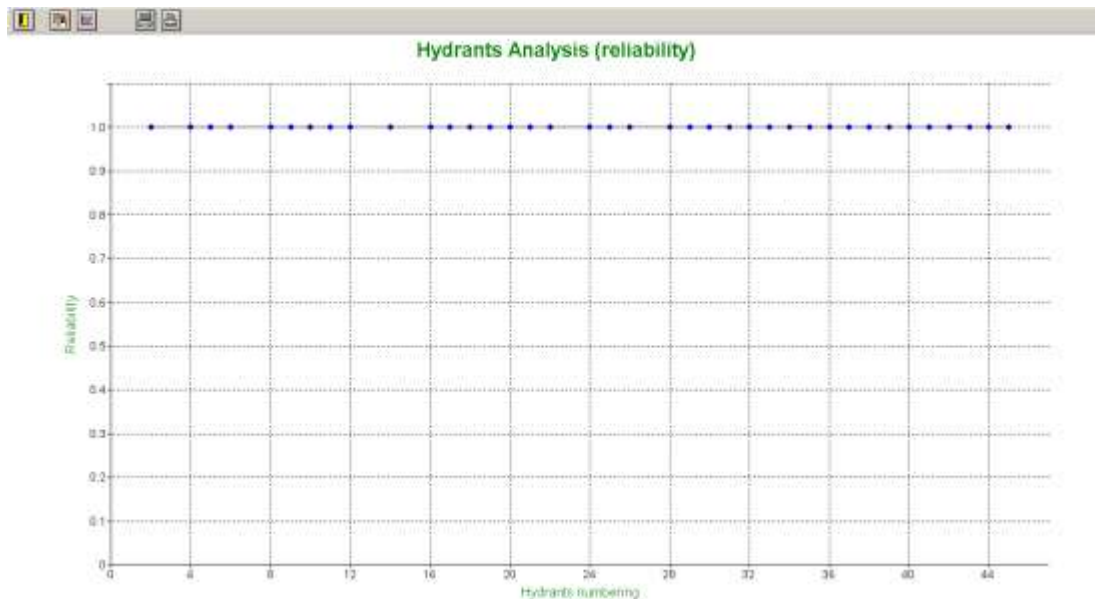
περίσσειας φορτίου (Σχήμα 6.3) και δείκτη αξιοπιστίας (Σχήμα 6.4) που ακολουθούν.



Σχήμα 6.3: Σχετικό έλλειμμα – περίσσεια φορτίου για το νέο δίκτυο με συνθήκες λειτουργίας $Z_{κεφ}=93\text{m}$, $Q_{Clément}=36\text{L/s}$.

Από τα παραπάνω συνάγεται το συμπέρασμα ότι όλα τα υδροστόμια έχουν περίσσεια φορτίου. Στον οριζόντιο άξονα δίνεται η αρίθμηση των κόμβων ενώ στον κάθετο η τιμή του ΔH . Επίσης, τιμές $\Delta H < -0.5$ δείχνουν τα υδροστόμια όπου το διαθέσιμο φορτίο πίεσης είναι μικρότερο από το 50% του απαιτούμενου και χρήζουν άμεσα διορθωτικών επεμβάσεων (Calejo et al., 2008, Στεφοπούλου και Δέρκας, 2009). Τα υδροστόμια πλειοψηφικά υπερβαίνουν την τιμή της μονάδας, πράγμα το οποίο αποδεικνύει την περίσσεια φορτίου. Σε κάθε περίπτωση οι τιμές του ΔH είναι θετικές.

Στο Σχήμα 6.4 παρουσιάζεται η αξιοπιστία των υδροστομίων που εκτιμήθηκε με το Μοντέλο AKLA. Σε αυτή την περίπτωση παρατηρείται ότι η αξιοπιστία του συνόλου των υδροστομίων ισούται με τη μονάδα ($a=1$). Στον οριζόντιο άξονα δίνεται η αρίθμηση των κόμβων, ενώ στον κατακόρυφο δίνεται η τιμή του δείκτη αξιοπιστίας Hashimoto. Συνεπώς, δεν αντιμετωπίζεται κάποιο πρόβλημα και το δίκτυο λειτουργεί αδιάλειπτα.



Σχήμα 6.4: Αξιοπιστία των υδροστομιών για το νέο δίκτυο με συνθήκες λειτουργίας $Z_{κεφ}=93m$, $Q_{Clém}=36L/s$.

6.3 Συγκριτική ποσοτική ανάλυση της ειδικής συνεχούς παροχής του νέου δικτύου

Η διαδικασία του σχεδιασμού εκλαμβάνεται ως επιτυχής όταν προδιαγράφει μία ορθολογική λειτουργία του υπό πίεση αρδευτικού δικτύου. Το επίπεδο επίτευξης της ορθής και προσδοκώμενης λειτουργίας του δικτύου διαπιστώνεται μέσω της ανάλυσης αυτού κατά στάδια, όπως πραγματοποιήθηκε ανωτέρω. Η ανάλυση λειτουργίας υλοποιείται με το 1ο μοντέλο του Clément μέσω της διερεύνησης των παραμέτρων που εισάγονται και της επεξεργασίας των αποτελεσμάτων που παράγει.

Στα πλαίσια μίας ολοκληρωμένης διερεύνησης του δικτύου που σχεδιάστηκε, κρίνεται σκόπιμη η λεπτομερής εξέταση των παραμέτρων του μοντέλου, οι οποίες επιδρούν άμεσα στη λειτουργία του. Η μέθοδος που επιλέχθηκε για την αποπεράτωση αυτής της διαδικασίας συνιστά μία συγκριτική ποσοτική ανάλυση του μοντέλου της υδραυλικής προσομοίωσης, με την οποία μελετώνται οι μεταβολές στις τιμές των παραμέτρων, η διαφοροποίηση των εξαγόμενων αποτελεσμάτων στη λειτουργία του δικτύου και τελικά η διατύπωση των συμπερασμάτων.

Η εκλογή της παραμέτρου της ειδικής συνεχούς παροχής (q_0) προκύπτει λόγω της μείζονος σημασίας της για την άμεση λειτουργία ενός δικτύου. Η παράμετρος αυτή καθορίζεται βάσει αρδευτικών αναγκών στην περιοχή εφαρμογής και υπολογίζεται

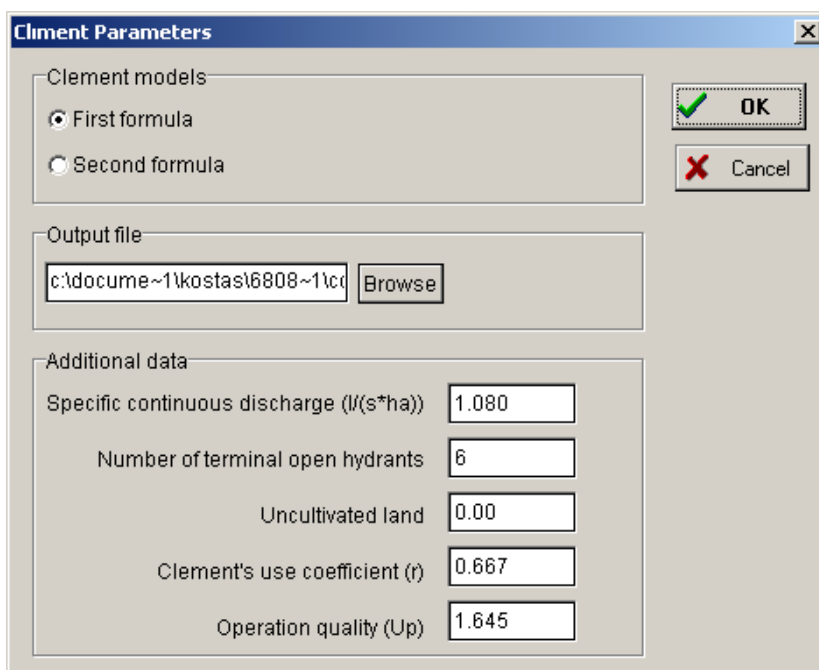
κατά τη διεξαγωγή της γεωργοτεχνικής και της οικονομοτεχνικής μελέτης. Οι μελέτες αυτές υλοποιούνται κατά το στάδιο του σχεδιασμού ενός αρδευτικού έργου.

Η ουσιώδης αιτία για την επιλογή εξέτασης της ειδικής συνεχούς παροχής έγκειται στο γεγονός ότι οι καλλιέργειες σε μία περιοχή μεταβάλλονται ανά τις χρονικές περιόδους, άλλοτε σε πολύ μικρό βαθμό και σε άλλες περιπτώσεις σημαντικά. Η παράμετρος αυτή ταυτίζεται με τις όποιες σχετικές αλλαγές συμβούν στις καλλιέργειες της περιοχής. Εντούτοις, σε μία έκταση όπως η περιοχή του Πανόρμου με ελάχιστους υδατικούς πόρους, υψηλά επίπεδα ηλιοφάνειας και θερμοκρασιών, σε συνδυασμό με παρατεταμένα προβλήματα λειψυδρίας, κρίνεται μάλλον πιθανή η μελλοντική αύξηση τιμής της q_0 , σε σχέση με μία ενδεχόμενη ελάττωση αυτής.

Στις υποενότητες που ακολουθούν εξετάζονται οι μεταβολές της ειδικής συνεχούς παροχής στη συμπεριφορά του υδραυλικού μοντέλου προσομοίωσης του δικτύου που σε προηγούμενο κεφάλαιο σχεδιάστηκε. Εν κατακλείδι, θα αναλυθούν οι αλλαγές αυτές, θα συγκριθούν τα κόστη κατασκευής για κάθε περίπτωση και θα αποτυπωθούν τα συμπεράσματα των παρατηρήσεων από τα εναλλακτικά σενάρια που διερευνήθηκαν.

6.3.1 Σενάριο 1ο – Αύξηση της ειδικής συνεχούς παροχής κατά 20%

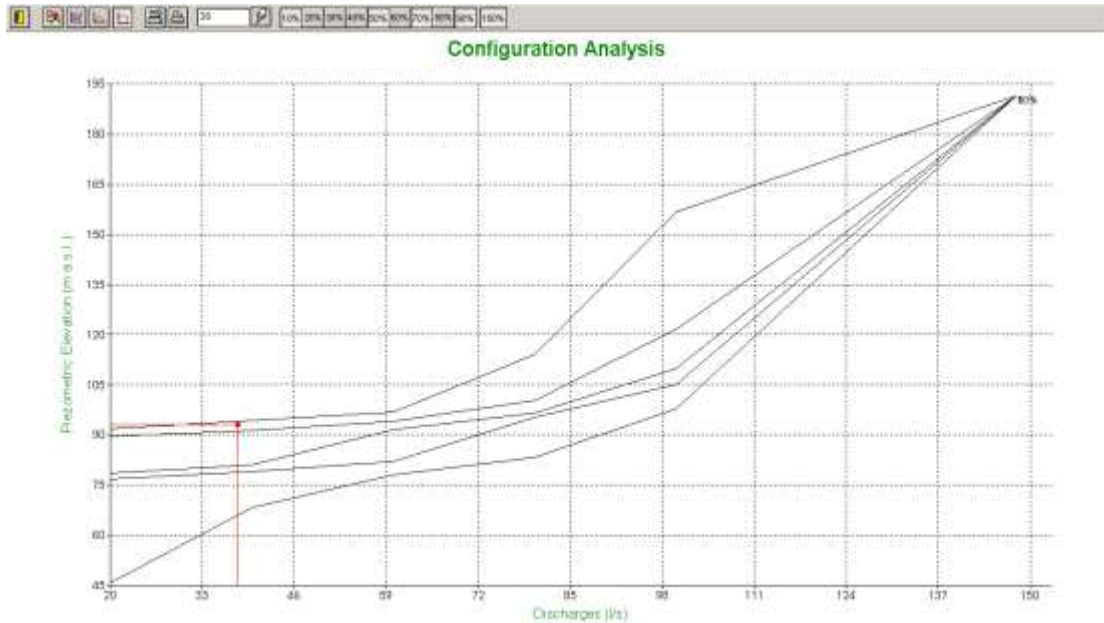
Η διαδικασία που ακολουθείται είναι αυτή που εκπονήθηκε στην παράγραφο για τον υπολογισμό των παροχών κι έπειτα η διαστασιολόγηση του νέου δικτύου, με τη χρήση του 1^{ου} μοντέλου του Clément. Η διαφοροποίηση έγκειται στην εισαγωγή της νέας τιμής της ειδικής συνεχούς παροχής $q_{01}=1.2q_0$, λόγω της αύξησης κατά 20% της αρχικής τιμής (μηδενική λύση). Ως εκ τούτου, η νέα τιμή διαμορφώνεται σε $q_{01}=1.08$ L/s/ha και καταχωρείται στο COPAM, (Εικόνα 6.18).



Εικόνα 6.18: Εισαγωγή νέας τιμής της ειδικής συνεχούς παροχής q_{o1} στο 1^ο μοντέλο του Clément (COPAM software).

Από το λογισμικό προκύπτει ο υπολογισμός της παροχής σχεδιασμού και η νέα διαστασιολόγηση, σύμφωνα με τον **Πίνακα 1** του Παραρτήματος. Η παροχή σχεδιασμού λαμβάνει την τιμή $Q_{Clém}=38$ L/s, που όπως ήταν αναμενομένο είναι μεγαλύτερη από την $Q_{Clém}=36$ L/s που υπολογίστηκε με την προτεινόμενη τιμή της q_o . Προφανής είναι και η απόκλιση, σε σχέση με το σχεδιασμό του δικτύου για τη μηδενική λύση, του κόστους των σωληνώσεων του έργου, σύμφωνα με τα αποτελέσματα που παρήχθησαν από τη βελτιστοποίηση.

Εντούτοις, επειδή πρόκειται για μελλοντική αύξηση της ειδικής συνεχούς παροχής q_o η ανάλυση λειτουργίας πραγματοποιείται με την αρχική διαστασιολόγηση και ομοίως θα εκπονηθεί και στα σενάρια που έπονται. Η ανάλυση σε επίπεδο δικτύου με τη μέθοδο των χαρακτηριστικών καμπυλών, αποδίδει το σημείο ρύθμισης (93, 38) πάνω από την καμπύλη 90%, με τιμή 97% κατά προσέγγιση (**Σχήμα 6.5**). Η κατάσταση αυτή αποδεικνύει ότι το δίκτυο δύναται να ικανοποιήσει τη ζήτηση που δημιουργεί σχεδόν κατά 97% των διαμορφώσεων, χωρίς να υφίσταται δηλαδή κάποιο πρόβλημα.



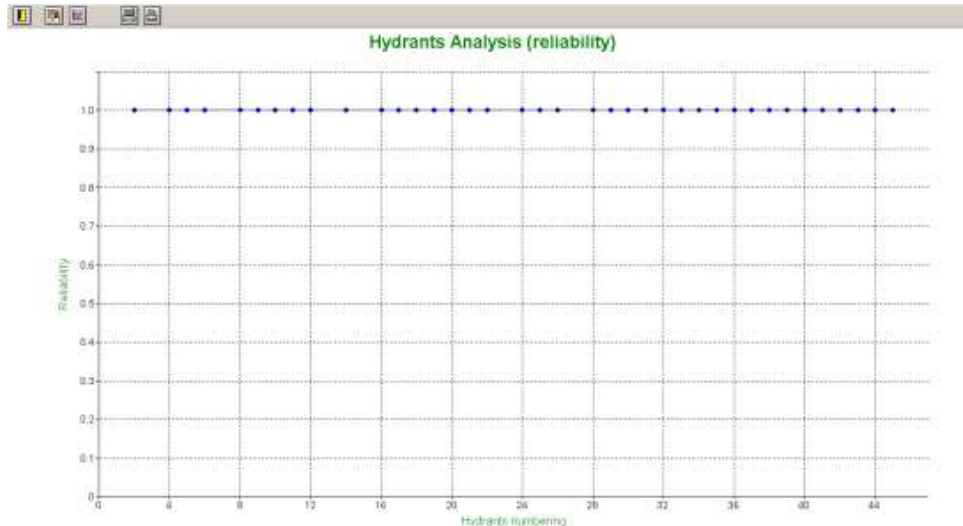
Σχήμα 6.5 Χαρακτηριστικές Καμπύλες του νέου δικτύου C₁₀, C₅₀, C₇₀, C₉₀ και C₁₀₀ με βάση το σημείο ρύθμισης (93, 38).

Στο **Σχήμα 6.6** παρουσιάζεται το σχετικό έλλειμμα – περίσσεια φορτίου για κάθε υδροστόμιο όπως προκύπτει από την ανάλυση σε επίπεδο υδροστομίου με τη χρήση του Μοντέλου AKLA. Από το σχήμα φαίνεται ότι όλα τα υδροστόμια παρουσιάζουν περίσσεια φορτίου και μάλιστα τα περισσότερα υπερβαίνουν τη μονάδα.

Στο **Σχήμα 6.7** δίνεται η αξιοπιστία των υδροστομίων, επίσης χρησιμοποιώντας το Μοντέλο AKLA. Η αξιοπιστία τους ισούται με τη μονάδα για το σύνολο του έργου, γεγονός που συνεισφέρει ως απόδειξη για την ομαλή λειτουργία του δικτύου.



Σχήμα 6.6: Σχετικό έλλειμμα – περίσσεια φορτίου για το νέο δίκτυο με συνθήκες λειτουργίας $Z_{κεφ}=93m$, $Q_{Clém}=38L/s$.

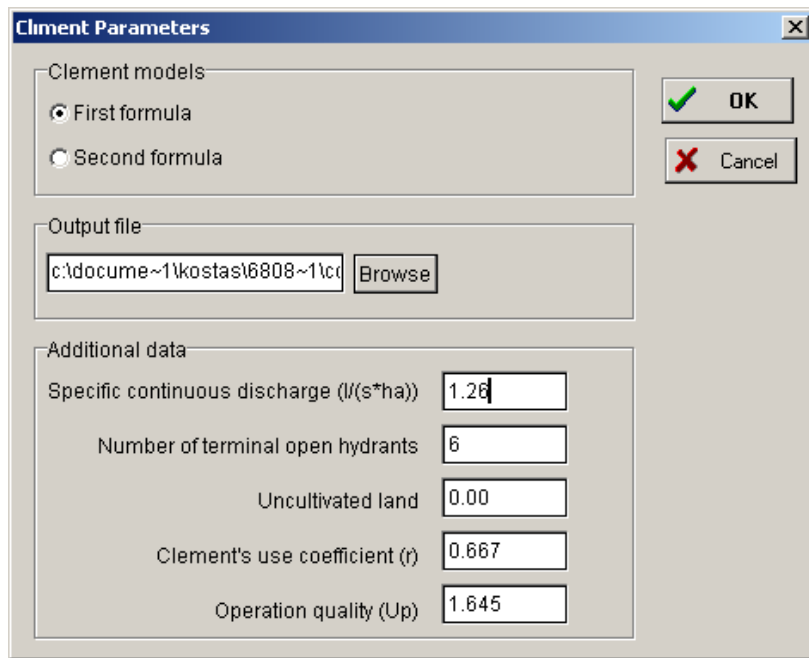


Σχήμα 6.7: Αξιοπιστία των υδροστομιών για το νέο δίκτυο με συνθήκες λειτουργίας $Z_{κεφ}=93m$, $Q_{Clém}=38L/s$.

6.3.2 Σενάριο 2^ο – Αύξηση της ειδικής συνεχούς παροχής κατά 40%

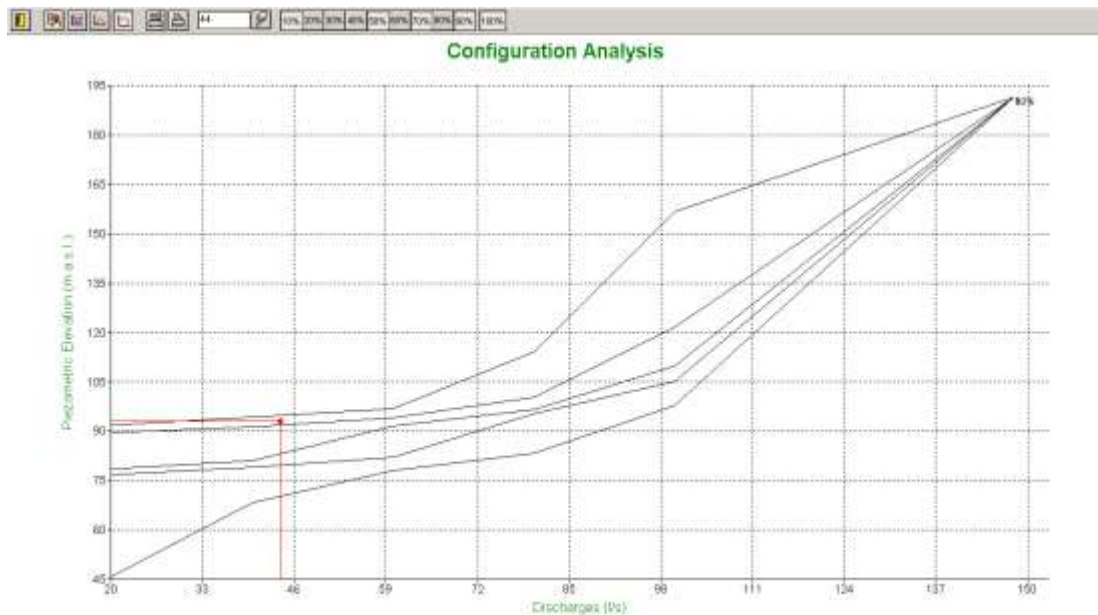
Για τη σύνθεση του δεύτερου κατά σειρά σεναρίου θα εκπονηθεί ομοίως η προσέγγιση της παραγράφου που προηγήθηκε, αυξάνοντας την τιμή της ειδικής συνεχούς παροχής κατά 40% αυτή τη φορά. Η νέα τιμή διαμορφώνεται σε $q_{o2}=1.4q_o$, οπότε $q_{o2}=1,26 L/s/ha$, η οποία και θα ανταποκρίνεται καλλίτερα σε ενδεχόμενη περαιτέρω αύξηση των αρδευτικών αναγκών. Η τιμή αυτή εισάγεται στο λογισμικό COPAM, ενώ οι υπόλοιπες παράμετροι του 1ου μοντέλου διατηρούνται, **(Εικόνα 6.19)**.

Από τη διαδικασία του νέου σχεδιασμού και της βελτιστοποίησης στο λογισμικό αποδόθηκε η τιμή της παροχής σχεδιασμού $Q_{Clém}=44 L/s$. Το νέο σενάριο λειτουργίας του δικτύου παρουσιάζεται αναλυτικά στον **Πίνακα 2** του Παραρτήματος, όπου εμφανίζονται όλες οι τιμές των παροχών ανά τμήμα αγωγού. Ως σημείο ρύθμισης (set point) ορίζεται το (93, 44) επαγωγικά.



Εικόνα 6.19 Εισαγωγή νέας τιμής της ειδικής συνεχούς παροχής q_2 στο 1ο μοντέλο του Clément (COPAM software).

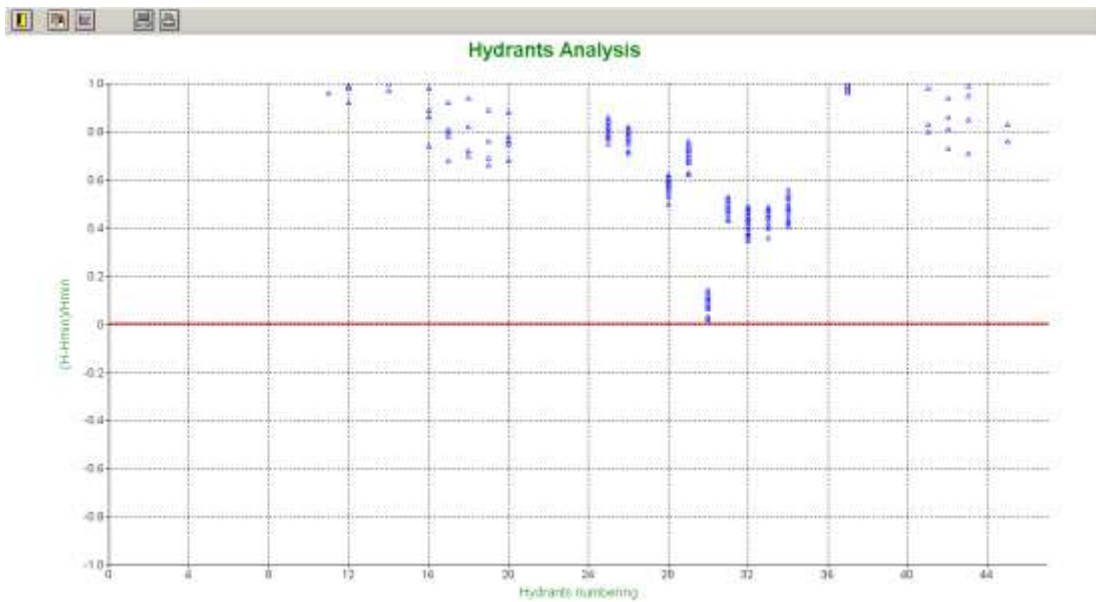
Η εξέταση της μεταβολής στη λειτουργία του δικτύου πραγματοποιήθηκε με διαδικασία ανάλυσης λειτουργίας, με τη θεμελιώδη διαφορά ότι αντικαταστάθηκε η τιμή της q_0 με αυτή της q_{02} . Ακολούθως εξετάζονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες του δικτύου όπως αυτή διενεργήθηκε μέσω της ανάλυσης σε επίπεδο δικτύου από το Μοντέλο Χαρακτηριστικών Καμπυλών, με βάση τη διαστασιολόγηση του σεναρίου βάσης (**Σχήμα 6.8**). Γίνεται αντιληπτό ότι το σημείο ρύθμισης βρίσκεται πάνω από τη χαρακτηριστική καμπύλη 90%, επομένως το δίκτυο λειτουργεί ικανοποιητικά. Επομένως παρά την αύξηση της q_0 κατά 40% το δίκτυο εξακολουθεί να ανταποκρίνεται πολύ ικανοποιητικά στην αυξημένη ζήτηση.



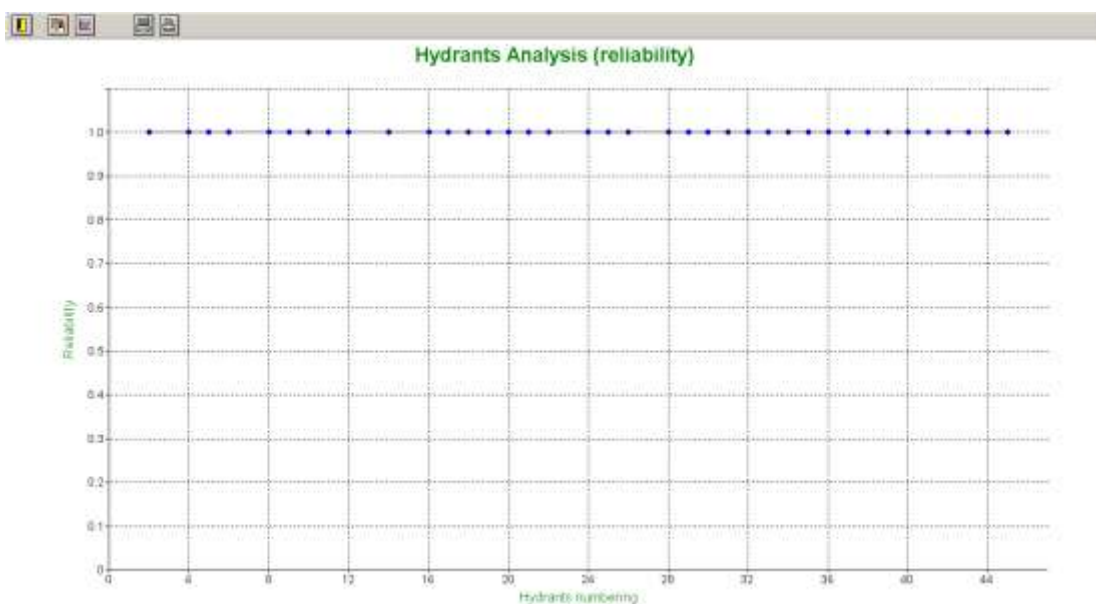
Σχήμα 6.8 Χαρακτηριστικές Καμπύλες του νέου δικτύου C₁₀, C₅₀, C₇₀, C₉₀ και C₁₀₀ με βάση το σημείο ρύθμισης (93 44).

Στη συνέχεια, από την ανάλυση σε επίπεδο υδροστομίου, εξετάζεται το σχετικό έλλειμα – περίσσεια φορτίου ΔΗ για κάθε υδροστόμιο, όπως αυτό προκύπτει από τη χρήση του Μοντέλου ΑΚΛΑ. Πράγματι, όπως προβάλλεται στο **Σχήμα 6.9** το σύνολο των υδροστομίων έχει περίσσεια φορτίου. Συνάγεται το συμπέρασμα από τα παραπάνω, ότι το δίκτυο μπορεί να λειτουργήσει και σε αυτήν την περίπτωση επαρκώς.

Στο **Σχήμα 6.10** παρουσιάζεται η αξιοπιστία των υδροστομίων χρησιμοποιώντας το Μοντέλο ΑΚΛΑ. Η αξιοπιστία τους στο σύνολο τους ισούται με τη μονάδα συνεπώς αποδεικνύεται και εδώ η ομαλή λειτουργία του δικτύου.



Σχήμα 6.9: Σχετικό έλλειμμα – περίσσεια φορτίου για το νέο δίκτυο με συνθήκες λειτουργίας $Z_{κεφ}=93m$, $Q_{Clém}=44L/s$.



Σχήμα 6.10: Αξιοπιστία των υδροστομίων για το νέο δίκτυο με συνθήκες λειτουργίας $Z_{κεφ}=93m$, $Q_{Clém}=44L/s$.

6.3.3 Σενάριο 3^ο – Αύξηση της ειδικής συνεχούς παροχής κατά 60%

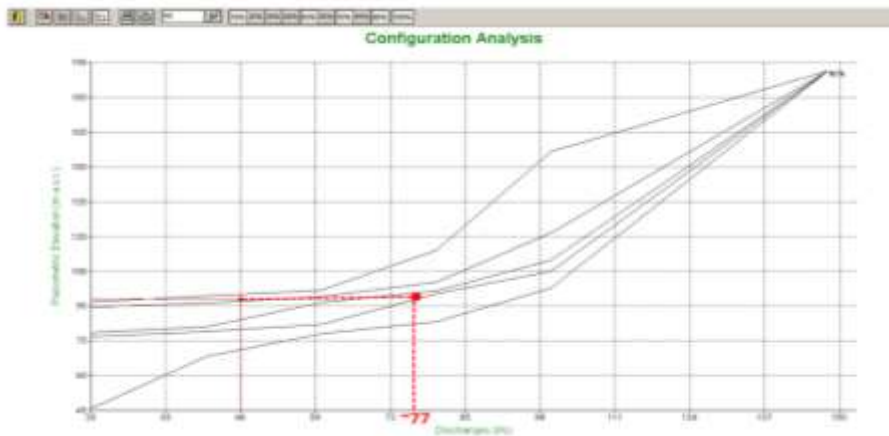
Για τη σύνθεση του τρίτου κατά σειρά σεναρίου θα εκπονηθεί ομοίως η προσέγγιση της παραγράφου που προηγήθηκε, αυξάνοντας την τιμή της ειδικής συνεχούς παροχής κατά 60% αυτή τη φορά. Η νέα τιμή διαμορφώνεται σε $q_{d2}=1.6q_d$, οπότε

$q_{02}=1,44$ L/s/ha, η οποία και θα ανταποκρίνεται καλλίτερα σε ενδεχόμενη περαιτέρω αύξηση των αρδευτικών αναγκών. Η τιμή αυτή εισάγεται στο λογισμικό COPAM, ενώ οι υπόλοιπες παράμετροι του 1^{ου} μοντέλου διατηρούνται, **(Εικόνα 6.20)**.

Από τη διαδικασία του νέου σχεδιασμού και της βελτιστοποίησης στο λογισμικό αποδόθηκε η τιμή της παροχής σχεδιασμού $Q_{Clém}=46$ L/s. Το νέο σενάριο λειτουργίας του δικτύου παρουσιάζεται αναλυτικά στον **Πίνακα 3** του Παραρτήματος, όπου εμφανίζονται όλες οι τιμές των παροχών ανά τμήμα αγωγού. Ως σημείο ρύθμισης (set point) ορίζεται το (93, 46) επαγωγικά.

Εικόνα 6.20 Εισαγωγή νέας τιμής της ειδικής συνεχούς παροχής q_2 στο 1ο μοντέλο του Clément (COPAM software).

Η εξέταση της μεταβολής στη λειτουργία του δικτύου πραγματοποιήθηκε με διαδικασία ανάλυσης λειτουργίας, με τη θεμελιώδη διαφορά ότι αντικαταστάθηκε η τιμή της q_0 με αυτή της q_2 . Ακολούθως εξετάζονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες του δικτύου όπως αυτή διενεργήθηκε μέσω της ανάλυσης σε επίπεδο δικτύου από το Μοντέλο Χαρακτηριστικών Καμπυλών, με βάση τη διαστασιολόγηση του σεναρίου βάσης **(Σχήμα 6.11)**. Γίνεται αντιληπτό ότι το σημείο ρύθμισης βρίσκεται πάνω από τη χαρακτηριστική καμπύλη 90%, επομένως το δίκτυο λειτουργεί ικανοποιητικά. Επομένως παρά την αύξηση της q_0 κατά 60% το δίκτυο συνεχίζει να συμπεριφέρεται πολύ ικανοποιητικά και να ικανοποιεί άριστα τη ζήτηση.



Σχήμα 6.11 Χαρακτηριστικές Καμπύλες του νέου δικτύου C₁₀, C₅₀, C₇₀, C₉₀ και C₁₀₀ με βάση το σημείο ρύθμισης (93 46).

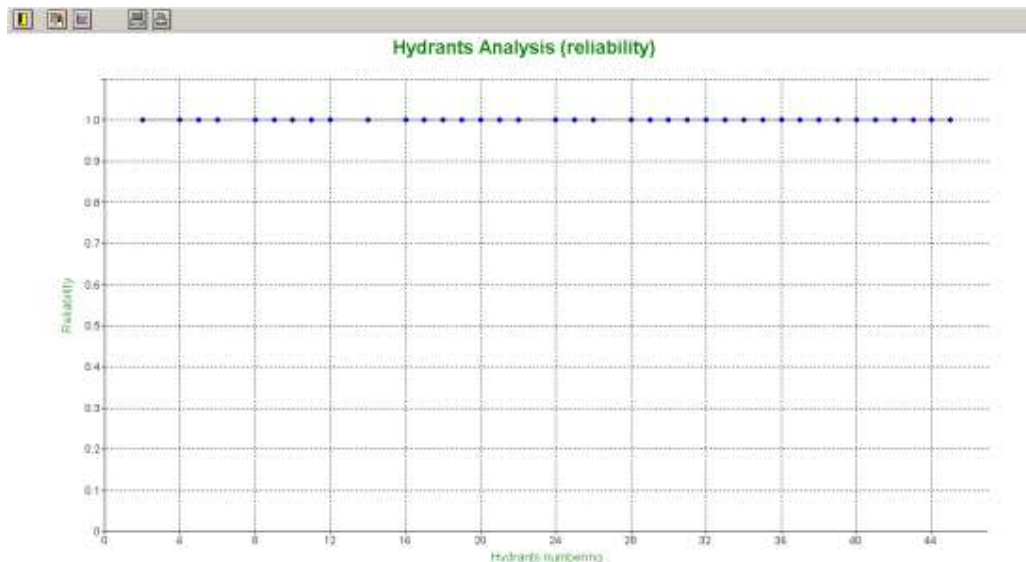
Επιπλέον από το διάγραμμα διαπιστώνεται ότι το δίκτυο μπορεί να ικανοποιήσει παροχή μέχρι ~ 77 L/s (διακεκομμένη γραμμή).

Η ανάλυση σε επίπεδο υδροστομίου για το τρέχον σενάριο απέδωσε εξίσου άριστα αποτελέσματα. Ειδικότερα, το σχετικό έλλειμα – περίσσειας φορτίου ΔΗ για κάθε υδροστόμιο δε λαμβάνει τιμές χαμηλότερες από 0 (**Σχήμα 6.12**).

Επίσης, στο επόμενο κατά σειρά βήμα της ανάλυσης το οποίο αποτελεί ο δείκτης αξιοπιστίας υδροστομίων μέσω του Μοντέλου AKLA φάνηκε ότι και σε αυτό το σενάριο η αξιοπιστία των υδροστομίων στο συνολό τους ισούται τη μονάδα (**Σχήμα 6.13**).



Σχήμα 6.12: Σχετικό έλλειμμα – περίσσεια φορτίου για το νέο δίκτυο με συνθήκες λειτουργίας Ζκεφ=93m, QClém=46L/s.



Σχήμα 6.13: Αξιοπιστία των υδροστομίων για το νέο δίκτυο με συνθήκες λειτουργίας $Z_{κεφ}=93m$, $Q_{Clém}=46L/s$.

6.4. Συγκριτική ανάλυση αποτελεσμάτων

Ανακεφαλαιώνοντας, στις υποενότητες που προηγήθηκαν πραγματοποιήθηκε ποσοτική ανάλυση λειτουργίας του αρδευτικού δικτύου, το οποίο σχεδιάστηκε στα πλαίσια της διατριβής για την περιοχή του Πανόρμου. Την παράμετρο επεξεργασίας αποτελεί η ειδική συνεχής παροχή με τις διαδοχικές αυξήσεις της προτεινόμενης τιμής του σεναρίου βάσης (Baseline Scenario) κατά 20%, 40% και 60%.

Η διερεύνηση της συμπεριφοράς του δικτύου ως προς τις μεταβολές στην τιμή της ειδικής συνεχούς παροχής έχει ως στόχο να μελετήσει την ανταπόκριση του συνόλου των παραμέτρων του επικείμενου έργου. Εφόσον πρόκειται για νέα μελέτη, κρίνεται σκόπιμο να υπολογιστεί η εκάστοτε παροχή σχεδιασμού για δεδομένο πιεζομετρικό ύψος της κεφαλής του δικτύου. Στη συνέχεια, για την τεκμηρίωση αν και κατά πόσο επαρκεί η λειτουργία του δικτύου για τις αρδευτικές ανάγκες του πεδίου εφαρμογής, έγινε ποσοτικοποίηση της λειτουργίας σε επίπεδο δικτύου και μέσω των παραγόμενων γραφημάτων του COPAM. Μία ακόμη παράμετρος που πρέπει να συνεκτιμηθεί στο σχεδιασμό του δικτύου αποτελεί και το κόστος των αγωγών του, μία παράμετρος καταλυτική για την κοστολόγηση και μετέπειτα για την κατασκευή του έργου.

Συγκεκριμένα, η ποσοτική ανάλυση των μεταβολών της ειδικής συνεχούς παροχής και η δόμηση των ισοδύναμων εναλλακτικών σεναρίων, είχαν ως

αποτέλεσμα την επιβεβαίωση της επαρκούς απόδοσης του λειτουργίας του δικτύου. Οι επιδόσεις του μελλοντικού έργου αποδείχθηκαν απόλυτα ικανοποιητικές αφενός στις περιπτώσεις αύξησης των αρδευτικών.

Κατά το πρώτο στάδιο της αξιολόγησης, παρατίθεται η ανάλογη αύξηση της ειδικής συνεχούς παροχής σε συνάρτηση με την παροχή στην κεφαλή του δικτύου και το κόστος των σωληνώσεων στον **Πίνακα 6.6**. Έχοντας θέσει το $Z_{κεφ}$ ως σταθερά, ο μελετητής ή και ο διαχειριστής του έργου είναι σε θέση να εκτιμήσει τις όποιες αλλαγές θα επιφέρει μία επερχόμενη επέκταση και βελτίωση των καλλιεργειών της αρδευτικής περιμέτρου. Μέσα από το υδραυλικό λογισμικό υπολογίζονται συν τοις άλλοις οι διάμετροι των αρδευτικών κλάδων, οι οποίοι θα εκπληρώνουν τις ανάγκες άρδευσης σε συνεργασία με την παροχή σχεδιασμού.

Πίνακα 6.6 Οι μεταβολές της ειδικής συνεχούς παροχής q για $Z_{κεφ}=93m$, συναρτήσει της $Q_{clém}$ και του κόστους των αγωγών.

	q (L/s/ha)	$Q_{clém}$ (L/s)
Baseline scenario	0.9	36
20% Raise	1.08	38
40% Raise	1.26	44
60% Raise	1.44	46

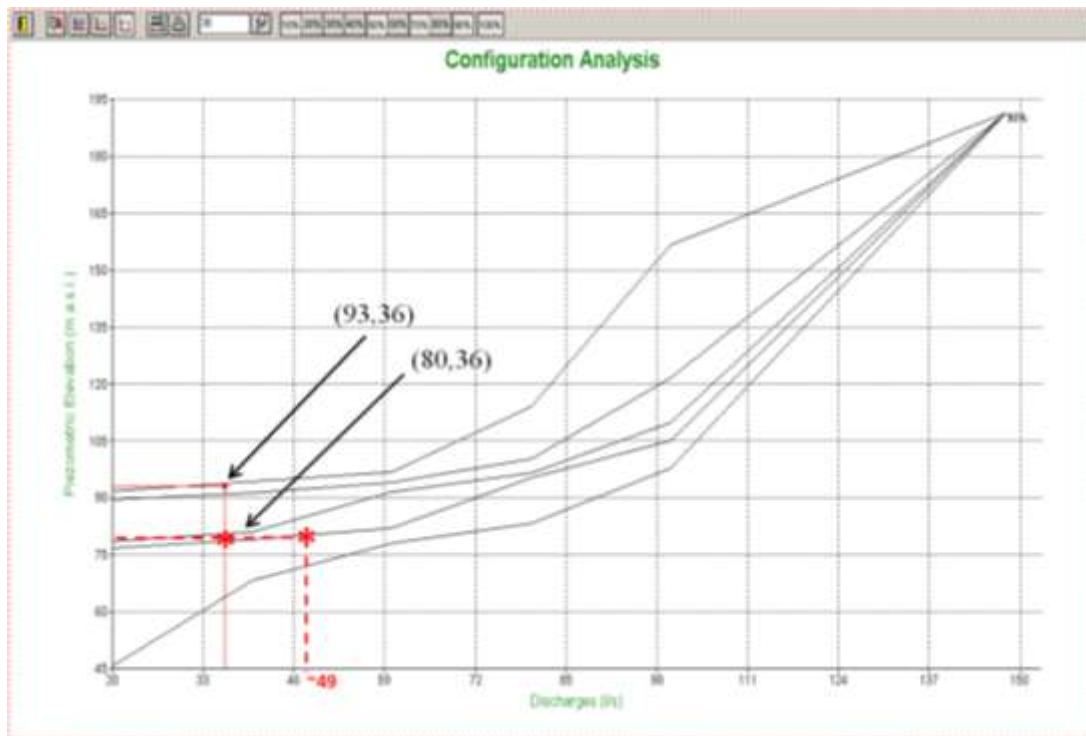
Το Characteristic Curves Model για την ανάλυση της απόδοσης σε επίπεδο δικτύου κατέδειξε θετικά αποτελέσματα. Το σημείο ρύθμισης εντάσσεται ανάμεσα στις χαρακτηριστικές καμπύλες C90 και C100, το οποίο μεταφράζεται σε άριστη και αμείωτη λειτουργία του δικτύου. Πιο αναλυτικά, στο baseline scenario, στο σενάριο αύξησης κατά 20% το set point τοποθετείται σχεδόν στην καμπύλη του 100% των διαμορφώσεων. Εντούτοις, ως άριστη χαρακτηρίζεται η κατάσταση τόσο στην και στις τρεις περιπτώσεις αύξησης της ειδικής συνεχούς παροχής. Συμπεραίνεται ότι κατά το πρώτο στάδιο αξιολόγησης των αποτελεσμάτων του COPAM, η λειτουργία του δικτύου που σχεδιάστηκε καθίσταται απροβλημάτιστη για όλες τις εναλλακτικές λύσεις. Διαπιστώνεται συνεπώς ότι το δίκτυο μπορεί να ανταποκριθεί σε μεγαλύτερη

ζήτηση χωρίς καμία αλλαγή στις διαμμέτρους. Για αύξηση της ειδικής συνεχούς παροχής 40 και 60% η διαστασιολόγηση των διαμμέτρων οδηγεί σε αλλαγή μόνο του αγωγού κεφαλής από 140mm σε 175mm (αύξηση κόστος 0.044%). Αυτό συμβαίνει γιατί το δίκτυο έχει μικρό αριθμό υδροστομιών και συνεπώς στο μεγαλύτερο του μέρος η παροχή σχεδιασμού καθορίζεται από την αθροιστική παροχή και όχι από την παροχή Clément (ως γνωστόν η αθροιστική παροχή δεν επηρεάζεται από την ειδική συνεχή παροχή)

Η πρωταρχική σημασία της παραμέτρου της ειδικής συνεχούς παροχής σε ένα συλλογικό αρδευτικό υπό πίεση καταδεικνύει την καλή ή όχι λειτουργία του μέσω της ανάλυσης, ενώ αντιπαραβάλλει και εντοπίζει τα πιθανά προβλήματα. Οι υποθέσεις και τα σενάρια που δημιουργήθηκαν, καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι το δίκτυο που σχεδιάστηκε για την περιοχή του Πανόρμου Τήνου δύναται να λειτουργήσει άριστα σε δυνητική άνοδο της ζήτησης σε νερό άρδευσης, ακόμη και σε μία μεγάλη αύξηση της παροχής, αυτής του 60%. Ωστόσο, μία ολοκληρωμένη διερεύνηση και των δευτερευουσών παραμέτρων του δικτύου στον ίδιο χρόνο, με την εφαρμογή μίας πολυκριτηριακής ανάλυσης κατά το στάδιο του σχεδιασμού και κυρίως της λειτουργίας του υδραυλικού έργου, θα οδηγήσει σε ασφαλέστερα συμπεράσματα για τους μελετητές, τους διαχειριστές και τελικά τους χρήστες.

6.5. Σενάριο μείωσης του φορτίου στην κεφαλή του δικτύου

Το γράφημα των χαρακτηριστικών καμπύλων το οποίο εξάγεται κατά την ανάλυση σε επίπεδο δικτύου μας επιτρέπει να προσδιορίσουμε το ελάχιστο φορτίο στην κεφαλή για το οποίο το δίκτυο θα λειτουργούσε ικανοποιητικά δηλαδή το σημείο πάνω από την καμπύλη του 50% (**Σχήμα 6.14**). Όπως διακρίνεται στο σχήμα το δίκτυο θα λειτουργούσε ικανοποιητικά με $Z_{κεφαλής} = 80m$ (προσεγγιστικά).



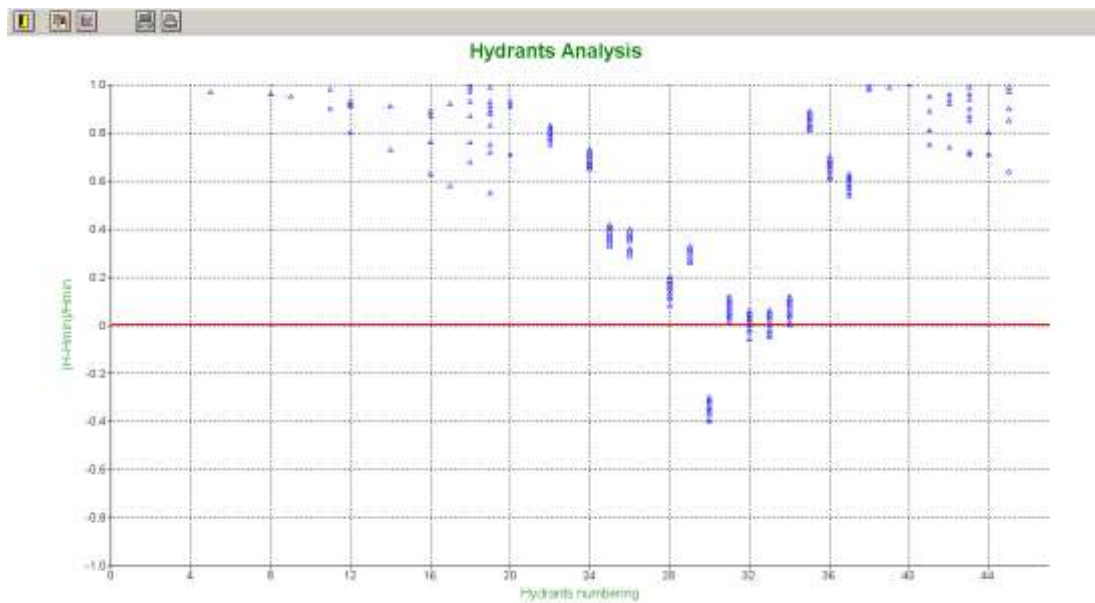
Σχήμα 6.14 Χαρακτηριστικές Καμπύλες του νέου δικτύου C_{10} , C_{50} , C_{70} , C_{90} και C_{100} με βάση το σημείο ρύθμισης (93, 36) και το νέο σημείο (80, 36)

Παράλληλα από το διάγραμμα διαπιστώνεται ότι το δίκτυο με μειωμένο πα φορτίο στην κεφαλή μπορεί να ικανοποιήσει παροχή μέχρι ~ 49 L/s (διακεκομμένη γραμμή).

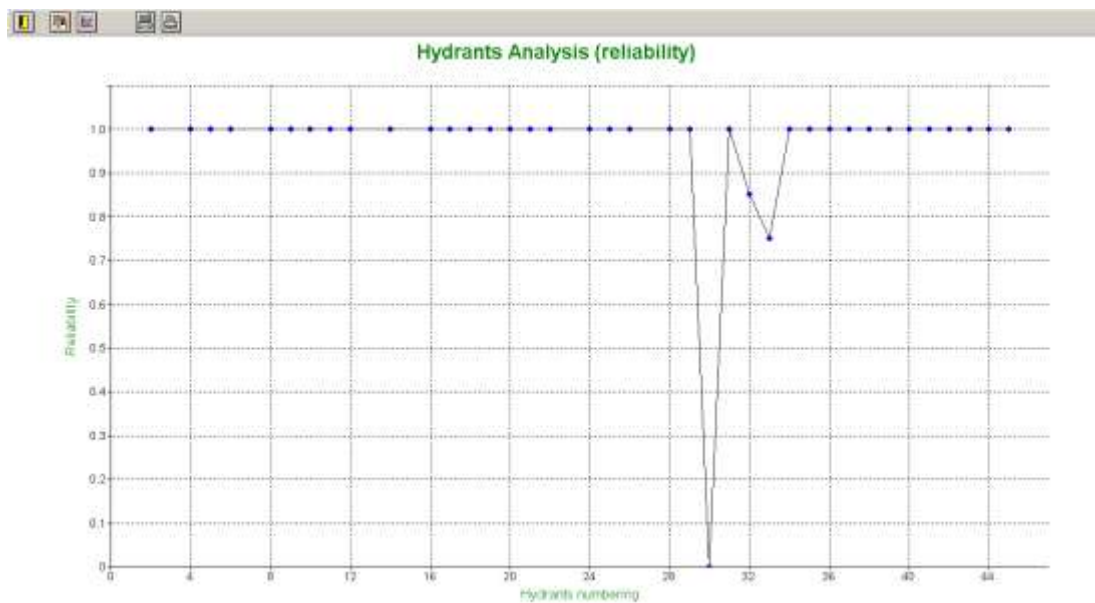
Η ανάλυση σε επίπεδο υδροστομίου για το σενάριο μείωσης του φορτίου στην κεφαλή του δικτύου απέδωσε εξίσου θετικά αποτελέσματα. Το σχετικό έλλειμα – περίσσειας φορτίου ΔH για κάθε υδροστόμιο δε λαμβάνει τιμές χαμηλότερες από το 0 με εξαίρεση το υδροστόμιο 30, το οποία γραφικά υπολογίζεται σε ένα εύρος τιμών – 0,40 έως – 0,30 (**Σχήμα 6.15**). Τα υδροστόμια 32 και 33 λαμβάνουν αρνητικές τιμές μόνο σε ορισμένες επαναλήψεις της δοκιμής. Παρά το γεγονός αυτό, η πλειονότητα των υδροστομίων βρίσκεται σε περίσσεια φορτίου και μάλιστα σε μεγάλο βαθμό.

Στη συνέχεια η ανάλυση μέσω του δείκτη αξιοπιστίας υδροστομίων του Μοντέλου AKLA ανέδειξε ως μοναδικό προβληματικό υδροστόμιο το υδροστόμιο 30 του οποίου ο δείκτης αξιοπιστίας ισούται με το μηδέν (**Σχήμα 6.16**). Επίσης μειωμένη αξιοπιστία παρουσιάζουν τα υδροστόμια 32 και 33 της τάξεως του 0.85 και 0.75 αντίστοιχα. Σαν συμπέρασμα εξάγεται ότι και στην περίπτωση αυτή τα

υδροστόμια στην πλειοψηφία τους μπορούν να ικανοποιήσουν τη ζήτηση κάτι το οποίο αποτελεί επαλήθευση για την ικανοποιητική λειτουργία του δικτύου.



Σχήμα 6.15: Σχετικό έλλειμμα – περίσσεια φορτίου για το νέο δίκτυο με συνθήκες λειτουργίας $Z_{κεφ}=80m$, $Q_{Clém}=36L/s$.



Σχήμα 6.16: Αξιοπιστία των υδροστομίων για το νέο δίκτυο με συνθήκες λειτουργίας $Z_{κεφ}=80m$, $Q_{Clém}=36L/s$.

Αν και το δίκτυο λειτουργεί εξαιρετικά με $Z_{κεφ}=93\text{m}$, ο προσδιορισμός του νέου φορτίου κεφαλής, χαμηλότερου κατά 15% του αρχικού θα μας επέτρεπε τον σχεδιασμό ενός οικονομικότερου δικτύου στο οποίο θα απαιτούνταν η εγκατάσταση αντλίας μικρότερης ισχύος.

Συνεπώς αν υπολογίσουμε την απαιτούμενη ισχύ της αντλίας που απαιτείται στις δύο περιπτώσεις μέσω του τύπου:

$$P = \frac{\gamma \cdot (Q \cdot H)}{76 \cdot \eta}$$

Όπου:

- γ (1000 kp/ m^3): Ειδικό βάρος νερού
- Q (ltr/sec) ισούται με Q_{clem}
- H (m): Φορτίο στην κεφαλή του δικτύου ($Z_{κεφ}$)
- η : Συντελεστής απόδοση της αντλίας ίση με 0,65
- P (hp): Ισχύς της αντλίας

Συνεπώς στο **Πίνακα 6.7** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για $Z_{κεφ}$ 93 και 80 m και $Q_{clem}= 36 \text{ ltr/sec}$ αντίστοιχα:

Πίνακα 6.7 Απαιτούμενη ισχύς της προς εγκατάσταση αντλίας για διαφορετικά $Z_{κεφ}$

$Z_{κεφ}$ (m)	P (ισχύς αντλίας σε hp)
93	67,8
80	58,29

Παράλληλα η εγκατάσταση αντλίας μικρότερης ισχύος θα μείωνε τις απαιτήσεις σε καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά έτος.

Ισχύει ότι $E = P \cdot t$ (6.5) όπου

E = Ενέργεια σε kWh

P = Ισχύς σε kW

t = Χρόνος σε ώρες (hrs)

Παράλληλα $1 \text{ hp} = 0,75 \text{ kW}$ και το δίκτυο αναμένεται να λειτουργεί 16 ώρες την ημέρα. Συνεπώς στον Πίνακα 6.8 παρουσιάζεται οι απαιτήσεις σε ενέργεια ανά έτος για διαφορετικά $Z_{κεφ}$

Πίνακα 6.8 Απαιτούμενη ισχύς της προς εγκατάσταση αντλίας για διαφορετικά $Z_{\text{κεφ}}$

Zκεφ (m)	kWh / έτος
93	296964
80	255266

Συνεπώς η απαίτηση για εγκατάσταση αντλίας μικρότερης ισχύς θα μείωνε τις απαιτήσεις για ηλεκτρική ενέργεια ανά έτος κατά 14 %.

7. Συμπεράσματα – Προτάσεις

7.1 Συμπεράσματα και Αποτίμηση των αποτελεσμάτων

Στην ενότητα αυτή παρατίθενται γενικά συμπεράσματα εφαρμογής της μελέτης από το σύνολο των στοιχείων που συλλέχθηκαν και διερευνήθηκαν στα πλαίσια της δεδομένης διατριβής. Στόχος της εργασίας ήταν ο σχεδιασμός και η ανάλυση υπό πίεση αρδευτικού δικτύου ελεύθερης ζήτησης στον Πάνορμο της Τήνου. Επιπρόσθετα, πραγματοποιήθηκε διερεύνηση της συμπεριφοράς του δικτύου για ενδεχόμενες μεταβολές της ειδικής συνεχούς παροχής q_0 και του φορτίου στην κεφαλή του δικτύου $Z_{\text{κεφ}}$.

7.1.1 Συμπεράσματα ως προς το Χωρικό Σχεδιασμό και τη Γεωοπτικοποίηση των Δεδομένων

Η συγκέντρωση και η διαχείριση των πρωτογενών και δευτερογενών δεδομένων υπήρξε καθοριστικός παράγοντας για την εξαγωγή και την ποιότητα της χαρτογραφικής πληροφορίας. Η αξιοποίηση των δεδομένων υλοποιήθηκε με τη χρήση των GIS και των ΒΔ.

Παράλληλα η χρήση GIS σε σχέση με τη χρήση CAD κρίθηκε πιο κατάλληλη για τη χωρική και περιγραφική επεξεργασία των δεδομένων και τελικά για το χωρικό σχεδιασμό του δικτύου. Ο λόγος είναι ότι το GIS δε συνιστά απλώς ένα σχεδιαστικό εργαλείο, αλλά επιτρέπει την εισαγωγή, την επεξεργασία και τη συσχέτιση πληροφοριών γεωγραφικών αντικειμένων σε επιλεγμένο σύστημα αναφοράς, τα οποία και προβάλλονται στον ψηφιακό χάρτη. Επίσης, παρέχουν τη δυνατότητα

αποθήκευσης μεγάλου αριθμού δεδομένων σε πίνακες και βάσεις, όπως και πλεονεκτήματα χωρικής ανάλυσης αυτών.

Το λογισμικό ArcGIS παρέχει ένα πλήρες σχεδιαστικό πακέτο ενσωματωμένο υπό μορφή πρόσθετων, το οποίο είναι φιλικό προς το χρήστη και αξιόλογο ως προς τους παραγόμενους θεματικούς χάρτες. Οι εν λόγω χάρτες μπορούν να δημιουργηθούν σε μικρό χρόνο από τις δυνατότητες του λογισμικού, να εκτυπωθούν και να χρησιμοποιηθούν άμεσα στο πεδίο.

Επιπλέον τα ελλιπή κτηματογραφικά δεδομένα και η χρήση παλαιότερων χαρτογραφικών υποβάθρων για την οριοθέτηση των καλλιεργειών και των ιδιοκτησιών συντελούν σε μία πιο αδρομερή εκτίμηση για την κατανομή του νερού άρδευσης και την εξυπηρέτηση των χρηστών. Συνεπώς, το παραπάνω προκαλεί αυξημένη δυσκολία στη μελέτη του έργου. Τα δεδομένα χρήσης και κάλυψης γης παραθέτουν ότι στην περιοχή του Πανόρμου συναντώνται σύνθετες καλλιέργειες, φυσικοί βοσκότοποι, φυσική βλάστηση και ακαλλιέργητη γή. Παράλληλα το κύριο χαρακτηριστικό της περιοχής μελέτης είναι οι ήδη εγκατεστημένοι παραδοσιακοί ελαιώνες στις παραδοσιακές αναβαθμίδες. Το γεγονός αυτό ευνοεί αρχικά τη μελέτη του δικτύου για την επιλογή του είδους άρδευσης, το οποίο θα είναι η μικροάρδευση με σταγόνες και αφετέρου η υλοποίηση του έργου κατέχει ιδιαίτερη σημασία για την διατήρηση των αναβαθμίδων οι οποίες αποτελούν στοιχείο πολιτιστικής κληρονομιάς.

Επιπρόσθετα η φωτοερμηνευτική απόδοση υπήρξε πρωταρχικός παράγοντας για την ανάλυση και υλοποίηση του χωρικού σχεδιασμού και την αξιοποίηση της πολυεπίπεδης θεματικής πληροφορίας. Ο έλεγχος γεωμετρικών σφαλμάτων και τοπολογίας μέσα από το ArcGIS επικυρώνει την ορθή σχεδίαση των διανυσματικών Θ.Ε. ενώ η αποθήκευση και η διαχείριση των διανυσματικών Θ.Ε. σε μία γεωβάση προσδίδει ευελιξία με τη μορφή ενός φορητού αρχείου το οποίο μπορεί να διατεθεί σε περαιτέρω χρήστες.

Γενικότερα η γεωοπτικοποίηση των χωρικών πληροφοριών καθιστά το GIS ένα εργαλείο διαχείρισης του συλλογικού δικτύου ελεύθερης ζήτησης, αλλά και ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων, με τη δυναμική επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων.

Τέλος ο οριστικός σχεδιασμός του δικτύου εκπονήθηκε σε συνδυασμό με τη χρήση του ελεύθερου λογισμικού γεωοπτικοποίησης Google Earth Pro, το οποίο παρέχει μία σειρά από ορθοφωτογραφίες διαφόρων χρονικών διαστημάτων και

κατάλληλο γεωγραφικό υπόβαθρο με αυξομειώσεις κλίμακας για βελτιωμένη παρατήρηση. Το αντίστοιχο υπόβαθρο της ΕΚΧΑ χρησιμοποιήθηκε σε ήσσονα βαθμό, ως ενίσχυση στην τελική λήψη απόφασης κατά τη φωτοερμηνεία.

7.1.2 Συμπεράσματα ως προς τον Υδραυλικό Σχεδιασμό και Ανάλυση του Αρδευτικού Δικτύου

Το στάδιο του σχεδιασμού απαιτεί αρχικά συστηματική μελέτη της ευρύτερης περιοχής, από γεωργική και οικονομοτεχνική άποψη, με σκοπό την καλλίτερη δυνατή εκτίμηση των υδραυλικών παραμέτρων. Σημαντική είναι και η αρωγή της περιήγησης στην ευρύτερη περίμετρο, ώστε ο μελετητής να κατανοεί τις ανάγκες και τη γεωμορφολογία της περιοχής. Η εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό υδραυλικής προσομοίωσης είναι καταλυτικός παράγοντας για την αποφυγή λαθών και σφαλμάτων, τα οποία θα επηρεάσουν το σχήμα, το μέγεθος, τη διαστασιολόγηση των κλάδων, την παροχή σχεδιασμού και τελικά το κόστος των κλάδων.

Η εφαρμογή του 1ου Μοντέλου του Clément πραγματοποιήθηκε με 6 ακραία υδροστομία ανοικτά στο πέρας κάθε κλάδου και λειτούργησε ικανοποιητικά σε όλα τα εναλλακτικά σενάρια. Η ανάλυση της υδραυλικής επάρκειας των συλλογικών αρδευτικών δικτύων υπό πίεση ελεύθερης ζήτησης, επιτυγχάνει την αξιολόγηση της λειτουργικής τους κατάστασης με το Characteristic Curves Model, και συγκεκριμένα με τη χρήση των χαρακτηριστικών καμπυλών με δείκτες. Επίσης, από την ανάλυση σε επίπεδο υδροστομίου μέσω του AKLA Model, εκτός από την κατάσταση λειτουργίας, εξακριβώνεται αν και σε ποιες ειδικές περιοχές τα υδροστομία εμφανίζουν προβλήματα, αλλά και σε ποιο βαθμό.

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες συνιστούν ένα σημαντικό εργαλείο αφενός για τον έλεγχο της υδραυλικής συμπεριφοράς του αρδευτικού δικτύου και αφετέρου για το σχεδιασμό των σχετικών εγκαταστάσεων δεξαμενών και αντλίας υδροδότησης.

Το μοντέλο AKLA δίνει τη δυνατότητα καθορισμού μέτρων και συγκεκριμένων λύσεων ενίσχυσης και ανάταξης του δικτύου ως προς το σχετικό έλλειμα πίεσης, τόσο σε συλλογικό επίπεδο όσο και σε προσωπικό επίπεδο χρήσης υδροστομίου. Στο δίκτυο του Πανόρμου, τα αποτελέσματα υπήρξαν άριστα και επικρατεί η περίσσεια φορτίου.

Κατά το στάδιο του σχεδιασμού η ανάλυση λειτουργίας παρέχει τη δυνατότητα προσέγγισης των περιπτώσεων βελτίωσης του δικτύου και της ποσοτικοποίησης του μεγέθους των αναγκαίων βελτιώσεων, με σκοπό την εκ νέου σχεδίαση.

Παράλληλα η συγκριτική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε με διαδοχικές αυξομειώσεις των τιμών της ειδικής συνεχούς παροχής καθίσταται ιδιαίτερα χρήσιμη σε περιπτώσεις επερχόμενης διαφοροποίησης της ζήτησης, σε σχέση με την προβλεπόμενη τιμή της μελέτης. Γενικότερα, οι μεταβολές στην κατανομή των καλλιεργειών θα επιφέρουν μεταβολές στις αρδευτικές ανάγκες, το οποίο ισοδυναμεί με διαφορετική τιμή της ειδικής συνεχούς παροχής, όπως και πιθανώς διαφορετικά συστήματα άρδευσης με διαφορετικές απαιτήσεις σε πίεση και παροχή. Επιπλέον το σενάριο της μείωσης της κεφαλής του δικτύου σε σημείο ώστε το δίκτυο να καλύπτει ικανοποιητικά τις ανάγκες των υδροστομιών και ο προσδιορισμός του φορτίου αυτού μας επιτρέπει τον σχεδιασμό ενός οικονομικότερου δικτύου κυρίως με μικρότερο λειτουργικό κόστος.

Το δίκτυο που σχεδιάστηκε για τον Πάνορμο παρουσιάζει άριστο βαθμό ικανοποίησης ως προς τη λειτουργική του κατάσταση, τόσο στο σενάριο βάσης – προτεινόμενη λύση, όσο και σε μελλοντική αύξηση στην παράμετρο της ειδικής συνεχούς παροχής, της τάξης του 20%. Παράλληλα η υποθέση αύξησης της ειδικής συνεχούς παροχής κατά 40% στην οποία παρουσιάζεται εξίσου υψηλή ικανοποίηση των αναγκών φανερώνει ότι το συγκεκριμένο δίκτυο θα μπορούσε να λειτουργήσει ικανοποιητικά ακόμα και σε μία μακροχρόνια υψηλή αύξηση των απαιτήσεων. Η ίδια υψηλή ικανοποίηση των αναγκών παρατηρείται και στο σενάριο αύξησης της ειδικής συνεχούς παροχής κατά 60%.

Οι μεταβολές στην ειδική συνεχή παροχή q_0 έχουν ως συνέπεια τη μεταβολή της παροχής σχεδιασμού $Q_{Clém}$, των διαμέτρων των αγωγών του δικτύου, καθώς και του κόστους του συστήματος των αγωγών. Αύξηση της τιμής της q_0 οδηγεί σε αύξηση των τιμών των τριών συνιστωσών που επηρεάζει. Κατά αναλογία, η ελάττωση της παραμέτρου ισοδυναμεί με μείωση των αποτελεσμάτων για τις παραπάνω εξεταζόμενες συνιστώσες.

Η ποσοτική ανάλυση ως προς την παράμετρο q_0 του δικτύου, αποδεικνύει ότι τα αποτελέσματα του τελευταίου δεν επηρεάζονται. Ειδικότερα, διαδοχική αύξηση των αρδευτικών αναγκών, οι οποίες εκφράζονται μέσω της q_0 , δεν επηρεάζει την λειτουργία των υδροστομιών τα οποία ακόμα και στην αύξηση της ειδικής συνεχούς παροχής κατά 60% ικανοποιούν άριστα στο συνολό τους την ζήτηση.

Γενικά το ελεύθερο λογισμικό COPAM αποτελεί ένα εύχρηστο πρόγραμμα για την εκτέλεση της υδραυλικής προσομοίωσης αρδευτικών δικτύων, φιλικό προς το χρήστη και απαιτεί στοιχειώδεις γνώσεις Η/Υ. Το COPAM υπολογίζει τις απώλειες φορτίου αποκλειστικά με βάση το συντελεστή τραχύτητας γ του Bazin, γεγονός το οποίο έρχεται σε αντίθεση με την ελληνική νομοθεσία, όπου οι γραμμικές απώλειες φορτίου υπολογίζονται από τον τύπο των Darcy – Weisbach σε συνάρτηση με το συντελεστή τριβών f , (Εγκύκλιος Δ.22.200/ 30 – 07 – 1977 του πρώην Υ.Δ.Ε.).

Στο προαναφερθέν software το εύρος των επιτρεπόμενων ταχυτήτων ροής του νερού στους αγωγούς, θεωρείται σταθερό για όλες τις διαμέτρους του εμπορίου ($V_{\min} = 0.2 \text{ m/s}$ και $V_{\max} = 2.5 \text{ m/s}$). Η δεδομένη παραδοχή απαλάσσει τον μελετητή από την επιλογή της V_{\max} & V_{\min} δημιουργεί όμως προβληματισμό για τα αποτελέσματα που θα δώσει η Ασυνεχής Μέθοδος του Labye για τη διαστασιολόγηση του νέου δικτύου. Αιτία είναι η διαφοροποίηση των επιτρεπόμενων ταχυτήτων ροής στους αγωγούς, ανάλογα με κάθε διάμετρο του εμπορίου, σύμφωνα με την ισχύουσα ελληνική νομοθεσία.

Από το άνωθεν συμπέρασμα και την παραδοχή για τις ταχύτητες ροής στους κλάδους, διαπιστώνεται ότι το COPAM υπολογίζει με μειωμένο, σε σχέση με άλλα προγράμματα, κόστος το σύστημα των αγωγών που διαστασιολογεί. Η μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα του software αυτού είναι μεγαλύτερη συνήθως από αυτές που προδιαγράφει η Ελληνική Νομοθεσία, οπότε και διαστασιολογεί αγωγούς με μικρότερη διάμετρο.

7.1.3 Συμπεράσματα ως προς την δυνατότητα της μονάδας του Βιολογικού Καθαρισμού για κάλυψη των αναγκών του δικτύου.

Στην ενότητα **5.7.1** παρουσιάστηκαν τα στοιχεία των δυνατοτήτων του βιολογικού καθαρισμού του Πανόρμου να χρησιμοποιηθεί ως κεφαλή του δικτύου. Οι μελετητές παρουσίασαν στη μελέτη 40ετίας του έργου την δυναμική του πληθυσμού και την σταδιακή αύξηση της παροχής των λυμάτων από το έτος 1994 στο έτος 2034.

Η στατιστική πρόβλεψη της αύξησης του πληθυσμού (**Πίνακας 5.2**) υποδεικνύει μία αύξηση της παροχής των λυμάτων το καλοκαίρι η οποία είναι της τάξεως των 48% (**Πίνακας 5.3**). Θεωρώντας ότι η μέση ειδική συνεχή παροχή είναι 0,9 L/sec/ha προσεγγιστικά υπολογίζεται ότι το έτος 2034 θα μπορούν να αρδευθούν

1366 στρέμματα ενώ η συνολική έκταση της περιοχής μελέτης ανέρχεται στα 284 στρέμματα.

Παράλληλα πρέπει να συμπεριληφθεί το γεγονός ότι οι απαιτήσεις της ελιάς σε άρδευση κορυφώνονται το καλοκαίρι την περίοδο στην οποία η τουριστική περίοδος στην περιοχή της Τήνου μεγιστοποιείται και ο πληθυσμός γίνεται μέγιστος.

Τέλος όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως οι συνεχώς αυξανόμενες δυνατότητες για παραγωγή ανακτημένου νερού από την μονάδα βιολογικού καθαρισμού αυξάνουν και την περιβαλλοντική διάσταση του έργου το οποίο μπορεί να έχει θετικές περιβαλλοντικές επιδράσεις μέσω της αύξησης των αποθεμάτων υπόγειου νερού, της εξοικονόμηση λιπασμάτων και ταυτόχρονης μείωσης της ρύπανσης από τα αζωτούχα λιπάσματα. Αξίζει να αναφερθεί ότι το πλεόνασμα των επεξεργασμένων λυμάτων τα οποία δεν θα χρησιμεύουν για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών των ελαιώνων της περιοχής θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τον εμπλουτισμό του υδροφορέα στην περιοχή μελέτης κάτι το οποίο επιτρέπεται από την νομοθεσία (ΦΕΚ 354/Β/8-3-2011) προσδίδοντας στο έργο μία σημαντική περιβαλλοντική πτυχή. Από την άλλη πλευρά όμως η παραγωγή του ανακτημένου νερού απαιτεί συνεχή επίβλεψη για να εξασφαλίζεται η ποιότητα του και να μειώνεται ο κίνδυνος αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων πόσο μάλλον στην περίπτωση εμπλουτισμού του υπόγειου υδροφορέα.

7.2 Μελλοντικές Προτάσεις

Τα έργα έγγειων βελτιώσεων αποτελούν ένα μοχλό τοπικής ανάπτυξης στις αγροτικές περιοχές. Ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ενός συλλογικού δικτύου άρδευσης ελεύθερης ζήτησης σε μία περιοχή χωρίς δυνατότητα άρδευσης, θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της γεωργικής απόδοσης των καλλιεργειών και κατ' επέκταση και του γεωργικού εισοδήματος. Επιπλέον, η δυνατότητα άρδευσης θα δώσει τη δυνατότητα αναζωογόνησης και επέκτασης των καλλιεργειών και ωθεί την αξιοποίηση γεωργικών εδαφών που βρίσκονται σε αγρανάπαυση.

Ένα συλλογικό υπό πίεση δίκτυο συνιστά έναν τρόπο ορθολογικής διαχείρισης των υδατικών πόρων της περιοχής ενδιαφέροντος και εφαρμογής καλών πρακτικών άρδευσης και χρήσης του νερού. Στην περιοχή του Πανόρμου είναι εφικτό να συντελεστεί εμπλουτισμός και αποκατάσταση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα της ευρύτερης περιοχής μετά τη σφράγιση όλων των υφιστάμενων γεωτρήσεων.

Παράλληλα οι υπάρχουσες φυσικές πηγές νερού θα διατηρηθούν με ότι αυτό συνεπάγεται για την πανίδα και χλωρίδα της περιοχής. Οι αρμόδιοι κρατικοί φορείς και οι διαχειριστές του δικτύου θα πρέπει να ενημερώνουν τους ιδιοκτήτες των αγροτεμαχίων για την ορθή πολιτική χρήσης του νερού και να ωθήσουν το συμμετοχικό σχεδιασμό για τη διατύπωση νέων στόχων και πολιτικών, καθώς και στη λήψη αποφάσεων, όπου οι χρήστες θα εκφράζουν την γνώμη τους και θα λαμβάνεται σοβαρά υπόψη στα πλαίσια του διαλόγου των εμπλεκόμενων μερών. Ο διάλογος θα εντάσσεται σε μία πλατφόρμα με σκοπό τη διαχείριση της συμμετοχικής άρδευσης.

Θεμελιώδους σημασίας είναι η δόμηση του Κτηματολογίου και η οριοθέτηση των ιδιοκτησιών, το οποίο θα καθορίσει με τη σειρά του και τα όρια μεταξύ οικισμών, κοινοτήτων, Δημοσίου και ιδιωτών. Με τη διαδικασία αυτή θα αποτυπωθούν συν τοις άλλοις και οι ειδικές εκτάσεις, όπως δρόμοι, ρέματα, κ.α., η οποία θα συντελέσει και στον υπολογισμό των «καθαρών», εξοπλισμένων προς άρδευση εκτάσεων. Συμπληρώνεται ότι σε συνδυασμό με τη δημιουργία Κτηματολογίου έπεται και η δημιουργία αναδασμού για τον Πάνορμο, ο οποίος θα διαμορφώσει πιο εύχρηστες και αποδοτικές αγροτικές εκμεταλλεύσεις. Ο αναδασμός συναποτελεί ένα μέσο συγκράτησης του γεωργικού πληθυσμού στην ύπαιθρο, ενισχύοντας την κοινωνική και οικονομική συνοχή, σε συνδυασμό με πρόσθετα έργα υποδομής, όπως η αγροτική οδοποιία.

Επιπλέον μέσω κρατικών παρεμβάσεων και επιδοτήσεων θα πρέπει να γίνουν προσπάθειες για την διατήρηση των αναβαθμίδων της περιοχής ώστε όχι μόνο να διατηρηθεί αναλώσιμη η πολιτιστική κληρονομιά της περιοχής αλλά και να μειωθούν οι πιθανότητες για διάβρωση του εδάφους κάτι το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε ερήμωση της περιοχής του Πανόρμου.

Παράλληλα από την πλευρά των κρατικών υποδομών κρίνεται επιτακτική η ανάγκη για ψηφιοποίηση των δεδομένων των υπηρεσιών, τόσο για τις περιγραφικές όσο και για τις χωρικές πληροφορίες. Η δημιουργία ψηφιακών ΒΔ είναι άκρως απαραίτητη για την αποθήκευση του υλικού, αλλά και εφαλτήριο αναζήτησης παλαιότερου και συλλογής του υπάρχοντος. Επόμενο βήμα της οργάνωσης των δεδομένων σε βάσεις είναι η ανάπτυξη εργαλείων και ΣΔΒΔ τα οποία θα εμπεριέχουν κατανεμημένες πληροφορίες και θεματικές ενότητες σχετικά με την πολεοδομία, την ιδιοκτησία, τα οδοστρώματα, τους υδατικούς και φυσικούς πόρους και γενικότερα του συνόλου των έργων υποδομής, από τη φάση της συλλογής

στοιχείων, έως την κατασκευή και τη συντήρηση αυτών. Στον ελληνικό χώρο υπάρχει ακόμη μεγάλη έλλειψη χαρτογραφικών δεδομένων σε ψηφιακή μορφή, πρόβλημα το οποίο πρέπει να αντιμετωπιστεί άμεσα για την ορθή εξέλιξη των υποδομών. Το πρόβλημα αυτό προτείνεται να αντιμετωπιστεί και με την εισαγωγή ελεύθερων λογισμικών – ανοικτού κώδικα (FOSS), όσον αφορά τα GIS, τις ΒΔ και τα σχεδιαστικά πακέτα. Με την κατεύθυνση αυτή δημιουργήθηκε η γεωβάση μορφής SpatiaLite στο ελεύθερο λογισμικό QGIS. Η ΒΔ αυτή μπορεί να υλοποιηθεί και μέσα από την PostGIS επέκταση του RDBMS PostgreSQL, η οποία θα επεξεργάζεται και θα αποθηκεύεται από ένα δίκτυο χρηστών, από τους διαχειριστές του συλλογικού αρδευτικού έργου και κρατικούς φορείς, χωρίς επιβάρυνση συνδρομής εμπορικού λογισμικού και περεταίρω λειτουργικών εξόδων.

Κλείνοντας, υπογραμμίζεται ότι πρέπει να πραγματοποιείται η συλλογή δεδομένων πίεσης και παροχής στην κεφαλή και ανάντη των κλάδων από το συλλογικό δίκτυο με τρόπο συστηματικό. Πρέπει να συλλέγονται ακόμη στοιχεία των καλλιεργειών, των υδροστομίων που λειτούργησαν και οι καταναλώσεις για κάθε καλλιεργητική περίοδο. Τα δεδομένα αυτά πρέπει να ανανεώνονται τακτικά, να διενεργούνται οι κατάλληλοι και διεξοδικοί στατιστικοί έλεγχοι και τελικά να αναλύονται. Με την αρωγή των GIS, της Τηλεπισκόπησης/RS και της Μηχανικής της Μάθησης (Machine Learning Engineering) η ως άνω εξέλιξη των καλλιεργειών είναι εφικτό να παρακολουθείται σε συνδυασμό με τα στοιχεία ενημέρωσης από τους αρμόδιους φορείς που συμμετέχουν, καθιστώντας αυτά ένα ουσιώδες εργαλείο εξοικονόμησης χρόνου και πόρων στη συντήρηση των αρδευτικών δικτύων. Στην προσπάθεια αυτή θα συνδράμει και η ανάπτυξη ενός νέου, βελτιωμένου και ταχύτερου αλγοριθμικά και υπολογιστικά υδραυλικού λογισμικού για το σχεδιασμό και την ανάλυση των αρδευτικών δικτύων υπό πίεση, το οποίο θα αποδίδει ακριβείς τιμές για κάθε παράμετρο στις γραφικές παραστάσεις αποτελεσμάτων.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Agrafioti, E., Diamadopoulos, E. (2012). A strategic plan for reuse of treated municipal wastewater for crop irrigation on the Island of Crete, *Agricultural Water Management*, 105 : 57 – 64.
- Alcon, F., Martin – Ortega, J., Berbel, J., de Miguel, M. D. (2012). Environmental benefits of reclaimed water: an economic assessment in the context of the Water Framework Directive, *Water Policy*, 14 : 148-159.
- Allen, R., Pereira, L. S., Rae, D., Smith, M., *Crop Evapotranspiration*, FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56.
- Alperovits, E., Shamir, U. (1977). Design of optimal water distribution systems. *Water Resources Research*, 13, 885 – 900.
- Angelakis, A. N., Bontoux, L., Lazarova, V. (2003). Challenges and perspectives for water recycling and reuse in EU countries, *Water Supply*, 3 (4) : 59 – 68.
- Bakopoulou, S., Emmanouil, C., Kungolos, A. (2011). Assessment of wastewater effluent quality in Thessaly region, Greece, for determining its irrigation reuse potential, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74 (2) : 188 - 194.
- Barker, F., Packer, M., Scales, P. et al. (2013). Pathogen reduction requirements for direct potable reuse in Antarctica: Evaluating human health risks in small communities. *Science of the total environment*. 461-461 : 723 – 733.
- Bazza, M. (2003). Wastewater recycling and reuse in the Near East Region: experience and issues, *Water supply*, 3 (4), 33 – 50.
- Becerra, C., Lopes, A., Moreira, I., et al., (2015). Wastewater reuse in irrigation: A microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. *Environment international*, 75 : 117-135.
- Bethery, J., (1990). Réseaux collectifs ramifiés sous pression. Calcul et fonctionnement. *Etudes hydraulique Agricole*, No. 6, Antony, France.
- Bethery, J., Meunier, M., Puech, C., (1981). Analyse des défaillances et étude renforcement des réseaux d' irrigation par aspersion. *Proc. Xle Cong CIID*, 36, 297 – 324.
- Bourazanis, G., Katsileros, A., Kosmas, C., Kerkides, P. (2016). The Effect of Treated Municipal Wastewater and Fresh Water on Saturated Hydraulic Conductivity of a Clay-Loamy Soil, *Water Resources Management*, 30 : 2867 – 2880.

- Burrough, P., A. (1986). Fuzzy Mathematical Methods for Soil Survey and Land Evaluation. *Journal of Soil Science*, vol.40, p.p.477 – 492.
- CEMAGREF., (1983). Calcul des réseaux ramifiés sous pression. No. 506, Antony, France.
- Chen, W., Lu, S., Jiao, W., Wang, M., Chang, A. (2013). Reclaimed water: A safe irrigation water source? *Environmental Development*, 8 : 74-83.
- Clément, R., (1955). Note sur le calcul des debits dans les canalisations d' irrigation. Journées d' etude d' irrigation, Arles, A.F.E.I.D., 21pp.
- Clément, R., (1966). Calcul des debits dans les réseaux d' irrigation fonctionnant à la demande. *Huile Blanche*, No. 5, 553 – 575.
- Clément, R., Galand, A., (1979). Irrigation par aspersion et reseaux collectives de distribution sous pression. Editions Eyrolles, 182pp.
- Dercas N., (1989). Contribution au calcul des réseaux sous pression à l demande libre et restreinte, Proposition d'un modèle de simulation. Ph.D. Dissertation, Université des Sciences et Technique du Languedoc (Université de Montpellier II), France, 201 pp.
- Dercas, N., Karantounias, G., (1997). Problèmes de calcul des réseaux d'irrigation sous pression". *ICID Journal*, vol. 46, No 1, pp. 119 – 136.
- Ensink, J., Mahmodd, T., Hoek, W., (2004). *Water policy*, 6 (3), 197-206.
- Estrada, C., González, C., Aliod, R., Panõ, J., (2009). Improved Pressurized Pipe Network Hydraulic Solver for Applications for Irrigation Systems. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 135 (4), 421 – 430.
- Ferier, N., Jackson, R. (2006). The diversity and biogeography of soil bacterial communities. *Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America*. 103 (3) : 626 – 631.
- Galand, A., Jean, M., (1979). Les paramètres de conception d'un réseaux d'irrigation par aspersion. *ICIP Bulletin*, Vol.29 (2), pp. 34-39.
- Gerba C.P., Rose, J.B., (2003). International guidelines for water recycling: microbiological considerations. *Water supply*, 3 (4) : 311-316.
- Grove, A.T., Rackham, O., (2002), *The Nature of Mediterranean Europe: An Ecological History*, Yale UP, New Haven.
- Gun, J., Lipponen, A. (2010). Reconciling Groundwater Storage Depletion Due to Pumping with Sustainability. *Sustainability*, 2 : 3418-3435.

- Hangreaves, G. H., Samani, Z. A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature, *Applied Engineering in Agriculture*. 1(2): 96-99.
- Hashimoto, T., (1980). Robustness, Reliability, Resilience and Vulnerability Criteria for Planning Water Resources Systems. Ph. D. Dissertation. Cornell University, New York, USA.
- Hashimoto, T., Sredomger, J. R., Loucks, D. P., (1982). Reliability, resilience and vulnerability criteria for water resources system performance evaluation. *Water Resources Res.*, 18(1): 14 – 20.
- Himenez, J., Vedrenne, F., Denis, C., et al., (2013). A statistical comparison of protein and carbohydrate characterisation methodology applied on sewage sludge samples. *Water Research*, 47 (5) : 1751-1762.
- Horden, P., Purcell, N., (2000), *The Corrupting Sea: A Study of Mediterranean History*, Blackwell, London.
- Jameson, M.H., Runnels, C.N., van Andel, T.H., (1994), *A Greek Countryside: The Southern Argolid from Prehistory to the present day*, Stanford UP, Stanford.
- Jaramillo, M., Restrepo, I., (2017). Wastewater reuse in agriculture: a review about its limitations and benefits. *Sustainability*, 9 (10), 1734
- Jimenez, B., Drechsel, P., Kone, D. et al. (2010). Wastewater, sludge and excreta use in developing countries: an overview, *Wastewater Irrigation and Health: Assessing and Mitigating Risk in Low*.
- Kalavrouziotis I., Arambatzis, C., Kalfountzos, D., Varnavas, S. (2011). Wastewater Reuse Planning in Agriculture: The Case of Aitoloakarnania, Western Greece, *Water*, 3 (4) : 988 – 1004.
- Kale, R. V., Singh, R. P., Mahar, P.S., (2008). Optimal design of pressurized irrigation subunit. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 134, 137 – 146.
- Karantounias, G. Dercas, N., (1999). Problèmes de fonctionnement et de gestion des réseaux d'irrigation en Grèce – Etude de deux cas typiques. *ICID Journal*, vol. 48, No 2, pp. 11 – 32.
- Karmeli, D., Gadish, Y., Meyers, S., (1968). Design of optimal water distribution networks. *Journal of Pipeline Division ASCE*, 94 (PL1), 1 – 10.
- Khadra, R., Lamaddalena, n., (2010). Development of a Decision Support System for Irrigation Systems Analysis. *Water Resources Management*. 24, 3279 – 3297.

- Labye Y. and Montgolfier J.M.,1971. Modèle de simulation du comportement d'un réseau sous pression devant fonctionner à la demand. In: Rapports du 8e journées européennes de la CIID. Association française pour l'étude de la irrigation et du drainage, 35, 1 – 16.
- Labye, Y. 1966. Etude des procédés de calcul ayant pour but de rendre minimal le coût d'un réseau de distributin d'eau sous pression. L Houille Blanche, No5.
- Labye, Y., 1961. Méthodes Permettant de determiner les caractéristiques optimales d'un réseau de distribution d'eau Méthode discontinue. Bulletin Technique du genie rural.
- Labye, Y., Lahaye J.P., and Meunier, M., 1975. Utilisation des caractéristiques indicées. Proc. Congres de la ICID, Moscou, p30.
- Lamaddalena, N., (1997). Integrated simulation modeling for design and performance analysis of on – demand pressurized irrigation systems. PhD Dissertation. Technical University of Lisbon, Lisbon, Portugal.
- Lamaddalena, N., Perreira, L. S., (2007a). Assessing the impact of flow regulators with a pressure – driven performance analysis model. Agric. Water Manag., 90(1), 28 – 35.
- Lamaddalena, N., Perreira, L. S., (2007a). Pressure – driven modelling for the performance analysis of irrigation systems operating on demand. Agric. Water Manag., 90(1), 36 – 44.
- Lamaddalena, N., Sagardoy, J. A., (2000). Performance analysis of on – demand pressurized irrigation systems. Irrigation and Drainage Paper no. 59, FAO, Rome, Italy.
- Liang, T., (1971). Design conduit system by dynamic programming. Journal of the Hydraulics Division ASCE, 97, 36 – 44.
- Maguire, D. J., Goodchild, M. F., Rhind, D. (1991). “Geographical Information Systems: Principles and Applications”. London: Longman Scientific and Technical, Harlow.
- Metcalf, L., Eddy, H.P., Tchobanoglous, G. (1991). Wastewater engineering : treatment, disposal, and reuse, library.wur.nl, 1979505
- Moratiel, R., Bravo, R., Saa, A., Tarquis, A. M., Almorox, J. (2020). Estimation of evapotranspiration by the Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO) Penman–Monteith temperature (PMT) and Hargreaves–Samani

- (HS) models under temporal and spatial criteria – a case study in Duero basin (Spain), *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20 (3) : 859 – 875.
- Moscoso, J. (2017). Aspectos Técnicos de la Agricultura con Aguas Residuales. Available online: <http://bvspers.paho.org/bvsacd/scan/019502.pdf> (accessed on 25 September 2017).
- Rossemann, L.A., (2000). EPANET User Manual. US Environmental Protection Agency, Drinking Water Research Division, Risk Reduction Engineering Laboratory. Cincinnati, USA.
- Sahidian, S., Serralheiro, R., Serrano, J. et al. (2012). argreaves and other reduced-set methods for calculating evapotranspiration, *Evapotranspiration: Remote Sensing and Modeling*.
- Silberschatz, A., Korth, H.F., Sudarshan, S., (2002). *Database System Concepts*. McGraw-Hill Companies Inc., New York.
- Spiliotis, M., Tsakiris, G., (2007). Minimum cost irrigation network design using interactive fuzzy integer programming. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 133 (3): 242 – 248.
- Stefopoulou, A., 2013. Development of a simulation model for the performance analysis of pressurized irrigation networks operating on-demand PhD Thesis. Agricultural University of Athens, p. 232 (in Greek).
- Stefopoulou, A., Dercas, N., (2011a). Investigation of Hydraulic Performance of Irrigation Networks Kalyvion – Socha, (Prefecture of Laconia, Greece). Proc. 7th Greek Conf. of the Hellenic Society of Agric. Eng., Greece.
- Stefopoulou, A., Dercas, N., (2011b). Performance Analysis of Large Pressurized Irrigation Networks: Effect of Head Losses Evaluation. Proc. VI EWRA Int. Symp. “Water Engineering and Management in a Changing Environment”, Italy.
- Stefopoulou, A., Dercas, N., (2017). NIREUS: A new software for the analysis on-demand pressurized collective irrigation networks. In: *Computers and Electronics in Agriculture*, 140 : 58 – 69.
- Todorovic, M., Karic, B., Pereira, L. S. (2013). Reference evapotranspiration estimate with limited weather data across a range of Mediterranean climates, *Journal of Hydrology*, 481 : 166 – 176.
- Winpenny, J., Heinz, I., Koo-Oshima, S., et al. (2010). The wealth of waste: the economics of wastewater use in agriculture. *FAO Water reports*, 35, 129.

Yang, K. P., Liang, T., Wu, I.P., (1975). Design of conduit systems with diverging branches. Journal of the Hydraulics Division ASCE, 101, 167 – 188.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Γάσπαρης Χ., (1997), Η Γη και οι Αγρότες στη Μεσαιωνική Κρήτη: 13ος – 14ος αιώνας, Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών, Ινστιτούτο Βυζαντινών Ερευνών, Αθήνα
- Δέρκας, Ν. (1991). Διερεύνηση προσαρμογής του μοντέλου Clément στην πραγματική λειτουργία ενός δικτύου υπό πίεση ελεύθερης ζήτησης. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος. Τεχνικά Χρονικά, Τόμος II, Τεύχος 3.
- Δέρκας, Ν. (1999). Υπολογισμός παροχών σχεδιασμού σε δίκτυα ελεύθερης ζήτησης. Σημειώσεις Μαθημάτων, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Δέρκας, Ν. (2000). Προβλήματα λειτουργίας και διαχείρισης αρδευτικών δικτύων στην Ελλάδα. Μελέτη δύο αντιπροσωπευτικών περιπτώσεων. Σημειώσεις Μαθημάτων, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Δέρκας, Ν. (2001). Μαθηματικά ομοιώματα για την ανάταξη και τον εκσυγχρονισμό των συλλογικών αρδευτικών δικτύων υπό πίεση. Σημειώσεις Μαθημάτων, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Δέρκας, Ν. (2006). Εγγειοβελτιωτικά Έργα – Συλλογικά αρδευτικά δίκτυα. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις Διδασκαλίας, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Ζεντέλης, Π. (2011). Περί Κτημάτων Λόγος και Κτηματολόγιο. Κεφάλαιο 6ο «Αγροτικός Χώρος». Τόμος Α'. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.
- Κάβουρας, Μ. (2007). Αρχές Γεωπληροφορικής και Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Κάβουρας, Μ., Δάρρα, Α., Κονταξάκη, Σ., Τομαή, Ε., (2015). Επιστήμη Γεωγραφικής Πληροφορίας. Αρχές και Τεχνολογίες. Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα. (<https://www.kallipos.gr/el/>)
- Καλύβας, Δ. (2012). Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, Χωρική Ανάλυση και Χωρική Παρεμβολή. 2ο Επιστημονικό Σεμινάριο «Νέες τεχνολογίες για την άρδευση, λίπανση και φυτοπροστασία στη γεωργία». Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

- Καλύβας, Δ., Δήμου, Π., Βούλγαρης, Γ. (2013). Χωρική Παρεμβολή Εδαφικών Ιδιοτήτων με Χρήση Γεωστατιστικής και Ιδιοτήτων του Τοπογραφικού Αναγλύφου. Πρακτικά 1ου Πανελληνίου Συνεδρίου Χωρικής Ανάλυσης. Hellenic Society of Swedish Scholars και Σύνδεσμος Ελλήνων Πολεοδόμων και Χωροτακτών. Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Κατσίμπα, Ζ. (2009). Βελτιστοποίηση του κόστους των αγωγών αρδευτικών δικτύων υπό πίεση με εφαρμογή της ασυνεχούς μεθόδου του Labye και τη χρήση του προγράμματος COPAM. Εφαρμογή στο αρδευτικό δίκτυο Καβασιλών Ημαθίας. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Π.Μ.Σ. «Γεωπληροφορική», Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
- Κόλλια, Β. (2006). Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα. Σημειώσεις Διδασκαλίας, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Κομνηνού, Ε., (2012). Ανάπτυξη προσχεδίου δράσης για την αειφόρο ενέργεια για το Δήμο Επιδαύρου. Διπλωματική Εργασία, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Μανιάτης, Ι., (1996). Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών Γης Κτηματολογίου. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Μελέτη Οικονομικής Σκοπιμότητας Αναβάλου (Αργολίδας), 2014. Μελέτη μεταφοράς και διανομής νερού άρδευσης από δίκτυα Αναβάλου στους Δήμους Ασκληπείου και Επιδαύρου Ν. Αργολίδας. Αρ. Έργου 2009 ΣΕ0818008. ΥΠ.Α.Α.Τ., Δ.Τ.Μ. & Κ., Αθήνα.
- Μιγκίριος, Γ., (2012). Ορθολογική Διαχείριση των Υδάτινων Πόρων στη Γεωργία με Χρήση Νέων Τεχνολογιών. Τομέας Γεωλογικών Επιστημών και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Ντάσκα, Α., (1989). Τα εγγειοβελτιωτικά έργα στην Ελλάδα. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος. Τεχνικά Χρονικά, Μηνιαία Έκδοση ΤΕΕ, Τεύχος 5 – 6. Σελ. 33 – 44.
- Ρίζος, Σ., (2013). Χαρτογράφηση της τρωτότητας του υπογείου υδατικού συστήματος του Αργολικού Πεδίου με την αξιοποίηση της Γεωπληροφορικής. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Π.Μ.Σ. «Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου», Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.
- Σταμούλη, Π. (2014). Ανάλυση συλλογικού αρδευτικού δικτύου υπό πίεση με ελεύθερη ζήτηση. Εφαρμογή στο αρδευτικό δίκτυο Παραβόλας ν. Αιτωλοακαρνανίας. Διπλωματική Εργασία. Δ.Π.Μ.Σ. «Επιστήμη και

Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

- Στεφοπούλου, Α., (2013). Ανάπτυξη ομοιώματος προσομοίωσης για την ανάλυση της λειτουργίας αρδευτικών δικτύων υπό πίεση ελεύθερης ζήτησης. Διδακτορική Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.
- Στεφοπούλου, Α., Δέρκας, Ν., (2009). Μαθηματικά ομοιώματα για την υδραυλική ανάλυση των αρδευτικών δικτύων υπό πίεση. Κοινό Συνέδριο της Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης (ΕΥΕ) και της Ελληνικής Επιτροπής Διαχείρισης Υδατικών Πόρων (ΕΕΔΥΠ) «Ολοκληρωμένη διαχείριση υδατικών πόρων σε συνθήκες κλιματικών αλλαγών». Τόμος II. Σελ. 781 – 788.
- Στουρνάρας Γ. (2001). Φυσικό περιβάλλον και ιστορία της Τήνου, Αθήνα: Ειρήνη, Σχέδιο προγράμματος διαχείρισης των υδατικών πόρων της χώρας.
- Στρατηγέα, Α.(2009). Συμμετοχικός Σχεδιασμός και Βιώσιμη Τοπική Ανάπτυξη: Μία Μεθοδολογική Προσέγγιση. Πρακτικά 2ου Συνεδρίου Πολεοδομίας, Χωροταξίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης. Βόλος, Σελ. 43 – 51.
- Τ.Ε.Ε. Πελοποννήσου, (2001). Ολοκληρωμένη διαχείριση απορριμμάτων του Ν. Αργολίδας – Τεχνολογίες – Νέες Ισχύουσες Προδιαγραφές – Παρακολούθηση Περιβαλλοντικών Όρων. Περιφερειακό Τμήμα Πελοποννήσου, Ναύπλιο.
- Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. Κ.Ε.Ν.Α.Κ., (2017). Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης. Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Γενική Γραμματεία Ενέργειας και Ορυκτών Πρώτων Υλών. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701 – 1/2017. Α' Έκδοση, Αθήνα.
- Τεχνική Έκθεση Αναβάλου (Αργολίδας), 2014. Οριστική Μελέτη Υδραυλικών Έργων. Μελέτη μεταφοράς και διανομής νερού άρδευσης από δίκτυα Αναβάλου στους Δήμους Ασκληπιείου και Επιδαύρου Ν. Αργολίδας. Αρ. Έργου 2009 ΣΕ0818008. ΥΠ.Α.Α.Τ., Δ.Τ.Μ. & Κ., Αθήνα.
- Τσακίρης, Γ., Δέρκας, Ν., (2006). Συλλογικά αρδευτικά δίκτυα. Υδραυλικά Έργα, Σχεδιασμός και Διαχείριση. Τόμος II: Εγγειοβελτιωτικά Έργα. Γ. Τσακίρης (Υπεύθυνος Έκδοσης). Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
- ΥΠΕΚΑ, 2017. 1^η ΑΝΑΘΕΩΡΗΣΗ ΣΧΕΔΙΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Νήσων Αιγαίου (EL 14) Προσχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών.

Χαλκιάς, Χ. (2006). Όροι και Έννοιες Επιστήμης Γεωγραφικών Πληροφοριών.
Εκδόσεις Ίων, Αθήνα.

Χαλκιάς, Χ. (2015). Γεωγραφική Ανάλυση με την Αξιοποίηση της
Γεωπληροφορικής. Εφαρμοσμένα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών.
Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα.
(<https://www.kallipos.gr/el/>)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας 1. Εξωγήνη Ακτινοβολία (Ra) σε mm/ day (Samani, 2000).

Northern Hemisphere												Lat	Southern Hemisphere											
Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec		Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
3.8	6.1	9.4	12.7	15.8	17.1	16.4	14.1	10.9	7.4	4.5	3.2	50°	17.5	14.7	10.9	7.0	4.2	3.1	3.5	5.5	8.9	12.9	16.5	18.2
4.3	6.6	9.8	13.0	15.9	17.2	16.5	14.3	11.2	7.8	5.0	3.7	48	17.6	14.9	11.2	7.5	4.7	3.5	4.0	6.0	9.3	13.2	16.6	18.2
4.9	7.1	10.2	13.3	16.0	17.2	16.6	14.5	11.5	8.3	5.5	4.3	46	17.7	15.1	11.5	7.9	5.2	4.0	4.4	6.5	9.7	13.4	16.7	18.3
5.3	7.6	10.6	13.7	16.1	17.2	16.6	14.7	11.9	8.7	6.0	4.7	44	17.8	15.3	11.9	8.4	5.7	4.4	4.9	6.9	10.2	13.7	16.7	18.3
5.9	8.1	11.0	14.0	16.2	17.3	16.7	15.0	12.2	9.1	6.5	5.2	42	17.8	15.5	12.2	8.8	6.1	4.9	5.4	7.4	10.6	14.0	16.8	18.3
6.4	8.6	11.4	14.3	16.4	17.3	16.7	15.2	12.5	9.6	7.0	5.7	40	17.9	15.7	12.5	9.2	6.6	5.3	5.9	7.9	11.0	14.2	16.9	18.3
6.9	9.0	11.8	14.5	16.4	17.2	16.7	15.3	12.8	10.0	7.5	6.1	38	17.9	15.8	12.8	9.6	7.1	5.8	6.3	8.3	11.4	14.4	17.0	18.3
7.4	9.4	12.1	14.7	16.4	17.2	16.7	15.4	13.1	10.6	8.0	6.6	36	17.9	16.0	13.2	10.1	7.5	6.3	6.8	8.8	11.7	14.6	17.0	18.2
7.9	9.8	12.4	14.8	16.5	17.1	16.8	15.5	13.4	10.8	8.5	7.2	34	17.8	16.1	13.5	10.5	8.0	6.8	7.2	9.2	12.0	14.9	17.1	18.2
8.3	10.2	12.8	15.0	16.8	17.0	16.8	15.6	13.6	11.2	9.0	7.8	32	17.8	16.2	13.8	10.9	8.5	7.3	7.7	9.6	12.4	15.1	17.2	18.1
8.8	10.7	13.1	15.2	16.5	17.0	16.8	15.7	13.9	11.6	9.5	8.3	30	17.8	16.4	14.0	11.3	8.9	7.8	8.1	10.1	12.7	15.3	17.3	18.1
9.3	11.1	13.4	15.3	16.5	16.8	16.7	15.7	14.1	12.0	9.9	8.8	28	17.7	16.4	14.3	11.6	9.3	8.2	8.6	10.4	13.0	15.4	17.2	17.9
9.8	11.5	13.7	15.3	16.4	16.7	16.6	15.7	14.3	12.3	10.3	9.3	26	17.6	16.4	14.4	12.0	9.7	8.7	9.1	10.9	13.2	15.5	17.2	17.8
10.2	11.9	13.9	15.4	16.4	16.6	16.5	15.8	14.5	12.6	10.7	9.7	24	17.5	16.5	14.6	12.3	10.2	9.1	9.5	11.2	13.4	15.6	17.1	17.7
10.7	12.3	14.2	15.5	16.3	16.4	16.4	15.8	14.6	13.0	11.1	10.2	22	17.4	16.5	14.8	12.6	10.6	9.6	10.0	11.6	13.7	15.8	17.0	17.5
11.2	12.7	14.4	15.6	16.3	16.4	16.3	15.9	14.8	13.3	11.6	10.7	20	17.3	16.5	15.0	13.0	11.0	10.0	10.4	12.0	13.9	15.8	17.0	17.4
11.6	13.0	14.6	15.6	16.1	16.1	16.1	15.8	14.9	13.6	12.0	11.1	18	17.1	16.5	15.1	13.2	11.4	10.4	10.8	12.3	14.1	15.8	16.8	17.1
12.0	13.3	14.7	15.6	16.0	15.9	15.9	15.7	15.0	13.9	12.4	11.6	16	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.8	16.7	16.8
12.4	13.6	14.9	15.7	15.8	15.7	15.7	15.7	15.1	14.1	12.8	12.0	14	16.7	16.4	15.3	13.7	12.1	11.2	11.6	12.9	14.5	15.8	16.5	16.6
12.8	13.9	15.1	15.7	15.7	15.5	15.5	15.6	15.2	14.4	13.3	12.5	12	16.6	16.3	15.4	14.0	12.5	11.6	12.0	13.2	14.7	15.8	16.4	16.5
13.2	14.2	15.3	15.7	15.5	15.3	15.3	15.5	15.3	14.7	13.6	12.9	10	16.4	16.3	15.5	14.2	12.8	12.0	12.4	13.5	14.8	15.9	16.2	16.2
13.6	14.5	15.3	15.6	15.3	15.0	15.1	15.4	15.3	14.8	13.9	13.3	8	16.1	16.1	15.5	14.4	13.1	12.4	12.7	13.7	14.9	15.8	16.0	16.0
13.9	14.8	15.4	15.4	15.1	14.7	14.9	15.2	15.3	15.0	14.2	13.7	6	15.8	16.0	15.6	14.7	13.4	12.8	13.1	14.0	15.0	15.7	15.8	15.7
14.3	15.0	15.5	15.5	14.9	14.4	14.6	15.1	15.3	15.1	14.5	14.1	4	15.5	15.8	15.6	14.9	13.8	13.2	13.4	14.3	15.1	15.6	15.5	15.4
14.7	15.3	15.6	15.3	14.6	14.2	14.3	14.9	15.3	15.3	14.8	14.4	2	15.3	15.7	15.7	15.1	14.1	13.5	13.7	14.5	15.2	15.5	15.3	15.1
15.0	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8	0	15.0	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8

Πίνακας 2: Αποτελέσματα βελτιστοποίησης του νέου δικτύου στο COPAM με το συνολικό κόστος των αγωγών για αύξηση 20% της q0.

SN	IN	FN	Area	N.Hydr	Qcl	Diam	LandEI	Length
1	0	1	13.7	38	38	140	16	0.5
2	1	2	10.1	23	36	140	16	20.6
3	2	3	9.9	22	36	140	16	33.5
4	3	4	9.2	21	36	140	15	106.2
5	4	5	8.7	20	36	140	13	87.4
6	5	6	7.8	19	36	140	11	22.8
7	6	7	7.5	18	36	140	11	151.6
8	7	8	7.1	16	36	140	9	10.4
9	8	9	6.7	15	36	140	9	10.4
10	9	10	6.4	14	36	140	9	19.6
11	10	11	6.1	13	36	140	9	101.7
12	11	12	5.3	12	36	140	7	60.2
13	12	13	4.8	11	36	140	6	72.8
14	13	14	3.3	8	36	140	6	74.7
15	14	15	2.6	7	32	140	6	52.3
16	15	16	2.2	5	26	122	5	163.9
17	16	17	1.4	4	20	109	4	179.2
18	17	18	1	3	14	96	6	73.9
19	18	19	1	2	12	79	4	8
20	19	20	0.5	1	6	79	4	9
21	1	21	3.6	15	24	140	15	150
22	21	22	3.1	14	20	140	25	60
23	22	23	3	13	20	140	30	15
24	23	24	2.4	10	20	140	28	28.8

25	24	25	2.3	9	20	140	37	18.4
26	25	26	2.1	8	20	140	38	22
27	26	27	2	7	20	140	41	15
28	27	28	1	3	10	109	44	18.4
29	28	29	0.7	2	8	96	40	28.8
30	29	30	0.7	1	6	96	58	30
31	27	31	1.1	4	12	79	46	6
32	31	32	0.4	3	6	79	48	35
33	32	33	0.3	2	4	79	48	7
34	33	34	0.1	1	2	79	46	20
35	23	35	0.6	3	6	79	23	34.6
36	35	36	0.5	2	4	79	29	5
37	36	37	0.3	1	2	79	31	6
38	3	38	0.6	1	6	79	18	31.2
39	7	39	0.4	2	4	79	8	120
40	39	40	0.2	1	2	79	8	11.4
41	13	41	1.5	3	18	96	6	46.1
42	41	42	0.9	2	12	79	6	26
43	42	43	0.4	1	6	79	6	25.7
44	15	44	0.4	2	8	79	5	18
45	44	45	0.3	1	6	79	7	7.8

Diameters	Length	Cost (€)
79	370.7	14309
96	178.8	7527
109	197.6	8833
122	163.9	7949
140	1133.9	58736
TOTAL COST: 97354.4 €		

Πίνακας 3: Αποτελέσματα βελτιστοποίησης του νέου δικτύου στο COPAM με το συνολικό κόστος των αγωγών για αύξηση 40% της q0.

SN	IN	FN	Area	N.Hydr	Qcl	Diam	LandEl	Length
1	0	1	13.7	38	44	175	16	0.5
2	1	2	10.1	23	36	140	16	20.6
3	2	3	9.9	22	36	140	16	33.5
4	3	4	9.2	21	36	140	15	106.2
5	4	5	8.7	20	36	140	13	87.4
6	5	6	7.8	19	36	140	11	22.8
7	6	7	7.5	18	36	140	11	151.6
8	7	8	7.1	16	36	140	9	10.4
9	8	9	6.7	15	36	140	9	10.4
10	9	10	6.4	14	36	140	9	19.6
11	10	11	6.1	13	36	140	9	101.7
12	11	12	5.3	12	36	140	7	60.2
13	12	13	4.8	11	36	140	6	72.8
14	13	14	3.3	8	36	140	6	74.7
15	14	15	2.6	7	32	140	6	52.3
16	15	16	2.2	5	26	122	5	163.9

17	16	17	1.4	4	20	109	4	179.2
18	17	18	1	3	14	96	6	73.9
19	18	19	1	2	12	79	4	8
20	19	20	0.5	1	6	79	4	9
21	1	21	3.6	15	24	140	15	150
22	21	22	3.1	14	20	140	25	60
23	22	23	3	13	20	140	30	15
24	23	24	2.4	10	20	140	28	28.8
25	24	25	2.3	9	20	140	37	18.4
26	25	26	2.1	8	20	140	38	22
27	26	27	2	7	20	140	41	15
28	27	28	1	3	10	109	44	18.4
29	28	29	0.7	2	8	96	40	28.8
30	29	30	0.7	1	6	96	58	30
31	27	31	1.1	4	12	79	46	6
32	31	32	0.4	3	6	79	48	35
33	32	33	0.3	2	4	79	48	7
34	33	34	0.1	1	2	79	46	20
35	23	35	0.6	3	6	79	23	34.6
36	35	36	0.5	2	4	79	29	5
37	36	37	0.3	1	2	79	31	6
38	3	38	0.6	1	6	79	18	31.2
39	7	39	0.4	2	4	79	8	120
40	39	40	0.2	1	2	79	8	11.4
41	13	41	1.5	3	18	96	6	46.1
42	41	42	0.9	2	12	79	6	26
43	42	43	0.4	1	6	79	6	25.7
44	15	44	0.4	2	8	79	5	18
45	44	45	0.3	1	6	79	7	7.8

Diameters	Length	Cost (€)
79	370.7	14309
96	178.8	7527
109	197.6	8833
122	163.9	7949
140	1133.4	58710
175	0.5	30
TOTAL COST: 97358.6€		

Πίνακας 4: Αποτελέσματα βελτιστοποίησης του νέου δικτύου στο COPAM με το συνολικό κόστος των αγωγών για αύξηση 60% της q0.

SN	IN	FN	Area	N.Hydr	Qcl	Diam	LandEl	Length
1	0	1	13.7	38	46	175	16	0.5
2	1	2	10.1	23	38	140	16	20.6
3	2	3	9.9	22	38	140	16	33.5
4	3	4	9.2	21	36	140	15	106.2
5	4	5	8.7	20	36	140	13	87.4
6	5	6	7.8	19	36	140	11	22.8

7	6	7	7.5	18	36	140	11	151.6
8	7	8	7.1	16	36	140	9	10.4
9	8	9	6.7	15	36	140	9	10.4
10	9	10	6.4	14	36	140	9	19.6
11	10	11	6.1	13	36	140	9	101.7
12	11	12	5.3	12	36	140	7	60.2
13	12	13	4.8	11	36	140	6	72.8
14	13	14	3.3	8	36	140	6	74.7
15	14	15	2.6	7	32	140	6	52.3
16	15	16	2.2	5	26	122	5	163.9
17	16	17	1.4	4	20	109	4	179.2
18	17	18	1	3	14	96	6	73.9
19	18	19	1	2	12	79	4	8
20	19	20	0.5	1	6	79	4	9
21	1	21	3.6	15	24	140	15	150
22	21	22	3.1	14	20	140	25	60
23	22	23	3	13	20	140	30	15
24	23	24	2.4	10	20	140	28	28.8
25	24	25	2.3	9	20	140	37	18.4
26	25	26	2.1	8	20	140	38	22
27	26	27	2	7	20	140	41	15
28	27	28	1	3	10	109	44	18.4
29	28	29	0.7	2	8	96	40	28.8
30	29	30	0.7	1	6	96	58	30
31	27	31	1.1	4	12	79	46	6
32	31	32	0.4	3	6	79	48	35
33	32	33	0.3	2	4	79	48	7
34	33	34	0.1	1	2	79	46	20
35	23	35	0.6	3	6	79	23	34.6
36	35	36	0.5	2	4	79	29	5
37	36	37	0.3	1	2	79	31	6
38	3	38	0.6	1	6	79	18	31.2
39	7	39	0.4	2	4	79	8	120
40	39	40	0.2	1	2	79	8	11.4
41	13	41	1.5	3	18	96	6	46.1
42	41	42	0.9	2	12	79	6	26
43	42	43	0.4	1	6	79	6	25.7
44	15	44	0.4	2	8	79	5	18
45	44	45	0.3	1	6	79	7	7.8

Diameters	Length	Cost (€)
79	370.7	14309
96	178.8	7527
109	197.6	8833
122	163.9	7949
140	1133.4	58710
175	0.5	30
TOTAL COST: 97358.6€		