



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής **Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών**

Διπλωματική Εργασία

Ιστορική Αναδρομή και Υδραυλική Ανάλυση Αντιπλημμυρικών Έργων από την Αρχαιότητα



Λίταινας Ιωάννης

Επιβλέπων Καθηγητής:

Δημητριάδης Παναγιώτης

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:

Συμπέθερος Ιωάννης

Αθήνα, 2024

Η Διπλωματική Εργασία Εξετάστηκε Επιτυχώς από την κατώθι Εξεταστική Επιτροπή:

<p>ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΑΔΗΣ</p> <p>ΔΡ. ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ, ΕΥΔΑΠ Α.Ε.</p>	<p>ΙΩΑΝΝΗΣ ΣΥΜΠΕΘΕΡΟΣ</p> <p>ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ, ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, ΠΑΔΑ</p>	<p>ΣΩΤΗΡΙΟΣ-ΘΕΟΦΑΝΗΣ ΚΑΡΑΛΗΣ</p> <p>ΛΕΚΤΟΡΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ, ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ, ΠΑΔΑ</p>

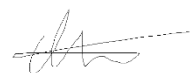
ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κατώθι υπογεγραμμένος Λίταινας Ιωάννης του Αντωνίου, με αριθμό μητρώου 18394159, φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι: « Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου ».

Ημερομηνία

07/06/2024

Ο Δηλών



Ευχαριστίες

Εκφράζω τις βαθιές μου ευχαριστίες προς τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Παναγιώτη Δημητριάδη, για την αμέριστη στήριξη και την καθοριστική του συνεισφορά στην εκπόνηση αυτού του έργου. Η οδηγία και η εμπιστοσύνη του επιβλέποντα ήταν καθοριστική, προσφέροντας μου την απαραίτητη επιστημονική γνώση και καθοδήγηση για την επίτευξη των ερευνητικών στόχων. Επίσης, εκτιμώ ιδιαίτερα την πολύτιμη συμβολή του συν-επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριου Ιωάννη Συμπέθερου, στην εξέλιξη αυτής της έρευνας.

Επιπλέον, είναι αναγκαίο να επισημάνω τη σημαντική επίδραση των διδασκόντων του τμήματος στην εμβάθυνση των γνώσεών μου. Η εκπαιδευτική τους προσέγγιση ενίσχυσε την κατανόησή μου για τα θέματα των υδρολογικών έργων και πέρα από αυτά. Οι ενδεδειγμένες αναλύσεις και το έργο τους ήταν ουσιώδεις για την εμβάθυνση της μελέτης και την ενίσχυση της ερευνητικής μου προσέγγισης.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει την ιστορία και τη σημασία των αντιπλημμυρικών έργων από την αρχαιότητα έως σήμερα. Η ανάλυση επικεντρώνεται στην ιστορική αναδρομή αντιπλημμυρικών έργων και στην εξέλιξη της τεχνολογίας και της ανθρώπινης προσπάθειας στον έλεγχο των πλημμυρών.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζεται μια λεπτομερής αναφορά σε διάφορους τύπους σημαντικών αντιπλημμυρικών έργων που κατασκευάστηκαν κατά την αρχαιότητα, και συγκεκριμένα, τα φράγματα και αποστραγγιστικά έργα.

Φράγματα: Πρόκειται για κατασκευές που φράζουν εν μέρει τα ποτάμια, ώστε να συνεχίσει η περιβαλλοντική ροή του νερού που είναι απαραίτητη για το περιβάλλον και τους έμβιους οργανισμούς, ενώ παράλληλα δημιουργούν ανάντη έναν ταμιευτήρα όπου συγκεντρώνεται το νερό για διάφορες χρήσεις του, όπως άρδευση πλημμύρας, παραγωγή ενέργειας, ύδρευση, άρδευση, κτλ. Αυτή η υδραυλική κατασκευή είναι από τις σημαντικότερες των Υδραυλικών Μηχανικών, και έχει χρησιμοποιηθεί από την αρχαιότητα για την προστασία και την ύδρευση των πόλεων και άρδευση των καλλιεργειών.

Δίκτυα αποστράγγισης: Πρόκειται για πολυσχιδείς υδραυλικές κατασκευές που χρησιμοποιούνται κυρίως για την απομάκρυνση του νερού των ομβρίων και υπόγειων υδάτων από τις περιοχές που βρίσκονται εκτεθειμένες κοντά σε ποτάμια ή λίμνες και ταμιευτήρες.

Το τρίτο κεφάλαιο παρέχει αναλυτικές πληροφορίες σχετικά με την τοποθεσία των αντιπλημμυρικών έργων, καθώς και τα χαρακτηριστικά του κλίματος των ευρύτερων περιοχών όπου αυτά κατασκευάστηκαν και τα διαθέσιμα υδρομετεωρολογικά δεδομένα. Επιπλέον, αναφέρονται τα υλικά κατασκευής τους, καθώς και εκτιμάται από τη βιβλιογραφία η παροχτετευτικότητα τους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιείται μια πρωτότυπη ανάλυση εκτίμησης του όγκου που θα μπορούσε να συγκρατήσει το φράγμα της αρχαίας Τίρυνθας, έως την υπερχειλίση του. Συγκεκριμένα, υπολογίζεται υδρολογικά η εμπειρική περίοδος επαναφοράς του φράγματος, μέσω μιας αντίστροφης μεθοδολογίας της κλασικής ορθολογικής μεθόδου.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναφέρονται και συζητούνται τα κύρια συμπεράσματα της εργασίας, σε σχέση και με τον ισχύοντα κανονισμό, καθώς και σχέση με κοινωνικοπολιτικά ζητήματα, και περιβαλλοντικές διαστάσεις.

Abstract

This dissertation examines the history and significance of flood control projects from antiquity to the present day. The analysis focuses on the historical overview of flood control projects and the evolution of technology and human effort in flood management.

The second chapter provides a detailed account of various significant flood control projects constructed in antiquity, specifically dams and drainage systems.

Dams: These are structures that partially obstruct rivers to maintain the environmental flow of water necessary for the ecosystem and living organisms, while simultaneously creating an upstream reservoir where water is collected for various uses, such as flood mitigation, energy production, water supply, irrigation, etc. This hydraulic construction is one of the most important for Hydraulic Engineers and has been used since antiquity for the protection and water supply of cities and the irrigation of crops.

Drainage networks: These are complex hydraulic structures mainly used for the removal of rainwater and groundwater from areas exposed near rivers, lakes, and reservoirs.

The third chapter provides detailed information on the location of flood control projects, as well as the climatic characteristics of the wider areas where they were constructed and the available hydrometeorological data. Additionally, the construction materials used are mentioned, and their discharge capacity is estimated based on the literature.

In the fourth chapter of this dissertation, an original analysis is conducted to estimate the volume that the dam of ancient Tiryns could retain until its overflow. Specifically, the empirical return period of the dam is hydrologically calculated using an inverse methodology of the classical rational method.

The fifth chapter discusses the main conclusions of the study, in relation to the current regulations, as well as sociopolitical issues and environmental dimensions.

Περιεχόμενα

Περίληψη`	5
Abstract.....	6
1. Εισαγωγή.....	9
2 Ιστορική Αναδρομή Αντιπλημμυρικών έργων	10
2.1. Ινδία	10
2.2. Αίγυπτος.....	12
2.3. Αρχαία Ρώμη (753 π.Χ. – 509 μ.Χ.)	15
2.4. Σουμέριοι	18
2.5. Ινδονησία	19
2.6. Κίνα.....	20
2.7. Αντιπλημμυρικά Έργα στην Ελλάδα	23
2.7.1 Μινωικός και Μυκηναϊκός Πολιτισμός	24
2.7.2 Κλασική και Ελληνιστική περίοδος.....	36
3. Ποσοτικοποίηση των Υδραυλικών και Υδρολογικών Στοιχείων	40
3.1. Φράγμα Kallanai	43
3.1.1. Ιστορία και Κατασκευή.....	43
3.1.2. Χρησιμότητα της κατασκευής	45
3.1.3. Συμπληρωματικές Πληροφορίες.....	45
3.1.4. Μετεωρολογικά-Υδρολογικά Στοιχεία	47
3.2. Φράγμα Sadd Al-kafara	47
3.3. Αποχετευτικό σύστημα Cloaca Maxima.....	51
3.3.1. Τεχνικές Πληροφορίες	51
3.3.2. Τεχνικές Προδιαγραφές	52
3.3.3. Υδρολογικά και Υδρομετεωρολογικά Στοιχεία	53
3.3.4. Υδραυλικά Χαρακτηριστικά και Παράμετροι	53
3.4. Κανάλι Zhengguo	56
3.4.1. Υδρολογικά Στοιχεία	56
3.4.2. Υδραυλικά Χαρακτηριστικά	57
3.4.3. Χρησιμότητα της κατασκευής	57
3.5. Σύστημα Αποχέτευσης στο Μινωικό Ανάκτορο της Κνωσού.....	57
3.6. Αποχέτευση Αγοράς Αρχαίας Αθήνας – Ο Μεγάλος Αγωγός.....	58
3.7. Αποξήρανση της Λίμνης Κωπαΐδας.....	59
3.8. Αντιπλημμυρικό Τείχος Κλαδέου	60
3.8.1. Πλημμύρες στην Αρχαία Ολυμπία.....	60

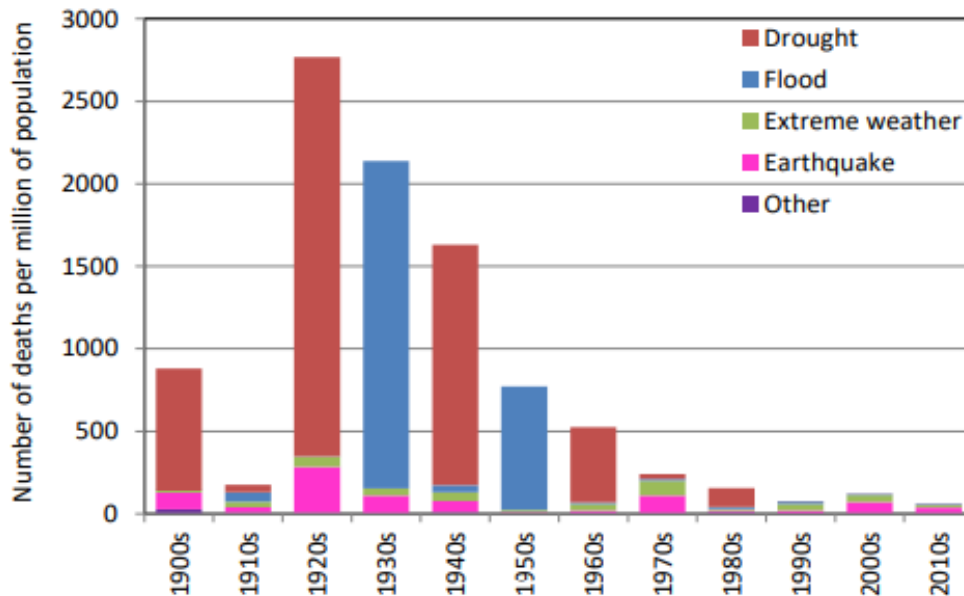
3.8.2.	Τεχνικές Προδιαγραφές	61
3.8.3.	Υδρολογικά και Υδρομετεωρολογικά Στοιχεία	62
3.8.4.	Υδραυλικά Στοιχεία και Παράμετροι	63
3.9.	Αρχαίο Φράγμα Αλυζίας.....	63
3.9.1.	Τεχνικές πληροφορίες.....	64
3.9.2.	Τεχνικές Προδιαγραφές Φράγματος.....	65
3.9.3.	Υδρολογικά και Υδρομετεωρολογικά Στοιχεία	65
3.9.4.	Υδραυλικά Στοιχεία και Παράμετροι	65
3.9.5.	Προδιαγεγραμμένη Παροχή του Φράγματος.....	65
3.9.6.	Ανάλυση Υδραυλικών Στοιχείων	65
4.	Περίπτωση μελέτης: Φράγμα της Αρχαίας Τίρυνθας	66
4.1.	Τεχνικές Πληροφορίες.....	67
4.2	Τεχνικές Προδιαγραφές	67
4.3	Υδρολογικά και Υδρομετεωρολογικά Στοιχεία.....	68
4.4	Υπολογισμός όγκου νερού πλήρωσης φράγματος μέσω προγράμματος ArcGIS Pro	70
4.5.	Υδρολογική Ανάλυση – Εκτίμηση πλημμυρικής Παροχής.....	74
4.5.1	Χρόνος Συγκέντρωσης.....	74
4.5.2	Ο Συντελεστής Απορροής.....	75
4.5.3	Υπολογισμός Πλημμυρικής Παροχής του Φράγματος.....	76
4.5.4	Όμβριες Καμπύλες.....	77
4.6	Εμπειρική περίοδος επαναφοράς	78
5.	Συμπεράσματα	79
6.	Βιβλιογραφία	80
	Βιβλιογραφία Εικόνων.....	87

1. Εισαγωγή

Πλημμύρα είναι το φαινόμενο της αύξησης του όγκου του νερού σε μια τοποθεσία, ως αποτέλεσμα πολλών πιθανών παραγόντων: έντονες ή πολύ μεγάλης διάρκειας βροχοπτώσεις, λιώσιμο χιονιού, ισχυροί άνεμοι πάνω από το νερό, ασυνήθιστα ψηλές παλίρροιες, τσουνάμι ή αστοχία φραγμάτων, λεκανών κράτησης ή άλλων κατασκευών που συγκρατούν το νερό, κτλ.

Για να κατανοήσουμε καλύτερα τις πλημμύρες, είναι απαραίτητο να εξετάσουμε ιστορικά έργα από την αρχαιότητα, και να συγκρίνουμε πρακτικές διαχείρισης πλημμυρών σε διαφορετικές περιοχές. Αυτή η εργασία εξετάζει τα μέτρα προστασίας (π.χ., φράγματα, αποστραγγιστικά έργα), παρουσιάζοντας έναν κατάλογο ιστορικών παραδειγμάτων από την αρχαιότητα έως σήμερα. Τα αποτελέσματα της μελέτης δείχνουν ότι οι αρχαίες κοινωνίες ανέπτυξαν πολύπλευρες τεχνολογίες για να αντιμετωπίσουν τις πλημμύρες ή τη λειψυδρία και άρδευση, όπου πολλές από αυτές είναι ενεργές μέχρι και σήμερα (π.χ., Αδριάνειο υδραγωγείο στην Αττική), και μπορούν ακόμη και να δώσουν λύσεις για την αντιμετώπιση των κλιματικών και ανθρωπογενών προκλήσεων.

Οι πλημμύρες είναι μια από τις πιο επικίνδυνες φυσικές καταστροφές, που μπορούν να προκαλέσουν, εκτός από ανθρώπινες απώλειες, μεγάλες ζημιές και κρίσιμες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Παρατηρούμε πως με το πέρασμα του χρόνου με την τεχνολογική ανάπτυξη έχει δημιουργηθεί καλύτερη διαχείριση της αντιμετώπισης και πρόγνωσης των πλημμυρικών φαινομένων, με αποτέλεσμα τη μείωση της θνησιμότητας, και την αύξηση της προστασίας του περιβάλλοντος και των περιουσιών, όμως, αυτός ο αγώνας είναι ακόμα συνεχής και διαρκής. (Βλ. Εικόνα 1).



Εικόνα 1: Πηγή: <https://ourworldindata.org/explorers/natural-disasters>

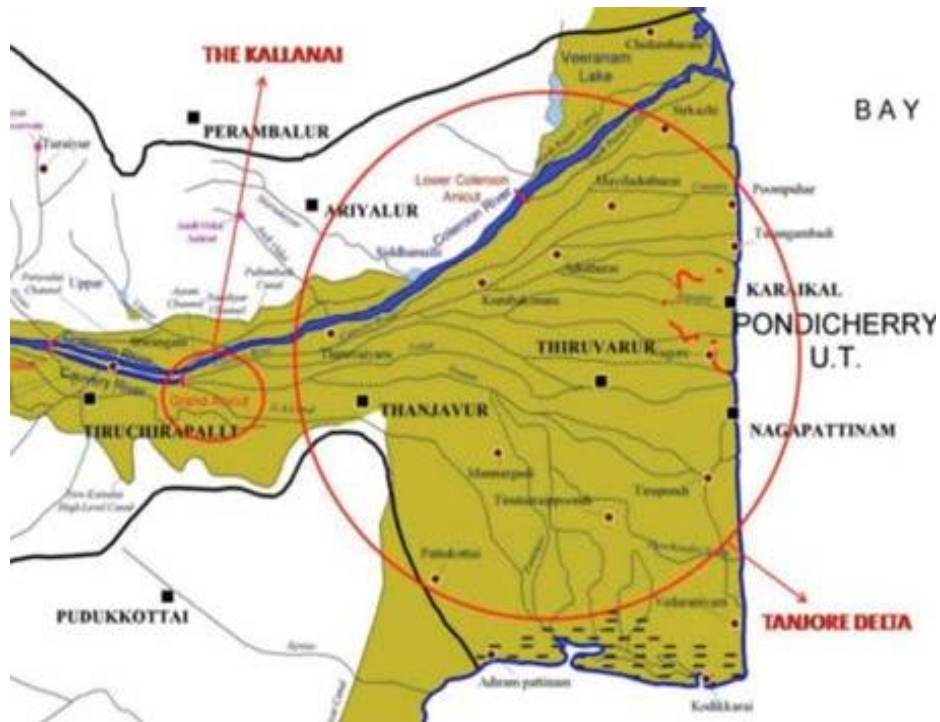
2 Ιστορική Αναδρομή Αντιπλημμυρικών έργων

Στην παρούσα ανάλυση εξετάζουμε ορισμένα αντιπλημμυρικά και αποστραγγιστικά έργα της αρχαιότητας, τα οποία συνέβαλαν στην προστασία, ύδρευση και άρδευση αρχαίων κοινωνιών.

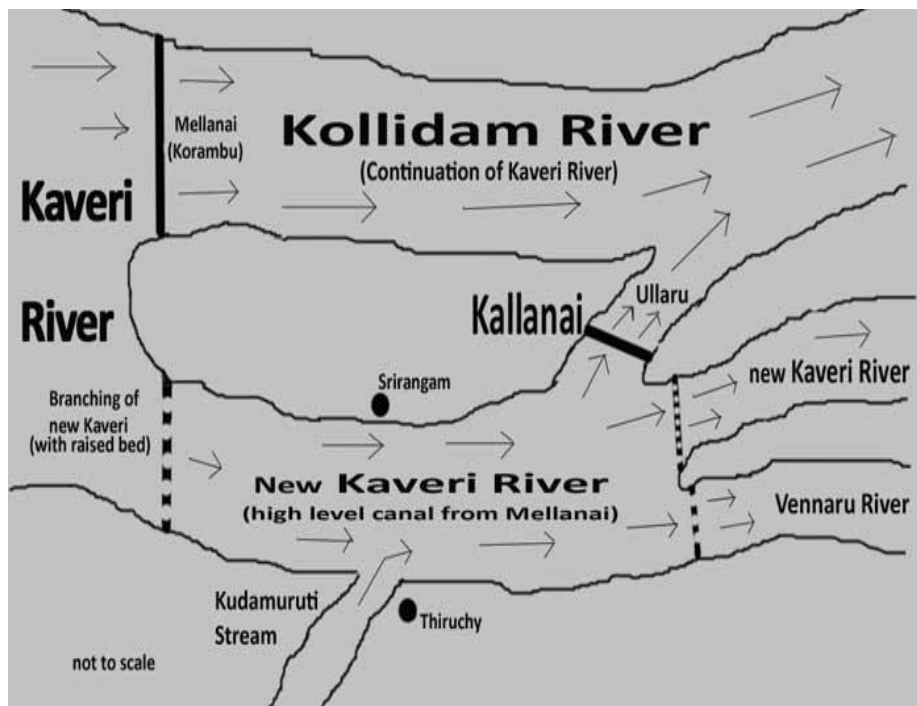
Στο εν λόγω κεφάλαιο, η έρευνα εστιάζεται στην ανάλυση των αντιπλημμυρικών έργων σε παγκόσμια κλίμακα. Η μελέτη ιστορικών συμβάντων, όπως αναφέρεται στην παραπομπή του Ringring et al. (2015), υπογραμμίζει τη σημασία της ιστορικής γνώσης στην επίτευξη βελτιωμένων αποτελεσμάτων στην κατασκευή και διαχείριση των υδραυλικών έργων, ενισχύοντας την κατανόηση των προκλήσεων και της προσέγγισης των λύσεων σε διάφορες γεωγραφικές και ιστορικές συνθήκες. Επιπροσθέτως, η έρευνα επεκτείνεται στη συμβολή των αρχαίων ελληνικών έργων που θεωρείται ουσιαστική στην ανάπτυξη της παγκόσμιας υδραυλικής τεχνολογίας, με τις μεθόδους και τις τεχνικές τους να εξακολουθούν να αποτελούν βάση ακόμα και για σύγχρονες κατασκευές. Η ανάπτυξη μεγάλων αυτοκρατοριών (π.χ., Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία), πέραν των απλών πόλεων-κρατών, υπήρξε καταλυτική για την προώθηση της τεχνογνωσίας (π.χ., της Ελληνικής Αρχαιότητας) σε παγκόσμιο επίπεδο.

2.1. Ινδία

Ένα από τα παλαιότερα υδραυλικά έργα στην Ινδία, το οποίο κατασκευάστηκε από τον βασιλιά Karikala Chola της δυναστείας Chola, μεταξύ του 200 μ.Χ., είναι το φράγμα Kallanai. Το φράγμα, που βρίσκεται στον ποταμό Kaveri, σχεδιάστηκε για την εκτροπή των υδάτων του ποταμού στην εύφορη περιοχή του δέλτα Thanjavur για αρδευτικούς σκοπούς. Με την κατασκευή του, το φράγμα εξασφάλισε την άρδευση ενός εκτεταμένου εδάφους, βελτιώνοντας τη γεωργική παραγωγή και συμβάλλοντας στην οικονομική ανάπτυξη της περιοχής. Η επιβλητική δομή του φράγματος Kallanai, με μήκος 329 μέτρων, πλάτος 20 μέτρων, και ύψος 5.4 μέτρων, αντανakλά την εξαιρετική μηχανική δεξιότητα της εποχής και αποτελεί ένα επιβλητικό παράδειγμα αρχαίας υδραυλικής μηχανικής. Το φράγμα αποτέλεσε ένα ορόσημο στην ιστορία της υδραυλικής τεχνολογίας, καθώς συνεχίζει να λειτουργεί μέχρι και σήμερα, αποδεικνύοντας την ανθεκτικότητά και υψηλής τεχνικής και κατασκευής του.



Εικόνα 2: Τοποθεσία φράγματος. Πηγή: https://icid-ciid.org/award/his_details/152 (Ανακτήθηκε στις 11-12-2023).



Εικόνα 3: Η χωροθέτηση του φράγματος Kallanai. Πηγή: <http://www.thanjavurtourism.com/kallanai-dam.html>. (Ανακτήθηκε στις 12-12-2023).

Στον 19ο αιώνα, ο Arthur Cotton, ένας Βρετανός στρατηγός και μηχανικός άρδευσης, πραγματοποίησε σημαντικές βελτιώσεις στο φράγμα Kallanai, ενισχύοντας τις δυνατότητές του και επεκτείνοντας τη λειτουργικότητά του.

Το φράγμα, αποτελεί ένα από τα παλαιότερα υδραυλικά έργα στον κόσμο, που διατηρείται και λειτουργεί έως και σήμερα, ως ένα αξιοσημείωτο επίτευγμα της μηχανικής, όχι μόνο για την ιστορική του σημασία, αλλά και για την τεχνική του κατασκευή. Τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά του φράγματος, όπως το καμπύλο σχήμα της τοιχοποιίας και η κεκλιμένη κορυφογραμμή, ενσωματώνουν καινοτόμες ιδέες της εποχής, που εξακολουθούν να είναι αποτελεσματικές μέχρι σήμερα.

Η δομή του φράγματος αντικατοπτρίζει μια βαθιά κατανόηση των υδρολογικών διεργασιών και της δυναμικής των υδάτινων ρευμάτων, αποδεικνύοντας την αριστοτεχνία των αρχαίων μηχανικών που σχεδίασαν και κατασκεύασαν το φράγμα. (Journals of India).

Εικόνα 5: Το φράγμα Kallanai. Πηγή: <http://www.thanjavurtourism.com/kallanai-dam.html>
(Ανακτήθηκε στις 1



3-12-2023).

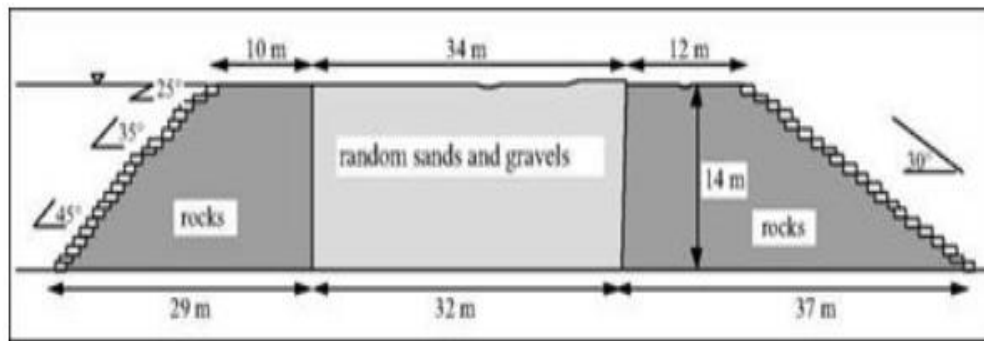
2.2. Αίγυπτος

Σε αυτή την ενότητα, εξετάζεται η σχέση του ποταμού Νείλου με την ιστορία και την κοινωνία της αρχαίας Αιγύπτου. Ο Νείλος, έχοντας μήκος 6550 χιλιομέτρων, αποτελεί τον μεγαλύτερο ποταμό στον κόσμο και έχει διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στην επιβίωση και την ανάπτυξη του αιγυπτιακού πληθυσμού. Οι περιοδικές πλημμύρες του ποταμού προσέφεραν θρεπτικά συστατικά στη γη, επηρεάζοντας σημαντικά τη γεωργία και την καθημερινή ζωή των ανθρώπων. Όμως, χρονιές ξηρασίας οδηγούσαν σε λιμούς, αναδεικνύοντας την εξάρτηση της κοινωνίας από τον ποταμό. Η συμβολική σημασία των πλημμυρών του Νείλου αποτυπώνεται

στην αιγυπτιακή μυθολογία και την ετήσια γιορτή Waffa El Nil, η οποία συνέχισε μέχρι την εποχή της ισλαμικής κυριαρχίας στην Αίγυπτο.

Από το 4000 έως το 3100 π.Χ., στην περιοχή του Δέλτα, αναπτύχθηκαν τεχνητά κανάλια και φράγματα, με τεχνολογία παρόμοια με τη Σουμεριακή. Η γεωγραφική εγγύτητα επέτρεψε τη διάδοση αυτών των τεχνολογιών σε Κρήτη, Κύπρο και Συρία (Viessman et al. 1989). Μεταξύ 3000 και 2686 π.Χ., κατασκευάστηκαν πύλες για την επιβράδυνση των πλημμυρών, ενώ αργότερα αναπτύχθηκαν πιο πολύπλοκα συστήματα άρδευσης και αποστράγγισης. Η δημιουργία τεχνητών αναχωμάτων και η διεύρυνση των φυσικών καναλιών υπερχειλίσης συνέβαλε στην αποτελεσματική διαχείριση των νερών του Νείλου (Tvedt, 2021).

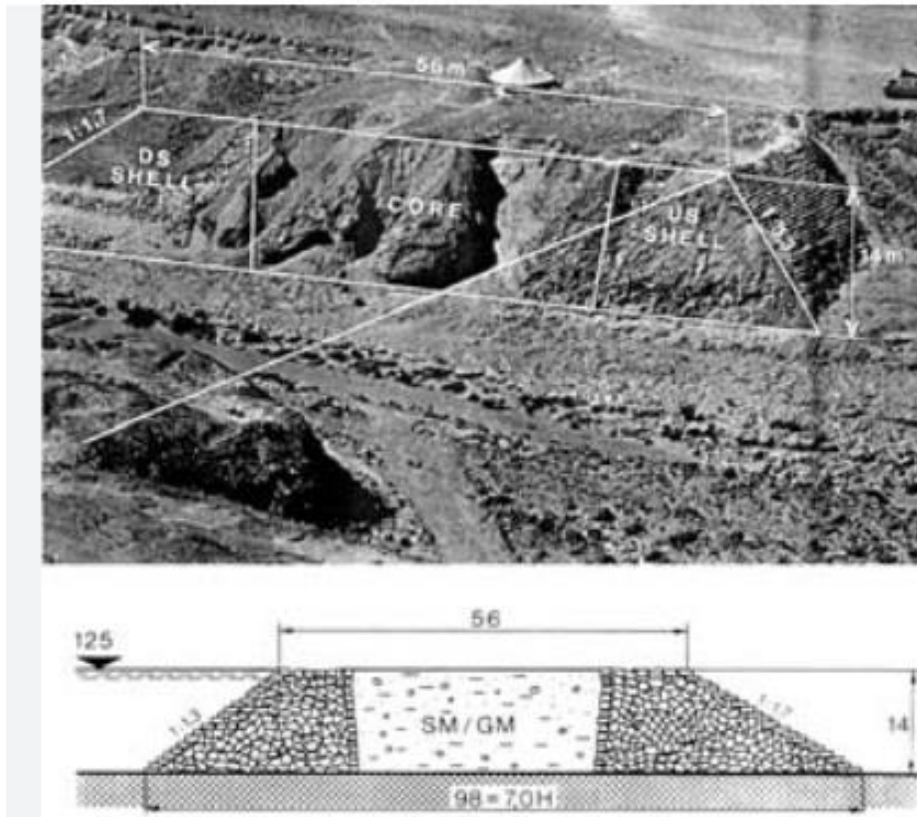
Το φράγμα Sadd Al-Kafara, κατασκευάστηκε με σκοπό να συγκρατεί το νερό από τις ισχυρές πλημμύρες και να παρέχει νερό στους εργάτες και τα ζώα στα κοντινά λατομεία. Παρά τη σημασία του, το φράγμα δεν έχει μελετηθεί επαρκώς και συχνά αγνοείται από τουριστικά πρακτορεία και ειδικούς στην αρχαιολογία της Αιγύπτου.



Εικόνα 6: Διατομή της δομής του φράγματος Sadd el Kalara. Τα εξωτερικά τετράγωνα σχηματίζουν περίπου 30 σκαλοπάτια.



Εικόνα 7: Υπολείμματα του φράγματος Sadd el Kafara (περίπου 2600 π.Χ.). στη δεξιά όχθη του Wadi Garawi, ένα από τα παλαιότερα γνωστά μεγάλα φράγματα στην ιστορία.



Εικόνα 8: Γραφήματα από το φράγμα Sadd-Elkafara. Πηγή από τις εικόνες: <http://boulderlibrary.net/water-engineering-in-ancient-civilizations-5-000-years-of-history/sadd-el-kafara11-the-first-known-large-dam-and-the-story-of-its-failure.html>

Η τεχνική των αρχαίων Αιγυπτίων για τον έλεγχο των πλημμυρών του Νείλου βασίζονταν στη δημιουργία καναλιών κατά μήκος των όχθων του ποταμού. Τα φράγματα χρησιμοποιούνταν για να ρυθμίζουν τη ροή του νερού στα κανάλια. Παρά την ανάπτυξη των υδραυλικών τεχνολογιών, η απουσία πλημμυρών για περίπου τριάντα χρόνια οδήγησε στην πτώση του βασιλείου. Ένα νέο βασίλειο που αναδύθηκε, μεταξύ 1550 και 1292 π.Χ., και υιοθέτησε προηγμένες τεχνολογίες για την αντιμετώπιση τόσο των πλημμυρών όσο και των περιόδων ξηρασίας.

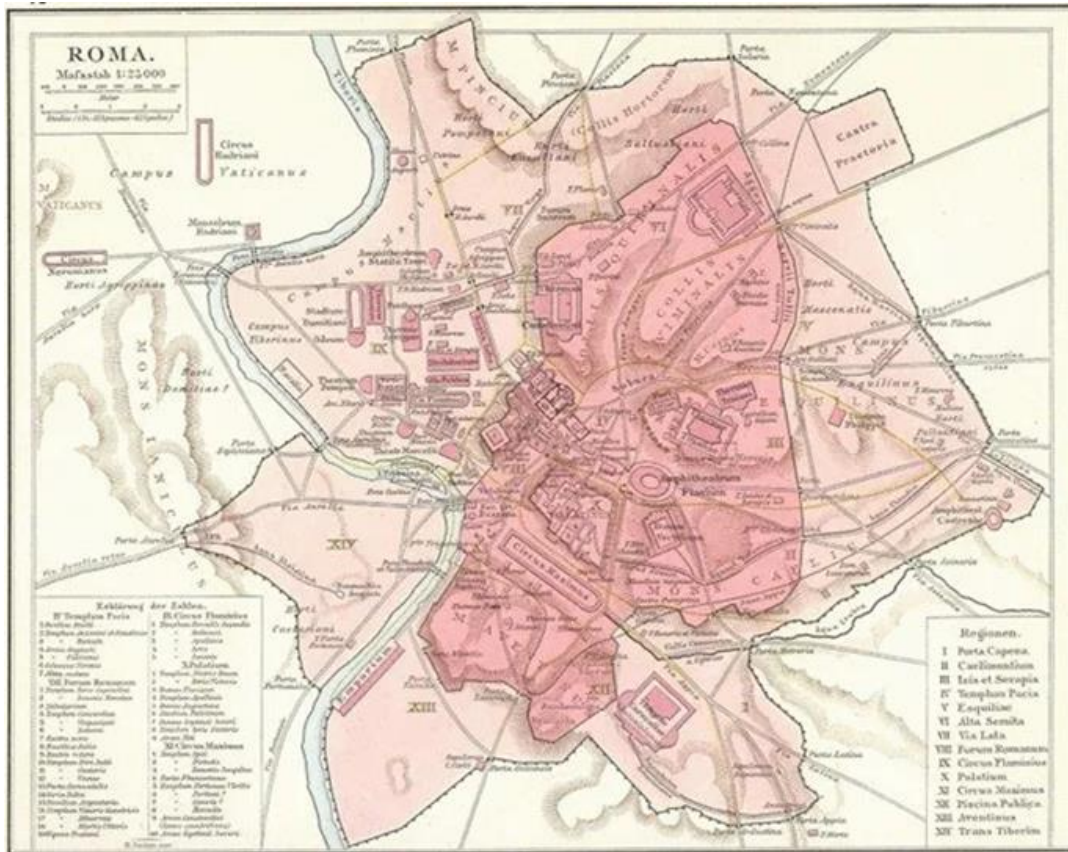
Ως παράδειγμα σχετικά με την επίδραση των αντιπλημμυρικών έργων σε διάφορα σημεία ενός ποταμού, αναφέρεται το φράγμα της Αναγέννησης της Αιθιοπίας, ξεκινώντας την κατασκευή του το 2011. Το φράγμα, με εντυπωσιακές διαστάσεις και υδροηλεκτρική δυναμικότητα, προκάλεσε αντιπαραθέσεις λόγω των ανησυχιών για την επιρροή του στη ροή νερού προς το Σουδάν και την Αίγυπτο (Britannica). Η επαναδρομολόγηση του Γαλάζιου Νείλου το 2013 ήταν σημαντική για την κατασκευή του φράγματος, αναδεικνύοντας την περίπλοκη διαχείριση των υδάτινων πόρων σε διασυνοριακά περιβάλλοντα.



Εικόνα 9: Φράγμα της Αιθιοπίας. Πηγή: <https://www.cnn.gr/a/neilos-fragma/> (Ανακτήθηκε στις 13-12-2023).

2.3. Αρχαία Ρώμη (753 π.Χ. – 509 μ.Χ.)

Η αρχαία Ρώμη, αρχικά ιταλικός οικισμός του 8ου αιώνα π.Χ., που αποτέλεσε το επίκεντρο ενός εκτεταμένου πολιτισμού στη Μεσόγειο. Εξελίχθηκε μία από τις μεγαλύτερες αυτοκρατορίες του αρχαίου κόσμου, με πληθυσμό περίπου 50-90 εκατομμύρια κατοίκους, περίπου το 23% του παγκόσμιου πληθυσμού εκείνης της εποχής, και καταλαμβάνοντας έκταση 6.5 εκατομμύρια τετραγωνικά χιλιόμετρα κατά τους 1ο και 2ο αιώνα μ.Χ.



Εικόνα 10: Χάρτης της Ρώμης. Πηγή: <https://www.vapar.co/cloaca-maxima/>. (Ανακτήθηκε στις 14-12-2023).

Η Ρώμη, ενσωματώνοντας τον ελληνικό χώρο και τις τεχνολογικές του προόδους, αναδείχθηκε σε σημαντικό κέντρο αυτοκρατορίας. Ο ποταμός Τίβερης αποτελούσε κεντρικό γεωγραφικό στοιχείο, με το Cloaca Maxima να αποτελεί βασικό σύστημα αποστράγγισης που κατεύθυνε τα νερά βροχής στον ποταμό (Aldrete, 2006). Αυτό το σύστημα, δημιουργημένο αρχικά ως ανοιχτό κανάλι τον 6ο αιώνα π.Χ., κατέληξε να καλυφθεί με πέτρινο ημικύκλιο τον τρίτο αιώνα (Britannica, 2023). Επιπλέον, η Petronia Anpis και άλλα έργα στη Ρώμη, μαζί με τα υψωμένα αναχώματα στον Τίβερη, ήταν σημαντικά για την αποστράγγιση και αποχέτευση της πόλης (Aldrete, 2006).



Εικόνα 11: Cloaca Maxima, Ρώμη. Πηγή: <https://daily.jstor.org/venus-of-the-sewers/>.
(Ανακτήθηκε στις 14-12-2023)

Η ιστορία των πλημμυρών στη Ρώμη ανιχνεύεται από τις μυθικές αρχές της πόλης, όπου ο Ρωμύλος αποφάσισε να χτίσει την πόλη στην κορυφή του Παλατινού λόφου. Η πόλη επεκτάθηκε σε επτά λόφους, που προστατεύονταν από τις πλημμύρες του ποταμού Τίβερη.

Η πόλη, λόγω της γεωγραφικής της θέσης, ήταν ασφαλής από επιθέσεις εχθρών και ταυτόχρονα συνδεδεμένη με τον έξω κόσμο. Οι πλημμυρικές πεδιάδες, κατά την αρχαιότητα, φαίνεται να μην είχαν χρησιμοποιηθεί για κατοικίες, αλλά για γεωργία ή εμπόριο (Di Baldassarre et al, 2017).

Ο ποταμός Τίβερης μετασχηματίστηκε μέσω μηχανολογικών έργων από τον 6ο αιώνα π.Χ., με κανάλια που εκτρέπουν τη ροή των ρεμάτων στον ποταμό (Hopkins, 2007). Το Cloaca Maxima ήταν κύριο αποχετευτικό σύστημα της Ρώμης, διασχίζοντας τη Ρωμαϊκή Αγορά και αποστραγγίζοντας τα νερά στον Τίβερη. Παρά την αποτελεσματικότητά του, σε περιόδους πλημμυρών με υψηλό επίπεδο νερού, πάνω από 15,7 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, το νερό επέστρεφε στην πόλη. Τα αποχετευτικά συστήματα της Ρώμης, παρά τα ελαττώματά τους, αποτελούσαν μία σημαντική προσπάθεια για τον έλεγχο των πλημμυρών.

Η αντιμετώπιση των πλημμυρών στην αρχαία Ρώμη ήταν ένα σύνθετο ζήτημα που απαιτούσε τεχνική κατανόηση και προσεκτικό σχεδιασμό. Παρόλο που τα αποχετευτικά συστήματα όπως το Cloaca Maxima αποτελούσαν μία καινοτόμο προσπάθεια για τη διαχείριση των πλημμυρικών νερών, η πολυπλοκότητα της υδρολογίας της περιοχής ήταν μια συνεχής πρόκληση (Hopkins, 2007). Οι πλημμυρικές πεδιάδες του ποταμού Τίβερη και η διαρκής ανάγκη για αποτελεσματική αποστράγγιση και προστασία από τις υπερχειλίσεις του νερού αποτελούσαν κύριες προκλήσεις στον σχεδιασμό των μηχανολογικών έργων της εποχής.

Η Ρώμη χρησιμοποιούσε πολλαπλά μέτρα για την πρόληψη πλημμυρών. Πέραν του Cloaca Maxima, η φυσική ανύψωση του εδάφους μετά από πλημμύρες αύξησε το υψόμετρο της

πόλης, ενισχύοντας την αντοχή της σε μελλοντικές πλημμύρες. Συχνά, υιοθετούνταν προσπάθειες ανύψωσης του υψομέτρου σε συγκεκριμένες περιοχές, όπως στη Ρωμαϊκή Αγορά. Αναχώματα κατασκευάζονταν γύρω από τον Τίβερη, ενώ υπήρχαν σχέδια για εκτροπή και απορροή του ποταμού μέσω καναλιών και φραγμάτων (Aldrete, 2007). Ο Marcus Vipsanius Agrippa, επιμελητής των ρωμαϊκών έργων, εργάστηκε για την καθαριότητα της κοίτης του ποταμού και τη βελτίωση των συνθηκών στο Cloaca Maxima.

Οι καταγεγραμμένες πλημμύρες στην αρχαία Ρώμη, περίπου 33 καταγεγραμμένες πλημμύρες, αποκαλύπτουν πώς οι Ρωμαίοι διαχειρίστηκαν τις υδάτινες απειλές. (Aldrete, 2007). Παρά την έλλειψη λεπτομερών πληροφοριών για τις ζημιές, φαίνεται ότι η προσέγγισή τους ήταν οργανωμένη και αποτελεσματική. Οι δημόσιες και ιδιωτικές κατασκευές ήταν στρατηγικά τοποθετημένες, με τα εμπορικά και ψυχαγωγικά κτίρια να βρίσκονται στις πλημμυρικές πεδιάδες, ενώ οι ιδιωτικές κατοικίες ήταν χτισμένες στους λόφους. Το Cloaca Maxima, μαζί με άλλα έργα, έπαιξε κρίσιμο ρόλο στη διαχείριση των υδάτων, διασφαλίζοντας ότι οι ζημιές από πλημμύρες ήταν ελεγχόμενες και γρήγορα επισκευάσιμες (Aldrete, 2007).

Μελλοντικές προοπτικές για τον έλεγχο των πλημμυρών στον ποταμό Τίβερη

Οι αρχαίοι Ρωμαίοι κατόρθωσαν να αναπτύξουν αποτελεσματικά αντιπλημμυρικά έργα για την προστασία της Ρώμης από τις πλημμύρες του ποταμού Τίβερη. Η χρήση αναχωμάτων και καναλιών αποδείχθηκε αποτελεσματική στο να εμποδίσει το νερό να εισέλθει στους δρόμους της πόλης. Τα έργα αυτά επέτρεψαν στην πόλη να εστιάσει στη βελτίωση των υφιστάμενων μέτρων ελέγχου των πλημμυρών. Ωστόσο, η παραμέληση της περιοχής γύρω από τον Τίβερη αποτελεί ένα δυνητικό κίνδυνο για το μέλλον. Έχουν γίνει προσπάθειες να αντιμετωπιστεί αυτή η παραμέληση μέσω έργων που ενσωματώνουν το ποταμιαίο μέτωπο στη δημόσια ζωή της πόλης, συνδυάζοντας την επαρκή συντήρηση του ποταμού με αυτά τα έργα (Rankin, 2015). Παρόλο που ορισμένα έργα έχουν προχωρήσει πέρα από τη φάση σχεδιασμού, κανένα δεν φαίνεται να έχει επιτύχει την αναμενόμενη επιτυχία, με την όχθη του Τίβερη να παραμένει μια ανεξερεύνητη περιοχή στο κέντρο της πόλης.

2.4. Σουμέριοι

Οι Σουμέριοι, που έζησαν στη Μεσοποταμία μεταξύ 6000 και 4000 π.Χ., αναπτύχθηκαν σε μια πολιτισμική κορυφή από το 3000 έως το 1500 π.Χ. Αντιλήφθηκαν τη δημιουργία φυσικών αναχωμάτων από τις πλημμύρες των ποταμών και αντιγράφοντας αυτή τη φυσική διαδικασία, ανέπτυξαν τεχνητούς τύμβους για την προστασία τους από τις πλημμυρικές υδάτινες μάζες. Εντυπωσιακό δείγμα της υδραυλικής τους τεχνολογίας αποτελεί η διώρυγα του Ναχρουάν, η οποία εκτείνεται για 320 χιλιόμετρα με πλάτος 120 μέτρων. Αυτή η διώρυγα διασπούσε το νερό σε πληθώρα μικρότερων καναλιών, εξασφαλίζοντας την κατανομή του υδάτινου πόρου σε ευρύτερη γεωγραφική επιφάνεια, επιτρέποντας την ευρύτερη υδρολογική διαχείριση της περιοχής (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999).

Η διώρυγα του Ναχρουάν είναι ένα έργο που υπογραμμίζει την εξαιρετική κατανόηση των Σουμερίων για τη διαχείριση του νερού. Μέσω αυτού του έργου, οι Σουμέριοι αναπτύσσουν ένα πολύπλοκο σύστημα για την αποτροπή πλημμυρών και την κατανομή του νερού για αρδευτικούς σκοπούς. Το σύστημα αυτό επιτρέπει την αποδοτική διαχείριση των υδάτινων πόρων σε μια περιοχή με περιορισμένη βροχόπτωση, βελτιώνοντας τη γεωργική παραγωγή και συμβάλλοντας στην ευημερία και την ανάπτυξη του πολιτισμού τους. Η εφευρετικότητα και η τεχνολογική πρόοδος των Σουμερίων αποτελεί ένα σημαντικό κεφάλαιο στην ιστορία της

ανθρωπότητας, καθώς διαμόρφωσαν τη βάση για πολλές μετέπειτα αναπτύξεις στην υδραυλική μηχανική.

2.5. Ινδονησία

Το σύστημα Subak στο νησί Μπαλί της Ινδονησίας αντιπροσωπεύει μια πρωτοποριακή και οικολογικά φιλική μέθοδο διαχείρισης του νερού στους ορυζώνες. Εμπνευσμένο από την ιδέα της ισορροπίας μεταξύ του πνευματικού, του ανθρώπινου και του φυσικού κόσμου, το σύστημα αυτό ενσωματώνει θρησκευτικές και πολιτιστικές αξίες στην άρδευση. Οι ναοί του νερού συνδέουν τις κοινότητες με τη γη και το νερό, ενισχύοντας τη συνεργασία και την αμοιβαία εξάρτηση. Αυτή η αρχαία μέθοδος, που χρησιμοποιείται από τον 9ο αιώνα, υπογραμμίζει τη σημασία της βιώσιμης διαχείρισης του νερού και της διατήρησης των φυσικών πόρων.

Το Subak στην Ινδονησία αποτελεί ένα εξαιρετικό παράδειγμα ολοκληρωμένης διαχείρισης υδατικών, υδραυλικών και περιβαλλοντικών πόρων, όπου η παραδοσιακή γνώση συναντά τις σύγχρονες ανάγκες. Αυτό το σύστημα διαχείρισης νερού συνδυάζει με επιτυχία την άρδευση, τη συντήρηση του φυσικού περιβάλλοντος και την πνευματική συνειδητοποίηση. Οι πρακτικές της Subak συντελούν στη διατήρηση του υδατικού κύκλου, ενώ παράλληλα ενισχύουν την κοινωνική συνοχή και την πνευματική ενότητα. Η εφαρμογή του Subak αντικατοπτρίζει μια βαθιά κατανόηση της αλληλεξάρτησης ανάμεσα στον άνθρωπο και τη φύση, διδάσκοντας πολύτιμα μαθήματα για τη βιωσιμότητα και την οικολογική ισορροπία.

Για την περισσότερη σε βάθος γνώση σχετικά με το σύστημα Subak στην Ινδονησία και τη σχέση του με την παραδοσιακή και οικολογική διαχείριση του νερού, ένα σημαντικό έργο που μπορεί να ανατρέξει κανείς είναι το βιβλίο της Henrike Jansen, "Subak - Το παραδοσιακό σύστημα διαχείρισης νερού στην Ινδονησία: Ένα σύμβολο πολιτιστικής και πνευματικής αρμονίας" (Jansen, H. (2018). Subak: The traditional water management system in Indonesia: A symbol of cultural and spiritual harmony. Jakarta, Indonesia: LIPI Press.). Το βιβλίο αυτό αναλύει λεπτομερώς τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος, τις πολιτιστικές του ρίζες και τη συμβολή του στην οικολογική βιωσιμότητα.



Εικόνα 12: Το Subak, αποτελεί ένα αποτελεσματικό σύστημα διαχείρισης νερού, αλλά και συμβάλλει και στην ενίσχυση της κοινωνικής δομής και της πολιτιστικής ταυτότητας των κοινοτήτων του Μπαλί.
Πηγή:https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Rice_terraces_in_Jatiluwi,Tabanan_Regency,_Bali,_Indonesia.jpg

2.6. Κίνα

Η Κίνα, με τον πολιτισμό της να εξαρτάται από τους ποταμούς Γιανγκτσέ και Κίτρινο Ποταμό, έχει μακρά ιστορία στη διαχείριση πλημμυρών. Ο Κίτρινος Ποταμός, με το χαρακτηριστικό του κίτρινο χρώμα λόγω της ασβεστώδους λάσπης, είναι το δεύτερο μεγαλύτερο ποτάμι της Κίνας και το έβδομο στον κόσμο. Η ανάγκη για γεωργικό νερό δίπλα στους ποταμούς έφερε και τον κίνδυνο των πλημμυρών, κάτι που ανάγκασε τις κινεζικές κοινωνίες να αναπτύξουν στρατηγικές για την αντιμετώπισή τους από πολύ νωρίς στην ιστορία τους.

Η διαχείριση των ποτάμιων πλημμυρών στην Κίνα, ειδικά στον Κίτρινο Ποταμό, έχει αναγνωριστεί ως κρίσιμη για την ανάπτυξη και την ευημερία της κινεζικής κοινωνίας. Μέσω της ιστορίας τους, οι Κινέζοι αντιμετώπισαν προκλήσεις που επέφεραν οι πλημμύρες, όπως η εναπόθεση ιζημάτων και η περιοδική ανάγκη για επιδιορθώσεις και ανασκαφές. Η ανάγκη για ελεγχόμενη χρήση του νερού και προστασία από τις πλημμύρες έχει διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της υδραυλικής τεχνολογίας και στην κατασκευή μεγάλων υδραυλικών έργων, όπως φραγμάτων και διωρύγων, για τη διαχείριση των υδάτινων πόρων τους.

Στην Κίνα, η διαχείριση των ποτάμιων πλημμυρών έχει μακρά ιστορία, με την περίπτωση του Κίτρινου Ποταμού να αποτελεί παραδειγματική. Ο Da Yu του Μεγάλου, θρυλικός ηγέτης της αρχαίας Κίνας, αναγνωρίστηκε για τις προσπάθειές του να διαχειριστεί τις πλημμύρες του Κίτρινου Ποταμού μέσω της ανακατεύθυνσης της ροής του νερού προς την Ανατολική Θάλασσα της Κίνας. Αυτή η προσέγγιση αντικατόπτριζε μια αλλαγή στην τακτική από την κατασκευή φραγμάτων και αναχωμάτων στην ενεργητική διαχείριση της ροής του νερού. Το επίτευγμα αυτό του Da Yu τον ανέδειξε σε μορφή ηγεσίας, οδηγώντας τον στον θρόνο της Xia Δυναστείας, της πρώτης δυναστείας της Κίνας.

Οι αρχαίοι Κινέζοι είχαν κατανοήσει τη σημασία του ελέγχου της ροής του νερού και της διαχείρισης των πλημμυρών για την επιβίωση και ανάπτυξή τους. Η στρατηγική του Da Yu συνέβαλε στη μείωση των καταστροφών από πλημμύρες και στην ασφάλεια των ανθρώπων, διασφαλίζοντας έτσι την ομαλή γεωργική ανάπτυξη και τη σταθερότητα της κοινωνίας. Η ιστορία του Da Yu αποτελεί παράδειγμα της πρόωμης αντίληψης των Κινέζων για τη σημασία της ολοκληρωμένης διαχείρισης υδάτινων πόρων και του ελέγχου των πλημμυρών, η οποία διαμορφώνει τις σύγχρονες πρακτικές μέχρι και σήμερα.

Η δημιουργία της αυτοκρατορίας Qin στην Κίνα επέφερε σημαντικές αλλαγές στη διαχείριση των πλημμυρών. Ενώ πριν την ενοποίηση, τα κράτη διαχειρίζονταν ανεξάρτητα τις πλημμυρικές περιοχές, η νέα αυτοκρατορία συνέδεσε τα αναχώματα σε ένα ενιαίο και λειτουργικό σύστημα. Αυτός ο ενοποιημένος προσεγγιστικός τρόπος έβαλε τέλος στον κατακερματισμό των προσπαθειών και αύξησε την αποτελεσματικότητα της διαχείρισης των πλημμυρών, διασφαλίζοντας μια πιο συντονισμένη προσπάθεια στον έλεγχο του νερού και την πρόληψη των πλημμυρών.

Η ενοποίηση υπό την αυτοκρατορία Qin επέτρεψε την ανάπτυξη ενός πιο ολοκληρωμένου και αποτελεσματικού συστήματος διαχείρισης των πλημμυρών στον Κίτρινο Ποταμό. Η ενοποιημένη προσέγγιση στη διαχείριση του νερού και την πρόληψη πλημμυρών συνέβαλε στην καλύτερη προστασία των γεωργικών πεδίων και των κατοικημένων περιοχών κατά μήκος του ποταμού. Τα αναχώματα και τα φράγματα, που τώρα συνδέονταν σε ένα συνεκτικό δίκτυο, επέτρεψαν την καλύτερη ρύθμιση των πλημμυρών και μείωσαν τον κίνδυνο καταστροφικών πλημμυρών που είχαν παρατηρηθεί στο παρελθόν.

Αυτό το συντονισμένο σύστημα αναχωμάτων και φραγμάτων στον Κίτρινο Ποταμό ενίσχυσε την ικανότητα της κινεζικής κοινωνίας να ελέγχει και να διαχειρίζεται τις πλημμύρες. Μέσα από αυτή τη διαχείριση, η Κίνα κατάφερε να μετατρέψει τις πλημμυρικές περιοχές σε γόνιμα γεωργικά εδάφη, αυξάνοντας την παραγωγή και την ευημερία των περιοχών που εξαρτώνταν από τον ποταμό. Η καλύτερη διαχείριση του Κίτρινου Ποταμού έδωσε επίσης τη δυνατότητα στους ανθρώπους να αναπτύξουν πιο προηγμένες γεωργικές τεχνικές, αντανakλώντας την εξέλιξη του κινεζικού πολιτισμού στο πέρασμα των αιώνων.



Εικόνα 13: The Yellow River. Πηγή:<https://www.thoughtco.com/yellow-river-in-chinas-history-195222> (Ανακτήθηκε στις 14-12-2023).

Κατά το τέλος της δυναστείας των Χαν, ένα αξιοσημείωτο έργο που αξίζει να αναφερθεί είναι το ομώνυμο κανάλι Zheng Guo στην Κίνα. Ο υδραυλικός μηχανικός Zheng Guo κατασκεύασε το ομώνυμο κανάλι, στην επαρχία Shaanxi, περί το τέλος της δυναστείας των Χαν, κατά την περίοδο 156-87 π.Χ. Αυτό το διάστημα σημαδεύτηκε από την επέκταση της άρδευσης και την εξελιγμένη διαχείριση των πλημμυρών, καθώς και την ανάδυση μιας σειράς από ειδικούς στην υδραυλική μηχανικούς, οι οποίοι ανέλαβαν την κατασκευή επιπλέον καναλιών όπως τα Cao, Longshou, Liuru και Bai (Pingping, 2015).

Η κατασκευή του Zhengguo καναλιού ήταν μία σημαντική ανάπτυξη για την εποχή και έθεσε τα οικονομικά θεμέλια για την άνοδο του Βασιλείου Τσιν και την ενοποίηση της αρχαίας Κίνας. Σε συνδυασμό με άλλα μεγάλα έργα όπως το σύστημα άρδευσης Dujiangyan και το κανάλι Lingqu, το Zhengguo κανάλι αποτελεί ένα από τα τρία κύρια έργα εξοικονόμησης νερού που χρονολογούνται πριν από την εποχή της δυναστείας Qin. Αυτή η υδραυλική υποδομή έχει λειτουργήσει αποτελεσματικά για περισσότερα από δύο χιλιάδες χρόνια, αποδεικνύοντας τη σημασία της στην αρχαία Κινεζική κοινωνία.

Το κανάλι Zhengguo, που διοχετεύει το νερό από τον ποταμό Jing προς την ανατολική κατεύθυνση, αποτελεί ένα έργο που ξεχωρίζει για την εποχή του. Κατά την αρχική του κατασκευή, το κύριο κανάλι ακολουθούσε τη γραμμή περιγράμματος της πεδιάδας Weibei, διασχίζοντας πολλά φυσικά ποτάμια και τελικά συνδεόταν με τον ποταμό Luo. Το κανάλι έφτανε τα 126 χιλιόμετρα σε μήκος και εξυπηρετούσε μια καλλιεργήσιμη έκταση περίπου 77.000 εκταρίων. Κατά τη διάρκεια των επόμενων δυναστειών, η διώρυγα και το αντίστοιχο αρδευτικό σύστημα υπέστησαν πολλαπλές προσαρμογές, προκαλώντας μείωση στην αρδευτική περιοχή.

Το 1932, το κανάλι Zhengguo υπέστη σημαντική αποκατάσταση (Zhang 2018). Ένας κόμβος εκτροπής νερού με φράγμα κατασκευάστηκε στο ανάντη της αρχικής εισαγωγής του καναλιού, οδηγώντας στη μετονομασία του σε Jinghui, που σημαίνει "τα οφέλη του ποταμού Jing". Στις μέρες μας, η αρδευτική του περιοχή εκτείνεται ανατολικά του ποταμού Jing και δυτικά του ποταμού Shichuan, καλύπτοντας 48 κωμοπόλεις σε έξι περιοχές και κομητείες, με συνολική έκταση 1.180 km² και αρδευόμενη περιοχή 97.000 εκταρίων.

Το 2016, το σύστημα άρδευσης του καναλιού Zhengguo αναγνωρίστηκε ως αρδευτική δομή παγκόσμιας κληρονομιάς από τη Διεθνή Επιτροπή για την άρδευση και την αποστράγγιση, αναδεικνύοντας την ιστορική και τεχνική του σημασία (UNESCO World Heritage Centre, 2016). Το κανάλι αυτό αποτελεί ένα έργο που συνδυάζει την αρχαία κινεζική μηχανική με τη σύγχρονη τεχνολογία, διατηρώντας την αξία του ως κρίσιμο στοιχείο της υδραυλικής υποδομής της Κίνας και παρέχοντας βιώσιμη άρδευση σε μεγάλες γεωργικές περιοχές (Zhang 2018).



Εικόνα 14: Σκίτσο της θέσης του αρχικού καναλιού Zhegguo. Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Zhengguo_Canal#/media/File:Zhengguo_Canal_Map.png

2.7. Αντιπλημμυρικά Έργα στην Ελλάδα

Στον ελληνικό χώρο, η ιστορική ανάπτυξη των αντιπλημμυρικών έργων αντανακλά τη δυναμική των μικρών πολιτειών, καθώς και την επίδραση των γεωγραφικών και πολιτιστικών παραγόντων. Οι ελληνικές πόλεις-κράτη, με τον περιορισμένο τους μέγεθος, αντιμετώπιζαν συγκριτικά μικρότερο κίνδυνο πλημμυρών, επιτρέποντας πιο εύκολη διαχείριση και προστασία. Τα υδραυλικά συστήματα σχεδιάστηκαν για να εξυπηρετούν μικρότερες κοινότητες, με προσαρμοσμένα δίκτυα στις τοπικές ανάγκες και διαστάσεις. Σύμφωνα με την έρευνα των Kalavrouziotis, Koukoulakis & Drakatos (2015), η ελληνική προσέγγιση στην αντιπλημμυρική διαχείριση αποτελεί ένα παράδειγμα ισορροπημένης και διαχειρίσιμης εφαρμογής υδραυλικών τεχνολογιών.

2.7.1 Μινωικός και Μυκηναϊκός Πολιτισμός

Στην αρχαία Ελλάδα, και ειδικότερα στις μινωικές και μυκηναϊκές περιόδους, η διαχείριση των υδάτινων πόρων και η προστασία των αστικών περιοχών από τις πλημμύρες αποτέλεσε κρίσιμη πτυχή της κοινωνικής οργάνωσης. Οι αρχαίοι Έλληνες δημιούργησαν εξελιγμένες μεθόδους και τεχνικές που ήταν πολύ προηγμένες για την εποχή τους, για τη διαχείριση των υδάτινων πόρων, ενσωματώνοντας τεχνικές όπως στέρνες και φράγματα, που έχουν χρονολογηθεί από την προϊστορική εποχή (Angelakis et al., 2016; Koutsoyiannis et al., 2008). Το μοντέλο αυτής της προσέγγισης αποτελεί η επιλογή των Μινωιτών και Μυκηναίων να ιδρύουν πόλεις σε περιοχές με περιορισμένη διαθεσιμότητα νερού, προβάλλοντας την ικανότητά τους να ανταπεξέρχονται σε ξηρά κλίματα και να προστατεύονται από ασθένειες σχετιζόμενες με το νερό (Yannopoulos et al., 2017).

Στην προϊστορική Ελλάδα, η ανάγκη για συστηματική διαχείριση των όμβριων υδάτων ήταν επιτακτική. Η υδραυλική και αρχιτεκτονική λειτουργία των συστημάτων αποχέτευσης στα μινωικά ανάκτορα και οικισμούς αποτελούν ιδιαίτερα αξιοσημείωτα παραδείγματα αρχαίας υδραυλικής καινοτομίας. Οι Μινωίτες κατασκεύασαν προηγμένα συστήματα αποστράγγισης και αποχέτευσης, όπως λουτρά, εγκαταστάσεις υγιεινής και δικτυωτά συστήματα διάθεσης υγρών αποβλήτων και νερών βροχής, τα οποία ήταν τόσο προηγμένα που μπορούν να συγκριθούν με σύγχρονα συστήματα που αναπτύχθηκαν μόλις τον 19ο αιώνα στην Ευρώπη και την Αμερική (Angelakis et al., 2014). Η εφαρμογή των προηγμένων αυτών υδραυλικών και υγειονομικών τεχνικών συνέβαλε σημαντικά στην ανάπτυξη και την ευημερία των μινωικών οικισμών.

Στη μινωική εποχή, η ανάπτυξη υδραυλικών συστημάτων αποτελούσε κρίσιμο στοιχείο της κοινωνικής και αρχιτεκτονικής εξέλιξης. Τα ανάκτορα της Κνωσού, για παράδειγμα, ενσωμάτωσαν συστήματα αποχέτευσης και διαχείρισης νερού, αποδεικνύοντας την υψηλή τεχνολογική κατανόηση των Μινωιτών στην υδραυλική μηχανική. Η αποτελεσματική διαχείριση του νερού ήταν θεμελιώδης για την επιβίωση και ευημερία των μινωικών οικισμών, ιδιαίτερα λόγω των περιορισμένων φυσικών πόρων νερού στην περιοχή (Angelakis et al., 2014).

Στη μυκηναϊκή περίοδο, οι Έλληνες συνέχισαν την παράδοση στην υδραυλική μηχανική, αναπτύσσοντας περαιτέρω τις τεχνικές διαχείρισης των υδάτινων πόρων. Στα μυκηναϊκά ανάκτορα και τις κατοικίες υπήρχαν προηγμένα συστήματα αποχέτευσης και διαχείρισης νερού. Οι Μυκηναίοι είχαν επίσης αναπτύξει τεχνικές αποθήκευσης νερού, όπως στέρνες και υπόγειες δεξαμενές, για να αντιμετωπίσουν την εποχική έλλειψη νερού και τις περιόδους ξηρασίας (Yannopoulos et al., 2017).

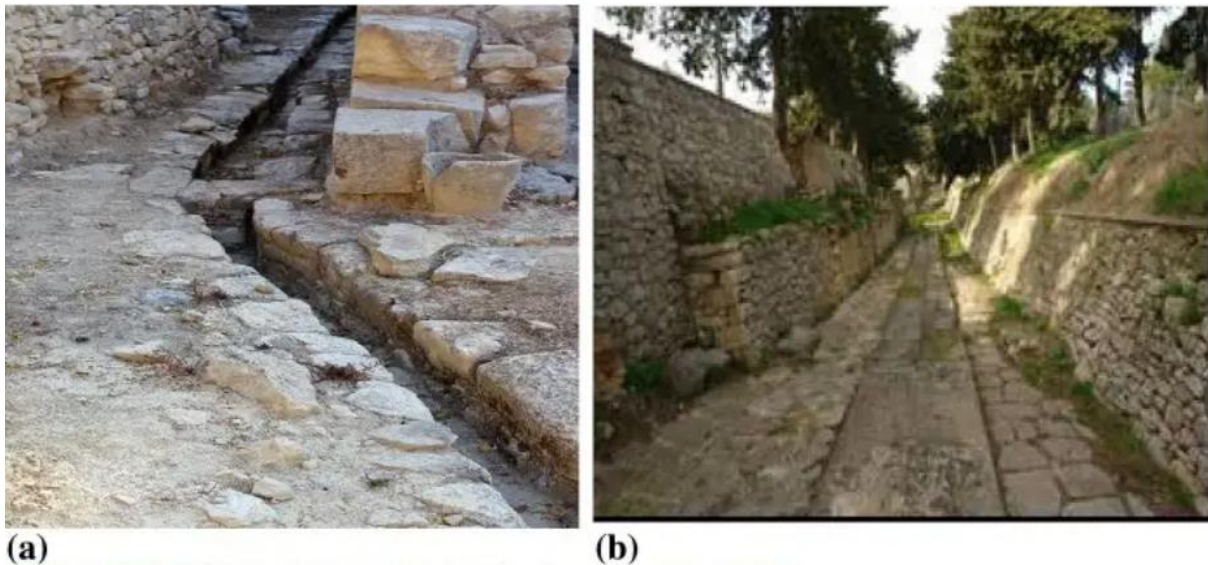
Οι αρχαίοι Έλληνες έδωσαν ιδιαίτερη προσοχή στην αποστράγγιση και την αποχέτευση, κατασκευάζοντας περίπλοκα δίκτυα για τη διαχείριση των όμβριων υδάτων και την αποφυγή πλημμυρών. Αυτή η ικανότητα στη διαχείριση του νερού είναι ένα από τα πολλά παραδείγματα της προηγμένης τεχνολογικής και μηχανικής κληρονομιάς της αρχαίας Ελλάδας, που συνέβαλε στην προάσπιση της ασφάλειας και της ευημερίας των κοινοτήτων της εποχής εκείνης.

Στο μινωικό ανάκτορο της Κνωσού, το σύστημα αποχέτευσης αποτελούσε ένα περίπλοκο δίκτυο, το οποίο εξυπηρετούσε τις ανάγκες υγιεινής και απομάκρυνσης των υδάτων. Τα σχέδια και οι περιγραφές του Evans (1921 – 1935) και των Mac Donalds και Driessen (1988) αποκαλύπτουν την περίπλοκη δομή του συστήματος. Το δίκτυο των αγωγών, που εκτείνεται

σε περισσότερα από 150 μέτρα, είναι σχεδιασμένο για να συλλέγει και να μεταφέρει τα ύδατα από το ανάκτορο και τις περιβάλλουσες περιοχές.

Ειδικότερα, το καλύτερα μελετημένο τμήμα του συστήματος βρίσκεται κάτω από τα κατοικημένα τμήματα του ανακτόρου. Αυτό το τμήμα διαμορφώνει ένα μεγάλο βρόχο, με το υψηλότερο σημείο του να βρίσκεται κάτω από ένα φρεάτιο δίπλα στη μεγάλη σκάλα. Το νερό από το φρεάτιο απορροφούνται και κατευθύνονται μέσω του συνδεδεμένου αγωγού που ακολουθεί την φυσική κλίση του εδάφους, επιτρέποντας την απομάκρυνση των υδάτων από την περιοχή. Το σχεδιασμένο σύστημα υποδεικνύει την προηγμένη κατανόηση των Μινωιτών στη διαχείριση του νερού και την αποχέτευση, παρέχοντας ένα έξοχο παράδειγμα της μηχανικής και αρχιτεκτονικής τους ικανότητας.

Οι μινωικές τεχνικές αποχέτευσης και διαχείρισης νερού ήταν προηγμένες και ποικίλες, όπως φαίνεται από τη συγκριτική μελέτη διαφόρων ανακτόρων και πόλεων της εποχής. Οι μέθοδοι απόρριψης αποβλήτων και διαχείρισης των όμβριων υδάτων ήταν παρόμοιες σε ανάκτορα όπως η Κνωσός, η Φαιστός και τα Μάλλια. Στην Κνωσό, τα απόβλητα κατέληγαν στο χείμαρρο Καίρατο. Στη Φαιστό αναφέρονται οι πρώτες δεξαμενές συλλογής και επαναχρησιμοποίησης των όμβριων, με τεχνικές που εφαρμόζονται ευρέως στην Κρήτη.



Εικόνα 15: Σύστημα αποχέτευσης σε μινωικά ανάκτορα. (a) Μέρος του κεντρικού συστήματος αποχέτευσης στην Κνωσό. (b) Λιθόστρωτος βασιλικός δρόμος στο ανάκτορο της Κνωσού. (Φωτογραφίες Angelakis). Πηγή:<https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-020-03898-w>.

Η "Μινωική Οδογέφυρα", ένα από τα πιο αξιόλογα υδραυλικά έργα του μινωικού πολιτισμού, είναι ένδειξη της προηγμένης γνώσης των Μινωιτών στην κατασκευή και διαχείριση των υδάτινων πόρων. Η γέφυρα αυτή περιλαμβάνει τέσσερις κολώνες με πλάτος μεταξύ 3.2 και 4.6 μέτρων και κατασκευάστηκε από σκαλισμένο ασβεστόλιθο, ενσωματώνοντας εναλλασσόμενα ανοίγματα. Αυτά τα ανοίγματα, πιθανότατα, σχεδιάστηκαν για να επιτρέπουν την ροή του νερού από την βροχή, το οποίο κατευθύνεται από τον διπλανό απότομο λόφο.

Η κατασκευή της γέφυρας ως εκφορικού συστήματος με τόξο, αντικατοπτρίζει την προχωρημένη αντίληψη των Μινωιτών σχετικά με τις δυνατότητες δομικής μηχανικής και την αποτελεσματική διαχείριση των υδάτινων πόρων. Η εξαιρετική τεχνική και κατασκευαστική ικανότητα των Μινωιτών στην υδραυλική μηχανική και στην κατασκευή υποδομών έχει

διασφαλίσει την παραμονή αυτού του έργου μέχρι και σήμερα ως μνημείο της αρχιτεκτονικής επιδεξιότητας και της προηγμένης τεχνολογικής γνώσης τους.



Εικόνα 16: Τμήμα του αρχικού τοίχου της ‘Μηνωικής Οδογέφυρας’ με τα βαθμιδωτά ανοίγματα. (Φωτογραφίες Angelakis). Πηγή: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-020-03898-w>

2.7.1.1. Φράγμα της Αρχαίας Τίρυνθας

Στο πλαίσιο της ανάλυσης αντιπλημμυρικών έργων στην αρχαιότητα, αξιοσημείωτο είναι το φράγμα της Αρχαίας Τίρυνθας, το οποίο αναδεικνύει την προηγμένη κατασκευαστική και υδραυλική επάρκεια των αρχαίων Ελλήνων (Papadimitriou et Al., 2018). Τοποθετημένο στα ανατολικά περιθώρια του Αργολικού πεδίου, κοντά στην κοίτη του Μεγάλου Ρέματος, αυτό το έργο βρίσκεται περίπου δύο χιλιόμετρα ανατολικά της Νέας Τίρυνθας και πέντε χιλιόμετρα από την ακρόπολη της Τίρυνθας. Το φράγμα, χρονολογούμενο στον 13ο αιώνα π.Χ., καταδεικνύει την εξαιρετική ικανότητα των Μυκηναίων στη διαχείριση των υδατικών πόρων και την προστασία από τις πλημμύρες.

Το φράγμα αυτό, χαρακτηριστικό της μηχανικής αρτιότητας της εποχής, είναι μία μαρτυρία της κατανόησης των αρχαίων Ελλήνων σχετικά με τις ανάγκες για έλεγχο των υδατικών ρευμάτων και την προστασία των περιοχών τους από τις πλημμυρικές επιπτώσεις. Η θέση του φράγματος, επιλεγμένη μετά από λεπτομερή μελέτη της γεωμορφολογίας και της υδροδυναμικής της περιοχής, υποδηλώνει μια βαθιά κατανόηση των αρχών της υδραυλικής μηχανικής και της γεωτεχνικής (Papadimitriou et Al., 2018). Η κατασκευή και η ανθεκτικότητά του διαχρονικά, επιβεβαιώνουν την εξαιρετική τεχνογνωσία και τις κατασκευαστικές δεξιότητες των Μυκηναίων και τους καθιστά σημαντικούς πρωτοπόρους στον τομέα της αρχαίας υδραυλικής μηχανικής.

Η ιστορική αναδρομή της αντιπλημμυρικής διαχείρισης στην αρχαία Τίρυνθα παρουσιάζει ένα ενδιαφέρον παράδειγμα των προηγμένων υδραυλικών δεξιοτήτων της εποχής. Οι κάτοικοι της περιοχής, αντιμετωπίζοντας συχνές και καταστροφικές πλημμύρες, ανέλαβαν την κατασκευή

ενός μεγαλόπνοου υδραυλικού έργου για την εκτροπή του ρέματος Τίρυνθας σε παρακείμενη θέση.

Συγκεκριμένα, το έργο περιλάμβανε:

1. Την κατασκευή ενός χωμάτινου φράγματος ύψους 20 μέτρων και μήκους περίπου 100 μέτρων στην κοίτη της Τίρυνθας, με συνολικό όγκο περίπου 35.000 κυβικών μέτρων. Το φράγμα αυτό ενισχύθηκε μερικώς με ογκόλιθους στα άκρα του.
2. Την διάνοιξη τεχνητού καναλιού, γνωστού σήμερα ως Μεγάλο Ρέμα, που ξεκινούσε από το φράγμα και κατέληγε στην κοίτη του ρέματος του Αγίου Ανδριανού. Το κανάλι είχε μήκος περίπου 1,5 χιλιομέτρων, και για την κατασκευή του απαιτήθηκαν εκσκαφές όγκου 160.000 κυβικών μέτρων περίπου.

Η διάρκεια κατασκευής του τεχνητού καναλιού υπολογίζεται σε περίπου τέσσερα χρόνια, με την εργασία 100 ατόμων καθημερινά, ενώ η κατασκευή του φράγματος υπολογίζεται ότι ολοκληρώθηκε μέσα σε ένα χρόνο με επιπλέον 33 εργαζόμενους και τη χρήση ζώων για τη μεταφορά υλικών.

Τα έργα αυτά αποτελούν αντικείμενο μελέτης και επίδειξης της προηγμένης τεχνολογίας και οργάνωσης των αρχαίων Ελλήνων στον τομέα της υδραυλικής μηχανικής και της διαχείρισης υδάτινων πόρων.

Το αρχαίο υδραυλικό έργο στην Τίρυνθα καταδεικνύει μια εξαιρετική μηχανική και σχεδιαστική επιδεξιότητα που έχει αντέξει στο πέρασμα του χρόνου. Η εκτροπή του ρέματος αποδείχθηκε επιτυχημένη, μετατρέποντας την κοίτη του ποταμού σε μια σχεδόν αδρανή περιοχή, η οποία σήμερα είναι γνωστή ως «Λάκισσα» και είναι καλλιεργήσιμη. Αυτή η αλλαγή επέτρεψε στην πόλη της Τίρυνθας να απαλλαγεί από τις συνεχείς πλημμύρες, ενώ ταυτόχρονα τα φερτά υλικά σταμάτησαν να προκαλούν επιχωματώσεις στη θαλάσσια περιοχή. Ο σχεδιασμός και η κατασκευή του υδραυλικού έργου αποδείχθηκαν τόσο αποτελεσματικά, που το σύστημα εξακολουθεί να λειτουργεί μέχρι και σήμερα.

Η επιτυχία του έργου αυτού και η διαρκής λειτουργία του μέχρι σήμερα αποδεικνύουν την προχωρημένη γνώση και ικανότητα των αρχαίων Ελλήνων στην υδραυλική μηχανική και την οργανωμένη διαχείριση των υδάτινων πόρων, προσφέροντας πολύτιμες γνώσεις και μαθήματα για τη σύγχρονη εποχή.

Συμπερασματικά, η υλοποίηση των υδραυλικών έργων στην Τίρυνθα, όπως το φράγμα και το κανάλι εκτροπής, αποτελεί ένδειξη της μεγάλης μηχανικής επιδεξιότητας των αρχαίων Ελλήνων. Η κατασκευή αυτή ήταν μια απαραίτητη αντίδραση στις καταστροφικές πλημμύρες, καθώς οι απορροές των ομβρίων προκαλούσαν συνεχείς και μεγάλης κλίμακας πλημμυρικά φαινόμενα. Η επένδυση σε ένα τόσο μεγάλο έργο δείχνει την ανάγκη των κατοίκων να προστατευτούν από αυτές τις φυσικές απειλές.

Το φράγμα και το κανάλι λειτούργησαν αποτελεσματικά, απομακρύνοντας τις πλημμυρικές ροές από την πόλη. Ωστόσο, αυτή η εκτροπή είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση των διαθέσιμων υδρευτικών πόρων που ήταν ζωτικής σημασίας για την πόλη. Επιπλέον, η εκτροπή του ποταμού επηρέασε αρνητικά την ετήσια ανατροφοδότηση του υδροφόρου ορίζοντα και τις καλλιέργειες. Ενώ το έργο ήταν απαραίτητο για την προστασία από τις πλημμύρες, οι συνέπειες της εκτροπής υπογραμμίζουν τη σημασία μιας ισορροπημένης προσέγγισης στη διαχείριση των υδάτινων πόρων.



Εικόνα 17: Φράγμα Τύρινθας (Fotopoulou 2009).

Πηγή:<https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-020-03898-w>.

2.7.1.2. Αποχέτευση Αγοράς Αρχαίας Αθήνας – Ο Μεγάλος Αγωγός

Στην αρχαία Αθήνα, ένας εξέχων συντελεστής της αστικής ανάπτυξης ήταν το εξελιγμένο σύστημα αποχέτευσης της αγοράς και των περιβάλλοντων κτιρίων. Το δίκτυο αποτελείτο από πολυάριθμους μικρούς κυκλικούς πήλινους σωλήνες. Αυτές οι κατασκευές συνέβαλαν στην απορροή των υδάτων και των λυμάτων της αγοράς, κατευθύνοντάς τα σε μεγάλες τάφρους κάτω από τους δρόμους. Το πιο σημαντικό μέρος του συστήματος ήταν ο «Μεγάλος Αγωγός», του οποίου ένα τμήμα φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Αυτός ο αγωγός αποτελούσε την κύρια διέλευση για τα λύματα και τα ύδατα των χειμάρρων των γύρω λόφων, με τελική παροχέτευση στον ποταμό Ηριδανό. Η ύπαρξη και λειτουργία του «Μεγάλου Αγωγού» υποδεικνύει την υψηλή τεχνική επιδεξιότητα και την προηγμένη αστική υποδομή της αρχαίας Αθήνας.

Η δομή αυτή, που χρονολογείται στις αρχές του 5ου π.Χ. αιώνα, προϋπήρχε στη βόρεια πλευρά της αγοράς. Στον 4ο αιώνα π.Χ., ο αγωγός υπέστη επεκτάσεις προς τα νοτιοανατολικά και νοτιοδυτικά, αυξάνοντας την κάλυψη του δικτύου αποχέτευσης. Αυτή η επέκταση καταδεικνύει την αυξανόμενη αστικοποίηση και την ανάγκη για πιο σύνθετα συστήματα αποχέτευσης στην αρχαία Αθήνα.

Η περαιτέρω ανάπτυξη του αγωγού σηματοδότησε την αναγνώριση της ανάγκης για ενισχυμένη υγιεινή και διαχείριση λυμάτων σε μια αυξανόμενη αστική περιοχή. Η δομή του αγωγού αποτελούσε ένα προηγμένο τεχνολογικό επίτευγμα για την εποχή, με την ικανότητα να διαχειρίζεται μεγάλες ποσότητες νερού και λυμάτων από την αγορά και τις παρακείμενες περιοχές. Η αρχιτεκτονική αντοχή και η λειτουργικότητά του υποδεικνύουν ότι οι αρχαίοι Έλληνες είχαν σημαντική εμπειρία και κατανόηση στην υδραυλική μηχανική και τη διαχείριση υδάτινων πόρων.

Ο «Μεγάλος Αγωγός» αποτελούσε τον κύριο αγωγό του συστήματος αποχέτευσης και αποτέλεσε ένα κρίσιμο μέρος της υποδομής της αρχαίας Αθήνας. Η λειτουργία του συστήματος αυτού ήταν κρίσιμη για την υγειονομική ευημερία των κατοίκων της πόλης, καθώς εξασφάλιζε την απομάκρυνση των λυμάτων και την πρόληψη της συσσώρευσης ύδατος που θα μπορούσε να οδηγήσει σε υγειονομικά προβλήματα.

Η κατασκευή του αγωγού, μαζί με τις επεκτάσεις και τις βελτιώσεις του, επέτρεψε την αποτελεσματική διαχείριση των νερών, αποτρέποντας τις πλημμύρες και βελτιώνοντας τις συνθήκες διαβίωσης. Επιπλέον, η ύπαρξη του «Μεγάλου Αγωγού» και άλλων παρόμοιων κατασκευών στην αρχαία Ελλάδα αποδεικνύει την προηγμένη τεχνική εμπειρία και το επίπεδο οργάνωσης των αρχαίων Ελλήνων. Αυτό αποτελεί ένα σημαντικό παράδειγμα της κληρονομιάς των αρχαίων Ελλήνων στον τομέα της πολιτικής μηχανικής και της αστικής σχεδίασης.



Εικόνα 18: Ο Μεγάλος Αγωγός στην Αγορά της Αρχαίας Αθήνας. Πηγή: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:%CE%9C%CE%B5%CE%B3%CE%AC%CE%B%CE%BF%CF%82_%CE%91%CE%B3%CF%89%CE%B3%CF%8C%CF%82,_%CE%91%CF%81%CF%87%CE%B1%CE%AF%CE%B1_%CE%91%CE%B3%CE%BF%CF%81%CE%AC_%CE%91%CE%B8%CE%AE%CE%BD%CE%B1%CF%82_1150.jpg

2.7.1.3. Αποξήρανση της Λίμνης Κωπαΐδας

Η μηχανική επίτευξη της αποξήρανσης της λίμνης Κωπαΐδας κατά τη Μυκηναϊκή περίοδο αποτελεί ένα παράδειγμα της εξελιγμένης υδραυλικής μηχανικής της εποχής. Οι Μινύες, κάτοικοι του Ορχομενού, κατάφεραν με την κατασκευή ενός πολύπλοκου δικτύου σηράγγων και καταβοθρών να αποστραγγίσουν μια τεράστια λίμνη με έκταση έως 280.000 στρέμματα (Koutsoyiannis et al. 2012).

Η διαδικασία αποξήρανσης περιελάμβανε την ανάκτηση και τη μεταφορά περίπου δύο εκατομμυρίων κυβικών μέτρων χώματος και τη δημιουργία ενός συστήματος διοχέτευσης νερού σε μια απόσταση 2,5 χιλιομέτρων. Αυτή η επιχείρηση υπήρξε ένα αξιοθαύμαστο εγχείρημα για την εποχή, καθώς απαιτούσε σημαντική προγραμματιστική δεξιοότητα και μηχανική εμπειρογνομosύνη.

Οι αρχαίοι κατασκευαστές αξιοποίησαν επίσης το φυσικό περιβάλλον, καθώς οδήγησαν τα νερά της λίμνης στις φυσικές καταβόθρες που βρίσκονταν σε ασβεστολιθικά πετρώματα. Το νερό, συνεπώς, μεταφέρθηκε μέσω αυτών των καταβόθρων στον Ευβοϊκό Κόλπο, επιτυγχάνοντας έτσι την αποξήρανση της λίμνης. Αυτό το έργο όχι μόνο μεταμόρφωσε το τοπικό τοπίο, αλλά επέτρεψε την καλλιέργεια της προηγουμένως καλυμμένης από νερό επιφάνειας, συνέβαλε σημαντικά στην αγροτική ανάπτυξη και την οικονομική ευημερία της περιοχής.

Στην περιοχή της λίμνης Κωπαΐδας, η δημιουργία των αναχωμάτων από τους Μινύες είχε σημαντικό αντίκτυπο στην αλλαγή του τοπίου και την κατανομή των υδάτινων πόρων. Η βόρεια πλευρά της λεκάνης παρέμεινε υπό κατάσταση πλημμύρας, ενώ το νότιο τμήμα, που προστατευόταν από τα αναχώματα, έγινε πλέον κατάλληλο για καλλιέργεια. Αυτή η μετατροπή επέτρεψε την ανάπτυξη γεωργικών δραστηριοτήτων σε μια περιοχή που προηγουμένως ήταν καλυμμένη από νερό.

Η αποξήρανση της λίμνης επιτεύχθηκε μέσω της μεθοδικής ανακατεύθυνσης των υδάτων από τον Β. Κηφισό και τον Μέλανα ποταμό. Το σύστημα των αναχωμάτων κατασκευάστηκε με στόχο να αποτρέπει την πλημμύρα της πεδιάδας από τα συνδυασμένα νερά των δύο ποταμών. Το ανάχωμα, το οποίο εκτεινόταν από δυτικά προς ανατολικά και κινούνταν παράλληλα στην κοίτη των ποταμών, οριοθετούσε την περιοχή που θα πλημμύριζε από την περιοχή που θα μπορούσε να καλλιεργηθεί. Έτσι, η εκτέλεση του έργου επιτρέπει την καλλιεργησιμότητα της νότιας πλευράς της λίμνης, αλλάζοντας δραστικά το τοπίο και τη χρήση του εδάφους στην περιοχή.

➤ Τεχνική περιγραφή

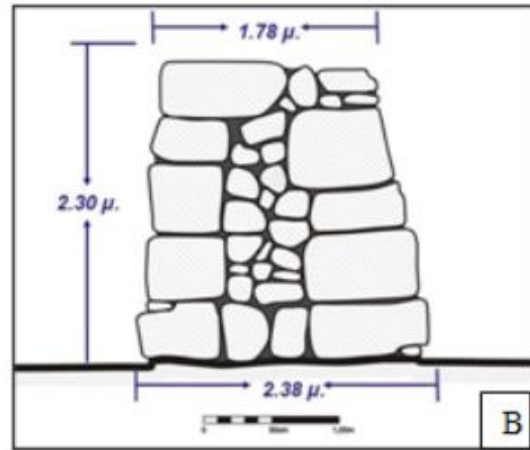
Τα κύρια χαρακτηριστικά των αναχωμάτων της λίμνης Κωπαΐδας, περιλαμβάνουν:

Ενίσχυση Εξωτερικής Πλευράς: Οι τοίχοι αντιστήριξης, αυξάνουν την αντοχή του αναχώματος σε υδατικές πιέσεις και προλαμβάνουν σε μεγάλο βαθμό τη διάβρωση. Αυτοί οι τοίχοι διατήρησαν σημαντικό ύψος (περίπου 2,30 μ.) μέχρι σήμερα, ενώ τα αρχικά τους ύψη εκτιμώνται να ήταν περίπου 3 μέτρα.

Εξωτερική Κατασκευή με Κλίση: Οι εξωτερικές πλευρές των τοίχων είχαν κατασκευαστεί με κλίση για να ενισχύσουν τη σταθερότητα, όπου οι κάτω πέτρες προεξέχουν περισσότερο σε σχέση με τις υψηλότερες.

Πλάτος Τοίχων Αντιστήριξης: Το πλάτος των τοίχων ποικίλλει ανάλογα με την τοπογραφία και την απόστασή τους από τη λεκάνη και τις καταβόθρες. Στη θέση "Άντερας," για παράδειγμα, το συνολικό πλάτος του αναχώματος και των τοίχων είναι περίπου 30 μέτρα.

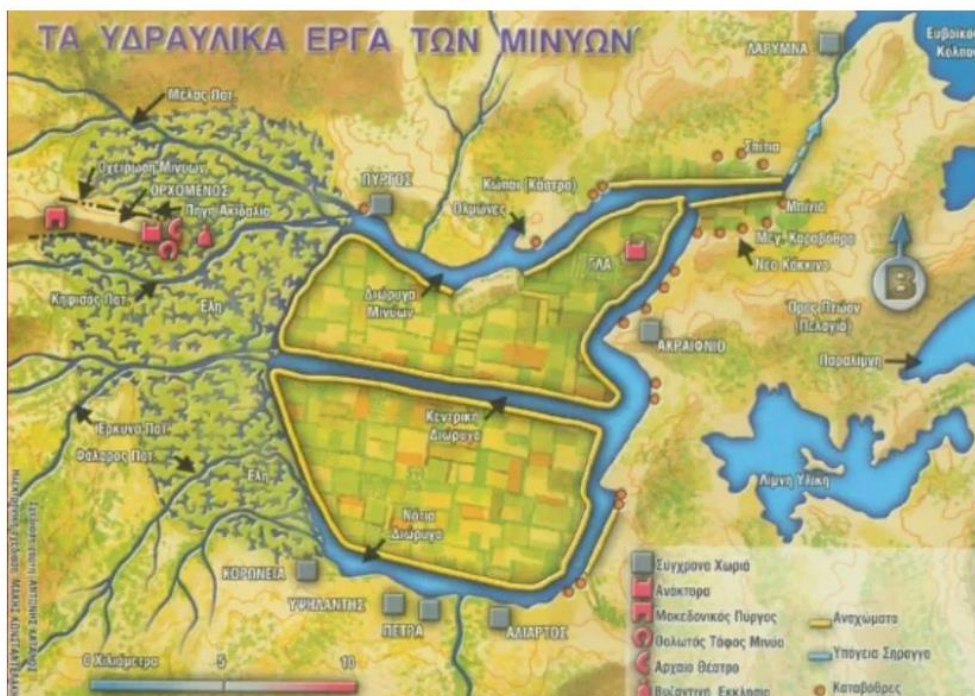
Η επιμελημένη κατασκευή αυτών των τοίχων αντιστήριξης επέτρεψε την αντοχή τους στο πέρασμα του χρόνου, προσδίδοντας στο έργο την ανθεκτικότητα που απαιτούνταν για την αποτελεσματική διαχείριση των υδάτων και την προστασία των γεωργικών εκτάσεων.



Εικόνα 19: {A} Ο τοίχος αντιστήριξης του αναχώματος. {B} Τομή τοίχου αντιστήριξης του αναχώματος. Πηγή: <https://medcraveonline.com/IJH/developments-in-water-dams-and-water-harvesting-systems-throughout-history-in-different-civilizations.html>

Η δημιουργία των αναχωμάτων στη λίμνη Κωπαΐδα κατά την Μυκηναϊκή εποχή ήταν μια εντυπωσιακή μηχανική επίτευξη, όπως αποδεικνύεται από τη λεπτομερή περιγραφή της τεχνικής κατασκευής τους:

- Μέθοδος Κατασκευής: Η κατασκευή των τοίχων ξεκινούσε με το σκάψιμο ενός αυλακιού θεμελίωσης και την τοποθέτηση αργίλου με μικρές πέτρες. Οι πέτρες των πρώτων στρωμάτων τοποθετούνταν πάνω σε αυτόν τον αργιλώδη πυρήνα.
- Αισθητική και Λειτουργικότητα: Η εσωτερική πλευρά των τοίχων δεν διακρινόταν για την αισθητική της, με τους βράχους να τοποθετούνται ασταθώς και να γεμίζονται τα κενά με μικρές πέτρες και άργιλο.
- Διαφοροποίηση Τεχνικών: Υπήρχε διαφοροποίηση στις τεχνικές κατασκευής αναχωμάτων ανάλογα με την τοποθεσία. Σε ορισμένα σημεία χρησιμοποιούνταν μόνο αναλημματικοί τοίχοι, ενώ σε άλλα τμήματα προστίθενται τοίχοι και στις δύο πλευρές για αυξημένη ανθεκτικότητα και οικονομική εξοικονόμηση.



Εικόνα 20: Η αποξήρανση της λίμνης Κωπαΐδας από τους αρχαίους Μινύες σε σκίτσο.

Πηγή:<https://www.mixanitouxronou.gr/entyposiakes-eikones-apo-tin-kopa-da-roy-egine-kai-pali-limni-meta-tis-vrochoptoseis-otan-apoxiranthike-egine-skiniko-gia-polles-ellinikes-tainies-drone/>.

Η Κωπαΐδα στη Σύγχρονη Εποχή

Η παρούσα ανάλυση εστιάζει στην εξέλιξη της Κωπαΐδας στη σύγχρονη εποχή, μετά την ανεξαρτητοποίηση της Ελλάδας. Κρίσιμης σημασίας ήταν η αποξήρανση της λίμνης, η οποία αποτελούσε μια άμεση ανάγκη για την απομάκρυνση της ελονοσίας και την παραγωγή αγαθών πρώτης ανάγκης, όπως σιτάρι και καλαμπόκι, καθώς και βιομηχανικών προϊόντων όπως το βαμβάκι. Από το 1887 και μετά, η Γαλλική εταιρεία που είχε αναλάβει αρχικά την αποξήρανση, παρέδωσε τα δικαιώματα σε Αγγλική εταιρεία, λόγω αδυναμίας ολοκλήρωσης του έργου. Το τελικό σχέδιο αντλούσε έμπνευση από την τεχνική των αρχαίων Μινύων, ενσωματώνοντας στοιχεία του φυσικού περιβάλλοντος για τη διοχέτευση των υδάτων της λίμνης. Πέρα από την αποξήρανση, σχεδιάστηκε ένα ολοκληρωμένο αρδευτικό και αποστραγγιστικό σύστημα για την πεδιάδα που θα δημιουργούνταν. Έτσι, περίπου 250.000 στρέμματα λίμνης μετατράπηκαν σε γόνιμη καλλιεργήσιμη περιοχή, η οποία στη συνέχεια αναπτύχθηκε εντατικά, παράγοντας κυρίως σιτάρι, βαμβάκι, καλαμπόκι, όσπρια και ντομάτες.



Η Κωπαΐδα ως λίμνη, πριν την αποξήρανση.



Έργα αποξήρανσης της Κωπαΐδας
(Ξυλογραφία, Έσπερος, 15/27.8.1886, Βιβλιοθήκη της Βουλής, αρ. εκθ. 186)

Τα έργα αποξήρανσης στην Κωπαΐδα επί Τρικούπη.

Εικόνα 21: Πηγή εικόνων: <https://www.mixanitouxronou.gr/entyposiakes-eikones-apo-tin-kopa-da-roy-egine-kai-pali-limni-meta-tis-vrochoptoseis-otan-apoxiranthike-egine-skinikogia-polles-ellinikes-tainies-drone/>

2.7.1.4. Αντιπλημμυρικό Τείχος Κλαδέου

Ο ποταμός Κλάδεος, γνωστός από την αρχαιότητα και παραπόταμος του Αλφειού, αποτελούσε έναν σημαντικό υδάτινο πόρο στην περιοχή της Ηλείας. Η αναφορά του Κλαδέου εντοπίζεται στην αρχαία ελληνική μυθολογία, όπου είχε προσωποποιηθεί και απεικονιζόταν σε αγάλματα, όπως στο ανατολικό αέτωμα του Ναού του Δία στην Ολυμπία, και διέθετε βωμό κοντά στον βωμό της Άρτεμης πίσω από το Ηραίο.

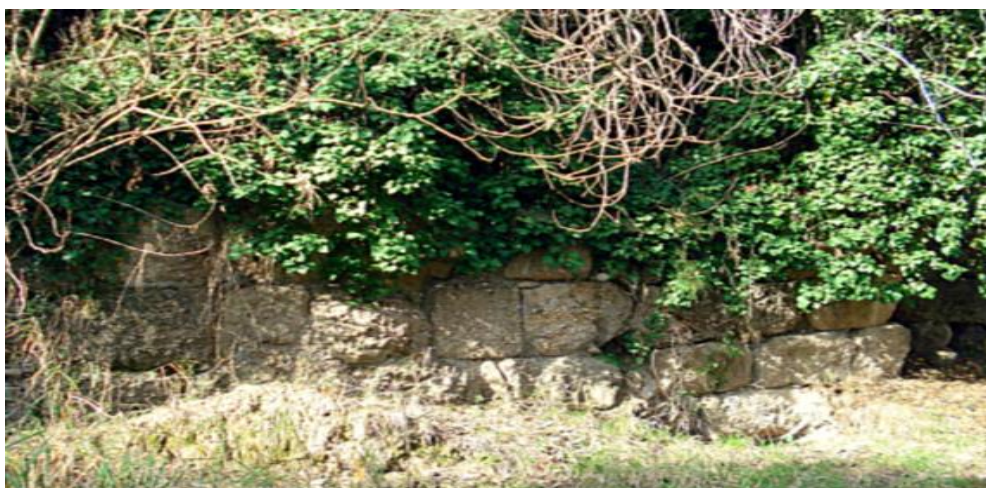
Σημαντική ήταν η κατασκευή ενός αντιπλημμυρικού τείχους (φράγματος) από τους Μινύες στον ποταμό Κλαδέο κατά τη Μυκηναϊκή περίοδο, περίπου το 1300 π.Χ. Το φράγμα πιθανώς κατασκευάστηκε για τον έλεγχο του ποταμού και τη μείωση των καταστροφικών επιπτώσεων στην κοιλάδα της Ολυμπίας στη βορειοδυτική Πελοπόννησο, όπου αργότερα ιδρύθηκε το ιερό της Ολυμπίας (Fountoulis et al., 2008). Οι κατασκευασμένοι τοίχοι ήταν ογκώδεις και αποτελούνταν από συσσώματα.

Το αντιπλημμυρικό τείχος του ποταμού Κλαδέου είχε ύψος 2,70 μέτρα και μήκος 800 μέτρα, με ομοιόμορφη κλίση 7,7%. Κατά τις αρχές του 4ου π.Χ. αιώνα, το τείχος υπέστη σημαντικές φθορές λόγω της διαβρωτικής δράσης του ποταμού, προκαλώντας την ανάγκη κατασκευής ενός καναλιού εγκιβωτισμού δυτικά του, για την αποτροπή περαιτέρω καταστροφής στην περιοχή της Ολυμπίας (Φουντούλης κ.α., 2008). Επιπρόσθετα, το τείχος υπέστη περαιτέρω καταστροφή, η οποία οδήγησε σε επισκευές με την προσθήκη επιπρόσθετης τοιχοποιίας. Αυτές οι επισκευές συνέβαλαν στη διατήρηση του τείχους μέχρι και σήμερα (Koutsoyiannis et al. 2008).



Εικόνα 22.1: Αντιπλημμυρικό τείχος κλαδέου.

Πηγή:<http://kpekrestenon.gr/alfios/page13%20-%20b.htm>



Εικόνα 22.2: Αντιπλημμυρικό τείχος κλαδέου.

Πηγή: <http://kpekrestenon.gr/alfios/page13%20-%20b.htm>

2.7.2 Κλασική και Ελληνιστική περίοδος

Η κλασική περίοδος, ως ορισμός, αναφέρεται στη διάρκεια περίπου δύο αιώνων της αρχαίας ελληνικής ιστορίας, από το 480 π.Χ. έως το 323 π.Χ. Αυτή η εποχή χαρακτηρίστηκε από σημαντική άνθιση στον τομέα του πολιτισμού και έλαβε το όνομά της από τα εκπληκτικά επιτεύγματα που σημειώθηκαν κατά την περίοδο αυτή.

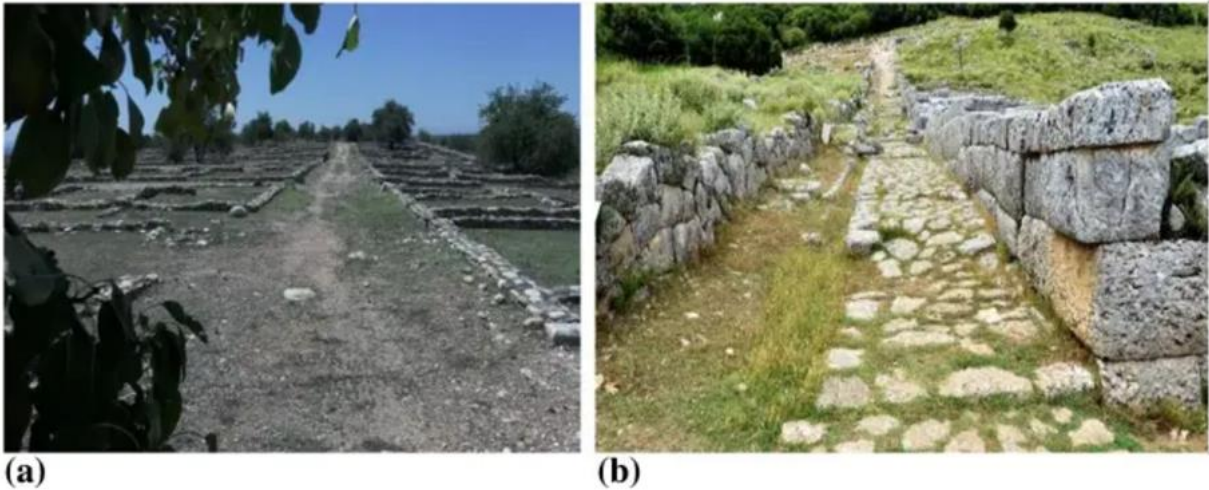
Κατά τον 5ο και 4ο αιώνα π.Χ., διακρίνεται η περίοδος ακμής για ορισμένες πόλεις-κράτη, καθώς και η μετέπειτα επικράτηση της Μακεδονίας. Ο 5ος αιώνας χαρακτηρίζεται από σταθερότητα, καθώς ο ελληνικός κόσμος οργανώνεται σε συμμαχίες, οικοδομώντας περί το δίπολο Αθήνα-Σπάρτη. Αντιθέτως, ο 4ος αιώνας σηματοδοτείται από την πολυδιάσπαση των δυνάμεων του ελληνικού κόσμου, με συνέπεια την αστάθεια και τις συχνές περσικές παρεμβάσεις. Επιπλέον, η εποχή αυτή χαρακτηρίζεται από τη διαμόρφωση της πανελλήνιας ιδέας, με κύριο εκπρόσωπο τον Ισοκράτη, ο οποίος επιδίωκε τη συνένωση των Ελλήνων υπό έναν ισχυρό ηγεμόνα για να αντιμετωπίσουν από κοινού τους Πέρσες.

Κατά την κλασική περίοδο, η τεχνολογία χρήσης πλακόστρωτων, πορώδων οδών, η οποία είχε εφαρμοστεί στην Κνωσό, χρησιμοποιήθηκε για την μείωση του κινδύνου πλημμυρών και την διευκόλυνση της μετακίνησης σε ασφαλέστερες επιφάνειες (Angelakis et al. 2020). Οι αρχαίοι Έλληνες ανέπτυξαν σύνθετο πολεοδομικό σχεδιασμό και υποδομές για την προστασία των πόλεων από πλημμυρικά φαινόμενα.

Επίσης, ξεχωρίζει η συμβολή του Ιππόδαμου Μιλήσιου (498-408 π.Χ.), ενός αρχιτέκτονα και πολεοδόμου, ο οποίος διακρίθηκε για τη δημιουργία του Ιπποδάμειου συστήματος. Αυτό το σύστημα δεν περιοριζόταν σε ένα απλό ορθοκανονικό οδικό δίκτυο, αλλά αφορούσε την ολιστική οργάνωση μιας πόλης με σκοπό την ορθολογική εξυπηρέτηση των λειτουργικών της αναγκών. Η εφαρμογή του ξεκίνησε από τη Μίλητο και ακολούθησαν η Πριήνη, ο Πειραιάς, η Ρόδος, η Ολυνθος, η Πέλλα, η Κασσώπη και άλλες πόλεις. Ο Ιππόδαμος αντιμετώπισε την πόλη ως ένα συνεκτικό και οργανωμένο κοινωνικό σύνολο με συλλογικούς κανόνες λειτουργίας, κοινούς στόχους και ιδανικά, εκφράζοντας τη συλλογική λογική και την κοινωνική συνειδητότητα (Σαρηγιάννης 2016).

Στην κλασική εποχή, οι ελληνικές πόλεις κατασκευάζονταν βάσει ενός σχεδίου πλέγματος, με δρόμους πλάτους 9 έως 10 μέτρων, ενώ η κεντρική αρτηρία Ανατολής-Δύσης είχε πλάτος έως

και 15 μέτρα. Χρήση αποχετευτικών αγωγών κάτω από τα αετώματα εφαρμόστηκε σε πόλεις όπως η Όλυνθος, αρχαία πόλη της κεντρικής Μακεδονίας, και η Κασσώπη, αρχαία ελληνική πόλη της Ηπείρου. Οι πόλεις αυτές είχαν την τάση να κατασκευάζονται σε ξηρές περιοχές, μακριά από ποτάμια ή λίμνες, με προσεκτική προετοιμασία για την επάρκεια νερού σε περίπτωση πολέμου. Στον πυρήνα της πόλης βρισκόταν η Αγορά, η οποία αποτελούσε το επίκεντρο των πολιτικών, κοινωνικών και εμπορικών δραστηριοτήτων.



Εικόνα 23: Πόλεις σε Ιπποδάμειο σχέδιο: (a) Όλυνθος, (b) Κασσώπη με αποχετευτικό και αποστραγγιστικό σύστημα (Φωτογραφίες Α.Ν. Αγγελάκης).
Πηγή: https://www.researchgate.net/figure/General-views-of-cities-built-on-a-Hippodamian-plan-a-Olynthus-and-b-Kassope-with_fig3_339957725.

2.7.2.1. Αρχαίο Φράγμα Αλυζίας

Το αρχαίο φράγμα της Αλυζίας, που βρίσκεται στην περιοχή Ξηρόμερο της δυτικής Ακαρνανίας, κοντά στα χωριά Μύτικας και Κανδήλα, είναι ένα από τα σημαντικά αντιπλημμυρικά έργα του 5ου αιώνα π.Χ. Σύμφωνα με τις πρώτες αναφορές του Leon Heuzey το 1856, η κατασκευή του φράγματος είχε ως στόχο την προστασία του κάμπου της Αλυζίας, μέσω της συγκράτησης των φερτών από τα ρέματα που εκβάλλονταν στον κάμπο. Ο κάμπος της Αλυζίας ήταν ζωτικής σημασίας για την πόλη, τόσο για την καλλιέργεια όσο και για τη βοσκή, και η λειτουργικότητά του επηρεαζόταν από τις αποθέσεις των φερτών ρεμάτων, τα οποία περιείχαν αδρομερή με υψηλό ποσοστό κροκάλων.

Το φράγμα της Αλυζίας έχει συνολικό ύψος 11 μέτρων, με τη στέψη του να βρίσκεται στο ύψος +95,0 και με μήκος 25 μέτρων. Η κατασκευή του φράγματος ολοκληρώθηκε σε τρία διακριτά στάδια. Στην πρώτη φάση, κατασκευάστηκε ένα αναβαθμός 4 μέτρων ύψους μέχρι το ύψος +88,0, ο οποίος, όμως, ήταν υπερπηδητός από το χείμαρρο και επομένως καλύφθηκε από φερτά και από τις δύο πλευρές του. Στη δεύτερη φάση, προστέθηκαν δύο ή τρεις σειρές ογκολίθων, τμήμα επίσης υπερπηδητό από το χείμαρρο, χωρίς όμως να υποστεί ζημιές. Στο τρίτο στάδιο, προστέθηκαν επιπλέον επτά σειρές ογκολίθων με ύψος 5 μέτρων.

Στη νέα στέψη του φράγματος υπήρχε δίοδος για την εκτροπή των νερών του χείμαρρου και την υπερχειλίση των πλημμυρικών παροχών πάνω από συμπαγή ασβεστολιθική μάζα στο αριστερό αντέρεισμα, για την αποφυγή υπερπηδήσεων του φράγματος. Ο υπερχειλιστής διαμορφώθηκε σταδιακά λόγω διάβρωσης του ασβεστολιθικού πετρώματος και δημιουργίας βαθιάς εγκοπής, η οποία διευρύνθηκε τοπικά από τη ροή του νερού και των φερτών υλικών. Η

εσωτερική δομή του φράγματος έχει αποκαλυφθεί τοπικά μετά από διάβρωση και απομάκρυνση των λίθων της επιφανειακής στρώσης λόγω υπερπηδήσεων.

Το φράγμα δεν έχει διατηρηθεί σε λειτουργική κατάσταση και δεν εξυπηρετεί πλέον το σκοπό του, παρόλο που παραμένει ένα εντυπωσιακό αρχαιολογικό μνημείο. Η αποτελεσματική διαχείριση της ροής του χειμάρρου πάνω από την ασβεστολιθική μάζα του αριστερού αντερείσματος, καθώς και η αποδοτική λειτουργία του υπερχειλιστή για την παροχέτευση των πλημμυρικών νερών, συνέβαλαν στη μακροχρόνια διατήρησή του. Η διαδικασία διάβρωσης του πετρώματος από τη ροή του νερού δημιούργησε σταδιακά μια εγκοπή τριγωνικού σχήματος, με βάθος 6 μέτρων και πλάτος στη στέψη 1,50 μέτρων. Αυτή η εκβάθυνση της εγκοπής επέτρεψε την περιορισμένη ροή του χειμάρρου σε χαμηλότερα υψόμετρα, αποτρέποντας την υπερπήδηση του φράγματος. Το γεγονός αυτό συνέβαλε σημαντικά στη διατήρηση του φράγματος μέχρι και τη σύγχρονη εποχή.



Εικόνα 24: Αρχαίο Φράγμα Αλυζίας. Πηγή:<https://www.agrinioculture.gr/2014/08/07/archo-fragma-alizias/>.



Εικόνα 25: Φυσικός υπερχειλιστής στο αριστερό αντέρεισμα. Πηγή: (Γρίβα, 2008).

3. Ποσοτικοποίηση των Υδραυλικών και Υδρολογικών Στοιχείων

Το κεφάλαιο αυτό αποτελεί ένα ουσιαστικό μέρος της διερεύνησης, όπου εξετάζονται λεπτομερώς οι βασικές παράμετροι που σχετίζονται με τα υδραυλικά έργα. Καταρχάς, θα προβούμε σε μια λεπτομερή περιγραφή των κλιματικών (υδρολογικών και υδραυλικών) χαρακτηριστικών της περιοχής. Αυτή περιλαμβάνει τη μελέτη των κλιματικών στοιχείων και τα διαθέσιμα δεδομένα από υδρομετεωρολογικούς σταθμούς. Αυτά τα δεδομένα περιλαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με τη ροή των υδάτων, τη βροχόπτωση, και άλλα κρίσιμα στοιχεία που επηρεάζουν την υδρολογία της περιοχής.

Επίσης, με απλές υδραυλικές εξισώσεις, θα εκτιμήσουμε τον όγκο του νερού που μπορεί να συγκρατήσει ή να παροχετεύσει κάθε υδραυλικό έργο. Επιπλέον, θα διερευνήσουμε την ιστορική απόδοση των κατασκευαστικών έργων, εξετάζοντας αν έχουν υπερπηδηθεί ή αστοχήσει κατά το παρελθόν. Αυτή η ανάλυση μας δίνει σημαντική πληροφορία για την ασφάλεια και την απόδοση των υδρολογικών έργων.

Στο επόμενο υποκεφάλαιο θα παρουσιαστούν οι βασικές αρχές, τα κύρια υπολογιστικά χαρακτηριστικά και παράμετροι της ορθολογικής μεθόδου στην υδρολογία (Rational Method).

Ορθολογική Μέθοδος στην Υδρολογία (Rational Method)

Θεωρητικό Υπόβαθρο της Πλημμυρικής Δυναμικής

- **Ορισμός Πλημμύρας:**
 - Περιγραφή: Κατάσταση όπου ξηρές περιοχές καλύπτονται από νερό για περιορισμένο χρόνο.
 - Προέλευση Νερού: Όμβρια (βροχόπτωση), τήξη χιονιού, υπερχειλίση ποταμών, εισροή θαλασσίου νερού, κατάρρευση φραγμάτων, κ.α.
- **Φύση των Πλημμυρών:**
 - Φυσικό Φαινόμενο: Συνήθως προέρχονται από μετεωρολογικές συνθήκες.
 - Αδυναμία Διαχείρισης: Συμβαίνουν όταν το σύστημα αποστράγγισης (φυσικό ή ανθρωπογενές) δεν μπορεί να διαχειριστεί τον όγκο νερού.
 - Δυνατότητα Τροποποίησης: Οι γεωλογικές, γεωμορφολογικές και εδαφολογικές συνθήκες μπορούν να επηρεαστούν από ανθρώπινες επεμβάσεις.
- **Αλληλεπίδραση Παραγόντων Πλημμυρών:**
 - Φυσικά Φαινόμενα: Βροχόπτωση, συνθήκες λεκάνης απορροής, χωρητικότητα συστήματος αποστράγγισης.
 - Κίνδυνος Πλημμύρας: Εξαρτάται από την πιθανότητα εμφάνισης του φαινομένου και την επίδρασή του στην ανθρώπινη κοινωνία.

- **Παράγοντες που Επηρεάζουν τις Ζημίες από Πλημμύρες:**

- Αντιπλημμυρικά Έργα: Η παρουσία και η αποτελεσματικότητα των αντιπλημμυρικών έργων.
- Αλλοίωση Φυσικού Περιβάλλοντος: Επιδράσεις στον πλημμυρικό όγκο και στον χρόνο συρροής των νερών.
- Ανθρώπινη Δραστηριότητα: Ένταση της δραστηριότητας σε περιοχές με πιθανότητα πλημμυρών.

Εξιιώσεις Ορθολογικής Μεθόδου

Η ορθολογική μέθοδος είναι μια προσέγγιση που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της αιχμής της απορροής μέσα σε μια υδρολογική λεκάνη. Χρησιμοποιείται συχνά για την εκτίμηση της μέγιστης πλημμυρικής κατάκλυσης κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας.

Η ορθολογική μέθοδος λαμβάνει υπόψη τα ακόλουθα υδρολογικά χαρακτηριστικά:

- Την ένταση της βροχόπτωσης (i): Η ένταση της βροχόπτωσης είναι η ποσότητα βροχής που πέφτει σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο.
- Τη διάρκεια της βροχόπτωσης (d): Η διάρκεια της βροχόπτωσης είναι ο συνολικός χρόνος που πέφτει η βροχή.
- Την περίοδο επαναφοράς (T): αντίστροφη πιθανότητα υπέρβασης της έντασης ομβρίων.
- Το εμβαδόν της λεκάνης απορροής (A): Το εμβαδόν της λεκάνης απορροής είναι η έκταση της γης που αποστραγγίζεται σε έναν ποταμό ή ρυάκι.
- Τον συντελεστή απορροής (C): Ο συντελεστής απορροής είναι το ποσοστό της βροχής που τελικά εισέρχεται σε έναν ποταμό ή ρυάκι.

Η ορθολογική μέθοδος βασίζεται στην υπόθεση ότι η ροή της απορροής είναι στιγμιαία, δηλαδή συμβαίνει ταυτόχρονα με τη βροχόπτωση. Επίσης, η μέθοδος υποθέτει ότι η λεκάνη απορροής είναι γραμμική, δηλαδή η ποσότητα της απορροής που ρέει σε μια στιγμή είναι ανάλογη με την ένταση της βροχόπτωσης εκείνη τη στιγμή.

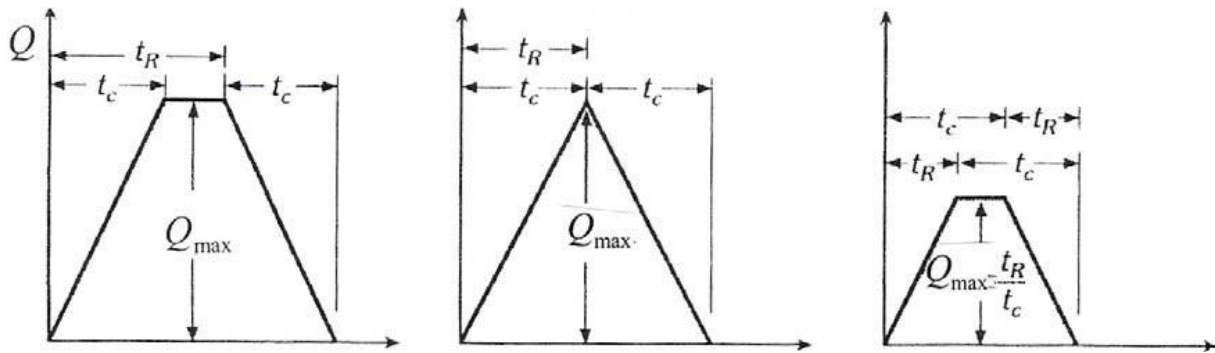
Η παροχή αιχμής πλημμύρας σύμφωνα με την ορθολογική μέθοδο υπολογίζεται ως εξής:

$$Q = C i(d,T) A \quad (1)$$

Για παράδειγμα, εάν η ένταση της βροχόπτωσης είναι 100 mm/hr (για μια συγκεκριμένη περίοδο επαναφοράς και διάρκεια καταιγίδας), ο συντελεστής απορροής είναι 0.2, και το εμβαδόν της λεκάνης απορροής είναι 10 km², τότε η παροχή αιχμής πλημμύρας θα είναι 55.56 m³/s.

Σημειώνεται πως ο συντελεστής απορροής (C) είναι μια αδιάστατη παράμετρος που εκφράζει το ποσοστό της βροχής που τελικά απορρέει στην επιφάνεια A , και εν τέλει καταλήγει στο υδάτινο δίκτυο. Ο συντελεστής απορροής εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως το είδος του εδάφους, τη βλάστηση και το ανάγλυφο της λεκάνης απορροής.

Η ορθολογική μέθοδος μπορεί να δώσει και το πλημμυρογράφημα της καταιγίδας (Virginia Stormwater Management Handbook, 1999), το οποίο είναι τριγωνικό, με κορυφή στην αιχμή πλημμύρας και ίσους χρόνους ανόδου και καθόδου (βλ. Εικόνα 28).



Εικόνα 28: Τύποι Υδρογραφημάτων άμεσης απορροής σύμφωνα με την Ορθολογική μέθοδο (Πηγή: Virginia Stormwater Management Handbook, Vol. 2, First Ed., 1999).

Ο χρόνος ανόδου του υδρογραφήματος αντιστοιχεί στο χρόνο που απαιτείται για τη συγκέντρωση της βροχής στο σημείο εξόδου της λεκάνης απορροής, ενώ ο χρόνος καθόδου αντιστοιχεί στο χρόνο που απαιτείται για την απομάκρυνση της απορροής. Οι χρόνοι αυτοί εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες, όπως το εμβαδόν της λεκάνης απορροής, το είδος του εδάφους και τη γεωμορφολογία της λεκάνης. Σε γενικές γραμμές, όσο μεγαλύτερη είναι η λεκάνη απορροής, τόσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος ανόδου και καθόδου. Επιπλέον, τα εδάφη με υψηλή διαπερατότητα έχουν μικρότερο χρόνο ανόδου και καθόδου από τα εδάφη με χαμηλή διαπερατότητα.

Η ορθολογική μέθοδος είναι μια απλή και εύκολη στη χρήση μέθοδος για την εκτίμηση της αιχμής πλημμύρας. Ωστόσο, έχει ορισμένα μειονεκτήματα. Για παράδειγμα, η μέθοδος δεν λαμβάνει υπόψη τις υδρολογικές απώλειες, οι οποίες είναι η ποσότητα της βροχής που απορροφάται από το έδαφος ή εξατμίζεται στην ατμόσφαιρα. Επιπλέον, η μέθοδος βασίζεται σε ορισμένες υποθέσεις που μπορεί να μην ισχύουν σε όλες τις περιπτώσεις, όπως η γραμμικότητα της λεκάνης απορροής.

Εξεταζόμενα Έργα

3.1. Φράγμα Kallanai

Το φράγμα Kallanai, επίσης γνωστό ως Grand Anicut, βρίσκεται στον ποταμό Καβέρι στην πολιτεία Tamil Nadu της Ινδίας. Βρίσκεται κοντά στην πόλη Tiruchirappalli, στο νοτιοανατολικό τμήμα της Ινδίας. Το φράγμα κατασκευάστηκε κατά την αρχαία περίοδο της Ταμίλ κυριαρχίας στην περιοχή και αποτελεί ένα από τα πιο αρχαία και σημαντικά υδραγωγεία στον κόσμο.



Εικόνα 35: Η χωροθέτηση του φράγματος Kallanai στην Ινδία. Πηγή: <https://twitter.com/TNGeography/status/1591435607037063169>

3.1.1. Ιστορία και Κατασκευή

Το φράγμα Kallanai χτίστηκε από τον βασιλιά Karikala Chola της δυναστείας Chola κατά τη διάρκεια της χρυσής εποχής της αυτοκρατορίας Chola. Σχεδιάστηκε για να αποθηκεύει νερό από τον ποταμό Καβέρι και να το διοχετεύει σε κανάλια που ποτίζουν τα χωράφια της περιοχής.

Το φράγμα είναι κατασκευασμένο από πέτρα γρανίτη και έχει μήκος περίπου 350 μέτρα. Το φράγμα έχει τέσσερα κανάλια που διοχετεύουν νερό στην περιοχή. Τα κανάλια αυτά είναι τα:

- Velar River Canal: Το κανάλι αυτό διοχετεύει νερό στον ποταμό Βέλαρ, ο οποίος ρέει βόρεια του φράγματος.

- Kaveri River Canal: Το κανάλι αυτό διοχετεύει νερό στον ποταμό Καβέρι, ο οποίος ρέει νότια του φράγματος.
- Grand Anicut Canal: Το κανάλι αυτό διοχετεύει νερό σε κανάλια που ποτίζουν τα χωράφια της περιοχής Thanjavur.
- Kattupalli Canal: Το κανάλι αυτό διοχετεύει νερό σε κανάλια που ποτίζουν τα χωράφια της περιοχής Kattupalli.



Εικόνα 36: Φράγμα Kallanai, όπως ανακατασκευάστηκε από τον Krishnan από περιγραφές γύρω στο 1777. Ευγενική προσφορά του Chitra Krishnan, «Tank and Anicut Irrigation Systems: An Engineering Analysis» (Ph.D. diss., Indian Institute of Technology, 2003). Πηγή φωτογραφίας: Grand Anicut Canal (Raman, 2004), και Φράγμα Kallanai (Bijker, 2007).



Εικόνα 37: Φράγμα Kallanai, όπως ανακατασκευάστηκε από τον Krishnan από περιγραφές γύρω στο 1777. Ευγενική προσφορά του Chitra Krishnan, «Tank and Anicut Irrigation Systems: An Engineering Analysis» (Ph.D. diss., Indian Institute of Technology, 2003). Πηγή φωτογραφίας: Grand Anicut Canal (Raman, 2004), και Φράγμα Kallanai (Bijker, 2007).

3.1.2. Χρησιμότητα της κατασκευής

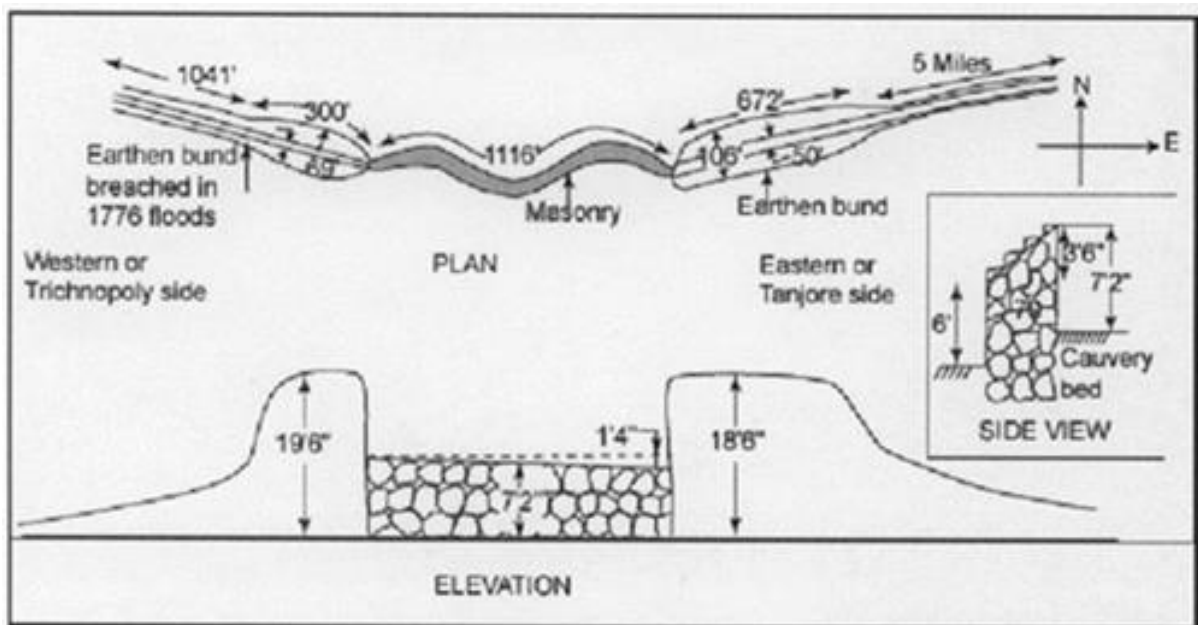
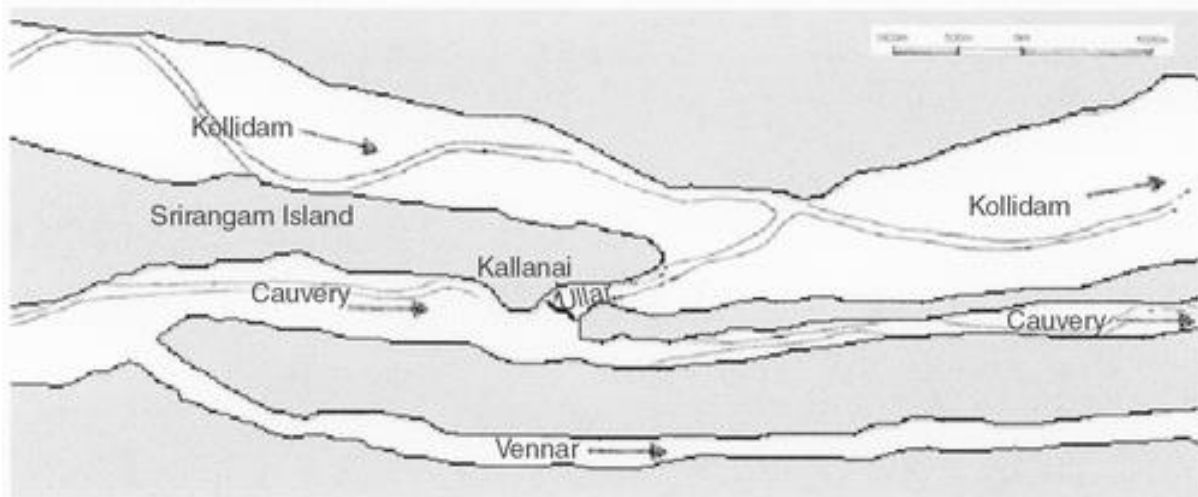
Το φράγμα Kallanai ήταν ένα σημαντικό έργο υποδομής που είχε τεράστιο αντίκτυπο στην ανάπτυξη της περιοχής. Το φράγμα επέτρεψε την άρδευση των χωραφιών της περιοχής, γεγονός που οδήγησε σε αύξηση της γεωργικής παραγωγής και ευημερίας. Το φράγμα έπαιξε επίσης σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη του εμπορίου και της βιομηχανίας στην περιοχή.

Το φράγμα Kallanai είναι ένα από τα πιο σημαντικά ιστορικά μνημεία της Ινδίας. Το φράγμα έχει χαρακτηριστεί ως Μνημείο Παγκόσμιας Κληρονομιάς της UNESCO (UNESCO, 2010).

3.1.3. Συμπληρωματικές Πληροφορίες

- Το φράγμα Kallanai είναι το παλαιότερο λειτουργικό φράγμα στον κόσμο.
- Το φράγμα έχει χρησιμοποιηθεί για την άρδευση των χωραφιών της περιοχής για πάνω από 1800 χρόνια.
- Το φράγμα είναι ένα δημοφιλές τουριστικό αξιοθέατο (Archaeological Survey of India, 2017).

- Η λεκάνη απορροής του φράγματος Kallanai είναι μια σημαντική περιοχή για τη βιοποικιλότητα. Η περιοχή φιλοξενεί μια ποικιλία φυτών και ζώων, συμπεριλαμβανομένων άγριων αλόγων, αγριόχοιρων, ελεφάντων και λεοπαρδάλεων.
- Η λεκάνη απορροής του φράγματος Kallanai έχει έκταση περίπου 21.000 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Η λεκάνη αυτή περιλαμβάνει τμήματα των πολιτειών Tamil Nadu και Karnataka της Ινδίας.



Εικόνες 38 & 39: Οριζοντιογραφία (επάνω) και κάτοψη, διατομή, και όψη (κάτω) του φράγματος Kallanai. Ευγενική προσφορά του Chitra Krishnan, «Tank and Anicut Irrigation Systems: An Engineering Analysis» (Ph.D. diss., Indian Institute of Technology, 2003). Πηγή φωτογραφίας: (Bijker, 2007).

3.1.4. Μετεωρολογικά-Υδρολογικά Στοιχεία

Οι βροχές στην περιοχή που κατασκευάστηκε το φράγμα, εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την εποχή του έτους. Κατά τη διάρκεια της εποχής των μουσών (καλοκαίρι–φθινόπωρο), υπάρχουν συχνές βροχοπτώσεις, και η πόλη μπορεί να δεχτεί έντονες βροχές. Κατά την υπόλοιπη χρονιά, οι βροχές είναι περισσότερο περιορισμένες. Οπότε, θα λέγαμε πως υπάρχουν 2 κλιματικές εποχές, την ξερή περίοδο (Νοέμβριος-Απρίλιος) και την εποχή των μουσών (Μάιος-Οκτώβριος) που οι βροχοπτώσεις είναι πιο συχνές. Το 2022 στην περιοχή όπου εντοπίζεται το φράγμα Kallanaί καταγράφηκε από υδρομετεωρολογικό σταθμό, η συνολική βροχόπτωση να ανέρχεται στα 759 χιλιοστά με μέγιστη ημερήσια βροχόπτωση στα 83 χιλιοστά και 85 μέρες βροχής (Meteorological Department, 2023).

Μερικές επιπλέον πληροφορίες σχετικά με το κλίμα στην περιοχή του φράγματος Kallanaί:

- Η μέση θερμοκρασία αέρα κυμαίνεται μεταξύ 25 και 32 βαθμών Κελσίου.
- Η μέση υγρασία είναι υψηλή, περίπου 80%.
- Η εποχή των μουσών χαρακτηρίζεται από υψηλές θερμοκρασίες και υψηλά ποσοστά υγρασίας.

Η παροχή νερού που περνά από το φράγμα Kallanaί στον ποταμό Καβέρι εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες, το ύψος του νερού στον ποταμό, τις ανάγκες για αρδεύσεις και άλλους παράγοντες. Δεν υπάρχει σταθερή παροχή νερού από το φράγμα, αλλά αυτό ρυθμίζεται διαρκώς για να προσαρμόζεται στις ανάγκες της γεωργίας και της ύδρευσης.

Κατά τη διάρκεια της εποχής των μουσών, όταν ο ποταμός Καβέρι έχει υψηλή ροή λόγω των έντονων βροχοπτώσεων, το φράγμα Kallanaί είναι συνήθως ανοιχτό για να ελέγχει τον υψηλό ρυθμό ροής του ποταμού και να αποφύγει πλημμύρες. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, η παροχή νερού προς τους γεωργικούς αρδευτικούς σταθμούς μπορεί να αυξηθεί. Κατά την ξερή περίοδο, το φράγμα μειώνει την απελευθέρωση νερού για αρδεύσεις και άλλες ανάγκες. Ο στόχος είναι να διατηρηθεί το νερό για να χρησιμοποιηθεί όσο το δυνατόν πιο αποδοτικά και να παρέχεται στους αγρότες και τους κατοίκους της περιοχής κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου.

Συνολικά, η παροχή νερού από το φράγμα Kallanaί ρυθμίζεται διαρκώς ανάλογα με τις υδρολογικές συνθήκες και τις ανάγκες της περιοχής, και δεν υπάρχει σταθερός αριθμός παροχής. Στα αρχαία χρόνια, το φράγμα παρείχε νερό για άρδευση σε 400.000 εκτάρια γης.

Τα κύρια υδάτινα ρεύματα που τροφοδοτούν τη λεκάνη απορροής του φράγματος είναι ο ποταμός Καβέρι και οι παραποτάμοί του. Ο ποταμός Καβέρι πηγάζει από τα βουνά Νίλγκίρι στην πολιτεία Karnataka και ρέει προς τα νότια, διασχίζοντας τις πολιτείες Karnataka και Tamil Nadu. (Water Resources Department of Tamil Nadu, 2017).

Η λεκάνη απορροής του φράγματος Kallanaί είναι μια σημαντική πηγή νερού για την άρδευση και την ύδρευση της περιοχής. Το φράγμα Kallanaί επιτρέπει σήμερα την άρδευση περίπου 1,2 εκατομμυρίων στρεμμάτων γης στην περιοχή.

3.2. Φράγμα Sadd Al-kafara

Το φράγμα Sadd Al-kafara κατασκευάστηκε στον ποταμό Νείλο στην Αίγυπτο. Είναι το παλαιότερο και μεγαλύτερο γνωστό φράγμα και τα ερείπιά του είναι ακόμη ορατά στο Wadi

el Garawi, 30 χλμ. από το Κάιρο. Ανακαλύφθηκε 130 χρόνια πριν, στην παλιά, βαθιά και ξηρή κοιλάδα Garawi.

Στην περιοχή που κατασκευάστηκε το φράγμα Sadd Al-kafara, οι βροχές είναι συνήθως ελάχιστες και περιορισμένες σε συγκεκριμένες εποχές του έτους. Οι βροχές μπορεί να εμφανιστούν κατά τους χειμερινούς μήνες ή ανεπίσημα σε άλλες περιόδους, ανάλογα με τις μετεωρολογικές μεταβολές. Το Wadi el Garawi είναι γνωστό για την ξηρασία που επικρατεί σε μεγάλο μέρος τους χρόνου. Οι θερμοκρασίες μπορεί να αυξηθούν σε ακραία επίπεδα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, και η περιοχή μπορεί να βρεθεί σε κατάσταση ξηρασίας εάν δεν υπάρχουν επαρκείς βροχοπτώσεις. Το 2022 στην Αίγυπτο, ο υδρομετεωρολογικός σταθμός κατέγραψε συνολική βροχόπτωση 38 χιλιοστά με ημερήσια βροχόπτωση 5,2 χιλιοστά και μέρες βροχής 33.

Λόγω της διάβρωσης στην κατάντη πλευρά του ημιτελούς φράγματος και της έλλειψης υπερχειλιστή, πιστεύεται ότι το φράγμα καταστράφηκε από πλημμύρα. Επιπλέον, δεν υπήρχαν ενδείξεις σήραγγας που θα μπορούσε να εκτρέψει το νερό στο ποτάμι γύρω από το μέρος της κατασκευής. Η κατασκευή στην ανάντη πλευρά του φράγματος είχε ως επί το πλείστον ολοκληρωθεί, αλλά η κατάντη πλευρά ήταν πολύ λιγότερο ανεπτυγμένη. Η στέψη του σώματος του φράγματος είχε κλίση προς το κέντρο, το οποίο οι μηχανικοί ίσως σκόπευαν να χρησιμοποιήσουν ως υπερχειλιστή. Ωστόσο, δεδομένου ότι η κορυφή του φράγματος δεν ήταν καλυμμένη, δεν προστατευόταν από τα πλημμυρικά ύδατα που θα υπερέβαιναν την κορυφή (στέψη) του φράγματος. Η προσέγγιση του φράγματος στον εύφορο ποταμό Νείλο και η απόσταση από τους πληθυσμούς υποδεικνύει ότι κατασκευάστηκε για την προστασία από τέτοια γεγονότα, παρόμοια με αυτά που συμβαίνουν ακόμη και σήμερα. Εάν ήταν ολοκληρωμένο, το φράγμα θα αποθήκευε 465.000m³ με 625.000m³ νερού και η πλημμύρα θα προκαλούσε την υπερχειλίση του ταμιευτήρα. Η αστοχία του φράγματος πιθανότατα έκανε τους Αιγύπτιους μηχανικούς απρόθυμους να κατασκευάσουν άλλο για σχεδόν οκτώ αιώνες. Το φράγμα, με εξωτερικό μέτωπο από λιθοδομή, είχε αρχικά ύψος 14 μέτρων, μήκος κορυφογραμμής 113 μέτρων, πλάτος κορυφής 56 μέτρων και πλάτος βάσης 98 μέτρων αποτελούμενο περίπου από 2.900 m³ δομικών υλικών. Ο πυρήνας του φράγματος αποτελούνταν από 60.000 τόνους χώματος και βράχου, ενώ τα εκατέρωθεν, ανάντη και κατάντη, σώματα του φράγματος κατασκευάστηκαν από ασβεστολιθικά παραλληλεπίπεδα τεμάχια βράχου (blocks). Κάθε πέτρα είχε περίπου 30 εκατοστά ύψος, 45 εκατοστά πλάτος, 80 εκατοστά μήκος και ζύγιζε περίπου 280 κιλά.



Εικόνα 40: Τα εναπομείναντα ερείπια του Φράγματος sadd el-Kafara. (Πηγή: https://madainproject.com/sadd_el_kafara. Ανακτήθηκε στις 27-12-2023).

Συνοπτικά Τεχνικά Χαρακτηριστικά

- Είδος φράγματος: Αναχωματικού τύπου και λιθοδομή
- Ύψος: 14 m (46 πόδια)
- Μήκος: 110 m (360 πόδια)
- Πλάτος στη στέψη (κορυφή): 56 m (184 πόδια)
- Πλάτος (στη βάση): 98 m (322 πόδια)

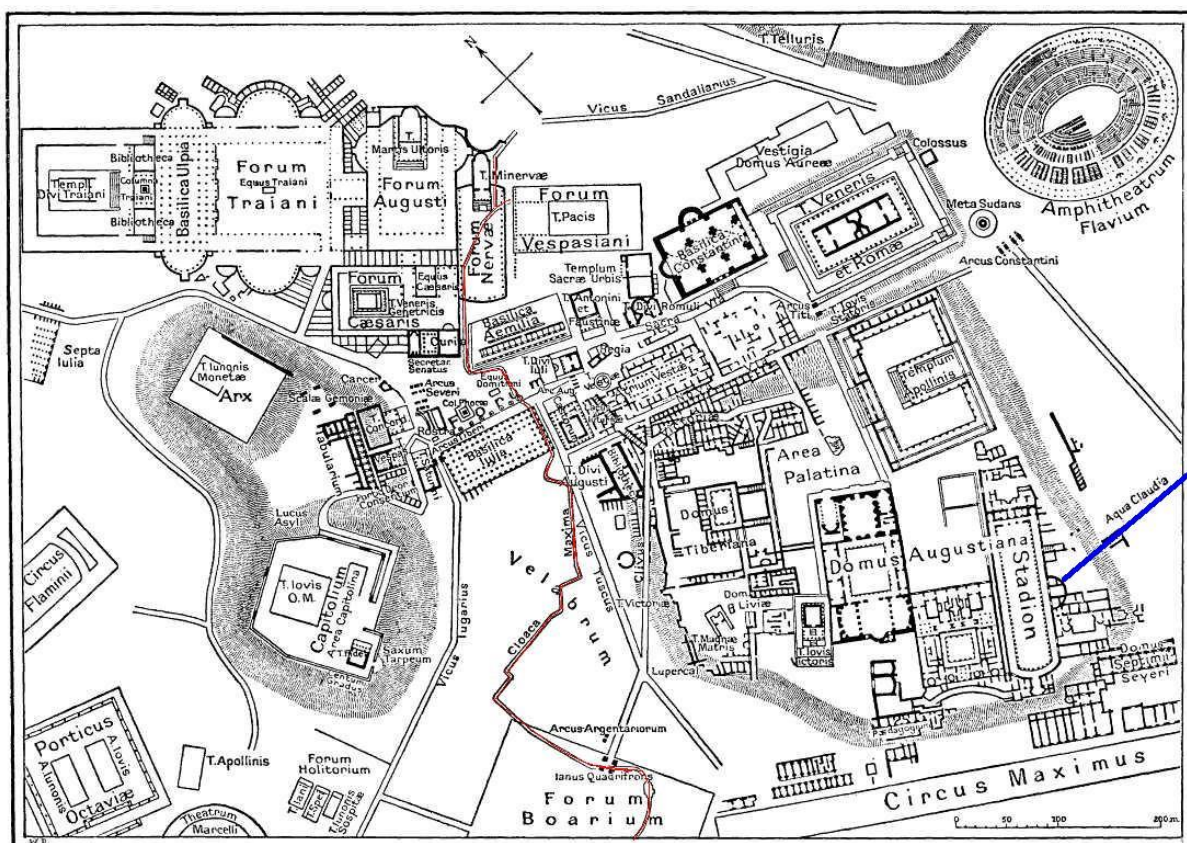


Εικόνα 41: Λεπτομέρειες του καπάντη σώματος του φράγματος του sadd el-Kafara. (Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Sadd_el-Kafara. Ανακτήθηκε στις 24-12-2023).

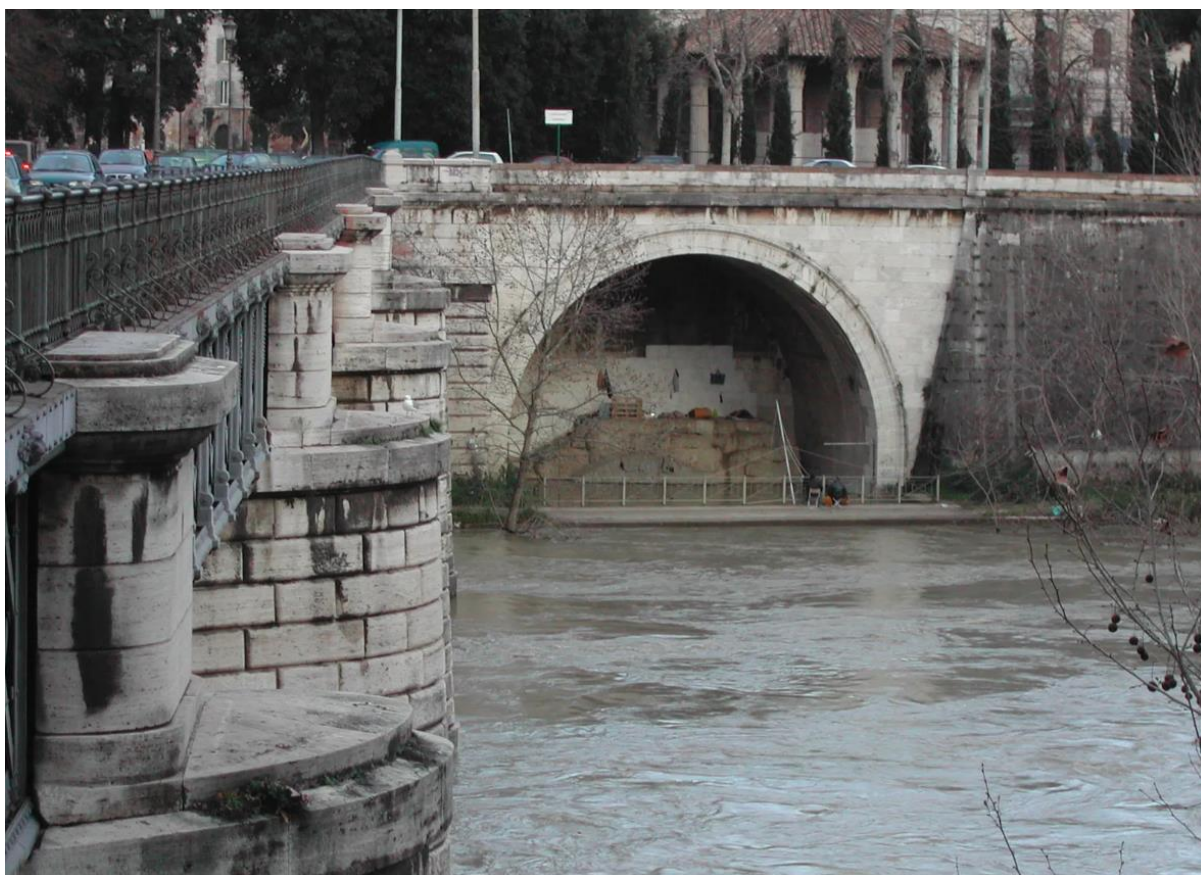
3.3. Αποχετευτικό σύστημα Cloaca Maxima

3.3.1. Τεχνικές Πληροφορίες

Το αποχετευτικό σύστημα Cloaca Maxima είναι ένα από τα παλαιότερα αποχετευτικά συστήματα στον κόσμο. Κατασκευάστηκε στην Αρχαία Ρώμη για να αποστραγγίσει και να απομακρύνει τα απόβλητα από την πόλη, μεταφέροντάς τα στον ποταμό Τίβερη, που ρέει δίπλα στην πόλη (Ferguson, 2010).



Εικόνα 42: Cloaca Maxima. Αυτός είναι ένας χάρτης της αρχαίας Ρώμης που δείχνει τον υπόνομο Cloaca Maxima (κόκκινο), και ένα υδραγωγείο (Aqua Claudia, μπλε γραμμή) κοντά στο λόφο Palatine. (Πηγή:https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Map_of_downtown_Rome_during_the_Roman_Empire_large-annotated.jpg. Ανακτήθηκε: 17-12-2023).



Εικόνα 43: Cloaca Maxima. Η έξοδος του Cloaca Maxima στον ποταμό Τίβερη, Ρώμη, Ιταλία. (Πηγή: <https://www.britannica.com/topic/Cloaca-Maxima>. Ανακτήθηκε: 15-12-2023).

3.3.2. Τεχνικές Προδιαγραφές

Το σύστημα Cloaca Maxima πληροί τις ακόλουθες τεχνικές προδιαγραφές:

- Υλικό κατασκευής: πέτρα, τούβλο
- Συνολικό Μήκος ολόκληρου του Αποχετευτικού Δικτύου: περίπου 60 χιλιόμετρα

Μήκος του κεντρικού αγωγού Cloaca Maxima: Το μήκος του αγωγού Cloaca Maxima είναι περίπου 10 χιλιόμετρα. Ωστόσο, το ακριβές μήκος του είναι δύσκολο να προσδιοριστεί, καθώς ο αγωγός έχει υποστεί πολλές αλλαγές και επισκευές κατά τη διάρκεια της ιστορίας του. Σύμφωνα με τον Ρωμαίο ιστορικό Τίτο Λίβιο, ο αρχικός αγωγός κατασκευάστηκε τον 7ο αιώνα π.Χ. και είχε μήκος περίπου 3 χιλιόμετρα. Ο αγωγός αυτός επεκτάθηκε σημαντικά τον 6ο αιώνα π.Χ., επί βασιλείας της Ταρκυνίας Πραϊνέστης. Ο αγωγός υπέστη περαιτέρω επεκτάσεις και επισκευές κατά τη διάρκεια της Ρωμαϊκής Δημοκρατίας και της Αυτοκρατορίας. Οι σημαντικότερες εργασίες πραγματοποιήθηκαν από τον Ρωμαίο αυτοκράτορα Αύγουστο, ο οποίος επέκτεινε τον αγωγό κατά περίπου 5 χιλιόμετρα. Σήμερα, ο αγωγός Cloaca Maxima είναι ακόμα σε χρήση, αλλά είναι πλέον καλυμμένος από το έδαφος. Μόνο ένα μικρό τμήμα του αγωγού είναι ορατό σήμερα. Σύμφωνα με τις πιο πρόσφατες μελέτες, το ακριβές μήκος του αγωγού Cloaca Maxima είναι περίπου 9,7 χιλιόμετρα (Hornblower, 2003).

Πλάτος κεντρικού αγωγού: περίπου 3 μέτρα

Ύψος κεντρικού αγωγού: κυμαίνεται από 2,5 έως 3,5 μέτρα. Το μέσο ύψος του αγωγού είναι περίπου 3 μέτρα (*)

Θέση: Ρώμη, Ιταλία

(*): Να σημειωθεί ότι το ύψος του αγωγού εξαρτάται από το σημείο όπου βρίσκεται. Τα τμήματα του αγωγού που βρίσκονται κάτω από το επίπεδο του εδάφους είναι υψηλότερα από τα τμήματα του αγωγού που βρίσκονται πάνω από το επίπεδο του εδάφους.

Το ύψος του αγωγού είναι σημαντικό για την αποστράγγιση των λυμάτων και των βρόχινων υδάτων. Ένας υψηλότερος αγωγός μπορεί να αποστραγγίσει περισσότερα ύδατα πιο αποτελεσματικά.

Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι το ύψος του κεντρικού αγωγού του Cloaca Maxima είναι παρόμοιο με το ύψος των αγωγών αποχέτευσης που κατασκευάζονται σήμερα. Αυτό δείχνει ότι οι Ρωμαίοι είχαν πολύ καλή κατανόηση της υδραυλικής και της αποχέτευσης.

3.3.3. Υδρολογικά και Υδρομετεωρολογικά Στοιχεία

Στην αρχαία Ρώμη, όπως και σε πολλές άλλες περιοχές, οι εποχές των βροχών και της ξηρασίας ήταν εποχιακές και εξαρτώνταν από τις μετεωρολογικές συνθήκες της περιοχής. Ο χειμώνας ήταν η περίοδος των βροχών στην αρχαία Ρώμη. Συνήθως, κατά τη διάρκεια αυτών των μηνών, οι βροχοπτώσεις ήταν πιο συχνές και έντονες. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, η αρχαία Ρώμη είχε την τάση να βιώνει περιόδους ξηρασίας. Οι βροχοπτώσεις ήταν λιγότερες και η θερμοκρασία αυξανόταν σημαντικά, καθιστώντας την εποχή αυτή δυσάρεστα ζεστή και ξηρή. Όμως, οι εποχές της άνοιξης και του φθινοπώρου μπορεί να περιείχαν μετεωρολογική μεταβλητότητα, αλλά συνήθως δεν ήταν ξηρές όσο το καλοκαίρι ή τόσο βροχερές όσο το χειμώνα. Σύμφωνα με τον υδρομετεωρολογικό σταθμό, το 2022 καταγράφηκε στη Ρώμη, συνολική βροχόπτωση 573 χιλιοστά, με μέγιστη ημερήσια βροχόπτωση 62 χιλιοστά και μέρες βροχής 164.

Το σύστημα Cloaca Maxima τροφοδοτείται από τα εξής υδρολογικά και υδρομετεωρολογικά στοιχεία:

- Εσωτερικές πηγές: αστικά λύματα, βρόχυνα ύδατα από τις στέγες και τους δρόμους
- Εξωτερικές πηγές: βρόχυνα ύδατα από τα περίχωρα της πόλης

3.3.4. Υδραυλικά Χαρακτηριστικά και Παράμετροι

Το σύστημα Cloaca Maxima έχει τα ακόλουθα υδραυλικά στοιχεία και παραμέτρους:

- Ροή νερού: 10 κυβικά μέτρα ανά δευτερόλεπτο (Eslamian & Saeid, 2018; Bianchi, Elisabetta, 2018)
- Θερμοκρασία νερού: 15-20 βαθμοί Κελσίου
- Πυκνότητα νερού: 1000-1050 κιλά ανά κυβικό μέτρο
- Συντελεστής τραχύτητας: 0,03
- Η ταχύτητα ροής του νερού στο κεντρικό αγωγό: 1,5 μέτρο ανά δευτερόλεπτο.



Εικόνα 44: Η εκροή του Cloaca Maxima όπως εμφανίζεται τον Ιανουάριο του 2019 (Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Cloaca_Maxima#. Ανακτήθηκε: 14-12-2023).

Συμπερασματικά , το σύστημα Cloaca Maxima είναι ένα σημαντικό υδραυλικό έργο που είχε σημαντικό αντίκτυπο στην ανάπτυξη της Αρχαίας Ρώμης. Το σύστημα αυτό παρείχε καθαρό νερό και απομάκρυνε τα απόβλητα από την πόλη, βελτιώνοντας την υγεία και την ευημερία των κατοίκων της.

Το κανάλι του Cloaca Maxima είχε τυπικά πλάτος περίπου 3 μέτρα, ύψος που κυμαίνεται από 2,5 έως 3,5 μέτρα με το μέσο ύψος του αγωγού να είναι περίπου 3 μέτρα, και η κλίση του ήταν μικρή. Οπότε, κατά τους υπολογισμούς μας παρακάτω υποθέτουμε μία κλίση 0,3%.

Για τον υπολογισμό της ταχύτητας ροής και της παροχτευτικότητας εφαρμόζεται η εξίσωση του Manning. Η εξίσωση του Manning είναι μια εμπειρική εξίσωση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ταχύτητας ροής του νερού σε ανοιχτούς αγωγούς και σε ομοιόμορφες συνθήκες ροής. Η εξίσωση αυτή έχει τη μορφή:

$$V = \frac{\sqrt{J}}{n} R^{2/3} \quad (2)$$

Η εξίσωση του Manning για τον υπολογισμό της παροχτευτικότητας έχει τη μορφή:

$$Q = \frac{E^{5/3} \sqrt{J}}{\Pi^{2/3} n} \quad (3)$$

όπου:

- V είναι η ταχύτητα ροής του νερού σε m/s,
- Q είναι η παροχτευτικότητα του αγωγού σε m³/s,
- n είναι ο συντελεστής τραχύτητας κατά Manning, ο οποίος είναι μια χαρακτηριστική τιμή του αγωγού που εξαρτάται από το υλικό του πυθμένα και των παρειών της διατομής,
- R είναι η υδραυλική ακτίνα του αγωγού (λόγος βρεχόμενου εμβαδού E προς βρεχόμενης περιμέτρου Π) σε m, και
- J είναι η κλίση της ελεύθερης επιφάνειας (που συνήθως λαμβάνεται ίση με την κλίση του πυθμένα του αγωγού) σε m/m

Η εξίσωση του Manning είναι μια απλή και εύκολη στην εφαρμογή εξίσωση που έχει ευρεία εφαρμογή στην υδραυλική. Χρησιμοποιείται για τον αρχικό/πρόχειρο σχεδιασμό και τη μελέτη δικτύων αποχέτευσης, καναλιών, ποταμών και άλλων ανοικτών αγωγών.

Ο συντελεστής τραχύτητας κατά Manning είναι μια σημαντική παράμετρος της εξίσωσης, που εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως το είδος του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένος ο αγωγός, το μέγεθος των ακαθαρσιών που υπάρχουν στο νερό, και της ταχύτητας ροής του νερού. Επί παραδείγματι, για αγωγούς με ομαλή επιφάνεια, ο συντελεστής τραχύτητας του Manning είναι περίπου 0.01, ενώ για αγωγούς με τραχιά επιφάνεια, ο συντελεστής τραχύτητας μπορεί να είναι μεγαλύτερος και από 0.05.

Η κλίση του πυθμένα του αγωγού είναι επίσης μια σημαντική παράμετρος της εξίσωσης, όπου καθορίζει τη διαφορά δυναμικής στάθμης μεταξύ των δύο άκρων του αγωγού. Για αγωγούς με μικρή κλίση, η ταχύτητα ροής είναι μικρή. Για αγωγούς με μεγάλη κλίση, η ταχύτητα ροής αναμένεται να είναι μεγαλύτερη.

Για τον αγωγό Cloaca Maxima ισχύουν οι ακόλουθες παράμετροι:

- n = 0.035 (εκτίμηση από στοιχεία της βιβλιογραφίας)
- A = $3.0 \times 3.0 = 9.0 \text{ m}^2$

- $\Pi = 3.0 + 2 \times 3.0 = 9.0 \text{ m}$
- $R = (A/P) = (9.0/9.0) = 1.0 \text{ m}$
- $R^{(2/3)} = 1.0^{(2/3)} = 1.0$
- $J^{(1/2)} = (0.003)^{(1/2)} = 0.055$

Από την (2) προκύπτει $V = (1/0.035) \times 1.00 \times 0.055 = \underline{1.57 \text{ m/s}}$, ενώ από την (3) προκύπτει $Q = (1/0.035) \times 1.00 \times 0.055 \times 9.0 = \underline{14.14 \text{ m}^3/\text{s}}$

Να αναφερθεί επίσης ότι ο αγωγός Cloaca Maxima στη σύγχρονη εποχή, συντηρείται και παραμένει ένα αρχαίο μνημείο στην πόλη της Ρώμης. Διάφορα τμήματα του αποχετευτικού συστήματος έχουν υποστεί συντήρηση και αποκατάσταση κατά τη διάρκεια των αιώνων, καθώς η συντήρηση του ήταν σημαντική για την ασφάλεια και την υγιεινή της πόλης.

Το Cloaca Maxima κατασκευάστηκε από ποικίλα υλικά κατασκευής που ήταν διαθέσιμα στην αρχαία Ρώμη κατά την περίοδο της κατασκευής του, περίπου τον 6^ο αιώνα π.Χ.. Ένα από αυτά είναι η πέτρα που χρησιμοποιήθηκε ευρέως για την κατασκευή των τοίχων του αγωγού και των βαθμίδων του. Η πέτρα ήταν σταθερό και ανθεκτικό υλικό που εξασφάλιζε την ανθεκτικότητα του Cloaca Maxima. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν τούβλα για την κατασκευή των τοίχων και των αγωγών του συστήματος αποχέτευσης.

3.4. Κανάλι Zhengguo

Το κανάλι Zhengguo είναι ένα από τα σημαντικότερα υδραυλικά έργα της αρχαίας Κίνας. Κατασκευάστηκε το 246 π.Χ. από τον Zheng Guo, έναν αξιωματούχο της Δυναστείας Qin, και είχε ως σκοπό την άρδευση της πεδιάδας Guanzhong, στη βορειοδυτική Κίνα. Το κανάλι αυτό ξεκινά από τον ποταμό Jing, βόρεια της πόλης Xi'an, και ρέει προς τα ανατολικά, διασχίζοντας την πεδιάδα Weibei. Το μήκος του είναι περίπου 126 χιλιόμετρα και η αρδευόμενη έκταση του είναι περίπου 77.000 εκτάρια (Zhang, 2022).

Το κλίμα της επαρχίας Shaanxi, όπου βρίσκεται το κανάλι, χαρακτηρίζεται από έντονες εποχικές διακυμάνσεις. Το καλοκαίρι είναι γενικά ζεστό και υγρό, με υψηλές θερμοκρασίες και πιθανές καταιγίδες. Το φθινόπωρο και ο χειμώνας είναι πιο ξηροί, αλλά δεν αποκλείονται περίοδοι βροχόπτωσης. Η έκταση της ξηρασίας μπορεί να διαφέρει ανάλογα με το έτος, αλλά γενικά η περιοχή αντιμετωπίζει κλιματικές προκλήσεις όσον αφορά την ύδρευση.

Το κανάλι Zhengguo έπαιξε σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της πεδιάδας Guanzhong. Η άρδευση που παρείχε επέτρεψε την ανάπτυξη της γεωργίας στην περιοχή, με αποτέλεσμα την αύξηση του πληθυσμού και της οικονομικής ευημερίας. Το κανάλι εξακολουθεί να λειτουργεί σήμερα, συνεχίζοντας να παρέχει νερό για άρδευση και άλλες χρήσεις.

3.4.1. Υδρολογικά Στοιχεία

Το κανάλι Zhengguo λαμβάνει νερό από τον ποταμό Jing, ο οποίος είναι ένας από τους μεγαλύτερους ποταμούς της βορειοδυτικής Κίνας. Ο ποταμός Jing έχει μέσο ετήσιο όγκο ροής περίπου 100 κυβικά μέτρα ανά δευτερόλεπτο. Το κανάλι Zhengguo εκτρέπει περίπου το 10% του όγκου ροής του ποταμού Jing.

Η υδατική διαθεσιμότητα στο κανάλι Zhengguo ποικίλλει ανάλογα με την εποχή του χρόνου. Το καλοκαίρι, η ζήτηση για νερό για άρδευση είναι υψηλή, αλλά και η παροχή νερού από τον

ποταμό Jing είναι υψηλή. Το χειμώνα, η ζήτηση για νερό για άρδευση είναι χαμηλή, αλλά και η παροχή νερού από τον ποταμό Jing είναι χαμηλή.

3.4.2. Υδραυλικά Χαρακτηριστικά

Το κανάλι Zhengguo έχει μήκος περίπου 126 χιλιόμετρα και πλάτος περίπου 15 μέτρα. Το βάθος του καναλιού ποικίλλει ανάλογα με την τοποθεσία, αλλά είναι γενικά περίπου 3 μέτρα. Η κλίση του καναλιού είναι περίπου 0,001, δηλαδή 1 χιλιοστό ανά μέτρο. Αυτή η κλίση είναι αρκετά μικρή για να επιτρέψει στο νερό να ρέει ομαλά κατά μήκος του καναλιού. Η ταχύτητα ροής του νερού στο κανάλι Zhengguo είναι περίπου 0,5 μέτρα ανά δευτερόλεπτο. Αυτή η ταχύτητα είναι επαρκής για να μεταφέρει το νερό σε όλη τη μήκος του καναλιού.

3.4.3. Χρησιμότητα της κατασκευής

Τα υδρολογικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά του καναλιού Zhengguo το καθιστούν ένα αποτελεσματικό έργο άρδευσης. Το κανάλι παρέχει νερό σε μια μεγάλη έκταση γης, η οποία υποστηρίζει μια σημαντική γεωργική παραγωγή.

3.5. Σύστημα Αποχέτευσης στο Μινωικό Ανάκτορο της Κνωσού

Σύμφωνα με αρχαιολογικές έρευνες, κατά τη μέσο-μινωική περίοδο στην Κρήτη και ιδίως στο μινωικό ανάκτορο της Κνωσού, εφαρμόστηκαν προηγμένες τεχνικές για τη διαχείριση του ύδατος. Αυτές οι τεχνικές περιλαμβάνουν την κατασκευή και χρήση λουτρών και άλλων εγκαταστάσεων υγιεινής, καθώς και την ανάπτυξη συστημάτων αποχέτευσης και διάθεσης αποβλήτων και βρόχινων νερών. Η λειτουργία αυτών των αποχετευτικών συστημάτων στα ανάκτορα και τους οικισμούς θεωρείται ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά της μινωικής κοινωνίας. Αυτά τα συστήματα ήταν τόσο προηγμένα που μπορούν να συγκριθούν με τα αντίστοιχα σύγχρονα συστήματα που αναπτύχθηκαν στην Ευρώπη και την Αμερική κατά τον 19^ο αιώνα.

Το συνολικό μήκος του αποχετευτικού συστήματος του ανακτόρου της Κνωσού, συμπεριλαμβανομένων των αγωγών εκροής και των δευτερευόντων αγωγών, υπερβαίνει τα 150 μέτρα. Ο κεντρικός αγωγός είναι διαστάσεων 79×38 εκ., με μία υποτιθέμενη κλίση 0,1%. Εφαρμόζοντας την εξίσωση του Manning έχουμε:

- $n = 0,025$ (πρόχειρη εκτίμηση από βιβλιογραφία)
- $A = 0.79 \times 0.38 = 0.3 \text{ m}^2$
- $P = 0.79 + 2 \times 0.38 = 1.55 \text{ m}$
- $R = (A/P) = (0.3 / 1.55) = 0.32 \text{ m}$
- $R^{(2/3)} = 0.32^{(2/3)} = 0.470$
- $J^{(1/2)} = (0.001)^{(1/2)} = 0.032$

Από την (3) εξίσωση προκύπτει $Q = (1/0.025) \times 0.3 \times 0.470 \times 0.032 = 0.18 \text{ m}^3/\text{s}$

Το αποχετευτικό σύστημα της Κνωσού, παρά την πάροδο του χρόνου και τις φυσικές επιδράσεις που έχει υποστεί, διατηρείται ακόμη και σήμερα. Δεν υπάρχουν στοιχεία ή

αρχαιολογικές αναφορές που να υποδεικνύουν ότι το αποχετευτικό σύστημα έχει αστοχήσει ή έχει ανακατασκευαστεί κατά τη διάρκεια της αρχαίας ή της μεταγενέστερης ιστορίας του, όμως, αυτό που γνωρίζουμε είναι ότι υπήρχε ο καθαρισμός και η συντήρησή του.

Η κατασκευή του αποχετευτικού συστήματος βασίστηκε κυρίως σε δύο υλικά. Το κυριότερο υλικό που χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία ανθεκτικών υδραυλικών εγκαταστάσεων είναι η πέτρα. Οι πέτρες επεξεργάστηκαν με προσοχή για να δημιουργηθούν ανθεκτικές δομές που θα μπορούσαν να αντέξουν τη διάβρωση από το νερό και τον χρόνο. Το δεύτερο κυριότερο υλικό ήταν το κονίαμα. Το κονίαμα χρησιμοποιήθηκε για το επίχρισμα των επιφανειών του αποχετευτικού συστήματος, προσφέροντας προστασία από διαρροές και ενισχύοντας την αποτελεσματικότητά του.

3.6. Αποχέτευση Αγοράς Αρχαίας Αθήνας – Ο Μεγάλος Αγωγός

Η αποχέτευση στην αρχαία Αγορά της Αθήνας ήταν αρκετά πρωτοποριακή για την εποχή της. Οι αρχαίοι Έλληνες ανέπτυξαν ένα σύστημα αποχέτευσης που συνδυάζει τεχνική επιδεξιότητα με ανθρώπινη δημιουργικότητα. Η Αγορά είχε δικό της δίκτυο αποχετεύσεων που συνέκρινε με ύδρευση και αποχέτευση. Οι δρόμοι ήταν πλακωτοί και είχαν ελαφριά κλίση προς το κέντρο, οπότε τα νερά μπορούσαν να κατευθυνθούν προς ένα σύστημα υπογείων αποχετεύσεων. Οι αποχετεύσεις αυτές συνδέονταν με το ποτάμι για τη διάθεση των αποβλήτων. Ο λεγόμενος «Μεγάλος Αγωγός» βρισκόταν συγκεκριμένα στα βορειοδυτικά της Ακρόπολης, εκεί όπου ήταν και η Αρχαία Αγορά της Αθήνας.

Η αρχαία Αγορά της Αθήνας βρισκόταν σε μια περιοχή με μεσογειακό κλίμα, το οποίο χαρακτηρίζεται από ζεστά και ξηρά καλοκαίρια, με υψηλές θερμοκρασίες, και δροσερούς και υγρούς χειμώνες με περισσότερες βροχές. Η καταγραφή του υδρομετεωρολογικού σταθμού για μία συνηθισμένη χρονιά, όπως το 2022, κατέγραψε συνολική βροχόπτωση 326 χιλιοστά, με μέγιστη ημερήσια βροχόπτωση 34 χιλιοστά και 78 μέρες βροχής.

Πρόκειται για ένα αγωγό πλάτους και βάθους 1 μ. , με μία ελαφριά κλίση που εξασφάλιζε τη σταθερή ροή (έστω 0,2%) . Το μήκος της αποχέτευσης της αγοράς της Αρχαίας Αθήνας δεν είναι ακριβώς γνωστό, αλλά η εκτίμηση του μήκους του κυμαίνεται περίπου από 2,5 έως 4 χιλιόμετρα, ανάλογα με την πηγή πληροφοριών. Εφαρμόζοντας την εξίσωση του Manning έχουμε:

- $n = 0.033$ (πρόχειρη εκτίμηση από βιβλιογραφία)
- $A = 1.0 \times 1.0 = 1.0 \text{ m}^2$
- $P = 1.0 + 2 \times 1.0 = 3.0 \text{ m}$
- $R = (A/P) = (1.0/ 3.0) = 0.33\text{m}$
- $R^{(2/3)} = 0.33^{(2/3)} = 0.478$
- $J^{(1/2)} = (0.002)^{(1/2)} = 0.045$

Από την (3), λοιπόν, προκύπτει $Q = (1/0.033) \times 1.0 \times 0.478 \times 0.045 = 0.65 \text{ m}^3/\text{s}$

Η αποχέτευση της αρχαίας Αθήνας αποτελεί ένα εκπληκτικό παράδειγμα ανθρώπινης μηχανικής που εξακολουθεί να λειτουργεί με εντυπωσιακή αποτελεσματικότητα, ακόμα και

μετά από αιώνες αμέλειας από τον ανθρώπινο παράγοντα. Αυτό το αρχαίο σύστημα αποχέτευσης δεν αποτελεί μόνο ένα τεχνικό επίτευγμα, αλλά και ένα παράδειγμα συνδυασμού προνοητικού σχεδιασμού με οικολογική βιωσιμότητα. Παρά το πέρασμα του χρόνου και την απουσία συντήρησης από τους ανθρώπους, αυτό το σύστημα διατηρεί την ικανότητά του να απομακρύνει τα απόβλητα από την πόλη. Αυτό δείχνει την προορατικότητα των αρχαίων Ελλήνων και τη στενή του σύνδεση με τη φύση, αντιμετωπίζοντας τα απόβλητα ως πόρο που μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί.

Ένα από τα κύρια υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή του αποχετευτικού συστήματος της αρχαίας αγοράς αποτελεί η πέτρα. Η πέτρα χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία των αγωγών του αποχετευτικού συστήματος. Είχε, λοιπόν, πλευρικά τοιχώματα από πολυγωνικούς ογκόλιθους, πλακόστρωτο πυθμένα και ογκώδεις καλυπτήριες πλάκες.

3.7. Αποξήρανση της Λίμνης Κωπαΐδας

Η Κωπαΐδα αποτελεί ένα ενδιαφέρον παράδειγμα από τη Μυκηναϊκή εποχή, όπου οι αρχαίοι κάτοικοι του Ορχομενού, γνωστοί ως Μινύες, πραγματοποίησαν εντυπωσιακά έργα αποστράγγισης και αποξήρανσης της λίμνης Κωπαΐδας. Η λίμνη αυτή είχε περίπου 250.000-280.000 στρέμματα έκταση και οι Μινύες, τον 16ο αιώνα π.Χ., κατάφεραν να αποστραγγίσουν αυτήν την λίμνη με εντυπωσιακά σχεδιασμένα συστήματα αποστράγγισης, συμπεριλαμβανομένων χωμάτινων αναχωμάτων και αποχετευτικών διωρύγων. Αυτό αποτελεί ένα ενδιαφέρον παράδειγμα συνδυασμού αντιπλημμυρικών και γεωργικών έργων που αναπτύχθηκαν στην περιοχή.

Η περιοχή του Ορχομενού, όπου υπάρχει η αποξηραμένη λίμνη της Κωπαΐδας, βρίσκεται στην Κεντρική Ελλάδα και χαρακτηρίζεται από ηπειρωτικό κλίμα, με χαρακτηριστικές υψηλές θερμοκρασίες το καλοκαίρι και χαμηλές θερμοκρασίες το χειμώνα. Οι βροχοπτώσεις είναι υψηλές τους χειμερινούς μήνες, ενώ το καλοκαίρι η περιοχή είναι ξηρή. Σημαντικοί είναι οι καλοκαιρινοί άνεμοι, και περιοδικά μπορεί να υπάρχουν προβλήματα ξηρασίας. Το 2022, ο υδρομετεωρολογικός σταθμός κατέγραψε συνολική βροχόπτωση 306 χιλιοστών, με τη μεγαλύτερη ημερήσια βροχόπτωση να φτάνει τα 44 χιλιοστά. Κατά τη διάρκεια της χρονιάς, σημειώθηκαν 61 μέρες με βροχή. Επιπλέον, η χαμηλότερη θερμοκρασία που καταγράφηκε ήταν -2,6 βαθμοί Κελσίου, ενώ η υψηλότερη θερμοκρασία έφτασε τους 40 βαθμούς Κελσίου.

Για τον υπολογισμό της παροχετευτικότητας των αντιπλημμυρικών έργων (αναχώματα και αναλημματικοί τοίχοι), πρέπει να εντοπίσουμε το σημείο όπου η διατομή για τη διέλευση του νερού είναι η ελάχιστη. Υποθέτοντας ότι το ύψος των έργων είναι παντού 3 μέτρα, η διατομή αυτή βρίσκεται εκεί όπου τα αντιπλημμυρικά έργα βρίσκονται στην πλησιέστερη απόσταση από τα πρανή προς τα βόρεια. Αυτή η θέση βρίσκεται περίπου 10 χιλιόμετρα ανατολικά του Ορχομενού, όπου τα έργα απέχουν περίπου 25 μέτρα από τα πρανή. Η κλίση του εδάφους κατά μήκος των έργων διατηρούνταν περίπου στο ίδιο επίπεδο, περίπου 0,1% (Knauss, 2005).

Εφαρμόζοντας την εξίσωση του Manning έχουμε:

- $n = 0.020$ (πρόχειρη εκτίμηση από τη βιβλιογραφία)
- $A = 25 \times 3.0 = 75.0 \text{ m}^2$
- $P = 25 + 2 \times 3.0 = 31.0 \text{ m}$
- $R = (A/P) = (75.0/31.0) = 2.42 \text{ m}$
- $R^{(2/3)} = 2.42^{(2/3)} = 1.80$
- $J^{(1/2)} = (0.001)^{(1/2)} = 0.03$

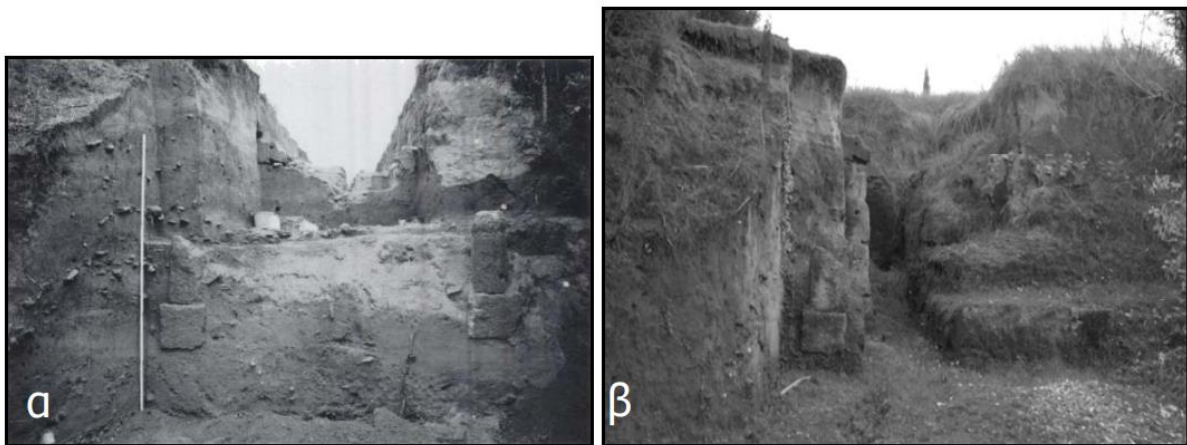
Από την (3), λοιπόν, προκύπτει $Q = (1/0.020) \times 75.0 \times 1.80 \times 0.03 = 202.5 \text{ m}^3/\text{s}$

Τα αρδευτικά έργα καταστράφηκαν μετά την παρακμή των Μινύων και την κάθοδο στην περιοχή των Βοιωτών. Στην καταστροφή των έργων συνέβαλαν και καταστρεπτικοί σεισμοί που σημειώθηκαν στην περιοχή. Έτσι, σταδιακά στις αρχές του 13ου π.Χ αιώνα, η περιοχή πλημμύρισε πάλι, ξανασχηματίστηκε η λίμνη και παρέμεινε έτσι για περισσότερα από 3000 χρόνια. Έργα αποξήρανσης έγιναν και κατά την περίοδο του Μεγάλου Αλεξάνδρου από τον Κράτη τον Ολύνθιο, όπως αναφέρει ο Στράβων. Τελικά, όμως, με την ανεξαρτητοποίηση της Ελλάδας, η λίμνη Κωπαΐδα αποξηράθηκε για έλεγχο της ελονοσίας και επισιτιστικούς σκοπούς. Μετά από πολλές αποτυχημένες προσπάθειες, αποστραγγίστηκε και καλλιεργήθηκε εντατικά με διάφορα γεωργικά προϊόντα, συμπεριλαμβανομένων του σίτου, του βαμβακιού, του καλαμποκιού, των οσπρίων και των ντοματών.

Για την κατασκευή των τοίχων χρησιμοποιήθηκαν διάφορα υλικά ανάλογα με τη θέση τους. Στο εξωτερικό των τοίχων τοποθετήθηκαν μεγάλοι βράχοι σε ομοιόμορφες στρώσεις που είχαν περίπου το ίδιο ύψος. Στο εσωτερικό, χρησιμοποιήθηκαν μικρότερα κομμάτια πέτρας. Για τον πυρήνα των τοίχων χρησιμοποιήθηκε κίτρινη άργιλος, η οποία εξασφαλίζει την ανθεκτικότητα των τοίχων. Αυτή η άργιλος αντλήθηκε από τον πυθμένα της λίμνης Κωπαΐδας και διακρίνεται για την ιδιαίτερη ικανότητά της να παραμένει στερεή και ανθεκτική ακόμα και υπό υδρολογικές συνθήκες, καθώς διαθέτει υδρομονωτικές ιδιότητες και υψηλή πλαστικότητα.

3.8. Αντιπλημμυρικό Τείχος Κλαδέου

Το αντιπλημμυρικό τείχος του Κλαδέου είναι ένα υδραυλικό έργο που βρίσκεται στην αρχαία Ολυμπία, στην Ελλάδα. Κατασκευάστηκε κατά την αρχαιότητα και αποσκοπούσε στην προστασία της περιοχής από πλημμύρες. Το τείχος είναι κατασκευασμένο από κροκαλοπαγή και έχει μήκος περίπου 800 μέτρα. Έχει διεύθυνση Β-Ν και βρίσκεται σχεδόν παράλληλα με τη δυτική πλευρά του αρχαιολογικού χώρου.



Εικόνα 45: (α) Ανασκαφή στη δυτική όχθη του Κλαδέου το 1999. Άνω και κάτω είναι ευδιάκριτα τετράγωνα θεμέλια και κολώνες (Knauss 1998; Kyrieleis 1988). (β) Η ίδια θέση σήμερα.

3.8.1. Πλημμύρες στην Αρχαία Ολυμπία

Το αντιπλημμυρικό τείχος της αρχαίας Ολυμπίας κατασκευάστηκε για να προστατεύσει τον αρχαιολογικό χώρο από τις πλημμύρες του ποταμού Κλαδέου. Οι πλημμύρες στον Κλαδέο οφείλονται σε διάφορους παράγοντες, όπως κατολισθήσεις, αλλαγές χρήσης γης και

κλιματικές αλλαγές. Ωστόσο, η κύρια αιτία φαίνεται να είναι η αντίδραση του Κλαδέου στη δράση του ποταμού Αλφειού, ο οποίος αλλάζει θέση στο πλάτος ενός χιλιομέτρου του πεδίου του.

Όταν ο Αλφειός ρέει πλησίον της νότιας όχθης του, ο Κλαδέος αποκτά το μέγιστο μήκος του και επεκτείνει την κοίτη του. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε πλημμύρες στον αρχαιολογικό χώρο, καθώς ο Κλαδέος μπορεί να υπερβεί τις όχθες του και να αποθέσει ιζήματα.

Την πρώιμη αρχαϊκή περίοδο, τα πρώτα κτίρια του Ιερού της Ολυμπίας κατασκευάστηκαν. Μέχρι τις αρχές του 7ου αιώνα π.Χ., ο Κλαδέος έρεε δίπλα από τον Κρόνιο λόφο και στα ανατολικά του τείχους. Μετά την αλλαγή της διαδρομής του από τα ανατολικά στα δυτικά του τείχους, η περιοχή δίπλα από την Άλτη αποτέλεσε μια ιδανική θέση για εορταστικές και λατρευτικές εκδηλώσεις.

Κατά τον 7ο αιώνα π.Χ., κατασκευάστηκαν αντιπλημμυρικά τείχη και αναχώματα για την προστασία της περιοχής όπου το 776 π.Χ. ξεκίνησαν οι Ολυμπιακοί Αγώνες.

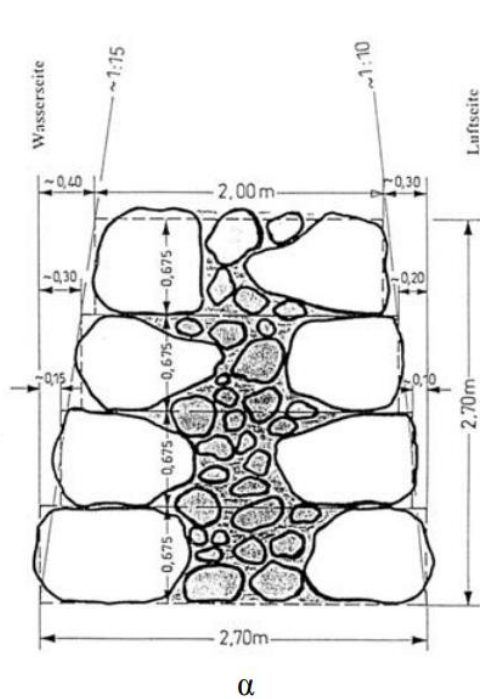
Στις αρχές του 4ου αιώνα π.Χ., ο ποταμός προκάλεσε διάρρηξη του συμπαγούς τείχους. Το κενό που δημιουργήθηκε καλύφθηκε με τετράγωνους δομικούς λίθους που υπήρχαν στο Ιερό και αργότερα με την κατασκευή ενός αναχώματος από χαλίκια. Ωστόσο, αυτό το ανάχωμα αποδείχτηκε ανεπαρκές και καταστράφηκε σε μεταγενέστερη πλημμύρα (Φουντούλης et Al., 2008).

Η ένταση των πλημμυρικών φαινομένων και η οξύτητα των προβλημάτων που δημιουργούσαν υποδηλώνεται από την κατασκευή καναλιού στα δυτικά του τείχους για τη διευθέτηση της κοίτης και τη γρηγορότερη απομάκρυνση των ποτάμιων υδάτων από την περιοχή του Ιερού (Κωνσταντίνου, 2015).

3.8.2. Τεχνικές Προδιαγραφές

Το τείχος του Κλαδέου έχει τις ακόλουθες τεχνικές προδιαγραφές:

- Υλικό κατασκευής: Κροκαλοπαγή
- Μήκος: 800 μέτρα
- Διεύθυνση: B-N
- Απόσταση από την κοίτη του Κλαδέου: 7 μέτρα
- Ύψος: 2,70 μέτρα
- Πλάτος στην κορυφή: 2,00 μέτρα
- Πλάτος στη βάση: 2,70 μέτρα

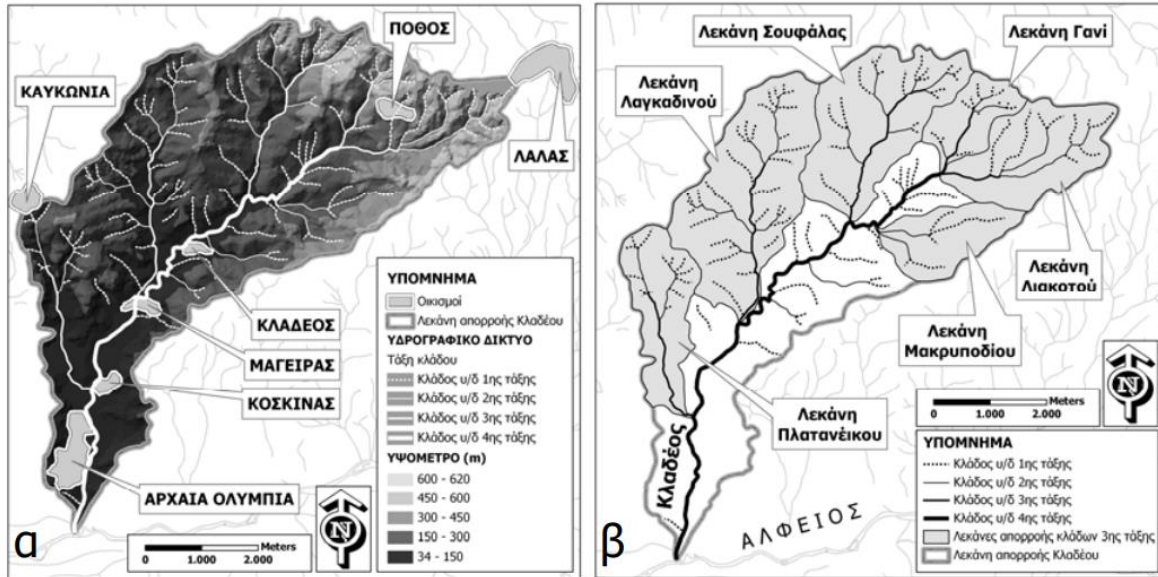


Εικόνα 46: (α) Εγκάρσια τομή του τείχους (βλ. κείμενο). (β) Το νότιο άκρο του τείχους του Κλαδέου. Άποψη από τα δυτικά και (γ) από τα νότια (από Knauss 1998, 2001)

3.8.3. Υδρολογικά και Υδρομετεωρολογικά Στοιχεία

Η αρχαία Ηλεία, όπου βρισκόταν η περιοχή της αρχαίας Ολυμπίας, είχε κλιματικές μεταβολές κατά τις διάφορες εποχές του έτους. Το καλοκαίρι ήταν ζεστό και ξηρό, το φθινόπωρο είχε μειωμένες θερμοκρασίες και βροχές ενώ ο χειμώνας είχε χαμηλές θερμοκρασίες και βροχοπτώσεις.

Η λεκάνη απορροής του Κλαδέου έχει έκταση περίπου 260 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Η μέση ετήσια βροχόπτωση στην περιοχή είναι περίπου 800 χιλιοστά. Οι μέγιστες πλημμυρικές ροές που έχουν καταγραφεί στον Κλαδέο είναι περίπου 1.000 κυβικά μέτρα ανά δευτερόλεπτο.

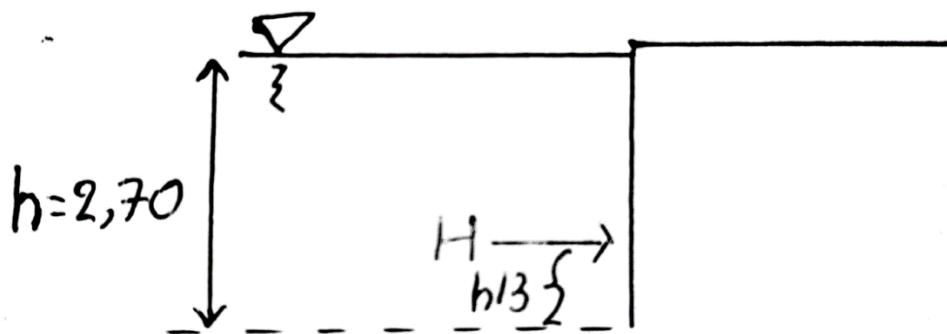


Εικόνα 47: (α) Τοπογραφικός χάρτης της λεκάνης απορροής του Κλαδέου. (β) Χάρτης με τις λεκάνες απορροής 3ης τάξης. (από Knauss 1998, 2001)

3.8.4. Υδραυλικά Στοιχεία και Παράμετροι

Η ταχύτητα της πλημμυρικής ροής στον Κλαδέο στην περιοχή του αντιπλημμυρικού τείχους είναι περίπου 2 μέτρα ανά δευτερόλεπτο.

Το τείχος είναι σχεδόν κατακόρυφο, έχει ύψος 2,70m και μήκος 800m, με ομοιόμορφη κλίση 7,7%.



Το αντιπλημμυρικό τείχος του Κλαδέου είναι ένα σημαντικό έργο που έχει βοηθήσει στην προστασία της αρχαίας Ολυμπίας από πλημμύρες.

3.9. Αρχαίο Φράγμα Αλυζίας

Το αρχαίο φράγμα Αλυζίας βρίσκεται στην περιοχή Ξηρόμερο της δυτικής Ακαρνανίας, κοντά στα χωριά Μύτικας και Κανδήλα, κοντά στην αρχαία πόλη της Αλυζίας. Το φράγμα είναι λιθόρριπτο και βρίσκεται σφηνωμένο σε στενωπό του ρέματος Βάρνακα, 600μ. από την έξοδο

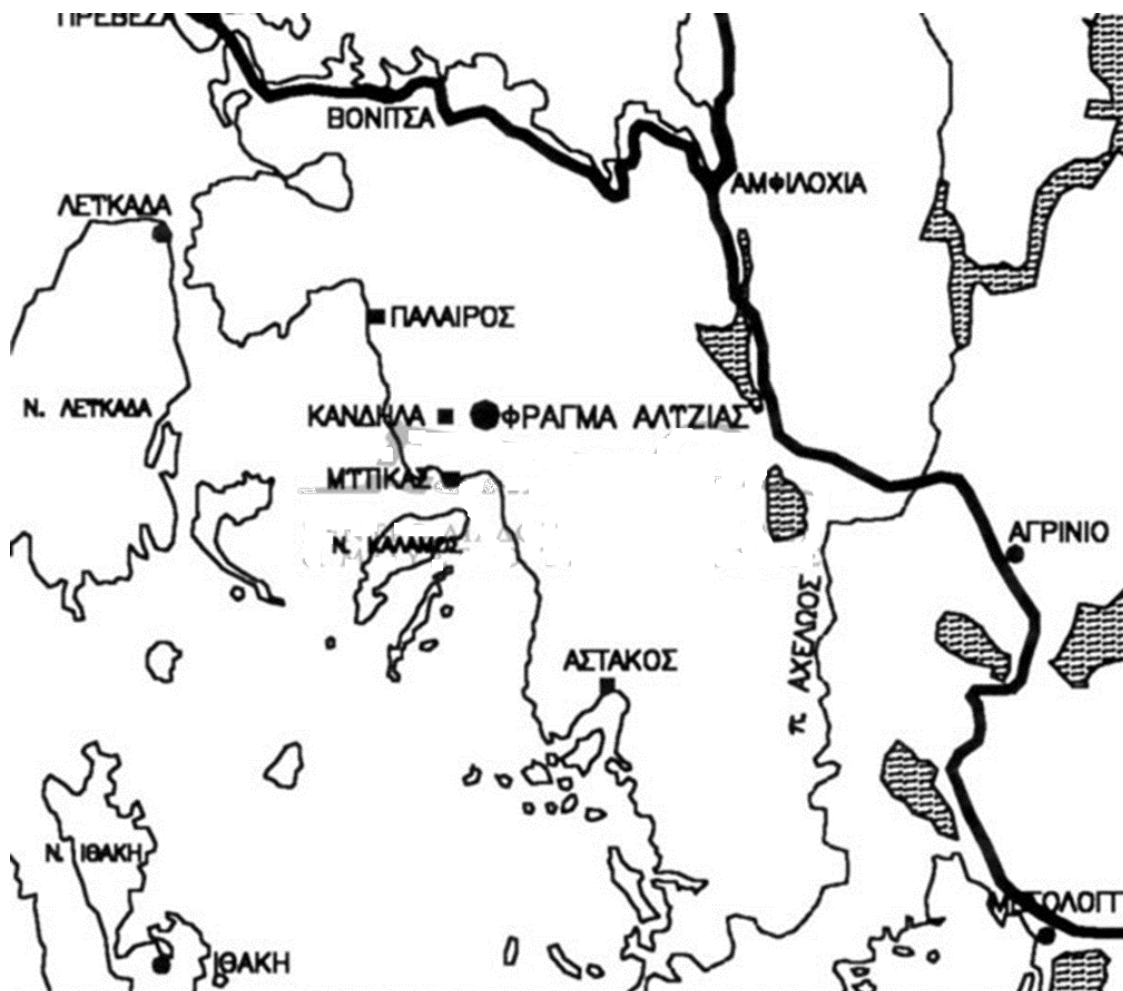
του ρέματος στον κάμπο του Μύτικα. Το αρχαίο φράγμα της Αλυζίας κατασκευάστηκε κατά τον 5^ο αιώνα π.Χ. και αποτελεί ένα σημαντικότατο επίτευγμα της αρχαίας εποχής.

3.9.1. Τεχνικές πληροφορίες

Το φράγμα είναι κατασκευασμένο από τοπικούς λίθους και γαιώδη εδαφικά υλικά, ασβεστολιθικής προέλευσης, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε αρμονία μεταξύ τους σε δεκαπέντε οριζόντιες σειρές κλιμακωτά και κατασκευάστηκαν με την τεχνική του ανάγλυφου. Οι διαστάσεις των λίθων ορθογωνικού σχήματος κυμαίνονται μεταξύ 60 και 80 εκατοστών, με την ενδιάμεση τοποθέτηση μικρότερων λίθων, χωρίς τη χρήση συνδετικού υλικού. Οι πρώτες πέντε σειρές από τη βάση έχουν μέση κλίση 75 μοίρες από την κατακόρυφο, μειώνοντας στις 30 μοίρες καθώς ανεβαίνουμε προς τα πάνω.

Το φράγμα έχει δύο θυρίδες εκροής, οι οποίες βρίσκονται στη βάση του, μία στη δεξιά πλευρά και μία στην αριστερή πλευρά. Οι θυρίδες είναι κατασκευασμένες από πέτρα και έχουν σχήμα ορθογώνιο.

Η σύγχρονη έρευνα υποστηρίζει ότι το φράγμα κατασκευάστηκε για την προστασία του κάμπου της Αλυζίας από τις αποθέσεις των φερτών υλικών του ρέματος Βάρνακα. Οι αποθέσεις αυτές ήταν με υψηλό ποσοστό κροκάλων και δυσκόλευαν την καλλιέργεια της πεδιάδας.



Εικόνα 49: Η Χωροθέτηση του Αρχαίου Φράγματος της Αλυζίας (Πηγή: Μουτάφης et Al., 2013).

3.9.2. Τεχνικές Προδιαγραφές Φράγματος

Το φράγμα έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Ύψος: 11μ. με στέψη στο υψόμετρο +95,0.
- Μήκος: 120μ.
- Κατεύθυνση: κάθετη προς την κοίτη του ρέματος
- Βάση: 7μ.
- Πλάτος κορυφής: 3μ.

3.9.3. Υδρολογικά και Υδρομετεωρολογικά Στοιχεία

Το ρέμα Βάρνακα είναι παραπόταμος του Αχελώου. Έχει μήκος περίπου 12 χιλιόμετρα και η λεκάνη απορροής του έχει έκταση περίπου 40 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Το ρέμα τροφοδοτείται από τις βροχοπτώσεις και από τα νερά του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. Τα εκτεταμένα πλευρικά κορήματα που παρατηρούνται στα πρανή της λεκάνης απορροής, δημιουργούν ιδιαίτερα υψηλές στερεοπαροχές, με αποτέλεσμα ο εκάστοτε ταμιευτήρας να πληρούται σε μικρό σχετικά χρονικό διάστημα. Η μέση ετήσια βροχόπτωση στην περιοχή είναι 725 mm.

3.9.4. Υδραυλικά Στοιχεία και Παράμετροι

Τα υδραυλικά στοιχεία και παράμετροι του αρχαίου φράγματος Αλυζίας προέρχονται από δύο επιστημονικές μελέτες που πραγματοποιήθηκαν το 2013 και το 2015.

Η μελέτη του Μουτάφη και Ζαρκαδουλά (2013) βασίστηκε σε γεωλογικές και υδρογεωλογικές έρευνες στην περιοχή της Αλυζίας. Οι ερευνητές υπολόγισαν ότι η μέση παροχή του ρέματος Βάρνακα είναι περίπου 1.5 κυβικά μέτρα ανά δευτερόλεπτο. Η μέγιστη παροχή που έχει καταγραφεί είναι περίπου 25 κυβικά μέτρα ανά δευτερόλεπτο.

3.9.5. Προδιαγεγραμμένη Παροχή του Φράγματος

Η προδιαγεγραμμένη παροχή του φράγματος είναι η παροχή που το φράγμα έχει σχεδιαστεί για να αντέχει. Ο Παπαγεωργίου (2015) υπολόγισε ότι το φράγμα Αλυζίας έχει σχεδιαστεί για να αντέχει σε παροχή 20 κυβικά μέτρα ανά δευτερόλεπτο. Η στάθμη της λίμνης πίσω από το φράγμα μπορεί να φτάσει τα 12 μέτρα πάνω από το έδαφος και αυτό υποδηλώνει ότι το φράγμα ήταν σε θέση να αποθηκεύει νερό για χρήση στη διάρκεια της ξηρασίας.

3.9.6. Ανάλυση Υδραυλικών Στοιχείων

Τα υδραυλικά στοιχεία και παράμετροι του αρχαίου φράγματος Αλυζίας είναι σημαντικά για την κατανόηση της λειτουργίας και της χρήσης του φράγματος.

Η μέση παροχή του ρέματος Βάρνακα υποδηλώνει ότι το φράγμα ήταν σε θέση να παρέχει νερό για άρδευση και άλλες χρήσεις για μεγάλο μέρος του χρόνου. Η μέγιστη παροχή του ρέματος Βάρνακα υποδηλώνει ότι το φράγμα ήταν σε θέση να αντέχει σε περιόδους υψηλών βροχοπτώσεων και πλημμυρών.

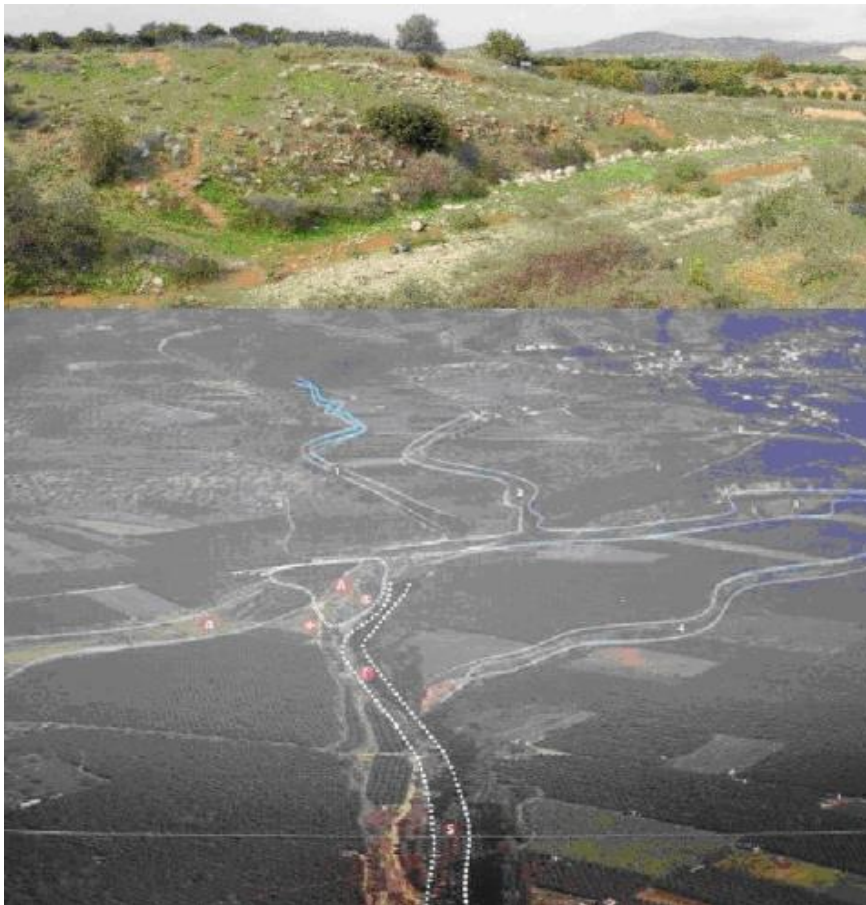
Συνολικά, το αρχαίο φράγμα Αλυζίας ήταν ένα σημαντικό έργο της αρχαίας ελληνικής τεχνολογίας. Το φράγμα ήταν καλά σχεδιασμένο και κατασκευασμένο και ήταν σε θέση να παρέχει νερό για τις ανάγκες της τοπικής κοινότητας.

Το αρχαίο φράγμα Αλυζίας είναι ένα σημαντικό έργο υδραυλικής μηχανικής που κατασκευάστηκε στην αρχαιότητα. Το φράγμα είχε σκοπό την άρδευση των καλλιεργειών και την προστασία από τις πλημμύρες, αλλά και την προστασία του κάμπου της Αλυζίας από τις αποθέσεις των φερτών υλικών του ρέματος Βάρνακα.

Το φράγμα είναι καλά κατασκευασμένο και έχει ανταποκριθεί επαρκώς στο σκοπό του για αιώνες. Το φράγμα αποτελεί ένα σημαντικό δείγμα της αρχαίας ελληνικής τεχνολογίας και αποτελεί αντικείμενο έρευνας και μελέτης από σύγχρονους επιστήμονες.

4. Περίπτωση μελέτης: Φράγμα της Αρχαίας Τίρυνθας

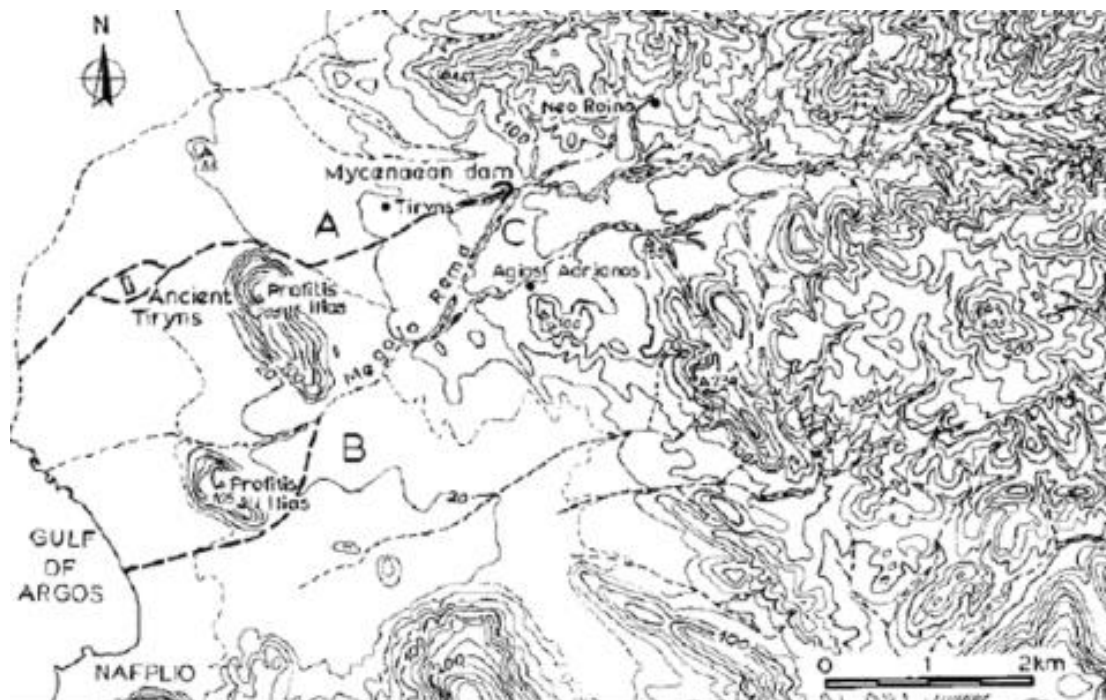
Το φράγμα της αρχαίας Τίρυνθας είναι ένα από τα σημαντικότερα υδραυλικά έργα της μυκηναϊκής περιόδου. Κατασκευάστηκε τον 13ο αιώνα π.Χ. από τους Μυκηναίους για να προστατεύσει την πόλη από τις πλημμύρες του χειμάρρου της Τίρυνθας. Βρίσκεται στα ανατολικά περιθώρια του Αργολικού πεδίου, στη κοίτη του Μεγάλου Ρέματος. Απέχει περίπου δύο χιλιόμετρα ανατολικά από τη Νέα Τίρυνθα και περίπου πέντε χιλιόμετρα από την ακρόπολη της Τίρυνθας.



Εικόνα 51: Υπολείμματα από τον τοίχο του φράγματος 1β. Το Μυκηναϊκό φράγμα της Τίρυνθας (30.000m³ όγκου χώματος), Α,Β,Γ: το σύνολο του έργου για την εκτροπή των χειμάρρων 1,2 και 3, Δ η παλιά κοίτη «Λάκισα». (Πηγή: Μαριολάκος, et Al. <https://argolikivivliothiki.gr>. Ανακτήθηκε 11-12-2023).

4.1. Τεχνικές Πληροφορίες

Το φράγμα της Τίρυνθας είναι ένα φράγμα αντιστήριξης κατασκευασμένο από ογκόλιθους. Το μήκος του είναι περίπου 100 μέτρα και το ύψος του φτάνει τα 20 μέτρα. Το φράγμα είναι κατασκευασμένο σε μια στενή λωρίδα γης μεταξύ του χειμάρρου της Τίρυνθας και του λόφου όπου βρίσκεται η ακρόπολη της πόλης (Ραγκαβέ, 1931).



Εικόνα 52: Τοπογραφικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής του Μυκηναϊκού φράγματος και της Αρχαίας Τίρυνθας. Α. Η αδρανής κοίτη του χειμάρρου πριν από 3.200 χρόνια, Β. Η πιο πρόσφατη εκτροπή του ποταμού από τους Βενετούς πριν 500 χρόνια περίπου, C. η τεχνητή κοίτη του ρέματος. Πηγή: Jost Knauss, Argolische Studien. Ανακτήθηκε 11-12-2023.

4.2 Τεχνικές Προδιαγραφές

Το φράγμα της Τίρυνθας είναι ένα εξαιρετικά καλά σχεδιασμένο και κατασκευασμένο έργο. Οι ογκόλιθοι που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του είναι καλά συναρμολογημένοι και τα κενά μεταξύ τους είναι γεμισμένα με εδαφικό συνδετικό υλικό και πέτρες. Το φράγμα είναι επίσης ενισχυμένο με δύο αναχώματα, ένα στη νότια πλευρά και ένα στη βόρεια πλευρά. (Ντέρπφελντ, 1963).

Ο πυρήνας του φράγματος είναι κατασκευασμένος από κοκκινόχωμα ενώ και στην Ανατολική και Δυτική πλευρά έχουν κατασκευαστεί προστατευτικοί τοίχοι. Η σταθερότητα του φράγματος ενισχύεται από την παρουσία βραχώδους φλύσχη στο νότιο άκρο του. Ο Ανατολικός προστατευτικός τοίχος είναι ισχυρός και ογκώδης, έχοντας συνολικό μήκος 80-100 μέτρων, ύψος 8 μέτρων, πλάτος περίπου 10 μέτρων και είναι κατασκευασμένος με τη Κυκλώπεια τεχνική των Μυκηναϊκών οχυρώσεων, αποτελούμενος από μερικώς επεξεργασμένους μεγάλους ασβεστολιθικούς ογκόλιθους, ενώ το εσωτερικό του φράγματος αποτελείται από γεμίσματα αργιλικού εδάφους. Το ανώτερο τμήμα αυτού του τοίχου και ειδικά η εσωτερική πλευρά του έχει σχεδόν ολοκληρωτικά καταρρεύσει λόγω διάβρωσης, ειδικά από καταρρακτώδεις πλημμύρες, αλλά επίσης από την αφαίρεση λίθων για άλλους

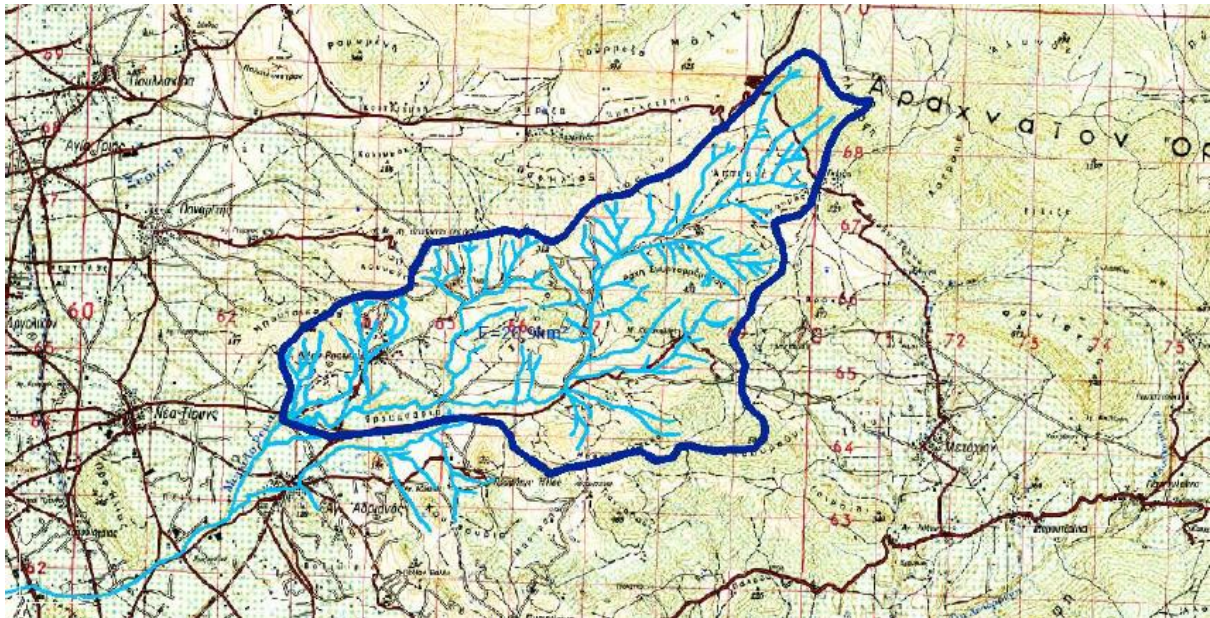
κατασκευαστικούς σκοπούς και έργα σε πιο πρόσφατες εποχές. Το βόρειο μέρος του εξωτερικού προστατευτικού τοίχου έχει διαβρωθεί έντονα από τις πλημμύρες και συντηρείται σε ένα πλάτος 1,5-3 μέτρων. Ο δυτικός προστατευτικός τοίχος είναι μικρότερος και πολύ χαμηλότερος από τον ανατολικό και δεν είναι ευδιάκριτος σήμερα. Αυτός ο τοίχος δεν επηρεάστηκε από την υδραυλική ροή και διάβρωση του χειμαρρου. Είναι αξιοσημείωτο ότι και οι δύο προστατευτικοί τοίχοι έχουν μια κυρτή μορφή.



Εικόνα 53: Το τμήμα του προστατευτικού τοίχου που σώζεται μέχρι σήμερα. (Φωτοπούλου, 2009)

4.3 Υδρολογικά και Υδρομετεωρολογικά Στοιχεία

Ο χειμαρρος της Τίρυνθας είναι ένας ορεινός χειμαρρος που πηγάζει από τα βουνά της Αρκαδίας. Ο χειμαρρος έχει μέσο ετήσιο όγκο ροής περίπου 2 κυβικά μέτρα ανά δευτερόλεπτο. Ο χειμαρρος είναι ιδιαίτερα επικίνδυνος κατά τη διάρκεια της άνοιξης και του φθινοπώρου, όταν οι βροχοπτώσεις είναι αυξημένες. Το φράγμα της Τίρυνθας έχει σχεδιαστεί για να αντέχει σε πλημμύρες με όγκο ροής έως και 10 κυβικά μέτρα ανά δευτερόλεπτο. Η ταχύτητα ροής του νερού πίσω από το φράγμα είναι περίπου 1 έως 1,5 μέτρο ανά δευτερόλεπτο (Μαριολάκος et At., 2022). Η λεκάνη απορροής στη θέση του φράγματος έχει εμβαδόν περίπου 21 Km², και το ύψος του φράγματος είναι 20 μέτρα περίπου (Ραγκαβέ, 1931).



Εικόνα 54: Η λεκάνη απορροής του Αρχαίου φράγματος. Πηγή <http://efaidnbmnmbpcajpcglclefindmkaj/http://kpekastr.ark.sch.gr/site/seminars/Geomythology/GeomythologyGuide.pdf> (Ανακτήθηκε στις 13-12-2023)

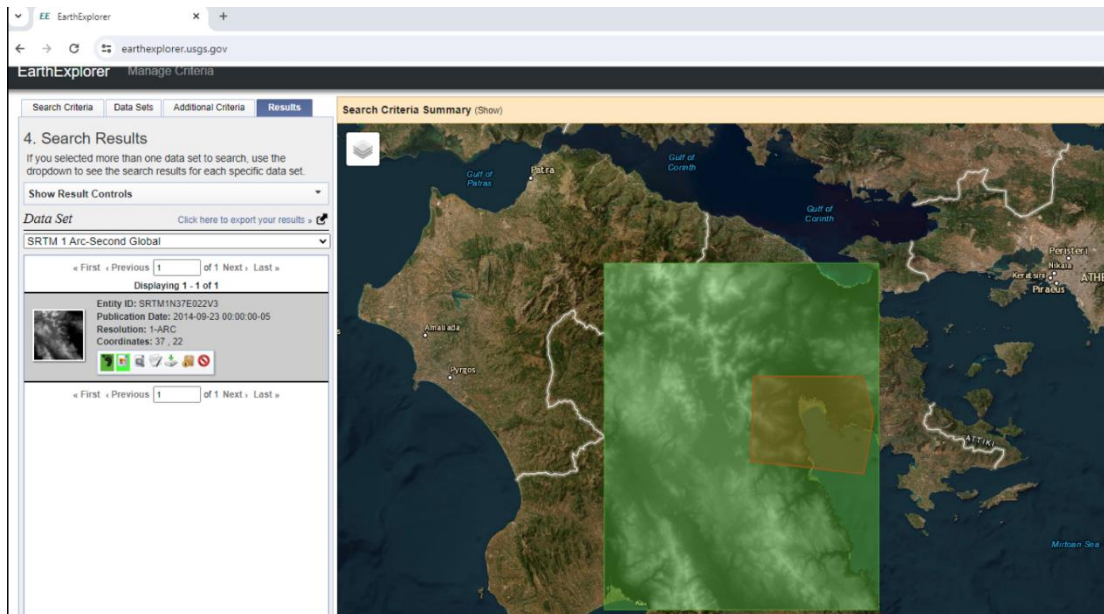
Στην περιοχή που κατασκευάστηκε το φράγμα, κατά τους χειμερινούς μήνες, ο καιρός είναι κατά γενικό κανόνα δροσερός με χαμηλές θερμοκρασίες και οι βροχές είναι συνήθως σποραδικές και λιγοστές. Τους καλοκαιρινούς μήνες, ο καιρός είναι ζεστός και ξηρός αλλά το φθινόπωρο είναι δροσερότερο, με αυξημένη υγρασία και βροχές. Οι υδρομετεωρολογικές μετρήσεις για την χρονολογία του 2022, όπου ήταν ένας μέσος χρόνος, έδειξαν πως η συνολική βροχόπτωση ήταν 392 χιλιοστά, με μέγιστη ημερήσια βροχόπτωση 48 χιλιοστά και μέρες βροχής 116.



Εικόνα 55: Πιθανή θέση της ακτογραμμής την εποχή της εκτροπής του ποταμού. (Πηγή: Μαριολάκος, et Al. <https://argolikivivliothiki.gr>. Ανακτήθηκε 11-12-2023).

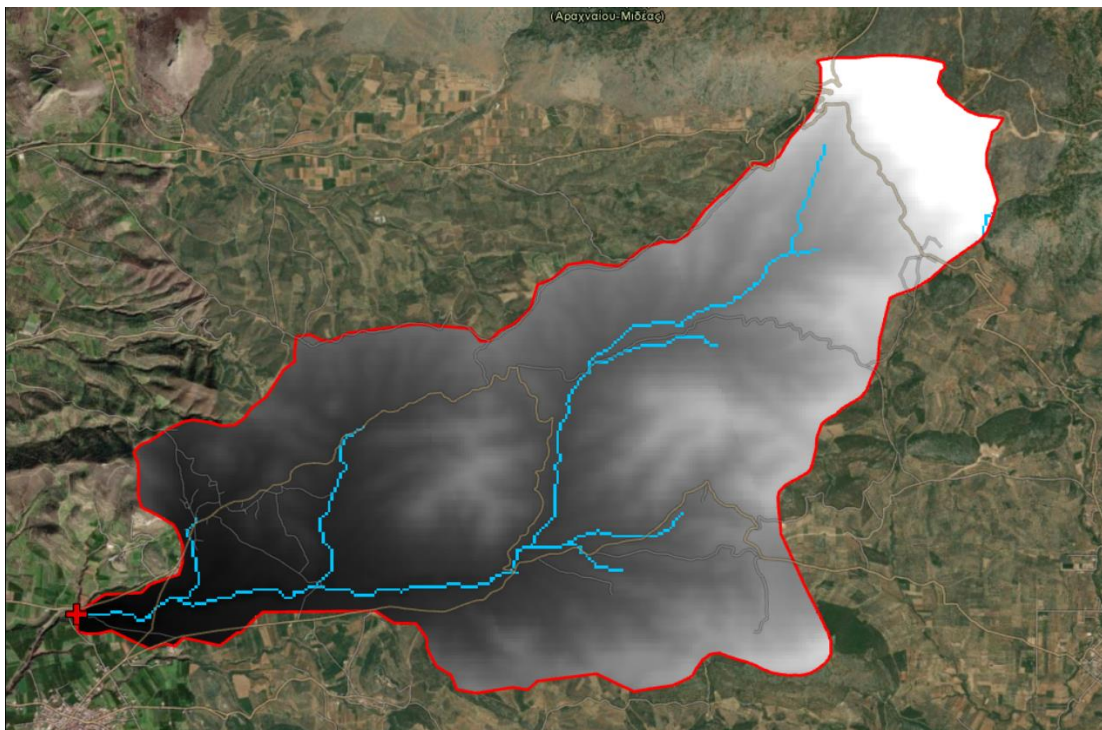
4.4 Υπολογισμός όγκου νερού πλήρωσης φράγματος μέσω προγράμματος ArcGIS Pro

Από την παρακάτω ιστοσελίδα, λαμβάνουμε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους με διάσταση φατνίου 30m x 30m της Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) για την περιοχή μελέτης/ενδιαφέροντος, ώστε να εισαχθεί στο πρόγραμμα ArcGIS Pro.



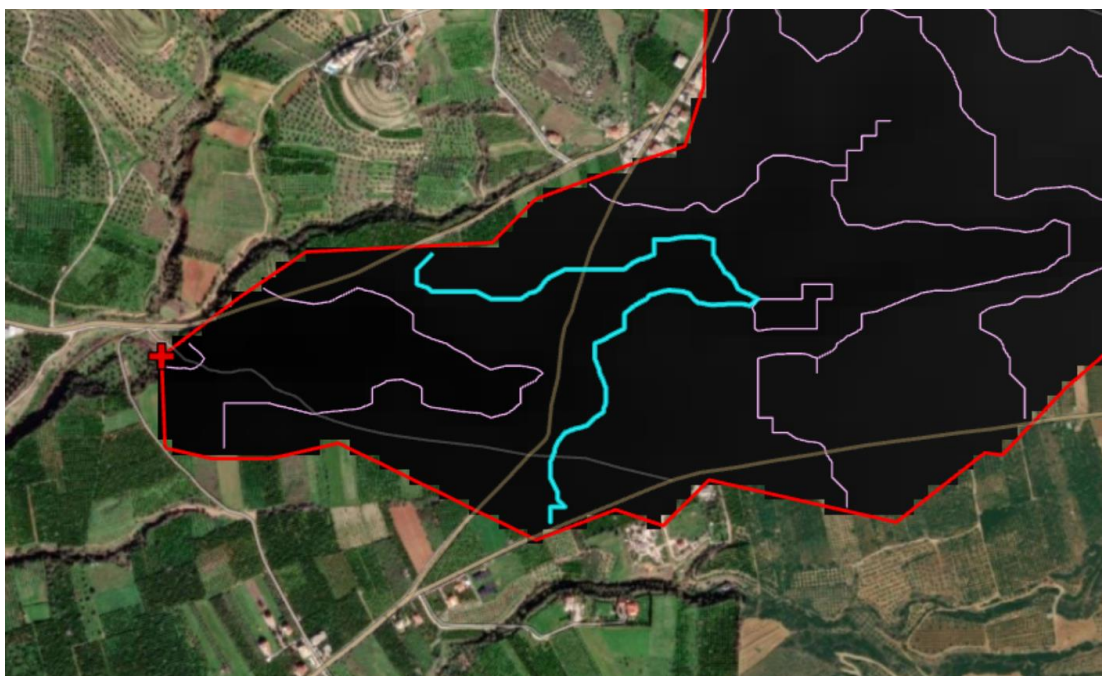
Εικόνα 56: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους Πηγή: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Μέσω του προγράμματος ArcGIS Pro δηλώνουμε την θέση του φράγματος και ψηφιοποιούμε τη λεκάνη απορροής και το υδρογραφικό δίκτυο ανάντη του αντιπλημμυρικού έργου.

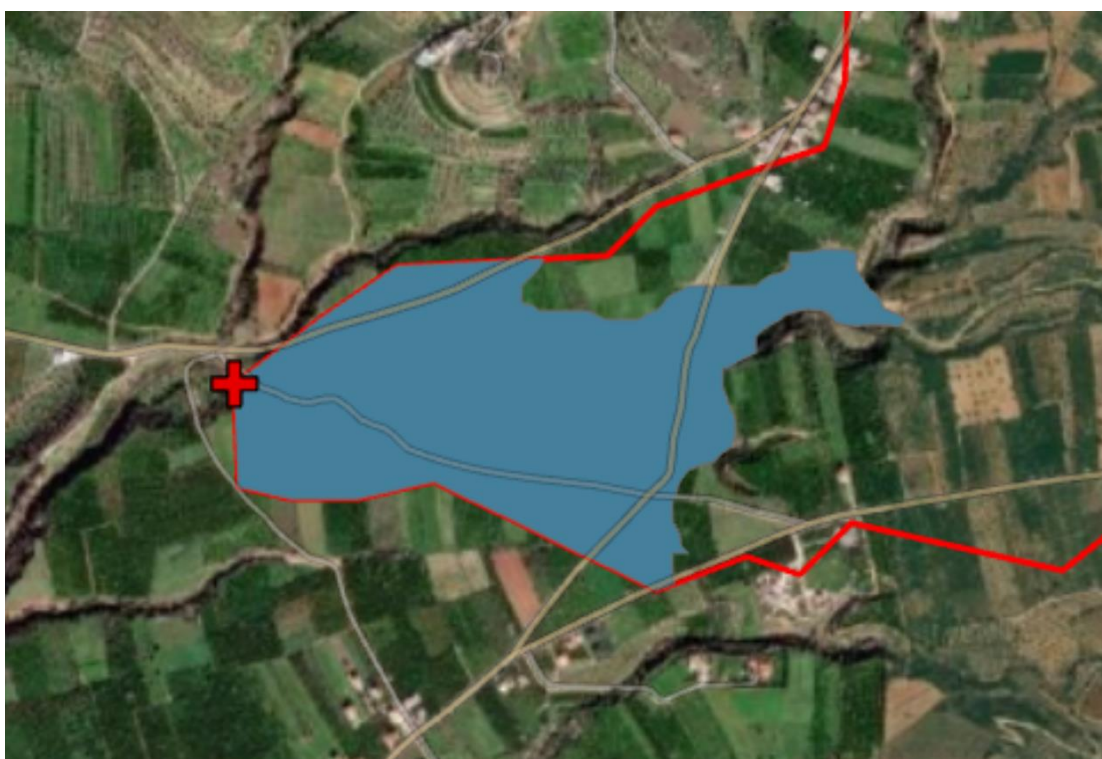


Εικόνα 57: Λεκάνη απορροής φράγματος αρχαίας Τίρυνθας

Μετάπειτα, αφού δημιουργήσουμε τις ισοϋψείς καμπύλες με ισοδιάσταση 10 μέτρων, τις απεικονίζουμε ώστε να παρατηρήσουμε την λεκάνη κατάκλισης του φράγματος. Οι ισοϋψείς είναι ανά 10 μέτρα, η στέψη του φράγματος είναι σε υψόμετρο 0+90 μέτρα από την στάθμη της θάλασσας και το ύψος του φράγματος είναι 20 μέτρα. Οπότε, ο ταμιευτήρας του φράγματος μέχρι την υπερχειλίση καταλαμβάνει νερό από το υψόμετρο 0+90 μέχρι όλη την ανάντη περιοχή στην ίδια στάθμη της λεκάνης κατακλίσεως.

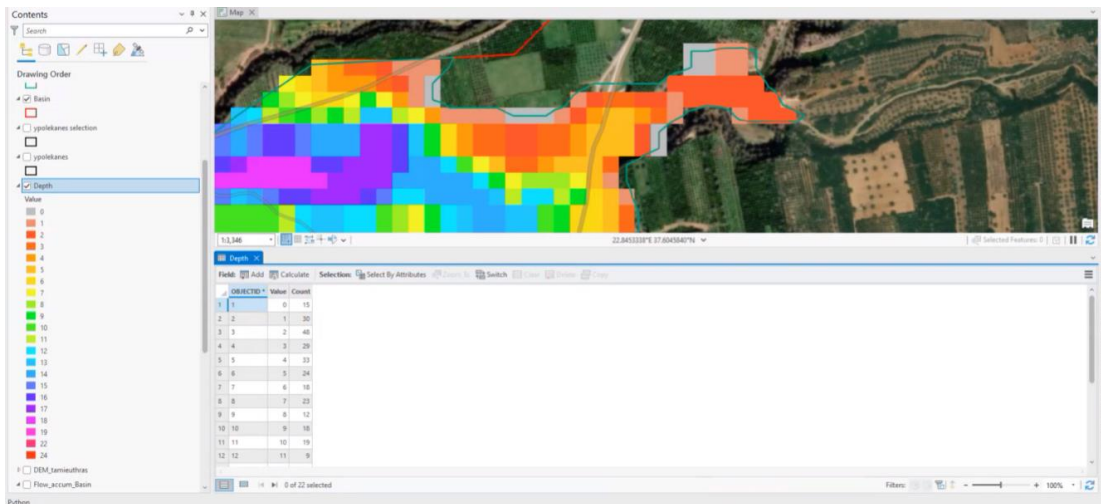


Εικόνα 58: Ισοϋψείς καμπύλες στην τοποθεσία του φράγματος της Αρχαίας Τίρυνθας



Εικόνα 59: Λεκάνη κατάκλισης του φράγματος Αρχαίας Τίρυνθας

Για να βρούμε τον όγκο νερού που θα μπορούσε να αντέξει το φράγμα της αρχαίας Τίρυνθας, πρέπει να υπολογίσουμε αρχικά, τα βάθη της λεκάνης κατάκλισης. Με την εντολή raster calculator υπολογίσαμε τα βάθη του ταμιευτήρα (βλ. εικόνα) ως αφαίρεση από τη μέγιστη ισοϋψή που αντιπροσωπεύει τη στέγη όλου του ψηφιακού μοντέλου εδάφους που δημιουργήσαμε για το μοντέλο του ταμιευτήρα.



Εικόνα 60: Βάθος ταμιευτήρα φράγματος

Το κάθε εικονοστοιχείο (pixel) έχει διαστάσεις 24,7×24,7 (μέτρα) και αντιπροσωπεύει το εκάστοτε βάθος αναλόγως το χρώμα. Έτσι, πολλαπλασιάζουμε την ποσότητα των εικονοστοιχείων με το ίδιο βάθος και στο τέλος γίνεται η συνολική τους πρόσθεση με τελικό αποτέλεσμα τον όγκο νερού, το οποίο είναι $V= 1.985.232,86 \text{ m}^3$

	A	B	C	D	E	F
1						
2		OBJECTID *	Value	Count		
3		1	0	15	0	
4		2	1	30	18302,7	
5		3	2	48	58568,64	
6		4	3	29	53077,83	
7		5	4	33	80531,88	
8		6	5	24	73210,8	
9		7	6	18	65889,72	
10		8	7	23	98224,49	
11		9	8	12	58568,64	
12		10	9	18	98834,58	
13		11	10	19	115917,1	
14		12	11	9	60398,91	
15		13	12	18	131779,44	
16		14	13	30	237935,1	
17		15	14	24	204990,24	
18		16	15	9	82362,15	
19		17	16	14	136660,16	
20		18	17	17	176316,01	
21		19	18	13	142761,06	
22		20	19	3	34775,13	
23		21	22	2	26843,96	
24		22	24	2	29284,32	
25				V=	1985232,86 cubic meters	
26						

Εικόνα 61: Υπολογισμός όγκου σε φύλλο excel από δεδομένα του ArcGIS Pro.

4.5. Υδρολογική Ανάλυση – Εκτίμηση πλημμυρικής Παροχής

4.5.1 Χρόνος Συγκέντρωσης

Ο "χρόνος συγκέντρωσης" στην υδρολογία είναι μια σημαντική έννοια που αναφέρεται στον χρόνο που απαιτείται για το νερό από το πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης απορροής να φτάσει στο σημείο εξόδου ή στο κέντρο της λεκάνης (συνήθως μια συγκεκριμένη τοποθεσία κατά μήκος του κύριου ρέματος ή ποταμού). Είναι ο χρόνος που απαιτείται για το νερό να ταξιδέψει από την πιο μακρινή περιοχή της λεκάνης απορροής μέχρι την εκροή, και συνήθως χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της αντίδρασης μιας λεκάνης σε έντονες βροχοπτώσεις.

Ο χρόνος συγκέντρωσης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως:

- Μορφολογία της λεκάνης: Σχήμα, μέγεθος και κλίση της λεκάνης.
- Υδρογραφικό δίκτυο: Δομή και χαρακτηριστικά των ποταμών και των ρεμάτων.
- Χαρακτηριστικά εδάφους: Υφή, διαπερατότητα και υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους.
- Κάλυψη εδάφους: Βλάστηση, αστικοποίηση και άλλες ανθρωπογενείς επιδράσεις.

Σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές για τα Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνου Πλημμύρας, ο χρόνος συγκέντρωσης εκτιμάται μέσω της εμπειρικής σχέσης του Giandotti (1940), (Π.Δ. 696/74):

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5 * L}{0.8 * \sqrt{H - h}} \quad (4)$$

όπου:

- t_c : ο χρόνος συγκέντρωσης (h)
- A : η έκταση της λεκάνης απορροής (km²)
- L : το μήκος της κύριας μισγάγγειας (km)
- H : το μέσο υψόμετρο της λεκάνης (m)
- h : το υψόμετρο στην έξοδο της λεκάνης (m)

Στην παρούσα μελέτη, η έκταση της λεκάνης απορροής είναι 20.9 km², το μήκος της κύριας μισγάγγειας είναι 9,1 km, το μέσο υψόμετρο της λεκάνης είναι 299 m και το υψόμετρο στην έξοδο της λεκάνης είναι 70 m. Εφαρμόζοντας την εξίσωση (4) Giandotti, έχουμε:

$$t_c = \frac{4\sqrt{20,9} + 1.5 * 9,1}{0.8 * \sqrt{299 - 70}} = 2,64 \text{ (h)}$$

Λαμβάνουμε κατ'εκτίμηση την διάρκεια της βροχόπτωσης ίση με 3 φορές τον χρόνο συρροής (Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). Applied hydrology. McGraw-Hill). Άρα, $D = 3 \times 2,64 = 7,91411 \text{ (h)} = 28.490,8 \text{ (s)}$ και έτσι, μπορούμε να υπολογίσουμε την παροχή αιχμής:

$$Q = \frac{V}{D} \quad (5)$$

και άρα, $Q = \frac{1,985,232.86}{28,490.8} = 69.68 \text{ m}^3/\text{s}$.

4.5.2 Ο Συντελεστής Απορροής

Ο συντελεστής απορροής είναι ένας αριθμός που δείχνει πόσο νερό θα απορροφηθεί από το έδαφος και πόσο θα μετατραπεί σε ρέουσα ροή. Ο συντελεστής απορροής εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η φυτοκάλυψη, η γεωλογία και οι χρήσεις γης.

Χαρακτηριστικές τιμές του συντελεστή απορροής δίνονται από πίνακες, οι οποίοι βασίζονται σε γενικευμένες μελέτες. Ωστόσο, σε μια λεκάνη απορροής μπορεί να υπάρχουν διαφορετικές επιφάνειες με διαφορετικές τιμές συντελεστή απορροής.

Σε αυτήν την περίπτωση, χρησιμοποιείται ο ανηγμένος συντελεστής απορροής. Ο ανηγμένος συντελεστής απορροής υπολογίζεται με βάση τις τιμές των επιμέρους συντελεστών απορροής των επιφανειών που αποτελούν τη λεκάνη απορροής.

Η εξίσωση υπολογισμού του ανηγμένου συντελεστή απορροής είναι η εξής:

$$CM = \frac{\sum(C_i * A_i)}{\sum A_i}$$

όπου:

- CM: ο ανηγμένος συντελεστής απορροής
- C_i : ο συντελεστής απορροής της i -ης επιφάνειας
- A_i : το εμβαδόν της i -ης επιφάνειας

Στην παρούσα περιοχή του φράγματος της αρχαίας Τίρυνθας, εκτιμάται ότι το 30% της λεκάνης απορροής είναι πεδινό, το 60% είναι λοφώδες και το 10% είναι ορεινό. Για κάθε τύπο επιφάνειας, χρησιμοποιήθηκε ο αντίστοιχος συντελεστής απορροής που δίνεται από πίνακες.

Ο συντελεστής απορροής υπολογίστηκε ως εξής:

$$CM = \frac{0,30 \times 9,08 + 0,50 \times 18,2 + 0,60 \times 3}{9,08 + 18,2 + 3} = 0,448$$

Ενδεικτικές τιμές συντελεστών απορροής

Πηγή: Μ.Α. Μιμίκου, Ε.Α. Μπαλτάς, Τεχνική Υδρολογία

Περιγραφή περιοχής/επιφάνειας	Συντελεστής Απορροής
Ορεινή (Π.Δ. 696/74)	0.60
Λοφώδης (696/74)	0.50
Πεδινή (696/74)	0.30
Αεροδρόμια	0.90-1.00
Οδόστρωμα	0.90
Πρανές επιχώματος συμπυκνωμένο	0.60-0.70
Βαριά Βιομηχανία	0.60-0.90
Ελαφρά Βιομηχανία	0.50-0.75
Κέντρο εμπορικής εποχής	0.70-0.90
Οικιστική περιοχή, μονοκατοικίες	0.30-0.50
Οικιστική περιοχή, πολυκατοικίες με κήπο	0.40-0.60
Οικιστική περιοχή, πολυκατοικίες χωρίς κήπο	0.60-0.80
Πάρκα	0.10-0.30
Γήπεδα	0.20-0.40
Αγροτική περιοχή με λίγα σπίτια	0.10-0.30

4.5.3 Υπολογισμός Πλημμυρικής Παροχής του Φράγματος

Για τον υπολογισμό της πλημμυρικής παροχής της περιοχής του έργου, χρησιμοποιείται η ορθολογική μέθοδος. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην παραδοχή ότι η μέγιστη πλημμυρική παροχή θα προκύψει όταν θα απορρέει όλο το νερό που έπεσε κατά τη διάρκεια της βροχόπτωσης.

Εφόσον, υπολογίσαμε την παροχή αιχμής διαιρώντας τον όγκο με την διάρκεια της βροχόπτωσης ($Q = V/D$), με την ορθολογική μέθοδο θα υπολογίσουμε την ένταση της βροχόπτωσης (I).

$$I = \frac{69,68}{0,278 \times 0,448 \times 20,9} = 26,731 \left(\frac{mm}{h} \right)$$

4.5.4 Όμβριες Καμπύλες

Το υετογράφημα μιας καταιγίδας σχεδιασμού είναι η χρονική κατανομή του ύψους βροχής που δέχεται μια λεκάνη απορροής. Στη συνήθη πρακτική, χρησιμοποιείται ένα υετογράφημα για όλες τις υπολεκάνες μιας λεκάνης απορροής το οποίο θεωρείται αντιπροσωπευτικό για όλη την έκταση. Η πρακτική αυτή ακολουθείται ακόμα και σε περιπτώσεις λεκανών απορροής έκτασης πολλών τετραγωνικών χιλιομέτρων, όπου είναι προφανές ότι η εκτίμηση αυτή δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα.

Στην παρούσα μελέτη αξιοποιούνται όλα τα δεδομένα που προέκυψαν κατά το στάδιο κατάρτισης των όμβριων καμπυλών και γίνεται υπολογισμός του υετογραφήματος της περιοχής μελέτης. Με αυτό τον τρόπο περιγράφεται με τη μέγιστη διαθέσιμη αξιοπιστία η χωρική μεταβολή των ισχυρών βροχοπτώσεων. Για την παραγωγή του υετογραφήματος σχεδιασμού είναι απαραίτητο να προσδιοριστούν οι παράμετροι της όμβριας καμπύλης στην περιοχή μελέτης.

Οι «όμβριες καμπύλες» είναι «καμπύλες έντασης διάρκειας περιόδου επαναφοράς βροχόπτωσης (Intensity Duration Frequency curves IDF curves) και αποτελούν ένα εργαλείο της στατιστικής υδρολογίας το οποίο μπορεί να δώσει τα απαραίτητα μεγέθη για τη διερεύνηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας και το σχεδιασμό αντιπλημμυρικής προστασίας. Οι όμβριες καμπύλες αποτελούν αναλυτικές ή γραφικές εκφράσεις της μέγιστης έντασης βροχόπτωσης i συναρτήσει της διάρκειας του επεισοδίου βροχόπτωσης διάρκειας t και της περιόδου επαναφοράς T .

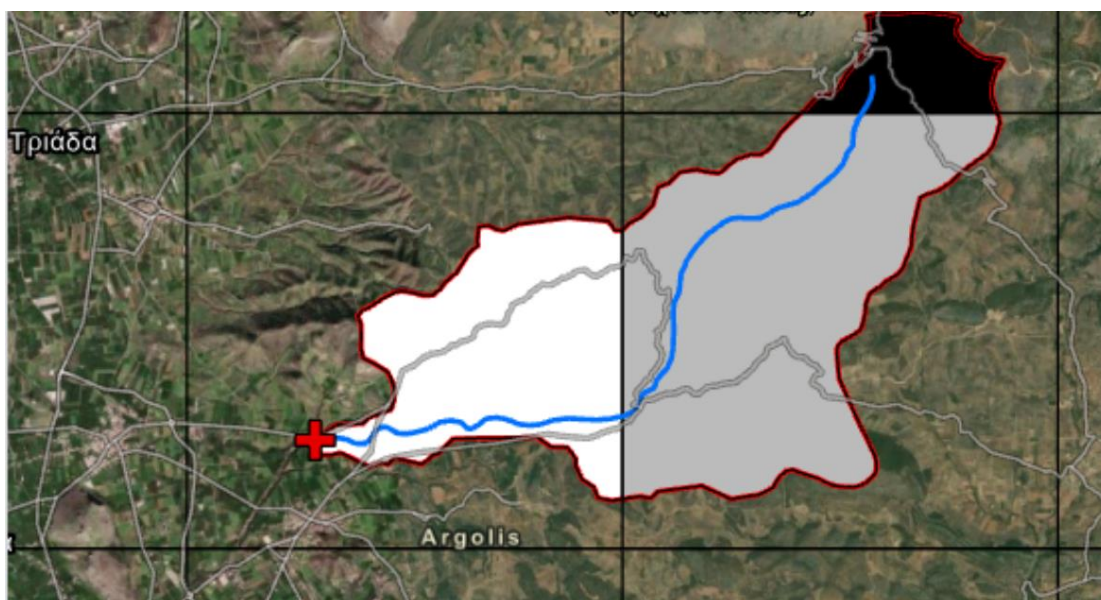
Στις τεχνικές προδιαγραφές των Σχεδίων Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας (2023) προτείνεται η τελική έκφραση των ομβρίων καμπυλών που δίνεται από την σχέση:

$$x = \lambda_* \frac{(T/\beta_*)^\xi - 1}{(1 + k/a)^{\eta_*}}$$

όπου x [mm/h]: Ένταση βροχής διάρκειας, k : χρονική κλίμακα αναφοράς [h], και περίοδο επαναφοράς T [έτη], a [h] και ξ : ενιαίες παράμετροι ίσες με 0,10 και λ_* (mm/h), β_* (έτη) και η [-]: χωρικά μεταβαλλόμενες παράμετροι όπου εκτιμώνται ως σταθμισμένος μέσος όρος των τιμών των πολυγώνων, με βάρος ίσο με το ποσοστό της έκτασης κάθε πολυγώνου στη λεκάνη (όπως εφαρμόζεται και στη μέθοδο των πολυγώνων Thiessen).

Η εκτίμηση των παραμέτρων λ_* (mm/h), β_* (έτη) και η [-]: των όμβριων καμπυλών βασίστηκε στο πλαίσιο εφαρμογής της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ από την Ειδική Γραμματεία Υδάτων (ΕΓΥ) για την κατάρτιση «ΣΧΕΔΙΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΠΟΤΑΜΩΝ» στα 14 Υδατικά Διαμερίσματα της Χώρας (2023).

Σύμφωνα με τις σχετικές Τεχνικές Προδιαγραφές, καταρτίστηκαν γενικευμένες όμβριες καμπύλες (παραμετρικές σχέσεις υπολογισμού της έντασης της βροχόπτωσης για δεδομένη διάρκεια και περίοδο επαναφοράς) σε κάθε Υδατικό Διαμέρισμα. Στην παρούσα μελέτη, για τον προσδιορισμό της έντασης της βροχόπτωσης στην περιοχή μελέτης, δεδομένου ότι δεν υπάρχει βροχογράφος/βροχόμετρο εντός αυτής, χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία των «πλακιδίων» όπως αυτά είναι αναρτημένα στο ΥΠ.ΕΝ (Εικ. xx), στα οποία εντάσσεται η περιοχή μελέτης.



Εικόνα 61: Παραμέτρων ομβρίων καμπυλών στην περιοχή μελέτης (πηγή: ΥΠ.ΕΝ). Πλακίδια.

Για την εκτίμηση των χωρικά μεταβαλλόμενων παραμέτρων λ^* (mm/h), β^* (έτη) and η [-] εκτιμήθηκε ο σταθμισμένος μέσος όρος των τιμών των πολυγώνων, με βάρος ίσο με το ποσοστό της έκτασης κάθε πολυγώνου στη λεκάνη μέσω Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Οι τελικές τιμές των παραμέτρων της όμβριας καμπύλης για την περιοχή μελέτης παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

α	ξ	η	λ	β	k
0.18	0.18	0,701	53.88	0.023	2,64

Πίνακας 1: Παράμετροι όμβριων καμπυλών περιοχής μελέτης.

4.6 Εμπειρική περίοδος επαναφοράς

Από το προηγούμενο υποκεφάλαιο βρήκαμε ότι $\chi = I = 26,731$ (mm/h). Οπότε, λύνοντας την εξίσωση: $x = \lambda_* \frac{(T/\beta_*)^{\xi-1}}{(1+k/a)^{\eta}}$ ως προς T. Βρίσκουμε την εμπειρική περίοδο επαναφοράς, η οποία είναι T= 133 έτη.

Το αρχαίο φράγμα της Τίρυνθας κατασκευάστηκε κατά την Μυκηναϊκή περίοδο και φαίνεται πως λειτουργούσε για αρκετούς αιώνες. Αν υποθέσουμε ότι το φράγμα λειτουργούσε μέχρι την εγκατάλειψη της Τίρυνθας, που συνέβη γύρω στον 5ο αιώνα π.Χ., μπορούμε να εκτιμήσουμε ότι λειτούργησε για περίπου 700-800 χρόνια. Η διάρκεια ζωής του φράγματος, είναι πολύ μεγαλύτερη από την εμπειρική περίοδο επαναφοράς. Οι κατασκευαστικές τεχνικές και τα υλικά που επιλέχθηκαν, όμως, μπορεί να προσέφεραν μεγάλη ανθεκτικότητα στις φυσικές φθορές και τις πλημμύρες. Το φράγμα διατηρείται ακόμη και σήμερα αλλά υπέστη διάβρωση, ειδικά στο ανώτερο τμήμα και την εσωτερική πλευρά του, λόγω πλημμυρών και

αφαίρεσης λίθων. Ο βόρειος προστατευτικός τοίχος έχει υποστεί έντονη διάβρωση, αλλά συντηρείται σε ένα πλάτος 1.5-3 μέτρων. Ο δυτικός προστατευτικός τοίχος, παρότι πιο χαμηλός, διατηρεί τη μορφή του. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι και οι δύο προστατευτικοί τοίχοι έχουν υποστεί κυρτή μορφή, ενώ η διατήρηση του έργου παρουσιάζει εμφανείς ζημιές από τις φυσικές επιδράσεις.

5. Συμπεράσματα

Τα αρχαία και σύγχρονα αντιπλημμυρικά έργα αντικατοπτρίζουν την ανθρώπινη ανάγκη για προστασία από τις πλημμύρες και την εξέλιξη της τεχνολογίας και της συνείδησης. Οι διδαγματικές εμπειρίες από το παρελθόν συμβάλλουν στην ανάπτυξη αποτελεσματικών αντιπλημμυρικών στρατηγικών για το μέλλον, ενώ η συνεχής παρακολούθηση και αναστολή αποτελεί κλειδί για τη διατήρηση της ασφάλειας από τις πλημμύρες.

Η παρούσα διπλωματική εργασία:

- 1) εξετάζει την ιστορική αναδρομή αντιπλημμυρικών (όπως φραγμάτων) και αποστραγγιστικών έργων και την σημασία τους από την αρχαιότητα έως σήμερα,
- 2) αναλύει την εξέλιξη της τεχνολογίας, με αναφορά των υλικών κατασκευής τους και εκτίμηση της παροχετευτικότητά τους, και
- 3) παρουσιάζει μια πρωτότυπη ανάλυση εκτίμησης του όγκου που θα μπορούσε να συγκρατήσει το φράγμα της αρχαίας Τίρυνθας, έως την υπερχειλίση του, καθώς και του υδρολογικού υπολογισμού της εμπειρικής περιόδου επαναφοράς του φράγματος, μέσω μιας αντίστροφης μεθοδολογίας της κλασικής ορθολογικής μεθόδου.

6. Βιβλιογραφία

- Agoramoorthy, G. (2008). "Can India meet the increasing food demand by 2020?" *Futures*, 40(5), 503-506.
- Agoramoorthy, G., and Hsu, M. (2008). "Small size, Big Potential: Check Dams for sustainable development." *Environment* (Washington DC), 50(4), 22.
- Aldrete, G. (2006). *Floods of the Tiber in Ancient Rome*. Baltimore, MD: John Hopkins University Press.
- Aldrete, G. S. (2007). *Floods of the Tiber in Ancient Rome*. Baltimore, MD: John Hopkins University Press.
- Angelakis, A. N., Antoniou, G., Voudouris, K., et al. (2020). History of floods in Greece: causes and measures for protection. *Natural Hazards*, 101, 833–852.
- Angelakis, A. N., Capodaglio, A. G., Valipour, M., Krasilnikoff, J., et al. (2023). Evolution of floods: From ancient times to the present times (ca 7600 BC to the present) and the future.
- Angelakis, A. N., Kavoulaki, E., & Dialynas, M. G. (2014). Sanitation and stormwater and wastewater technologies in Minoan era. In A. N. Angelakis & J. Rose (Eds.), *Evolution of sanitation and wastewater management through the centuries* (pp. 1–24). London, UK: IWA Publishing.
- Angelakis, A. N., Zarkadoylas, N., Tchobanoglous, G., & Koutsoyiannis, D. (2008). Urban water management in Ancient Greece: Legacies and lessons.
- Archaeological Survey of India (2017). *The Grand Anicut: A Brief History*.
- Arulmani, M., and Latha, V. R. H. (2014). "The Global Politics?...A New Theory on "Universal Dam". " *American Journal of Engineering Research*, AJER, 3(7), 66.
- Baba, A., Tsatsanifos, Ch., El Gohary, F., Palerm, J., Khan, S., Ali Mahmoudian, S., Ahmed, A. T., Tayfur, G., Dialynas, Y. G., & Angelakis, A. N. (2018). Developments in water dams and water harvesting systems throughout history in different civilizations. *International Journal of Hydrology Book Review*, 2(2), 155–171.
- Balcer, J. M. (1974). The Mycenaean dam at Tiryns. *American Journal of Archaeology*, 78(2), 141–149.
- Bianchi, Elisabetta. "Projecting and Building the Cloaca Maxima." in E. Tamburrino (a cura di), *Aquam Ducere II*. Proceedings of the second international summer school "Water and the City: Hydraulic systems in the Roman Age" (Feltre, 24th-28th August 2015), *Seren del Grappa (BL)*, 2018, pp. 177-204. (2018): n. pag. Print.
- Bijker, W. E. (2007). "Dikes and Dams, Thick with Politics." *Isis*, 98(1), 109-123.
- Borio, L., & Peila, D. (2010). Study of the permeability of foam conditioned soil with laboratory tests. *American Journal of Environmental Sciences*, 6(4), 365–370.
- Britannica. (2023). Cloaca Maxima: ancient structure, Rome, Italy. Retrieved from <https://www.britannica.com/topic/Cloaca-Maxima>

- Britannica. (2023). Nile River: Dams and reservoirs. Retrieved from <https://www.britannica.com/place/Nile-River/Dams-and-reservoirs>
- Brown, S. (2023). Low-lying islands and sea-level rise: how land raising offers a sustainable solution. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Civil Engineering*, 176(2), 54. <https://doi.org/10.1680/jcien.2023.176.2.54>
- Brown, S., Wadey, M. P., Nicholls, R. J., Shareef, A., Khaleel, Z., Hinkel, J., Lincke, D., & McCabe, M. V. (2019). Land raising as a solution to sea-level rise: An analysis of coastal flooding on an artificial island in the Maldives. *Journal of Flood Risk Management*. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12567>
- Clark, T. (2021). Green light for Denmark's £2.3bn artificial island-cum-flood defence. *New Civil Engineer*. Retrieved from <https://www.newcivilengineer.com/latest/green-light-for-denmarks-2-3bn-artificial-island-cum-flood-defence-09-06-2021/>
- Conneely, D. (2014). The world's first flood barriers. *Flood Barrier USA*. Retrieved from <https://www.floodbarrierusa.com/2014/06/worlds-flood-barriers/>
- Cook, T. (2013). Engineering modernity: The Aswan Low Dam and modernizing the Nile. *Digital Commons@WOU*. Retrieved from <https://digitalcommons.wou.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1024&context=his>
- Cooper, E., & Decker, M. (2012). *Life and society in Byzantine Cappadocia*. Basingstoke, UK: Palgrave MacMillan.
- Crouch, D. C. (1996). Avoiding water shortages: Some Ancient Greek solutions. In A. N. Angelakis & A. S. Issar (Eds.), *Diachronic climatic impacts on water resources with emphasis on Mediterranean region* (pp. 129–159). New York, NY: Springer-Verlag.
- De Caro, S., & Carandini, A. (2000). The Cloaca Maxima of Rome: A case study of environmental management in the ancient world. *Journal of Roman Archaeology*, 13, 147-173.
- Di Baldassarre, G., Sacca, S., Aronica, G. T., Grimaldi, S., Ciullo, A., & Crisci, M. (2017). Human-flood interactions in Rome over the past 150 years. *Advances in Geosciences*, 44, 9–13. <https://doi.org/10.5194/adgeo-44-9-2017>
- Eggert, N. (2016). When Paris was under water for two months. *BBC*. Retrieved from <https://www.bbc.com/news/world-europe-36443329>
- Environmental Agency. (2014). *The Thames Barrier*. GOV UK. Retrieved from <https://www.gov.uk/guidance/the-thames-barrier>
- Eslamian, Saeid (2018). *Handbook of Engineering Hydrology*. CRC Press. p. 186. ISBN 9781466552364.
- Ferguson, J. (2010). *The water management of the Roman Empire*. Cambridge University Press.
- Fotopoulou, L. (2009). *The ancient dam at Tiryns*. [Postgraduate thesis]. National Technical University of Athens, Athens, Greece.
- Fountoulis, I., Mariolagos, H., Mavroulis, S., & Ladas, I. (2008). Flood periods during prehistoric and historical times on the Kladeos River: ancient olympia. In G. Migiros, G.

- Stamatis, & G. Stournaras (Eds.), Proceedings of 8th International Hydrogeological Congress of Greece (pp. 809–818).
- Galloway, G. (n.d.). USA: Flood management – Mississippi River. WMO/GWP Associated Programme on Flood Management.
 - Graham, W. A. (n.d.). A procedure for estimating loss of life caused by dam failure. Dam Safety Office Report.
 - Guha-Sapir, D. (n.d.). Natural and man-made disasters: The vulnerability of women-headed households and children without families. *World Health Statistics Quarterly*.
 - Guzzetti, F., Stark, C. P., & Salvati, P. (2005). Evaluation of flood and landslide risk to the population of Italy. *Environmental Management*.
 - Historic England. (1999). How did our medieval ancestors cope with flooding?
 - Historical assessment of Chinese and Japanese flood management policies and implications for managing future floods. (2015). *Environmental Science & Policy*, 48, 265–277.
 - Hopkins, J. N. N. (n.d.). The Cloaca Maxima and the monumental manipulation of water in archaic Rome.
 - Hornblower, Simon, (2003). *The Oxford Classical Dictionary - third edition revised*: Simon Hornblower - Antony Spawforth.
 - HYDRRIA Virtual Museum. (n.d.). Αίγυπτος: Το φράγμα Sadd Al-Kafara. Retrieved from <https://hydriaproject.info/el/case-studies/sadd-al-kafara-the-oldest-dam-in-the-world/relevance>
 - International Commission on Irrigation and Drainage. (2022). *Water-Saving in Agriculture – 2020*. Retrieved from https://icid-ciid.org/icid_data_web/Watsave_eBook2022_comp.pdf
 - Jansen, H. (2018). Subak: The traditional water management system in Indonesia: A symbol of cultural and spiritual harmony. Jakarta, Indonesia: LIPI Press.
 - Jongman, B. (2018). Effective adaptation to rising flood risk. *Nature Communications*, 9, 1986. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04396-1>
 - Jonkman, S. N., & Kelman, I. (2005). An analysis of the causes and circumstances of flood disaster deaths. *Disasters*.
 - Jonkman, S. N., & Vrijling, J. K. (2008). Loss of life due to floods. *Journal of Flood Risk Management*, 1, 43–56.
 - JournalsOfIndia. (2021). Grand Anicut Canal System. JournalsOfIndia. Retrieved from <https://journalsofindia.com/grand-anicut-canal-system/>
 - Kahn, M. (2005). The death toll from natural disasters: The role of income, geography, and institutions. *The Review of Economics and Statistics*.
 - Kalavrouziotis, I. K., Koukoulakis, P. H., & Drakatos, P. A. (2015). Water and wastewater management in antiquity in the context of an ethically oriented environmental protection. *International Journal of Global Environmental Issues*, 14(3/4), 226–237.

- Koutsoyiannis, D., Zarkadoulas, N., Angelakis, A. N., & Tchobanoglous, G. (2008). Urban water management in ancient Hellas: Legacies and lessons. *Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE*, 134(1), 45–54.
- Lapp, R. J., & Wright, K. R. (2003). Olympia floods sedimentation. In WPI Technical Reports. Wright Paleohydrological Institute (WPI), Denver.
- Lastoria, B., Simonetti, M. R., Casaioli, M., et al. (2006). Socio-economic impacts of major floods in Italy from 1951 to 2003. *Advances in Geosciences*.
- Long, P. O. (n.d.). *Hydraulic engineering and the study of antiquity: Rome, 1557-70*.
- MacDonald, C. F., & Driessen, J. M. (1988). The drainage system of the domestic quarter in the Palace at Knossos. *British School of Athens*, 83, 235–358.
- Mays, L., Antoniou, G. P., & Angelakis, A. N. (2013). History of water cisterns: Legacies and lessons. *Water*, 5, 1916–1940.
- Mortality from tornadoes, hurricanes, and floods. (n.d.). *Statistical Bulletin of the Metropolitan Life Insurance Company*.
- Murray, W. M. (1984). The ancient Dam of the Mytikas Valley. *American Journal of Archaeology*, 88.
- Netherlands. (2023). Discover the Delta Works. Retrieved from <https://www.holland.com/global/tourism/discover-the-netherlands/zeeland/the-delta-works.htm>
- OECD. (2014). Seine Basin, Île-de-France, 2014: Resilience to major floods. *OECD Reviews of Risk Management Policies*. OECD Publishing, Paris.
- O'Neill, K. (2006). *Rivers by design: State power and the origins of U.S. flood control*. Duke University Press.
- Papadimitriou, A., & Maran, G. (2018). The Mycenaean Dam of Tiryns. *Journal of Archaeological Science*.
- Pingping, L., He, B., Takara, K., Xiong, Y. E., Nover, D., Duan, W., Fukushi, K., & Rankin, T. (2015). *Rome works*. Peruzzi Press.
- Plutarch. (1914). *Lives of the Noble Greeks and Romans*. Translated by B. Perrin. Loeb Classical Library.
- Raman, K.V., (2004). *The Grand Anicut: A Cultural and Historical Survey*.
- Rijkswaterstaat. (2023). Oosterscheldekering. Retrieved from <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterbeheer/bescherming-tegen-het-water/waterkeringen/deltawerken/oosterscheldekering>
- Saad, M. B. A. (1999). The role of High Aswan Dam towards Nile flood control. *United Nations*.
- Sachpazis, C. (2004). *Integrated Computerized System of the Management of both Surface and Underground Water Resources of Attica County*. Original Study using Geographical Information System (G.I.S.), «GEODOMISI Ltd», Consulting Engineering Company for Studies of projects for Public Works. Company profile: www.geodomisi.com.

- Sachpazis, C., Alexouli, A., Livaditis, G. (1997) "Geomorphological investigation of the drainage network and calculation of the peak storm runoff (Qp) and sediment yield of Sarantopotamos and Katsimidi streams". Published and Presented in the Symposium of the International Association of Engineering Geology, on 23 to 27 June 1997.
- Soil Conservation Service, U.S.D.A. 1972: S.C.S National Engineering Handbook, Section 4. Hydrology, Soil Conservation Service, U.S. Dept. of Agriculture, Washington D.C.
- Stroyproekt Engineering Group Association. (2023). St. Petersburg Flood Protection Barrier. Retrieved from <https://www.stpr.ru/eng/projects/1181/>
- Subak, Bali's water irrigation system. Retrieved from <https://bali.com/bali/travel-guide/culture/subak-bali-water-irrigation-system/>
- The India Meteorological Department (2023) Climate of Tiruchirapalli, India.
- The Indian Meteorological Department (2023) Annual Rainfall Data for Tiruchirapalli, India.
- Tignor, R. (1966). Modernization and British colonial rule in Egypt, 1882-1914. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Tvedt, T. (2021). The Nile. Bloomsbury Publishing.
- UNESCO (2010). The Grand Anicut: A World Heritage Site.
- UNESCO World Heritage Centre. (2016). The Zhengguo Canal.
- van Wesenbeeck, B. K., et al. (2017). Implementing nature-based flood protection: Principles and implementation guidance. World Bank Group, Washington, D.C.
- Viessman, W. Jr., Lewis, G. L., & Knapp, J. W. (1989). Introduction to hydrology (3rd ed.). New York, NY: Harper & Row.
- Virginia Stormwater Management Handbook, Vol. 2, First Ed., 1999.
- W.M.O. (1965) Programmes for the international co-operation year, 1965. Author: World Meteorological Organization (WMO). Published by WMO. Published in: Geneva. Year published: 1965.
- W.M.O. (1970) Annual Report of the World Meteorological Organization 1969 / WMO-No. 263, Published by WMO, Geneva, Year published 1970.
- W.M.O. (1974a) Guide to Instruments and Methods of Observation. Volume I – Measurement of Meteorological Variables. Author: World Meteorological Organization (WMO). Published by WMO. Published in: Geneva. Year published: 1974.
- W.M.O. (1974b) World Weather Watch - Seventh status report on implementation - WMO-No. 401. Author: World Meteorological Organization (WMO). Published by: WMO. Published in Geneva. Year published 1974.
- Water Resources Department of Tamil Nadu. (2017). The Cauvery River Basin. <https://www.wrd.tn.gov.in/>
- Water Technology. (2023). St Petersburg Flood-Prevention Facility, Neva River. Retrieved from <https://www.water-technology.net/projects/stpetersburgwater/>

- Wesselink, A. J., Bijker, W. E., de Vriend, H. J., & Krol, M. S. (2007). Dutch dealings with the Delta. *Nature and Culture*, 2(2).
- Yan, Y., & Li, X., (2021). The Zhengguo Canal: A Historical and Present-Day Perspective. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 147(12), 04021002.
- Zarkadoulas, N., Koutsoyiannis, D., Manassis, N., & Angelakis, A. N. (2012). A brief history of urban water management in ancient Greece. In A. N. Angelakis et al. (Eds.), *Evolution of water supply throughout Millennia* (Chapter 10, pp. 259–270). London, UK: IWA Publishing.
- Zekkos, D., Manousakis, J., & Athanasopoulos, A. (2005). Geotechnical engineering practice in the Mycenaean civilization (1600–1100 BC). In *Proceedings of the 2nd International Conference “Ancient Greek Technology”*, Athens, October 17–21, 2005.
- Zhang, X. (2018). *The Zhengguo Canal: A World Heritage Irrigation Structure*. Xi'an Jiaotong University.
- Zhang, X. (2022). The Zhengguo Canal: An Irrigation System with a History of Over 2000 Years. *International Journal of Water Resources Engineering*, 10(2), 123-132.
- Zoccoli, P., Loprencipe, G., & Galoni, A. (n.d.). *Sampietrini stone pavements: Distress analysis using pavement condition index method*.
- Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. 2018. «Πλημμύρες-Εκτίμηση πλημμυρικών αιχμών», Διαφάνειες του μαθήματος «Τεχνική Υδρολογία» http://users.itia.ntua.gr/nikos/hydrology/EduMaterial/ydr_ombr_12.pdf
- Ζαρκαδούλας, Ν. (n.d.). *Αρχαίο φράγμα Αλυζίας*. [Postgraduate thesis]. National Technical University of Athens.
- Ζέρεφος, Σ., Κοσμάς, Ρέπαλης και Ζαμπάκας Ι.Δ.: *Μελέτη επί των χρονοσειρών της βροχής εις τον σταθμόν του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών κατά την εκατονταετία 1871 - 1970*. Δημοσιεύματα Εργαστηρίου Κλιματολογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών, 1977.
- Κανδήλης Ι. Φαίδ. (1988) : "Ο Υετός στη Στερεά Ελλάδα". Παν/μιο Αθηνών - Σχολή θετικών επιστημών τμήμα γεωλογικό τομέας γεωγραφίας - Κλιματολογίας.
- Καραγεώργος, Α., Φιλιππίδης, Γ., Μουρτζούνης, Δ., Μπούτος, Α., & Λαμπρινίδης, Β. (2011). "Υδρολογικά, υδρογεωλογικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής του φράγματος Αλυζίας". *Υδρολογικά Χρονικά*, 17(1), 25-38.
- Κουτσογιάννης, Δ. «Στατιστική Υδρολογία», Έκδοση 4, 312 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1997.
- Κουτσογιάννης, Δ., & Μαμάσης, Ν. (2010). *Στρατηγική αντιμετώπισης των πλημμυρών: Σύγχρονο τεχνολογικό πλαίσιο*.
- Κουτσογιάννης, Δ., & Μαμάσης, Ν. (2018). *Να αναθεωρηθεί η αντιπλημμυρική ασφάλεια στο σχεδιασμό έργων*.
- Κουτσογιάννης, Δ., και Θ. Ξανθόπουλος. «Τεχνική Υδρολογία», Έκδοση 3, 418 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1999.

- Κωνσταντίνου, Π. (2015). Υδραυλική Μηχανική: Θεωρία και Εφαρμογές. Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
- Λέκκας, Γ., Σπυρόπουλος, Α., & Στράτος, Γ. (1992). Μελέτης για την προστασία της αρχαίας Ολυμπίας από πλημμύρες. Αθήνα: Υπουργείο Πολιτισμού.
- Μαριολάκος, Η., Φουντούλης, Ι., & Μπαντέκας, Ι. (2022). Γεωτεχνολογικές γνώσεις κατά την προϊστορική εποχή. Στο: Γ. Παπαδόπουλος (Επιμ.), Γεωτεχνολογία και Γεωτεχνική Μηχανική (σσ. 49-68). Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
- Μαριολάκος, Ηλίας, Φουντούλης, Ιωάννης & Μπαντέκας, Ιωάννης, «Γεωτεχνολογικές Γνώσεις κατά την Προϊστορική Εποχή». <https://argolikivivliothiki.gr/2018/02/17/the-water-and-the-mycenaean-dam-of-tiryns/>. Ανακτήθηκε 11-12-2023.
- Μαστροκόστας, Ε. Ι. (1969). Αρχαίον Λίθινος Φράγμα παρά την Αλυζίαν. Επετηρίδα Εταιρίας Στερεοελλαδικών Μελετών, τόμος Β'.
- Μιμίκου, Μ.Α. και Ε.Α. Μπαλτάς. «Τεχνική Υδρολογία», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 5η Έκδοση, 2012.
- Μινιώρης, Γ., Σταματής, Γ., & Στουρνάρας, Γ. (2008). Πλημμύρες στην Αρχαία Ολυμπία. Στο: 8ο Διεθνές Συνέδριο Υδρογεωλογίας Ελλάδας, 3ο MEM Workshop Υδρολογίας Φραγμάτων, Αθήνα, 22-24 Μαΐου 2008, σελ. 811-818.
- Μουστάκας, Σ. (2012). Αναπαράσταση λειτουργίας αρχαίων υδραυλικών έργων στην περιοχή της Κωπαΐδας. [Master's thesis]. National Technical University of Athens.
- Μουτάφης, Ι. Ν., & Ζαρκαδούλας, Ν. (2006). Αρχαίο Φράγμα Αλυζίας, στο Αρχαία Ελληνική Τεχνολογία, 2ο Διεθνές Συνέδριο, Πρακτικά, Αθήνα.
- Μουτάφης, Ν. Ι., Ζαρκαδούλας, Νικόλαος (2010). "Αρχαίο φράγμα Αλυζίας". Στο: 2ο Διεθνές Συνέδριο Αρχαίας Ελληνικής Τεχνολογίας. Πρακτικά. Αθήνα: Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Μπάρμπα, Π., & Παπαδόπουλος, Γ. (2008). Υδραυλικά Έργα: Σχεδιασμός και Κατασκευή. Αθήνα: Εκδόσεις Τζιόλας.
- Νόμος 1739/1987 «Διαχείριση των υδατικών πόρων και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ Α' 201/19-20.11.1987).
- Νόμος 3010/02 (ΦΕΚ 91 Α) «Εναρμόνιση του Ν.1650/86 με τις Οδηγίες 97/11/Ε.Ε. και 96/61/Ε.Ε., διαδικασία οριοθέτησης και ρυθμίσεις θεμάτων για υδατορέματα και άλλες διατάξεις».
- Νόμος 3199/2003 «Προστασία και διαχείριση των υδάτων - Εναρμόνιση με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000». (ΦΕΚ Α' 280/9.12.2003).
- Ντέρπεφελντ, Β. (1963). Τα μυκηναϊκά φράγματα. Αρχαιολογία, 16, 24-34.
- Παπαγεωργίου, Σ. Β. (2015). Τα αρχαία φράγματα στην Ελλάδα: Τεχνικές και κατασκευαστικές πτυχές. Αθήνα: Εκδόσεις Πλέθρον.
- Παπαμιχαήλ, Δ.Μ. «Τεχνική Υδρολογία Επιφανειακών Υδάτων», Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούδη, 2001.

- Ραγκαβέ, Α.Ρ. (1931). Το φράγμα της αρχαίας Τίρυνθας. Αρχαιολογική Εφημερίς, 1931, 1-22.
- Σαγκιάζης Κ., Μανωλιάδης Ο., Μπαρώνου Α., Τσαπραΐλη Χ., (2005). A Hydrogeotechnical Integrated System for Water Resources Management of Attica – Greece». Water Resources Association- EWRA2005. Menton (France, 7-10 September 2005).
- Τσακίρης, Γ. «Υδατικοί Πόροι Ι. Τεχνική Υδρολογία», Εκδόσεις Συμμετρία, 1995.
- Τσακίρης, Γ., (2006). Υδραυλικά έργα: σχεδιασμός και διαχείριση, Τόμος ΙΙ. Εκδόσεις Συμμετρία.
- Φ.Ε.Κ. 1784 Β/ 20 Δεκεμβρίου 2005 ΤΕΥΧΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ. Αριθμ. Κ.Υ.Α. 43504/2005 - «Κατηγορίες αδειών χρήσης υδάτων και εκτέλεσης έργων αξιοποίησής τους, διαδικασία έκδοσης, περιεχόμενο και διάρκεια ισχύος αυτών».
- Φουντούλης, Ι., Μαριολάκος, Η., Μαυρουλής, Σ., & Λαδάς, Ι. (2008). Πλημμυρικές περιόδους κατά τους προϊστορικούς χρόνους στον ποταμό Κλαδέο – Αρχαία Ολυμπία. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Τομέας Δυναμικής, Τεκτονικής, Εφαρμοσμένης Γεωλογίας.
- Φωτοπούλου Λήδα (2009). “Αρχαίο Φράγμα Της Τίρυνθας”, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διεπιστημονικό – Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Επιστήμη & Τεχνολογία Υδατικών Πόρων».

Βιβλιογραφία Εικόνων

- Εικόνα 1: Από: <https://ourworldindata.org/explorers/natural-disasters>
- Εικόνα 2: Τοποθεσία φράγματος. Από: https://icid-ciid.org/award/his_details/152
- Εικόνα 3: Η χωροθέτηση του φράγματος Kallanai. Από: <http://www.thanjavurtourism.com/kallanai-dam.html>
- Εικόνα 4: Το φράγμα Kallanai. Από: <http://www.thanjavurtourism.com/kallanai-dam.html>
- Εικόνα 5: Διατομή της δομής του φράγματος Sadd el Kalara. Τα εξωτερικά τετράγωνα σχηματίζουν περίπου 30 σκαλοπάτια. Από: <http://boulderlibrary.net/water-engineering-in-ancient-civilizations-5-000-years-of-history/sadd-el-kafara11-the-first-known-large-dam-and-the-story-of-its-failure.html>
- Εικόνα 6: Υπολείμματα του φράγματος Sadd el Kafara (περίπου 2600 π.Χ.). στη δεξιά όχθη του Wadi Garawi, ένα από τα παλαιότερα γνωστά μεγάλα φράγματα στην ιστορία. Από: <http://boulderlibrary.net/water-engineering-in-ancient-civilizations-5-000-years-of-history/sadd-el-kafara11-the-first-known-large-dam-and-the-story-of-its-failure.html>
- Εικόνα 7: Γραφήματα από το φράγμα Sadd-Elkafara. Από : <http://boulderlibrary.net/water-engineering-in-ancient-civilizations-5-000-years-of-history/sadd-el-kafara11-the-first-known-large-dam-and-the-story-of-its-failure.html>
- Εικόνα 8: Φράγμα της Αιθιοπίας. Από: <https://www.cnn.gr/a/neilos-fragma/>
- Εικόνα 9: Χάρτης της Ρώμης Από: <https://www.vapar.co/cloaca-maxima/>
- Εικόνα 10: Cloaca Maxima, Ρώμη. Από: <https://daily.jstor.org/venus-of-the-sewers/>
- Εικόνα 11: Το Subak, αποτελεί ένα αποτελεσματικό σύστημα διαχείρισης νερού, αλλά και συμβάλλει και στην ενίσχυση της κοινωνικής δομής και της πολιτιστικής ταυτότητας των κοινοτήτων του Μπαλί. Από: https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Rice_terraces_in_Jatiluwi,_Tabanan_Regency,_Bali,_Indonesia.jpg
- Εικόνα 12: The Yellow River. Από: <https://www.thoughtco.com/yellow-river-in-chinas-history-195222>

- Εικόνα 13: Σκίτσο της θέσης του αρχικού καναλιού Zhegguo. Από: https://en.wikipedia.org/wiki/Zhengguo_Canal#/media/File:Zhengguo_Canal_Map.png
- Εικόνα 14: Σύστημα αποχέτευσης σε μινωικά ανάκτορα. (a) Μέρος του κεντρικού συστήματος αποχέτευσης στην Κνωσό. (b) Λιθόστρωτος βασιλικός δρόμος στο ανάκτορο της Κνωσού. (Φωτογραφίες Angelakis). Από: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-020-03898-w>
- Εικόνα 15: Τμήμα του αρχικού τοίχου της “Μηνωικής Οδογέφυρας” με τα βαθμιδωτά ανοίγματα. (Φωτογραφίες Angelakis). Από: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-020-03898-w>
- Εικόνα 16: Φράγμα Τύρινθας (Fotopoulou 2009) Από: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-020-03898-w>
- Εικόνα 17: Ο Μεγάλος Αγωγός στην Αγορά της Αρχαίας Αθήνας. Από: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:%CE%9C%CE%B5%CE%B3%CE%AC%CE%BB%CE%BF%CF%82_%CE%91%CE%B3%CF%89%CE%B3%CF%8C%CF%82,_CE%91%CF%81%CF%87%CE%B1%CE%AF%CE%B1_%CE%91%CE%B3%CE%BF%CF%81%CE%AC_%CE%91%CE%B8%CE%AE%CE%BD%CE%B1%CF%82_1150.jpg
- Εικόνα 18: {A} Ο τοίχος αντιστήριξης του αναχώματος. {B} Τομή τοίχου αντιστήριξης του αναχώματος. Από: <https://medcraveonline.com/IJH/developments-in-water-dams-and-water-harvesting-systems-throughout-history-in-different-civilizations.html>
- Εικόνα 19: Η αποξήρανση της λίμνης Κωπαΐδας από τους αρχαίους Μινύες σε σκίτσο. Από: <https://www.mixanitouxronou.gr/entyposiakes-eikones-apo-tin-kopa-da-poy-egine-kai-pali-limni-meta-tis-vrochoptoseis-otan-apoxiranthike-egine-skiniko-gia-polles-ellinikes-tainies-drone/>
- Εικόνα 20: Πηγή εικόνων: <https://www.mixanitouxronou.gr/entyposiakes-eikones-apo-tin-kopa-da-poy-egine-kai-pali-limni-meta-tis-vrochoptoseis-otan-apoxiranthike-egine-skiniko-gia-polles-ellinikes-tainies-drone/>
- Εικόνα 21.1: Αντιπλημμυρικό τείχος κλαδέου. Από: <http://kpekrestenon.gr/alfios/page13%20-%20b.htm>
- Εικόνα 21.2: Αντιπλημμυρικό τείχος κλαδέου. Από: <http://kpekrestenon.gr/alfios/page13%20-%20b.htm>
- Εικόνα 22: Πόλεις σε Ιπποδάμειο σχέδιο: (a) Όλυνθος, (b) Κασσώπη με αποχετευτικό και αποστραγγιστικό σύστημα (Φωτογραφίες A.N. Αγγελάκης). Από: https://www.researchgate.net/figure/General-views-of-cities-built-on-a-Hippodamian-plan-a-Olynthus-and-b-Kassope-with_fig3_339957725
- Εικόνα 23: Αρχαίο Φράγμα Αλυζίας. Πηγή: <https://www.agriniculture.gr/2014/08/07/archeo-fragmenta-alizias/>
- Εικόνα 24: Φυσικός υπερχειλιστής στο αριστερό αντέρεισμα. Πηγή: (Γρίβα, 2008)
- Εικόνα 25: Τύποι Υδρογραφημάτων άμεσης απορροής σύμφωνα με την Ορθολογική μέθοδο (Πηγή: Virginia Stormwater Management Handbook, Vol. 2, First Ed., 1999).
- Εικόνα 26: Η χωροθέτηση του φράγματος Kallanai στην Ινδία. Πηγή: <https://twitter.com/TNGeography/status/1591435607037063169>
- Εικόνα 31: Τα εναπομείναντα ερείπια του Φράγματος sadd el-Kafara. (Πηγή: https://madainproject.com/sadd_el_kafara. Ανακτήθηκε στις 27-12-2023).
- Εικόνα 32: Λεπτομέρειες του κατάντη σώματος του φράγματος του sadd el-Kafara. (Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Sadd_el-Kafara. Ανακτήθηκε στις 24-12-2023).
- Εικόνα 33: Cloaca Maxima. Αυτός είναι ένας χάρτης της αρχαίας Ρώμης που δείχνει τον υπόνομο Cloaca Maxima (κόκκινο), και ένα υδραγωγείο (Aqua Claudia, μπλε γραμμή) κοντά στο λόφο Palatine. (Πηγή: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Map_of_downtown_Rome_during_the_Roman_Empire_large-annotated.jpg. Ανακτήθηκε: 17-12-2023).
- Εικόνα 34: Cloaca Maxima. Η έξοδος του Cloaca Maxima στον ποταμό Τίβερη, Ρώμη, Ιταλία. (Πηγή: <https://www.britannica.com/topic/Cloaca-Maxima>. Ανακτήθηκε: 15-12-2023).
- Εικόνα 35: Η εκροή του Cloaca Maxima όπως εμφανίζεται τον Ιανουάριο του 2019 (Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Cloaca_Maxima#. Ανακτήθηκε: 14-12-2023).

- Εικόνα 36: (α) Ανασκαφή στη δυτική όχθη του Κλαδέου το 1999. Άνω και κάτω είναι ευδιάκριτα τετράγωνα θεμέλια και κολώνες (Knauss 1998; Kyrieleis 1988). (β) Η ίδια θέση σήμερα.
- Εικόνα 37: (α) Εγκάρσια τομή του τείχους (βλ. κείμενο). (β) Το νότιο άκρο του τείχους του Κλαδέου. Άποψη από τα δυτικά και (γ) από τα νότια (από Knauss 1998, 2001)
- Εικόνα 38: (α) Τοπογραφικός χάρτης της λεκάνης απορροής του Κλαδέου. (β) Χάρτης με τις λεκάνες απορροής 3ης τάξης. (από Knauss 1998, 2001)
- Εικόνα 39: Η Χωροθέτηση του Αρχαίου Φράγματος της Αλυζίας (Πηγή: Μουτάφης et Al., 2013).
- Εικόνα 40: Υπολείμματα από τον τοίχο του φράγματος 1β. Το Μυκηναϊκό φράγμα της Τίρυνθας (30.000m³ όγκου χώματος), Α,Β,Γ: το σύνολο του έργου για την εκτροπή των χειμάρρων 1,2 και 3, Δ η παλιά κοίτη «Λάκισα». (Πηγή: Μαριολάκος, et Al. <https://argolikiviniiothiki.gr>. Ανακτήθηκε 11-12-2023).
- Εικόνα 41: Τοπογραφικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής του Μυκηναϊκού φράγματος και της Αρχαίας Τίρυνθας Α. Η αδρανής κοίτη του χειμάρρου πριν από 3.200 χρόνια, Β. Η πιο πρόσφατη εκτροπή του ποταμού από τους Βενετούς πριν 500 χρόνια περίπου, C. η τεχνητή κοίτη του ρέματος. Πηγή: Jost Knauss, Argolische Studien. Ανακτήθηκε 11-12-2023.
- Εικόνα 42: Το τμήμα του προστατευτικού τοίχου που σώζεται μέχρι σήμερα. (Φωτοπούλου, 2009)
- Εικόνα 43: Η λεκάνη απορροής του Αρχαίου φράγματος. Πηγή <http://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/http://kpe-kastr.ark.sch.gr/site/seminars/Geomythology/GeomythologyGuide.pdf> (Ανακτήθηκε στις 13-12-2023)
- Εικόνα 44: Πιθανή θέση της ακτογραμμής την εποχή της εκτροπής του ποταμού. (Πηγή: Μαριολάκος, et Al. <https://argolikiviniiothiki.gr>. Ανακτήθηκε 11-12-2023).
- Εικόνα 45: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους Πηγή: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Εικόνα 46: Λεκάνη απορροής φράγματος αρχαίας Τίρυνθας
- Εικόνα 47: Ισοϋψείς καμπύλες στην τοποθεσία του φράγματος της Αρχαίας Τίρυνθας
- Εικόνα 48: Λεκάνη κατάκλισης του φράγματος Αρχαίας Τίρυνθας
- Εικόνα 49: Βάθος ταμιευτήρα φράγματος
- Εικόνα 50: Υπολογισμός όγκου σε φύλλο excel από δεδομένα του ArcGIS Pro.
- Εικόνα 51: Παραμέτρων ομβρίων καμπυλών στην περιοχή μελέτης (πηγή: ΥΠ.ΕΝ). Πλακίδια».