

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΣΧΟΛΗ  
ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ  
ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



Επικαιροποιημένο πλαίσιο υδροενεργειακής ανάπτυξης του  
συστήματος  
Άνω Αχελώου – Δυτικής Θεσσαλίας

Διπλωματική εργασία

Ηλίας – Άγγελος Γαβανόζης – Βλάσσης  
Επιβλέπων: Ανδρέας Ευστρατιάδης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2023

## Ευχαριστίες

Με την συγγραφή της τελευταίας αυτής ενότητας της διπλωματικής μου εργασίας, κλείνει και ένας μεγάλος κύκλος, αυτός των προπτυχιακών μου σπουδών στην σχολή Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ. Θα ήθελα να ευχαριστήσω ορισμένους ανθρώπους που βρέθηκαν δίπλα μου σε αυτό το ταξίδι.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας κ. Ανδρέα Ευστρατιάδη, ο οποίος αποτέλεσε το έναυσμα για την ενασχόλησή μου με τον τομέα των υδατικών πόρων και περιβάλλοντος, αλλά και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε για την εκπλήρωση της εργασίας αυτής, την συνεχή βοήθεια, καθοδήγηση και υπομονή που υπέδειξε. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους διδάσκοντες της σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ και ιδιαίτερα τους καθηγητές της κατεύθυνσης Υδραυλικών Μηχανικών για τις άπλετες γνώσεις και εμπειρίες που μου προσέφεραν.

Εκτός του πλαισίου συγγραφής της διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, το πατέρα μου Γιάννη, την μητέρα μου Μαρία αλλά και τον μικρό μου αδερφό Ταξιάρχη, που ελπίζω να ενέπνευσα να ασχοληθεί με τις θετικές επιστήμες. Η στήριξη, η βοήθεια και η αγάπη τους με οδήγησαν στο στάδιο αυτό της ζωής μου. Οφείλω να ευχαριστήσω και το φιλικό μου περιβάλλον και ανθρώπους που αγαπώ και με αγαπούν, οι οποίοι στάθηκαν δίπλα μου σε όλα τα χρόνια της ακαδημαϊκής μου πορείας αλλά και πρωτότερα αυτής.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω δύο ανθρώπους που παρότι δεν είναι μαζί μας πλέον, θα κατέχουν πάντα μία ξεχωριστή θέση στην καρδιά μου. Την γιαγιά μου Κατερίνα και τον παππού μου Ηλία. Ξέρω ότι θα ήταν πολύ περήφανοι για μένα. Σας ευχαριστώ για όλα.

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>- 10 -</b>
1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ .....	- 10 -
1.2. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	- 11 -
1.3. ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	- 12 -
<b>2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ .....</b>	<b>- 14 -</b>
2.1. ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΈΝΝΟΙΕΣ.....	- 14 -
2.1.1. Διακύμανση και κατάταξη υδρολογικής πληροφορίας .....	- 14 -
2.1.2. Επεξεργασία πρωτογενούς υδρολογικής πληροφορίας.....	- 15 -
2.1.3. Το υδατικό ισοζύγιο.....	- 16 -
2.1.4. Υδροηλεκτρική ενέργεια.....	- 18 -
2.2. ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ.....	- 20 -
2.3. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	- 21 -
2.4. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ.....	- 22 -
2.5. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΔΟΣΗΣ .....	- 23 -
2.5.1. Αδρομερής έκφραση επίδοσης συστήματος.....	- 23 -
2.5.2. Αξιοπιστία.....	- 24 -
2.5.3. Ανθεκτικότητα.....	- 25 -
2.5.4. Ευαισθησία .....	- 26 -
2.6. ΠΡΩΤΕΥΟΥΣΑ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ .....	- 26 -
2.6.1. Ενέργεια βάσης και ενέργεια αιχμής.....	- 27 -
2.7. ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΤΛΗΣΗΣ - ΤΑΜΙΕΥΣΗΣ.....	- 27 -
<b>3. ΤΟ ΥΔΡΟΣΥΣΤΗΜΑ ΑΧΕΛΩΟΥ – ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ .....</b>	<b>- 29 -</b>
3.1. Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΑΧΕΛΩΟΥ .....	- 29 -
3.2. Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ .....	- 31 -
3.3. Η ΕΚΤΡΟΠΗ ΤΟΥ ΑΧΕΛΩΟΥ – ΤΟ ΥΔΡΟΣΥΣΤΗΜΑ ΑΧΕΛΩΟΥ – ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ .....	- 33 -
3.4. ΤΟ ΕΡΓΟ ΕΚΤΡΟΠΗΣ.....	- 35 -
3.4.1. Κοινωνικές αντιδράσεις .....	- 35 -
3.4.2. Σχετικές μελέτες και αποτελέσματα .....	- 36 -

3.5.	ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΩΝ ΕΚΤΡΟΠΗ ΑΧΕΛΩΟΥ ΒΑΣΗ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΔΕΗ 1987 .....	- 37 -
3.6.	ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΑ ΕΡΓΑ ΕΚΤΡΟΠΗΣ ΤΟΥ ΑΧΕΛΩΟΥ. ....	- 40 -
<b>4.</b>	<b>ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΡΩΤΟΓΕΝΩΝ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....</b>	<b>- 49 -</b>
4.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	- 49 -
4.2.	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΓΕΩΧΩΡΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ - ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ.....	- 50 -
4.3.	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ .....	- 53 -
4.3.1.	<i>Χρονικό βήμα.....</i>	- 53 -
4.3.2.	<i>Κανονικοποίηση χρονικού βήματος .....</i>	- 53 -
4.3.3.	<i>Έλεγχος συνέπειας.....</i>	- 54 -
4.3.4.	<i>Θεωρητικό υπόβαθρο συμπλήρωσης - επέκτασης χρονοσειρών.....</i>	- 54 -
4.3.5.	<i>Δεδομένα συμπλήρωσης – επέκτασης χρονοσειρών .....</i>	- 57 -
4.3.6.	<i>Υπομετρική αναγωγή – εκτίμηση βροχοβαθμίδας.....</i>	- 61 -
4.4.	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΥΝΗΤΙΚΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ .....	- 71 -
4.5.	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΕΝΗΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ ΕΙΣΡΟΩΝ.....	- 75 -
4.5.1.	<i>Εκτίμηση παραμέτρων – παραγωγή μηνιαίων χρονοσειρών απορροής .....</i>	- 78 -
<b>5.</b>	<b>ΚΑΤΑΣΤΡΩΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ.....</b>	<b>- 85 -</b>
5.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	- 85 -
5.2.	ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ .....	- 86 -
5.2.1.	<i>Ταμιευτήρες.....</i>	- 86 -
5.2.2.	<i>Υδραγωγεία .....</i>	- 87 -
5.2.3.	<i>Υδατορεύματα.....</i>	- 88 -
5.2.4.	<i>Στρόβιλοι .....</i>	- 88 -
5.2.5.	<i>Αντλιοστάσια.....</i>	- 88 -
5.2.6.	<i>Κόμβοι εισροής/εκροής.....</i>	- 88 -
5.2.7.	<i>Στόχοι .....</i>	- 89 -
5.3.	ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ .....	- 89 -
5.4.	ΖΗΤΗΣΕΙΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ .....	- 90 -
5.4.1.	<i>Στόχοι του μοντέλου.....</i>	- 91 -

5.4.2.	<i>Περιβαλλοντικοί περιορισμοί</i> .....	- 92 -
5.4.3.	<i>Υδρευτικές και αρδευτικές ζητήσεις</i> .....	- 92 -
5.5.	ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΑΝΤΛΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ.....	- 93 -
5.6.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ .....	- 95 -
5.7.	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	- 102 -
5.8.	ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ .....	- 103 -
<b>6.</b>	<b>ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕΝΑΡΙΩΝ .....</b>	<b>- 106 -</b>
6.1.	ΜΕΤΡΑ ΕΠΙΔΟΣΗΣ.....	- 106 -
6.2.	ΣΕΝΑΡΙΑ ΧΩΡΙΣ ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗ.....	- 107 -
6.2.1.	<i>Σενάριο Χ1</i> .....	- 108 -
6.2.2.	<i>Σενάριο Χ2</i> .....	- 109 -
6.2.3.	<i>Σενάριο Χ3</i> .....	- 112 -
6.3.	ΣΕΝΑΡΙΑ ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗΣ .....	- 117 -
6.3.1.	<i>Σενάριο Α1.ι</i> .....	- 118 -
6.3.2.	<i>Σενάριο Α2.ι</i> .....	- 129 -
6.4.	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕΝΑΡΙΩΝ .....	- 152 -
6.4.2.	<i>Σύγκριση αποτελεσμάτων με παλαιότερες μελέτες</i> .....	- 154 -
6.5.	ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗ .....	- 154 -
6.5.1.	<i>Γενική μεθοδολογία και παραδοχές</i> .....	- 155 -
6.5.2.	<i>Οικονομικά αποτελέσματα, με χρήση αιολικής ενέργειας για άντληση</i> .....	- 157 -
<b>7.</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....</b>	<b>- 159 -</b>
7.1.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	- 159 -
7.2.	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	- 161 -
<b>8.</b>	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>- 162 -</b>
<b>9.</b>	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....</b>	<b>- 167 -</b>
9.1.	ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ.....	- 167 -
9.2.	ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ .....	- 176 -



## Περίληψη

Η ενεργειακή ανάπτυξη αποτελεί αναμφισβήτητο στόχο κάθε κοινωνίας και στρατηγική προτεραιότητα της εποχής. Η εδραίωση και η ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) ως η πρωταρχική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας μιας χώρας, τείνει να αποτελεί εθνική πολιτική και τη βάση κάθε μοντέλου ανάπτυξης της πράσινης οικονομίας. Η ανάπτυξη υδροηλεκτρικών έργων, ως μια μορφή ΑΠΕ με κεντρικό πυλώνα το νερό, απαιτεί ενδελεχή έλεγχο και σχεδιασμό, που πραγματοποιείται μέσω της διαχείρισης υδατικών πόρων. Πρόκειται για μια πολυσύνθετη διαδικασία, η οποία καλείται να ανταποκριθεί και να επιτύχει, με βάση συγκεκριμένες αρχές, την ικανοποίηση ποικίλων στόχων, συχνά αντικρουόμενων μεταξύ τους. Η κατάστρωση μιας διαχειριστικής πολιτικής παρουσιάζει διάφορες ιδιοτυπίες καθώς, για κάθε σύστημα τα δεδομένα, οι συνθήκες και οι απαιτήσεις του είναι μοναδικές. Επίσης, είναι μια δυναμική διαδικασία, καθώς πραγματοποιούνται αλλαγές στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον συνεχώς, με αποτέλεσμα η επικαιροποίηση των δεδομένων, παραμέτρων σχεδιασμού και στόχων να είναι αναγκαία. Συνεπώς, η κατάστρωση ενός διαχειριστικού σχεδίου απαιτεί λεπτομερή γνώση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών, των διεργασιών και των φυσικών αρχών που διέπουν το σύστημα. Η παρούσα εργασία αποσκοπεί στην ανάδειξη του υδροσυστήματος Άνω Αχελώου – Δυτικής Θεσσαλίας ως έναν από τους σημαντικότερους υδροενεργειακούς κόμβους της χώρας. Το πλούσιο δυναμικό, η μακρά ιστορία αλληλοαναιρούμενων - αντικρουόμενων αποφάσεων για την διαχείριση του συστήματος, καθώς και η επιτακτική ανάγκη εμπλουτισμού του ενεργειακού μείγματος της Ελλάδος με ΑΠΕ αποτέλεσαν το έναυσμα για την διεξαγωγή της συγκεκριμένης έρευνας. Η εργασία απαρτίζεται από τρία κύρια τμήματα. Στο πρώτο μέρος παρατίθεται το βασικό θεωρητικό υπόβαθρο που καθορίζει ένα υδροσύστημα, αλλά και τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης. Η κατανόηση των αρχών αυτών είναι απαραίτητη για την ορθή διαχείριση του συστήματος. Στο δεύτερο μέρος πραγματοποιείται επικαιροποίηση των υδρολογικών δεδομένων της περιοχής ενδιαφέροντος, με την βοήθεια του λογισμικού ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ, τα οποία αποτελούν την βάση για την κατασκευή ενός μοντέλου προσομοίωσης της απορροής. Στο τρίτο, με την βοήθεια του λογισμικού ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ, κατασκευάζονται και οπτικοποιούνται διαφορετικά σενάρια ανάπτυξης του συστήματος και διερευνάται η ενεργειακή και οικονομική τους επίδοση. Ακόμη, εξετάζεται η αξιοποίηση του υπό ανάπτυξη αιολικού δυναμικού της περιοχής, συνδυαστικά με το προτεινόμενο έργο αντλησιοταμίευσης στο πέρας της

σήραγγας εκτροπής του Αχελώου. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων αναδεικνύουν την ανάγκη μεταστροφής, και από τη φάση της αδράνειας και ύπνωσης, στην προώθηση καινοτόμων επενδύσεων και δραστηριοτήτων, ενισχύοντας την ανταγωνιστικότητα της οικονομίας, και μιας ολοκληρωμένης, διασυνδεδεμένης και ορθώς λειτουργούσας αγοράς ενέργειας, με μεγαλύτερη απόδοση και φιλικότερη επίδραση στο περιβάλλον.

## **Abstract**

Energy development represents an unquestionable objective for every society and a strategic priority of the ongoing era. The establishment and growth of Renewable Energy Sources (RES) as the primary electricity source of a country tends to become a national policy and the foundation of any green economic development model. The development of hydropower projects, as a form of Renewable Energy Source having as key pillar the water, requires thorough control and planning, which is implemented through water resource management. Water resource management is a highly intricate procedure that aims to respond and achieve, on the basis of specific principles, the satisfaction of various goals, often conflicting with one another. Crafting a water resource management policy exhibits several peculiarities because, for each system, the data, conditions, and requirements are unique. Furthermore, it is a dynamic procedure, since changes in the natural and the anthropogenic environment occur continuously, thus necessitating the updating of data, design parameters and goals. In this vein, the establishment of a management plan requires a detailed understanding of the characteristics, processes, and natural principles governing the system. The present thesis aims to highlight the Upper Achelous - Western Thessaly hydrosystem as one of the most significant water-energy hubs of the country. Its rich hydrodynamic potential, the long history of conflicting and reversible decisions regarding its management, and the urgent need to enrich Greece's energy mix with RES were the catalyst for conducting this research. This work comprises three primary sections. In the first part, we present the fundamental theoretical background defining a hydrosystem, as well as the characteristics of the study area. Understanding these principles is indispensable for the proper management of the system. In the second part, an update of the hydrological data over the area of interest is carried out by using HYDROGNOMON software, as these data consist the basis for constructing a runoff simulation model. In the third section, we setup and visualize different development scenarios via HYDROMENAS software,



and assess their performance, in terms of energy production and economic efficiency. In addition, we investigate the exploitation of the local wind potential, which is under development, in conjunction with the proposed pumped-storage system downstream of the Acheloos diversion tunnel. The results of these analyses emphasize the necessity for a transition from a phase of inertia and dormancy, to the boosting of innovative investments and activities that enhance the competitiveness of the economy, and the creations of an integrated, interconnected, and properly functioning energy market with higher efficiency and more friendly impacts to the environment.

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1. Εισαγωγικό σημείωμα

Το νερό είτε θεωρηθεί ως φυσικός πόρος, είτε ως οικονομικό αγαθό, είτε ως περιβαλλοντικό στοιχείο, ανάλογα με το κύριο κριτήριο και το είδος της διαχείρισης έχει μία ιδιαιτερότητα διότι είναι μοναδικό και αναντικατάστατο.

Η επέκταση των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων και οι αλλαγές παγκοσμίως στις κλιματικές συνθήκες δημιουργούν υδατικά ελλείμματα που χρήζουν άμεσης αντιμετώπισης με τη λήψη μέτρων βιώσιμης διαχείρισής τους. Η διαχείριση όμως των υδατικών πόρων δεν πρέπει να εκλαμβάνεται ως μία στατική διαδικασία, αλλά ως δυναμική, η οποία εμπεριέχει τόσο την εκτίμηση των διαθέσιμων υδατικών πόρων όσο και την πρόβλεψη της εξέλιξης των αναγκών σε νερό, την τεχνοοικονομική και περιβαλλοντική διερεύνηση των διαχειριστικών μέτρων, τη βέλτιστη επιλογή των έργων καθώς και το χρονοδιάγραμμα λήψης των μέτρων και κατασκευής των έργων, αποσκοπεί δε στην πληρέστερη δυνατή κάλυψη των σημερινών αναγκών για κάθε χρήση, με βάση έναν ορθολογικό προγραμματισμό που στηρίζεται σε αντικειμενικά κριτήρια και διαδικασίες, ενώ απαιτεί και ισορροπία μεταξύ συχνά αντικρουόμενων στόχων. Η διαχείριση των υδατικών πόρων στην Ελλάδα αποτελεί μία σύνθετη και διαχρονική πρόκληση που αφορά όχι μόνο το επίπεδο μελέτης και δη εμπεριστατωμένης και αναλυτικής των περιοχών ενδιαφέροντος, των υδρολογικών χαρακτηριστικών τους, των κλιματικών συνθηκών και των αναγκών της κοινωνίας, αλλά και την πρακτική εφαρμογή των αποφάσεων και των πολιτικών που προκύπτουν από αυτή.

Στην παρούσα περίοδο πραγματοποιούνται σημαντικές ανακατατάξεις στη διαχείριση των υδατικών πόρων, ταυτόχρονα με ριζικές αλλαγές στο ενεργειακό τοπίο. Η υδροηλεκτρική ενέργεια, που άρχισε να εφαρμόζεται από τα τέλη του 19ου αιώνα, αναπτύσσεται εκ νέου παγκοσμίως, ενόψει και της κλιματικής κρίσης, διότι δύναται να έχει πληθώρα πλεονεκτημάτων. Αποτελεί μία καθαρή ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, που προσφέρει προστασία από πλημύρες των κατάντη περιοχών και ρύθμιση των εισροών, η οποία επιτρέπει την αξιοποίηση του νερού και για επιπρόσθετες χρήσεις. Βασικό επίσης πλεονέκτημα αποτελεί η ευελιξία των μονάδων ενεργειακής παραγωγής, η οποία προέρχεται από την δυνατότητά τους να προσαρμόζονται στις απαιτήσεις της ζήτησης, κυρίως στις αιχμές της, αλλά και στον ταχύ χρόνο που απαιτούν για να τεθούν σε

λειτουργία. Στην Ελλάδα μόνο το ένα τρίτο του οικονομικά εκμεταλλεύσιμου υδροδυναμικού χρησιμοποιείται ή βρίσκεται υπό αξιοποίηση. Διαθέτει επομένως η χώρα σημαντικά ανεκμετάλλευτα αποθέματα εγχώριων υδροενεργειακών πηγών.

Ο Αχελώος αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά ποτάμια οικοσυστήματα, ενώ είναι ο σπουδαιότερος ποταμός από πλευράς υδροηλεκτρικής παραγωγής και αρκετά σημαντικός από πλευράς γεωργικής αξιοποίησης για την ευρύτερη περιοχή της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας. Παράλληλα η Περιφέρεια της Θεσσαλίας είναι από τις λίγες περιφέρειες στην χώρα που συγκροτεί μια αυτόνομη υδρολογική λεκάνη.

Το έργο της εκτροπής του ποταμού Αχελώου αποτελεί ένα από τα πιο εμβληματικά παραδείγματα πολιτικού οράματος, κυβερνητικών επιλογών και δαπανών του κρατικού προϋπολογισμού, εξέλιξης των νομικών αντιλήψεων, δημιουργίας ρευμάτων σκέψης και έντονων αντιθέσεων και εν τέλει ανασταλτικής πολιτικής στον τομέα διαχείρισης των υδατικών πόρων της Ελλάδας, καθότι παρότι το έργο αυτό σχεδιάστηκε πριν περίπου 50 χρόνια παραμένει ημιτελές, με πολλά μέρη του κατασκευασμένα, αλλά αναξιοποίητα. Οι συνεχείς διαφωνίες για την έκβαση του έργου, αλλά και οι διάφορες ακυρωτικές αποφάσεις της Πολιτείας αποδεικνύουν τις πολλαπλές προκλήσεις που αντιμετωπίζει ο τομέας διαχείρισης υδατικών πόρων της χώρας, η αντιμετώπιση των οποίων απαιτεί τη συνεργασία μεταξύ των διάφορων ενδιαφερόμενων φορέων την υιοθέτηση κοινά αποδεκτών στόχων και πολιτική βούληση.

Ο βασικός στόχος του έργου της εκτροπής του Αχελώου, μετά την εγκατάλειψη της αρχικής εκτροπής των 1100 hm<sup>3</sup>, είναι η μικρή μεταφορά υδάτων από ένα πλεονασματικό Υδατικό Διαμέρισμα της χώρας (Δυτική Στερεά Ελλάδα) προς ένα άλλο ελλειμματικό (Θεσσαλία). Η ανάγκη αυτή υφίσταται ακόμη και σήμερα αλλά πιο έντονη, που εξυπηρετεί και δεν αντιστρατεύεται της αρχές της βιώσιμης ανάπτυξης. Πράγματι τα 4.000.000 στρέμματα του Θεσσαλικού κάμπου αποτελούν τη μεγαλύτερη ενιαία πεδινή έκταση της χώρας και για αυτό το λόγο η άμεση άρδευση του συνόλου του κάμπου με την απόληψη νερού από την υδρολογική λεκάνη του Αχελώου αποτελεί λύση ανάπτυξης.

## **1.2. Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας**

Αντικείμενο της εργασίας αποτελεί η επικαιροποίηση του πλαισίου υδροενεργειακής ανάπτυξης του συστήματος Άνω Αχελώου – Δυτικής Θεσσαλίας.

Το υδροσύστημα Άνω Αχελώου– Δυτικής Θεσσαλίας είναι ένα από τα σημαντικότερα της χώρας, με εκτεταμένες δυνατότητες ανάπτυξης. Σε αυτό ενσωματώνονται οι δυνατότητες ενεργειακής παραγωγής, κάλυψης αρδευτικών αναγκών της Δυτικής Θεσσαλίας και διαχείρισης των περιβαλλοντικών προβλημάτων δύο ευαίσθητων λεκανών απορροής. Επιπλέον, ο ημιτελής χαρακτήρας των έργων, τόσο των υφιστάμενων, όσο και των υπό κατασκευή/ προγραμματισμένων για κατασκευή, προσφέρει μια ευκαιρία για διεξαγωγή μελετών και αξιολόγηση εναλλακτικών λύσεων.

Η παρούσα μελέτη αποσκοπεί στην ανάδειξη των δυνατοτήτων ανάπτυξης της περιοχής σε βασικό κόμβο παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας. Το αναξιποίητο υδροδυναμικό των περιοχών καθώς και εκκλήσεις των τοπικών κοινωνιών για κατασκευή των έργων που σχεδιάστηκαν δεκαετίες πρωύτερα καθιστούν επίκαιρη την ανάγκη μίας ολοκληρωμένης μελέτης, που λαμβάνει υπόψη τα επίκαιρα υδρολογικά δεδομένα, αλλά και τις νέες προκλήσεις λόγω της εξελισσόμενης ενεργειακής κρίσης.

Για τις αναλύσεις γίνεται χρήση των λογισμικών ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ και ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ. Το πρώτο χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία πρωτογενών βροχομετρικών δεδομένων και την παραγωγή χρονοσειρών. Το δεύτερο είναι ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα προσομοίωσης συστημάτων υδατικών πόρων, μέσω του οποίου γίνεται η βελτιστοποίηση της διαχειριστικής τους πολιτικής.

Πέραν της επικαιροποίησης των αποτελεσμάτων προ υπαρχόντων μελετών, η παρούσα μελέτη αποσκοπεί στην κατάρτιση μίας νέας πρότασης διαχειριστικής πολιτικής για την πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων του υδροσυστήματος Άνω Αχελώου – Δυτικής Θεσσαλίας. Η λειτουργία του συστήματος με τον τρόπο για τον οποίο αρχικά σχεδιάστηκε δεν είναι εφικτή, όπως έχει αποδειχθεί από την μακρά ιστορία των δικαστικών εμπλοκών. Για τον λόγο αυτό, θα προταθεί η μεταφορά μικρότερης ποσότητας από την αρχική για την οποία σχεδιάστηκε το έργο, σεβόμενη τις πρόσφατες αποφάσεις των αρμόδιων αρχών.

### **1.3. Διάρθρωση διπλωματικής εργασίας**

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από 9 κεφάλαια.

Στο παρόν κεφάλαιο της εισαγωγής, περιγράφεται το αντικείμενο και οι βασικοί στόχοι της μελέτης.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρατίθενται ορισμοί και αναλύονται θεμελιώδεις έννοιες της διαχείρισης υδατικών πόρων και της διαχείρισης ενός υδροσυστήματος. Αναλύονται επίσης οι έννοιες της προσομοίωσης και της βελτιστοποίησης, καθώς και τα αναγκαία δεδομένα εισαγωγής, οι οποίες αποτελούν και τις κύριες τεχνικές που αξιοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη.

Το τρίτο κεφάλαιο αποσκοπεί στην περιγραφή της περιοχής μελέτης και του υδροσυστήματος Άνω Αχελώου – Θεσσαλίας, παραθέτοντας βασικά στοιχεία για τις περιοχές αυτές, για τα υφιστάμενων και τα υπό μελέτη έργα. Γίνεται σύντομη ιστορική ανασκόπηση της πορείας ολόκληρου του έργου εκτροπής του Αχελώου.

Τα επόμενα τέσσερα κεφάλαια αποτελούν το ερευνητικό σκέλος της μελέτης. Το τέταρτο κεφάλαιο περιγράφει αναλυτικά την διαδικασία επεξεργασίας διαφόρων ειδών χρονοσειρών αποσκοπώντας στην παραγωγή χρονοσειρών απορροής. Περιλαμβάνει βασικές θεωρητικές έννοιες, αλλά και τα αποτελέσματα κάθε διαδικασίας επεξεργασίας.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύεται η διαδικασία κατάστρωσης και σχεδιασμού του υδροσυστήματος με την βοήθεια του λογισμικού ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ. Περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία σχηματοποίησης και μοντελοποίησης καθώς και η διαδικασία της προσομοίωσης και βελτιστοποίησης.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά η διαδικασία βελτιστοποίησης, αναλύονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, παρουσιάζονται οι καμπύλες ενέργειας και τα κριτήρια απόδοσης των σεναρίων.

Το έβδομο κεφάλαιο απαρτίζεται από τα κυριότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από την μελέτη. Επιπλέον, αναφέρονται ορισμένες προτάσεις για εμβάθυνση και επέκταση της παρούσας μελέτης.

Στα τελευταία δύο κεφάλαια παραθέτονται η βιβλιογραφία της μελέτης και τα παραρτήματα, όπου παρατίθενται οι χρονοσειρές βροχόπτωσης και απορροής των λεκανών που αξιοποιήθηκαν για την κατασκευή του μοντέλου.

## 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύονται θεμελιώδεις έννοιες που αφορούν την διαχείριση υδροσυστημάτων και αποτελούν την θεωρητική βάση της μελέτης που ακολουθεί. Πιο συγκεκριμένα, αναλύονται οι έννοιες της πρωτογενούς πληροφορίας, οι σχέσεις που περιγράφουν το υδατικό ισοζύγιο και την υδροηλεκτρική παραγωγή. Παρουσιάζονται οι έννοιες της προσομοίωσης και της βελτιστοποίησης ως μέσα διαχείρισης υδάτινων πόρων. Τέλος, επεξηγούνται τα κριτήρια επίδοσης ενός συστήματος, κρίσιμες έννοιες όπως η αξιοπιστία, ανθεκτικότητα και η ευαισθησία καθώς και ο διαχωρισμός ανάμεσα σε πρωτεύουσα και δευτερεύουσα ενέργεια.

### 2.1. Θεμελιώδεις έννοιες

#### 2.1.1. Διακύμανση και κατάταξη υδρολογικής πληροφορίας

Η υδρολογική πληροφορία χαρακτηρίζεται από χωρική και χρονική διακύμανση. Η χωρική διακύμανση καταγράφεται με δύο τεχνικές, την σημειακή και την επιφανειακή μέτρηση. Η πρώτη καταγράφει μία υδρολογική μεταβλητή σε ένα συγκεκριμένο σημείο, χρησιμοποιώντας σταθερούς μετρητές, βροχόμετρα, σταθμήμετρα. Η δεύτερη, παρέχει πληροφορίες για ένα ευρύτερο πεδίο που ορίζεται από την εμβέλεια των οργάνων. Σημειώνεται πως τα τελευταία δεν μετρούν απευθείας τα μετεωρολογικά δεδομένα, αλλά διάφορες άλλες συνιστώσες, βάση των οποίων με πολύπλοκες μαθηματικές σχέσεις υπολογίζονται αυτά. Η χρονική διακύμανση των υδρολογικών μεταβλητών καθιστά αναγκαία την συνεχή παρακολούθηση και καταγραφή των δεδομένων. Ιστορική χρονοσειρά ορίζεται ως το σύνολο των παρατηρήσεων ή μετρήσεων σε διάφορα χρονικά σημεία με σκοπό την καταγραφή της εξέλιξης ενός φαινομένου κατά την πάροδο του χρόνου. Οι παρατηρήσεις αυτές έχουν σταθερό, συνήθως, βήμα. Θεωρώντας  $X_t$  την υδρολογική πληροφορία και  $X_{t_0}, X_{t_1}, \dots, X_{t_n}$  τις παρατηρηθείσες τιμές, το χρονικό βήμα είναι η διαφορά  $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$ , το οποίο και καθορίζεται από τις ανάγκες της εκάστοτε μελέτης (Δ. Κουτσογιάννης Θ. Ξ., 1997).

Η υδρολογική πληροφορία κατηγοριοποιείται σε τρεις βαθμίδες, ανάλογα της βαρύτητάς της, την πρωτεύουσα, δευτερεύουσα και τριτεύουσα. Ως πρωτεύουσα πληροφορία χαρακτηρίζονται οι μετρήσεις παροχής των ποταμών. Οι τιμές αυτές είναι σπάνιες και συχνά ελλιπείς, λόγω της

δυσκολίας απόκτησής τους και του υψηλού κόστους. Οι μετρήσεις αυτές θα απλοποιούσαν την υδρολογική μελέτη καθώς οι τιμές απορροών θα ήταν γνωστές. Η δευτερεύουσα πληροφορία είναι οι μετρήσεις της κατακρήμνισης. Αυτή η κατηγορία θεωρείται και η πιο σημαντική, καθώς συναντάται σε μεγαλύτερη πυκνότητα και διάρκεια χρονοσειρών. Από την δευτερεύουσα προκύπτουν και οι εκτιμήσεις για την απορροή του εκάστοτε υδατορεύματος ή συστήματος που μελετάται. Η τριτεύουσα πληροφορία είναι όλες οι άλλες μετρήσεις, όπως η ηλιοφάνεια, η ταχύτητα ανέμου, η σχετική υγρασία, η θερμοκρασία και άλλες. Αυτή η κατηγορία αξιοποιείται για την βελτιστοποίηση των εκτιμήσεων απορροής και κατακρήμνισης ενός υδροσυστήματος.

### **2.1.2. Επεξεργασία πρωτογενούς υδρολογικής πληροφορίας**

Η πρωτογενής υδρολογική πληροφορία ορίζεται ως η άμεση μέτρηση και παρατήρηση που διενεργείται στα υδατικά συστήματα, ποτάμια, λίμνες, υπόγειες πηγές και άλλα υδάτινα στοιχεία και περιλαμβάνει πληροφορίες όπως το ύψος βροχής, η στάθμη του νερού, η ροή του ποταμού, η θερμοκρασία του νερού και άλλες υδρολογικές παραμέτρους (Δ. Κουτσογιάννης Θ. Ξ., 1997).

Καθοριστικής σημασίας χαρακτηρίζεται η ποιότητα των παρατηρηθέντων δεδομένων. Λόγω των μεθόδων που ακολουθούνται για την καταγραφή αυτών συχνά εμφανίζονται χρονικές περίοδοι με ελλείψεις ή λανθασμένες τιμές.

Για την αξιοποίηση της πρωτογενούς υδρολογικής πληροφορίας απαραίτητη είναι η επεξεργασία τους. Η διαδικασία αυτή είναι η εξής:

1. Μετατροπή του χρονικού βήματος με συνάθροιση.
2. Έλεγχος και εντοπισμός σφαλμάτων στις παρατηρηθείσες τιμές και διόρθωση τυχόν μεμονωμένων ή συστηματικών σφαλμάτων.
3. Συμπλήρωση των ασυνεχειών των μετρήσεων.
4. Παραγωγή των τριτευόντων μεταβλητών, δηλαδή της εξατμισιοδιαπνοής και άλλων μετεωρολογικών μεταβλητών.

Τα βήματα 2 και 3 απαιτούν στατιστικές μεθόδους, απλή ή πολλαπλή παλινδρόμηση, ενώ στο βήμα 4 χρησιμοποιούνται προσδιοριστικές μέθοδοι (μέθοδος Penman).

### 2.1.3. Το υδατικό ισοζύγιο

Η κατάστρωση του υδατικού ισοζυγίου ενός ταμιευτήρα ή ενός συστήματος αποτελεί βασική προϋπόθεση για κάθε μελέτη διαχείρισης υδάτινων πόρων. Το ισοζύγιο ενός ταμιευτήρα βασίζεται σε διάφορες υδρολογικές διαδικασίες, όπως οι εισροές από την ανάντη λεκάνη απορροής, η απευθείας εναποθέσεις στον ταμιευτήρα λόγω βροχής, η εξάτμιση από την επιφάνεια του ταμιευτήρα, οι υπόγειες διαφυγές και οι εκροές κατάντη αυτού. Οι συνιστώσες αυτές παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.1.1.

Ένα υδατικό ισοζύγιο μπορεί να αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας το ισοζύγιο μάζας του νερού:

$$\frac{dS}{dt} = I - O$$

(2.1.1)

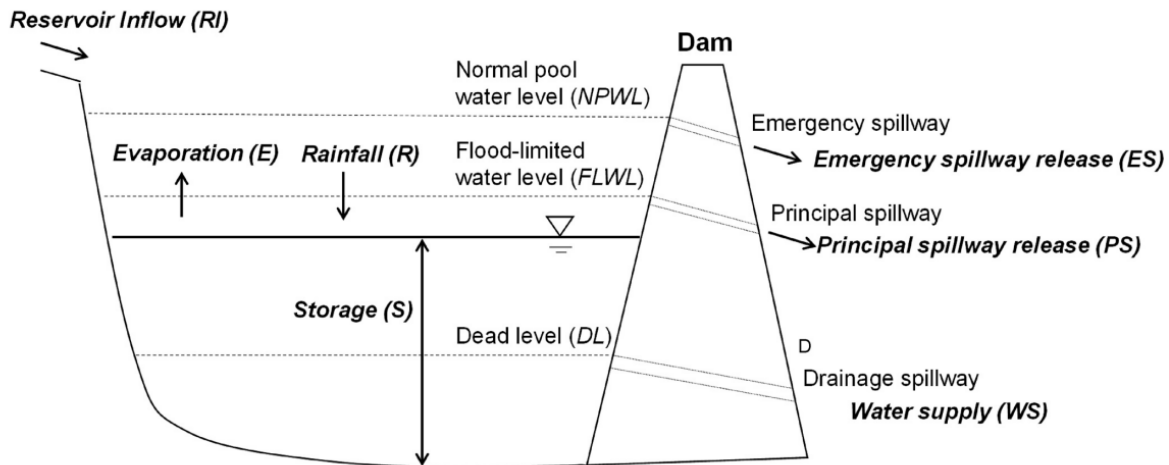
Όπου  $S$  θεωρείται ο όγκος του νερού που αποθηκεύεται στον ταμιευτήρα ( $m^3$ ),  $I$  είναι η ποσότητα του νερού που εισέρχεται στον ταμιευτήρα ( $m^3/s$ ) και  $O$  η ποσότητα νερού που εκρέει από αυτόν ( $m^3/s$ ). Η εξίσωση (2.1.1) μπορεί να αναλυθεί σε περαιτέρω υδρολογικά χαρακτηριστικά, δίνοντας την παρακάτω εξίσωση:

$$\frac{dS}{dt} = (RI + R) - (E + G + RO)$$

(2.1.2)

Όπου  $RI$  είναι οι εισροές (επιφανειακές και υπόγειες) από την ανάντη του ταμιευτήρα λεκάνη απορροής ( $m^3/s$ ),  $R$  η βροχόπτωση στην επιφάνεια του ταμιευτήρα ( $m^3/s$ ),  $E$  η εξάτμιση από την επιφάνεια του ταμιευτήρα ( $m^3/s$ ),  $G$  οι υπόγειες διαφυγές λόγω περατότητας του εδάφους ( $m^3/s$ ) και  $RO$  οι εκροές κατάντη του ταμιευτήρα ( $m^3/s$ ).





Εικόνα 2.1.1: Οι συνιστώσες του υδατικού ισοζυγίου ενός υδροσυστήματος Πηγή: (J. Song, 2022))

Τα μεγέθη της απευθείας βροχόπτωσης στην επιφάνεια του ταμιευτήρα  $R$  και την εξάτμιση από την επιφάνεια του  $G$  θεωρούνται αμελητέα όταν η έκταση του είναι μικρή σε σχέση με την ανάντη λεκάνη απορροής.

Οι εκροές από τον ταμιευτήρα  $RI$  μπορούν να αναλυθούν περεταίρω, κατηγοριοποιώντας τις σε δύο είδη. Πρώτον, η απόληψη μέσω του ταμιευτήρα  $WS$  (water supply) ( $m^3/s$ ) πραγματοποιείται μέσω του αγωγού υδροληψίας για την κάλυψη των διάφορων ζητήσεων, περιβαλλοντική ροή, άρδευση, ύδρευση, υδροηλεκτρική παραγωγή ενέργειας. Δεύτερον, η υπερχειλίση  $SS$  (spillway supply) ( $m^3/s$ ) πραγματοποιείται μέσω του υπερχειλιστή για την αποδέσμευση όγκου νερού που θα υπερέβαινε την μέγιστη επιτρεπτή στάθμη, την στάθμη υπερχειλίσης.

$$RO = WS + SS \quad (2.1.3)$$

Η εξίσωση (2.1.1) σε κάθε χρονικό βήμα γράφεται:

$$S_{t+1} = S_t + RI_t - G_t - WS_t - SS_t \quad (2.1.4)$$

Η παραπάνω σχέση συνδέεται με φυσικούς περιορισμούς που αναφέρονται στον μέγιστο και ελάχιστο όγκο αποθήκευσης:

$$DL \leq S_t \leq K \quad (2.1.5)$$

Όπου DL είναι ο νεκρός όγκος, ο όγκος δηλαδή των φερτών υλικών που έχουν εναποτεθεί στον ταμιευτήρα και K η ωφέλιμη χωρητικότητα του ταμιευτήρα.

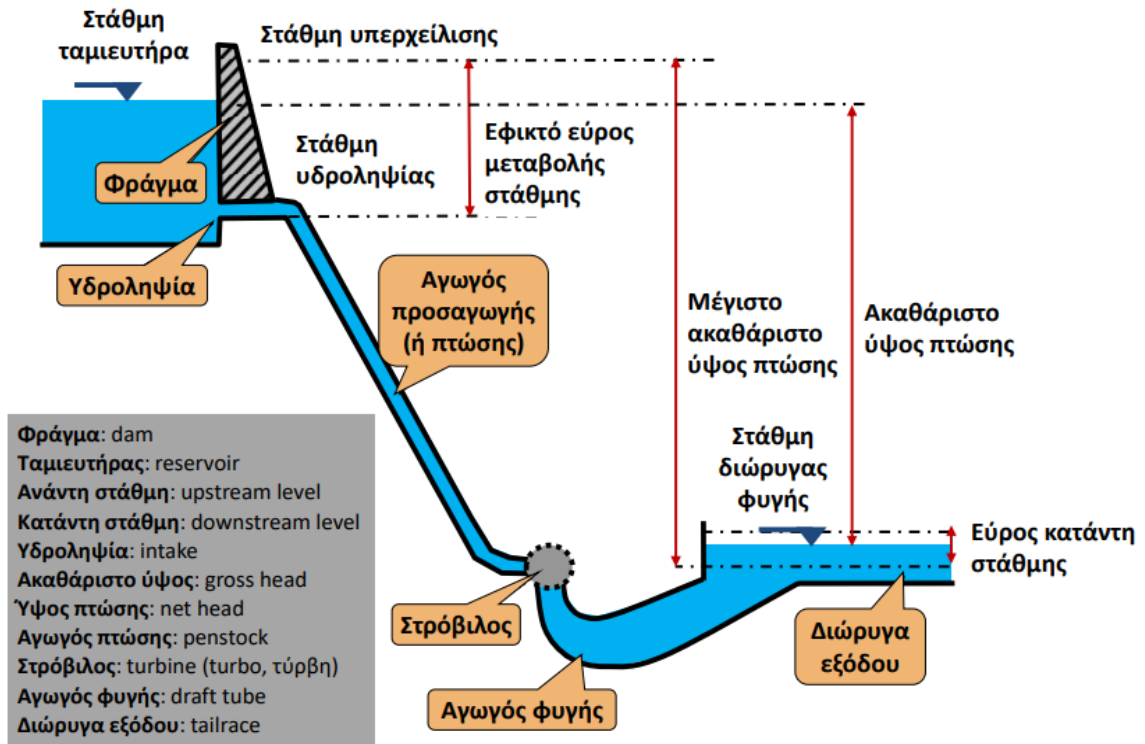
Επιπλέον ισχύει ο περιορισμός αναφορικά με την μέγιστη παροχαρακτηριστικότητα του αγωγού προσαγωγής:

$$0 \leq WS_t \leq WS_{max}$$

(2.1.6)

Σε σενάρια όπου αναλύεται σύστημα πολλαπλών ταμιευτήρων ενδέχεται η διαχείριση να παρουσιάζει πολυπλοκότητες, όμως υπάρχει η δυνατότητα αναγωγής τους στην απλούστερη εξίσωση (2.1.6).

#### 2.1.4. Υδροηλεκτρική ενέργεια



Εικόνα 2.1.2: Σχηματοποίηση μονάδας υδροηλεκτρικής παραγωγής Πηγή: (Α.Ευστρατιάδης, 2020 - 2021)

Η υδροηλεκτρική ενέργεια αναφέρεται στην ενέργεια που προκύπτει από την χρήση της ροής του νερού. Σε έναν ταμιευτήρα, το μεγάλο ύψος πτώσης και ο μεγάλος όγκος του αποθηκευμένου νερού αξιοποιούνται στην μετατροπή την κινητικής ενέργειας του νερού σε ηλεκτρική μέσω γεννητριών – στροβίλων. Η απόληψη του νερού γίνεται μέσω της υδροληψίας που ορίζεται σε σταθερό ύψος από την βάση του ταμιευτήρα. Από εκεί ο αγωγός προσαγωγής (ή πτώσης)

μεταφέρει ποσότητα νερού στην μονάδα παραγωγής ενέργειας που βρίσκεται σε χαμηλότερο υψόμετρο. Στον υδροηλεκτρικό σταθμό ένας ή και παραπάνω υδροστρόβιλοι μετατρέπουν την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική (Εικόνα 2.1.2) (Α.Ευστρατιάδης, 2020 - 2021). Παράμετροι αυτού του συστήματος είναι η παροχτευτικότητα του αγωγού προσαγωγής και η δυναμική του κάθε στρόβιλου. Ανάλογα τα χαρακτηριστικά του ταμιευτήρα πραγματοποιείται μελέτη για την εύρεση του βέλτιστου μείγματος δυναμικότητας των στρόβιλων.

Η θεωρητική ισχύς του συστήματος υπολογίζεται θεωρώντας μηδενικές απώλειες στην μετατροπή της κινητικής ενέργειας σε ηλεκτρική και μηδενικές τις απώλειες ενέργειας λόγω τριβής, δηλαδή θεωρώντας το συνολικό ύψος πτώσης ως καθαρό ύψος πτώσης.

$$P_o = \gamma \times Q \times H \quad (2.1.7)$$

Όπου  $\gamma = \rho \times g$  το ειδικό βάρος του νερού ( $9.81 \text{ m}^2/\text{s}$ ),  $Q$  η παροχή του διερχόμενου από τον στρόβιλο νερού και  $H$  το ολικό ύψος πτώσης (m), δηλαδή  $H = h_A - h_K$ .

Η πραγματική ισχύς, θεωρώντας μεταβαλλόμενη παροχή και ύψος πτώσης στον χρόνο:

$$P_{(t)} = n_{(t)} \times \gamma \times Q_{(t)} \times H_{n(t)} \quad (2.1.8)$$

Όπου  $n$  ο αδιάστατος βαθμός απόδοσης της μονάδας παραγωγής και  $H_n$  το καθαρό ύψος πτώσης (m) συναρτήσει του ολικού ύψους και της παροχής.

Η παραγόμενη ενέργεια υπολογίζεται βάση της σχέσης:

$$E = n \times \gamma \times V \times H_n \quad (2.1.9)$$

Στην σχέση (2.1.9) θεωρείται σταθερός ο βαθμός απόδοσης  $n$  και το καθαρό ύψος πτώσης  $H_n$ . Η μονάδες μέτρησης της παραγόμενης υδροηλεκτρικής ενέργειας για μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα και ταμιευτήρες είναι οι GWh, hm (εκατομμύρια μέτρα) για το ύψος πτώσης και  $\text{hm}^3$  (εκατομμύρια κυβικά) για τον όγκο του διερχόμενου νερού από τους στρόβιλους.

Ως καθαρό ύψος πτώσης ονομάζεται η ανά μονάδα μάζας υδραυλική ενέργεια που διατίθεται στον στρόβιλο:

$$H_n = h_A - h_K - h_L \quad (2.1.10)$$

Όπου  $h_L$  είναι οι ολικές ενεργειακές απώλειες,  $h_L = h_f + h_k$  όπου  $h_f$  οι γραμμικές και  $h_k$  οι τοπικές απώλειες του συστήματος προσαγωγής και του αγωγού φυγής.

Μία άλλη έκφραση της εξίσωσης (2.1.9) σε κάθε χρονικό βήμα  $t$  είναι:

$$E_t = \psi \times V_t \times H_t \quad (2.1.11)$$

Όπου  $\psi$  είναι η παραγόμενη ενέργεια ανά μονάδα όγκου και ύψους πτώσης και ονομάζεται ειδική ενέργεια. Οι μονάδες μέτρησής της είναι  $\text{GWh}/\text{hm}^4$ . Η σχέση που περιγράφει την ειδική ενέργεια είναι:

$$\psi = 0.2725 \times \eta \times \frac{H_n}{H} \quad (2.1.12)$$

Η εξίσωση (2.1.11) εφαρμόζεται και σε περιπτώσεις άντλησης νερού για τον υπολογισμό της ενέργειας που καταναλώνεται και η ειδική ενέργεια  $\psi$  υπολογίζεται σε αυτή την περίπτωση:

$$\psi = \frac{0.2725}{n} \times \frac{H_n}{H} \quad (2.1.13)$$

όπου όμως τώρα  $H_n = H + h_f + h_t$ .

Η τιμή 0.2725 αποτελεί μέγιστη και ελάχιστη τιμή της ειδικής ενέργειας για τις περιπτώσεις παραγωγής και άντλησης αντίστοιχα θεωρώντας μέγιστη απόδοση στροβίλων και μηδενικές απώλειες ενέργειας, δηλαδή  $n = 1$  και  $H = H_n$ .

## 2.2. Σύστημα υδατικών πόρων

Ως σύστημα ορίζεται ένα σύνολο ανεξάρτητων μεταξύ τους στοιχείων, το οποίο χαρακτηρίζεται από: (1) ένα σύνορο που καθορίζει αν το στοιχείο ανήκει στο σύστημα ή το περιβάλλον, (2) αλληλεπιδράσεις με το περιβάλλον και (3) σχέσεις μεταξύ των στοιχείων του και των εισόδων και εξόδων (Mays W. L., 1992).

Ως υδροσύστημα ορίζεται ένα σύστημα αποτελούμενο από φυσικά υδάτινα σώματα και τεχνικά έργα, που συνεργαζόμενα εξυπηρετούν έναν ή περισσότερους σκοπούς, που αναφέρονται τόσο στην αξιοποίηση του νερού ως φυσικού πόρου, όσο και στην προστασία από την καταστροφική δράση του νερού ως φυσικού κινδύνου (Δ. Κουτσογιάννης Θ. Ξ., 1997).

Η διαδικασία μελέτης, σχεδιασμού, ελέγχου και βελτιστοποίησης ενός συστήματος ονομάζεται ανάλυση συστήματος. Είναι μία προσέγγιση που αποσκοπεί στην κατανόηση, τον χαρακτηρισμό, τον σχεδιασμό, τον έλεγχο και την βελτιστοποίηση των συστημάτων μέσω των σχέσεων που διέπουν τις συνιστώσες τους. Στόχος της είναι η επίτευξη βέλτιστης λειτουργίας, αποδοτικότητας και αποτελεσματικότητάς τους (Κουτσογιάννης, Έννοιες, μεθοδολογία, μεγέθη. Πλαίσιο διαχείρισης υδατικών πόρων στην Ελλάδα, 2007).

### **2.3. Προσομοίωση**

Προσομοίωση είναι η τεχνική μίμησης της λειτουργίας ενός πραγματικού συστήματος, όπως αυτό εξελίσσεται στον χρόνο (Winston, 1994).

Μοντέλο προσομοίωσης είναι ένα σύνολο υποθέσεων σχετικά με την δυναμική λειτουργία ενός συστήματος, εκφρασμένων με τη μορφή μαθηματικών ή λογικών σχέσεων και κωδικοποιημένων, συνήθως, σε κάποια γλώσσα προγραμματισμού (Κουτσογιάννης, 2017).

Ένα θεωρητικό μοντέλο αδυνατεί να προσομοιώσει με απόλυτη ακρίβεια την πραγματική λειτουργία ενός συστήματος, καθώς σε κάθε μοντέλο εισάγονται πληροφορίες, δεδομένα και περιορισμοί που δεν μπορούν να περιγράψουν με απόλυτη ακρίβεια και βεβαιότητα την φυσική λειτουργία. Τα μοντέλα όπου συμπεριλαμβάνονται προβλεπόμενες διεγέρσεις λειτουργούν ως εργαλεία πρόγνωσης. Διακρίνονται δύο τύποι μοντέλου, το ντετερμινιστικό και το στοχαστικό μοντέλο.

Το πρώτο, χρησιμοποιεί δεδομένες παραμέτρους και εξωτερικές διεργασίες αυστηρά ορισμένες. Το αποτέλεσμα ενός ντετερμινιστικού μοντέλου είναι μοναδικό για κάθε προσομοίωση. Ένα ντετερμινιστικό μοντέλο παρέχει υψηλή ακρίβεια στα αποτελέσματά του, δεδομένου ότι λαμβάνει υπόψη γενικές σχέσεις και φυσικούς νόμους. Επιπλέον, λόγω του απλούστερου χαρακτήρα του η κατανόηση του είναι ευκολότερη. Τέλος, είναι κατάλληλο για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών πρόβλεψης και σχεδιασμού συστημάτων. Αντιθέτως, λόγω της απλοϊκότητάς του είναι πιθανό να αγνοεί πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις του συστήματος και της αβεβαιότητας που διέπει τις παραμέτρους του με αποτέλεσμα προβλήματα στην πρόγνωση. Σε αυτά τα μοντέλα δεν εξετάζεται η εξέλιξη του συστήματος με τον χρόνο και η συμπεριφορά του σε μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Το δεύτερο, αξιοποιεί παραμέτρους και εξωτερικές διεργασίες που διέπονται από τυχαιότητα, δηλαδή ακολουθούν κάποια πιθανοτική κατανομή. Το αποτέλεσμα αυτού του μοντέλου είναι τυχαίες μεταβλητές. Ένα στοχαστικό μοντέλο ενσωματώνει την αβεβαιότητα στις παραμέτρους και τις μεταβλητές εισόδου παράγοντας έτσι πιο αξιόπιστες προβλέψεις. Επιπλέον, απεικονίζει την εξέλιξη του συστήματος στον χρόνο. Αντιθέτως, ένα τέτοιο μοντέλο παρουσιάζει έντονη πολυπλοκότητα καθώς είναι αναγκαία η επιλογή και η εκτίμηση πολλών παραμέτρων, δηλαδή να αυξάνεται ο υπολογιστικός φόρτος και οι απαιτούμενοι πόροι για την εκτέλεσή του. Τέλος, παρότι μπορεί να παρέχει ακριβείς προβλέψεις, το στοχαστικό μοντέλο μπορεί να είναι δυσκολότερα ερμηνεύσιμο από το ντετερμινιστικό.

## **2.4. Βελτιστοποίηση**

Η ανάλυση συστημάτων είναι ένας επιστημονικός κλάδος με ευρύ φάσμα εφαρμογής. Στόχος της είναι η ανάδειξη του τρόπου με τον οποίο αλληλοεπιδρούν τα στοιχεία του συστήματος μεταξύ τους και με το περιβάλλον (Grigg, 1996), χωρίς ωστόσο να επιδιώκει να εξετάσει λεπτομερώς τις σχέσεις ή τις φυσικές διεργασίες που τα διέπουν.

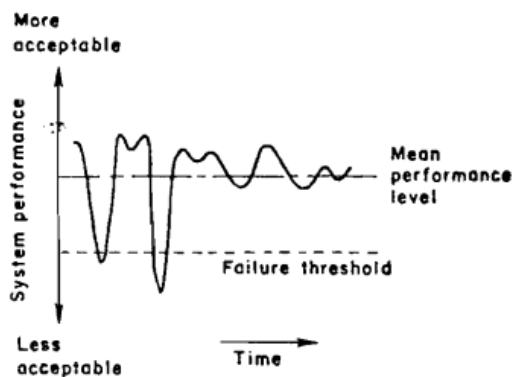
Τα μοντέλα βελτιστοποίησης μπορεί να είναι είτε ντετερμινιστικά είτε πιθανοτικά, ή ένας συνδυασμός αυτών των δύο. Μπορεί επίσης, να είναι στατικά ή δυναμικά ως προς τον χρόνο. Συχνά τα μοντέλα σχεδιασμού και διαχείρισης υδατικών πόρων είναι στατικά, αλλά περιλαμβάνουν πολλά χρονικά διαστήματα αποσκοπώντας στην απόκτηση μιας στατιστικής εικόνας των επιπτώσεων κατά την διάρκεια μιας περιόδου σχεδιασμού. Τα μοντέλα βελτιστοποίησης μπορεί να είναι γραμμικά ή μη γραμμικά. Μπορεί να αποτελούνται από συνεχείς μεταβλητές ή διακριτές ή ακέραιες μεταβλητές, ή έναν συνδυασμό αυτών. Περιγράφουν, γενικά, ένα σύστημα το οποίο έχει πολλές λύσεις και θέτοντας περιορισμούς και στόχους επιδιώκουν την εύρεση της βέλτιστης, ή ένα σύνολο βέλτιστων λύσεων. Ο καθορισμός των στόχων και των περιορισμών συχνά αποτελεί καίρια πρόκληση. Η μαθηματική περιγραφή του προβλήματος αντιστοιχεί κάθε πιθανή λύση με ένα μέτρο επίδοσης. Η διαδικασία της βελτιστοποίησης αναζητά την λύση που μεγιστοποιεί αυτό το μέτρο.

Ενώ η διαδικασία της προσομοίωσης περιγράφει ένα σύστημα με λεπτομέρεια, τις παραμέτρους και τις διεργασίες του, η βελτιστοποίηση προσδιορίζει τις βέλτιστες πολιτικές διαχείρισης υδατικών πόρων απλοποιώντας το σύστημα (γραμμικοποίηση).

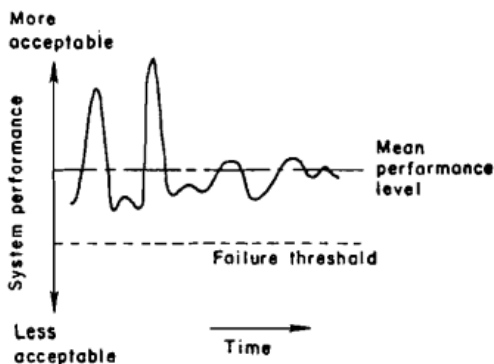
## 2.5. Κριτήρια επίδοσης

### 2.5.1. Αδρομερής έκφραση επίδοσης συστήματος

Η πολιτική του συστήματος διαχείρισης υδατικών πόρων μπορεί να χαρακτηριστεί είτε ως ικανοποιητική είτε ως μη ικανοποιητική. Η μη ικανοποιητική απόδοση του συστήματος θα χαρακτηρίζεται ως αστοχία στην παρούσα μελέτη. Μία αστοχία μπορεί να μην είναι καταστροφική αλλά η μη εκπλήρωση κάποιου στόχου. Μία σειρά από δείκτες μπορούν να αξιοποιηθούν για την περιγραφή της πιθανής απόδοσης της ορισμένες πολιτικής διαχείρισης. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι δείκτες είναι ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση της εκροής, δηλαδή η διακύμανση των τιμών σε σχέση με τον μέσο όρο. Αυτά τα στατιστικά μεγέθη παρέχουν μια αόριστη οπτική στο μέγεθος της αστοχίας ενός συστήματος.



Εικόνα 2.5.1: Απόδοση συστήματος με αστοχίες Πηγή: (T. Hashimoto, 1982))



Εικόνα 2.5.2: Απόδοση συστήματος χωρίς αστοχίες Πηγή: (T. Hashimoto, 1982)

Οι παραπάνω εικόνες (Εικόνα 2.1.1, Εικόνα 2.5.1 και Εικόνα 2.5.2) αποδεικνύουν την αδυναμία του μέσου όρου και της τυπικής απόκλισης να αποδώσουν το μέγεθος και την συχνότητα της αστοχίας. Και τα δύο γραφήματα έχουν κοινό μέσο όρο και τυπική απόκλιση επίδοσης, όμως αυτό

δεν αναγνωρίζει ότι στο γράφημα 1 η τιμή λαμβάνει δύο φορές τιμή κάτω από το αποδεκτό όριο. Για την ορθότερη ανάλυση της απόδοσης του συστήματος θα εφαρμοστούν τρία μέτρα επίδοσης, πόσο συχνά αστοχεί το σύστημα (αξιοπιστία), πόσο γρήγορα το σύστημα επιστρέφει σε μια ικανοποιητική κατάσταση μετά από μία αστοχία (ανθεκτικότητα) και πόσο σημαντικές είναι οι πιθανές συνέπειες από μία αστοχία (ευαισθησία).

### 2.5.2. Αξιοπιστία

Η αξιοπιστία (reliability) ορίζεται ως η πιθανότητα επίτευξης μιας συγκεκριμένης επίδοσης σε ένα υδατικό σύστημα για καθορισμένο χρονικό διάστημα και καθορισμένες συνθήκες (V. T. Chow, 1988).

Ορίζοντας ως  $X$  το ποσοτικό μέτρο επίδοσης του υδροσυστήματος και  $x$  η επιθυμητή τιμή στόχου, η αξιοπιστία ορίζεται ως η πιθανότητα:

$$\alpha = P(X \geq x) \tag{2.5.1}$$

Αντίστοιχα η πιθανότητα αστοχίας ορίζεται ως η συμπληρωματική πιθανότητα του  $\alpha$ :

$$\beta = 1 - P(X \geq x) = P(X < x) \tag{2.5.2}$$

Το ποσοτικό μέτρο επίδοσης  $X$  είναι συνάρτηση τυχαιών μεταβλητών του συστήματος, όπως οι εισροές και οι κατακρημνίσεις. Η πιθανότητα αστοχίας έχει την έννοια της μη εκπλήρωσης κάποιου στόχου.

Ένα σημαντικό μέγεθος για κάθε υδροσύστημα είναι η ασφαλής απώληση, η οποία εκφράζεται σε κάποιο χρονικό διάστημα. Ο όρος της ασφαλής απώλησης αναφέρεται στην ποσότητα νερού που δύναται να αποδοθεί από το σύστημα, ή αντίστοιχα την ζήτηση που ικανοποιείται για ορισμένη χρήση, όπως στην συγκεκριμένη μελέτη την παραγωγή ενέργειας, απώληση για ύδρευση και άρδευση. Ανάλογα την κρισιμότητα του συστήματος, ορίζονται διαφορετικές αποδεκτές τιμές αξιοπιστίας. Για την παρούσα μελέτη ορίστηκε η τιμή 99% για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας και την απόδοση της υδρευτικής ζήτησης και 80% για την άρδευση.

Υπό ορισμένες συνθήκες η εκτίμηση της αξιοπιστίας ενός συστήματος δύναται να πραγματοποιηθεί με άμεσες μεθόδους, δηλαδή με την στατιστική ανάλυση των ιστορικών χρονοσειρών απόκρισής του (Γ. Καραβοκυρός, 2004). Σε σύνθετα συστήματα όπου



πραγματοποιούνται πολύπλοκες διεργασίες αποθήκευσης και μεταφοράς όγκου νερού ο υπολογισμός της αξιοπιστίας κάλυψης της ζήτησης πραγματοποιείται εμπειρικά, από ένα επαρκώς μεγάλο δείγμα εκροών.

Βάση των παραπάνω, είναι σαφές ότι είναι αναγκαία η εξαγωγή της χρονοσειράς απόκρισης του υδросυστήματος  $X(t)$  για την περίοδο μελέτης. Η συχνότητα ικανοποίησης του στόχου που ορίστηκε αποτελεί το επίπεδο αξιοπιστίας του συστήματος. Αναγκαία είναι η χρήση επαρκούς μήκους χρονοσειρών απόκρισης ώστε το σφάλμα εκτίμησης να είναι μικρό. Έτσι, η πιθανότητα αστοχίας του συστήματος υπολογίζεται με τον τύπο:

$$\alpha = \frac{n'}{n}$$

(2.5.3)

όπου  $n'$  το πλήθος των βημάτων (ετών) κατά τα οποία δεν επιτεύχθηκε η τιμή του στόχου και  $n$  το σύνολο των προσομοιωμένων βημάτων.

Στην παρούσα μελέτη ο όρος της αξιοπιστίας χρησιμοποιείται αναφορικά με τους μηνιαίους στόχους παραγωγής ενέργειας, αρδευτικής και υδρευτικής απόληψης. Ο όρος αυτός είναι άμεσα συνδεδεμένος με τους όρους της πρωτεύουσας και δευτερεύουσας ενέργειας.

### 2.5.3. Ανθεκτικότητα

Η ανθεκτικότητα περιγράφει πόσο γρήγορα μπορεί ένα σύστημα να ανακάμψει μετά από μία πιθανή αστοχία (T. Hashimoto, 1982). Δηλαδή, μπορεί να επιγραφθεί ως η συμπληρωματική πιθανότητα εάν το σύστημα αστοχήσει σε ένα βήμα, το επόμενο βήμα να αστοχήσει και αυτό. Αναφέρεται, δηλαδή στην ικανότητα ενός συστήματος να επιστρέψει στην κανονική του λειτουργία μετά από μια αστοχία. Η ανθεκτικότητα του συστήματος υπολογίζεται βάση του τύπου:

$$\text{Ανθεκτικότητα} = 1 - \frac{\#times(X_{Y,i} \leq D_{Y,i} \ \& \ X_{Y,i-1} \leq D_{Y,i-1})}{\#steps \ X_Y \leq D_Y}$$

(2.5.4)

Όπου  $\#times \ X_{Y,i} \leq D_{Y,i}$  ο αριθμός των βημάτων όπου το σύστημα είχε επανειλημμένη αστοχία. Όσο υψηλότερη είναι η ανθεκτικότητα ενός συστήματος, τόσο πιο ικανό είναι το σύστημα να αντιμετωπίζει αποτυχίες και να επιτυγχάνει τους στόχους. Το κριτήριο επίδοσης αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό καθώς ένα σύστημα εκτός από υψηλή αξιοπιστία πρέπει να έχει και υψηλή ανθεκτικότητα, αφού σε περίπτωση που μία αστοχία οδηγεί το σύστημα να αστοχεί

επανελημμένα, καθιστά την διαχειριστική πολιτική του ακατάλληλη, ακόμα και αν η αξιοπιστία είναι επαρκής.

#### 2.5.4. Ευαισθησία

Η ευαισθησία αναφέρεται στο πιθανό αθροιστικό μέγεθος των αστοχιών ενός συστήματος στην διάρκεια λειτουργίας του, εάν υπάρξουν αυτές (T. Hashimoto, 1982). Ακόμη και με χαμηλή πιθανότητα αστοχίας του συστήματος η διαχειριστική πολιτική οφείλει να λαμβάνει υπόψιν τις συνέπειες της και του μεγέθους της. Δεν θεωρείται πιθανό ένα σύστημα να έχει 100% αξιοπιστία και η επίτευξη αυτού μπορεί να είναι μη οικονομικά βιώσιμη. Εύλογος είναι ο σχεδιασμός ενός συστήματος με στόχο την ελαχιστοποίηση των συνεπειών της αστοχίας παρά την εξάλειψή της πιθανότητας αστοχίας. Σημαντικό είναι να σημειωθεί ότι οι προσπάθειες για την μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας και της αξιοπιστίας είναι πιθανό να καταστήσουν το σύστημα αρκετά πιο ευάλωτο σε μεγαλύτερου μεγέθους αστοχίες. Συνεπώς, η ευαισθησία είναι μία σημαντική παράμετρος για τον ορθό καθορισμό των στόχων και των ζητήσεων.

Η ευαισθησία του συστήματος υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\text{Ευαισθησία} = \frac{\sum_{t=1}^n D_Y - X_Y}{\#\text{steps } X_Y \leq D_Y}$$

(2.5.5)

#### 2.6. Πρωτεύουσα και δευτερεύουσα ενέργεια

Ως πρωτεύουσα ενέργεια ορίζεται η ποσότητα ενέργειας που μπορεί να παραχθεί από το σύστημα χωρίς διακοπή ή με πολύ μικρή διακοπή για το σύνολο της περιόδου λειτουργίας του (Mays W. L., 1992). Ως δευτερεύουσα ενέργεια ορίζεται η πλεονάζουσα παραγόμενη ενέργεια που δεν εμπίπτει στον παραπάνω ορισμό. Αυτή είναι χαμηλής αξίας καθώς δεν αποδίδεται εγγυημένα στο σύστημα και δύναται να παραχθεί μόνο κατά τις περιόδους υψηλών εισροών.

Συνεπώς, η πρωτεύουσα ενέργεια εξαρτάται από διάφορους παράγοντες:

- Υδρολογικές συνθήκες: οι εισροές στο σύστημα κατά την διάρκεια της λειτουργίας του και οι προβλέψεις είναι κρίσιμος παράγοντας.

- Χωρητικότητα και δυναμικότητα του συστήματος: η χωρητικότητα των ταμιευτήρων και η δυναμικότητα των υδροηλεκτρικών σταθμών καθορίζουν το ύψος της ενέργειας που μπορεί να παραχθεί
- Αποδεκτό επίπεδο διακινδύνευσης: από το επίπεδο, δηλαδή, αξιοπιστίας που θα επιλεγθεί βάση της διαχειριστικής πολιτικής ως κατώτατο όριο.

Είναι εμφανές ότι η πρωτεύουσα ενέργεια συνδέεται άμεσα με ένα συγκεκριμένο επίπεδο αξιοπιστίας, το οποίο ορίζεται από την διαχειριστική πολιτική και καθορίζει ποιο είναι το αποδεκτό ποσοστό του χρόνου, τα χρονικά βήματα, όπου μπορεί να μην αποδίδεται η ζητούμενη ενέργεια στο σύστημα. Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, το μέτρο επίδοσης  $x^*$  μπορεί να οριστεί ως η πρωτεύουσα ενέργεια του συστήματος για δεδομένη αξιοπιστία  $a^*$ . Στην μελέτη αυτή, η πρωτεύουσα και δευτερεύουσα ενέργεια αφορούν μηνιαίο χρονικό βήμα.

### **2.6.1. Ενέργεια βάσης και ενέργεια αιχμής**

Ενέργεια βάσης ορίζεται η ενέργεια η οποία παράγεται συνέχεια από το σύστημα και αποτελεί την ζήτηση. Ενέργεια αιχμής ορίζεται η ενέργεια που ζητείται κατά τις ώρες υψηλής κατανάλωσης ρεύματος, όπως τις ημέρες αιχμής κατά την θερινή περίοδο. Η ενέργεια βάσης στην Ελλάδα καλύπτεται από τις θερμοηλεκτρικές μονάδες παραγωγής και τις μονάδες φυσικού αερίου, οι οποίες λειτουργούν συνεχώς. Ως εκ τούτου, όλα τα υδροηλεκτρικά έργα μελετώνται ως έργα αιχμής και η παραγόμενη ενέργεια θεωρείται ότι ζητείται να καλύψει τις ζητήσεις αιχμής.

## **2.7. Σύστημα άντλησης - ταμίευσης**

Ένα σύστημα αντλησιοταμίευσης αποτελείται από δύο ταμιευτήρες, οι οποίοι μεταξύ τους έχουν σημαντική υψομετρική διαφορά, κάποιον αριθμό υδροστροβίλων και των αντίστοιχων γεννητριών για την παραγωγή ενέργειας και κάποιον αριθμό αντλιών. Κατά την διάρκεια των νυχτερινών ορών, όπου η ζήτηση ενέργειας είναι χαμηλότερη, ένα μέρος ή ολόκληρη η ποσότητα του νερού που αξιοποιήθηκε για την παραγωγή ενέργειας αντλείται από τον κατάντη ταμιευτήρα. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η ποσότητα ενέργειας που παράγεται από τα υδροηλεκτρικά έργα χαρακτηρίζεται από έντονη διακύμανση, τόσο σε ημερήσια βάση, όσο και σε εποχική κλίμακα, λόγω της μεταβλητότητας του διαθέσιμου όγκου νερού. Τα συστήματα αντλησιοταμίευσης αποτελούν την πιο αξιόπιστη μέθοδο αποθήκευσης ενέργειας, καθώς παρέχουν σε σταθερή βάση

εγγυημένη ισχύ, χωρίς να καταναλώνεται αλλά να ανακυκλώνεται το νερό. Τα έργα αυτά χαρακτηρίζονται ως αποθήκες ανανεώσιμης ενέργειας και ως φυσικές μπαταρίες.

Η λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος παρουσιάζει ορισμένα πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα για την διαχείριση των ενεργειακών συστημάτων, ορισμένα από τα οποία είναι τα εξής:

1. Χρήση αιολικής ή ηλιακής ενέργειας για την άντληση από τον κατάντη ταμιευτήρα, καθώς αυτές οι μορφές ενέργειας χαρακτηρίζονται από έντονη διακύμανση και δεν εντάσσονται εύκολα στο σύστημα εξολοκλήρου.
2. Δυνατότητα άντλησης κατά τις νυχτερινές ώρες, όπου παρουσιάζεται περίσσεια ενέργεια από την συνεχή λειτουργία των θερμοηλεκτρικών σταθμών. Εκ τούτου αξιοποιείται η πλεονάζουσα ενέργεια και αποδίδεται στο σύστημα πρωτεύουσα ενέργεια τις ώρες αιχμής.

Κύριο ζήτημα των συστημάτων αυτών είναι ο γεωγραφικός περιορισμός, καθώς είναι δύσκολη η εύρεση τοπογραφικά κατάλληλων σημείων, με ικανοποιητική αποθηκευτική ικανότητα και υψομετρική διαφορά για την παραγωγή ενέργειας.

### **3. Το υδροσύστημα Αχελώου – Θεσσαλίας**

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η περιοχής μελέτης και αναδεικνύονται τα κύρια χαρακτηριστικά της αλλά επισημαίνονται και τα προβλήματα που αντιμετωπίζει. Περιγράφονται οι επιμέρους λεκάνες απορροής, τα υφιστάμενα και υπό μελέτη έργα. Παρουσιάζονται τα κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά των έργων και πραγματοποιείται μία σύντομη ανασκόπηση της ιστορικής πορείας των αποφάσεων της πολιτείας και των φορέων που αφορούν αυτά.

#### **3.1. Η περιοχή του Αχελώου**

Ο ποταμός Αχελώος είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος ποταμός της Ελλάδος και ο πλουσιότερος που εκτείνεται εξ ολοκλήρου στην χώρα. Πηγάζει από το όρος Λάκμος της Πίνδου στον νομό Τρικάλων, κοντά στο Μέτσοβο και διατρέχοντας σχεδόν όλη την Δυτική Ελλάδα κατά μήκος της οροσειράς της Πίνδου διασχίζει τους νομούς Άρτας, Ευρυτανίας και Αιτωλοακαρνανίας, με συνολικό μήκος 220 km, και εκβάλλει στο Ιόνιο Πέλαγος. Στις εκβολές του Αχελώου σχηματίζεται ένα εκτεταμένο δέλτα καθώς και οι νήσοι Εχινάδες (ECOFLOW, 2019).

Διακρίνονται τρεις κύριοι κλάδοι του Αχελώου. Ο Άνω Αχελώος, που περιλαμβάνει τον υδροκρίτη αυτού καθ' εαυτού ανάντη του ΥΗΣ Κρεμαστών, εξαιρουμένων των ανατολικών παραποτάμων του. Ο Κάτω Αχελώος, που περιλαμβάνει το τμήμα του ποταμού από το ΥΗΣ Καστρακίου μέχρι το επίπεδο της θάλασσας. Ο Ανατολικός Αχελώος που περιλαμβάνει τον υδροκρίτη των ανατολικών παραποτάμων μέχρι τον κύριο κάδο ανάντη του ΥΗΣ Κρεμαστών και ειδικότερα τις λεκάνες των παραποτάμων Αγραφιώτη, Ταυρωπού και Τρικεριώτη.

Η αξιοποίηση των υδατικών πόρων του Κάτω ρου του Αχελώου για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας ξεκίνησε την δεκαετία του 1960, με την κατασκευή του φράγματος των Κρεμαστών (437,2 MW) και του Καστρακίου (320 MW) ανάντη του πρώτου. Τα δύο αυτά έργα ολοκληρώθηκαν και ξεκίνησαν την λειτουργία τους το 1966 και 1969 αντίστοιχα. Αργότερα κατασκευάστηκε κατάντη του Καστρακίου το φράγμα Στράτου I (2 X 75 MW) και ένα μικρό υδροηλεκτρικό έργο Στράτου II (2 X 3 MW) και εντάχθηκαν στο σύστημα το 1989. Στον Ανατολικό Αχελώο κατασκευάστηκε ο ταμιευτήρας πολλαπλού σκοπού, τόσο για παραγωγή υδροηλεκτρική ενέργειας όσο και για άρδευση, Ταυρωπού/Πλαστήρα (130 MW) και ολοκληρώθηκε το 1959.

Στον Άνω Αχελώο βρίσκονται τρία κύρια έργα, το ΥΗΕ Μεσοχώρας, ΥΗΕ Συκιάς και την σήραγγα εκτροπής Πευκοφύτου, όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 3.1.1. Το ΥΗΕ Μεσοχώρας βρίσκεται στο Βορειοδυτικό άκρο της Θεσσαλίας και αποτελεί την πρώτη βαθμίδα αξιοποίησής του. Το έργο περιλαμβάνει λιθόρριπτο με ανάντη πλάκα σκυροδέματος φράγμα στην θέση Μεσοχώρα και σήραγγα προσαγωγής 7.4 χιλιομέτρων για την μεταφορά του νερού και τον σταθμό παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας στην θέση Γλύστρα. Η εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος είναι 161.6 MW (δύο κύριες μονάδες των 80 MW η κάθε μία και μία μικρότερη των 1.6 MW) και η ετήσια παραγόμενη ενέργεια υπολογίζεται στις 384 GWh. Η κατασκευή του έργου ξεκίνησε το 1986 και ολοκληρώθηκε, ύστερα από διαρκεί καθυστερήσεις, το 2001. Έκτοτε δεν έχει γίνει εκκίνηση λειτουργίας, ενώ το συνολικό επενδυμένο κεφάλαιο υπολογίζεται στα 400 εκατομμύρια ευρώ, υπό σημερινούς όρους, και η ετήσιες απώλειες ανέρχονται στα 45 εκατομμύρια ευρώ. Το ΥΗΕ Μεσοχώρας – Γλύστρας, λόγω της αρχικής του σύνδεσης με τα έργα εκτροπής του Αχελώου στην Θεσσαλία, ενεπλάκη σε διάφορες προσφυγές, καθιστώντας το αδρανές ακόμα και μετά το πέρας των εργασιών, παρότι στην πραγματικότητα είναι εντελώς ανεξάρτητο. Το ΥΗΕ Συκιάς βρίσκεται στα όρια των περιφερειών Θεσσαλίας και Ηπείρου στην θέση Συκιάς. Το έργο, όπως αρχικώς μελετήθηκε, περιλαμβάνει χωμάτινο φράγμα με αργλικό πυρήνα και μονάδα παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας ισχύς 123 MW (2 X 61.5 MW) και η ετήσια εκτιμώμενη παραγόμενη ενέργεια ανέρχεται στις 154 GWh. Το έργο είναι ημιτελές και έχει ολοκληρωθεί κατά το 65% και έχει εμπλακεί και αυτό στις προσφυγές κατά την διάρκεια της εκπόνησης της εκτροπής του Αχελώου (Συνοπτική περιγραφή έργων Άνω Αχελώου, 2015).



Εικόνα 3.1.1: Χάρτης έργων Άνω Αχελώου Πηγή: (ΥΠΕΘΕ)

### 3.2. Η περιοχή της Θεσσαλίας

Το γεωγραφικό διαμέρισμα Θεσσαλίας αποτελεί το ανατολικό τμήμα του ηπειρωτικού κορμού της χώρας και έχει έκταση 14.037 km<sup>2</sup> που αντιστοιχεί στο 10.6% της συνολικής έκτασης της χώρας. Περιλαμβάνει τις περιφερειακές ενότητες: Λαρίσης, Μαγνησίας, Τρικάλων, Καρδίτσας και Σποράδων με συνολικό πληθυσμό 687.527 κατοίκους. Η περιφέρεια Θεσσαλίας οροθετείται από ορεινές περιοχές αλλά και τη θάλασσα οι οποίες αποτελούν και τα φυσικά όρια με τις υπόλοιπες περιφέρειες ενώ στο κεντρικό τμήμα της συναντώνται κυρίως πεδινές περιοχές. Πιο συγκεκριμένα, το 37% είναι πεδινό, 17% ημιορεινό και το 46% ορεινό. Το κλίμα χωρίζεται ουσιαστικά σε 3 ζώνες με βάση τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά. Οι ανατολικές ορεινές και παράκτιες περιοχές χαρακτηρίζονται από ξηρά καλοκαίρια και ήπιους χειμώνες, οι πεδινές περιοχές εξαιτίας των οροσειρών που τις περικλείουν έχουν ηπιότερο κλίμα με θερμά καλοκαίρια και ψυχρούς χειμώνες ενώ οι δυτικές ορεινές περιοχές χαρακτηρίζονται από πολλές χιονοπτώσεις

και υψηλό βροχομετρικό δείκτη. Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 16° - 17°C (Κ/ΕΙΑ Γ. ΚΑΡΑΒΟΚΥΡΗΣ & ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ ΣΥΜΒ. ΜΗΧΑΝ. Α.Ε., 2017).

Το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας χωρίζεται στις υδρολογικές λεκάνες του Πηνειού, της Κάρλας και του Αλμυρού.

Η περιοχή της Θεσσαλίας αποτελεί μία από τις κυριότερες αγροτικές εκτάσεις της χώρας, όπως αποδεικνύεται από την Εικόνα 3.2.11. Το 36% του γεωγραφικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας καταλαμβάνεται από καλλιεργήσιμες εκτάσεις γης οι οποίες πλαισιώνουν το μεγαλύτερο κάμπο της χώρας. Για αυτόν το λόγο, το μεγαλύτερο ποσοστό της χρήσης νερού αξιοποιείται για κάλυψη αρδευτικών αναγκών.

<b>Αστική (Χ10<sup>6</sup>) m<sup>3</sup></b>	<b>Αγροτική (Χ10<sup>6</sup>) m<sup>3</sup></b>	<b>Βιομηχανική (Χ10<sup>6</sup>) m<sup>3</sup></b>	<b>Ενεργειακή (Χ10<sup>6</sup>) m<sup>3</sup></b>	<b>Σύνολο (Χ10<sup>6</sup>) m<sup>3</sup></b>
54	1581	7	9	1651
Αστική %	Αγροτική %	Βιομηχανική %	Ενεργειακή %	Σύνολο %
3.3	95.8	0.4	0.5	100

Εικόνα 3.2.1: Κατανομή χρήσεων νερού στην Θεσσαλία Πηγή: (Μπαλάς, 2017-2018)

Ειδικότερα, το Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας έχει τη μεγαλύτερη αθροιστική (19%) και επιμέρους αρδευτική (23%) και κτηνοτροφική (11%) ζήτηση νερού από όλα τα άλλα υδατικά διαμερίσματα της χώρας. Ως περιοχή της ανατολικής Ελλάδας, έχει μικρό υδατικό δυναμικό σε σχέση με τις απαιτήσεις νερού που καλείται να καλύψει, με σημαντικότερες λεκάνες απορροή αυτές του Πηνειού ποταμού και των παραποτάμων, όπως πιστοποιείται και από μελέτες (Λαζαρίδης, 2010). Για τον λόγω αυτόν πραγματοποιήθηκαν έργα, όπως τα φράγματα (Ταυρωπού, Σμοκόβου, Πηνειού) και αργότερα γεωτρήσεις, οι οποίες χρησιμοποιούνται κυρίως τη θερινή περίοδο. Πιο συγκεκριμένα, στη Θεσσαλία υπάρχουν 962 κρατικές και 12.900 ιδιωτικές γεωτρήσεις.

Κατά την αρχική περίοδο της αγροτικής ανάπτυξης της περιοχής (1920 – 1960), αποξηράθηκαν λίμνες για τη δημιουργία νέων καλλιεργήσιμων εκτάσεων και την εξάλειψη ασθενειών. Αποτέλεσμα αυτού είναι η μείωση των επιφανειακών διαθέσιμων υδάτινων πόρων, οι οποίοι θα μπορούσαν να συνεισφέρουν επιπλέον στην κάλυψη αρδευτικών αναγκών και στον εμπλουτισμό των υπογείων υδάτων.



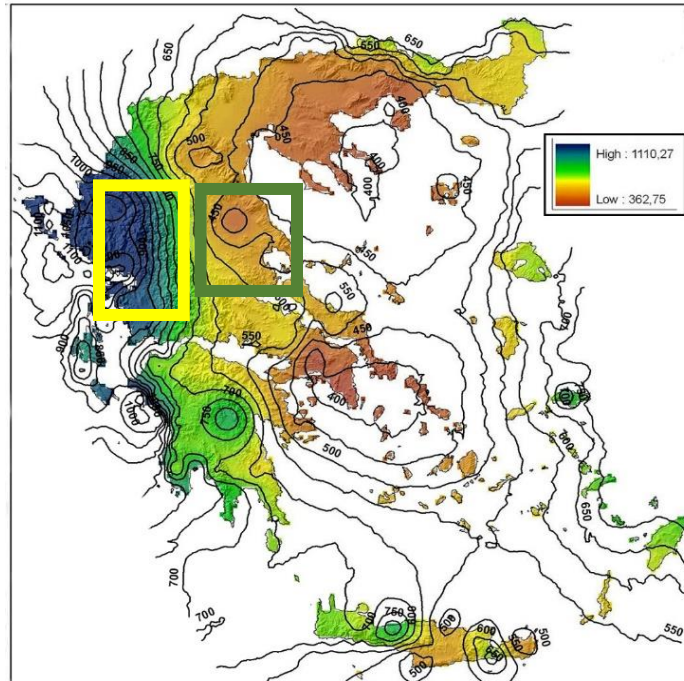
Από την δεκαετία του 1980 παρατηρήθηκε αύξηση στην ζήτηση νερού για αρδευτικές ανάγκες, η οποία καλύφθηκε με την εκτεταμένη χρήση γεωτρήσεων, η οποία πραγματοποιείται μέχρι και σήμερα συνεχίζοντας να υποβαθμίζει τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Την ίδια περίοδο μελετήθηκε και η μεταφορά – εκτροπή νερού από το υδατικό διαμέρισμα Ηπείρου σε εκείνο της Θεσσαλίας, καθώς το πρώτο έχει πολύ μεγαλύτερα αποθέματα υδάτινων πόρων και πολύ μικρότερες ζήτησεις κάλυψης. Τα έργα αυτά περιλαμβάνουν την κατασκευή μιας σειράς φραγμάτων Μεσοχώρα - Συκιάς από την οποία μέσω σήραγγας εκτροπής θα μεταφερόταν νερόν στις περιοχές του Μουζακίου και της Πύλης. Επιπρόσθετα, με τη δημιουργία των ταμιευτήρων Πύλης και Μουζακίου αλλά και των τεχνητών λιμνών Παλαιοκαρυάς και Φήκης θα επιτυγχανόταν η αναπλήρωση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα.

Το έργο εκτροπής του Αχελώου, μετά από πολυετείς ακυρωτικές αποφάσεις του Συμβουλίου της Επικρατείας, καθώς και της Ευρωπαϊκής νομοθεσίας, περί απαγόρευσης μεταφοράς νερού από ένα υδατικό διαμέρισμα σε άλλο, εν τέλει εγκαταλείφθηκε. Στα σημαντικά προβλήματα ελλείματος υδάτινων πόρων, προστίθεται και η πολιτική αγροτικής ανάπτυξης που ακολουθήθηκε για αρκετά χρόνια, λόγω επιδοτήσεων από την Ε.Ε για την καλλιέργεια ιδιαίτερα υδροβόρων φυτειών. Επιπλέον, η κατάσταση δυσχεραίνεται και από την χρήση αναχρονιστικών μέσων άρδευσης. Τα φράγματα, που προαναφέρθηκαν, κατασκευάστηκαν ως έργα πολλαπλού σκοπού. Ένας από τους κυριότερους λόγους, ήταν και η χρήση τους για κάλυψη αρδευτικών αναγκών. Παρόλα αυτά, οι ποσότητες νερού που παρέχουν δεν επαρκούν. Μία προσπάθεια περιορισμού των παραπάνω προβλημάτων ξεκίνησε το 2010 με την ανασύσταση της λίμνης Κάρλας, που ολοκληρώθηκε το 2018. Το έργο αυτό όταν ολοκληρωθούν και τα συνοδά έργα θα συνεισφέρει στην ενίσχυση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα καθώς και στην παροχή νερού τόσο για την ύδρευση της περιοχή του Βόλου, όσο και για την κάλυψη αρδευτικών αναγκών των γύρω περιοχών.

### **3.3. Η Εκτροπή του Αχελώου – Το υδροσύστημα Αχελώου – Θεσσαλίας**

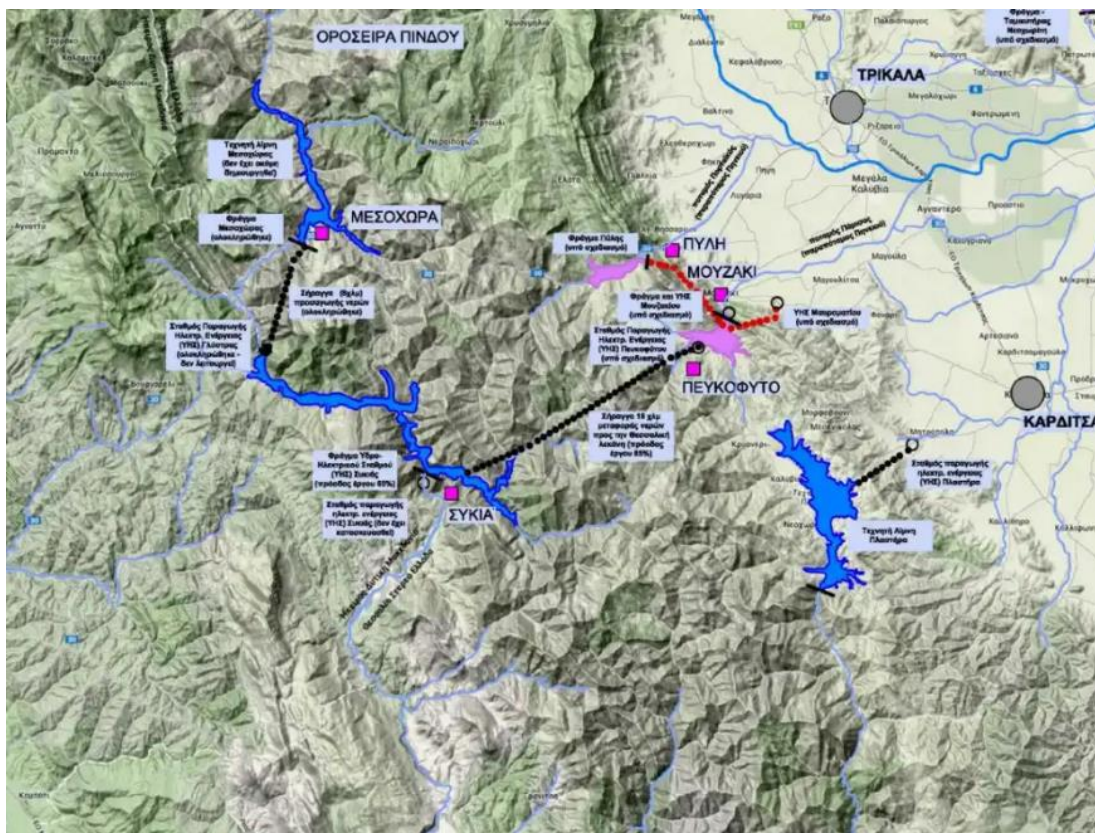
Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο το υδατικό δυναμικό της περιοχής του Αχελώου, και της γενικότερης υδατικής περιφέρειας Ηπείρου, είναι σημαντικά μεγαλύτερο από αυτό της Θεσσαλίας. Η ανομοιογένεια στην κατανομή των βροχοπτώσεων, για την οποία ευθύνεται κατά κύριο λόγο η τοπογραφία της περιοχής, δηλαδή η οροσειρά της Πίνδου δρα ως

έναν μεγάλο υδροκρίτη, δημιουργεί ανεπάρκεια νερού στην ανατολική Ελλάδα και μεγάλα πλεονάσματα στην δυτική. Το παραπάνω γεγονός αποδεικνύεται και από την εικόνα Εικόνα 3.3.1: Μέσο ύψος βροχόπτωσης Ελλάδας Πηγή:.



Εικόνα 3.3.1: Μέσο ύψος βροχόπτωσης Ελλάδας Πηγή: (geogreece, n.d.)

Το μακροχρόνιο ζήτημα αυτό, οδήγησε στην μελέτη και την κατασκευή της σήραγγας εκτροπής του Αχελώου προς την Θεσσαλία. Η εκτροπή του Αχελώου μελετήθηκε αρχικά για 1200 hm<sup>3</sup> και ύστερα από την Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Γ. Βαβίζος, Κ. Ζαννακάκη, Δ. Ζαφειροπούλου & ΣΙΑ Α.Ε., Βακάκης και Συνεργάτες Ε.Π.Ε, Υδροεξυγιαντική Λ.Σ. Λαζαρίδης, 1995) 600 hm<sup>3</sup> νερού τα οποία θα κάλυπταν τις απαιτήσεις υδατικών πόρων της περιοχής. Το έργο περιλάμβανε την κατασκευή μίας σειράς από ταμιευτήρες στον Άνω ρου του Αχελώου και στην δυτική Θεσσαλία. Στην Εικόνα 3.3.2 παρουσιάζονται τα κύρια μέρη του έργου αυτού, ο ταμιευτήρας της Μεσοχώρας, ο ταμιευτήρας της Συκιάς, η σήραγγα εκτροπής Πευκοφύτου, ο ταμιευτήρας Μουζακίου, ο ταμιευτήρας Πύλης και η συνδετήρια σήραγγα Πύλης – Μουζακίου. Στο επόμενο κεφάλαιο θα παρουσιαστεί ένα σύντομο χρονικό που αφορά τις αποφάσεις και την κατασκευή των έργων ταμίευσης και εκτροπής.



Εικόνα 3.3.2: Έργα Άνω Αχελώου και Δυτικής Θεσσαλίας Πηγή : (ΥΠΕΘΕ)

### 3.4. Το έργο εκτροπής

#### 3.4.1. Κοινωνικές αντιδράσεις

Το έργο της εκτροπής του Αχελώου δημιούργησε έντονες ανησυχίες και διαφωνίες τόσο σε περιβαλλοντικό όσο και σε κοινωνικό επίπεδο. Οι κοινωνικές αντιδράσεις των δύο περιφερειών που επηρεάζονται άμεσα από το έργο αυτό παρουσιάζουν ενδιαφέρον. Οι κάτοικοι της δυτικής Ελλάδος διατυπώνουν σθεναρές αντιρρήσεις έναντι του έργου εκτροπής, υπογραμμίζοντας τις πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που θα είχε στο περιβάλλον ως ανασταλτικό παράγοντα. Αντιθέτως, οι κάτοικοι της Θεσσαλίας εκφράζουν την αναγκαιότητα και την σημασία της εκτροπής ποσότητας νερού από τον Αχελώο, ικανή να καλύψει την ετήσια ζήτηση για την άρδευση, προβάλλοντας από την δική τους πλευρά τις καταστροφικές συνέπειες της υπεράντλησης και του κατακερματισμού του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα (Στεφανάκος, 2014).

Τα επιχειρήματα των πολέμιων της εκτροπής βασίζονται στις πιθανές αρνητικές επιπτώσεις που θα ακολουθούσαν την εκτροπή μέρος των υδάτων του Αχελώου, δίχως όμως να υπάρχει κάποια

μελέτη που να υποδεικνύει κάτι τέτοιο. Εν αντιθέσει, έχει πραγματοποιηθεί επαρκές πλήθος μελετών περιβαλλοντικών επιπτώσεων που υποδεικνύουν το αντίθετο.

### **3.4.2. Σχετικές μελέτες και αποτελέσματα**

Σε συνολική μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων που πραγματοποιήθηκε το 1995 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αναμενόμενα θετικά και αρνητικά αποτελέσματα των επιπτώσεων (Γ. Βαβίζος, Κ. Ζαννακάκη, Δ. Ζαφειροπούλου & ΣΙΑ Α.Ε., Βακάκης και Συνεργάτες Ε.Π.Ε, Υδροεξυγιαντική Α.Σ. Λαζαρίδης, 1995). Ορισμένες αρνητικές επιπτώσεις:

- Μη αναστρέψιμη κατάκλιση πολιτιστικών μνημείων στην περιοχή της Συκιάς, την μερική κατάκλιση του οικισμού της Μεσοχώρας
- Μερικώς αναστρέψιμες επιπτώσεις στην πανίδα και χλωρίδα του Νομού Πίνδου
- Αποδιάρθρωση μέρους του οδικού δικτύου στις θέσεις έργων
- Περιορισμένη μη αναστρέψιμη μείωση της ποσότητας των υπογείων υδάτων του Κάτω ρου του Αχελώου
- Περιορισμένη μερικώς αναστρέψιμη υποβάθμιση της ποιότητας του υπόγειου υδροφορέα του Κάτω ρου του Αχελώου
- Ορισμένες περιπτώσεις διάβρωσης εδαφών στον Νομό Πίνδου

Σε αντίθεση παρουσιάζονται ορισμένες θετικές επιπτώσεις:

- Σημαντική ποσοτική αύξηση και ποιοτική βελτίωση των επιφανειακών υδάτων της Θεσσαλίας
- Σημαντική ποσοτική αύξηση των υπογείων υδάτων της Θεσσαλίας, καθώς θα γίνει εφικτή η ανάπλαση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα
- Σημαντικές βελτιώσεις στην πανίδα και χλωρίδα του ποταμού Πηνειού
- Δημιουργία τεχνητών λιμνών, οικοσυστημάτων και μέσων αναψυχής
- Βελτίωση χρήσεων γης στην Θεσσαλία
- Αύξηση της παραγωγικής ικανότητας της Θεσσαλίας, που θα επιφέρει οικονομική και δημογραφική ανάπτυξη στην περιφέρεια

### **3.5. Τεχνικά χαρακτηριστικά έργων εκτροπή Αχελώου βάση τεχνικής αναφοράς ΔΕΗ 1987**

Παρακάτω παρατίθενται τα χαρακτηριστικά των τεχνικών έργων εκτροπής του Αχελώου, όπως παρουσιάζονται στις αναφορές της ΔΕΗ (ΔΕΗ, 1987).

- Φράγμα Μεσοχώρας

Η λειτουργία του φράγματος Μεσοχώρας μπορεί να πραγματοποιηθεί χωρίς την άμεση λειτουργία της εκτροπής του Αχελώου προς την Θεσσαλία. Το αντίστροφο δεν ισχύει, για την λειτουργία της εκτροπής είναι αναγκαία η λειτουργία του ταμιευτήρα της Μεσοχώρας. Το φράγμα είναι λιθόρριπτο με ανάντη πλάκα σκυροδέματος και παρουσιάζει τα παρακάτω τεχνικά χαρακτηριστικά:

Ονομαστική στέψη 775 m

Ύψος φράγματος (από κοίτη) 135 m

Μήκος στέψης 673 m

Μέγιστο ύψος από θεμελίωση 150 m

Ολικός όγκος φράγματος 4.000 hm<sup>3</sup>

Έκταση ταμιευτήρα 12.8 km<sup>2</sup>

Ωφέλιμος όγκος ταμιευτήρα 228 (385) hm<sup>3</sup>

Κόστος έργου (Σήραγγας και ΥΗΣ) 70 δισεκατομμύρια δραχμές

Σύμφωνα με μελέτη της ΔΕΗ το 2012 οι επικαιροποιημένες δαπάνες για το έργο ανέρχονται στα 665 εκατομμύρια ευρώ (ΔΕΗ Υ. , 2013).

- ΥΗΣ Μεσοχώρας

Ο ΥΗΣ βρίσκεται στην Γλύστρα και το νερό μεταφέρεται μέσω σήραγγας μήκους 7.5 km και διαμέτρου 5 m και αγωγού πτώσης Penstock μήκους 0.9 km και διαμέτρου 4.3 m. Ο σταθμός έχει δύο μονάδες τύπου Francis κατακόρυφου άξονα. Ορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά είναι τα εξής:

Εγκατεστημένη ισχύς 160 MW

Μέγιστο καθαρό ύψος πτώσης 225 m

Μέγιστη παροχή 2 x 45 m<sup>3</sup>/s

- Φράγμα Συκιάς

Το φράγμα Συκιάς ξεκίνησε να κατασκευάζεται στο σημείο συμβολής του ποταμού Αχελώου και του ποταμού Κουμπουργιανίτικο. Το φράγμα είναι χωμάτινο από αμμοχάλικα της κοίτης και αργιλικό πυρήνα. Το φράγμα είναι ημιτελές, έχει κατασκευαστεί περίπου το 65% του όγκου του, ενώ έχει ολοκληρωθεί και ο υπερχειλιστής. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φράγματος, όπως είχε μελετηθεί είναι τα εξής:

Ονομαστική στέψη 550 m

Ύψος φράγματος (από κοίτη) 150 m

Μήκος στέψης 397 m

Πλάτος στέψης 12 m

Ολικός όγκος φράγματος 12.4 hm<sup>3</sup>

Έκταση ταμιευτήρα 12.8 km<sup>2</sup>

Ωφέλιμος όγκος ταμιευτήρα 502 hm<sup>3</sup>

Προϋπολογισμός έργου 30 δισεκατομμύρια δραχμές

Σύμφωνα με μελέτη του ΥΠΕΧΩΔΕ – ΔΕΗ έχουν πραγματοποιηθεί εργασίες ύψους 252 εκατομμυρίων ευρώ, ενώ υπολείπονται εργασίες ύψους 150 εκατομμυρίων ευρώ (ΔΕΗ Υ. , 2013).

- ΥΗΣ Συκιάς

Ο ΥΗΣ Συκιάς θα βρίσκεται 1 km κατάντη του φράγματος, όπου θα μεταφέρεται το νερό μέσω αγωγού προσαγωγής διαμέτρου 4.5 m. Ο σταθμός θα είναι ημιυπαίθριος με δύο μονάδες παραγωγής τύπου Francis κατακόρυφου άξονα. Ορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά είναι τα εξής:

Εγκατεστημένη ισχύς 123 MW

Ακαθάριστο ύψος πτώσης 150 m

Μέγιστο καθαρό ύψος πτώσης 147 m

Μέγιστη παροχή 2 x 52 m<sup>3</sup>/s

- Σήραγγα εκτροπής Άνω ρου Αχελώου προς Θεσσαλία

Η σήραγγα βρίσκεται στον νομό Καρδίτσας και έχει μήκος 17.315 m. Η υδροληψία βρίσκεται στον ταμιευτήρα Συκιάς και η έξοδος της σήραγγας στην περιοχή Δρακότρυπα. Ο σταθμός παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας βρίσκεται στο Πευκόφυτο. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της σήραγγας εκτροπής είναι τα εξής:

Ολικό μήκος 17.315 m

Εσωτερική διάμετρος 6.00 m

Επένδυση από σκυρόδεμα ελαχίστου πάχους 0.35 m

Υψόμετρο υδροληψίας + 470 m

Υψόμετρο εξόδου + 435.5 m

Κατά μήκος κλίση, στο πρώτο τμήμα (4.465 m) 0.000716

Κατά μήκος κλίση, στο υπόλοιπα τμήμα 0.002595

Προϋπολογισμός έργου 35 δισεκατομμύρια δραχμές

- ΥΗΣ Πευκοφύτου

Ο σταθμός παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας θα εκτείνεται από το χωριό Πετρωτό έως και το χωριό Πευκόφυτο, στους νομούς Άρτας και Καρδίτσας. Ο σταθμός θα είναι είτε υπαίθριος είτε υπόγειος, διαστάσεων 16 m x 54 m, με δύο μονάδες παραγωγής τύπου Francis. Ορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά είναι τα εξής (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2002):

Μέγιστη στάθμη διώρυγας φυγής θα είναι η ανώτατη στάθμη λειτουργίας (Α.Σ.Λ.) του προβλεπόμενου να κατασκευαστεί φράγματος Μουζακίου 280 ή 290 m

Ελάχιστη στάθμη διώρυγας φυγής 264 m

Μέγιστο συνολικό ύψος πτώσης 286 m

Μέγιστο καθαρό ύψος πτώσης 272 m

Ονομαστικό καθαρό ύψος πτώσης 253 m

Ονομαστική ισχύς μονάδων 2 x 82.65 MW

Σύμφωνα με μελέτη του ΥΠΕΧΩΔΕ – ΔΕΗ έχουν πραγματοποιηθεί εργασίες ύψους 228 εκατομμυρίων ευρώ, ενώ υπολείπονται εργασίες ύψους 50 εκατομμυρίων ευρώ (ΔΕΗ Υ. , 2013).

Στις δαπάνες προστίθενται λοιπά εκκρεμή έργα (σήραγγες Πύλης Μουζακίου, οδικές προσβάσεις, απαλλοτριώσεις) ύψους 100 εκατομμυρίων ευρώ. Το σύνολο των επικαιροποιημένων δαπανών ανέρχεται στα 1.245 δισεκατομμύρια και των υπολειπόμενων έργων στα 340 εκατομμύρια. Η τελική δαπάνη για τα έργα Άνω Αχελώου ανέρχεται στα 1.585 δισεκατομμύρια ευρώ.

### **3.6. Επισκόπηση των αποφάσεων που σχετίζονται με τα έργα εκτροπής του Αχελώου.**

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η πορεία την εκτροπής του Αχελώου, καθώς και τα έργα που αναίτια πολλές φορές συνδέθηκαν με αυτή, μέσα στα έτη. Θα παρουσιαστεί, εν συντομία, η μακρόχρονη πορεία των έργων, η οποία σημαδεύτηκε από προσφυγές- αιτήσεις ακύρωσης φορέων και αποφάσεις του Συμβουλίου της Επικρατείας (ΣτΕ) και του Ευρωπαϊκού Δικαστηρίου, αναστολές εκτέλεσης, νομοθετικές πράξεις, και αλλαγή της φύσης των συμβάσεων (Γκούμα, n.d.).

Η εκτροπή του Αχελώου, ως ιδέα, μετρά σχεδόν 100 χρόνια από την αρχική της σύλληψη. Δεδομένων των συνθηκών λειψυδρίας που πρωτοεμφανιζόντουσαν στον Θεσσαλικό κάμπο διατυπώθηκε πρώτη φορά η ιδέα της εκτροπής του Αχελώου από το φράγμα της Μεσοχώρας, το 1925 από τον καθηγητή ΕΜΠ Κουτσοκώστα.

Αργότερα, το 1966 η Ελβετική εταιρία Electrowatt προτείνει την κατασκευή των ταμιευτήρων της Κρύας Βρύσης, της Πύλης, του Μουζακίου, του Σμοκόβου, του Παλιοδερλί, του Νεοχωρίου, της Θεόπετρας, του Παλαιομονάστηρου και της Καλούδας, με σκοπό την εκμετάλλευση των επιφανειακών υδάτων για την αντιμετώπιση της έλλειψης νερού στην Θεσσαλία, επισημαίνοντας ότι η εκτροπή του Αχελώου αποτελεί αντιοικονομικό έργο. Αντίστοιχη γνώμη εξέφρασε και η Καναδική εταιρία SNC, η οποία το 1972 πραγματοποιεί μελέτη για την εκτροπή και για τους ταμιευτήρες της Μεσοχώρας και της Συκιάς, σε συνέχεια και της ιδέας εκτροπής από τη θέση Συκιά που διατύπωσε ο μηχανικός της ΔΕΗ κ. Μαγειρίας (Μαγειρίας, 1972).

Το 1976 προτείνεται από την επιστημονική επιτροπή Υδραυλικών Έργων του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος η εκτροπή 600 hm<sup>3</sup> από τον άνω ρου του Αχελώου προς τον Θεσσαλικό κάμπο. Το 1979 – 1980 υιοθετείται η ιδέα της εκτροπής από την τότε κυβέρνηση και προετοιμάζεται η ανάθεση της μελέτης σκοπιμότητας.



Το 1981 ξεκινάει η διαδικασία διεθνούς διαγωνισμού και εκδίδεται προκήρυξη, με υπεύθυνο της μελέτης σκοπιμότητας των έργων της εκτροπής το Υπουργείο Συντονισμού. Στην προκήρυξη αυτή εναντιώνεται το ΤΕΕ και ο σύλλογος διπλωματούχων μηχανικών της ΔΕΗ, βασιζόμενοι στις προαναφερθείσες μελέτες της Electrowatt και της SNC (ELECTROWATT, 1968). Η προκήρυξη αυτή ακυρώνεται, ενώ το έργο το 1983-1984 εξαγγέλλεται εκ νέου και εντάσσεται στο αναπτυξιακό πρόγραμμα του 1983 – 1987, με τη ΔΕΗ να αναλαμβάνει την εκπόνηση μελετών (ΔΕΗ Διεύθυνση Ανάπτυξης, 1986). Η εκτροπή του Αχελώου περιλαμβάνεται στο Ελληνικό Μνημόνιο που υποβάλλεται στην Ευρωπαϊκή Ένωση, η οποία δηλώνει επιφυλακτική.

Το 1985 ξεκινούν προκαταρκτικές εργασίες στις περιοχές που αφορούν την εκτροπή του Αχελώου, στη Μεσοχώρα, Συκιά, Μουζάκι, Πύλη και το 1986 ιδρύεται ο Διυπουργικός Συντονισμός Οργανισμού Αχελώου (ΔΣΟΑ), στον οποίο εντάσσονται το Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (ΥΠΕΧΩΔΕ), το Υπουργείο Εθνικής Οικονομίας (ΥΠΕΘΟ), το Υπουργείο Γεωργίας και το Υπουργείο Βιομηχανικής Ενέργειας και Τεχνολογίας (ΥΒΕΤ).

Το 1987 όμως η ΕΚ αρνήθηκε να εγκρίνει ένα από τα έργα του Μεσογειακού Ολοκληρωμένου Προγράμματος Ανατολικής και Κεντρικής Ελλάδος (ΜΟΠ/ΑΚΕ), στο οποίο είχε ενταχθεί μέρος των έργων κεφαλής εκτροπής του ποταμού παράλληλα με την κατασκευή αρδευτικών έργων εκτάσεως 300.000 στρεμμάτων. Για να εξασφαλιστούν λοιπόν χρηματικοί πόροι αποφασίστηκε να σπάσει το έργο και εντάχθηκε το έργο κεφαλής στο ΣΠΑ και στο Α΄ ΚΠΣ (1989-1993) ως καθαρά ενεργειακό έργο. Τον ίδιο χρόνο ξεκινάει διεθνής διαγωνισμός με την προκήρυξη των έργων κεφαλής, δηλαδή των φραγμάτων Μεσοχώρας και Συκιάς, του υδροηλεκτρικού σταθμού Συκιάς, ολόκληρης της σήραγγας εκτροπής, του υδροηλεκτρικού σταθμού Πευκοφύτου και των αρδευτικών έργων στη Θεσσαλία.

Το 1988 πραγματοποιείται στην Αθήνα διημερίδα από το ΤΕΕ και υποβάλλεται η πρώτη μελέτη σκοπιμότητας από την Morgan Grenfeld. Η αρχική επιλογή περιείχε έξι ομίλους για την ανάληψη του έργου.

Το 1989 όμως υποβάλλεται η μοναδική προσφορά για το έργο από την βρετανική ΤΑΥΕΥΡΟ, ύψους 591 δισεκατομμύρια δραχμές. Το ΥΠΕΧΩΔΕ πραγματοποιεί Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ) για το δέλτα του Αχελώου και η Ευρωπαϊκή Ένωση εξαρτά την χρηματοδότηση του έργου από την τήρηση των όρων που αναγράφονται στη ΜΠΕ.

Το 1990 η ΕΕ εξαιρεί οριστικά τη χρηματοδότηση των αρδευτικών έργων και η Ελληνική Κυβέρνηση αφαιρεί το έργο αυτό από το αντικείμενο του διεθνούς διαγωνισμού, ενώ εντάσσει τα υπόλοιπα έργα κεφαλής στο Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης (ΚΠΣ).

Το 1991 ολοκληρώνεται η αξιολόγηση της οικονομικής προσφοράς της ΤΑΥΕΥΡΟ, υπογράφεται το πρακτικό για την ανάθεση του έργου και εγκρίνονται από την Ελληνική Κυβέρνηση οι περιβαλλοντικοί όροι για το φράγμα της Μεσοχώρας και της Συκιάς (Γεωργακόπουλος, 2017).

Το 1992 η Ε.Ε αναγνωρίζει παραβιάσεις των κοινοτικών κανόνων ως προς την ανάθεση του έργου, ενώ η Ελληνική Κυβέρνηση εγκρίνει τους περιβαλλοντικούς όρους για τη σήραγγα εκτροπής και για τους υδροηλεκτρικούς σταθμούς Πύλης και Μουζακίου.

Το 1993 η κυβέρνηση προώθησε νέο σχέδιο το «Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Αχελώος», το οποίο εντάχθηκε στο Β΄ ΚΠΣ (1994-1999) και υποβλήθηκε για έγκριση στην ΕΕ, ενώ τον Μάρτιο του 1993 υπογράφηκε σύμβαση, η οποία όμως αφορούσε μόνο τα έργα κεφαλής. Το ίδιο έτος προσφεύγουν στο Συμβούλιο της Επικρατείας περιβαλλοντικές οργανώσεις, προβάλλοντας την έλλειψη μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων για το σύνολο του έργου.

Το 1994 η Ε.Ε ακυρώνει την σύμβαση του 1987 καθώς αυτή παραβιάζει το κοινοτικό δίκαιο, ενώ το Σ.τ.Ε. με τις αποφάσεις με αριθμούς 2759/1994 και 2760/1994 ακυρώνει την ΚΥΑ61414/21-4-1992 με την οποία εγκρίθηκαν οι ΜΠΕ των επί μέρους έργων στον άνω ρου του Αχελώου και διακόπτει τις εργασίες της λόγω της έλλειψης ολοκληρωμένης ΜΠΕ (Τροβά, 1995) («... η μελέτη αυτή "δεν ευσταθεί από μόνη της και θα πρέπει να θεωρηθεί ως στοιχείο για την συνολικότερη εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από το σύνολο των έργων", ότι "κάθε σοβαρή προσπάθεια ανάλυσης και αντιμετώπισης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τα φράγματα Πύλης και Μουζακίου πρέπει να γίνει συνολικά για το έργο της εκτροπής του Αχελώου, την άρδευση της Θεσσαλικής πεδιάδας, την αφαίρεση υδάτινων πόρων από την Ήπειρο και την Δυτική Στερεά Ελλάδα συνυπολογίζοντας ακόμα τις επιπτώσεις στους ορεινούς όγκους της Κεντρικής Ελλάδας, στο Ιόνιο και στο Αιγαίο Πέλαγος", ότι "η ποικιλότητα και η ισορροπία των οικοσυστημάτων της χώρας μας επιβάλλουν σαφώς διεξοδική ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από το σύνολο του έργου" και, τέλος, ότι είναι αναγκαίο ο κύριος του έργου να εκπονήσει τη συνολική αυτή μελέτη»).

Ήταν μια ιστορική απόφαση, η οποία εξέφραζε το συντονισμό των κανόνων του Συντάγματος (άρθρο 24), των διεθνών συνθηκών και του κοινοτικού δικαίου με έμφαση στην Οδηγία 85/337/ΕΟΚ. Παράλληλα, περιβαλλοντικές οργανώσεις, μετά από άρνηση του ΥΒΕΤ να

γνωστοποιήσει έγγραφα σχετικά με τα έργα του Αχελώου, προσφεύγουν εναντίον του στο ΣτΕ, το οποίο κάνει δεκτή την αίτηση ακύρωσης με την απόφαση με αριθμό 3943/1995.

Το 1995 συντάσσεται συνολική ΜΠΕ και υπογράφεται η κοινή υπουργική απόφαση (24552/1995) (Αίτηση 15/2/1996 φορέων της Νομαρχίας Αιτωλοακαρνανίας κατά διαφόρων υπουργών για την ακύρωση ΚΥΑ, 1996) βάσει της οποίας ορίζεται η μείωση της εκτρεπόμενης ποσότητας στα 600 hm<sup>3</sup>. Η εταιρία ΤΑΥΕΥΡΟ ασκεί δεύτερη προσφυγή, αιτούμενη την ακύρωση της απόφασης του Υπουργείου με την οποία διαλύθηκε η μεταξύ τους σύμβαση εκτέλεσης του έργου της σήραγγας εκτροπής, μετά και από την παρέμβαση της Ευρωπαϊκής Ένωσης που εντόπισε προβλήματα στους όρους διακήρυξης του διαγωνισμού σε σχέση με τους όρους της σύμβασης του έργου και απένταξε το έργο. Το Σ.τ.Ε. απορρίπτει την αίτηση ακύρωσης με την απόφαση με αριθμό 4944/1995.

Το 1996 η Βουλή κυρώνει σύμβαση με ρωσική κοινοπραξία (ΑΤΡ) για την προμήθεια του ηλεκτρομηχανικού εξοπλισμού για τη Συκιά και το Πευκόφυτο. Το ίδιο έτος προκηρύσσεται διαγωνισμός για το φράγμα της Συκιάς και τη σήραγγα εκτροπής, ανατίθεται η κατασκευή του του φράγματος Συκιάς στη μειοδότη κοινοπραξία και ξεκινούν οι εργασίες κατασκευής του, ενώ το 1997 ανατίθεται και η κατασκευή της σήραγγας εκτροπής στη μειοδότη κοινοπραξία και ξεκινούν οι εργασίες. Περιβαλλοντικές οργανώσεις προσφεύγουν στο Σ.τ.Ε. με κύριο ζήτημα τις δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις στην Αιτωλοακαρνανία και την Θεσσαλία.

Τα έτη 1998 – 1999 συνεχίζονται οι εργασίες με διάφορα τεχνικά και οικονομικά προβλήματα.

Μετά την προσφυγή των περιβαλλοντικών οργανώσεων κατά της ενιαίας ΜΠΕ των έργων, το ΣτΕ το 2000 με την απόφαση με αριθμό 3478/2000 (Αίτηση 15/2/1996 της κοινότητας Μεσοχώρας του Ν. Τρικάλων κατά διαφόρων υπουργών για την ακύρωση της ΚΥΑ, 1996) κάνει δεκτή την αίτησή τους κατά το μέρος της Προστασίας του Μοναστηριού του Μυριόφυλλου και διακόπτονται οι εργασίες, καθώς δεν προβλεπόταν η διάσωση του ναού Αγίου Γεωργίου στο Μυρόφυλλο (Αίτηση 13/3/1996 της Κοινότητας Αρματωλικού Ν. Τρικάλων κατά της ΚΥΑ διαφόρων υπουργείων), ο οποίος θα κατακλυζόταν από την πλήρωση του ταμιευτήρα και λόγω έλλειψης εναλλακτικών λύσεων για την εκτροπή.

Σε συνέχεια της προαναφερόμενης απόφασης 3478/2000 ζητήθηκε από το ΣτΕ η ακύρωση των πρακτικών της Δημοπρασίας του έργου της Συκιάς. Η αίτηση απορρίφθηκε με την απόφαση με αριθμό 3481/2000.

Το 2001 διαλύεται η εργολαβία του φράγματος Συκιάς και συντάσσεται μελέτη για τη διάσωση του ναού. Επιπλέον, αντιμετωπίζεται το ζήτημα που προκύπτει από την ένταξη της κοιλάδας του Αχελώου στο πρόγραμμα NATURA 2000 και την οδηγία SPA για την προστασία της ορνιθοπανίδας.

Το 2002 ολοκληρώνεται η μελέτη για τη διάσωση του ναού Αγίου Γεωργίου, το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. ξεκινά τη διαδικασία έγκρισης της νέας Συμπληρωματικής Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων και υπογράφεται η ΚΥΑ 131957/19 – 3 – 2003 βάσει των νέων περιβαλλοντικών όρων. Το ίδιο έτος ολοκληρώνεται και η κατασκευή του υδροηλεκτρικού σταθμού παραγωγής στην Γλύστρα. Ο σύνδεσμος Ιδιοκτητών κατακλυζομένων περιοχών Μεσοχώρας προσφεύγει κατά της ΥΑ 968/15-4-2002 (έγκριση Π.Ο. Αποστραγγιστικής σήραγγας Μεσοχώρας), της ΥΑ970/15-4-2002 (έγκριση Π.Ο. γέφυρας νέας Πεύκης- Βαθύρεμα) και της ΥΑ971/15-4-2002 (έγκριση Π.Ο. οδικής προσπέλασης Αρματολικού –Καψάλων) (ΥΠΕΘΕ, n.d.). Η αίτηση γίνεται εν μέρει δεκτή ακυρώνοντας μόνο την ΥΑ 968/15-4-2002 με την απόφαση με αριθμό 903/2003 (Επιτροπή Αναστολών ΣτΕ).

Στις 19 Μαρτίου 2003, εκδίδεται Κοινή Υπουργική Απόφαση με Α.Π. 131957 σχετικά με την έγκριση των περιβαλλοντικών όρων των έργων μερικής εκτροπής του άνω ρου του Αχελώου προς τη Θεσσαλία, επανεκινούν οι εργασίες στη σήραγγα εκτροπής, προκηρύσσεται εκ νέου στις 5 – 11 – 2003 (ΥΠΕΘΕ, n.d.) ο διαγωνισμός για το φράγμα της Συκιάς, ενώ ασκείται νέα αίτηση ακύρωσης στο Σ.τ.Ε. από περιβαλλοντικές οργανώσεις και ο διαγωνισμός αναβάλλεται για τις 14 – 1 – 2004.

Το 2004 πραγματοποιείται 2η και 3η αναβολή για τον διαγωνισμό για τις 31 – 3 – 2004 και για το 2005, αντίστοιχα.

Τον Φεβρουάριο του 2005 πραγματοποιείται ο διαγωνισμός για το φράγμα Συκιάς, ανατίθεται στην μειοδότη κοινοπραξία και τον Μάιο υπογράφεται από το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. η σύμβαση. Η Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Αιτωλοακαρνανίας, εμπλεκόμενοι οργανισμοί τοπικής αυτοδιοίκησης, ο σύνδεσμος ιδιοκτητών κατακλυσμένου οικισμού Μεσοχώρας και άλλες οργανώσεις όμως προσφεύγουν στο ΣτΕ και υποβάλλουν αίτηση ακύρωσης της ΚΥΑ του 2003. Τελικώς το 2005 η Ολομέλεια του ΣτΕ με επίκληση για πρώτη φορά του νόμου 1739/1987 για εκπόνηση και έγκριση σχεδίων διαχείρισης υδάτων, ακυρώνει την Κ.Υ.Α. έγκρισης περιβαλλοντικών όρων των έργων. Η Ολομέλεια του ΣτΕ με την απόφαση με αριθμό. 1688/2005

(Απόφαση ΣτΕ) μπλοκάρει ξανά το έργο, καθώς κρίνει ότι δεν έχει εκπονηθεί εθνικό σχέδιο διαχείρισης υδάτινων πόρων, όπως προβλέπεται από τις κοινοτικές Οδηγίες.

Το 2006 η Βουλή πραγματοποιεί νομοθετικές ρυθμίσεις στα άρθρα του Ν. 3199/2003 και ψηφίζει τον Ν.3481/2006 (Νόμος 3481/2006), με στόχο να συνεχισθεί η εκτροπή, να παρακάμψει τις εκδοθείσες αποφάσεις του Σ.τ.Ε. (Αίτηση ακύρωσης της Αστικής Εταιρίας "Ελληνική Εταιρία για την προστασία του Περιβάλλοντος και της Πολιτιστικής Κληρονομιάς") και να συμμορφωθεί με τις οδηγίες του πλαισίου 2000 της Ε.Ε, καθώς η 2000/60/ΕΚ για τη διαχείριση των υδάτων, προβλέπει μεταβατική περίοδο μέχρι τα τέλη του 2009 για την έγκριση των σχεδίων διαχείρισης των υδατικών διαμερισμάτων της χώρας, ενώ παράλληλα εκπονούνται εθνικό σχέδιο διαχείρισης νερών, από το Υπ. Ανάπτυξης, στο οποίο προβλεπόταν η υλοποίηση των έργων μερικής εκτροπής και Σχέδιο Διαχείρισης των λεκανών απορροής των ποταμών Αχελώου και Πηνειού, από την Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων του ΥΠΕΧΩΔΕ, σε πλήρη συμμόρφωση με την από 2005 απόφαση του ΣτΕ. Εξάλλου, είχαν ήδη υλοποιηθεί έργα για τη μερική εκτροπή του ποταμού Αχελώου συνολικού ύψους άνω των 500 εκατ. ευρώ, τα οποία δεν απέδιδαν και έμεναν αχρησιμοποίητα.

Το 2007 οι εργασίες συνεχίζονται, ενώ περιβαλλοντικές οργανώσεις προσφεύγουν στο Σ.τ.Ε. Η Επιτροπή αναστολής του ΣτΕ προκειμένου να εξετάσει τις αιτήσεις ακύρωσης των φορέων της Αιτωλοακαρνανίας και της WWF HELLAS αποφασίζει να υποβάλει με την απόφαση με αριθμό 999/2007 προδικαστικά ερωτήματα (ΥΠΕΘΕ, n.d.) στο Δικαστήριο των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (ΔΕΚ).

Το 2008 το έργο χρηματοδοτείται από το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε και η κατασκευή της σήραγγας εκτροπής συνεχίζεται χωρίς προβλήματα, ενώ το φράγμα Συκιάς αντιμετωπίζει τεχνικά ζητήματα.

Μέχρι το 2008 τα συνολικά έξοδα από την αρχή του έργου ανέρχονται στα 288 εκατομμύρια ευρώ.

Το 2009 ολοκληρώνονται οι εργασίες διάτρησης της σήραγγας εκτροπής, με μήκος 17.504 μέτρα, και τον Απρίλιο πραγματοποιείται δημοπρασία για την επένδυση της σήραγγας, ενώ οι εργασίες στο φράγμα Συκιάς συνεχίζονται. Το Σ.τ.Ε. επί αιτήσεων ακύρωσης αναφορικά με τη νομιμότητα του συνολικού έργου της εκτροπής υδάτων του άνω ρου του ποταμού Αχελώου, το οποίο συνδέεται, μεταξύ άλλων, με την κατασκευή και λειτουργία υδροηλεκτρικών έργων υποβάλει με την απόφαση με αριθμό 3053/ 2009 (Απόφαση ΣτΕ 3053/2009) προδικαστικά ερωτήματα στο Δ.Ε.Κ.

Το 2010 το Σ.τ.Ε. αποδέχεται αίτηση ασφαλιστικών μέτρων της WWF ΕΛΛΑΣ και διατάσσει την διακοπή των έργων με την απόφαση με αριθμό 141/2010.

Το 2011 συνεχίζονται τα έργα επένδυσης της σήραγγας, αφού το Υπουργείο Υποδομών αιτήθηκε από το τμήμα αναστολών του Σ.τ.Ε. την ανάκληση της τελευταίας απόφασης με το επιχείρημα ότι υφίσταται ανάγκη ολοκλήρωσης των ημιτελών έργων που κινδύνευαν από αστοχία λόγω διαβρώσεων. Την ίδια χρονιά εξετάζεται από το Υπουργείο Περιβάλλοντος, ως εναλλακτική λύση, το σενάριο εκτροπής μόνο 110 hm<sup>3</sup>.

Το 2012 (11 – 9 – 2012 ) εκδίδεται η απόφαση του Δικαστηρίου Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, η οποία κρίνει ότι οι τροπολογίες που υπερψηφίστηκαν από την Βουλή το 2006 παραβιάζουν την ευρωπαϊκή περιβαλλοντική νομοθεσία (Δανιλάκης).

Το 2013 εκδικάζονται από το Σ.τ.Ε. νέες αιτήσεις ακύρωσης των φορέων της Αιτωλοακαρνανίας και το 2014 το Σ.τ.Ε με την απόφαση αριθμό 26/2014 κρίνει ότι η όλη διαδικασία υλοποίησης του έργου ήταν πλημμελής από πλευράς Πολιτείας, διότι δεν αιτιολογήθηκε επαρκώς (Συγκεκριμένα στην απόφαση αναφέρεται: «...*Η επιβαλλόμενη δε από την αρχή της βιώσιμης ανάπτυξης αποτροπή ή μετριασμός και επανόρθωση της βλάβης αυτής, προϋποθέτει την τήρηση των κανόνων της περιβαλλοντικής νομοθεσίας, πλείστοι από τους οποίους έχουν παραβιαστεί στην προκειμένη περίπτωση, σύμφωνα με όσα εκτίθενται σε προηγούμενες σκέψεις. Με τα δεδομένα αυτά, το επίδικο έργο εκτροπής ποσότητας 600 hm<sup>3</sup>. ετησίως των υδάτων του Αχελώου, όπως έχει σχεδιαστεί και εγκριθεί με την προσβαλλόμενη απόφαση, αντίκειται προδήλως στην αρχή της βιώσιμης ανάπτυξης*») και σταμάτησε το έργο.

Στις 24/11/2014 υποβάλλεται κατά των ως άνω Σχεδίων Διαχείρισης Υδάτων και κατά της ολοκλήρωσης των έργων νέα αίτηση ακύρωσης από την Περιφέρεια Δυτικής Ελλάδας, τοπικούς φορείς Αιτωλοακαρνανίας και οικολογικές οργανώσεις. Το 2015 εκδικάζεται από το Σ.τ.Ε. η νέα προσφυγή.

Με την Υπουργική Απόφαση 28388/2015 (ΦΕΚ Β 518/03.04.2015) με τίτλο «Διατιθέμενες Πιστώσεις Συνεχιζόμενων Έργων Προϋπολογισμού Δημοσίων Επενδύσεων έτους 2015» και στον κωδικό 064 προβλέπεται η διάθεση 1,149,960.00 ευρώ για εργασίες σχετικές με την εκτροπή του Αχελώου. Το Υπουργείο τελικά δεν υπογράφει την έγκριση περιβαλλοντικών όρων (ΑΕΠΟ) και έτσι τα έργα δεν προχωρούν, αλλά ολοκληρώνεται η νέα ΜΠΕ για την Μεσοχώρα, την οποία

εγκρίνει το Περιφερειακό συμβούλιο Θεσσαλίας με τη με αριθμό πρωτ.911/1-10-2015 απόφασή του.

Το έτος 2020 το Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών δηλώνει ότι στη διαμορφωμένη κατάσταση το πρώτο στάδιο για τη συνέχιση και ολοκλήρωση των έργων του Αχελώου είναι η αναθεώρηση και η εκπόνηση νέας μελέτης επί του εγκεκριμένου το 2017 σχεδίου Διαχείρισης των Λεκανών απορροής του άνω ρου του Αχελώου ώστε να επιτραπεί η ήπια εκτροπή μέχρι 250 hm<sup>3</sup> ετησίως στο υδατικό διαμέρισμα Θεσσαλίας. Παράλληλα η σύνταξη νέας ΜΠΕ των έργων, επιβάλλεται ώστε να πληρούνται οι προϋποθέσεις της βιώσιμης ανάπτυξης για ένα έργο πρωτίστως περιβαλλοντικό, αφού θα αντικαταστήσει δεκάδες χιλιάδες παράνομες και νόμιμες γεωτρήσεις στη Θεσσαλία.

Επιπλέον το Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών συνεχίζει να υπερασπίζεται την εκτροπή του Αχελώου για λόγους προστασίας της ανθρώπινης ζωής, του δημοσίου συμφέροντος και της αξιοποίησης του επενδυμένου κεφαλαίου. Στο πλαίσιο αυτό, η Γενική Γραμματεία Υποδομών Γενική Διεύθυνση Υ.ΛΙ.Κ.Υ. προωθεί τις διαδικασίες (Νομολογία Ελεγκ. Συνεδρίου) και εγκρίσεις για την δημοπράτηση του έργου «Επείγουσες εργασίες άρσης φερτών υλών από τους ποταμούς Αχελώο και Κουμπουργιανίτικο για την αποφυγή κινδύνων από πλημμυρικά φαινόμενα και λοιπές κατασκευές ασφάλειας υφιστάμενων ημιτελών κατασκευών στα έργα εκτροπής Αχελώου. - Εφαρμογή Σχεδίου Παρακολούθησης της Ασφάλειας των ημιτελών έργων Φράγματος Συκιάς και Σχεδίου Εντοπισμού και Ενημέρωσης Κινδύνου από πιθανή καταστροφή των προφραγμάτων Συκιάς», ποσού 1.880.460,00 € και εκδίδεται η με αριθμό πρωτοκόλλου. 647/ΚΕ 1013 Απόφαση του Υπουργού Υποδομών.

Η επταμελής σύνθεση του Ε΄ Τμήματος του ΣτΕ με την απόφαση με αριθμό 2228/2020 (Απόφαση ΣτΕ 2228/2020) απορρίπτει την αίτηση της περιφέρειας Θεσσαλίας, της περιφερειακής Ένωσης Δήμων Θεσσαλίας, τοπικών φορέων της Αιτωλοακαρνανίας, κ.λπ., που ζητούν να ακυρωθούν οι κοινές υπουργικές αποφάσεις με αριθμούς 897/21.12.2017 και 901/21.12.2017, οι οποίες αφορούν τα έργα εκτροπής του Αχελώου.

Αντίθετα, το ίδιο Τμήμα του ΣτΕ, με την απόφαση με αριθμό 2230/2020 (Απόφαση ΣτΕ 2230/2020) κάνει δεκτή την αίτηση του Συνδέσμου Ιδιοκτητών Κατακλυζομένου Οικισμού Μεσοχώρας «Ο Αχελώος», που ζητά την ακύρωση της με αριθμό Οικ.34701/4.8.2017 απόφασης

του αναπληρωτή Υπουργού Περιβάλλοντος με την οποία εγκρίθηκαν οι περιβαλλοντικοί όροι του έργου «Υδροηλεκτρικό έργο Μεσοχώρας» στον ποταμό Αχελώο.

Τον Απρίλιο του 2021 μια νέα μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων υποβλήθηκε στη Διεύθυνση Περιβαλλοντικής Αδειοδότησης του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ), η οποία ετέθη σε δημόσια διαβούλευση και τελικά εγκρίθηκε.

Τον Μάιο του 2021, ο περιφερειάρχης Θεσσαλίας αναφέρεται στην κλιματική κρίση και τονίζει ότι πρέπει να προχωρήσουν τα έργα ΑΠΕ και κυρίως η εκτροπή του Αχελώου, καθώς τα φράγματα στον Αχελώο και στους υπόλοιπους ποταμούς θα απέτρεπαν τις καταστροφές όπως εκείνες του Ιανού καθώς συγκρατούν τα φερτά υλικά.

Ήδη στο Ε' Τμήμα του Συμβουλίου της Επικρατείας εκκρεμεί αίτηση ακύρωσης που κατέθεσε στις 7 Φεβρουαρίου του 2022 ο Σύνδεσμος Κατακλυζομένων Μεσοχώρας, "Ο ΑΧΕΛΩΟΣ", κατά της νέας Απόφασης Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (ΑΕΠΟ) του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας.

Το 2022 ορίζεται ο τελικός μειοδότης από την Επιτροπή Διαπραγμάτευσης και εκδίδεται η απόφαση (στις 11/02/2022), έγκρισης του πρακτικού ανάθεσης της δημόσιας σύμβασης των έργων της με αριθμό πρωτοκόλλου. 647/ΚΕ 1013 Απόφασης του Υπουργού Υποδομών. Η σύμβαση υπογράφεται τον Αύγουστο του 2022 (Τράτσα, 2022) και ξεκινά η εφαρμογή του σχεδίου παρακολούθησης της ασφάλειας των ημιτελών έργων του φράγματος Συκιάς και οι εργασίες προσπέλασης προς τη σήραγγα εκτροπής, με προϋπολογισμό 1,9 εκατ. ευρώ και εκτιμώμενο χρόνο ολοκλήρωσης τον Αύγουστο του 2025. Παράλληλα ξεκινούν δασοτεχνικές διευθετήσεις χειμαρροποτάμων του Αχελώου.



## 4. Επεξεργασία πρωτογενών υδρολογικών δεδομένων

Η δημιουργία ενός διαχειριστικού πλάνου για το υδrosύστημα Άνω Αχελώου – Δυτικής Θεσσαλίας απαιτεί ως δεδομένα εισόδου τις χρονοσειρές βροχής, απορροής και εξατμισιοδιαπνοής σε κάθε λεκάνη απορροής που περιλαμβάνεται στο σύστημα. Στον Ελληνικό χώρο, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2.1.1, οι χρονοσειρές απορροής είναι σπάνιες, συχνά ελλιπής και μικρής χρονικής διάρκειας. Για τους παραπάνω λόγους κρίθηκε αναγκαία η επεξεργασία της πρωτογενούς υδρολογικής πληροφορίας και η εξαγωγή των αντίστοιχων χρονοσειρών. Η επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια του προγράμματος « Υδρογνώμων ». Με την χρήση κατάλληλων μοντέλων προσομοιώθηκαν και εξάχθηκαν οι χρονοσειρές απορροής της κάθε λεκάνης.

Τα μετεωρολογικά δεδομένα, βροχομετρικά και θερμοκρασιακά, που αξιοποιήθηκαν για την διάρθρωση της μελέτης αντλήθηκαν από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, τη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων και το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής.

### 4.1. Εισαγωγή

Το πρόγραμμα Υδρογνώμων στην παρούσα έκδοσή του αποτελεί την μετεξέλιξη παλαιότερων εκδόσεων οι οποίες είχαν αναπτυχθεί μέσω των ερευνητικών προγραμμάτων: (Γ. Καραβοκυρός, 2004) και (Α. Ευστρατιάδης, 2007). Ο Υδρογνώμων αποτελεί ένα υπολογιστικό πρόγραμμα το οποίο διευκολύνει την επεξεργασία πρωτογενών βροχομετρικών δεδομένων και την εξαγωγή διορθωμένων και συμπληρωμένων χρονοσειρών βροχής αλλά και την εξαγωγή, σημαντικών για την παρούσα μελέτη, δευτερεύουσας και τριτεύουσας υδρολογικής πληροφοριών, όπως χρονοσειρές εξατμισιοδιαπνοής. Διευκολύνει την διαδικασία την χωρικής ολοκλήρωσης και την εξαγωγή βροχοβαθμίδας (ITIA, 2010).

Η χρήση του λογισμικού Υδρογνώμων συνείσφερε στην επίλυση ορισμένων καίριων ζητημάτων για την επεξεργασία, όπως:

- Μετατροπή χρονοσειρών σε σταθερό βήμα (αναγκαίο πρώτο βήμα για την επεξεργασία της πρωτογενούς πληροφορίας είναι η χρονοσειρά να έχει σταθερό χρονικό βήμα).
- Έλεγχος συνέπειας, ομοιογένειας, ακραίων τιμών και χρονικής συνέπειας.

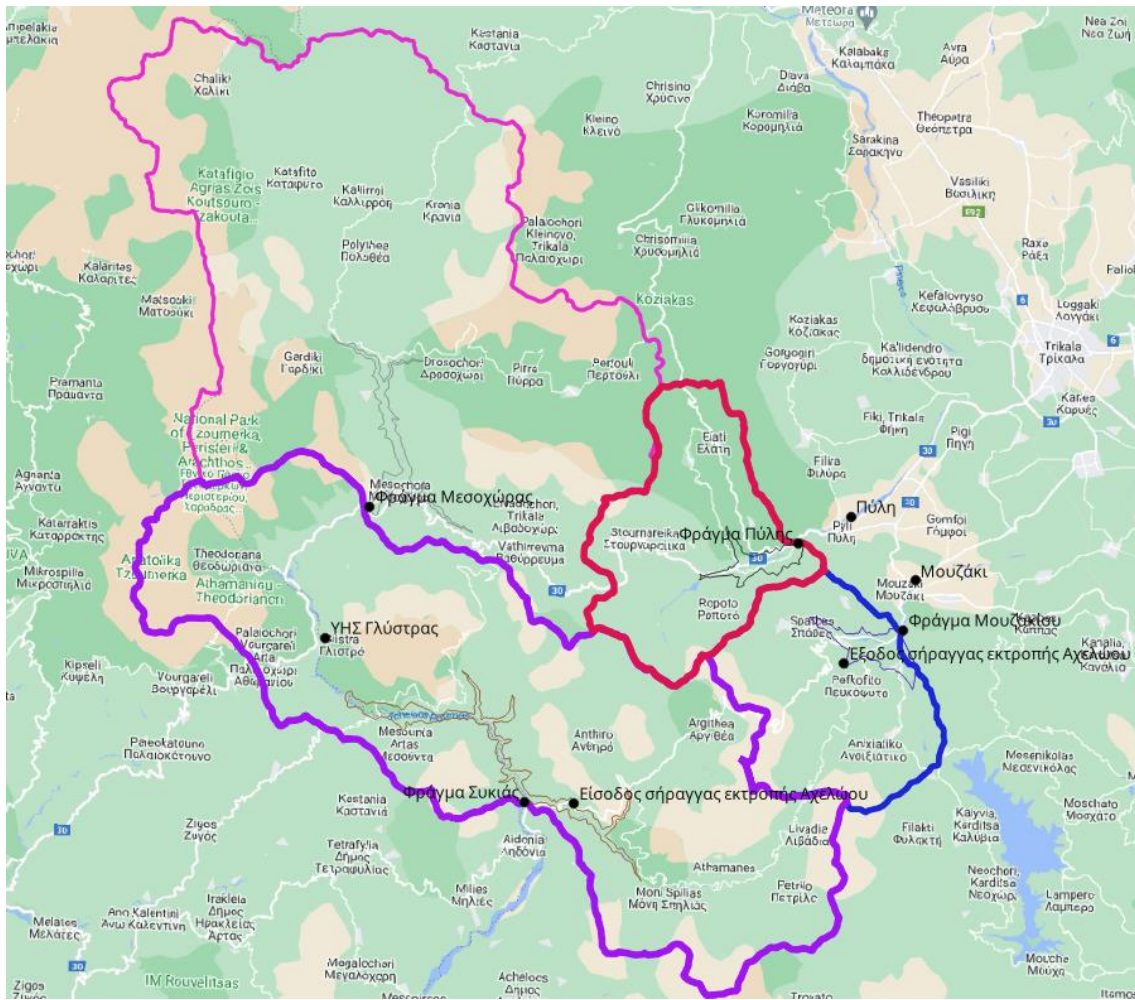
- Συμπλήρωση ελλιπών δεδομένων με γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ χρονοσειρών και δυνατότητα εισαγωγής τυχαίου όρου για την διατήρηση των στατιστικών χαρακτηριστικών.
- Συνάθροιση χρονοσειρών, εξαγωγή χρονοσειρών με μεγαλύτερο χρονικό βήμα (ημερήσιο, μηνιαίο).
- Εξαγωγή χρονοσειρών δυνητικής εξαμυσιοδιαπνοής, με χρήση εμπειρικών ή ημι-εμπειρικών σχέσεων.

#### 4.2. Επεξεργασία γεωχωρικών πληροφοριών - Προσδιορισμός λεκανών απορροής

Αρχικό στάδιο αποτελεί ο καθορισμός της λεκάνης απορροής. Για τον σκοπό αυτόν αξιοποιήθηκε το δωρεάν λογισμικό επεξεργασίας γεωχωρικών πληροφοριών QGIS σε συνδυασμό με την βιβλιοθήκη εντολών GRASS. Ύστερα από κατάλληλη επεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους προκύπτουν οι τέσσερις λεκάνες απορροής, που αφορούν την παρούσα μελέτη, λεκάνη Μεσοχώρας, Συκιάς, Μουζακίου, Πύλης. Η λεκάνη απορροής μεταξύ του φράγματος Μεσοχώρας και Συκιάς θα ονομάζεται λεκάνη απορροής Συκιάς. Στην Εικόνα 4.2.1 παρουσιάζονται οι τέσσερις λεκάνες απορροής καθώς και οι λεκάνες κατάκλισης του κάθε φράγματος.

Πίνακας 4.2.1: Κύρια χαρακτηριστικά λεκανών απορροής μελέτης

Όνομα λεκάνης	Μεσοχώρα	Μεσοχώρα- Συκιά	Μουζάκι	Πύλη
Έκταση (km <sup>2</sup> )	630.85	527.15	122.63	129.46
Μέσο υψόμετρο (m)	1395.25	1164.22	856.8	944
Μέγιστο υψόμετρο (m)	2416.62	2308.24	1999.5	1844.3



Εικόνα 4.2.1: Λεκάνες απορροής και λεκάνες κατάκλισης θέσεων ενδιαφέροντος, σχεδιασμένες στο λογισμικό QGIS

Στον Πίνακα 4.2.1 παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής (έκταση, μέσο και μέγιστο υψόμετρο), τα οποία προέκυψαν από το λογισμικό QGIS.

Αφού ορίστηκαν οι λεκάνες απορροής, καθορίστηκαν οι σταθμοί από τους οποίους οι πρωτογενείς πληροφορίες επηρεάζουν αυτές. Για τον καθορισμό του ποσοστού επιρροής των δεδομένων κάθε σταθμού χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος άμεσης ολοκλήρωσης Thiessen. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στις μεσοκαθέτους των ευθυγράμμων τμημάτων που ενώνουν τους σταθμούς ανά δύο. Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή η ολική επιφάνεια της κάθε λεκάνης απορροής χωρίζεται σε γεωμετρικούς χώρους επιρροής  $S_i$ , έναν για κάθε σταθμό, με τέτοιο τρόπο ώστε:

$$\sum_{i=1}^k S_i = S. \quad (4.2.1)$$

Ο συντελεστής βάρους θεωρήθηκε ανάλογος του εμβαδού κάθε χώρου, δηλαδή:

$$w_i = \frac{S_i}{S}$$

(4.2.2)

Οι γεωμετρικοί χώροι επιρροής καθορίζονται με τέτοιο τρόπο ώστε κάθε σημείο του χώρου του σταθμού  $i$  να απέχει από την θέση του σταθμού αυτού λιγότερο από ότι απέχει από οποιονδήποτε άλλο σταθμό της περιοχής. Οι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των χρονοσειρών της εκάστοτε λεκάνης απορροής παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2.2:

Πίνακας 4.2.2: Σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των χρονοσειρών βροχόπτωσης και απορροής των λεκανών

Όνομα λεκάνης απορροής Α/Α	Μεσοχώρα	Συκιά	Μουζάκι	Πύλη	Υπόλοιποι σταθμοί
1	Κιτίνα	Φράζος	Δρακότρυπα	Στουρναρέικα	Αγνάντα
2	Στουρναρέικα	Στουρναρέικα	Κερασιά	Ελάτη	Άνω Καλεντίνη
3	Πολυνέρι	Πολυνέρι	Μουζάκι (Παλαιομονάστηρο)	Βροντερό	Αρδάνοβο
4	Μεσοχώρα	Μεσοχώρα	Αργιθέα	Δρακότρυπα	Δροσοπυγή
5	Βροντερό	Μπεζούλα		Αργιθέα	Καταφυλιό
6	Θεοδώριανα	Θεοδώριανα		Περτούλι	
7	Κατάφυτο	Κατάφυτο			
8	Μικρό Περιστέρι	Αργιθέα			
9	Περτούλι	Κερασιά			
10	Μέτσοβο				

### 4.3. Παραγωγή χρονοσειρών

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά η μεθοδολογία και τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την επεξεργασία των πρωτογενών πληροφοριών και την εξαγωγή μηνιαίων χρονοσειρών βροχόπτωσης. Η επεξεργασία πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια του λογισμικού Hydrognomon.

#### 4.3.1. Χρονικό βήμα

Το χρονικό βήμα μίας χρονοσειράς  $T$  είναι το βασικότερο χαρακτηριστικό της και καθορίζει τον χρόνο ενδιάμεσα από δύο διαδοχικές μετρήσεις. Το πρόγραμμα επιτρέπει στον χρήστη να καθορίσει ο ίδιος το χρονικό βήμα, επιλέγοντας από πολλαπλάσια λεπτών, τα οποία έχουν σταθερό μήκος, έως και πολλαπλάσια μηνών του έτους, οι οποίοι δεν έχουν σταθερό μήκος (28 – 31 ημέρες ανά μήνα). Οι επεξεργασίες συνάθροισης λαμβάνουν τα παραπάνω υπόψη. Επιπλέον δύναται η αναπαράσταση της χρονοσειράς σε υδρολογικό έτος, δηλαδή το χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο πραγματοποιείται ένας πλήρης κύκλος περιοδικών υδρολογικών διακυμάνσεων (Κουτσογιάννης, 2016). Η απεικόνιση του υδρολογικού έτους είναι αναγκαία για την διατήρηση της στατιστικής ανεξαρτησίας των ετήσιων τιμών. Το υδρολογικό έτος, στην Ελλάδα, θεωρείται ότι ξεκινάει στις 1 Οκτωβρίου και τελειώνει στις 30 Σεπτεμβρίου του επόμενου έτους. Το χρονικό βήμα στο οποίο επεξεργάστηκαν τα δεδομένα είναι το ημερήσιο, για την επίτευξη της μέγιστης δυνατής ακρίβειας αποτελεσμάτων.

#### 4.3.2. Κανονικοποίηση χρονικού βήματος

Αναγκαία προϋπόθεση για την επεξεργασία μίας χρονοσειράς είναι αυτή να έχει σταθερό χρονικό βήμα. Δηλαδή, οφείλουν όλες οι παρατηρούμενες τιμές σε μία χρονοσειρά με ημερήσιο βήμα να έχουν ληφθεί την ίδια ώρα κάθε ημέρα. Αυτό συχνά δεν συμβαίνει, καθώς υπόκειται στον εκάστοτε παρατηρητή να είναι συνεπής στις καθημερινές μετρήσεις. Η διόρθωση του χρονικού βήματος ονομάζεται κανονικοποίηση (regularize step). Η μεθοδολογία που ακολουθεί προτείνεται από τον Χριστοφίδη (1998). Σημειώνεται ότι η κανονικοποίηση χρονικού βήματος είναι δυνατή σε χρονοσειρές χρονικού βήματος  $T$  λεπτών, ωρών και ημερών, καθώς οι μηνιαίες και ετήσιες έχουν εξ ορισμού σταθερό χρονικό βήμα. Ο τύπος του χρονικού βήματος καθορίζεται από τον χρήστη εξ αρχής. Η διαδικασία αγνοεί τυχόν μηδενικές τιμές στην αρχή και στο τέλος της χρονοσειράς. Η εξαγόμενη χρονοσειρά  $J$  έχει σταθερά χρονικά βήματα  $T$ , δηλαδή  $t_j - t_{j-1} =$

T. Η μετατροπή χρονοσειρά T μεταβλητού βήματος σε χρονοσειρά J σταθερού βήματος οι χρονοσειρές θεωρούνται

#### **4.3.3. Έλεγχος συνέπειας**

Ο έλεγχος συνέπειας έχει ως στόχο τον έλεγχο των συνθηκών μέτρησης και τον εντοπισμό τεχνητών αλλαγών που επηρεάζουν το αποτέλεσμά τους. Ανόρθωση των μετρήσεων ονομάζεται η διόρθωση των παρατηρούμενων τιμών με στόχο να αντιστραφούν τα αποτελέσματα των αλλαγών. Τέτοιες αλλαγές μπορεί να επιβάλλονται από το περιβάλλον χώρο με αποτέλεσμα την μετακίνηση του σταθμού, όπως η κατασκευή ενός κτηρίου. Η τεχνολογική εξέλιξη ή η βλάβη ενός μετρητή μπορεί να οδηγήσει σε αντικατάσταση του. Συχνό φαινόμενο είναι να παρατηρούνται ανθρώπινα σφάλματα. Αυτά οφείλονται είτε στην ελλιπή εκπαίδευση των παρατηρητών ή ακόμα και σε αμέλεια των ιδίων. Το αποτέλεσμα των ασυνεπειών παρατηρείται σε παρατεταμένες περιόδους, χωρίς να αποκλείονται και μεμονωμένα σφάλματα. Διακρίνονται διάφοροι τύποι ελέγχου συνέπειας, ο έλεγχος ύπαρξης ακραίων τιμών, ο έλεγχος εσωτερικής συνέπειας (εάν οι ταυτόχρονες μετρήσεις διαφορετικών μεταβλητών, όπως βροχόπτωση και ηλιοφάνεια, είναι ανάλογες), χρονική συνέπεια και χωρικής συνέπειας (σε περίπτωση όπου είναι διαθέσιμες μετρήσεις από γειτονικούς σταθμούς, εάν αυτές είναι παρόμοιες). Οι έλεγχοι αυτοί πραγματοποιούνται στην χρονική κλίμακα των μετρήσεων (ημερήσια ή ωριαία). Είναι όμως σχεδόν αδύνατον να πραγματοποιηθούν, εάν δεν παρέχονται και επιπλέον δεδομένα, όπως μετρήσεις γειτονικών σταθμών ή άλλα μετεωρολογικά δεδομένα από τον σταθμό αυτό, εκτός των ακραίων τιμών.

Για τον έλεγχο συνέπειας κάθε σταθμού χρησιμοποιήθηκαν γειτονικοί σταθμοί, όπως αυτό προέκυψε από την χωρική επεξεργασία που αναλύθηκε στο κεφάλαιο 4.2. Με αυτόν τον τρόπο, ακραίες τιμές τέθηκαν μηδενικές, ενώ ελέγχθηκαν τα δεδομένα και για την χωρική και χρονική συνέπεια. Ο έλεγχος αυτό πραγματοποιήθηκε οπτικά υποθέτοντας εύλογα όρια για τις μέγιστες τιμές .

#### **4.3.4. Θεωρητικό υπόβαθρο συμπλήρωσης - επέκτασης χρονοσειρών**

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, οι διαθέσιμες χρονοσειρές βροχής συχνά παρουσιάζουν κενά στις μετρήσεις, για διάφορους λόγους. Τα κενά αυτά μπορεί να εκτείνονται από διάστημα ημερών, έως και ολόκληρων ετών. Επιπλέον, τιμές οι οποίες κρίθηκαν ως ακραίες τέθηκαν

μηδενικές. Για την χρήση των χρονοσειρών, βασικό κριτήριο επιλογής των ετών από τα οποία θα αντληθούν δεδομένα είναι η απουσία ασυνεχειών. Η συμπλήρωση έγινε όπου υπήρχαν κενά τα οποία θα επηρέαζαν το αποτέλεσμα, δηλαδή όπου υπήρχαν άνω των 10 ημερών ανά μήνα δεδομένα που έλλειπαν. Επιπροσθέτως, πραγματοποιήθηκε επέκταση των διαθέσιμων χρονοσειρών, αξιοποιώντας δεδομένα γειτονικών σταθμών. Η διαδικασία της συμπλήρωσης και της επέκτασης, είναι δύο διαφορετικές διαδικασίες, με διαφορετικούς στόχους και πραγματοποιούνται με διαφορετικές μεθόδους. Η θεωρητική τεκμηρίωση αντλήθηκε από (Δ. Κουτσογιάννης Θ. Ξ., 1997).

Για την επίτευξη της συμπλήρωσης χρησιμοποιείται η απλή - πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, η οποία βασίζεται σε αρχές στατιστικής. Εφαρμόζεται η αρχή ελαχίστων τετραγώνων, σύμφωνα με την οποία προσδιορίζεται ένας σταθερός όρος  $a$  και μία κλίση  $b$ , δηλαδή οι όροι της εξίσωσης:

$$y = a + (b \times x) \tag{4.3.1}$$

Όπου  $x$  η ανεξάρτητη μεταβλητή, η οποία αναφέρεται στην χρονοσειρά βάσης – αναφοράς και  $y$  η εξαρτημένη, η οποία αναφέρεται στην χρονοσειρά που υπάρχουν ελλείψεις. Οι συντελεστές δίνονται από τις σχέσεις:

$$a = \bar{y} - (b \times \bar{x}) \tag{4.3.2}$$

$$b = \frac{n \times \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \times \sum_{i=1}^n y_i}{n \times \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \tag{4.3.3}$$

Όπου  $n$  είναι το πλήθος των κοινών ταυτόχρονων μετρήσεων μεταξύ της μεταβλητής  $y$  και  $x$ .

Στην περίπτωση ύπαρξης πολλών ανεξάρτητων μεταβλητών και μίας εξαρτημένης, αναζητείται μία βέλτιστη λύση. Για να πραγματοποιηθεί η πολλαπλή παλινδρόμηση πρέπει οι χρονοσειρές να έχουν δεδομένα σε κοινές περιόδους, δηλαδή να επικαλύπτονται. Ο συντελεστής προσδιορισμού υπολογίζεται από την γενικευμένη σχέση:

$$\delta = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n W_i^2}{\sum_{i=1}^n y_i^2 - n \times \bar{y}^2} \tag{4.3.4}$$

Όπου  $W_i$  είναι το σφάλμα της ανεξάρτητης μεταβλητής και της τιμής από το μοντέλο παλινδρόμησης,  $y_i$  η εξαρτημένη μεταβλητή,  $n$  το πλήθος των τιμών της και  $\bar{y}$  η μέση τιμή της. Ο συντελεστής συσχέτισης  $r$ , είναι η τετραγωνική ρίζα του  $\delta$ :

$$r = \sqrt{\delta} = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n W_i^2}{\sum_{i=1}^n y_i^2 - n \times \bar{y}^2}}$$

(4.3.5)

Ο συντελεστής παίρνει τιμές από -1 έως 1. Όσο πιο κοντά στα άκρα είναι οι τιμές του, τόσο ισχυρότερη είναι η συσχέτιση. Όταν είναι πιο κοντά στο +1, σημαίνει ότι όταν μεγαλώνει η τιμή της μεταβλητής  $x$ , μεγαλώνει και η τιμή της μεταβλητής  $y$ , ενώ εάν είναι πιο κοντά στο -1 είναι αντιστρόφως ανάλογα τα μεγέθη. Τέλος τιμές κοντά στο 0, υποδεικνύουν έλλειψη συσχέτισης. Για να θεωρηθεί αξιόπιστη η συσχέτισης τιμών μεταξύ δύο σταθμών είναι απαραίτητο ο συντελεστής  $r$  να είναι μεγαλύτερος από την κρίσιμη τιμή:

$$r_c = \frac{2}{\sqrt{n}}$$

(4.3.6)

$$r > r_c$$

(4.3.7)

Όπου  $n$  είναι τα έτη τα οποία θα επιλεγθούν για την κατασκευή του μοντέλου υπολογισμού της απορροής της κάθε λεκάνης.

Θεωρείται ο περιορισμός  $a_0 = 0$ , επομένως η κλίση της ευθείας που περνάει από την αρχή των αξόνων δίνεται από την σχέση :

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{n_a} x_i y_i}{\sum_{i=1}^{n_a} x_i^2}$$

(4.3.8)

Ενώ ο συντελεστής προσδιορισμού δίνεται από την σχέση (4.3.5).

Για την επίτευξη της επέκτασης των χρονοσειρών, εφαρμόστηκε η οργανική συσχέτιση, η οποία διατηρεί τα στατιστικά χαρακτηριστικά του δείγματος, δηλαδή της μέσης τιμής και της διασποράς, σε συνδυασμό με την εισαγωγή τυχαίου όρου.



Όπως και στην απλή – πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, έτσι και η εφαρμογή της οργανικής συσχέτισης πραγματοποιείται για μία ανεξάρτητη μεταβλητή  $x$ . Προσδιορίζονται οι συντελεστές της εξίσωσης (4.3.1) ως εξής:

$$\alpha = \bar{y} - (b \times \bar{x}) \quad (4.3.9)$$

$$b = \text{sgn}(r_{xy}) \times \frac{s_y}{s_x} \quad (4.3.10)$$

Όπου  $s_x$  και  $s_y$  οι δειγματικές τιμές της τυπικής απόκλισης των μεταβλητών  $x$  και  $y$  και  $r_{xy}$ , ο δειγματικός συντελεστής συσχέτισης, ο οποίος υπολογίζεται ως εξής:

$$r_{xy} = \frac{s_{xy}}{s_x \times s_y} \quad (4.3.11)$$

Όπου  $s_{xy}$  η δειγματική συνδιασπορά των μεταβλητών  $x$  και  $y$  από την οποία χρησιμοποιείται το πρόσημό της.

Σημειώνεται επίσης, πως αφού οι χρονοσειρές αφορούν φυσικά μεγέθη, βροχής, οι αρνητικές τιμές είναι άτοπες. Κατά την διάρκεια της συμπλήρωσης ή της επέκτασης χρονοσειρών, μπορεί να εμφανιστούν τέτοιες τιμές. Γίνεται αποκοπή των αρνητικών τιμών βάση της σχέσης:

$$y_i < 0 \rightarrow y_i = 0 \quad (4.3.12)$$

#### 4.3.5. Δεδομένα συμπλήρωσης – επέκτασης χρονοσειρών

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 4.3.4 η συμπλήρωση και η επέκταση των διαθέσιμων χρονοσειρών πραγματοποιήθηκε βάση μετρήσεων γειτονικών σταθμών. Η επιλογή των σταθμών αυτών, βάση των δεδομένων των οποίων συμπληρώθηκε κάθε χρονοσειρά, έγινε βάση της χωρικής συσχέτισης τους. Πραγματοποιήθηκε εκτενής έλεγχος των συντελεστών συσχέτισης και επιλέχθηκαν οι συμπληρωμένες χρονοσειρές που ικανοποιούσαν τον περιορισμό της σχέσης (4.3.7). Στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 4.3.1, Πίνακας 4.3.2, Πίνακας 4.3.3, Πίνακας 4.3.4, Πίνακας 4.3.5) παρουσιάζονται αναλυτικά οι σταθμοί της κάθε λεκάνης απορροής μαζί με τους

σταθμούς από τους οποίους πραγματοποιήθηκε η συμπλήρωσή τους και ο συντελεστής συσχέτισής τους.

**Λεκάνη απορροής Μεσοχώρας:**

*Πίνακας 4.3.1: Σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή της χρονοσειράς βροχόπτωσης της λεκάνης απορροής Μεσοχώρας και οι αντίστοιχοι συντελεστές συσχέτισης*

<b>Όνομα σταθμού</b>	<b>Σταθμοί συμπλήρωσης</b>	<b>Συντελεστής συσχέτισης r</b>
<b>Κιπίνα</b>	Μέτσοβο	0.692
<b>Στουρναρέικα</b>	Περτούλι & Βροντερό & Ελάτη	0.84
<b>Πολυνέρι</b>	Θεοδώριανα	0.53
<b>Μεσοχώρα</b>	Θεοδώριανα	0.617
<b>Βροντερό</b>	Περτούλι & Ελάτη & Στουρναρέικα	0.90
<b>Θεοδώριανα</b>	Βακαριό	0.788
<b>Κατάφυτο</b>	-	-
<b>Μικρό Περιστέρι</b>	Μέτσοβο	0.596
<b>Περτούλι</b>	Ελάτη & Στουρναρέικα	0.765
<b>Μέτσοβο</b>	Μικρό & Περιστέρι & Κατάφυτο	0.579
<b>Χρυσομυλιά</b>	-	-

### Λεκάνη απορροής Συκιάς:

Πίνακας 4.3.2: Σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή της χρονοσειράς βροχόπτωσης της λεκάνης απορροής Συκιάς και οι αντίστοιχοι συντελεστές συσχέτισης

Όνομα σταθμού	Σταθμοί συμπλήρωσης	Συντελεστής συσχέτισης r
Φράζος	Θεοδώριανα	0.517
Στουρναρέικα	Περτούλι & Βροντερό & Ελάτη	0.84
Πολυνέρι	Θεοδώριανα	0.53
Μεσοχώρα	Θεοδώριανα	0.617
Μπεζούλα	-	-
Θεοδώριανα	Βακαριό	0.788
Κατάφυτο	-	-
Αργιθέα	Στουρναρέικα & Μουζάκι	0.607
Κερασιά	Δρακότρυπα	0.678
Πηγές	Αρδάνοβο	0.655

### Λεκάνη απορροής Μουζακίου:

Πίνακας 4.3.3: Σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή της χρονοσειράς βροχόπτωσης της λεκάνης απορροής Μουζακίου και οι αντίστοιχοι συντελεστές συσχέτισης

Όνομα σταθμού	Σταθμοί συμπλήρωσης	Συντελεστής συσχέτισης r
Δρακότρυπα	Μουζάκι & Στουρναρέικα	0.842
Κερασιά	Δρακότρυπα	0.678
Μουζάκι (Παλαιομονάστηρο)	Δρακότρυπα & Μπεζούλα & Αργιθέα	0.523
Αργιθέα	Στουρναρέικα & Μουζάκι	0.607

### Λεκάνη απορροής Πύλης:

Πίνακας 4.3.4: Σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή της χρονοσειράς βροχόπτωσης της λεκάνης απορροής Πύλης και οι αντίστοιχοι συντελεστές συσχέτισης

Όνομα σταθμού	Σταθμοί συμπλήρωσης	Συντελεστής συσχέτισης r
Στουρναρέικα	Περτούλι & Βροντερό & Ελάτη	0.84
Ελάτη	Αργιθέα & Δρακότρυπα & Βροντερό & Περτούλι & Στουρναρέικα	0.783
Βροντερό	Περτούλι & Ελάτη & Στουρναρέικα	0.90
Δρακότρυπα	Μουζάκι & Στουρναρέικα	0.84
Αργιθέα	Στουρναρέικα & Μουζάκι	0.607

### Υπόλοιποι σταθμοί:

Πίνακας 4.3.5: Σταθμοί των οποίων ο συντελεστής συσχέτισης κρίθηκε ακατάλληλος για συμπλήρωση

Όνομα σταθμού	Σταθμοί συμπλήρωσης	Συντελεστής συσχέτισης r
Αγνάντα	-	-
Ανω Καλεντίνη	-	-
Αρδάνοβο	-	-
Δροσοπυγή	-	-
Καταφυλιό	-	-

Σημειώνεται ότι δεν συμπληρώθηκαν όλοι οι σταθμοί, καθώς ορισμένοι δεν είχαν κοινές περιόδους παρατηρούμενων τιμών. Αφού συμπληρώθηκαν οι σταθμοί, οι ημερήσιες τιμές συναθροίστηκαν σε μηνιαίες, για καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων.

Βασική προϋπόθεση της συνάθροισης είναι η ύπαρξη σταθερού – αυστηρού χρονικού βήματος. Στην παρούσα περίπτωση, οι ημερήσιες τιμές συναθροίστηκαν σε μηνιαίες βάση του τύπου:

$$T' = \sum_d x_i$$

(4.3.13)

Όπου  $T'$  η νέα χρονοσειρά μηνιαίου βήματος και  $x_i$  τα ημερήσια βήματα και  $d$  το χρονικό διάστημα για το οποίο πραγματοποιείται η συνάθροιση της αρχικής χρονοσειράς. Περιορισμός της συνάθροισης ορίστηκε πως εάν σε έναν μήνα παρουσιάζονται άνω των δύο τιμών που λείπουν, το αποτέλεσμα θα είναι κενή τιμή (Null). Αυτό εξασφαλίζει την ακρίβεια των αποτελεσμάτων και αυστηροποιεί τα κριτήρια επιλογής των κοινών ετών για τα οποία θα εξαχθεί η βροχοβαθμίδα.

#### **4.3.6. Υψομετρική αναγωγή – εκτίμηση βροχοβαθμίδας**

Η σημειακή βροχομετρική πληροφορία απαιτεί, για να εκτιμηθεί το υδατικό ισοζύγιο μίας λεκάνης απορροής, να ολοκληρωθεί στην επιφάνεια  $S$  της λεκάνης αυτής. Η ολοκλήρωση αυτή μπορεί να γίνει με δύο, κυρίως, κατηγορίες μεθόδων, την άμεση ολοκλήρωση και την προσαρμογή επιφάνειας. Η βροχόπτωση παρουσιάζει γεωγραφική μεταβλητότητα, καθώς είναι εμφανής η επίδραση της γειτνίασης με τη θάλασσα και της ορογραφίας μίας περιοχής.

Η σημαντική αύξηση της απόστασης ενός σημείου από την θάλασσα οδηγεί σε χαμηλότερα ύψη βροχής, μόνο βέβαια στις περιπτώσεις όπου ο άνεμος έχει φορά από της θάλασσα προς την ξηρά. Επίσης, μεγάλες οροσειρές που παρεμβάλλονται στην πορεία των ανέμων συνεισφέρουν ώστε ένα σημαντικό μέρος της μεταφερόμενης υγρασίας να υγροποιείται και πέφτει με την μορφή βροχής. Έτσι, παρατηρούνται διαφορετικά ύψη βροχής στην προσήνεμη και την υπήνεμη πλευράς της οροσειράς, με την δεύτερη να χαρακτηρίζεται περιοχή ομβροσκίας. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου φαινομένου αποτελεί η οροσειρά της Πίνδου, όπου στην Δυτική πλευρά της (περιοχή Δυτικής Ελλάδος, Αχελώου) παρουσιάζονται σημαντικά μεγαλύτερα μέσα ετήσια ύψη βροχής, από την Ανατολική πλευρά της οροσειράς (περιοχή Δυτικής Θεσσαλίας, Μουζάκι, Πύλη). Μία επιπλέον επίδραση της ορογραφίας, είναι η αύξηση του ύψους βροχής όσο αυξάνεται το υψόμετρο. Η βροχομετρική βαθμίδα ορίζεται ως η μέση αύξηση του ετήσιου ύψους βροχής σε mm ανά μονάδα υψομέτρου. Ενδεικτικές θεωρούνται οι τιμές από 0.5 έως 2 mm αύξηση του ύψους βροχής, ανά 1 m αύξησης υψομέτρου. Τέλος, η αύξηση του υψομέτρου επηρεάζει και την χιονόπτωση, λόγω της μείωσης της θερμοκρασίας σε μεγαλύτερα υψόμετρα, η οποία προστίθεται και αυτή στο συνολικό ύψος κατακρημνισμάτων.

Μετά την συμπλήρωση των πρωτογενών δεδομένων και την δημιουργία ιστορικών μηνιαίων χρονοσειρών κρίθηκε αναγκαία η αναγωγή τους βάσει υψομέτρου με χρήση της βροχομετρικής βαθμίδας. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι οι σταθμοί δεν είναι αντιπροσωπευτικά τοποθετημένοι σε διάφορες περιοχές αλλά συνηθέστερα στις πιο πεδινές περιοχές. Η διόρθωση

του ύψους βροχής μπορεί να επιτευχθεί με τον υπολογισμό του συντελεστή βροχοβαθμίδας με μέθοδο άμεσης ολοκλήρωσης. Οι μέθοδοι αυτές εκτιμούν την επιφανειακή βροχόπτωση μίας λεκάνης ως γραμμικό συνδυασμό των σημειακών βροχοπτώσεων των σταθμών που βρίσκονται είτε μέσα σε αυτές, είτε κοντά σε αυτές, βάση της σχέσης:

$$h_s = \sum_{i=1}^k (w_i \times h_i)$$

(4.3.14)

Όπου  $h_s$  τι επιφανειακό ύψος βροχής,  $h_i$  το σημειακό ύψος για τους  $k$  σταθμούς της περιοχής και  $w_i$  το βάρος του κάθε σταθμού που επηρεάζει. Για τον καθορισμό του βάρους κάθε σταθμού χρησιμοποιείται η μέθοδος Thiessen (Δ. Κουτσογιάννης Θ. Ξ., 1997).

Σύμφωνα με την μέθοδο Thiessen, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 4.2, ο συντελεστής βάρους κάθε σταθμού αντιστοιχεί στο ποσοστό εμβαδού της λεκάνης απορροής που επηρεάζει, δηλαδή από την σχέση (4.2.2). Στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 4.3.6, Πίνακας 4.3.7, Πίνακας 4.3.8, Πίνακας 4.3.9) παρουσιάζονται οι σταθμοί της κάθε λεκάνης απορροής με τα αντίστοιχα βάρη τους. Σταθμοί με πολύ χαμηλό ποσοστό επιρροής αγνοήθηκαν.

Λεκάνη απορροής Μεσοχώρας:

Πίνακας 4.3.6: Σταθμοί λεκάνης απορροής Μεσοχώρας με τα αντίστοιχα βάρη

Όνομα σταθμού	Βάρος $w_i$
<b>Κιπίνα</b>	0.044
<b>Στουρναρέικα</b>	0.057
<b>Πολυνέρι</b>	0.016
<b>Μεσοχώρα</b>	0.214
<b>Βροντερό</b>	0.011
<b>Θεοδώριανα</b>	0.031
<b>Κατάφυτο</b>	0.411
<b>Μικρό Περιστέρι</b>	0.019
<b>Περτούλι</b>	0.166
<b>Μέτσοβο</b>	0.01

Χρυσομυλιά	0.021
------------	-------

Λεκάνη απορροής Συκιάς:

Πίνακας 4.3.7: Σταθμοί λεκάνης απορροής Συκιάς με τα αντίστοιχα βάρη

Όνομα σταθμού	Βάρος $w_i$
Φράζος	0.081
Στουρναρέικα	0.006
Πολυνέρι	0.251
Μεσοχώρα	0.006
Μπεζούλα	0.063
Θεοδώριανα	0.068
Κατάφυτο	0.185
Αργιθέα	0.274
Κερασιά	0.01

Λεκάνη απορροής Μουζακίου:

Πίνακας 4.3.8: Σταθμοί λεκάνης απορροής Μουζακίου με τα αντίστοιχα βάρη

Όνομα σταθμού	Βάρος $w_i$
Δρακότρυπα	0.461
Κερασιά	0.274
Μουζάκι (Παλαιομονάστηρο)	0.155
Αργιθέα	0.11

## Λεκάνη απορροής Πύλης:

Πίνακας 4.3.9:: Σταθμοί λεκάνης απορροής Πύλης με τα αντίστοιχα βάρη

Όνομα σταθμού	Βάρος $w_i$
Στουρναρέικα	0.418
Ελάτη	0.201
Βροντερό	0.154
Δρακότρυπα	0.119
Αργιθέα	0.106

Το μέσο σταθμισμένο υψόμετρο  $z_\sigma$  υπολογίζεται βάση αυτών των συντελεστών  $w_i$ , με τον τύπο:

$$z_\sigma = \sum_{i=1}^k w_i \times z_i$$

(4.3.1)

Όπου  $z_i$  το υψόμετρο κάθε σταθμού. Με την βοήθεια του QGIS υπολογίζεται το μέσο υψόμετρο της κάθε λεκάνης  $z_s$ . Καθώς η προϋπόθεση  $z_\sigma \approx z_s$  δεν ισχύει πρέπει να προστεθεί η διόρθωση:

$$\Delta h_s = \beta \times (z_s - z_\sigma)$$

(4.3.2)

Όπου  $\beta$  η βροχομετρική βαθμίδα. Η τελική διορθωμένη τιμή του επιφανειακού ύψους βροχής είναι:

$$h'_s = h_s + \Delta h_s = h_s + \beta \times (z_s - z_\sigma)$$

(4.3.3)

Επιλέχθηκε η εξαγωγή κοινής βροχομετρικής βαθμίδας για τις λεκάνες απορροής Μεσοχώρας και Συκιάς και κοινή για τις λεκάνες Μουζακίου και Πύλης.

Για την εξαγωγή της βροχομετρικής βαθμίδας, επιλέχθηκαν τα κοινά έτη όλων των σταθμών που είχαν τουλάχιστον το 75% των δεδομένων τους συμπληρωμένο. Τα έτη που επιλέχθηκαν για την βροχοβαθμίδα της λεκάνης Μεσοχώρας και Συκιάς είναι τα υδρολογικά έτη 2001 – 2002 έως και 2017 – 2018, ενώ για τις λεκάνες Μουζακίου και Πύλης τα έτη 2004 – 2005 έως και 2014 – 2015. Για τα έτη αυτά οι μηνιαίες τιμές αθροίστηκαν σε ετήσιες, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο



4.3.5. Τέθηκαν οι σταθμοί των δύο περιοχών σε αύξουσα σειρά, βάση υψόμετρου. Συσχετίστηκε το υψόμετρο με το μέσο ετήσιο ύψος βροχής του κάθε σταθμού για τα επιλεγμένα χρόνια με το υψόμετρο του κάθε σταθμού. Στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 4.3.10, Πίνακας 4.3.11) παρουσιάζονται τα στοιχεία αυτά.

Πίνακας 4.3.10: Σταθμοί περιοχής Αχελώου και το μέσο ετήσιο ύψος βροχής τους

Σταθμός	Υψόμετρο	Μέσο ετήσιο ύψος βροχής
Μουζάκι	225.3	612.79
Πηγές	561.5	773.21
Δρακότρυπα	574.2	1636.58
Κιτίνα	650.0	1621.75
Φράξος	700.0	1807.02
Στουρναρέικα	761.5	1945.00
Πολυνέρι	801.79	2197.16
Μεσοχώρα	848.79	1871.49
Βροντερό	853.5	1655.24
Ελάτη	908.9	1510.39
Χρυσομυλιά	911	1270.61
Μπεζούλα	931.3	1607.79
Θεοδώριανα	947.5	2455.22
Αργιθέα	992.5	1508.67
Κερασιά	1000	1526.38
Κατάφυτο	1018.4	918.16
Μικρό Περιστέρι	1040	1322.56
Περτούλι	1140.1	1454.21
Μέτσοβο	1149.5	1387.85

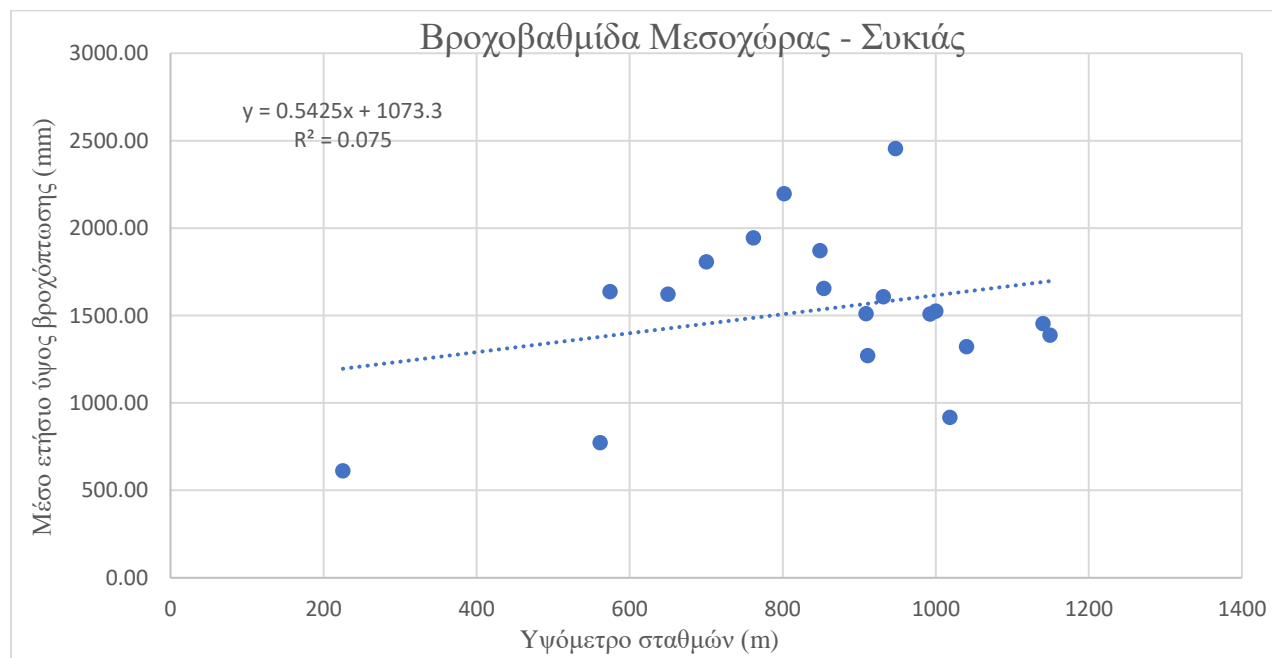
Πίνακας 4.3.11: Σταθμοί περιοχής Δυτικής Θεσσαλίας και το μέσο ετήσιο ύψος βροχής τους

Σταθμός	Υψόμετρο	Μέσο ετήσιο ύψος βροχής
Μουζάκι	225.3	577.27
Μεγάλη Κερασιά	509	917.99
Δρακότρυπα	574.2	1602.80
Στουρναρέικα	761.5	2004.29
Βροντερό	853.5	1663.02
Ελάτη	908.9	1529.81
Χρυσομυλιά	911.1	1280.60
Μπεζούλα	931.3	1617.02
Αργιθέα	992.5	1588.69
Κερασιά	1000.0	1540.07
Περτούλι	1140.1	1500.96

Οι παραπάνω πίνακας παρουσιάζονται και γραφικά (Εικόνα 4.3.1, Εικόνα 4.3.2) με την εκάστοτε εξίσωση που αντιπροσωπεύει βέλτιστα το κάθε δείγμα.

Για τον Στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 4.3.10, Πίνακας 4.3.11) παρουσιάζονται τα στοιχεία αυτά.

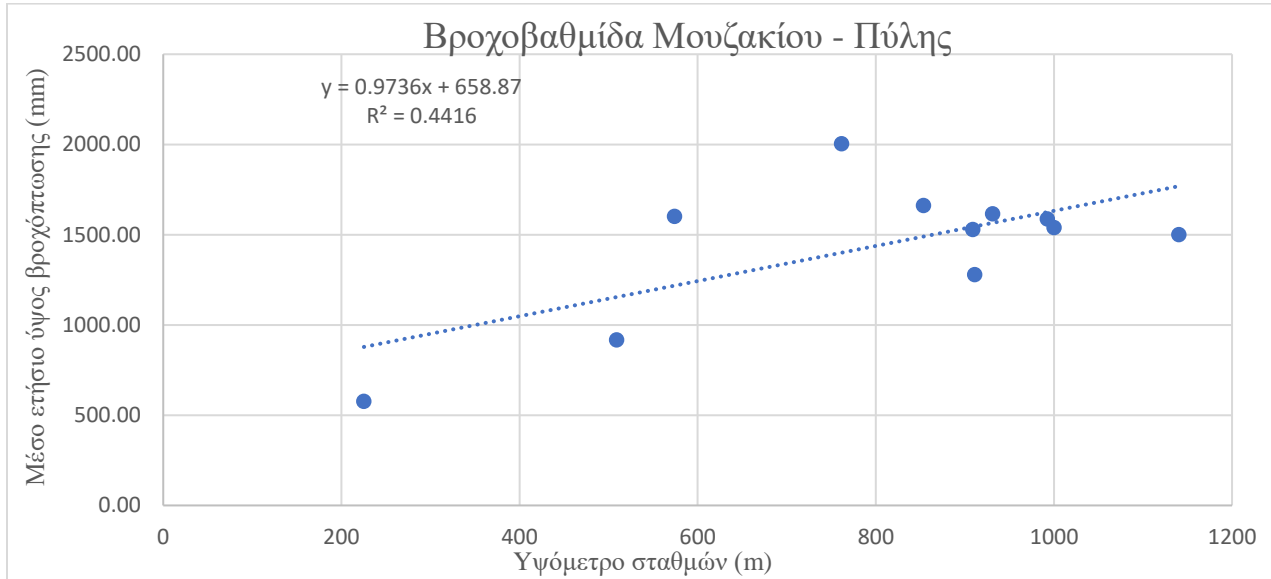
Πίνακας 4.3.10:



Εικόνα 4.3.1: Συσχέτιση μέσου ετήσιου ύψους βροχής και υψόμετρου στην περιοχή Αχελώου

Από τον πίνακα αυτόν εξάγεται ο συντελεστής  $\beta$ , της εξίσωσης της ευθείας  $\beta = 0.5425$ , ο οποίος είναι και η βροχομετρική βαθμίδα της περιοχής Μεσοχώρα – Συκιά.

Για τον Πίνακα 4.3.11:



Εικόνα 4.3.2: Συσχέτιση μέσου ετήσιου ύψους βροχής και υψομέτρου στην περιοχή Δυτικής Θεσσαλίας

Από τον πίνακα αυτόν προκύπτει όπως και παραπάνω η βροχομετρική βαθμίδα  $\beta = 0.97$  της περιοχής Μουζακίου – Πύλης.

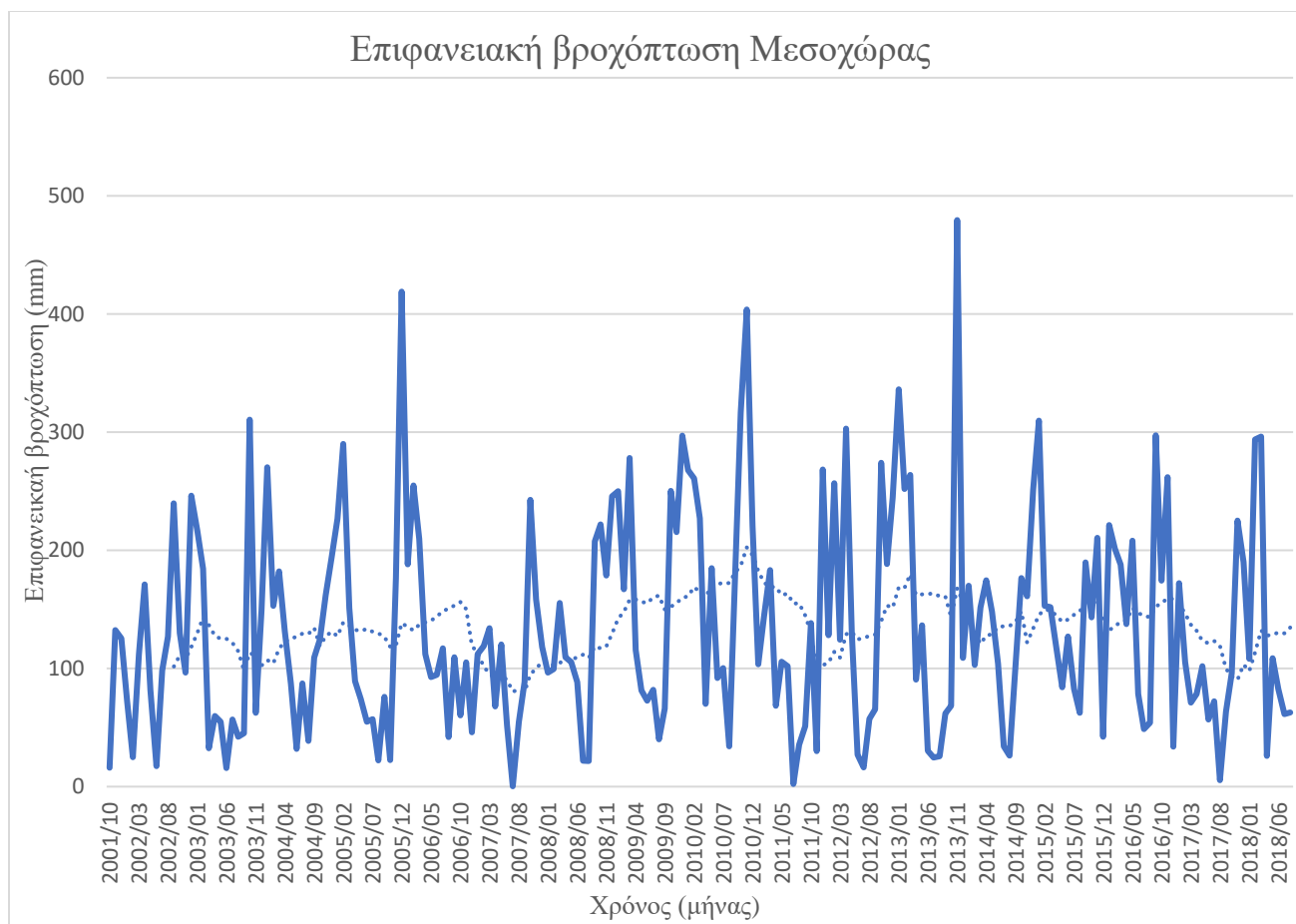
Η εξίσωση (4.3.3) γράφεται αλλιώς ως:

$$h'_s = \lambda \times h_s \quad (4.3.4)$$

Το  $\lambda$  ονομάζεται συντελεστής υψομετρικής αναγωγής και υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\lambda = 1 + \beta \times \frac{z_s - z_\sigma}{h_s} \quad (4.3.5)$$

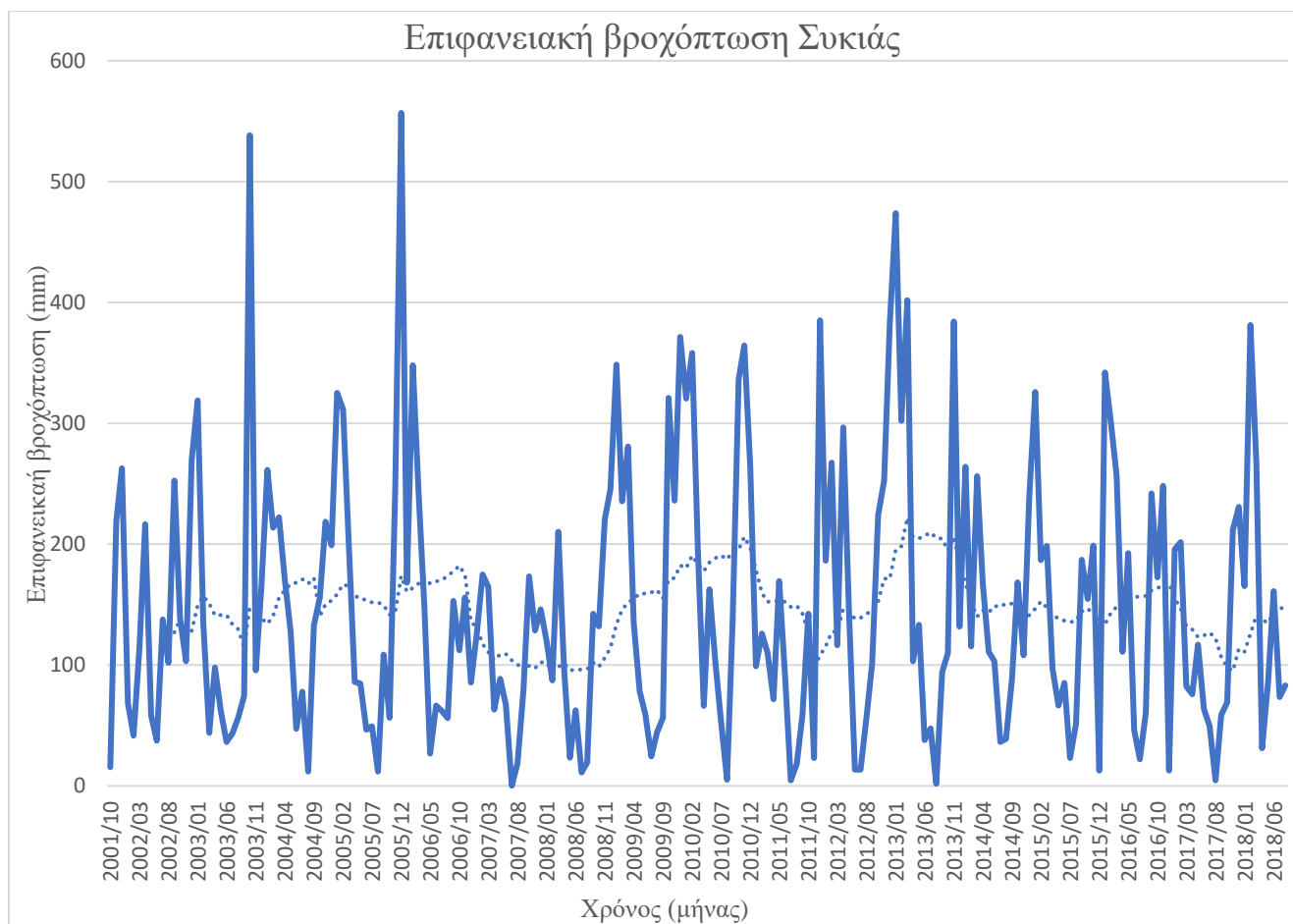
Για κάθε λεκάνη απορροής υπολογίστηκε η επιφανειακή της βροχόπτωση. Παρακάτω παρουσιάζεται σε μηνιαίο βήμα (Εικόνα 4.3.3, Εικόνα 4.3.4, Εικόνα 4.3.5, Εικόνα 4.3.6) καθώς και τα στατιστικά χαρακτηριστικά της, μέση τιμή, τυπική απόκλιση και μέγιστη – ελάχιστη τιμή κάθε μήνα (Πίνακας 4.3.12, Πίνακας 4.3.13, Πίνακας 4.3.14, Πίνακας 4.3.15):



Εικόνα 4.3.3: Γραφική αναπαράσταση της επιφανειακής βροχόπτωσης Μεσοχώρας και ο κυλιόμενος μέσος όρος

Πίνακας 4.3.12: Στατιστικά χαρακτηριστικά μηνιαίας βροχόπτωσης Μεσοχώρας

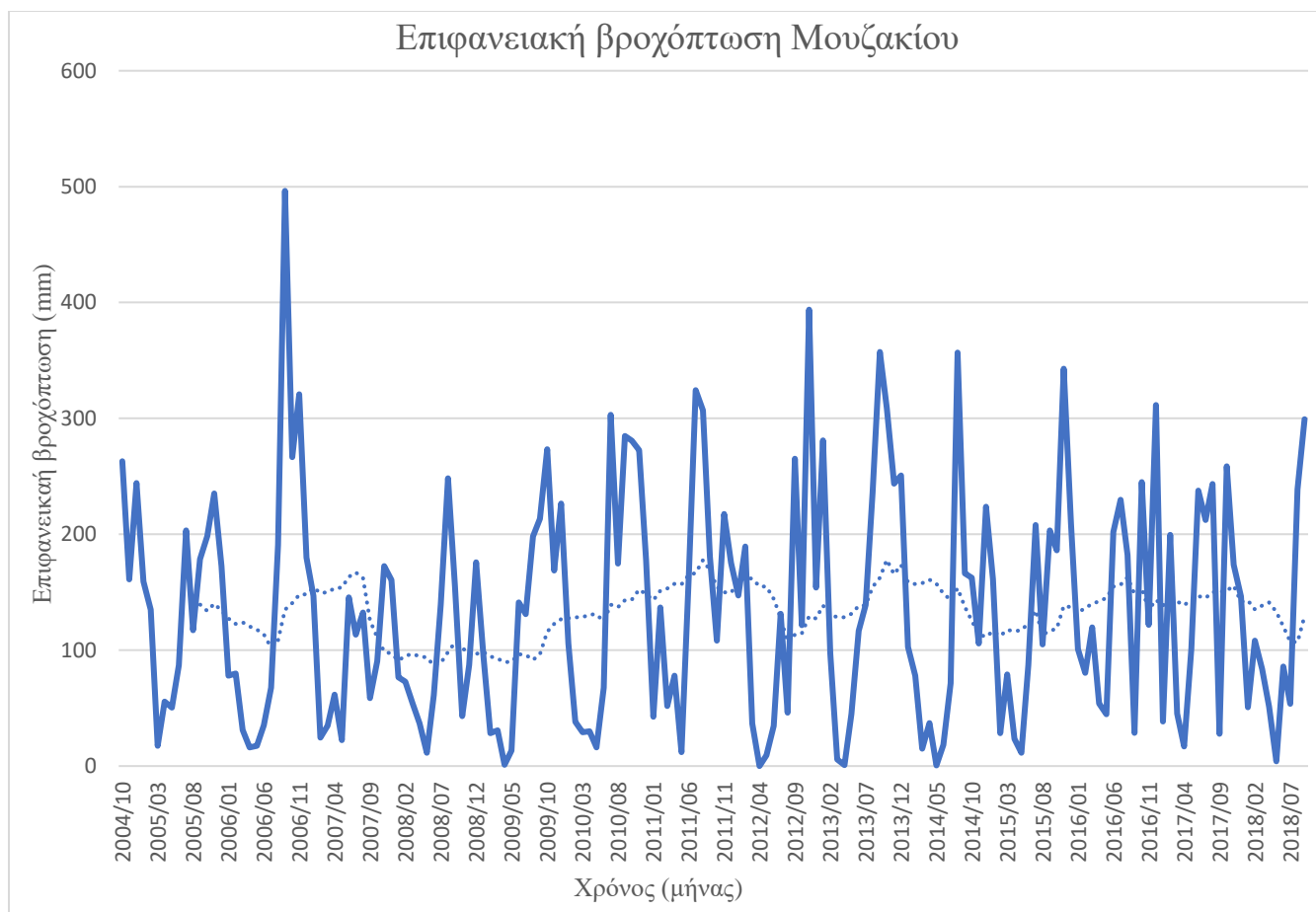
Μήνας	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάιος	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπτ	Οκτ	Νοεμ	Δεκ
Μέσος όρος	162.76	191.07	188.31	191.18	180.19	171.30	113.06	112.11	66.34	56.64	44.23	121.87
Τυπική απόκλιση	94.97	112.08	102.64	79.93	78.03	70.06	62.64	39.80	33.75	35.71	26.58	76.41
Μέγιστη τιμή	316.60	479.50	418.99	336.33	293.86	296.27	303.03	208.06	127.04	117.03	127.01	297.33
Ελάχιστη τιμή	16.10	30.14	33.75	72.35	24.94	32.42	26.08	54.80	15.63	0.28	5.47	45.13



Εικόνα 4.3.4: Γραφική αναπαράσταση της επιφανειακής βροχόπτωσης Συκιάς και ο κυλιόμενος μέσος όρος

Πίνακας 4.3.13: Στατιστικά χαρακτηριστικά μηνιαίας βροχόπτωσης Συκιάς

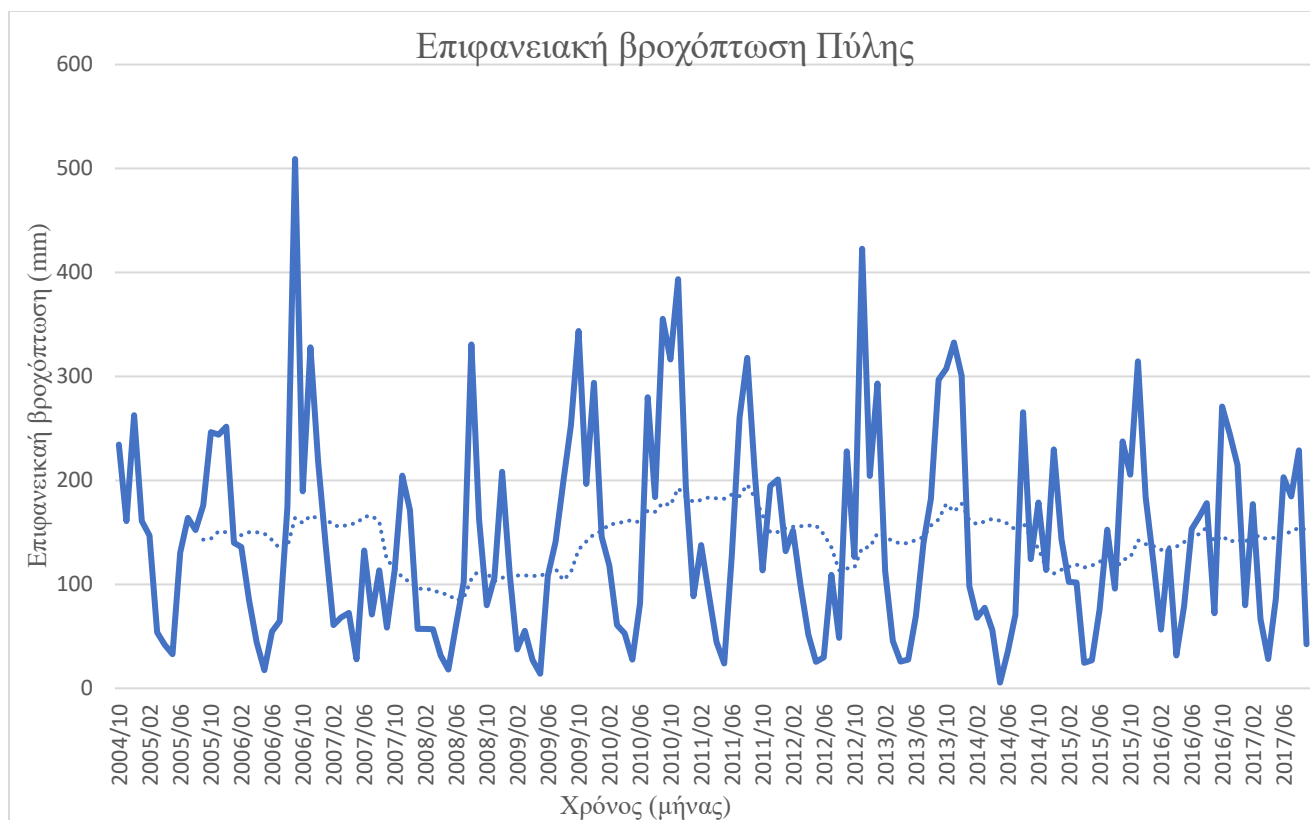
Μήνας	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάιος	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπτ	Οκτ	Νοεμ	Δεκ
Μέσος όρος	177.70	200.89	232.90	241.65	222.71	198.09	119.77	101.87	66.21	42.87	37.67	122.88
Τυπική απόκλιση	123.95	92.85	140.38	111.25	101.68	84.45	65.05	48.94	34.55	33.68	29.44	61.32
Μέγιστη τιμή	538.52	384.29	556.86	474.00	381.25	401.95	296.70	192.65	161.10	137.77	101.74	252.54
Ελάχιστη τιμή	15.48	22.94	12.55	68.54	.41.50	43.73	31.03	23.34	13.55	0.11	1.73	56.33



Εικόνα 4.3.5: Γραφική αναπαράσταση της επιφανειακής βροχόπτωσης Μουζακίου και ο κυλιόμενος μέσος όρος

Πίνακας 4.3.14: Στατιστικά χαρακτηριστικά μηνιαίας βροχόπτωσης Μουζακίου

Μήνας	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάιος	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπτ	Οκτ	Νοεμ	Δεκ
<b>Μέσος όρος</b>	200.46	215.56	200.54	113.35	92.64	45.34	33.06	25.71	105.90	116.28	198.32	208.27
<b>Τυπική απόκλιση</b>	88.41	91.86	46.18	63.59	56.51	30.85	24.73	26.83	65.16	73.71	82.34	128.93
<b>Μέγιστη τιμή</b>	608.96	393.88	311.58	281.10	199.46	119.72	77.97	101.43	237.82	324.40	356.71	496.35
<b>Ελάχιστη τιμή</b>	43.01	87.15	146.43	38.55	24.60	5.64	0.00	0.58	18.15	53.79	46.21	27.94



Εικόνα 4.3.6: Γραφική αναπαράσταση της επιφανειακής βροχόπτωσης Πύλης και ο κυλιόμενος μέσος όρος

Πίνακας 4.3.15: Στατιστικά χαρακτηριστικά μηνιαίας βροχόπτωσης Πύλης

Μήνας	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάιος	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπτ	Οκτ	Νοεμ	Δεκ
Μέσος όρος	209.68	250.57	225.79	131.25	104.83	76.38	40.92	31.72	97.24	146.56	190.00	209.28
Τυπική απόκλιση	85.81	101.06	40.38	57.14	44.64	24.72	14.48	23.76	50.73	67.37	81.81	129.69
Μέγιστη τιμή	343.63	422.73	300.77	293.15	177.08	133.24	72.44	86.32	203.20	279.95	330.73	509.13
Ελάχιστη τιμή	49.83	106.83	171.38	47.03	37.57	45.53	24.59	5.51	29.80	64.53	48.72	42.48

#### 4.4. Υπολογισμός δυνητικής εξατμισοδιαπνοής

Ο όρος της εξάτμισης εκφράζει ποσοτικά την μετατροπή του νερού από την υγρή μορφή σε αέρια (υδρατμοί). Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την εξάτμιση είναι οι εξής:

- Διαθεσιμότητα νερού σε υγρή φάση

- Διαθεσιμότητα ενέργειας (ηλιακής) στην επιφάνεια του νερού
- Ευκολία διάχυσης των υδρατμών στην ατμόσφαιρα

Ο όρος της διαπνοή εκφράζει την μετατροπή του νερού σε υδρατμούς από τους πόρους της χλωρίδας. Η διαδικασία αυτή είναι ζωτικής σημασίας για τα φυτά και γίνεται ελεγχόμενα από τα ίδια, σε αντίθεση με την εξάτμιση.

Το σύνολο των απωλειών νερού από επιφάνειες και από την διαπνοή των φυτών ονομάζεται εξατμισοδιαπνοή. Η ποσότητά της που λαμβάνεται από το έδαφος, πλήρως και ομοιόμορφα καλυμμένο από αναπτυσσόμενη χλωρίδα, υπό συνθήκες απεριόριστης διαθεσιμότητας νερού ονομάζεται δυνητική εξατμισοδιαπνοή (Brutsaert, 1982). Προφανώς, η πραγματική εξατμισοδιαπνοή είναι μικρότερη από την δυνητική.

Η εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής έγινε με την μέθοδο Penman – Monteith. Αρχικά ο Penman συνδύασε δύο παλαιότερες μεθόδους υπολογισμού και κατέστησε εφικτό τον υπολογισμό με την χρήση των εξής παραμέτρων:

- Θερμοκρασία T, °C
- Σχετική υγρασία U, %
- Ταχύτητα ανέμου u, m/s
- Σχετική ηλιοφάνεια n/N, %

Με την συμβολή του Monteith εισάχθηκε η έννοια της επιφανειακής αντίστασης  $r_s$ , δηλαδή η ελεγχόμενη αντίσταση της χλωρίδας στην εξάτμιση από τα φυλλώματα.

Οι εξισώσεις Penman – Monteith είναι οι εξής:

$$E' = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma'} \times \frac{R_n}{\lambda} + \frac{\rho_a c_p}{(\Delta + \gamma') \times \lambda \times r_a} \times D$$

(4.4.1)

Όπου:

$$\gamma' = \gamma \times \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)$$

(4.4.2)



Η εξίσωση Penman – Monteith εμπίπτει στην εξίσωση του Penman, σε περιπτώσεις υδάτινης επιφάνειας, όπου  $r_s = 0$  και  $\gamma' = \gamma$ .

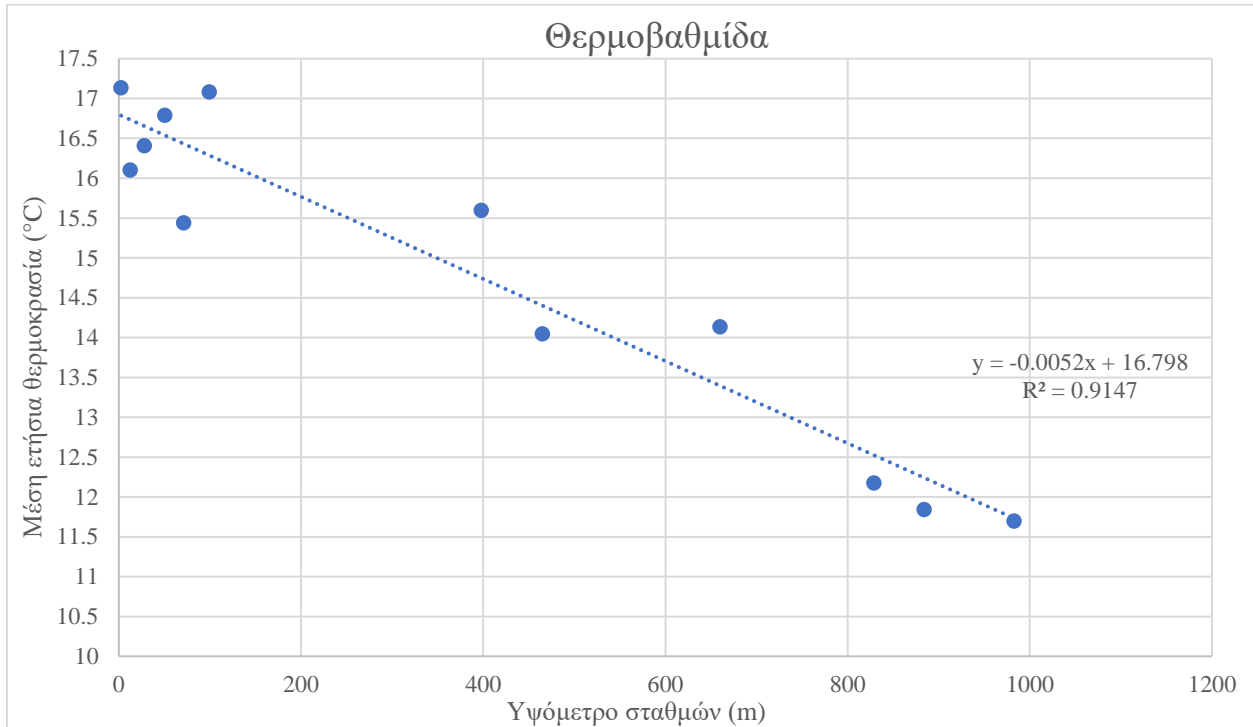
Για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ. Τα απαιτούμενα, όπως παρατέθηκαν παραπάνω, δεδομένα συλλέχθηκαν από μετεωρολογικούς σταθμούς της Δημόσιας Υπηρεσίας Ενέργειας (ΔΕΗ) .

Αντίστοιχα με τις μετρήσεις της βροχόπτωσης, έγινε αναγωγή των θερμοκρασιακών δεδομένων βάση του υψόμετρου, καθώς οι μεγάλες διακυμάνσεις αυτού θα οδηγούσαν σε μη ακριβή αποτελέσματα. Επιλέχθηκαν 7 υδρολογικά έτη, από το 1980 - 1981 έως και 1986 – 1987. Υπολογίστηκε για κάθε σταθμό η μέση ετήσια θερμοκρασία και συναρτήσει του υψόμετρου εγκατάστασης του κάθε σταθμού, τέθηκαν σε αύξουσα σειρά και παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.4.1:

Πίνακας 4.4.1: Μετεωρολογικοί σταθμοί, το υψόμετρό τους και η μέση ετήσια θερμοκρασία τους

Σταθμός	Υψόμετρο	Μ.Ε.Θ
Πρέβεζα (Ακτιο)	2.4	17.14
Αγχίαλος	12.4	16.10
Άρτα	28.0	16.41
Αετός	50.3	16.79
Λάρισα	71.0	15.44
Φράγμα Λούρου	99.1	17.08
Κρεμαστά	397.8	15.60
Κόνιτσα	464.9	14.05
Ιωάννινα	660.0	14.14
Χρυσοβίτσα	828.9	12.18
Βουρμπιάνη	884.1	11.84
Βοβούσα	982.6	11.70

Παρόμοια με την βροχομετρική βαθμίδα, υπολογίζεται η θερμοβαθμίδα. Δηλαδή υπολογίζεται η βέλτιστη γραμμική σχέση που εκφράζει τα δεδομένα. Η σχέση αυτή παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.4.1:



Εικόνα 4.4.1: Συσχέτιση μέσης ετήσιας θερμοκρασίας και υψόμετρου

Από την εξίσωση της ευθείας προκύπτει ο συντελεστής  $\beta' = -0.0052$ , το αρνητικό πρόσημο είναι εύλογο, καθώς σε αντίθεση με την κατακρήμνιση, οι σταθμοί σε μεγαλύτερο υψόμετρο παρουσιάζουν μειωμένη θερμοκρασία σε σχέση με αυτούς σε χαμηλότερα υψόμετρα.

Πραγματοποιείται αναγωγή της θερμοβαθμίδας βάση υψόμετρου χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$T_s = T_\sigma - \alpha \times (z_s - z_\sigma)$$

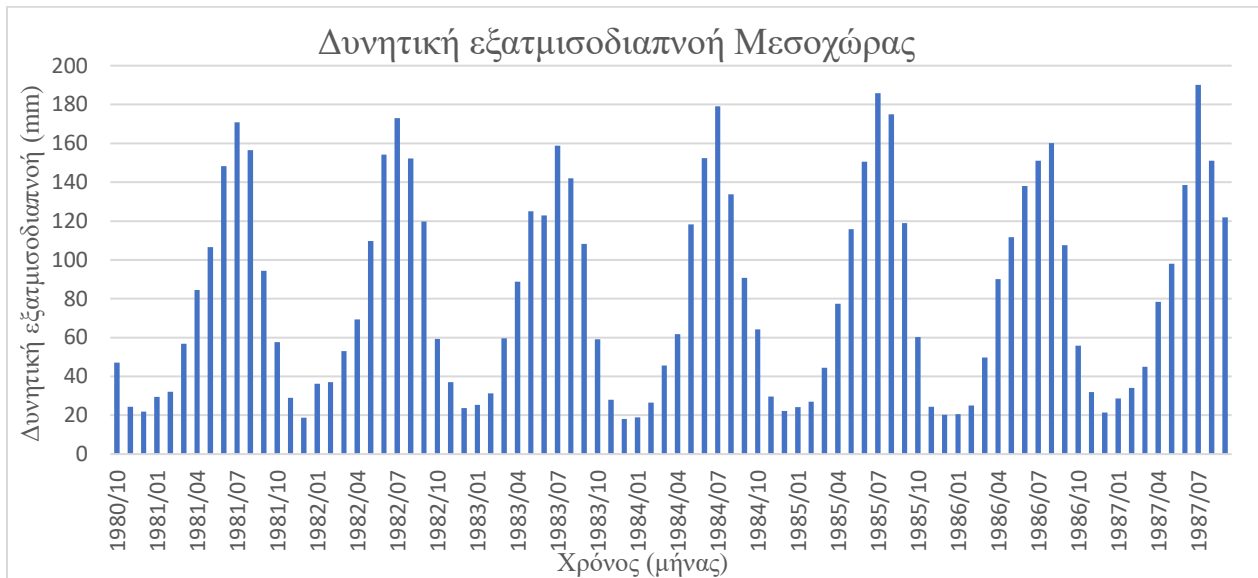
(4.4.1)

Όπου:

- $T_\sigma$ : μετρημένες τιμές θερμοκρασίας στο ύψος του κάθε σταθμού
- $\alpha$ : συντελεστής αναγωγής – θερμοβαθμίδα
- $Z_s$ : μέσο υψόμετρο λεκάνης
- $Z_\sigma$ : μέσο υψόμετρο σταθμών

Τα δεδομένα σχετικής υγρασίας U, ταχύτητας ανέμου u, σχετικής ηλιοφάνειας n/N συλλέχθηκαν από τον μετεωρολογικό σταθμό Λάρισας.

Στην Εικόνα 4.4.2 παρουσιάζεται ενδεικτικά η δυνητική εξατμισοδιαπνοή Μεσοχώρας, παρόμοια χαρακτηριστικά παρουσιάζουν τα διαγράμματα για τις υπόλοιπες λεκάνες απορροής.



Εικόνα 4.4.2: Δυνητική εξατμισοδιαπνοή Μεσοχώρας

Παρατηρείται η έντονη διακύμανση ανάμεσα στους χειμερινούς και εαρινούς μήνες.

#### 4.5. Παραγωγή προσομοιωμένης χρονοσειράς εισροών

Για την δημιουργία του μοντέλου απορροής, έγινε η παραδοχή ότι περιγράφεται πλήρως από μία σειρά δεξαμενών. Τα δεδομένα εισόδου είναι τα εξής:

- Οι χρονοσειρές κατακρήμισης
- Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή PET

Αρχικά, έγινε η παραδοχή ότι η βροχόπτωση αποθηκεύεται σε μία προσωρινή δεξαμενή, από την οποία γίνεται η απόληψη της άμεσης εξατμισοδιαπνοής βάση της σχέσης:

$$ET_D = \min (PET, P)$$

(4.5.1)

Η εναπομένουσα βροχόπτωση μετατρέπεται σε άμεση απορροή, ήτοι:

$$Q_D = v \times (P - ET_D) \quad (4.5.2)$$

Ο συντελεστής επιφανειακής απορροής  $v$  δεν είναι σταθερός, αλλά εξαρτάται από τις συνθήκες εδαφικού κορεσμού και εκτιμήθηκε βάση της Soil Conservation Service, βάση της σχέσης:

$$v = \frac{P - ET_D}{P - ET_D + K - S} \quad (4.5.3)$$

Όπου

- $K$ : η χωρητικότητα της ακόρεστης ζώνης
- $S$ : η αποθηκευμένη ποσότητα υγρασίας στην ακόρεστη ζώνη

Στη συνέχεια, θεωρήθηκε η ακόρεστη ζώνη, με χωρητικότητα  $K$  και ποσότητα αποθηκευμένης υγρασίας  $S$ . Το μέγεθος  $K$  είναι παράμετρος του μοντέλου, ενώ το  $S$  είναι μεταβλητή. Για τον υπολογισμό του  $S$  λαμβάνεται υπόψιν η αποθηκευμένη ποσότητα του προηγούμενου βήματος. Η ποσότητα που κατεισδύει είναι ίση με:

$$INF = P - Q_D - ET_D \quad (4.5.4)$$

Συνεπώς, η αποθηκευμένη υγρασία στο κάθε βήμα υπολογίζεται ως εξής:

$$S = S_0 + INF \quad (4.5.5)$$

Από την ενδιάμεση αυτή δεξαμενή πραγματοποιούνται τριών ειδών εκροές. Η πρώτη που υπολογίστηκε είναι αυτή της εδαφικής εξατμισιοδιαπνοής. Στην περίπτωση όπου η επιφανειακή δεξαμενή δεν επαρκεί για να καλύψει την ζήτηση για εξατμοδιαπνοή, δηλαδή εάν  $P < ET_D$ , τότε η εναπομένουσα ζήτηση καλύπτεται από την αποθηκευμένη εδαφική υγρασία. Αυτή η διαδικασία εκτιμάται εμπειρικά από τον τύπο:

$$ET_S = \frac{S \left( 2 - \frac{S}{K} \right) \times \tanh \left( \frac{PET - ET_D}{K} \right)}{1 + \left( 1 - \frac{S}{K} \right) \times \tanh \left( \frac{PET - ET_D}{K} \right)} \quad (4.5.6)$$

Όπου ο λόγος  $\frac{S}{K}$  υποδηλώνει το ποσοστό πλήρωσης. Οι συνολικές απώλειες λόγω εξατμισοδιαπνοής υπολογίζονται:

$$ET = ET_D + ET_S \quad (4.5.7)$$

Στη συνέχεια, υπολογίστηκε η ποσότητα του νερού που κατεισδύει στην κατώτερη δεξαμενή, τον υπόγειο υδροφόρο. Η ποσότητα αυτή θεωρείται ως ένα ποσοστό του λόγου πλήρωσης της ενδιάμεσης δεξαμενής:

$$PERC = \lambda \times S \quad (4.5.8)$$

Ο συντελεστής Στείρευσης  $\lambda$  είναι παράμετρος του μοντέλου.

Τέλος, από την δεξαμενή αυτή, όταν υπάρχει περίσσεια ποσότητα εδαφικής υγρασίας υπερχειλίζει και μαζί με την άμεση απορροή αποτελούν την επιφανειακή απορροή:

$$Q_S = \max(0, S - K) \quad (4.5.9)$$

Συνολικά το ισοζύγιο της δεξαμενής εδαφικής υγρασίας συνοψίζεται στον παρακάτω τύπο:

$$\Delta S = INF - ET_S - PERC - Q_S \quad (4.5.10)$$

Η τελική δεξαμενή, όπως αναφέρθηκε και προηγούμενος, είναι ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας. Αυτός, θεωρήθηκε ότι έχει απεριόριστη χωρητικότητα και η αποθηκευμένη ποσότητα είναι ίση με:

$$W = W_0 + PERC \quad (4.5.11)$$

Η δεξαμενή αυτή θεωρήθηκε ότι έχει ένα κατώφλι παραγωγής πηγαίας απορροής  $G$ . Δηλαδή, όταν η αποθηκευμένη ποσότητα το ξεπεράσει ξεκινάει η απορροή, η οποία ονομάζεται βασική ή πηγαία απορροή και υπολογίζεται ως εξής:

$$Q_B = \max[0, \mu \times (W - G)] \quad (4.5.12)$$

Ο συντελεστής  $\mu$  είναι παράμετρος του μοντέλου και αφορά την στείρευση για παραγωγή βασικής απορροής.

Τέλος, από τον υδροφόρο ορίζοντα υπολογίστηκαν οι διαφυγές σε γειτονικές λεκάνες με βάση του τύπο:

$$L = \alpha \times W \quad (4.5.13)$$

Ο συντελεστής  $\alpha$  αποτελεί παράμετρο του μοντέλου.

Συγκεντρωτικά, το ισοζύγιο της δεξαμενής αυτής είναι:

$$\Delta W = PERC - Q_B - L \quad (4.5.14)$$

Το χρονικό βήμα το οποίο χρησιμοποιήθηκε για το μοντέλο περιγραφής της απορροής είναι το ημερήσιο. Για τον λόγο αυτό, η επιφανειακή απορροή φτάνει στην έξοδο της λεκάνης απορροής με χρονική υστέρηση και εξομάλυνση, λόγω διόδευσης. Οι διεργασίες αυτές περιγράφονται από τον αδιάστατο συντελεστή Στείρευσης  $\theta$ . Στο τέλος κάθε χρονικού βήματος η απορροή στην έξοδο της λεκάνης θεωρείται ίση με:

$$Q = \theta \times (Q_D + Q_S) + Q_B \quad (4.5.15)$$

Εκτός των παραμέτρων που αναφέρθηκαν παραπάνω, χρησιμοποιήθηκαν και δύο αρχικές συνθήκες, που αποτελούν παραδοχές της παρούσας εργασίας.

Πρώτον, θεωρήθηκε ότι καθώς οι υπολογισμοί ξεκινούν στην αρχή του υδρολογικού έτους, τον μήνα Οκτώβρη, η δεξαμενή αποθήκευσης εδαφικής υγρασίας έχει μηδενικό απόθεμα, δηλαδή  $S_0 = 0$ . Δεύτερον, θεωρήθηκε ότι αρχικά στον υπόγειο υδροφόρο, η ποσότητα νερού είναι ίση με το κατώφλι παραγωγής πηγαίας απορροής,  $W_0 = G$ .

#### **4.5.1. Εκτίμηση παραμέτρων – παραγωγή μηνιαίων χρονοσειρών απορροής**

Χρησιμοποιώντας τις ημερήσιες χρονοσειρές βροχόπτωσης και εξατμισοδιαπνοής που αναφέρθηκαν στο 4.3 και 4.4 κατασκευάστηκαν τα υδατικά ισοζύγια, θεωρώντας τις επιμέρους παραμέτρους. Στην συνέχεια, πραγματοποιήθηκε βαθμονόμησή τους καθώς συγκρίθηκαν τα

αποτελέσματα με πραγματικά παρατηρούμενα δεδομένα απορροής της Μεσοχώρας για τις λεκάνες απορροής Μεσοχώρας και Συκιάς και του Μουζακίου για τις λεκάνες απορροής Μουζακίου και Πύλης. Χρησιμοποιήθηκε το μέτρο σύγκρισης Nash – Sutcliffe efficiency (NSE) της παραγόμενης  $Q_{sim,t}$  και της παρατηρούμενης χρονοσειράς απορροών  $Q_{obs,t}$ . Η τιμή του μέτρου αυτού εκτιμάται ως εξής:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (Q_{obs,t} - Q_{sim,t})^2}{\sum_{t=1}^n (Q_{obs,t} - \mu_{obs})^2}$$

(4.5.16)

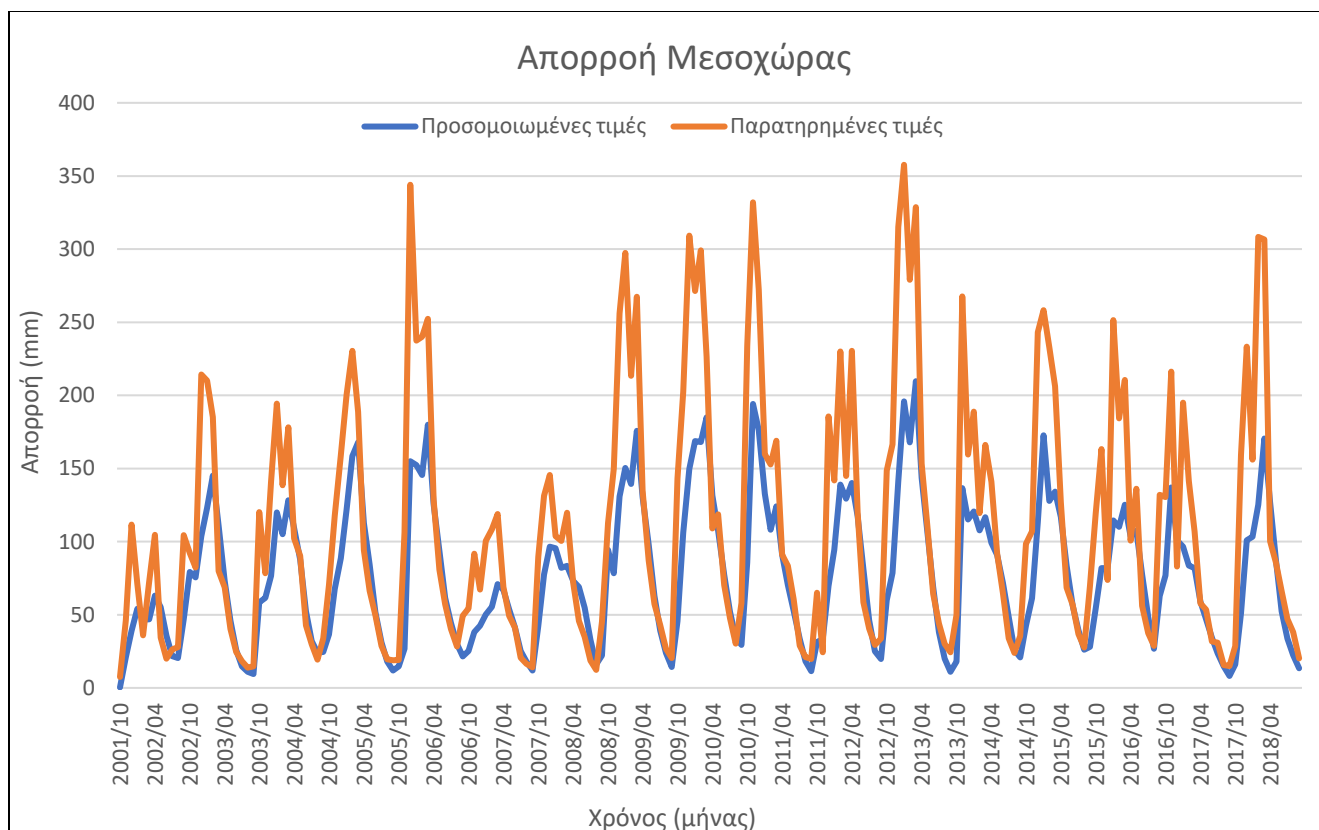
Όπου:

- $n$ : το μήκος της χρονοσειράς παρατηρούμενων τιμών απορροής
- $\mu_{obs}$ : η μέση τιμή των παρατηρούμενων απορροών

Η τιμή του δείκτη αυτού κυμαίνεται από  $-\infty$  έως  $+1$ . Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του, τόσο καλύτερη προσομοίωση έχει πραγματοποιηθεί. Ορίστηκε ελάχιστος στόχος του μοντέλου η τιμή του δείκτη NSE ίση με 0.5, καθώς για ημερήσια χρονικά βήματα αυτή η τιμή θεωρείται επαρκής και οι συντελεστές και παράμετροι του μοντέλου αποδεκτής ακρίβειας. Για μηνιαίο βήμα, ορίστηκε ως ελάχιστος στόχος η τιμή του δείκτη NSE να είναι ίση με 0.75.

Κατασκευάστηκε μοντέλο προσομοίωσης ημερήσιας απορροής για τις λεκάνες Μεσοχώρας και Συκιάς και μηνιαίας απορροής για τις λεκάνες Μουζακίου και Πύλης. Με χρήση δοκιμών επιτεύχθηκε βαθμός αποτελεσματικότητας ίσος με 0.51 για τα μοντέλα προσομοίωσης απορροής των λεκανών Μεσοχώρας και Συκιάς, που θεωρείται επαρκής. Για τα μοντέλα απορροής Μουζακίου και Πύλης η τιμή του δείκτη είναι 0.89 και 0.95 αντίστοιχα, τιμές αποδεκτές για την ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι μηνιαίες απορροές (Εικόνα 4.5.1, Εικόνα 4.5.2, Εικόνα 4.5.3, Εικόνα 4.5.4) για κάθε λεκάνη απορροής καθώς και τα στατιστικά τους χαρακτηριστικά (Πίνακας 4.5.1 Πίνακας 4.5.2 Πίνακας 4.5.3 Πίνακας 4.5.4). Σε όποια λεκάνη απορροής διατέθηκαν παρατηρημένες τιμές παρουσιάζονται και αυτές για την καλύτερη σύγκριση των αποτελεσμάτων.

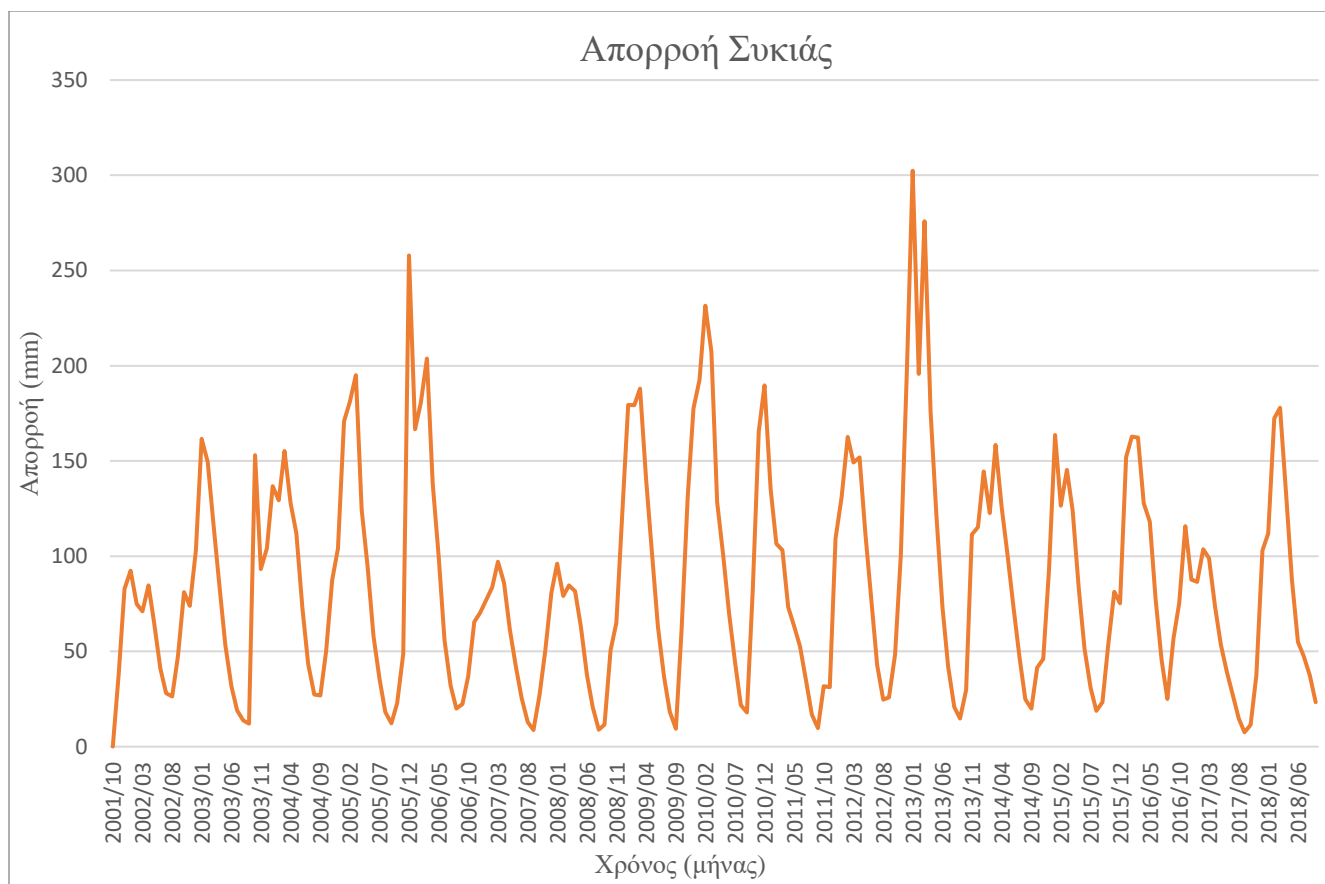


Εικόνα 4.5.1: Προσομοιωμένη και παρατηρημένη μηνιαία απορροή Μεσοχώρας

Πίνακας 4.5.1: Στατιστικά χαρακτηριστικά προσομοιωμένης μηνιαίας απορροής Μεσοχώρας

Μήνας	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάιος	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπτ	Οκτ	Νοεμ	Δεκ
<b>Μέσος όρος</b>	45.67	77.54	104.27	121.04	118.04	131.30	103.53	82.38	56.15	35.46	21.91	21.44
<b>Τυπική απόκλιση</b>	27.06	44.48	37.67	38.80	36.16	44.86	28.10	22.33	15.93	10.44	5.85	14.25
<b>Μέγιστη τιμή</b>	93.85	192.97	175.58	194.81	167.31	208.97	143.17	116.80	80.85	51.85	34.22	62.52
<b>Ελάχιστη τιμή</b>	0.35	20.65	38.80	49.97	46.49	46.82	58.84	45.89	25.80	14.66	10.88	8.05

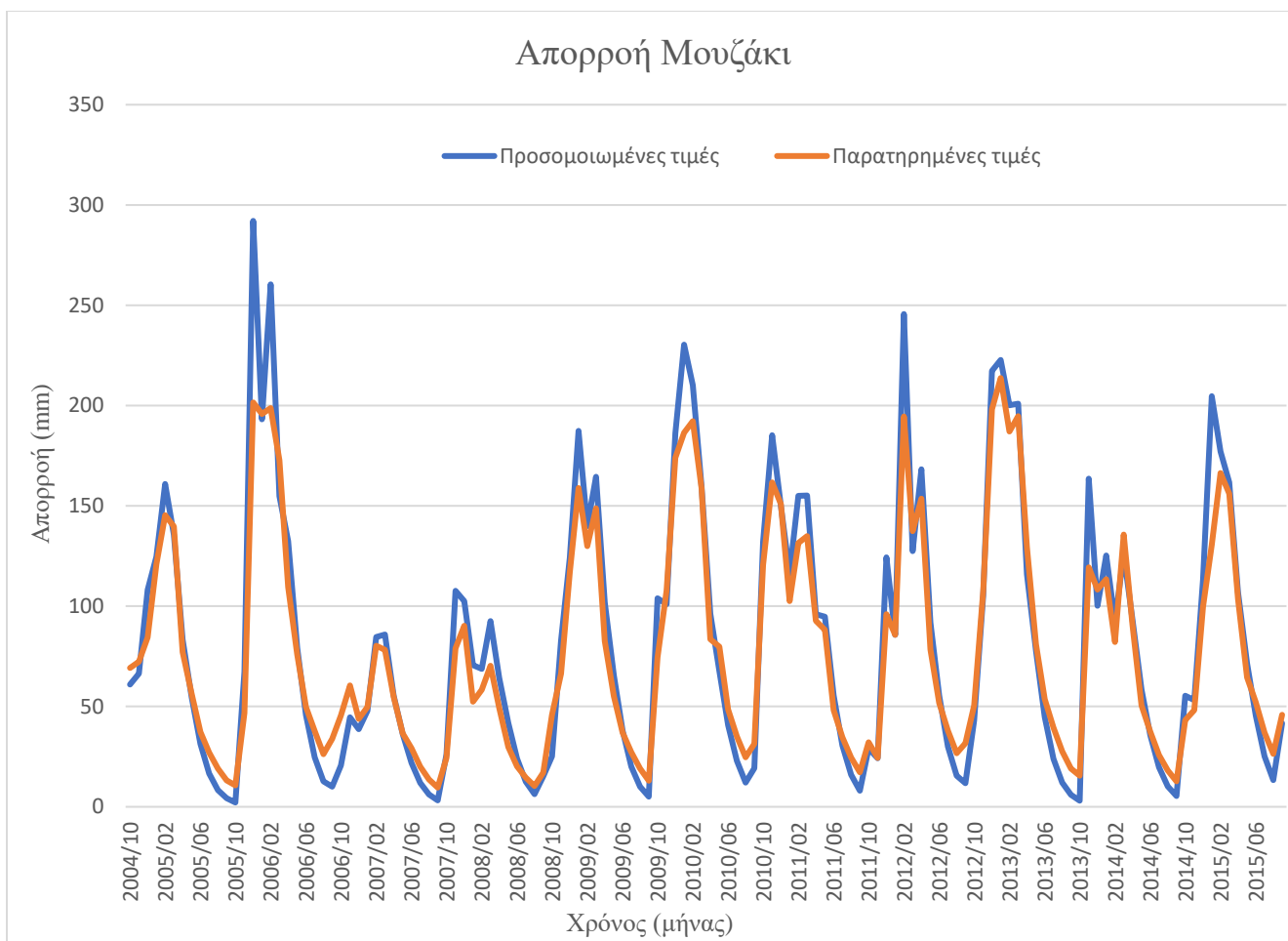




Εικόνα 4.5.2: Προσομοιωμένη και παρατηρημένη μηνιαία απορροή Συκιάς

Πίνακας 4.5.2: Στατιστικά χαρακτηριστικά προσομοιωμένης μηνιαίας απορροής Συκιάς

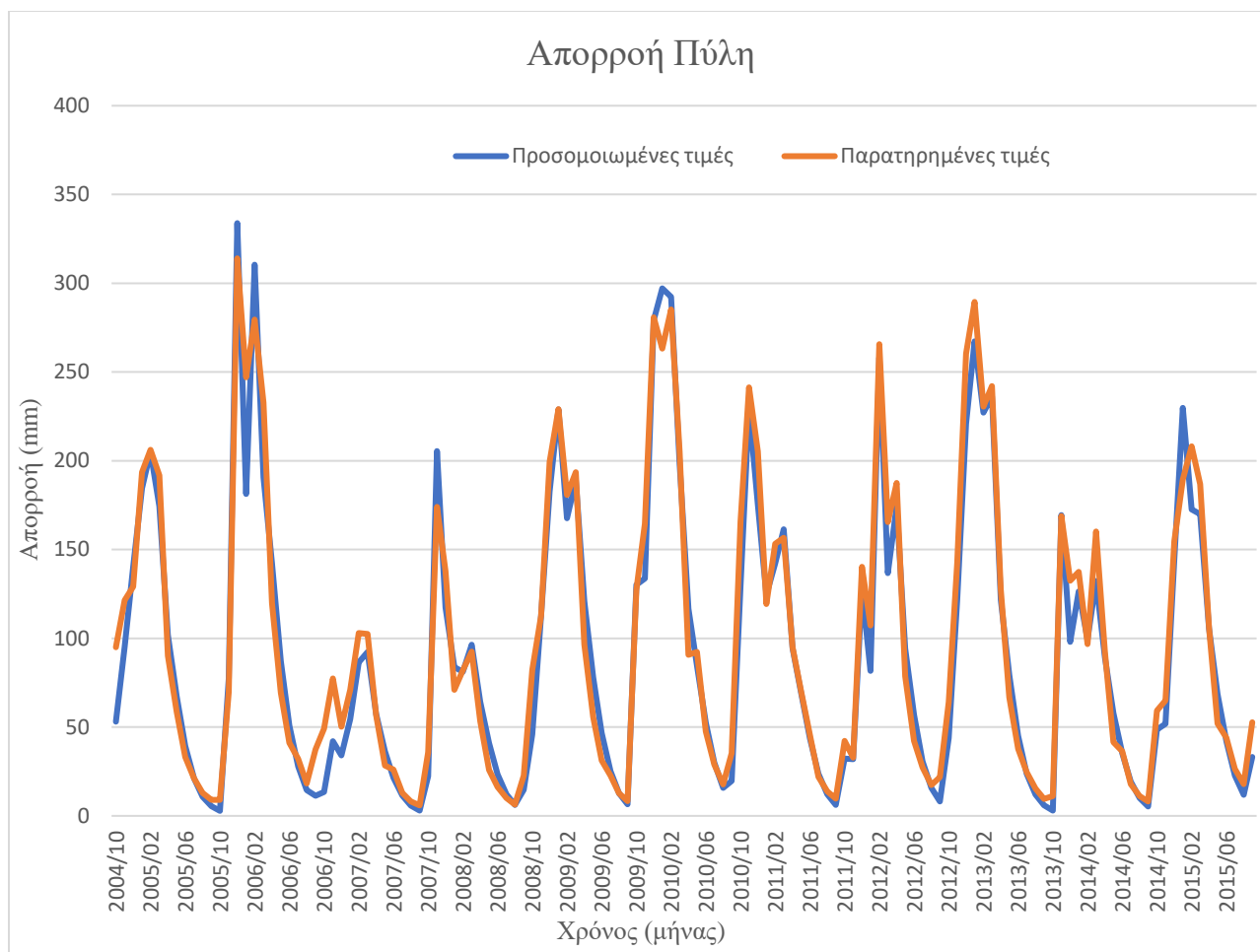
Μήνας	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάιος	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπτ	Οκτ	Νοεμ	Δεκ
Μέσος όρος	50.38	79.03	122.09	147.12	143.64	152.39	116.48	87.75	57.14	35.43	20.62	20.60
Τυπική απόκλιση	34.98	37.27	52.22	52.81	45.03	53.41	30.22	23.45	15.13	9.16	6.74	13.55
Μέγιστη τιμή	153.11	165.49	257.84	302.39	231.50	275.90	175.70	121.75	77.74	47.57	37.43	56.74
Ελάχιστη τιμή	0.06	31.29	70.17	76.99	74.88	71.14	73.28	53.40	31.78	19.04	8.84	7.63



Εικόνα 4.5.3: Προσομοιωμένη και παρατηρημένη μηνιαία απορροή Μουζακίου

Πίνακας 4.5.3: Στατιστικά χαρακτηριστικά προσομοιωμένης μηνιαίας απορροής Μουζακίου

Μήνας	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάιος	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπτ	Οκτ	Νοεμ	Δεκ
Μέσος όρος	45.60	91.03	141.56	146.26	163.21	142.24	101.29	67.21	39.91	21.63	11.14	11.79
Τυπική απόκλιση	40.77	48.99	68.39	64.10	63.86	33.31	31.02	18.67	11.15	6.22	3.29	11.11
Μέγιστη τιμή	132.11	185.24	292.09	230.36	260.49	200.89	168.23	94.71	55.55	30.67	15.93	41.73
Ελάχιστη τιμή	2.15	24.24	38.72	47.93	68.72	85.96	55.41	36.14	21.95	11.89	6.12	3.13



Εικόνα 4.5.4: Προσομοιωμένη και παρατηρημένη μηνιαία απορροή Πύλης

Πίνακας 4.5.4: Στατιστικά χαρακτηριστικά προσομοιωμένης μηνιαίας απορροής Πύλης

Μήνας	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάιος	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπτ	Οκτ	Νοεμ	Δεκ
<b>Μέσος όρος</b>	47.68	115.63	168.50	169.08	185.69	161.61	108.10	69.49	41.60	22.56	11.61	10.84
<b>Τυπική απόκλιση</b>	44.19	65.44	84.47	80.94	80.54	43.90	33.23	18.38	11.25	6.34	3.33	8.85
<b>Μέγιστη τιμή</b>	130.15	230.10	333.87	297.13	310.47	236.20	174.40	94.21	56.97	30.72	15.80	33.16
<b>Ελάχιστη τιμή</b>	2.81	31.87	33.98	54.53	81.09	92.32	57.56	36.44	21.51	11.50	5.89	3.00

Εν τέλει, ελήφθησαν συμπληρωματικά τα δεδομένα των χρονικών περιόδων 1980-2001 και 2018-2021 για τις λεκάνες Μεσοχώρας και Συκιάς και οι περίοδοι 1980-2003 και 2016-2021 για τις λεκάνες Μουζακίου και Πύλης. Εν τέλει, τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα μελέτη αφορούν την περίοδο 1980-2021. Ο Πίνακας 4.5.5, παρουσιάζει τις μέσες ετήσιες εισροές σε κάθε λεκάνη απορροής αυτή της περιόδου και τις μέσες ετήσιες εισροές της περιόδου 1960-1994, που αντλήθηκαν από παλαιότερη μελέτη της περιοχής (Koutsoyiannis, 1996).

Πίνακας 4.5.5: Πίνακας μέσων ετησίων εισροών στους ταμιευτήρες

Λεκάνη απορροής	Εισροή περιόδου 1980-2021 (hm <sup>3</sup> )	Εισροή περιόδου 1960-1994 (hm <sup>3</sup> )
Μεσοχώρα	788.6	739.7
Μεσοχώρα-Συκιά	721.9	730.8
Μουζάκι	96.1	113.9
Πύλη	127.2	162.4

Για την λεκάνη Μουζακίου παρατηρείται μικρή μείωση, 16% στα μεγέθη εισροής, ενώ για την λεκάνη Πύλης μείωση, της τάξεως του 22%. Στην λεκάνη Συκιάς παρατηρούνται παρόμοια αποτελέσματα, ενώ η λεκάνη της Μεσοχώρας παρουσιάζει αύξηση της τάξεως του 6%.

## 5. Κατάσρωση σεναρίων διαχείρισης

Το παρόν κεφάλαιο αφορά την μεθοδολογία κατάσρωσης των σεναρίων διαχείρισης υδατικών πόρων Άνω Αχελώου – Δυτικής Θεσσαλίας. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια του προγράμματος ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ, το οποίο αποτελεί ένα ολοκληρωμένο υπολογιστικό σύστημα. Το λογισμικό αυτό αποτελεί ένα Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων (Σ.Υ.Α.), το οποίο παρέχει δυνατότητες τυποποίησης, οργάνωσης, διαχείρισης και επεξεργασίας των πληροφοριών καθώς και οπτικοποίησης αυτών, ενσωματώνοντας μαθηματικά εργαλεία ανάλυσης συστημάτων, όπως προσομοίωση, βελτιστοποίηση και ανάλυση αποφάσεων. Από το λογισμικό αυτό εξάγονται τα τελικά αποτελέσματα της μελέτης, τα οποία παρατίθενται και αναλύονται στο κεφάλαιο 6.

### 5.1. Εισαγωγή

Το λογισμικό ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ επιτρέπει στον χρήστη την σχηματοποίηση του υδροσυστήματος, μέσω ενός συνδυασμού από συνιστώσες όπως ταμειυτήρες, υδραγωγεία, υδατορεύματα, κόμβοι, στρόβιλοι, αντλιοστάσια και στόχοι επίτευξης. Κάθε μία από τις παραπάνω συνιστώσες απαιτεί ορισμένα δεδομένα εισόδου, τα οποία θα αναλυθούν σε παρακάτω κεφάλαιο.

Η χρήση του λογισμικού ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ βοηθάει στην απάντηση καίριων ζητημάτων διαχείρισης (Ευστρατιάδης, Μαμάσης και Κουτσογιάννης 2007), όπως:

- Επιλογή συνδυασμών στόχων, ανταγωνιστικών ή μη μεταξύ τους, σε μια σειρά προτεραιότητας.
- Την εύρεση της αξιοπιστίας με την οποία καλύπτονται οι ζητήσεις νερού όπως ,απόληψη, ενεργειακή παραγωγή, καθώς και οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί που απαιτούνται.
- Τις επιπτώσεις από αλλαγές ή έκτακτα γεγονότα στο δίκτυο.
- Την επιρροή υδροκλιματικών αλλαγών στη μακροπρόθεσμη συμπεριφορά των υδροσυστημάτων.
- Το οικονομικό όφελος από την ενεργειακή παραγωγή, καθώς και το κόστος από τις αντλήσεις νερού.
- Καθορισμό βέλτιστης διαχειριστικής λύσης με την βοήθεια μη – γραμμικού εξελικτικού αλγορίθμου.

## 5.2. Συνιστώσες συστήματος

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναλυθούν οι συνιστώσες που χρησιμοποιήθηκαν για την κατάστρωση των διαφόρων σεναρίων. Θα αναφερθούν τα μαθηματικά μοντέλα στα οποία βασίζουν την λειτουργία τους καθώς και τα απαιτούμενα δεδομένα εισόδου (Α. Ευστρατιάδης, 2007).

### 5.2.1. Ταμιευτήρες

Ο ταμιευτήρας αντιπροσωπεύει ένα τεχνητό έργο αποθήκευσης νερού, με επαρκή χωρητικότητα για την επίτευξη ορισμένων στόχων, που καθορίζονται από τον διαχειριστή του έργου. Βασικός στόχος είναι η ρύθμιση της ροής για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο του ενός μήνα. Τα δεδομένα εισόδου ενός ταμιευτήρα στο πρόγραμμα είναι τα εξής:

- Η σχέση στάθμης – αποθέματος  $s_i = f_1(z_i)$ , βάση λογαριθμικής παρεμβολής
- Η σχέση στάθμης – επιφάνειας  $a_i = f_2(z_i)$ , βάση λογαριθμικής παρεμβολής
- Η κατώτατη και ανώτατη στάθμη λειτουργίας του ταμιευτήρα  $z_i^{\min}$  και  $z_i^{\max}$  αντίστοιχα

Από τα παραπάνω προκύπτει ο νεκρός όγκος  $dv_i$  και ο αποθηκευμένος όγκος  $k_i$ , δηλαδή ο όγκος των φερτών υλικών που θα συσσωρευτεί κατά την διάρκεια ζωής του έργου και η αποθηκευτική ικανότητά του, αντίστοιχα. Τα παραπάνω προκύπτουν από τις εξής σχέσεις:

$$dv_i = f_1(z_i^{\min})$$

$$k_i = f_1(z_i^{\max})$$

(5.2.1)

Η λειτουργία του ταμιευτήρα βασίζεται στο υδατικό ισοζύγιο, δηλαδή το απόθεμα  $s$  σε κάθε χρονικό βήμα  $t$ , υπολογίζεται βάση της σχέσης:

$$s_i(t + 1) = \max \{ \min [ k_i, s_i(t) + i_i(t) - r_i(t) ], 0 \}$$

(5.2.1)

Όπου  $s_i(t)$  το απόθεμα στην αρχή κάθε χρονικού βήματος,  $i_i(t)$  οι καθαρές εισροές στον ταμιευτήρα και  $r_i(t)$  οι καθαρές απολήψεις από τον ταμιευτήρα για κάθε χρονικό βήμα  $t$ .

Οι καθαρές εισροές στον ταμιευτήρα υπολογίζονται βάση της σχέσης:

$$i_i(t) = q_i(t) + p_i(t) - e_i(t) - l_i(t)$$

(5.2.2)

Όπου  $q_i(t)$  η απορροή της ανάντη λεκάνης λόγω βροχόπτωσης,  $p_i(t)$  η βροχόπτωση στην επιφάνεια του ταμιευτήρα,  $e_i(t)$  η εξάτμιση και  $l_i(t)$  οι υπόγειες διαφυγές.

Οι καθαρές απολήψεις αποτελούνται από το σύνολο των εκροών από τον ταμιευτήρα μείον των εισροών από τα ανάντη και υπολογίζονται βάση της σχέσης:

$$r_i(t) = w_i(t) - \sum_j [1 - \delta_{ji}(t)] \times q_{ji}(t)$$

(5.2.3)

Για κάθε ταμιευτήρα απαιτούνται ως δεδομένα εισόδου επίσης, οι χρονοσειρές απορροής, βροχόπτωσης και εξατμισοδιαπνοής. Τα δεδομένα αυτά ανάγονται σε όγκους βάση των σχέσεων:

$$q_i(t) = \tilde{q}_i(t) \times [a_i^* - a_i(t)]$$

$$p_i(t) = \tilde{p}_i(t) \times a_i(t)$$

$$e_i(t) = \tilde{e}_i(t) \times a_i(t)$$

(5.2.4)

Όπου  $\tilde{q}_i(t)$  το ύψος απορροής της ανάντη υπολεκάνης,  $\tilde{p}_i(t)$  το ύψος βροχόπτωσης,  $\tilde{e}_i(t)$  το ύψος εξάτμισης,  $a_i(t)$  το εμβαδόν της επιφάνειας του ταμιευτήρα στην αρχή του χρονικού βήματος  $t$  και  $a_i^*$  το εμβαδόν της υπολεκάνης ανάντη του ταμιευτήρα.

Το απόθεμα κάθε ταμιευτήρα ακολουθεί τον εξής περιορισμό:

$$0 \leq s_i(t) \leq k_i$$

(5.2.5)

Στα χρονικά βήματα όπου το απόθεμα υπερβαίνει την μέγιστη χωρητικότητα, ο ταμιευτήρας υπερχειλίζει, στον καθορισμένο κόμβο κατάντη.

Σε κάθε ταμιευτήρα ορίζεται και μία αρχική στάθμη πλήρωσής του.

## 5.2.2. Υδραγωγεία

Το υδραγωγείο αποτελεί κύρια συνιστώσα του συστήματος καθώς συνδέει κόμβους του δικτύου και έχει καθορισμένη παροχτευτικότητα  $c_{ij}$ , η οποία εκφράζεται σε μονάδες παροχής  $m^3/s$ . Αυτή μπορεί να είναι είτε σταθερή είτε να εξαρτάται από την διαφορά του ενεργειακού υψομέτρου μεταξύ του ανάντη και κατάντη κόμβου, ειδικά σε περίπτωση που ο ένας κόμβος είναι

ταμιευτήρας. Δύο ακόμη παράμετροι των υδραγωγείων είναι ο συντελεστής διαρροών και ο συντελεστής χρονικής λειτουργίας. Ο πρώτος εκφράζει τις απώλειες από το σύστημα, ενώ ο δεύτερος περιγράφει την μη συνεχή λειτουργία του συστήματος.

### **5.2.3. Υδατορεύματα**

Το υδατόρευμα αποτελεί μια φυσική συνιστώσα του συστήματος, προσομοιώνοντας τον ποταμό, ενώνοντας δύο διαδοχικούς κόμβους. Το υδατόρευμα δεν έχει περιορισμό στην παροχетеυτικότητα του, ενώ παράμετρός του είναι ο συντελεστής διήθησης, δηλαδή το ποσοστό της διερχόμενης παροχής που κατεισδύει στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα.

### **5.2.4. Στρόβιλοι**

Οι στρόβιλοι αντιπροσωπεύουν τα ΥΗΕ έργα που είναι εγκατεστημένα στο σύστημα. Χαρακτηριστικά μεγέθη κάθε στρόβιλου αποτελούν, το ύψος υδροληψίας και το ύψος που βρίσκεται ο σταθμός, δηλαδή το καθαρό ύψος πτώσης, η παροχетеυτικότητα, η οποία καθορίζεται όπως και στα υδραγωγεία από την διαφορά του ενεργειακού υψομέτρου, η ειδική ενέργεια, που καθορίζεται αντίστοιχα με την παροχетеυτικότητα και η εγκατεστημένη ισχύς και ο αριθμός των μονάδων του στρόβιλου. Δίνεται επίσης η δυνατότητα καθορισμού ποσοστού του χρόνου που λειτουργεί.

### **5.2.5. Αντλιοστάσια**

Το αντλιοστάσιο αποτελεί ένα είδος υδραγωγείου, που για την μεταφορά του νερού από τον ανάντη στον κατόντη κόμβο καταναλώνεται ενέργεια. Οι εξισώσεις που αποδίδουν την ποσότητα της απαιτούμενης ενέργειας για την μεταφορά του νερού παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 2.1.4. Αντιθέτως με το απλό υδραγωγείο, στα αντλιοστάσια δεν υπάρχει συντελεστής διαρροών.

### **5.2.6. Κόμβοι εισροής/εκροής**

Οι κόμβοι εισροής ή εκροής αποτελούν βασικά στοιχεία του δικτύου, καθώς ορίζουν την αρχή και το τέλος αυτού και καθορίζουν σημεία εισόδου ή εξόδου νερού από το δίκτυο. Ορίζεται ο κόμβος του μοντέλου ή ο ταμιευτήρας με τον οποίο συνδέεται.



### 5.2.7. Στόχοι

Οι στόχοι αποτελούν το βασικό διαχειριστικό εργαλείο του συστήματος. Αναφέρονται στις διάφορες ζητήσεις νερού, όπως η ύδρευση, άρδευση, παραγωγή ενέργειας και μόνιμης περιβαλλοντικής ροής. Σε λειτουργικούς περιορισμούς, όπως η αποφυγή υπερχείλισης ή η διατήρηση σταθερής στάθμης ενός ταμιευτήρα, την διατήρηση ελάχιστης, σταθερής ή μέγιστης παροχής νερού μέσω κάποιου υδραγωγείου ή υδατορεύματος. Σε κάθε στόχο ανατίθεται και ένας βαθμός προτεραιότητας, από το ένα έως το δέκα. Οι τιμές των στόχων μπορεί να είναι σταθερές ή να μεταβάλλονται χρονικά, ανά μήνα. Κατά την προσομοίωση, σε περίπτωση που σε κάποιο χρονικό βήμα το σύστημα δεν αποδώσει την τιμή του στόχου, καταγράφεται ως αστοχία. Κάθε μήνας που παρουσίασε αστοχία, χαρακτηρίζεται ελλειμματικός και έτσι στο τέλος της προσομοίωσης το μοντέλο υπολογίζει στατιστικά μεγέθη και την πιθανότητα αστοχίας του συστήματος. Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα καθορισμού ενός οικονομικού οφέλους για την επίτευξη του στόχου, για την παροχή πλεονάζουσας ποσότητας και ρήτρα για την αστοχία.

Το λογισμικό δίνει την δυνατότητα για βελτιστοποίηση αυτών των στόχων. Η διαδικασία αναλύεται στο κεφάλαιο 5.8.

### 5.3. Περιοχή μελέτης

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια, η περιοχή μελέτης, δηλαδή ο Άνω ρους του Αχελώου και η περιοχή της Δυτικής Θεσσαλίας, παρουσιάζουν εκτεταμένο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη ενός νέου και σύγχρονου διαχειριστικού σχεδίου, τόσο λόγω του υδροδυναμικού της περιοχής, όσο και λόγω των ήδη υφιστάμενων έργων που δεν αξιοποιούνται.

Τα έργα που θα συμπεριληφθούν στην παρούσα μελέτη είναι τα εξής:

1. Φράγμα Μεσοχώρας και ΥΗΣ Γλύστρας
2. Φράγμα Συκιάς και ΥΗΣ Συκιάς
3. Σήραγγα εκτροπής Αχελώου
4. ΥΗΣ Πευκοφύτου
5. Φράγμα Μουζακίου και ΥΗΣ Μαυροματίου
6. Φράγμα Πύλης
7. Συνδετήρια σήραγγα Πύλης – Μουζακίου

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των έργων της Μεσοχώρας, της Συκιάς και της σήραγγας εκτροπής (συμπεριλαμβανομένου και του ΥΗΣ Πευκοφύτου) θεωρήθηκαν ίδια με αυτά που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3.5. Τα τεχνικά στοιχεία των αγωγών και υδροηλεκτρικών μονάδων (καμπύλη ύψους πτώσης- παροχетеυτικότητας, ύψους πτώσης- ειδικής ενέργειας- παροχής υδροηλεκτρικών μονάδων) αντλήθηκαν από την διπλωματική εργασία (Α. Ευστρατιάδης Ν. Ζ., 1999). Τα τεχνικά στοιχεία των ταμιευτήρων (καμπύλη στάθμη- όγκου- επιφάνειας) υπολογίστηκαν με το λογισμικό QGIS και επαληθεύθηκαν από την ίδια διπλωματική εργασία.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των υπολοίπων έργων παρουσιάζονται παρακάτω:

- Φράγμα Μουζακίου: Φράγμα ύψους 90 m, συνολικής χωρητικότητας 194.83 hm<sup>3</sup>, με ωφέλιμη χωρητικότητα 180 hm<sup>3</sup>. Η ανάντη λεκάνη απορροής έχει έκταση 122.16 km<sup>2</sup>. Η υδροληψία βρίσκεται σε υψόμετρο 38 m, άνω του πυθμένα του φράγματος. Η σήραγγα προσαγωγής έχει εξαγωγή στο Μαυρομάτι, όπου τοποθετείται ο ΥΗΣ Μαυροματίου ισχύος 270 MW (2 X 135 MW).
- Φράγμα Πύλης: Φράγμα ύψους 90 m, συνολικής χωρητικότητας 68.11 hm<sup>3</sup>, με ωφέλιμη χωρητικότητα 47.28 hm<sup>3</sup>. Η ανάντη λεκάνη απορροής έχει έκταση 129.46 km<sup>2</sup>. Η υδροληψία βρίσκεται σε ύψος 45 m, άνω του πυθμένα του φράγματος. Το φράγμα της Πύλης λειτουργεί συνδυαστικά με το φράγμα Μουζακίου, εκτρέποντας έναν σταθερό όγκο νερού προς αυτό, λόγω της μικρής αποθηκευτικής του ικανότητας.
- Συνδετήρια σήραγγα Πύλης – Μουζακίου: Σήραγγα 8 km μήκους και 3 m σε διάμετρο, που συνδέει τον ταμιευτήρα της Πύλης με τον ταμιευτήρα του Μουζακίου. Το έργο δεν περιλαμβάνει υδροηλεκτρικό σταθμό ή δυνατότητα αντιστρεπτής ροής (άντλησης).

#### **5.4. Ζητήσεις νερού και περιορισμοί**

Στο υπό εξέταση κεφάλαιο αναλύονται οι στόχοι που τέθηκαν στο μοντέλο, με σκοπό την βελτιστοποίηση της διαχειριστικής του πολιτικής. Αναλύεται η προτεραιότητα των στόχων αυτών, οι εκάστοτε ζητήσεις και παρατίθενται οι περιορισμοί που ορίστηκαν στο μοντέλο για την ορθή λειτουργία του.

#### 5.4.1. Στόχοι του μοντέλου

Το μοντέλο σχεδιάστηκε με στόχο την βέλτιστη κατανομή του νερού ανάμεσα στις εξής κατηγορίες αντικρουόμενων στόχων:

- Υδροηλεκτρική ενέργεια, με στόχο την μεγιστοποίησή της και την μεγιστοποίηση του οικονομικού οφέλους από την αξιοποίησή της.
- Κάλυψη υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών στην περιοχή της Δυτικής Θεσσαλίας.
- Συνεχής παροχή οικολογικής ροής κατάντη των φραγμάτων για περιβαλλοντικούς λόγους.

Οι παραπάνω ζητήσεις ορίζονται στο μοντέλο μέσω των στόχων του λογισμικού ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ και ακολουθείται η εξής προτεραιότητα κάλυψής τους:

1. Αρχικά, καλύπτονται οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί, δηλαδή η διατήρηση σταθερής οικολογικής παροχής κατάντη των ταμιευτήρων, ορίζοντας προτεραιότητα στόχου (1). Ο στόχος της οικολογικής παροχής τοποθετείται σε κλάδους υδρορευμάτων παράλληλα στους κλάδους στροβίλων ώστε να διασφαλίζεται πως παρέχεται συνεχώς επαρκής ποσότητα νερού που δεν περνάει από αυτούς. Προτεραιότητα στόχου (1) ορίστηκε επίσης και στην ποσότητα που εκτρέπεται από τον ταμιευτήρα της Συκιάς προς το Μουζάκι και αντίστροφα. Στόχος της παρούσας μελέτης αποτελεί η αξιοποίηση των έργων της εκτροπής χωρίς την λειτουργία της ως μονάδα εκτροπής, αλλά ως σύστημα αντλησιοταμίευσης. Για τον λόγο αυτό και με στόχο τα πορίσματα της μελέτης να ακολουθούν την Ευρωπαϊκή οδηγία και τις τελευταίες αποφάσεις της πολιτείας, ορίστηκε ως πρωταρχικός στόχος η αξιοποίηση της εκτρεπόμενης ποσότητας νερού αποκλειστικά για την παραγωγή ενέργειας στον ΥΗΣ Πευκοφύτου και ύστερα η άντλησή του στον ταμιευτήρα Συκιάς. Με την ίδια προτεραιότητα (1) ορίστηκαν και οι στόχοι υδρευτικών αναγκών και τοποθετούνται σε κόμβους κατάντη των ταμιευτήρων.
2. Οι στόχοι για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας ορίζονται με σειρά προτεραιότητας (2). Οι στόχοι αυτοί τοποθετούνται πάνω στους κλάδους στροβίλων. Στόχοι για την κάλυψη υδρευτικών αναγκών, επίσης ορίστηκαν με σειρά προτεραιότητας (2) και τοποθετούνται σε κόμβους κατάντη των ταμιευτήρων.
3. Για τις αρδευτικές ζητήσεις ορίστηκε η σειρά προτεραιότητας (3) και οι στόχοι τοποθετούνται παρόμοια με τους υδρευτικούς στόχους, πάνω σε κόμβους. Κύριος στόχος της παρούσας μελέτης είναι η διάρθρωση ενός διαχειριστικού μοντέλου για την

μεγιστοποίηση του ετησίου οφέλους από την παραγωγή ενέργειας και την απόδοση αρδευτικής απόληψης από τα υπό μελέτη έργα. Επιλέχθηκε αυτή η σειρά προτεραιότητας καθώς στην αρδευτική ζήτηση τα αποδεκτά όρια αξιοπιστίας είναι πιο χαμηλά και ευέλικτα από αυτά της παραγωγής εγγυημένης ενέργειας.

4. Σε ορισμένους ταμιευτήρες τοποθετήθηκε και στόχος μη υπερχειλίσεώς του, με σειρά προτεραιότητας (4). Οι στόχοι αυτοί ορίστηκαν βοηθητικά ώστε να αποφεύγεται η υπερχειλίση των ταμιευτήρων και η αξιοποίηση της μέγιστης δυνατής ποσότητας νερού για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Με την ίδια σειρά προτεραιότητας ορίστηκε σε κάθε ταμιευτήρα και στόχος ελάχιστης στάθμης με σκοπό την σταθερή διατήρηση μέρους του αποθέματος και την υγιή λειτουργία των ταμιευτήρων.

#### **5.4.2. Περιβαλλοντικοί περιορισμοί**

Για την διατήρηση των οικοσυστημάτων κατάντη των φραγμάτων είναι αναγκαία η διατήρηση συνεχούς περιβαλλοντικής ροής. Οι ελλιπείς μελέτες για τον καθορισμό της αναγκαίας ποσότητας περιβαλλοντικής ροής στον Άνω Αχελώου οδηγεί στην ανάγκη κατάρτισης υποθέσεων και διαφορετικών σεναρίων. Ο αρχικός υπολογισμός πραγματοποιείται με την υπόθεση διατήρησης σταθερής ροής κατάντη της Μεσοχώρας ίση με  $3.5 \text{ m}^3/\text{s}$ , δηλαδή  $110.37 \text{ hm}^3$  ανά έτος και κατάντη της Συκιάς σταθερή ροή ίση με  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ , δηλαδή  $157.68 \text{ hm}^3$  ανά έτος. Σε παρακάτω κεφάλαιο πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας του μοντέλου, για να καθοριστεί η πιθανή μείωση ή αύξηση της περιβαλλοντικής ροής κατάντη της Μεσοχώρας από  $1.5$  έως  $5.5 \text{ m}^3/\text{s}$ , τι αντίκτυπο θα είχε στην παραγόμενη ενέργεια και στο ισοζύγιο του ταμιευτήρα. Στα έργα της Δυτικής Θεσσαλίας, στον ταμιευτήρα Πύλης και Μουζακίου ορίστηκε σταθερή οικολογική ροή ίση με  $0.15 \text{ m}^3/\text{s}$ , δηλαδή  $4.73 \text{ hm}^3$  ανά έτος. Επιπλέον, προστίθενται  $0.35 \text{ m}^3/\text{s}$ , δηλαδή  $11 \text{ hm}^3$  για τον εμπλουτισμό του υπόγειου υδροφορέα (Γ. Βαβίζος, Κ. Ζαννακάκη, Δ. Ζαφειροπούλου & ΣΙΑ Α.Ε., Βακάκης και Συνεργάτες Ε.Π.Ε, Υδροεξυγιαντική Α.Σ. Λαζαρίδης, 1995).

#### **5.4.3. Υδρευτικές και αρδευτικές ζητήσεις**

Για την κάλυψη των υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών της Δυτικής Θεσσαλίας, τοποθετούνται οι αντίστοιχοι στόχοι σε κόμβους κατάντη των ταμιευτήρων της Πύλης και του Μουζακίου. Θεωρείται ότι οι δύο ταμιευτήρες θα καλύπτουν τις υδρευτικές ανάγκες ολόκληρων των περιφερειών στις οποίες ανήκουν. Ο ταμιευτήρας της Πύλης βρίσκεται στην περιφερειακή

ενότητα Τρικάλων. Οι υδρευτικές ζητήσεις εκτιμήθηκαν σε 1.019 hm<sup>3</sup>/μήνα. Οι αρδευτικές ανάγκες της Πύλης ανέρχονται σε 4 hm<sup>3</sup>/έτος. Οι δύο αυτοί στόχοι ομαδοποιήθηκαν σε έναν. Ο ταμιευτήρας Μουζακίου ανήκει στην περιφερειακή ενότητα Καρδίτσας και οι υδρευτικές ανάγκες εκτιμήθηκαν ίσες με 0.825 hm<sup>3</sup>/μήνα. Πραγματοποιήθηκε διερεύνηση για την μέγιστη δυνατή ποσότητα που μπορεί να αποδοθεί από τον ταμιευτήρα Μουζακίου για άρδευση. Και στους δύο ταμιευτήρες τοποθετήθηκε ξεχωριστό υδατόρευμα για την απόδοση της οικολογικής παροχής, ενώ οι στόχοι ύδρευσης και άρδευσης τοποθετήθηκαν σε κοινό κόμβο απολήψεων. Ο ΥΗΣ Μουζακίου θεωρήθηκε ότι χρησιμοποιεί τις ποσότητες υδρευτικού και αρδευτικού νερού για την παραγωγή ενέργειας, καθώς και πιθανές υπερχειλίσεις. Όλες οι αρδευτικές ζητήσεις ακολουθούν την κατανομή του Πίνακα 5.4.1 (Δ. Κουτσογιάννης Ν. Μ., 1995):

Πίνακας 5.4.1:Μηνιαία κατανομή αρδευτικής ζήτησης Πηγή: (Δ. Κουτσογιάννης Ν. Μ., 1995)

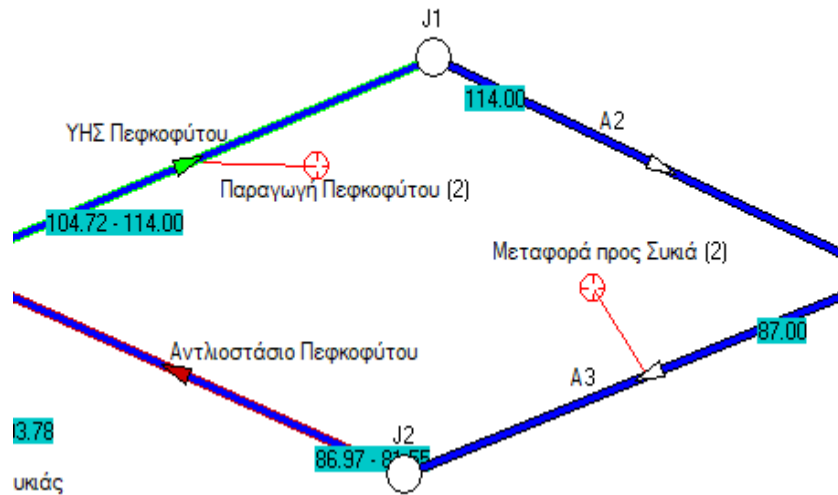
	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος
Ποσοστό ζήτησης (%)	5.0	11.0	23.6	30.2	26.4	3.8

## 5.5. Παραδοχές αντλητικής διάταξης

Στόχος της παρούσας μελέτης είναι η αξιοποίηση των ήδη υπάρχων έργων στον Άνω ρου του Αχελώου και της εκτροπής, καθώς λόγω της υψομετρικής διαφοράς των δύο ταμιευτήρων, είναι εύλογη η μελέτη δυνατότητας λειτουργίας συστήματος αντλησιοταμίευσης για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Η λειτουργία του συστήματος αντλησιοταμίευσης θα γίνεται σε ημερήσια κλίμακα, δηλαδή κατά την διάρκεια της ημέρας όπου παρουσιάζονται και οι αιχμές ζήτησης στην κατανάλωση ενέργειας το σύστημα θα λειτουργεί για την κάλυψή της, ενώ κατά τις νυχτερινές ώρες θα αντιστρέφεται η ροή και θα μεταφέρεται το νερό τον κατάντη ταμιευτήρα, αξιοποιώντας το χαμηλό κόστος ενέργειας και το πλεόνασμα παραγόμενο από άλλες μορφές ανανεώσιμων πηγών που δεν αποθηκεύεται (Κατσανεβάκη, 2018).

Βάση των παραπάνω εξετάστηκε η λειτουργία του συστήματος για άντληση 6 ώρες την ημέρα, δηλαδή το 25 % του μηνιαίου βήματος, ενώ οι στρόβιλοι λειτουργούν το υπόλοιπο 75 %. Δίνεται η δυνατότητα μέσα από το λογισμικό ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ για την μείωση της παροχτευτικότητας των συνιστωσών του συστήματος με τους συντελεστές μείωσης (reduction factor)  $\psi_1 = 0.75$  και  $\psi_2 = 0.25$ . Στο σύστημα τοποθετούνται πριν τον στρόβιλο και την αντλία δύο υδραγωγεία, τα

οποία λειτουργούν βοηθητικά, για την αυστηροποίηση του καθορισμού της ποσότητας νερού που μεταφέρεται, όπως εμφανίζεται στην Εικόνα 5.5.1. Τα δύο αυτά υδραγωγεία έχουν μεγαλύτερη παροχτευτικότητα και δεν επηρεάζουν τους υπολογισμούς.



Εικόνα 5.5.1: Σχηματοποίηση αντλητικής διάταξης στο λογισμικό ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ

Έγινε παραδοχή για την αρχική πλήρωση των ταμιευτήρων στην αρχή της προσομοίωσης. Το λογισμικό ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ δίνει την δυνατότητα τον καθορισμό της αρχικής στάθμης του εκάστοτε ταμιευτήρα. Λόγω του μεγάλου μήκους των χρονοσειρών εισροής, το τελικό αποτέλεσμα δεν επηρεάζεται. Έγινε συντηρητική παραδοχή για την αρχική πλήρωση με ποσοστά από 30% έως και 42 %, όπως δείχνει ο Πίνακας 5.5.1:

Πίνακας 5.5.1: Χαρακτηριστικά επίπεδα λειτουργίας ταμιευτήρων συστήματος

	Κατώτατη Στάθμη Λειτουργίας (m)	Ανώτατη Στάθμη Λειτουργίας (m)	Αρχική στάθμη (m)	Χωρητικότητα (hm <sup>3</sup> )	Αρχικός όγκος νερού (hm <sup>3</sup> )	Αρχικό ποσοστό πλήρωσης
<b>Μεσοχώρα</b>	731	770	750	243.24	103.02	42%
<b>Συκιά</b>	485	550	528	553.7	233.93	42%
<b>Μουζάκι</b>	239	296	279.92	180.0	58.75	32%
<b>Πύλη</b>	310	335	320	47.28	14.66	31%

Για βοηθητικούς σκοπούς ορίστηκαν κατώτατες επιτρεπτές στάθμες ως στόχοι στους ταμιευτήρες, για την εξασφάλιση της συνεχούς λειτουργίας τους. Οι στάθμες αυτές παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.5.2 με την μορφή ελαχίστων όγκων αποθέματος:

Πίνακας 5.5.2: Βοηθητικοί στόχοι ελάχιστου επιπέδου λειτουργίας ταμιευτήρων

	Μεσοχώρα	Συκιά	Μουζάκι	Πύλη
Ελάχιστος όγκος (hm <sup>3</sup> )	150	125	22	26
Ελάχιστη στάθμη (m)	733.35	486.06	243.67	313.92

## 5.6. Ανάλυση σεναρίων

Η διάρθρωση των σεναρίων της μελέτης πραγματοποιείται τμηματικά. Δημιουργήθηκαν τέσσερα σχήματα με διαφορετικές εκδοχές των έργων. Τα τέσσερα αυτά διαφορετικά σενάρια κωδικοποιούνται με όνομα βάση της ύπαρξης ή μη αντλησιοταμίευσης μεταξύ τους. Έτσι για τα σενάρια που δεν περιέχουν αντλησιοταμίευση χρησιμοποιείται το γράμμα X και για όσα περιέχουν το γράμμα A, ενώ ακολουθεί και ένας αύξοντας αριθμός. Αναλυτικά παρουσιάζονται τα σενάρια παρακάτω:

### 1. Σενάρια χωρίς αντλησιοταμίευση

Σενάριο X1: Το σενάριο αυτό αναλύει μόνο την λειτουργία του ταμιευτήρα της Μεσοχώρας και του αντίστοιχου ΥΗΣ Γλύστρας, καθώς είναι τα μοναδικά έργα τα οποία είναι ολοκληρωμένα και δεν έχουν ενταχθεί ακόμα στο ενεργειακό μείγμα της χώρας. Το σενάριο αυτό αποδεικνύει, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, την σημαντική συνεισφορά, τόσο οικονομικά όσο και στην παραγωγή ενέργειας, του έργου και την αναγκαιότητα άμεσης λειτουργίας του.

Σενάριο X2: Το σενάριο αυτό αναλύει την λειτουργία του ταμιευτήρα της Μεσοχώρας, του ΥΗΣ Γλύστρας, του ταμιευτήρα Συκιάς και του αντίστοιχου ΥΗΣ Συκιάς. Στο σενάριο αυτό δεν επηρεάζει η λειτουργία του ενός έργου το άλλο, αλλά λειτουργούν ως ένα ενιαίο σύστημα παραγωγής ενέργειας.

Σενάριο X3: Το σενάριο αυτό περιλαμβάνει τα στοιχεία του σεναρίου X2, αλλά προστίθενται και οι ταμιευτήρες Πύλης και Μουζακίου στο σύστημα. Όπως αναφέρθηκε

και παραπάνω δεν λειτουργεί η σήραγγα εκτροπής από την Συκιά προς τον ταμιευτήρα Μουζακίου, αλλά μόνο η συνδετήρια σήραγγα Πύλης – Μουζακίου, από την οποία εκτρέπεται σε κάθε βήμα σταθερή ποσότητα νερού. Συμπεριλαμβάνεται στο σενάριο αυτό η κάλυψη υδρευτικών και αρδευτικών ζητήσεων από τους δύο τελευταίους ταμιευτήρες.

## 2. Σενάρια με αντλησιοταμίευση

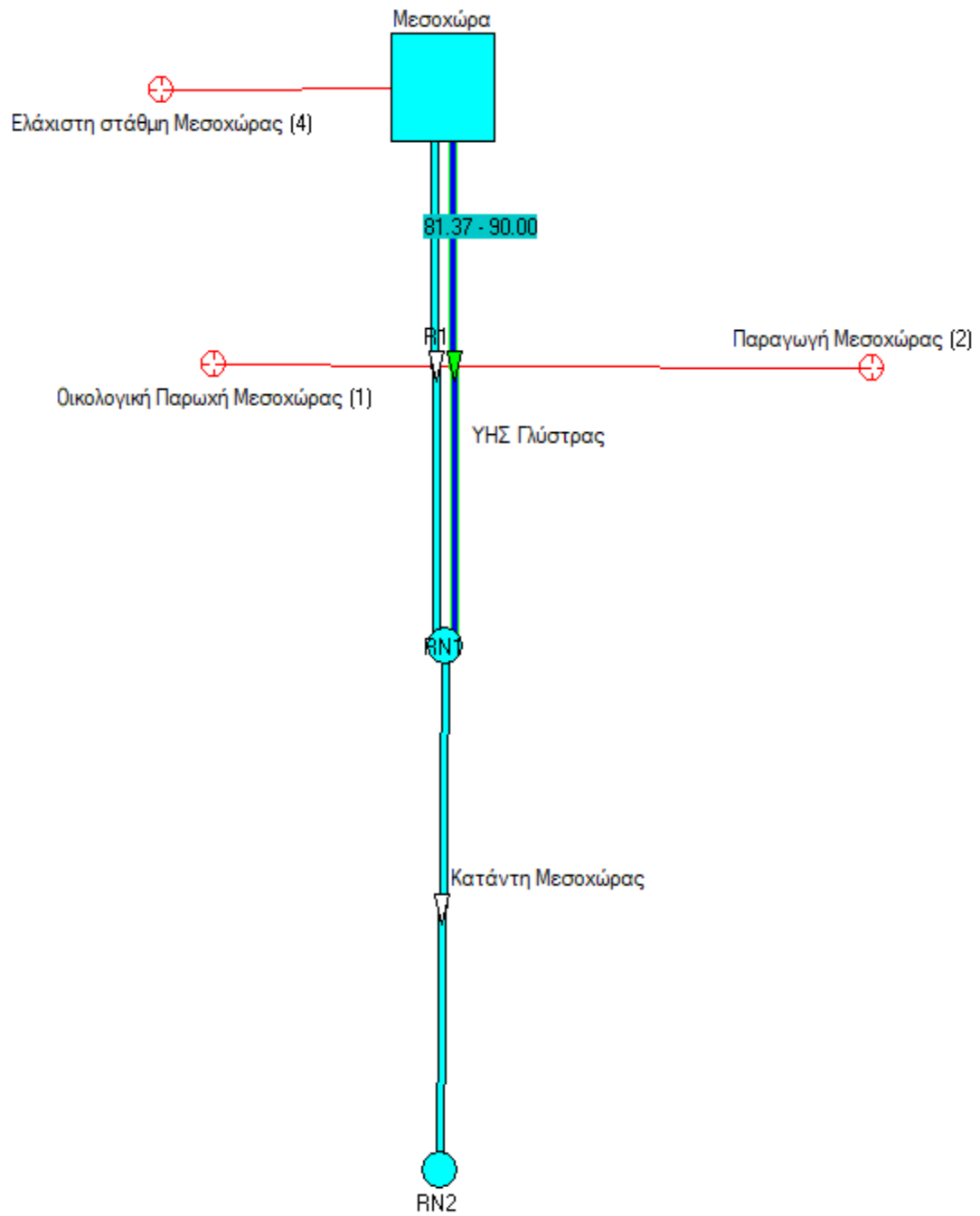
Σενάριο A1.i: Το σενάριο αυτό περιλαμβάνει το πλήρες σχήμα, με λειτουργία όλων των ταμιευτήρων, της σήραγγας εκτροπής και του ΥΗΣ Πευκοφύτου. Η εκτρεπόμενη ποσότητα νερού είναι καθορισμένη και σταθερή κάθε μήνα. Στο σενάριο αυτό εξετάζονται τα οικονομικά οφέλη και η παραγόμενη ενέργεια από διαφορετικούς όγκους εκτροπής (200, 240, 400, 800 hm<sup>3</sup>). Σημειώνεται πως δεν χρησιμοποιείται το εκτρεπόμενο νερό για κάλυψη υδρευτικών ή αρδευτικών αναγκών, αλλά μόνο για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Τα σενάρια με τους διαφορετικούς όγκους εκτρεπόμενου νερού συμβολίζονται με έναν επιπλέον αύξοντα αριθμό.

Σενάριο A2: Το σενάριο αυτό είναι παρόμοιο με το προηγούμενο σενάριο A1, όμως προστίθεται ένας νέος στόχος στο σύστημα. Προστίθεται η μεγιστοποίηση της παραγόμενης ενέργειας από τον ΥΣΗ Πευκοφύτου και η μη πλήρως επιστροφή της εκτρεπόμενης ποσότητας νερού, αλλά ενός σημαντικού μέρους της. Η μεταφερόμενη ποσότητα νερού δεν είναι σταθερή, αλλά μεταβάλλεται δυναμικά. Έτσι, εξετάζεται η πιθανότητα εάν με μία σημαντικά μικρότερη εκτροπή του Άνω ρου του Αχελώου, από αυτή που αρχικά σχεδιάστηκε το έργο, επιτυγχάνεται μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας, μεγαλύτερη ποσότητα που δύναται να αποδοθεί για άρδευση και μεγαλύτερο οικονομικό όφελος για το σύστημα, λόγω της μειωμένης ανάγκης άντλησης. Εξετάζεται έτσι μία νέα πρόταση για την εκτροπή του Αχελώου.

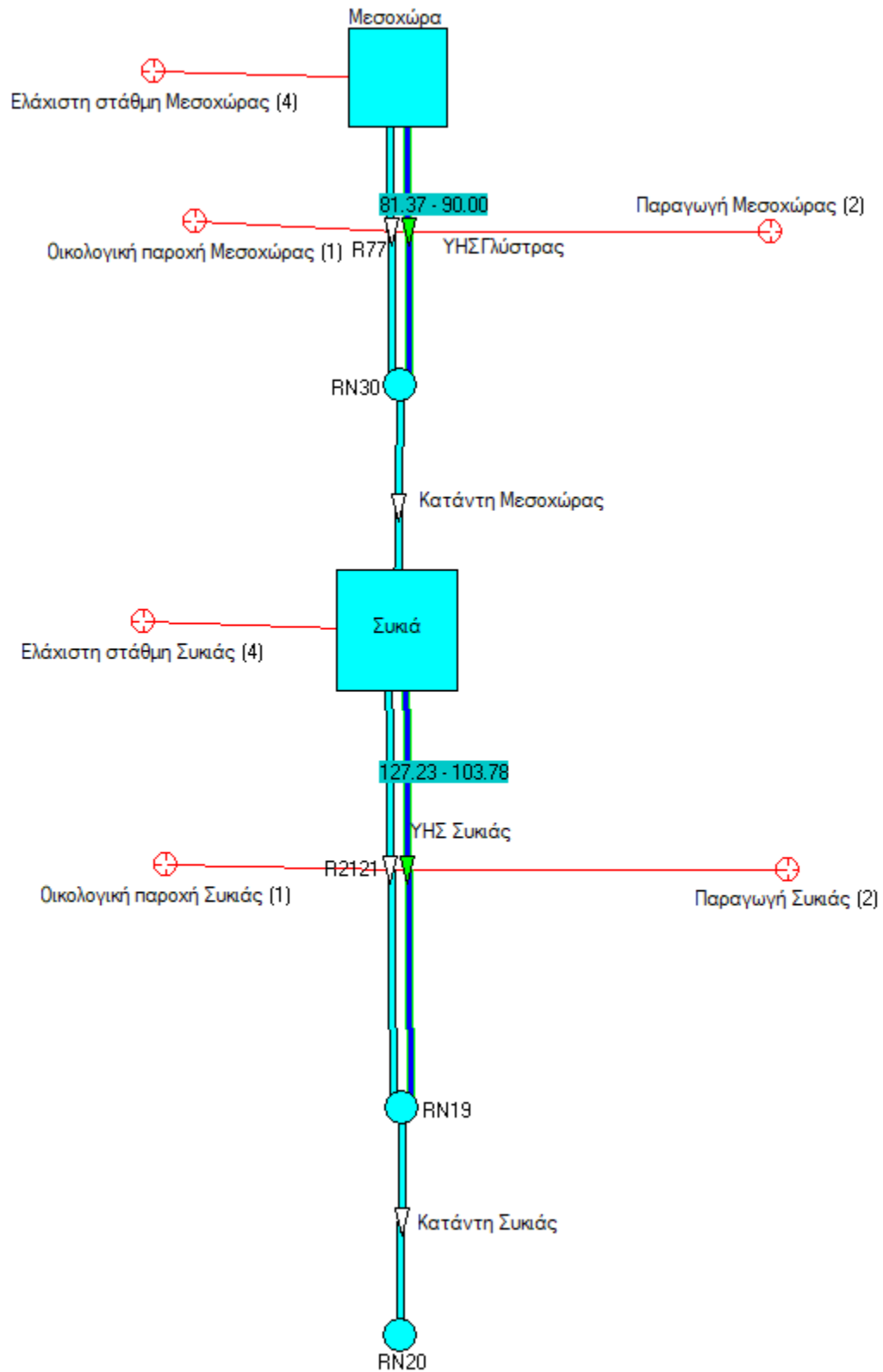
Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαφορετικά σενάρια σχηματικά, όπως απεικονίζονται στο λογισμικό ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ.



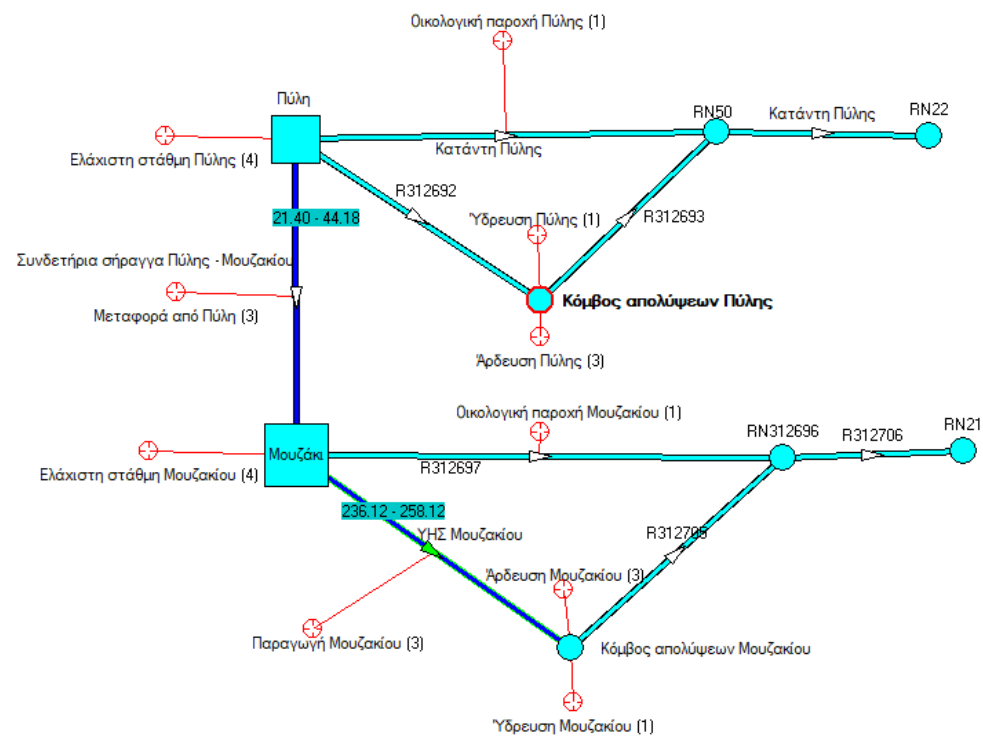
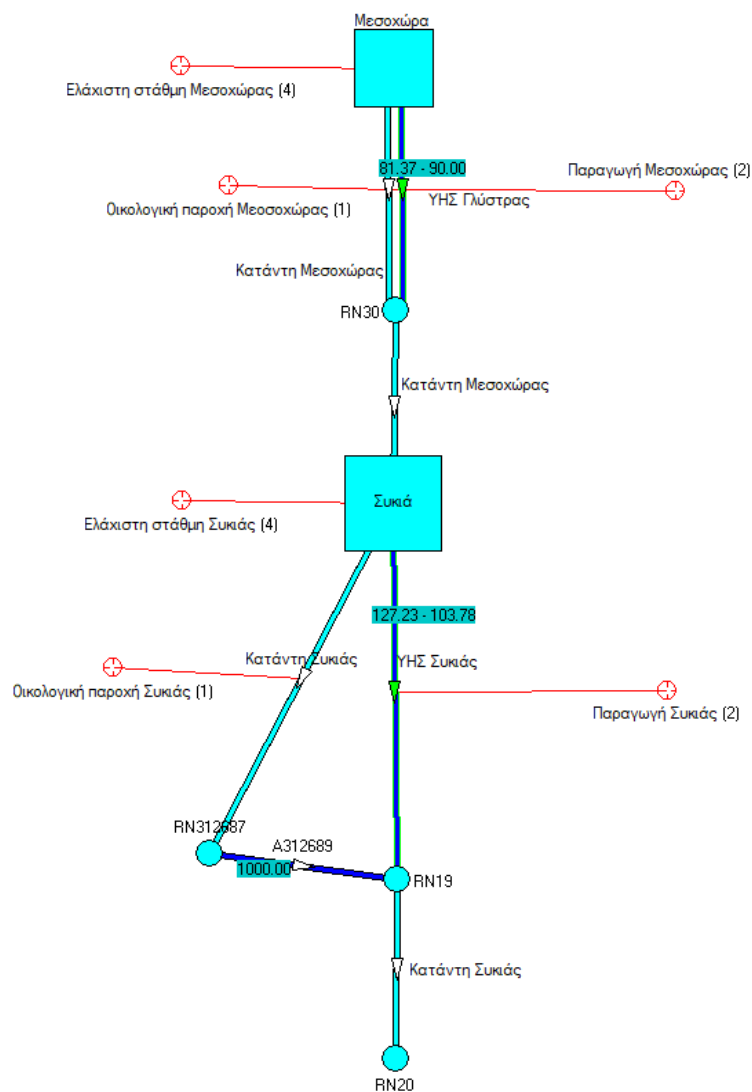
## Σενάριο X1



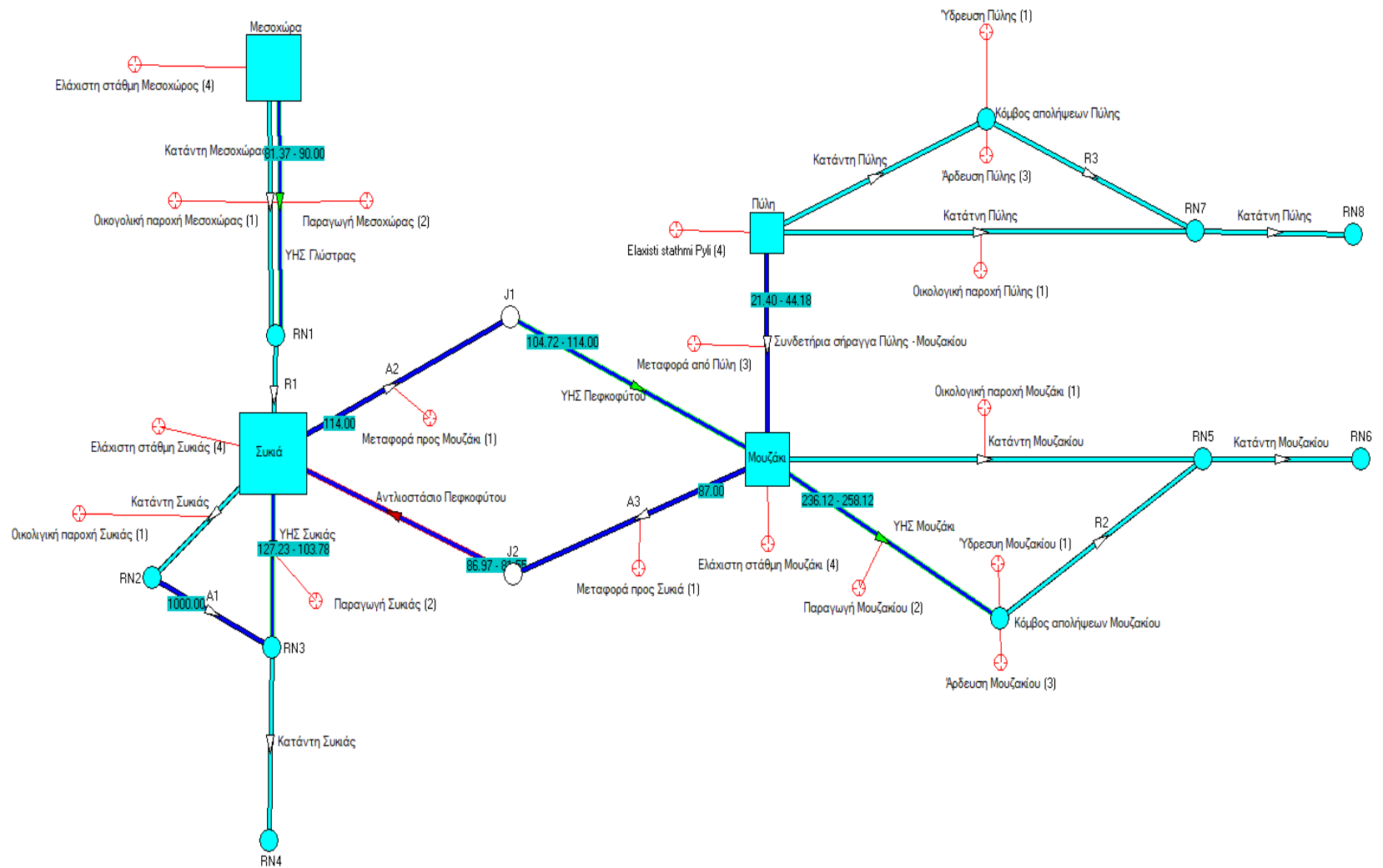
## Σενάριο X2



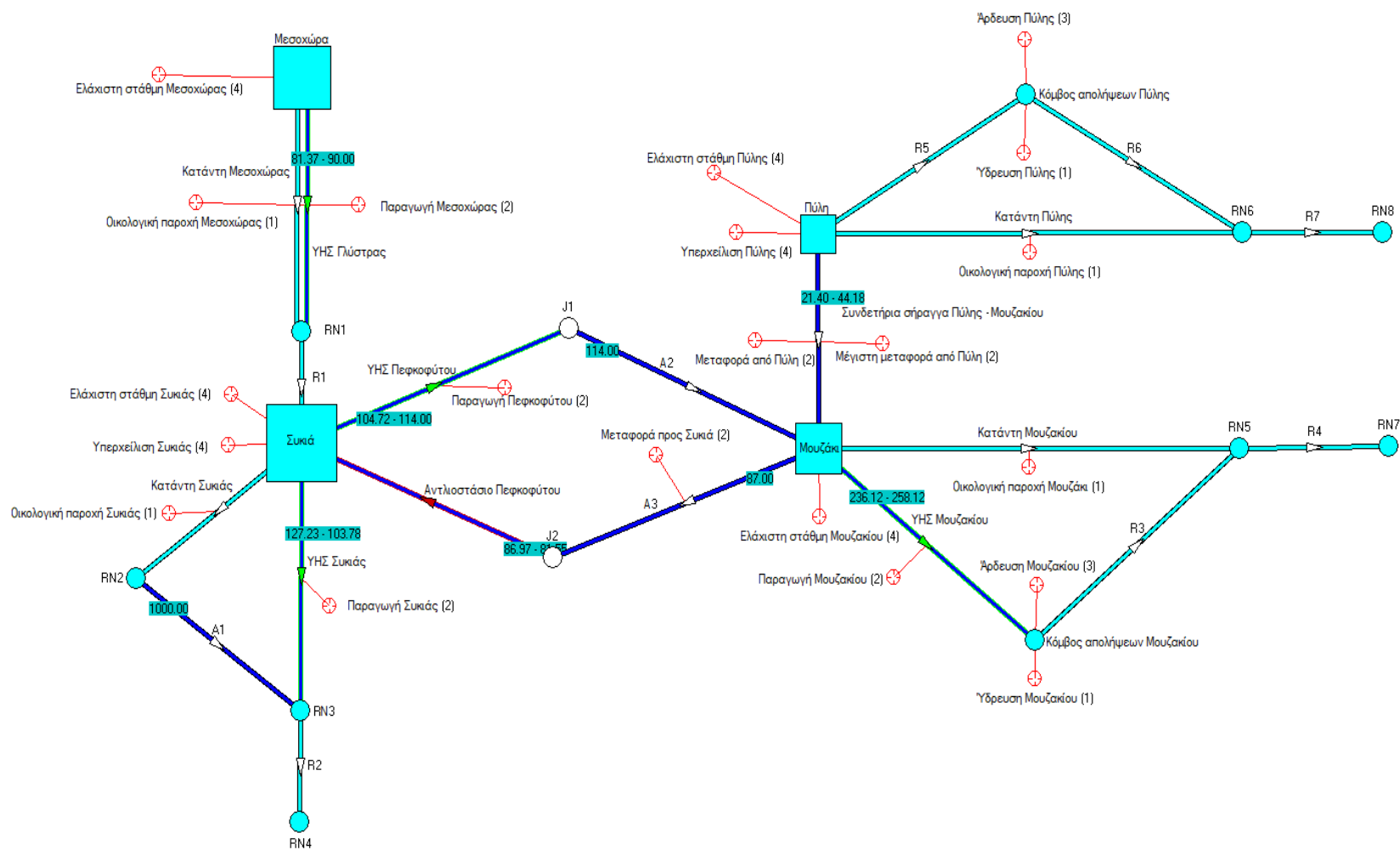
## Σενάριο X3



## Σενάριο A1.i



## Σενάριο A2.i



## 5.7. Οικονομικά στοιχεία

Για σκοπούς βελτιστοποίησης του συστήματος, χρησιμοποιήθηκαν ορισμένα οικονομικά στοιχεία για την πώληση πρωτεύουσας και δευτερεύουσας ενέργειας, καθώς και για την πώληση αρδευτικού νερού. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας για την άντληση του νερού, σε όποιο σενάριο περιέχει. Σε παρακάτω κεφάλαιο (6.5) θα αναλυθεί η δυνατότητα χρήσης της, μη αποθηκεύσιμης, ενέργειας από άλλα έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως αιολικά πάρκα. Σημειώνεται ότι η τιμή πώλησης του αρδευτικού νερού από τον διαχειριστή στην πραγματικότητα είναι διαφορετική από την τιμή αγοράς του από τους καταναλωτές, όμως για του στόχους της παρούσας μελέτης η τιμή αυτή τέθηκε ίση με την τιμή αγοράς ως μέτρο σύγκρισης και δεν είναι αντιπροσωπευτική της πραγματικότητας, αλλά εξυπηρετεί για την βελτιστοποίηση του συστήματος. Τέλος, για να θεωρείται αξιόπιστη η βελτιστοποίηση απαραίτητος είναι ο ορισμός μίας τιμής προστίμου την οποία καλείται να πληρώσει ο διαχειριστής του συστήματος στον καταναλωτή για την αδυναμία κάλυψης της ζήτησης. Στον Πίνακα 5.7.1 παρουσιάζονται τα οικονομικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν, τα οποία αντλήθηκαν από (entsoe):

Πίνακας 5.7.1: Οικονομικά δεδομένα συστήματος Πηγή: (entsoe)

	Τιμή
Πρωτεύουσα ενέργεια (€/kWh)	0.1502
Δευτερεύουσα ενέργεια (€/kWh)	0.04554
Αρδευτικό νερό (€/m <sup>3</sup> )	0.06
Κόστος άντλησης (€/kWh)	0.04554
Ρήτρα αστοχίας (€/kWh)	0.25
Ρήτρα αστοχίας ύδρευσης (€/m <sup>3</sup> )	1
Ρήτρα αστοχίας άρδευσης (€/m <sup>3</sup> )	0.1

Έγινε παραδοχή πως η τιμή της ρήτρας για την παραγωγή ενέργειας είναι τριπλάσια από αυτή της πώλησης πρωτεύουσας ενέργειας. Η τιμή ρήτρας αστοχίας για την άρδευση ορίστηκε ίση με την τιμή αγοράς νερού από την ΕΥΔΑΠ, ενώ για την αστοχία απόδοσης υδρευτικής ζήτησης

θεωρήθηκε δεκαπλάσιος, λόγω της βαρύτητας του στόχου. Ο ορισμός μεγάλων τιμών προστίμου για την αδυναμία κάλυψης της ζήτησης προσδίδει αξιοπιστία στο σύστημα.

## **5.8. Συνοπτική μεθοδολογία λειτουργίας συστήματος**

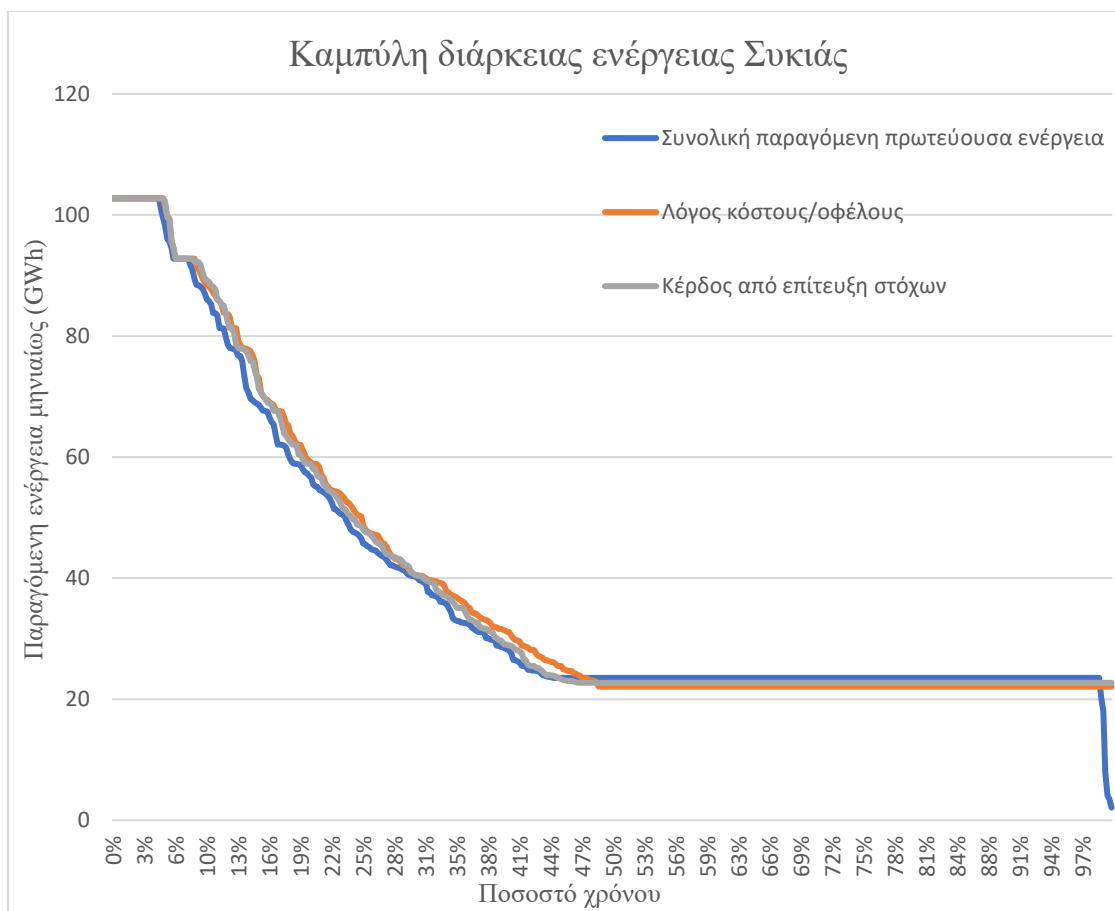
Μετά τον καθορισμό των επιθυμητών σεναρίων και τον σχεδιασμό τους στο λογισμικό ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ, ακολουθεί η ανάλυση και η βελτιστοποίησή τους. Για κάθε σενάριο ακολουθείται η εξής μεθοδολογία:

1. Εισαγωγή απαραίτητων δεδομένων σε κάθε συνιστώσα του συστήματος (χρονοσειρές βροχής - απορροής - εξατμισοδιαπνοής, καμπύλες στάθμης - όγκου και επιφάνειας, καμπύλη ύψους πτώσης – παροχτετευτικότητας και ειδικής ενέργειας, ισχύς και αριθμός μονάδων συστήματος, δεδομένα και περιορισμοί ύδρευσης – άρδευσης και περιβαλλοντικής μόνιμης ροής).
2. Ορισμός οικονομικών κριτηρίων για κάθε ομάδα στόχου. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω οι τιμές για την παραγωγή ενέργειας ορίστηκαν στο κεντρικό μενού επιλογών του λογισμικού, ενώ για τους υπόλοιπους στόχους ξεχωριστά. Η τιμή ποινής για έλλειμα στην παραγωγή ενέργειας ορίστηκε και ως ρήτρα για έλλειμα και στους στόχους διατήρησης οικολογικής ροής και ελάχιστης στάθμης ταμιευτήρα.
3. Επιλογή ομάδας στόχων για την βελτιστοποίηση, π.χ. παραγωγή ενέργειας.
4. Ορισμός κατάλληλου μεγέθους πληθυσμού και αριθμού επαναλήψεων για την βελτιστοποίηση. Ο πληθυσμός πρέπει να είναι μεγαλύτερος από τις ομάδες στόχων προς βελτιστοποίηση και οι επαναλήψεις ενδείκνυται να είναι εκατό φορές μεγαλύτερες του. Έτσι χρησιμοποιήθηκε πληθυσμός από 10 έως και 30 και αριθμός επαναλήψεων από 1000 έως και 3500.
5. Ορισμός μέτρων επίδοσης βελτιστοποίησης. Το λογισμικό ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει το είδος του μέτρου επίδοσης, βάση του οποίου θα πραγματοποιηθεί η βελτιστοποίηση. Για τους σκοπούς της παρούσας μελέτης χρησιμοποιήθηκε η μεγιστοποίηση της συνολικής πρωτεύουσας ενέργειας (Total Generated Firm Power), η μεγιστοποίηση του λόγου κέρδους/ζημιά του συστήματος (Total Cost/Benefit of System), η μεγιστοποίηση του κέρδους για την επίτευξη στόχων (Total Benefit of Fulfilling Targets). Τα τρία αυτά μέτρα επίδοσης αποδίδουν διαφορετικά

αποτελέσματα, ο σχολιασμός των οποίων θα αποδοθεί παρακάτω. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε το μέτρο επίδοσης μέγιστης ετήσιας αστοχίας για τις κρίσιμες παραμέτρους (Maximum Annual Failure Probability), δηλαδή την διατήρηση μόνιμης οικολογικής ροής, την απόδοση της απαιτούμενης υδρευτικής ποσότητας νερού και βοηθητικά για την ελάχιστη στάθμη των ταμιευτήρων. Σε κάθε μέτρο επίδοσης αποδίδεται και ένα αντίστοιχο βάρος. Το βάρος κάθε μέτρου επηρεάζει την βελτιστοποίηση και καθώς κυριότερος στόχος είναι η αξιόπιστη διατήρηση της οικολογικής ροής και ύδρευσης, ορίστηκε βάρος 100. Για την παραγωγή ενέργειας και το συνολικό κέρδος ορίστηκε βάρος 75.

6. Με την εκτέλεση της βελτιστοποίησης καταγράφονται τα μεγέθη και εκτελείται η τελική προσομοίωση, από την οποία εξάγονται τα επιθυμητά αποτελέσματα. Από την χρονοσειρά παραγόμενης ενέργειας εξάγεται η καμπύλη διάρκειας ενέργειας. Στην καμπύλη αυτή στον οριζόντιο άξονα παρουσιάζεται το ποσοστό του χρόνου και στον κατακόρυφο η παραγόμενη ενέργεια, συνήθως σε GWh. Οι καμπύλες διάρκειας όπου παρουσιάζουν μεγάλο ποσοστό του χρόνου να παράγεται σταθερή ενέργεια (plateau) είναι ενδεικτικές ομαλής παραγωγής ενέργειας. Το ποσοστό του χρόνου όπου σταθεροποιείται η παραγωγή ενέργειας είναι και το επίπεδο αξιοπιστίας του έργου ή του συστήματος. Ένα παράδειγμα τέτοιας καμπύλης παρουσιάζεται και στην Εικόνα 5.8.1.





Εικόνα 5.8.1: Παράδειγμα καμπύλης διάρκειας ενέργειας που προέκυψε από την διαδικασία βελτιστοποίησης του συστήματος

## 6. Ανάλυση και αποτελέσματα σεναρίων

Το παρόν κεφάλαιο αποτελείται από την μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων των σεναρίων, τις διαφορετικές παραμέτρους κάθε σεναρίου καθώς και από τα αποτελέσματά τους. Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 5.8, αξιολογούνται τα αποτελέσματα βάση τριών μέτρων επίδοσης. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε σύντομη ανάλυση των κριτηρίων επίδοσης του κάθε σεναρίου. Τα κριτήρια αυτά, παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 2.5 και αποτελούνται από την αξιοπιστία, την ανθεκτικότητα και την ευαισθησία.

### 6.1. Μέτρα επίδοσης

Τα τρία μέτρα επίδοσης που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

- Συνολική παραγόμενη πρωτεύουσα ενέργεια

Ορίζεται ως η συνολική πρωτεύουσα ενέργεια που παράγεται από ένα σύστημα με δεδομένα αξιοπιστία  $\alpha^*$ . Το μέτρο αυτό αποσκοπεί στην μεγιστοποίηση της συνολικής παραγόμενης ενέργειας από το σύστημα, από ένα ενιαίο διαχειριστικό πλάνο, σε αντίθεση με το μέτρο Sum of Generated Firm Power, που θεωρεί κάθε έργο ξεχωριστό. Καθώς στην παρούσα μελέτη εξετάζεται η λειτουργία πολλαπλών έργων με κοινό στόχο, επιλέχθηκε αυτό το μέτρο, έναντι του τελευταίου, καθώς θεωρείται ένα ενιαίο σύστημα, το σύνολο των έργων. Η συνάρτηση έχει την παρακάτω μορφή:

$$J(\theta) = \hat{\alpha} \times \left( \sum_{i=1}^n E_i(t) \right)$$

(6.1.1)

- Λόγος κόστους/οφέλους

Το μέτρο αυτό αποσκοπεί στην μεγιστοποίηση του οφέλους ενός συστήματος, όταν σε αυτό εισάγονται οικονομικά μεγέθη, κέρδος από την απόδοση πρωτεύουσας, δευτερεύουσας ενέργειας, αρδευτικού νερού και επίτευξη άλλων στόχων και κόστος άντλησης, ρήτρα αστοχίας και κ.ο.κ. Προστίθενται οι μέσες τιμές κόστους και οφέλους του συστήματος, βάση της παρακάτω συνάρτησης:

$$J(\theta) = E \left\{ P_{\text{κέρδος στόχου}}^{\acute{\epsilon}\tau\omicron\varsigma}(t) \right\} + E \left\{ P_{\text{κόστος άντλησης}}^{\acute{\epsilon}\tau\omicron\varsigma}(t) \right\} + E \left\{ P_{\text{κέρδος παραγόμενης ενέργειας}}^{\acute{\epsilon}\tau\omicron\varsigma}(t) \right\} \quad (6.1.2)$$

- Κέρδος από επίτευξη στόχων

Το μέτρο αυτό αποτελεί μια απλοποιημένη μορφή του προηγούμενου. Σε κάθε χρονικό βήμα το λογισμικό υπολογίζει για κάθε στόχο  $i$ :

$$P_i = c_i^B \times S_i + c_i^E \times \max\{(D_i - S_i), 0\} - c_i^D \times \max\{(S_i - D_i), 0\} \quad (6.1.3)$$

Όπου  $S_i$  ο σταθερός στόχος,  $D_i$  η αποδιδόμενη ποσότητα και  $c^B, c^E, c^D$  το μοναδιαίο όφελος, το όφελος πλεονάζουσας ποσότητας και η ρήτρα για αστοχία κάλυψης του στόχου, σε περίπτωση που υπάρχουν τα δύο τελευταία. Επομένως το ετήσιο όφελος υπολογίζεται βάση της παρακάτω σχέσης:

$$P_{\text{συνολικό}}^{\acute{\epsilon}\tau\omicron\varsigma} = \sum_{t=1}^{12} P_{\text{συνολικό}}^t = \sum_{t=1}^{12} \sum_{i=1}^m P_{\text{συνολικό}}^t \quad (6.1.4)$$

Η μέση τιμή του παραπάνω είναι το εν λόγω μέτρο επίδοσης:

$$J(\theta) = E \times \left\{ P_{\text{συνολικό}}^{\acute{\epsilon}\tau\omicron\varsigma}(t) \right\} \quad (6.1.5)$$

## 6.2. Σενάρια χωρίς άντλησιοταμίευση

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των σεναρίων χωρίς την λειτουργία της σήραγγας εκτροπής. Στα σενάρια αυτά αποδόθηκε βαρύτητα στην παροχή της μέγιστης δυνατής πρωτεύουσας ενέργειας και η απόδοση της μέγιστης δυνατής ποσότητας αρδευτικού νερού. Παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα σε μορφή πινάκων και γραφημάτων. Σε κάθε σενάριο παρατίθενται και τα μέτρα επίδοσής του για τους εκάστοτε στόχους παραγωγής ενέργειας, απόληψης αρδευτικής και υδρευτικής ζήτησης.

### 6.2.1. Σενάριο X1

Στο σενάριο αυτό, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 5.6, το σύστημα αποτελείται αποκλειστικά από τον ταμιευτήρα της Μεσοχώρας και το αντίστοιχο υδροηλεκτρικό έργο της Γλύστρας. Το σενάριο αυτό είναι άμεσα εφαρμόσιμο, καθώς τα εν λόγω έργα είναι κατασκευασμένα και εκκρεμεί η πλήρωση του ταμιευτήρα. Στο σενάριο αυτό αποκλειστικός στόχος της βελτιστοποίησης είναι η μεγιστοποίηση της αξιόπιστα παραγόμενης ενέργειας.

Ορίζοντας την κατώτατη στάθμη του ταμιευτήρα τέτοια ώστε να διατηρείται μόνιμα ποσότητα 150 hm<sup>3</sup>, εξασφαλίζεται η υγιής λειτουργία του συστήματος. Αποδίδεται στα κατάντη του ταμιευτήρα επαρκής ποσότητα οικολογικής ροής, η οποία ορίστηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, 5.4.2. Στον Πίνακα 6.2.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης με τα διαφορετικά μέτρα επίδοσης, για τον στόχο παραγωγής ενέργειας που τέθηκε στον υδροηλεκτρικό σταθμό Γλύστρας και την μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας κάθε διαφορετικού στόχου.

Πίνακας 6.2.1: Στόχοι και αποτελέσματα βελτιστοποίησης σεναρίου X1

	Συνολική παραγόμενη πρωτεύουσα ενέργεια	Λόγος κόστους/οφέλους	Κέρδος από επίτευξη στόχων
Στόχος GWh/μήνα	14.37	13.64	14.37
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας GWh	327.20	328.24	327.20
Μέσο ετήσιο κέρδος (€)	40,801,176.00	39,532,786.00	40,801,176.00

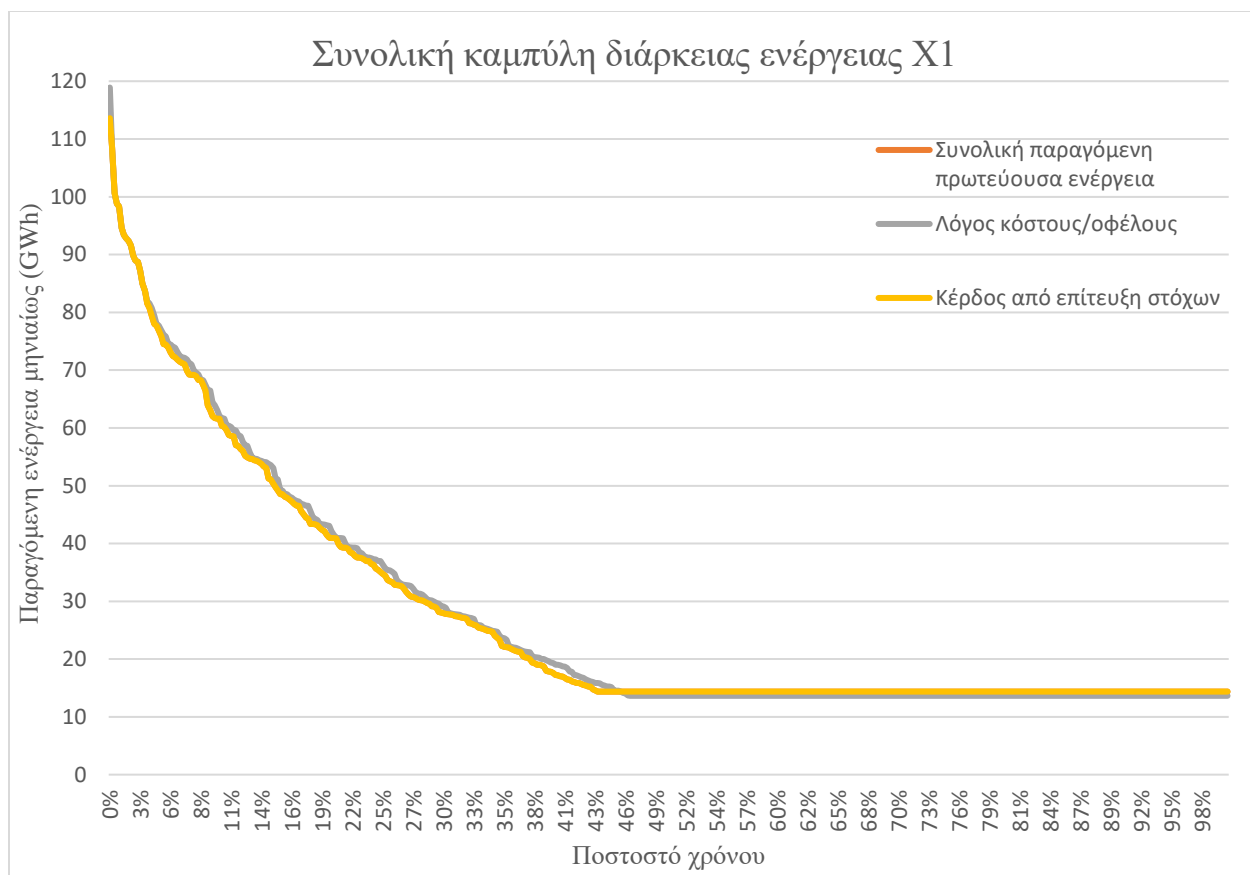
Στον Πίνακα 6.2.2 παρουσιάζονται τα κριτήρια επίδοσης του σεναρίου X1:

Πίνακας 6.2.2: Κριτήρια επίδοσης σεναρίου X1

		Συνολική παραγόμενη πρωτεύουσα ενέργεια	Λόγος κόστους/οφέλους	Κέρδος από επίτευξη στόχων
Παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας Μεσοχώρας	Αξιοπιστία	100%	100%	100%
	Ανθεκτικότητα	100%	100%	100%
	Ευαισθησία	-	-	-

Καθώς δεν παρατηρείται καμία αστοχία στο σύστημα, ο υπολογισμός της ευαισθησίας δεν ορίζεται.

Οι καμπύλες διάρκειας ενέργειας των διαφορετικών μέτρων παρουσιάζονται στην Εικόνα 6.2.1:



Εικόνα 6.2.1: Καμπύλη συνολικής διάρκειας ενέργειας σεναρίου X1

Παρατηρούνται παρόμοια αποτελέσματα και στις τρεις περιπτώσεις, με μικρή διαφορά στην εγγυημένη ενέργεια, και κατά συνέπεια στο συνολικό κέρδος, από το μέτρο λόγου κόστους/οφέλους.

### 6.2.2. Σενάριο X2

Για το σενάριο αυτό προστίθεται στο προηγούμενο σύστημα ο ταμιευτήρα της Συκιάς και το αντίστοιχο υδροηλεκτρικό έργο, χωρίς όμως την λειτουργία της σήραγγας εκτροπής και των συνοδών της έργων. Η βελτιστοποίηση οδήγησε σε παρόμοια αποτελέσματα τον στόχο παραγωγής της Μεσοχώρας, καθώς οι δύο ταμιευτήρες είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους.

Στον Πίνακα 6.2.3 παρουσιάζονται οι στόχοι και η μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας από το σύστημα:

Πίνακας 6.2.3: Στόχοι και αποτελέσματα βελτιστοποίησης σεναρίου X2

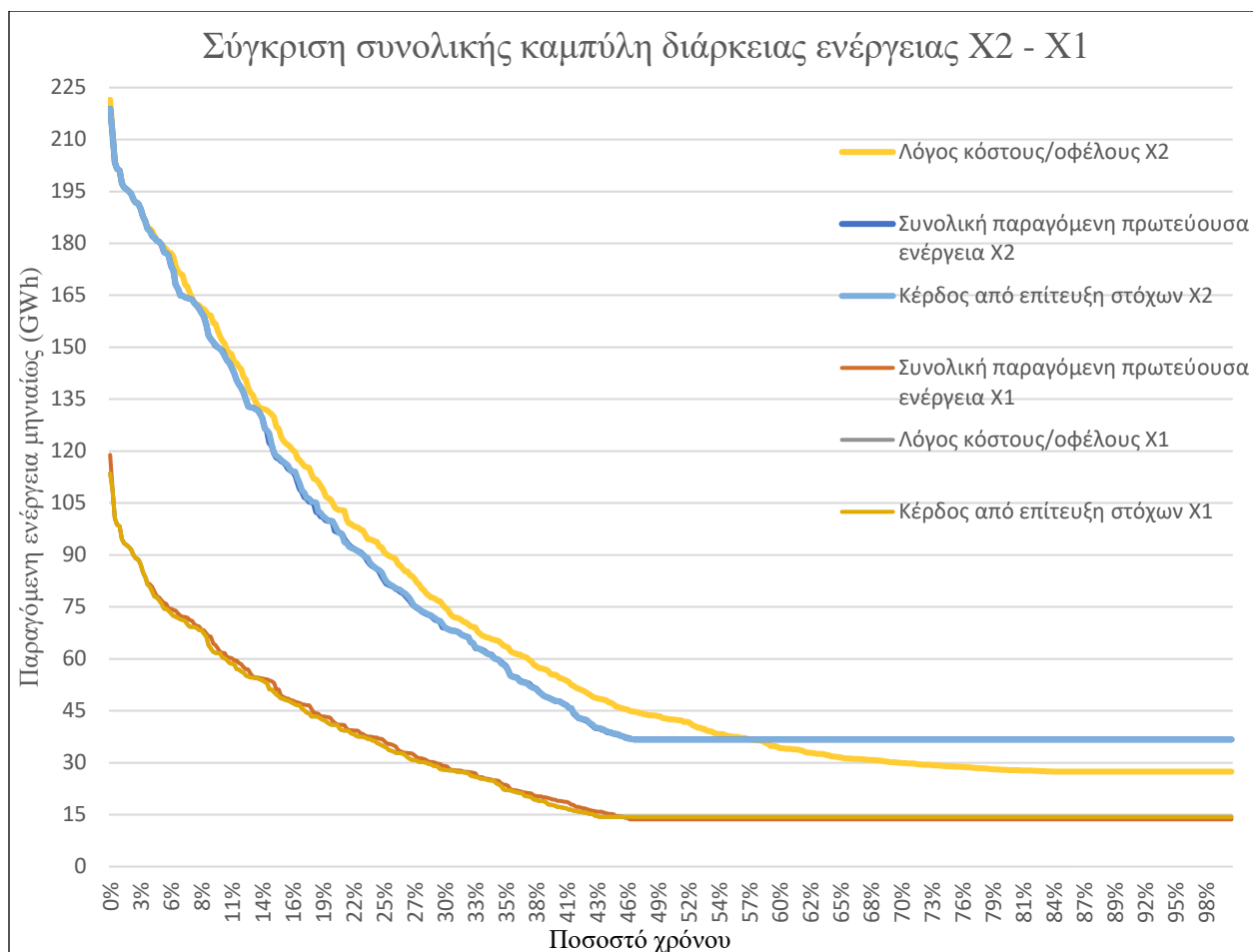
	Συνολική παραγόμενη πρωτεύουσα ενέργεια	Λόγος κόστους/οφέλους	Κέρδος από επίτευξη στόχων
Στόχος Μεσοχώρας (GWh/μήνα)	14.02	13.66	14.02
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Μεσοχώρας (GWh)	326.80	326.80	326.82
Στόχος Συκιάς (GWh/μήνα)	22.70	13.77	22.69
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Συκιάς (GWh)	468.31	466.9	468.31
Συνολική ενέργεια (GWh)	794.27	793.70	795.11
Μέσο ετήσιο κέρδος (€)	81,066,600.00	64,322,304.00	81,049,487.00

Στον Πίνακα 6.2.4 παρουσιάζονται τα κριτήρια επίδοσης του σεναρίου X2:

Πίνακας 6.2.4: Κριτήρια επίδοσης σεναρίου X2

		Συνολική παραγόμενη πρωτεύουσα ενέργεια	Λόγος κόστους/οφέλους	Κέρδος από επίτευξη στόχων
Παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας Μεσοχώρας	Αξιοπιστία	100%	100%	100%
	Ανθεκτικότητα	100%	100%	100%
	Ευαισθησία	-	-	-
Παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας Συκιάς	Αξιοπιστία	100%	100%	100%
	Ανθεκτικότητα	100%	100%	100%
	Ευαισθησία	-	-	-

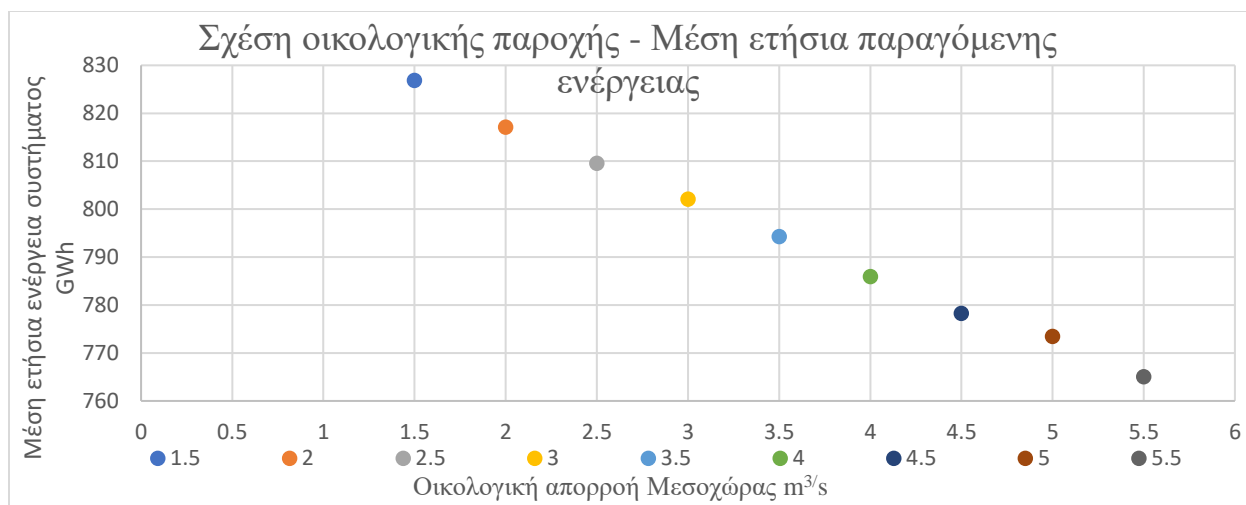
Η προσθήκη της Συκιάς στο σύστημα έχει σημαντικό αντίκτυπο στην παραγόμενη ενέργεια, καθώς αυτή υπερδιπλασιάζεται, όπως αποδεικνύεται και από την Εικόνα 6.2.2, όπου παρουσιάζεται η καμπύλη διάρκειας ενέργειας:



Εικόνα 6.2.2: Σύγκριση συνολικής καμπύλης διάρκειας ενέργειας σεναρίου X2-X1

Η προσθήκη της Συκιάς στο σύστημα προσφέρει και σημαντικό οικονομικό όφελος, καθώς αυτό αυξάνεται κατά 100 %. Όπως και στο προηγούμενο σενάριο, το μέτρο λόγου κόστους/οφέλους αποδίδει σε χαμηλότερο ποσοστό του χρόνου εγγυημένη ενέργεια, με αποτέλεσμα σημαντικά χαμηλότερο μέσο ετήσιο κέρδος για το συστήματος.

Για το σενάριο αυτό πραγματοποιήθηκε διερεύνηση για πιθανές επιπτώσεις που θα είχε η μείωση ή αύξηση της οικολογικής παροχής κατάντη του ταμιευτήρα Μεσοχώρας στην παραγωγή ενέργειας του συστήματος. Σημειώνεται ότι το μέτρο επίδοσης που αξιοποιήθηκε είναι αυτό της μεγιστοποίησης της πρωτεύουσας ενέργειας. Η Εικόνα 6.2.3 παρουσιάζει τα αποτελέσματα αυτής της διερεύνησης.



Εικόνα 6.2.3: Σχέση οικολογική παροχής – Μέσης ετήσιας παραγόμενης ενέργειας

Παρατηρείται ότι με την αύξηση της οικολογικής απορροής της Μεσοχώρας από 3.5 m<sup>3</sup>/s που έχει θεωρηθεί στην παρούσα μελέτη η συνολική μέση ετήσια παραγόμενη ενέργεια μειώνεται έως και 4 %, για την περίπτωση των 5 m<sup>3</sup>/s, ενώ αντίστροφα αποτελέσματα απαντώνται στην περίπτωση μείωσής της. Το ποσοστό αυτό δεν θεωρείται ότι θα έχει ουσιαστική επίπτωση στα οικονομικά οφέλη του συστήματος, με αποτέλεσμα μία αύξηση της οικολογικής απορροής να είναι θεμιτή.

Στα παρακάτω σενάρια η οικολογική απορροή της Μεσοχώρας θεωρείται ίση με την προκαθορισμένη του κεφαλαίου 5.4.2.

### 6.2.3. Σενάριο X3

Για το σενάριο αυτό προστέθηκαν στο σενάριο X2 οι ταμιευτήρες του Μουζακίου και της Πύλης, μαζί με την συνδετήρια σήραγγα και τον σταθμό παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας Μουζακίου, ενώ η σήραγγα εκτροπής του Αχελώου δεν λειτουργεί. Το σενάριο αυτό αποτελείται από δύο ξεχωριστά συστήματα, τα οποία δεν αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους. Για τον λόγο αυτό και για την μείωση του υπολογιστικού φόρτου πραγματοποιήθηκαν δύο ξεχωριστές βελτιστοποιήσεις, μία για την περιοχή του Αχελώου, η οποία ταυτίζεται με το Σενάριο X2 και μία για την περιοχή της Δυτικής Θεσσαλίας.

Ύστερα από ενδελεχή έλεγχο πιθανών τιμών για την συνολική αρδευτική ποσότητα που θα παρέχει ο ταμιευτήρας του Μουζακίου, επιλέχθηκε η τιμή των 105 hm<sup>3</sup> ανά έτος. Η ποσότητα αυτή αποτελεί σχεδόν το 10 % της συνολικής ζήτησης της Θεσσαλίας. Η απολήψεις για την άρδευση, αλλά και την ύδρευση, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 5.4.3 πραγματοποιείται κατάντη του



σταθμού παραγωγής Μουζακίου. Η περαιτέρω αύξηση της αρδευτικής ζήτησης θα έθετε σε κίνδυνο την αξιοπιστία της παραγόμενης πρωτεύουσας ενέργειας.

Η συνδετήρια σήραγγα Πύλης Μουζακίου μεταφέρει σταθερά μία κατώτατη ποσότητα σε κάθε χρονικό βήμα. Η ποσότητα αυτή καθορίστηκε από την βελτιστοποίηση για κάθε μέτρο διαφορετική.

Ο Πίνακας 6.2.5 παρουσιάζει τους στόχους, την μέση ετήσια παραγόμενη ενέργεια, την συνολική ενέργεια του συστήματος καθώς και την ελάχιστη μεταφερόμενη ποσότητα από την Πύλη προς Μουζάκι:

Πίνακας 6.2.5: Στόχοι και αποτελέσματα βελτιστοποίησης σεναρίου X3

	Συνολική παραγόμενη πρωτεύουσα ενέργεια	Λόγος κόστους/οφέλους	Κέρδος από επίτευξη στόχων
Στόχος Μεσοχώρας (GWh/μήνα)	14.83	14.17	13.84
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Μεσοχώρας (GWh)	325.18	327.33	326.99
Στόχος Συκιάς (GWh/μήνα)	23.54	22.08	22.72
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Συκιάς (GWh)	463.61	470.32	469.46
Στόχος Μουζακίου (GWh/μήνα)	0.03	0.21	0.26
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Μουζακίου (GWh)	42.26	40.77	43.30
Στόχος μεταφερόμενης ποσότητα από Πύλη (m <sup>3</sup> /s)	0.34	0	1.22
Συνολική ενέργεια (GWh)	831.05	838.42	839.75
Μέσο ετήσιο κέρδος ενέργειας (€)	106,440,691.00	103,896,400.80	104,046,083.00

Συνολικό μέσο ετήσιο κέρδος (€)	112,022,841.20	110,315,631.90	109,798,825.00
---------------------------------	----------------	----------------	----------------

Και τα τρία κριτήρια βελτιστοποίησης αποδίδουν παρόμοια αποτελέσματα, όμως λόγω της υψηλότερης ποσότητας πρωτεύουσας ενέργειας, το κριτήριο βελτιστοποίησης μεγιστοποίησης της παραγόμενης πρωτεύουσας ενέργειας, επιφέρει τα μεγαλύτερα οικονομικά οφέλη.

Τα κριτήρια επίδοσης του σεναρίου παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.2.6:

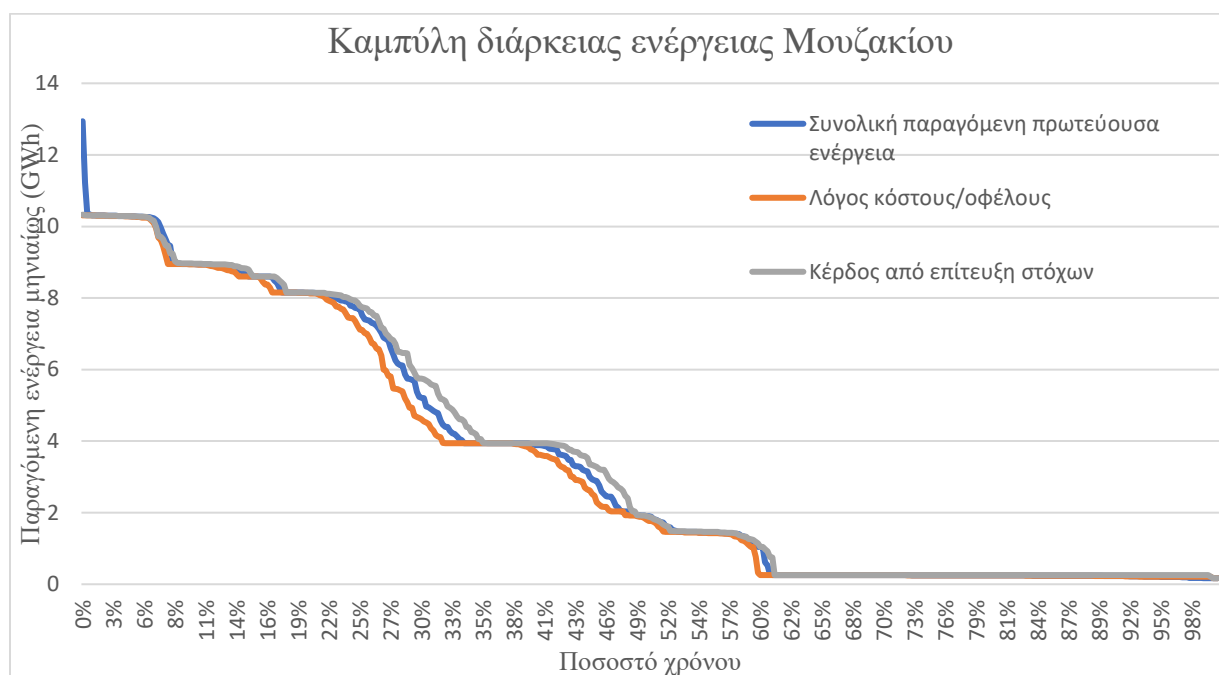
Πίνακας 6.2.6: Κριτήρια επίδοσης σεναρίου Χ3

		Συνολική παραγόμενη πρωτεύουσα ενέργεια	Λόγος κόστους/οφέλους	Κέρδος από επίτευξη στόχων
Παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας Μεσοχώρας	Αξιοπιστία	99.17 %	99.79 %	99.38 %
	Ανθεκτικότητα	99.38 %	100 %	99.58 %
	Ευαισθησία	11.27	1.78	11.3
Παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας Συκιάς	Αξιοπιστία	99.00 %	100 %	99.00 %
	Ανθεκτικότητα	98.75 %	100 %	99.38 %
	Ευαισθησία	12.20	-	12.89
Παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας Μουζακίου	Αξιοπιστία	100 %	99.38 %	99.17 %
	Ανθεκτικότητα	100 %	99.79 %	99.58 %
	Ευαισθησία	-	0.04	0.08
Άρδευση Μουζακίου	Αξιοπιστία	99.38 %	99.17 %	99.17 %
	Ανθεκτικότητα	99.79 %	99.58 %	99.58 %
	Ευαισθησία	6.60	5.31	6.19
Άρδευση Πύλης	Αξιοπιστία	99.58 %	99.58 %	99.58 %
	Ανθεκτικότητα	100 %	100 %	100 %
	Ευαισθησία	0.15	0.15	0.15
Ύδρευση Μουζακίου	Αξιοπιστία	100 %	100 %	100 %
	Ανθεκτικότητα	100 %	100 %	100 %
	Ευαισθησία	-	-	-
Ύδρευση Πύλης	Αξιοπιστία	99.38 %	99.58 %	99.38 %

	<b>Ανθεκτικότητα</b>	99.79 %	100 %	99.79 %
	<b>Ευαισθησία</b>	0.82	0.44	0.93

Παρατηρούνται ικανοποιητικά επίπεδα αξιοπιστίας και ανθεκτικότητας και με τα τρία μέτρα επίδοσης, όμως η βελτιστοποίηση με την χρήση του λόγου κόστους/οφέλους, οδηγεί σε χαμηλότερη ευαισθησία του συστήματος. Καθώς το μέτρο αυτό στοχεύει στην μεγιστοποίηση του κέρδους, ορίζει στόχους κατάλληλους ώστε ακόμα και τυχόν αστοχία να μην είναι εκτεταμένη. Παρατηρείται λοιπόν, ότι με βάση του σεναρίου αυτού μία τυχόν αστοχία της άρδευσης Μουζακίου θα είναι κατά μέσο όρο  $5.31 \text{ hm}^3/\text{μήνα}$ .

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι καμπύλες ενέργειας του Μουζακίου, που παρατίθενται στην Εικόνα 6.2.4:



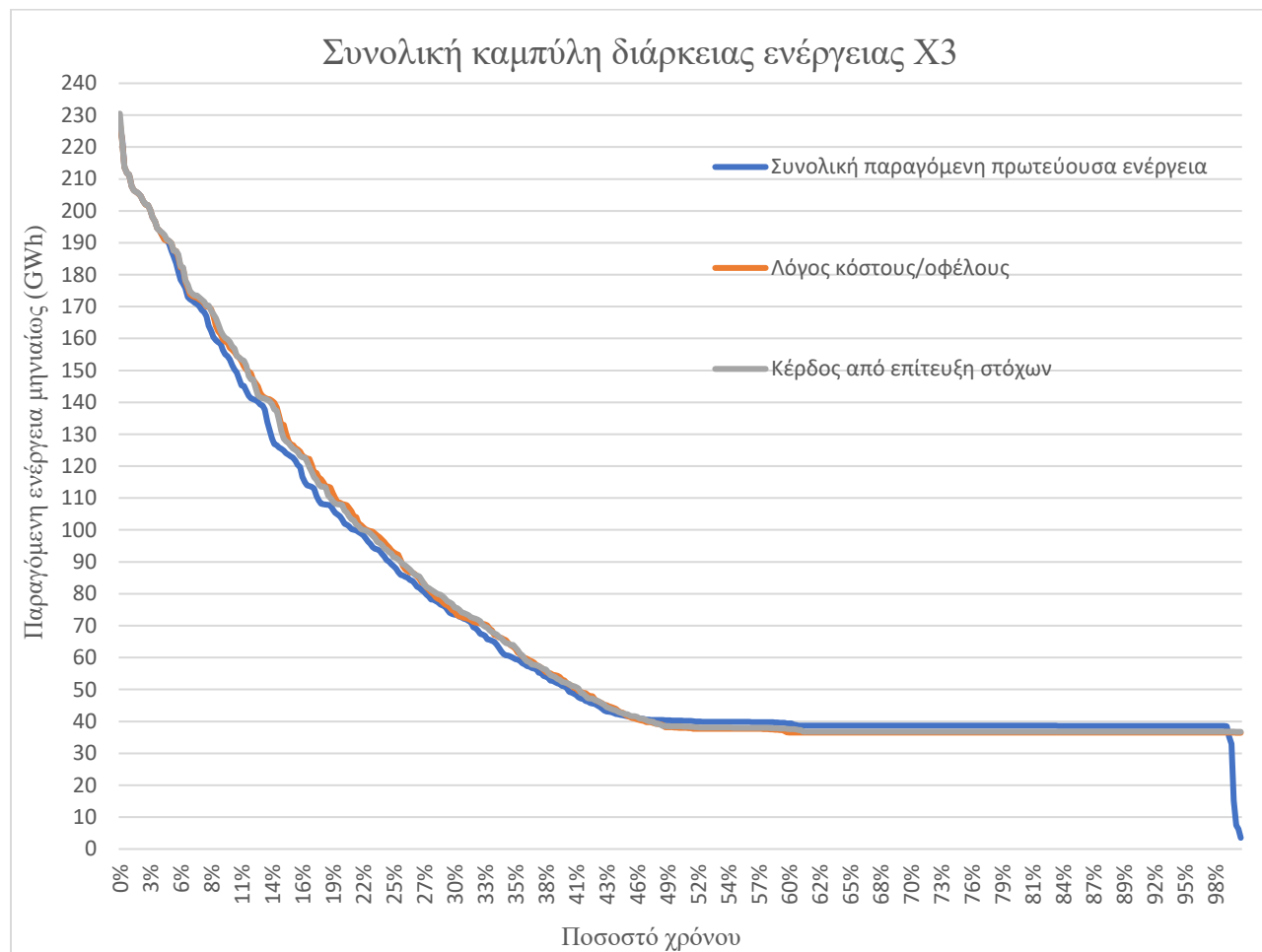
Εικόνα 6.2.4: Καμπύλη διάρκειας ενέργειας ΥΗΣ Μουζακίου για σενάριο X3

Καθώς το υδροηλεκτρικό έργο λαμβάνει τις ποσότητες νερού που προορίζονται για ύδρευση και άρδευση στο σύνολο του χρόνου, παρουσιάζει επτά διαφορετικά πλατό παραγωγής ενέργειας, τα οποία αντιστοιχούν και στις επτά διαφορετικές ζητήσεις αρδευτικής απορροής (μήνες Απρίλιος έως και Σεπτέμβριος και Οκτώβριος έως και Μάρτιος).

Στην συνολική καμπύλη ενέργειας του συστήματος παρατηρείται μικρή αύξηση στην εγγυημένη παραγόμενη ενέργεια και την μέγιστη ενέργεια σε σχέση με το Σενάριο X2. Κύριο πλεονέκτημα

της λειτουργίας των δύο ταμιευτήρων στην περιοχή της Δυτικής Θεσσαλίας αποτελεί η σημαντική ποσότητα που δύναται να παρέχεται για άρδευση από το σύστημα. Η προσθήκη αυτή προσδίδει και μεγάλα οικονομικά οφέλη στο σύστημα. Όπως έχει ήδη αναφερθεί η Θεσσαλία αντιμετωπίζει έντονο πρόβλημα ταπείνωσης του υπόγειου υδροφορέα, ζήτημα που η επίλυσή του απαιτεί την παύση άντλησης, εκτός περιπτώσεων αστοχίας.

Παρατηρείται, όπως και στα προηγούμενα σενάρια, ότι τα τρία διαφορετικά μέτρα επίδοσης οδηγούν σε παρόμοια αποτελέσματα, όπως εμφανίζεται και στην συνολική καμπύλη ενέργειας του συστήματος, στην Εικόνα 6.2.5:



Εικόνα 6.2.5: Καμπύλη συνολικής διάρκειας ενέργειας σεναρίου X3

Ο Πίνακας 6.3.9 Πίνακας 6.2.7 παρουσιάζει την εγγυημένη ενέργεια που παράγεται με αξιοπιστία 99% για τα σενάρια X1, X2, X3.

Πίνακας 6.2.7: Εγγυημένη ενέργεια συστήματος για αξιοπιστία 99%, σεναρίων X1, X2, X3

Σενάρια	X1	X2	X3
Συνολική παραγόμενη πρωτεύουσα ενέργεια (GWh/μήνα)	14.37	36.72	38.51
Λόγος κόστους/οφέλους (GWh/μήνα)	13.64	27.43	36.46
Κέρδος από επίτευξη στόχων (GWh/μήνα)	14.37	36.71	36.82

### 6.3. Σενάρια αντλησιοταμίευσης

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των σεναρίων που περιέχουν την λειτουργία της σήραγγας εκτροπής του Αχελώου προς την Δυτική Θεσσαλία και των συνοδών της έργων. Η λειτουργία της σήραγγας συνοδεύεται από μία σειρά από περιορισμούς.

Αρχικά και κυριότερα, σημειώνεται ότι τέθηκε ως πρωταρχικός στόχος η άντληση προς την Συκιά, ολόκληρης της εκτρεπόμενης ποσότητας. Έτσι το έργο δεν λειτουργεί για την παροχή αρδευτικού νερού στην Θεσσαλία, αλλά για την αξιοποίηση των δύο ταμιευτήρων ως έργα αποθήκευσης ενέργειας. Επιπλέον, για την διασφάλιση της άντλησης ολόκληρης της εκτρεπόμενης ποσότητας τροποποιήθηκε το υδατόρευμα κατάντη του ταμιευτήρα Συκιάς. Σε αντίθεση με τα προηγούμενα σενάρια όπου το υδατόρευμα και ο υδροστρόβιλος κατέληγαν απευθείας σε κοινό κόμβο κατάντη του ταμιευτήρα, στα σενάρια που ακολουθούν τοποθετήθηκε ένα εικονικό υδραγωγείο με πολύ μεγάλη παροχετευτικότητα και πολύ χαμηλό κόστος μεταφοράς ανά  $m^3$ . Επιπλέον ο στόχος της οικολογικής παροχής της Συκιάς μετατράπηκε από σταθερή παροχή σε ελάχιστη παροχή, ίση με αυτή που ορίστηκε στο κεφάλαιο 5.4.2. Οι δύο αυτές αλλαγές εξασφαλίζουν ότι σε περίπτωση υπερχειλίσσης του ταμιευτήρα θα αντληθεί η καθορισμένη ποσότητα και δεν θα θεωρηθεί από το λογισμικό ως αστοχία.

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύονται τα αποτελέσματα τεσσάρων υποσεναρίων, που αφορούν διαφορετικές ποσότητες εκτροπής A1.i ( $200 \text{ hm}^3$ ,  $240 \text{ hm}^3$ ,  $400 \text{ hm}^3$ ,  $800 \text{ hm}^3$ ) και ένα σενάριο όπου δεν πραγματοποιείται πλήρη άντληση της ποσότητας εκτροπής, αλλά μεγάλου μέρους της, και εξετάζονται διαφορετικές ποσότητες απόδοσης αρδευτικής ζήτησης A2.i.

### **6.3.1. Σενάριο A1.i**

Κύριο ερώτημα που καλείται να απαντήσει η διερεύνηση της εκτρεπόμενης ποσότητας είναι ποια είναι η βέλτιστη ποσότητα ώστε τα κέρδη από την παραγωγή ενέργειας να είναι τα μέγιστα, σε σχέση και με το κόστος άντλησης. Αρχικά θεωρείται ότι η άντληση πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας ενέργεια από τα θερμοηλεκτρικά εργοστάσια και τους σταθμούς παραγωγής ενέργειας με φυσικό αέριο. Στην συνέχεια θα εξεταστεί το σενάριο όπου η ενέργεια αυτή αντλείται από άλλες μορφές ανανεώσιμων πηγών, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 5.5.

Ο Πίνακας 6.3.1 παρουσιάζει τα αποτελέσματα για κάθε διαφορετική ποσότητα εκτροπής.

Πίνακας 6.3.1: Στόχοι και αποτελέσματα βελτιστοποίησης σεναρίων Α1.1

Α/Α Βελτιστοποίησης/Ποσότητα Εκτροπής (hm <sup>3</sup> /έτος)	Στόχοι	Συνολική παραγόμενη πρωτεύουσα ενέργεια	Λόγος κόστους/οφέλους	Κέρδος από επίτευξη στόχων
<b>1</b>  <b>200 hm<sup>3</sup>/έτος</b>	Στόχος Μεσοχώρας (GWh/μήνα)	13	13	13
	Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Μεσοχώρας (GWh)	321.45	321.47	321.41
	Στόχος Συκιάς (GWh/μήνα)	22.5	22.5	22.5
	Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Συκιάς (GWh)	453.78	453.77	4573.89
	Στόχος Μουζακίου (GWh/μήνα)	0.41	0.21	0.53
	Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Μουζακίου (GWh)	43.09	40.77	43.54
	Μεταφερόμενη ποσότητα από Πύλη (m <sup>3</sup> /s)	1.30	0	1.50
	Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Πευκοφύτου (GWh)	69.59		
	Ετήσιο κόστος άντλησης (€)	4,229,134.00	4,228,994.00	4,228,994.00
	Συνολική ενέργεια (GWh/έτος)	888.95	888.60	888.43
	Μέσο ετήσιο κέρδος ενέργεια (€)	114,824,783.00	114,373,506.00	115,011,640.20
	Συνολικό μέσο ετήσιο κέρδος (€)	121,120,152.40	120,809,334.00	121,242,358.70
	Μέσο ετήσιο κέρδος (€)	116,891,018.40	116,580,340.00	117,013,364.70

2  240 hm <sup>3</sup> /έτος	Στόχος Μεσοχώρας (GWh/μήνα)	13	13	13
	Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Μεσοχώρας (GWh)	321.44	321.46	321.38
	Στόχος Συκιάς (GWh/μήνα)	22.5	22.5	22.5
	Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Συκιάς (GWh)	453.79	453.78	454.00
	Στόχος Μουζακίου (GWh/μήνα)	0.40	0.17	0.70
	Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Μουζακίου (GWh)	41.78	40.77	41.55
	Μεταφερόμενη ποσότητα από Πύλη (m <sup>3</sup> /s)	0.54	0	0
	Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Πευκοφύτου (GWh)	83.71		
	Μέσο ετήσιο κόστος άντλησης (€)	5,081,396.00	5,081,256.00	5,081,025.00
	Συνολική ενέργεια (GWh/έτος)	900.71	899.72	900.63
	Μέσο ετήσιο κέρδος ενέργεια (€)	117,288,901.40	116,836,264.80	116,926,802.20
	Συνολικό μέσο ετήσιο όφελος (€)	123,583,161.40	123,279,802.30	123,138,185.10
	Μέσο ετήσιο κέρδος (€)	118,501,765.40	118,198,546.30	118,057,160.10
Στόχος Μεσοχώρας (GWh/μήνα)	13	13	13	
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Μεσοχώρας (GWh)	321.41	321.47	321.40	



3  400 hm <sup>3</sup> /έτος	Στόχος Συκιάς (GWh/μήνα)	22.5	22.5	22.5
	Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Συκιάς (GWh)	453.90	453.77	453.89
	Στόχος Μουζακίου (GWh/μήνα)	0.57	0.22	0.59
	Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Μουζακίου (GWh)	42.37	43.36	41.33
	Μεταφερόμενη ποσότητα από Πόλη (m <sup>3</sup> /s)	0.77	0	0
	Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Πευκοφύτου (GWh)	139.26		
	Μέσο ετήσιο κόστος άντλησης (€)	8,458,268.00	8,458,128.00	8,458,128.00
	Συνολική ενέργεια (GWh/έτος)	957.00	957.89	955.90
	Μέσο ετήσιο κέρδος ενέργεια (€)	127,829,230.00	127,234,646.60	127,543,324.00
	Συνολικό μέσο ετήσιο όφελος (€)	134,024,087.80	133,67,0474.60	133,831,705.60
	Μέσο ετήσιο κέρδος (€)	125,565,819.80	125,212,346.60	125,373,577.60
4  800 hm <sup>3</sup> /έτος	Στόχος Μεσοχώρας (GWh/μήνα)	13	13	13
	Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Μεσοχώρας (GWh)	321.43	321.47	321.43
	Στόχος Συκιάς (GWh/μήνα)	22.5	22.5	22.5

<b>Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Συκιάς (GWh)</b>	453.87	453.77	453.87
<b>Στόχος Μουζακίου (GWh/μήνα)</b>	0.49	0.21	0.48
<b>Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Μουζακίου (GWh)</b>	42.55	40.75	41.09
<b>Μεταφερόμενη ποσότητα από Πύλη (m<sup>3</sup>/s)</b>	0.97	0	0
<b>Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Πευκοφύτου (GWh)</b>	278.48		
<b>Μέσο ετήσιο κόστος άντλησης (€)</b>	16,921,310.00	16,921,169.00	16,921,169.00
<b>Συνολική ενέργεια (GWh/έτος)</b>	1096.33	1094.47	1094.87
<b>Μέσο ετήσιο κέρδος ενέργειας (€)</b>	153,300,782.20	152,722,405.80	153,216,519.80
<b>Συνολικό μέσο ετήσιο όφελος (€)</b>	159,54,0326.80	159,1564,350.00	159,536,824.60
<b>Μέσο ετήσιο κέρδος (€)</b>	142,619,016.80	142,235,266.00	142,615,655.60

Παρατηρείται ότι και σε όλα τα σενάρια και τα τρία κριτήρια βελτιστοποίησης αποδίδουν σημαντικά οικονομικά οφέλη για το σύστημα, καθώς η παραγόμενη πρωτεύουσα ενέργεια είναι υψηλή.

Τα κριτήρια επίδοσης των τεσσάρων σεναρίων παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.3.2:

Πίνακας 6.3.2: Κριτήρια επίδοσης σεναρίων Α1.ι

			Συνολική παραγόμενη προτεύουσα ενέργεια	Λόγος κόστους/οφέλους	Κέρδος από επίτευξη στόχων
1  200 hm <sup>3</sup> /έτος	Παραγωγή προτεύουσας ενέργειας Μεσοχώρας	Αξιοπιστία	100 %	100 %	100 %
		Ανθεκτικότητα	100 %	100 %	100 %
		Ευαισθησία	-	-	-
	Παραγωγή προτεύουσας ενέργειας Συκιάς	Αξιοπιστία	100 %	100 %	100 %
		Ανθεκτικότητα	100 %	100 %	100 %
		Ευαισθησία	-	-	-
	Παραγωγή προτεύουσας ενέργειας Μουζακίου	Αξιοπιστία	99 %	99 %	100 %
		Ανθεκτικότητα	100 %	99 %	100 %
		Ευαισθησία	0.04	0.34	10.37
	Αρδευση Μουζακίου	Αξιοπιστία	100 %	99.6 %	99 %
		Ανθεκτικότητα	100 %	100 %	100%
		Ευαισθησία	10.37	0.86	9.68
	Αρδευση Πύλης	Αξιοπιστία	99 %	100 %	99 %
		Ανθεκτικότητα	100 %	100 %	100 %
		Ευαισθησία	0.45	0.15	0.375
	Υδρευση Μουζακίου	Αξιοπιστία	100 %	100 %	100 %
		Ανθεκτικότητα	100 %	100 %	100 %
		Ευαισθησία	-	-	-

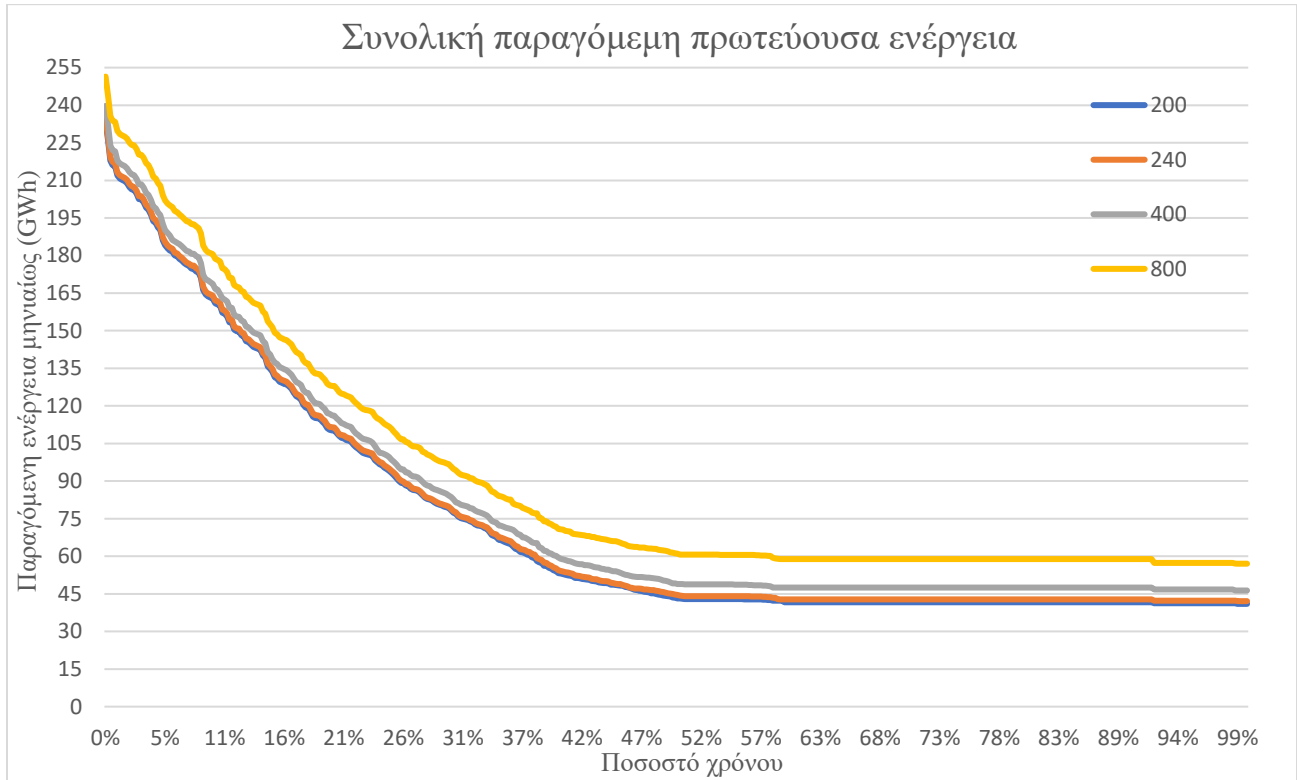
	Ύδρευση Πύλης	Αξιοπιστία	99 %	100 %	99 %
		Ανθεκτικότητα	100 %	100 %	100 %
		Ευαισθησία	0.93	0.32	0.96
2  240 hm <sup>3</sup> /έτος	Παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας Μεσοχώρας	Αξιοπιστία	100 %	100 %	100 %
		Ανθεκτικότητα	100 %	100 %	100 %
		Ευαισθησία	-	-	-
	Παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας Συκιάς	Αξιοπιστία	100 %	100 %	100 %
		Ανθεκτικότητα	100 %	100 %	100 %
		Ευαισθησία	-	-	-
	Παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας Μουζακίου	Αξιοπιστία	99 %	99 %	99 %
		Ανθεκτικότητα	99 %	100 %	99 %
		Ευαισθησία	0.22	0	0.52
	Αρδευση Μουζακίου	Αξιοπιστία	99 %	99 %	99 %
		Ανθεκτικότητα	100 %	100 %	99 %
		Ευαισθησία	7.24	2.66	10.1
	Αρδευση Πύλης	Αξιοπιστία	99 %	100 %	99 %
		Ανθεκτικότητα	100 %	100 %	100 %
		Ευαισθησία	0.45	0.15	0.38
	Ύδρευση Μουζακίου	Αξιοπιστία	100 %	100 %	100 %
		Ανθεκτικότητα	100 %	100 %	100 %
		Ευαισθησία	-	-	-
	Ύδρευση Πύλης	Αξιοπιστία	99 %	100 %	100%

		Ανθεκτικότητα	100 %	100 %	100%
		Ευαισθησία	0.94	0.32	0.32
3  400 hm <sup>3</sup> /έτος	Παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας Μεσοχώρας	Αξιοπιστία	100.0%	100.0%	100.0%
		Ανθεκτικότητα	100.0%	100.0%	100.0%
		Ευαισθησία	-	-	-
	Παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας Συκιάς	Αξιοπιστία	100.0%	100.0%	100.0%
		Ανθεκτικότητα	100.0%	100.0%	100.0%
		Ευαισθησία	-	-	-
	Παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας Μουζακίου	Αξιοπιστία	98.8%	99.4%	98.5%
		Ανθεκτικότητα	99.4%	100.0%	99.2%
		Ευαισθησία	0.3886709	0.1	0.3757143
	Άρδευση Μουζακίου	Αξιοπιστία	98.8%	99.2%	98.8%
		Ανθεκτικότητα	99.4%	99.6%	99.4%
		Ευαισθησία	8.98	2.425	9.565
	Άρδευση Πύλης	Αξιοπιστία	99.4%	99.6%	99.2%
		Ανθεκτικότητα	99.8%	100.0%	99.8%
		Ευαισθησία	0.45	0.15	0.375
	Ύδρευση Μουζακίου	Αξιοπιστία	100.0%	100.0%	100.0%
		Ανθεκτικότητα	100.0%	100.0%	100.0%
		Ευαισθησία	-	-	-
Ύδρευση Πύλης	Αξιοπιστία	99.0%	99.6%	99.6%	
	Ανθεκτικότητα	99.6%	100.0%	100.0%	

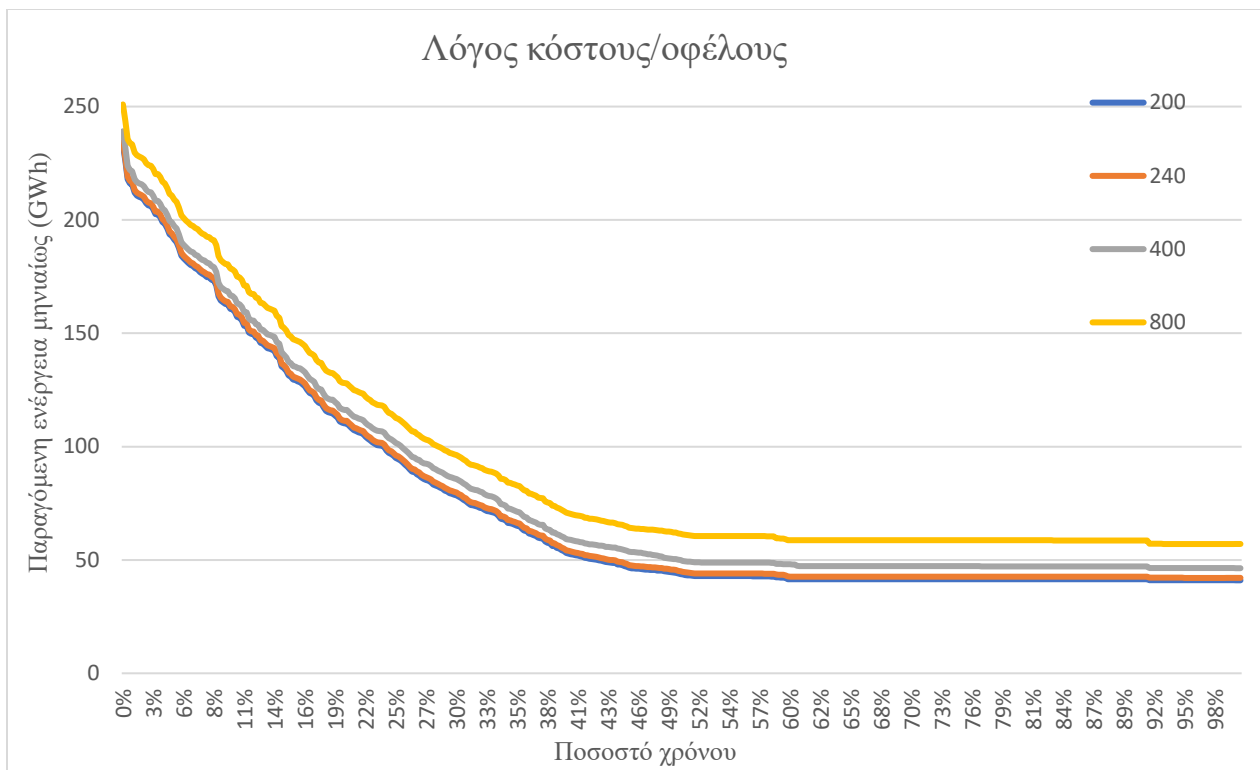
		Ευαισθησία	0.876	0.32	0.32
4	<b>Παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας Μεσοχώρας</b>	Αξιοπιστία	100.0%	100.0%	100.0%
		Ανθεκτικότητα	100.0%	100.0%	100.0%
		Ευαισθησία	-	-	-
	<b>Παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας Συκιάς</b>	Αξιοπιστία	100.0%	100.0%	100.0%
		Ανθεκτικότητα	100.0%	100.0%	100.0%
		Ευαισθησία	-	-	-
	<b>Παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας Μουζακίου</b>	Αξιοπιστία	98.8%	99.4%	98.8%
		Ανθεκτικότητα	99.4%	94.6%	99.4%
		Ευαισθησία	0.31	0.09	0.30
	<b>Αρδευση Μουζακίου</b>	Αξιοπιστία	99.0%	99.2%	99.0%
		Ανθεκτικότητα	99.4%	99.6%	99.4%
		Ευαισθησία	6.99	2.5175	9.318
	<b>Αρδευση Πύλης</b>	Αξιοπιστία	99.4%	99.6%	99.4%
		Ανθεκτικότητα	99.8%	100.0%	99.8%
		Ευαισθησία	0.45	0.15	0.45
	<b>Ύδρευση Μουζακίου</b>	Αξιοπιστία	100.0%	100.0%	100.0%
		Ανθεκτικότητα	100.0%	100.0%	100.0%
		Ευαισθησία	-	-	-
	<b>Ύδρευση Πύλης</b>	Αξιοπιστία	99.2%	99.6%	99.6%
		Ανθεκτικότητα	99.6%	100.0%	100.0%
		Ευαισθησία	0.9575	0.32	0.32
<b>800 hm<sup>3</sup>/έτος</b>					

Και με τα τρία μέτρα επίδοσης παρατηρούνται ικανοποιητικά κριτήρια επίδοσης, ενώ σημειώνεται ότι όπως και στο προηγούμενο σενάρια, το μέτρο μεγιστοποίησης του κέρδους παρουσιάζει την μικρότερη ευαισθησία σε αστοχίες, σε συνδυασμό με υψηλά επίπεδα αξιοπιστίας και ανθεκτικότητας.

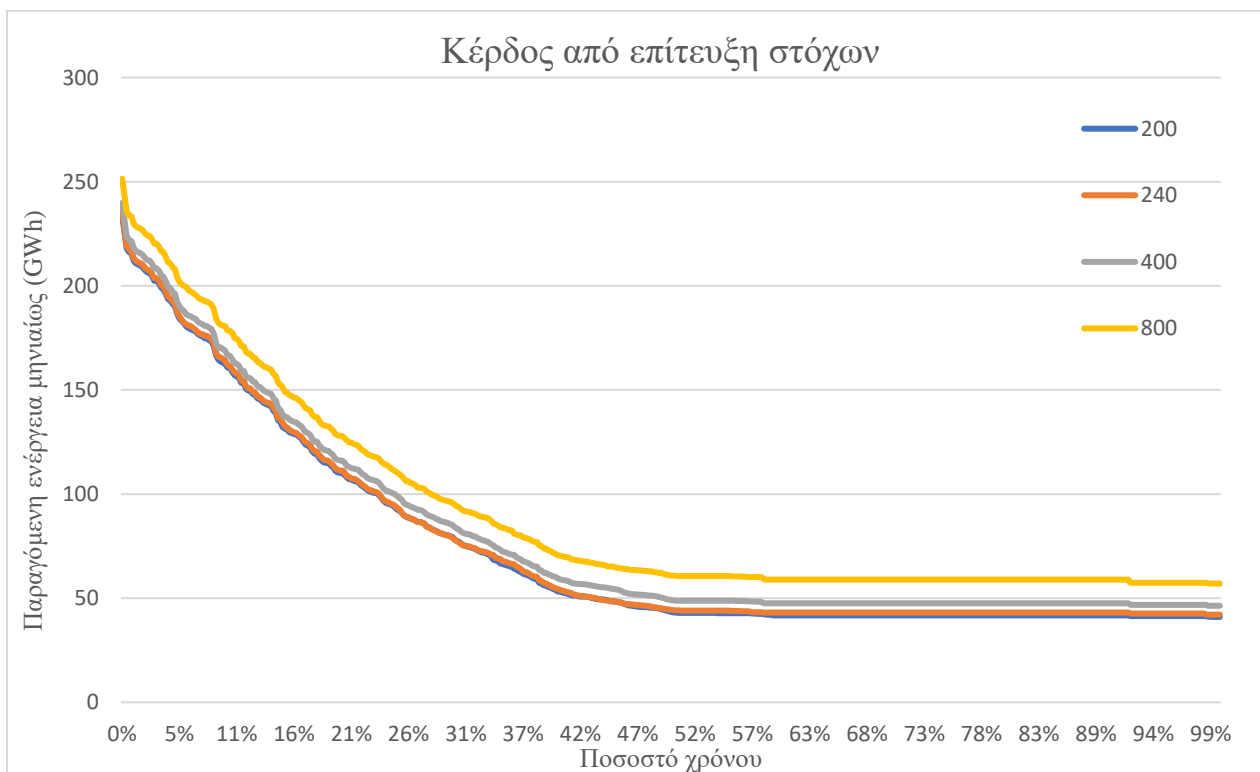
Παρακάτω (Εικόνα 6.3.1, Εικόνα 6.3.2, Εικόνα 6.3.3) παρουσιάζονται οι καμπύλες διάρκειας ενέργειας των τριών μέτρων για ολόκληρο το σύστημα:



Εικόνα 6.3.1: Συνολική καμπύλη διάρκειας ενέργειας μέτρου μεγιστοποίησης πρωτεύουσας ενέργειας σεναρίων A1.i



Εικόνα 6.3.2: Συνολική καμπύλη διάρκειας ενέργειας μέτρου μεγιστοποίησης λόγου κόστους/οφέλους σεναρίων A1.i



Εικόνα 6.3.3: Συνολική καμπύλη διάρκειας ενέργειας μέτρου μεγιστοποίησης κέρδους από επίτευξη στόχων σεναρίων A1.i



Η εγγυημένη ενέργεια που παράγει το σύστημα με αξιοπιστία 99% του χρόνου, ανά μήνα, αναγράφεται στον Πίνακα 6.3.3:

Πίνακας 6.3.3: Εγγυημένη παραγόμενη ενέργεια από τα σενάρια A1.i

Ποσότητα μεταφοράς νερού (hm <sup>3</sup> /έτος)	200	240	400	800
Συνολική παραγόμενη πρωτεύουσα ενέργεια (GWh/μήνα)	41.25	42.32	46.75	57.36
Λόγος κόστους/οφέλους (GWh/μήνα)	41.05	42.09	46.39	57.08
Κέρδος από επίτευξη στόχων (GWh/μήνα)	41.37	42.13	46.62	57.35

Βάσει των παραπάνω αποτελεσμάτων των σεναρίων και των κριτηρίων επίδοσής του συμπεραίνεται ότι το μέτρο μεγιστοποίησης της παραγόμενης πρωτεύουσας ενέργειας και το μέτρο λόγου κόστους/οφέλους αποτελούν καταλληλότερα μέτρα επίδοσης για την κατάστρωση ενός διαχειριστικού σχεδίου για το σύστημα, καθώς αποδίδουν την μεγαλύτερη ποσότητα πρωτεύουσας ενέργειας, μεγαλύτερα οικονομικά οφέλη και την χαμηλότερη ευαισθησία του συστήματος σε αστοχίες.

Συγκρίνοντας συνολικά τα αποτελέσματα παραγόμενης πρωτεύουσας ενέργειας, συνολικής ενέργειας και τα οικονομικά οφέλη, συμπεραίνεται ότι το αποδοτικότερο σενάριο για την πλήρη λειτουργία του συστήματος είναι το σενάριο A1.4. Τα σενάρια θα επανεξεταστούν στο κεφάλαιο 6.5, όπου ένα μέρος της ενέργειας άντλησης θα καλύπτεται από την παραγόμενη αιολική ενέργεια.

### 6.3.2. Σενάριο A2.i

Το σενάριο αυτό μελετάει πιθανές εναλλακτικές προτάσεις για την διαχείριση του συστήματος. Καθώς ο ταμιευτήρας Μουζακίου χρησιμοποιείται και για την παροχή υδρευτικού και αρδευτικού νερού, δεν επιτρέπει την αντλησιοταμίευση σταθερά μεγάλης ποσότητας, λόγω της έντονης διακύμανσης των ζητήσεων. Μία ευέλικτη πολιτική όπου θα επέτρεπε την μερική εκτροπή του Αχελώου και την χρήση των υδάτων του για την άρδευση της Θεσσαλίας παρουσιάζει εκτεταμένα πλεονεκτήματα, έναντι της πιο αυστηρής απόλυτης επιστροφής του πλήρους όγκου εκτροπής. Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι σε σημαντικό αριθμό χρονικών βημάτων ο ταμιευτήρας της Συκιάς

υπερχείλιζε, ενώ η παροχτευτικότητα του υδροηλεκτρικού σταθμού είχε εξαντληθεί, με αποτέλεσμα ποσότητες επιστρεφόμενου νερού να αποδίδονται στον ποταμό Αχελώο απευθείας μέσω του υδατορεύματος οικολογικής απορροής.

Στο παρόν σενάριο εξετάστηκαν διαφορετικές ποσότητες εκτροπής, χωρίς αυστηρό περιορισμό σταθερής άντλησης από τον ταμιευτήρα Μουζακίου, αλλά ορίζοντας ένα ελάχιστο κατώτατο όριο. Η αλλαγή αυτή στην πολιτική διαχείρισης επιτρέπει στον ταμιευτήρα Μουζακίου να αξιοποιεί το πλούσιο υδατικό δυναμικό του ποταμού Αχελώου, κυρίως, κατά τους θερινούς μήνες, όπου η ζήτηση αρδευτικού νερού είναι μεγαλύτερη. Επιπλέον, η ποσότητα αρδευτικής ζήτησης αυξήθηκε για την κάλυψη μεγαλύτερου μέρους της συνολικής ζήτησης της Θεσσαλίας. Ελέγχθηκαν διαφορετικές τιμές από  $150 \text{ hm}^3/\text{έτος}$  έως και  $240 \text{ hm}^3/\text{έτος}$ .

Σημειώνεται ότι για τους σκοπούς του σεναρίου αυτού αξιοποιήθηκαν τα μέτρα μεγιστοποίησης της παραγόμενης πρωτεύουσας ενέργειας (Total Generated Firm Power) και του λόγου κόστους/οφέλους (Total Cost/Benefit of the System), καθώς κρίθηκε το δεύτερο καταλληλότερο για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας.

Αρχικά εξετάστηκε η απόδοση  $150 \text{ hm}^3$  κατάντη του ταμιευτήρα Μουζακίου. Η αύξηση κατά 41 % της αποδιδόμενης αρδευτικής απορροής οδηγεί σε περαιτέρω αποσυμφόρηση του υπογείου υδροφορέα. Ο Πίνακας 6.3.4 παρουσιάζει τους στόχους και τα αποτελέσματα για το σύστημα:

Πίνακας 6.3.4: Στόχοι και αποτελέσματα βελτιστοποίησης σεναρίων Α2.1 με στόχο ελάχιστης απορροής οικολογικής παροχής Συκιάς

Α/Α Βελτιστοποίησης/Ποσότητα άρδευσης Μουζακίου (hm <sup>3</sup> /έτος)	Στόχοι	Συνολική παραγόμενη πρωτεύουσα ενέργεια	Λόγος κόστους/οφέλους
<b>1</b>  <b>150 hm<sup>3</sup>/έτος</b>	Στόχος Μεσοχώρας (GWh/μήνα)	13	12.69
	Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Μεσοχώρας (GWh)	321.81	322.28
	Στόχος Συκιάς (GWh/μήνα)	16	9.25
	Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Συκιάς (GWh)	464.99	465.02
	Στόχος Μουζακίου (GWh/μήνα)	0.014419	0.023
	Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Μουζακίου (GWh)	35.11	35.34
	Ελάχιστη μεταφερόμενη ποσότητα από Πύλη (m <sup>3</sup> /s)	1.407754	1.45
	Μέγιστη μεταφερόμενη ποσότητα από Πύλη (m <sup>3</sup> /s)	3	3
	Στόχος Πευκοφύτου (GWh/μήνα)	41	41
	Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Πευκοφύτου (GWh)	570.14	571.26
	Μεταφερόμενη ποσότητα από Μουζάκι προς Συκιά (m <sup>3</sup> /s)	29	29

	<b>Μέση εκτρεπόμενη ποσότητα (hm<sup>3</sup>/έτος)</b>	20.93	15.16
	<b>Μέσος ετήσιος αντλούμενος όγκος (hm<sup>3</sup>/έτος)</b>	913.89	913.85
	<b>Μέσο ετήσιο κόστος άντλησης (€)</b>	19,328,064.00	19,327,304.00
	<b>Αξιοπιστία άρδευσης Μουζακίου</b>	86.7%	87 %
	<b>Αξιοπιστία άρδευσης Πόλης</b>	97.9 %	97.9 %
	<b>Συνολική ενέργεια (GWh/έτος)</b>	1,392.07	1,393.88

Στο σενάριο αυτό παρατηρείται σε ορισμένα χρονικά βήματα πως η αντλούμενη ποσότητα αποδίδεται κατάντη του ταμιευτήρα Συκιάς απευθείας, λόγω πλήρωσης της παροχτευτικότητας του στροβίλου και του ταμιευτήρα. Αυτό οδηγεί σε απώλεια ωφέλιμης ποσότητας νερού, που διαφορετικά θα αποδιδόταν στην παραγωγή ενέργειας και στην αρδευτική ζήτηση. Έτσι τροποποιήθηκε ο στόχος της οικολογικής παροχής της Συκιάς σε σταθερή, από ελάχιστη, με στόχο το σύστημα να μην επιτρέπει την άντληση αυτών των ποσοτήτων νερού. Πραγματοποιήθηκε εκ νέου διαδικασία βελτιστοποίησης και οι νέοι στόχοι καθώς και τα νέα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.3.5:

Πίνακας 6.3.5: Στόχοι και αποτελέσματα βελτιστοποίησης σεναρίου A2.1 με στόχο σταθερής απορροής οικολογικής παροχής Συκιάς

A/A Βελτιστοποίησης/Ποσότητα άρδευσης Μουζακίου (hm <sup>3</sup> /έτος)	Στόχοι	Συνολική παραγόμενη προτεύουσα ενέργεια	Λόγος κόστους/οφέλους
<b>1</b>  <b>150 hm<sup>3</sup>/έτος</b> <b>(Σταθερός στόχος οικολογικής παροχής)</b>	Στόχος Μεσοχώρας (GWh/μήνα)	13	8
	Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Μεσοχώρας (GWh)	321.88	324.35
	Στόχος Συκιάς (GWh/μήνα)	16	9.35
	Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Συκιάς (GWh)	466.65	465.32
	Στόχος Μουζακίου (GWh/μήνα)	0.45	0
	Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Μουζακίου (GWh)	46.57	47.32
	Ελάχιστη μεταφερόμενη ποσότητα από Πύλη (m <sup>3</sup> /s)	1.38	1.45
	Μέγιστη μεταφερόμενη ποσότητα από Πύλη (m <sup>3</sup> /s)	3	3
	Στόχος Πευκοφύτου (GWh/μήνα)	41	41
	Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Πευκοφύτου (GWh)	567.04	567.85
	Μεταφερόμενη ποσότητα από Μουζάκι προς Συκιά (m <sup>3</sup> /s)	29	29
	Μέση εκτρεπόμενη ποσότητα (hm <sup>3</sup> /έτος)	20.92	22.19

	<b>Μέσος ετήσιος αντλούμενος όγκος (hm<sup>3</sup>/έτος)</b>	872.67	871.28
	<b>Μέσο ετήσιο κόστος άντλησης (€)</b>	18,456,870.00	18,426,784.00
	<b>Συνολική ενέργεια (GWh/έτος)</b>	1,402.14	1,404.84
	<b>Μέσο ετήσιο κέρδος ενέργειας (€)</b>	190,826,285.60	169,452,861.60
	<b>Συνολικό μέσο ετήσιο όφελος (€)</b>	196,276,454.70	175,280,289.60
	<b>Μέσο ετήσιο κέρδος (€)</b>	177,819,584.70	156,853,505.60

Όπως και στα προηγούμενα σενάρια, αναφέρονται τα κριτήρια επίδοσης του παρόντος, στον Πίνακας 6.3.6:

Πίνακας 6.3.6: Κριτήρια επίδοσης σεναρίου A2.1 με στόχο σταθερής απορροής οικολογικής παροχής Συκιάς

			Συνολική παραγόμενη πρωτεύουσα ενέργεια	Λόγος κόστους/οφέλους
<b>1</b> <b>150 hm<sup>3</sup>/έτος</b> <b>(Σταθερός στόχος οικολογικής παροχής)</b>	Παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας Μεσοχώρας	Αξιοπιστία	100.0%	100.0%
		Ανθεκτικότητα	100.0%	100.0%
		Ευαισθησία	-	-
	Παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας Συκιάς	Αξιοπιστία	100.0%	100.0%
		Ανθεκτικότητα	100.0%	100.0%
		Ευαισθησία	-	-
	Παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας Πευκοφύτου	Αξιοπιστία	100.0%	100.0%
		Ανθεκτικότητα	100.0%	100.0%
		Ευαισθησία	-	-
	Παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας Μουζακίου	Αξιοπιστία	99%	100%
		Ανθεκτικότητα	100%	100%
		Ευαισθησία	0.24	-
	Άρδευση Μουζακίου	Αξιοπιστία	90%	92%
		Ανθεκτικότητα	94%	95%
		Ευαισθησία	20.22	22.48
Άρδευση Πύλης	Αξιοπιστία	99%	98%	
	Ανθεκτικότητα	99%	99%	
	Ευαισθησία	0.54	0.56	

	Ύδρευση Μουζακίου	Αξιοπιστία	100%	100%
		Ανθεκτικότητα	100%	100%
		Ευαισθησία	-	-
	Ύδρευση Πύλης	Αξιοπιστία	99%	99%
		Ανθεκτικότητα	100%	100%
		Ευαισθησία	0.35	0.39

Καθώς η αξιοπιστία της άρδευσης είναι υψηλή, δεδομένου ότι η επιστρεφόμενη ποσότητα νερού δεν ορίζεται να ισούται με την μεταφερόμενη, εξετάστηκε και για μεγαλύτερη αρδευτική ζήτηση. Επιπλέον, παρατηρείται ότι η πρόταση αυτή είναι αντιοικονομική, καθώς το κέρδος από την αύξηση της αρδευτικής ζήτησης και της παραγόμενης ενέργειας δεν καλύπτει το κόστος άντλησης. Εξετάζεται η απόδοση 240 hm<sup>3</sup>, αύξηση 128 % έναντι της αρχικής. Οι στόχοι καθώς και τα αποτελέσματα του συστήματος παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.3.7:



Πίνακας 6.3.7: Στόχοι και αποτελέσματα βελτιστοποίησης σεναρίου A2.2 με στόχο ελάχιστης απορροής οικολογικής παροχής Συκιάς

A/A Βελτιστοποίησης/Ποσότητα άρδευσης Μουζακίου (hm <sup>3</sup> /έτος)	Στόχοι	Συνολική παραγόμενη πρωτεύουσα ενέργεια	Λόγος κόστους/οφέλους
2  240 hm <sup>3</sup> /έτος	Στόχος Μεσοχώρας (GWh/μήνα)	13.34	13.20
	Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Μεσοχώρας (GWh)	321.38	321.79
	Στόχος Συκιάς (GWh/μήνα)	16	11.14
	Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Συκιάς (GWh)	433.56	433.23
	Στόχος Μουζακίου (GWh/μήνα)	0.43	0.02
	Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Μουζακίου (GWh)	60.32	61.54
	Ελάχιστη μεταφερόμενη ποσότητα από Πύλη (m <sup>3</sup> /s)	1.45	1.45
	Μέγιστη μεταφερόμενη ποσότητα από Πύλη (m <sup>3</sup> /s)	2.45	2.45
	Στόχος Πευκοφύτου (GWh/μήνα)	43.84	43.84
	Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Πευκοφύτου (GWh)	567.22	570.84
	Μεταφερόμενη ποσότητα από Μουζάκι προς Συκιά (m <sup>3</sup> /s)	26	26
	Μέση εκτρεπόμενη ποσότητα (hm <sup>3</sup> /έτος)	76.24	78.55

	<b>Μέσος ετήσιος αντλούμενος όγκος (hm<sup>3</sup>/έτος)</b>	819.94	819.94
	<b>Μέσο ετήσιο κόστος άντλησης (€)</b>	17,340,744.00	17,340,744.00
	<b>Αξιοπιστία άρδευσης Μουζακίου</b>	89.2%	90%
	<b>Αξιοπιστία άρδευσης Πύλης</b>	99.2%	99.2%
	<b>Συνολική ενέργεια (GWh/έτος)</b>	1382.48	1,387.39

Η μείωση της μέσης ετήσιας παραγόμενης ενέργειας είναι αμελητέα έναντι των πλεονεκτημάτων που έχει η αύξηση της αρδευτικής απορροής. Στο σενάριο αυτό η αύξηση της αρδευτικής ζήτησης οδηγεί σε ανάλογη αύξηση ετήσιου κέρδους, με την αντίστοιχη αύξηση της εκτρεπόμενης ποσότητας νερού. Όπως και στο προηγούμενο σενάριο, εξετάζεται η απόκριση του συστήματος στην θεώρηση σταθερής μέγιστης οικολογικής απορροής κατάντη του ταμιευτήρα Συκιάς. Οι στόχοι και τα νέα αποτελέσματα του συστήματος παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.3.8:

Πίνακας 6.3.8: Στόχοι και αποτελέσματα βελτιστοποίησης σεναρίου A2.2με στόχο σταθερής απορροής οικολογικής παροχής Συκιάς

A/A Βελτιστοποίησης/Ποσότητα άρδευσης Μουζακίου (hm <sup>3</sup> /έτος)	Στόχοι	Συνολική παραγόμενη προτεύουσα ενέργεια	Λόγος κόστους/οφέλους
<p style="text-align: center;"><b>2</b></p> <p style="text-align: center;"><b>240 hm<sup>3</sup>/έτος</b></p> <p style="text-align: center;"><b>(Σταθερός στόχος οικολογικής παροχής)</b></p>	Στόχος Μεσοχώρας (GWh/μήνα)	13.35	8
	Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Μεσοχώρας (GWh)	321.63	324.37
	Στόχος Συκιάς (GWh/μήνα)	13.04	6
	Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Συκιάς (GWh)	434.26	432.40
	Στόχος Μουζακίου (GWh/μήνα)	0.19	0.02
	Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Μουζακίου (GWh)	71.11	71.7685
	Ελάχιστη μεταφερόμενη ποσότητα από Πύλη (m <sup>3</sup> /s)	1.45	1.45
	Μέγιστη μεταφερόμενη ποσότητα από Πύλη (m <sup>3</sup> /s)	2.45	2.45
	Στόχος Πευκοφύτου (GWh/μήνα)	43.84	43.84
	Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Πευκοφύτου (GWh)	568.27	569.30
	Μεταφερόμενη ποσότητα από Μουζάκι προς Συκιά (m <sup>3</sup> /s)	26	26
	Μέση εκτρεπόμενη ποσότητα (hm <sup>3</sup> /έτος)	109.06	111.16

<b>Μέσος ετήσιος αντλούμενος όγκος (hm<sup>3</sup>/έτος)</b>	786.31	784.53
<b>Μέσο ετήσιο κόστος άντλησης (€)</b>	16,629,578.00	16,591,963.00
<b>Αξιοπιστία άρδευσης Μουζακίου</b>	93.12%	93.12%
<b>Αξιοπιστία άρδευσης Πύλης</b>	99.4%	99.4%
<b>Συνολική ενέργεια (GWh/έτος)</b>	1395.27	1397.84
<b>Μέσο ετήσιο κέρδος ενέργειας (€)</b>	190,441,603.80	168,192,857.60
<b>Συνολικό μέσο ετήσιο όφελος (€)</b>	200,669,960.90	178,535,243.00
<b>Μέσο ετήσιο κέρδος (€)</b>	184,040,382.90	161,943,280.00

Η αλλαγή αυτή στις παραμέτρους του συστήματος οδηγεί σε μικρή αύξηση της αξιοπιστίας άρδευσης, αλλά και της παραγόμενης ενέργειας, αλλά κυρίως στην μείωση της αντλούμενης ποσότητας, άρα και του κόστους. Στο σενάριο αυτό παρατηρείται αξιόλογη αύξηση του μέσου ετήσιου κέρδους του συστήματος έναντι των προηγούμενων, παραμένοντας όμως αντιοικονομική. Ο Πίνακας 6.3.9 παρουσιάζει τα κριτήρια επίδοσης του σεναρίου αυτού:

Πίνακας 6.3.9: Κριτήρια επίδοσης σεναρίου A2.2 με στόχο σταθερής απορροής οικολογικής παροχής Συκιάς

			Συνολική παραγόμενη πρωτεύουσα ενέργεια	Λόγος κόστους/οφέλους
2 240 hm <sup>3</sup> /έτος (Σταθερός στόχος οικολογικής παροχής)	Παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας Μεσοχώρας	Αξιοπιστία	100.0%	100.0%
		Ανθεκτικότητα	100.0%	100.0%
		Ευαισθησία	-	-
	Παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας Συκιάς	Αξιοπιστία	100.0%	100.0%
		Ανθεκτικότητα	100.0%	100.0%
		Ευαισθησία	-	-
	Παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας Πευκοφύτου	Αξιοπιστία	99.6%	99.6%
		Ανθεκτικότητα	99.8%	99.8%
		Ευαισθησία	1.93	1.77
	Παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας Μουζακίου	Αξιοπιστία	100.0%	100.0%
		Ανθεκτικότητα	100.0%	100.0%
		Ευαισθησία	-	-
	Αρδευση Μουζακίου	Αξιοπιστία	93.1%	93.1%
		Ανθεκτικότητα	97.7%	97.7%
		Ευαισθησία	32.86	32.01
Αρδευση Πύλης	Αξιοπιστία	99.4%	100.0%	
	Ανθεκτικότητα	99.8 %	99.8%	
	Ευαισθησία	0.45	-	

	Υδρευση Μουζακίου	Αξιοπιστία	100.0%	100.0%
		Ανθεκτικότητα	100.0%	100.0%
		Ευαισθησία	-	-
	Υδρευση Πύλης	Αξιοπιστία	99.6%	99.6%
		Ανθεκτικότητα	99.8%	99.8%
		Ευαισθησία	0.37	0.37

Εξετάστηκε ένα τελευταίο σενάριο για την ποσότητα άρδευσης, τα 210 hm<sup>3</sup>, αύξηση 100 % έναντι των αρχικών σεναρίων. Κατά την κατάστροψη του σεναρίου αυτού πραγματοποιήθηκε η εξής παραδοχή. Η μεταφερόμενη ποσότητα από και προς τον ταμιευτήρα Συκιάς είναι μεταβλητή. Τους μήνες άρδευσης αυξάνεται η αποδιδόμενη ποσότητα νερού στον ταμιευτήρα Μουζακίου και μειώνεται η αντλούμενη ποσότητα. Η μεταφερόμενη ποσότητα προς τον ταμιευτήρα Μουζακίου αναφέρεται ως μεταβλητός στόχος παραγωγής ενέργειας του ΥΗΣ Πευκοφύτου σε GWh/μήνα, ενώ η αντλούμενη ποσότητα σε ελάχιστη ποσότητα μεταφοράς. Η κατανομή της μεταφερόμενης και της αντλούμενης ποσότητας εμφανίζεται στον Πίνακας 6.3.10:

Πίνακας 6.3.10: Κατανομή ανά μήνα του στόχου παραγωγή ενέργειας ΥΗΣ Πευκοφύτου και του αντλούμενου όγκου νερού

Μήνας	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάιος	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπτ	Οκτ	Νοεμ	Δεκ
<b>Παραγωγή Πευκοφύτου (GWh/μήνα)</b>	31.90	33.33	34.77	35.48	35.84	35.84	43.84	35.84	35.84	34.77	33.33	31.90
<b>Μεταφορά προς Συκιά (m<sup>3</sup>/s)</b>	30	29	28	27.5	27.1	27.1	15	27.1	27.1	28	29	30

Ο Πίνακας 6.3.11 παρουσιάζει τους στόχους του συστήματος καθώς και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης:

Πίνακας 6.3.11: Στόχοι και αποτελέσματα βελτιστοποίησης σεναρίου A2.3 με στόχο ελάχιστης απορροής οικολογικής παροχής Συκιάς

<b>A/A Βελτιστοποίησης/Ποσότητα άρδευσης Μουζακίου (hm<sup>3</sup>/έτος)</b>	<b>Στόχοι</b>	<b>Συνολική παραγόμενη πρωτεύουσα ενέργεια</b>	<b>Λόγος κόστους/οφέλους</b>
<b>3</b> <b>210 hm<sup>3</sup>/έτος</b>	<b>Στόχος Μεσοχώρας (GWh/μήνα)</b>	13.45	13.45
	<b>Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Μεσοχώρας (GWh)</b>	320.96	320.99
	<b>Στόχος Συκιάς (GWh/μήνα)</b>	12.87	8.95
	<b>Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Συκιάς (GWh)</b>	443.04	443.35
	<b>Στόχος Μουζακίου (GWh/μήνα)</b>	0.21	0.24
	<b>Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Μουζακίου (GWh)</b>	48.07	48.26
	<b>Ελάχιστη μεταφερόμενη ποσότητα από Πύλη (m<sup>3</sup>/s)</b>	1.44	1.44
	<b>Μέγιστη μεταφερόμενη ποσότητα από Πύλη (m<sup>3</sup>/s)</b>	2.45	2.45
	<b>Στόχος Πευκοφύτου (GWh/μήνα)</b>	35.84	35.84
	<b>Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Πευκοφύτου (GWh)</b>	568.75	570.37
	<b>Μεταφερόμενη ποσότητα από Μουζάκι προς Συκιά (m<sup>3</sup>/s)</b>	27.1	27.1
	<b>Μέση εκτρεπόμενη ποσότητα (hm<sup>3</sup>/έτος)</b>	44.38	44.95

	<b>Μέσος ετήσιος αντλούμενος όγκος (hm<sup>3</sup>/έτος)</b>	853.13	853.12
	<b>Μέσο ετήσιο κόστος άντλησης (€)</b>	18,042,779.00	18,042,636.00
	<b>Αξιοπιστία άρδευσης Μουζακίου</b>	87.08%	87.3%
	<b>Αξιοπιστία άρδευσης Πύλης</b>	98.75%	98.75%
	<b>Συνολική ενέργεια (GWh/έτος)</b>	1380.81	1382.98

Παρόμοια με το προηγούμενο υπό σενάριο ελέγχθηκε η απόκριση του συστήματος όταν ορίζεται η οικολογική παροχή κατάντη της Συκιάς ως σταθερός στόχος. Οι νέοι στόχοι και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.3.12:



Πίνακας 6.3.12: Στόχοι και αποτελέσματα βελτιστοποίησης σεναρίου A2.3 με στόχο σταθερής απορροής οικολογικής παροχής Συκιάς

A/A Βελτιστοποίησης/Ποσότητα άρδευσης Μουζακίου (hm <sup>3</sup> /έτος)	Στόχοι	Συνολική παραγόμενη πρωτεύουσα ενέργεια	Λόγος κόστους/οφέλους
<p style="text-align: center;"><b>3</b></p> <p style="text-align: center;"><b>210 hm<sup>3</sup>/έτος</b></p> <p style="text-align: center;"><b>(Σταθερός στόχος οικολογικής παροχής)</b></p>	Στόχος Μεσοχώρας (GWh/μήνα)	13.45	13.45
	Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Μεσοχώρας (GWh)	321.37	321.42
	Στόχος Συκιάς (GWh/μήνα)	15.25	8.12
	Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Συκιάς (GWh)	445.23	446.11
	Στόχος Μουζακίου (GWh/μήνα)	0.23	0.17
	Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Μουζακίου (GWh)	60.77	61.22
	Ελάχιστη μεταφερόμενη ποσότητα από Πύλη (m <sup>3</sup> /s)	1.5	1.43
	Μέγιστη μεταφερόμενη ποσότητα από Πύλη (m <sup>3</sup> /s)	2.45	2.45
	Στόχος Πευκοφύτου (GWh/μήνα)	35.84	35.84
	Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας Πευκοφύτου (GWh)	561.34	565.26
	Μεταφερόμενη ποσότητα από Μουζάκι προς Συκιά (m <sup>3</sup> /s)	27.1	27.1
	Μέση εκτρεπόμενη ποσότητα (hm <sup>3</sup> /έτος)	76.30	78.11

<b>Μέσος ετήσιος αντλούμενος όγκος (hm<sup>3</sup>/έτος)</b>	812.15	811.85
<b>Μέσο ετήσιο κόστος άντλησης (€)</b>	17,176,114	17,169,764.00
<b>Αξιοπιστία άρδευσης Μουζακίου</b>	91.45%	92.08%
<b>Αξιοπιστία άρδευσης Πύλης</b>	98.75%	98.95%
<b>Συνολική ενέργεια (GWh/έτος)</b>	1388.71	1394.00
<b>Μέσο ετήσιο κέρδος ενέργειας (€)</b>	183,623,649.00	166,525,968.00
<b>Συνολικό μέσο ετήσιο όφελος (€)</b>	192,590,606.90	175,598,207.80
<b>Μέσο ετήσιο κέρδος (€)</b>	175,414,492.90	158,428,443.80

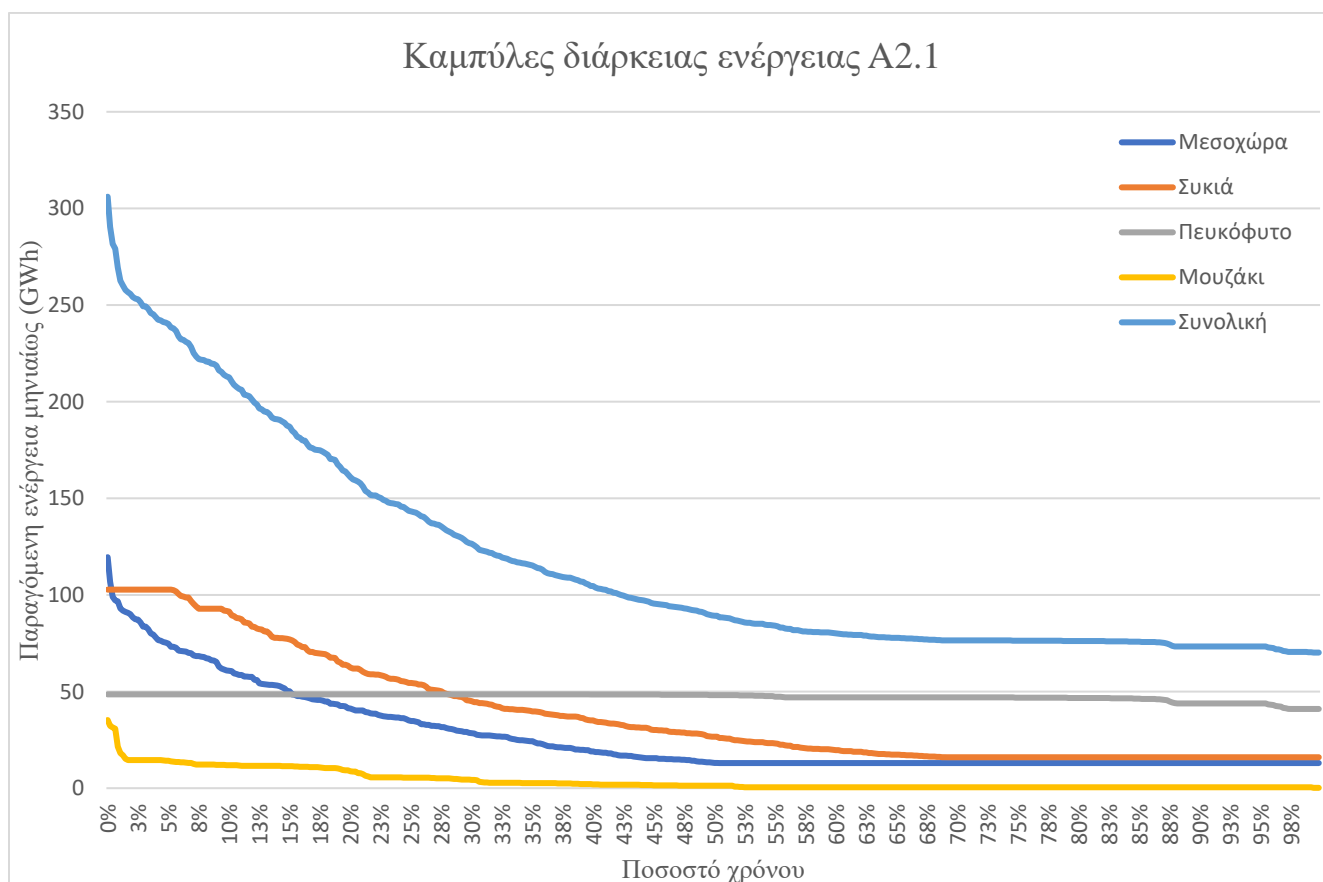
Παρατηρείται μικρή αύξηση της αξιοπιστίας άρδευσης και της συνολικής παραγόμενης ενέργειας από το σύστημα, καθώς και μείωση του κόστους άντλησης. Το τελευταίο αυτό σενάριο συνδυάζει τα πλεονεκτήματα του πρώτου, την αμελητέα ποσότητα εκτροπής του ποταμού Αχελώου αναλογικά με τις ετήσιες απορροές του και τις υψηλές οικονομικές απολαβές του δεύτερου. Η αντλούμενη ποσότητα παραμένει υψηλή και εν τέλει το σενάριο θεωρείται αντιοικονομικό. Τα κριτήρια επίδοσης του σεναρίου αυτού παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.3.13:

Πίνακας 6.3.13:Κριτήρια επίδοσης σεναρίου Α2.3

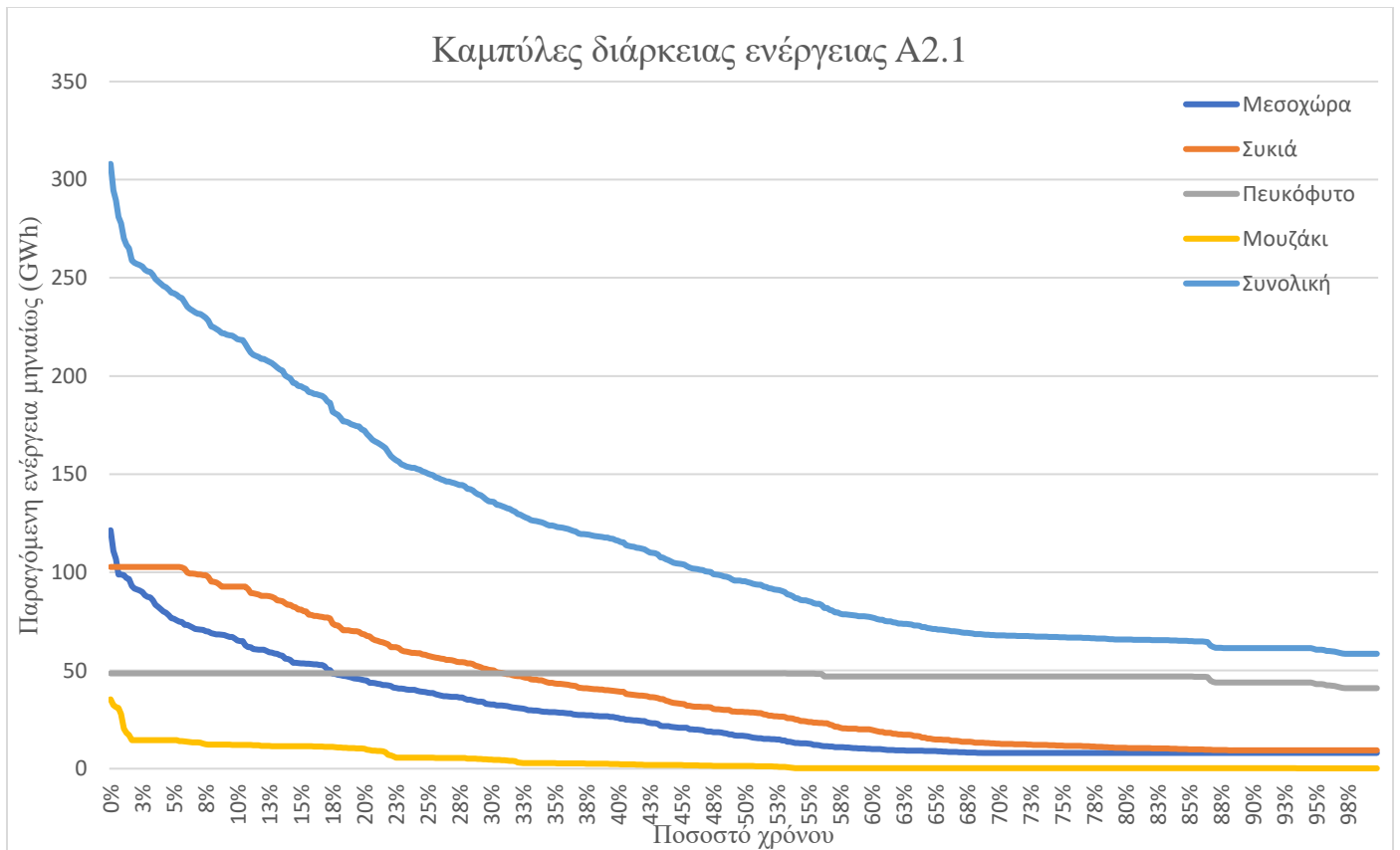
			Συνολική παραγόμενη πρωτεύουσα ενέργεια	Λόγος κόστους/οφέλους
<b>3</b> <b>210 hm<sup>3</sup>/έτος</b> <b>(Σταθερός στόχος οικολογικής παροχής)</b>	<b>Παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας Μεσοχώρας</b>	<b>Αξιοπιστία</b>	100.0%	100.0%
		<b>Ανθεκτικότητα</b>	100.0%	100.0%
		<b>Ευαισθησία</b>	-	-
	<b>Παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας Συκιάς</b>	<b>Αξιοπιστία</b>	100.0%	100.0%
		<b>Ανθεκτικότητα</b>	100.0%	100.0%
		<b>Ευαισθησία</b>	-	-
	<b>Παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας Πευκοφύτου</b>	<b>Αξιοπιστία</b>	100.0%	100.0%
		<b>Ανθεκτικότητα</b>	100.0%	100.0%
		<b>Ευαισθησία</b>	-	-
	<b>Παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας Μουζακίου</b>	<b>Αξιοπιστία</b>	99.6%	100.0%
		<b>Ανθεκτικότητα</b>	100.0%	100.0%
		<b>Ευαισθησία</b>	0.035	-
	<b>Άρδευση Μουζακίου</b>	<b>Αξιοπιστία</b>	91.5%	92.1%
		<b>Ανθεκτικότητα</b>	95.6%	95.8%
		<b>Ευαισθησία</b>	23.24	24.52
<b>Άρδευση Πύλης</b>	<b>Αξιοπιστία</b>	98.8%	99.0%	
	<b>Ανθεκτικότητα</b>	99.6%	99.6%	
	<b>Ευαισθησία</b>	0.475	0.54	

	Υδρευση Μουζακίου	Αξιοπιστία	100.0%	100.0%
		Ανθεκτικότητα	100.0%	100.0%
		Ευαισθησία	-	-
	Υδρευση Πύλης	Αξιοπιστία	99.2%	99.4%
		Ανθεκτικότητα	99.6%	99.8%
		Ευαισθησία	0.31	0.29

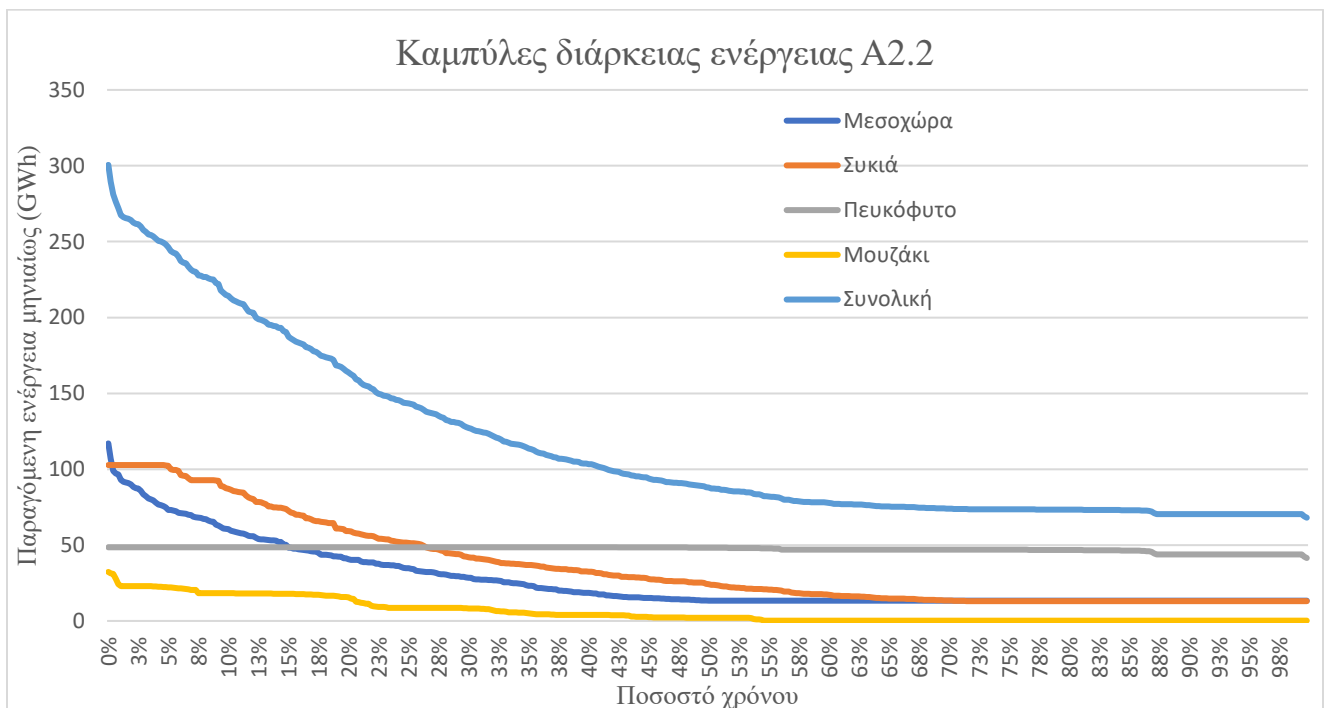
Παρακάτω (Εικόνα 6.3.4, Εικόνα 6.3.5, Εικόνα 6.3.6, Εικόνα 6.3.7, Εικόνα 6.3.8, Εικόνα 6.3.9) παρουσιάζονται οι καμπύλες διάρκειας ενέργειας των διαφορετικών σεναρίων για τα δύο μέτρα επίδοσης:



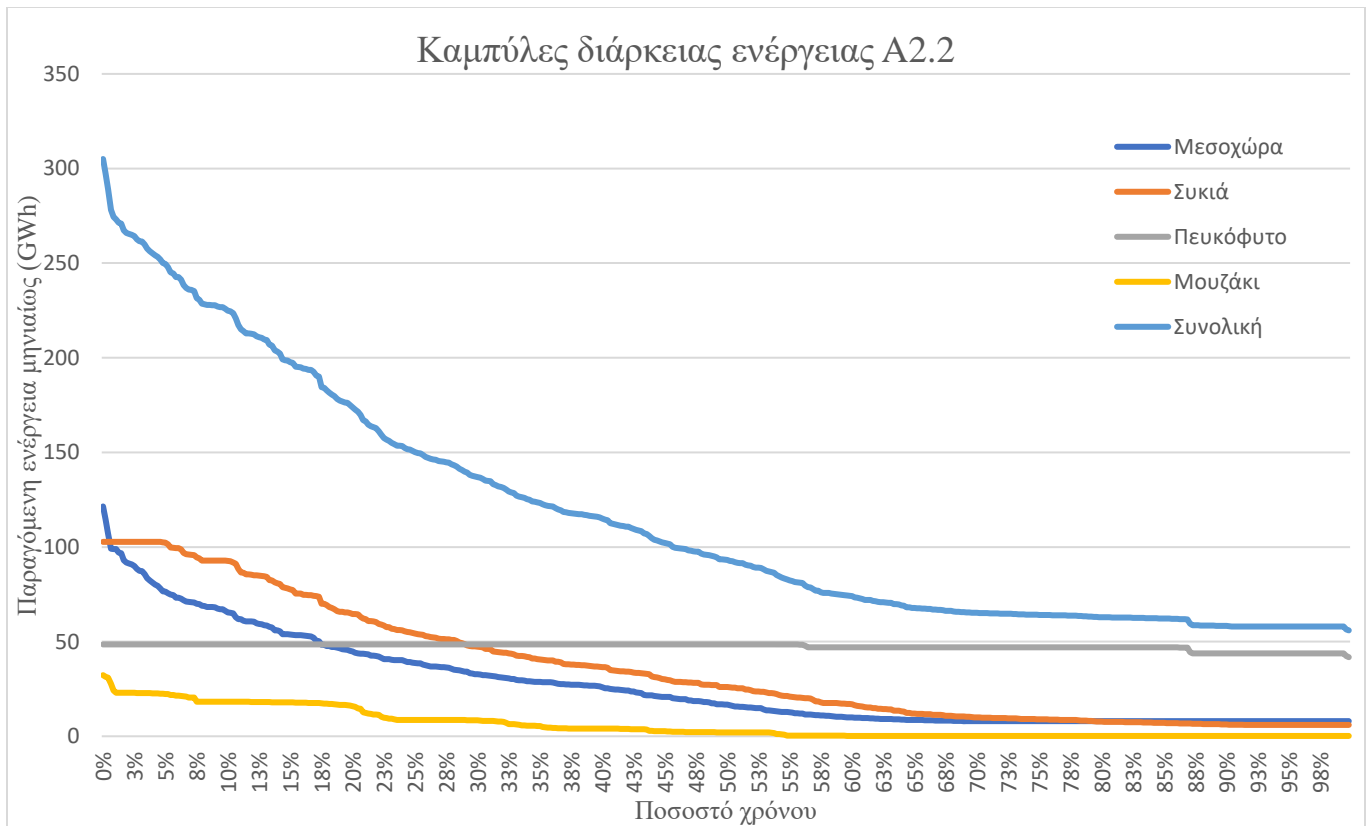
Εικόνα 6.3.4: Καμπύλη διάρκειας ενέργειας συστήματος σεναρίου A2.1 βάσει μέτρου μεγιστοποίησης πρωτεύουσας ενέργειας



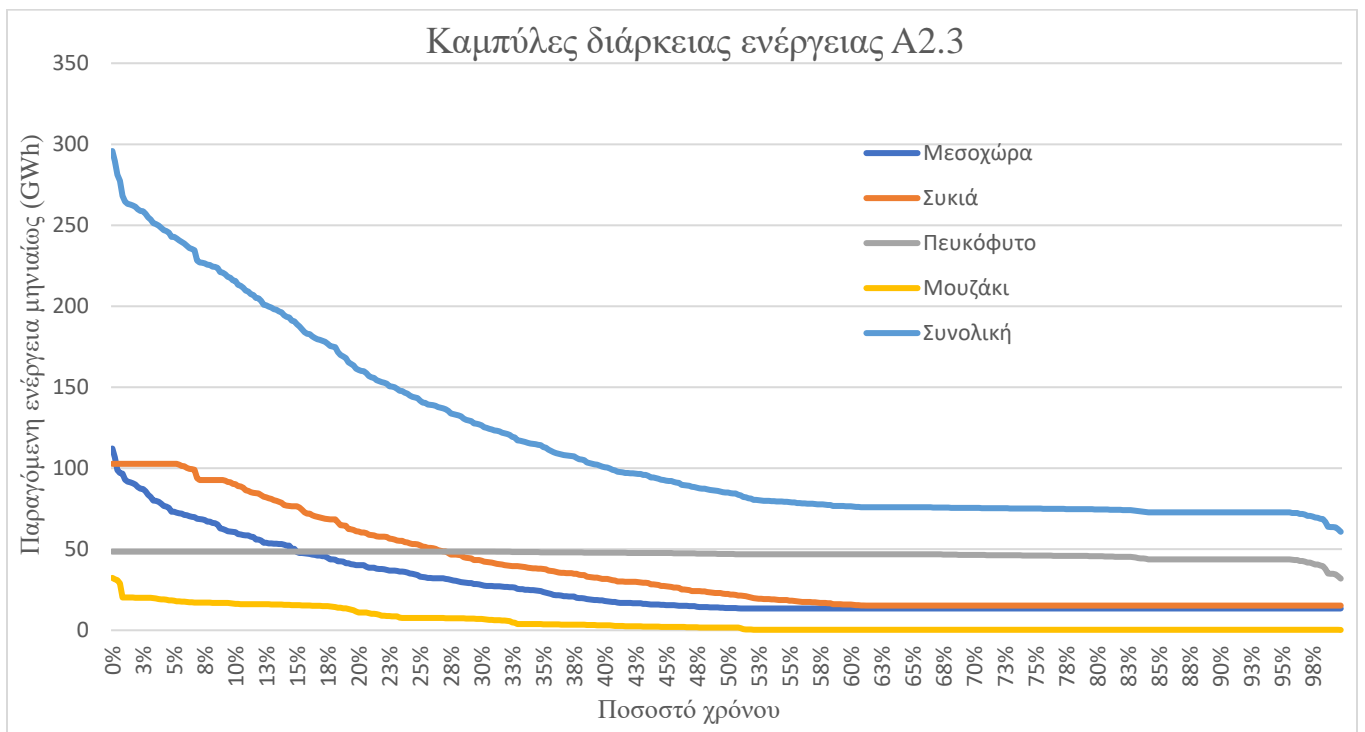
Εικόνα 6.3.5: Καμπύλη διάρκειας ενέργειας συστήματος σεναρίου A2.1 βάσει μέτρου μεγιστοποίησης σχέσης κόστους/ οφέλους



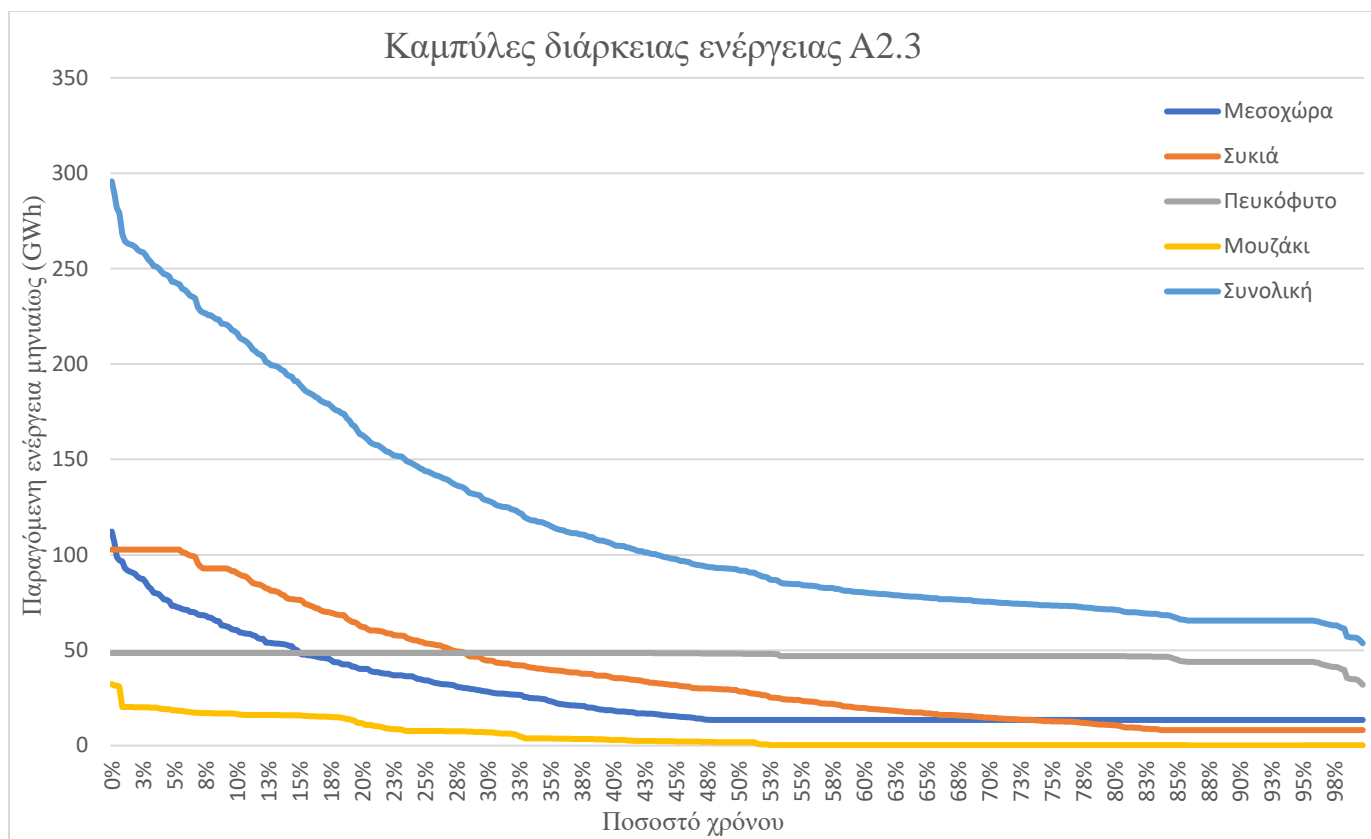
Εικόνα 6.3.6: Καμπύλη διάρκειας ενέργειας συστήματος σεναρίου A2.2 βάσει μέτρου μεγιστοποίησης πρωτεύουσας ενέργειας



Εικόνα 6.3.7: Καμπύλη διάρκειας ενέργειας συστήματος σεναρίου A2.2 βάσει μέτρου μεγιστοποίησης σχέσης κόστους/ οφέλους



Εικόνα 6.3.8 : Καμπύλη διάρκειας ενέργειας συστήματος σεναρίου A2.3 βάσει μέτρου μεγιστοποίησης πρωτεύουσας ενέργειας



Εικόνα 6.3.9: Καμπύλη διάρκειας ενέργειας συστήματος σεναρίου A2.3 βάσει μέτρου μεγιστοποίησης σχέσης κόστους/ οφέλους

Αξιοσημείωτη είναι ότι και στα τρία σενάρια στο 99% του χρόνου το υδροηλεκτρικό έργο του Πευκοφύτου παράγει σταθερή ενέργεια περίπου ίση με 50 GWh/μήνα. Ο Πίνακας 6.3.14 παρουσιάζει την εγγυημένη παραγόμενη ενέργεια από το σύστημα με αξιοπιστία 99% ανά μήνα.

Πίνακας 6.3.14: Παραγόμενη ενέργεια από σύστημα με αξιοπιστία 99%

Σενάρια	A2.1	A2.2	A2.3
<b>Συνολική παραγόμενη πρωτεύουσα ενέργεια (GWh/μήνα)</b>	70.45	70.42	66.79
<b>Λόγος κόστους/οφέλους (GWh/μήνα)</b>	58.52	58.01	57.17

#### 6.4. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα σεναρίων

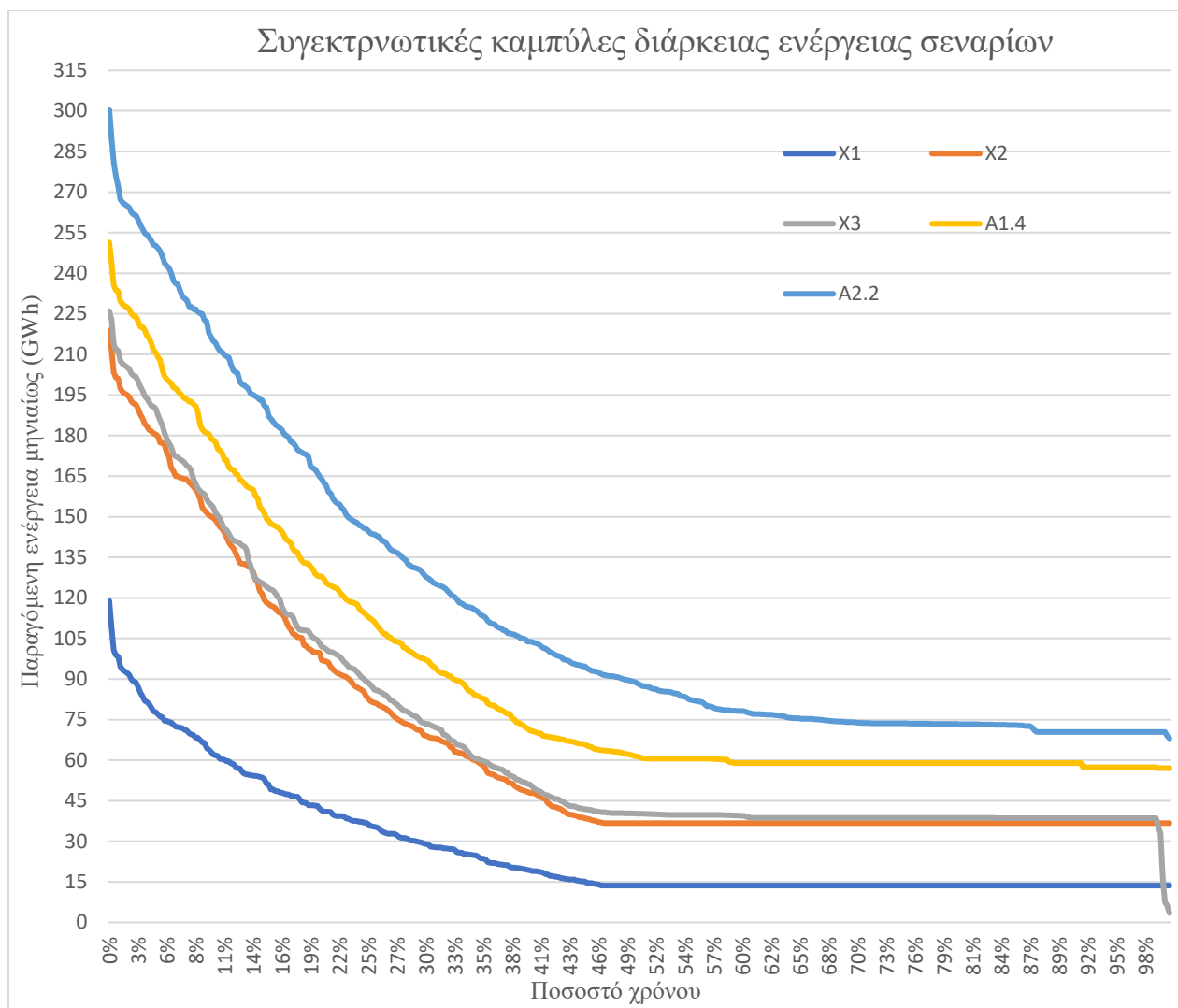
Ο Πίνακας 6.4.1 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τα κυριότερα αποτελέσματα των σεναρίων που αναλύθηκαν στην παρούσα μελέτη. Επιλέχθηκε η παρουσίαση του μέτρου μεγιστοποίησης της πρωτεύουσας ενέργειας για όλα τα σενάρια. Το μέτρο αυτό αποδίδει την υψηλότερη πρωτεύουσα ενέργεια, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται και τα μεγαλύτερα οικονομικά οφέλη.

Πίνακας 6.4.1: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα σεναρίων

A/A	Μέση ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	Ετήσια παραγόμενη ενέργεια με αξιοπιστία 99% (GWh/έτος)	Ετήσια αρδευτική ζήτηση (hm <sup>3</sup> )	Μέσο ετήσιο όφελος (€)	Μέσος ετήσιος αντλούμενος όγκος (hm <sup>3</sup> )	Μέσος ετήσιος εκτρεπόμενος όγκος (hm <sup>3</sup> )
X1	327.20	172.44	-	40,801,176.00	-	-
X2	794.27	440.64	-	81,066,600.00	-	-
X3	831.05	462.12	105	112,022,841.20	-	-
A1.1	888.95	495.00	105	116,891,018.44	200	-
A1.2	900.71	507/84	105	118,501,765.40	240	-
A1.3	957.00	561.00	105	125,565,819.80	400	-
A1.4	1096.33	688.32	105	142,619,016.80	800	-
A2.1	1,402.14	845.40	150	177,819,584.70	872.67	20.92
A2.2	1395.27	845.04	240	184,040,382.90	786.31	109.06
A2.3	1388.71	801.48	210	175,414,492.90	812.15	76.3

Για την καλύτερη οπτικοποίηση της σύγκρισης μεταξύ των διαφορετικών σεναρίων παραθέτονται στην Εικόνα 6.4.1 οι αθροιστικές καμπύλες των κυριότερων σεναρίων.





Εικόνα 6.4.1: Αθροιστικές καμπύλες διάρκειας ενέργειας Σεναρίων X1, X2, X3, A1.2, A2.2, A2.3

Στον παραπάνω πίνακα επιλέχθηκε η απεικόνιση των σεναρίων που προσδίδουν την υψηλότερη μέση ετήσια ενέργεια, υψηλότερη εγγυημένη ενέργεια και υψηλότερο μέσο ετήσιο κέρδος συστήματος.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των σεναρίων είναι εφικτή η επιλογή της βέλτιστης διαχειριστικής πολιτικής για τις δεδομένες παραδοχές και τα δεδομένα εισαγωγής. Θεωρώντας ως αποκλειστικό στόχο την μεγιστοποίηση του κέρδους, με δεδομένη μηδενική εκτροπή, το σενάριο A1.4 επικρατεί, καθώς παρουσιάζει τα υψηλότερα οικονομικά οφέλη. Λαμβάνοντας υπόψιν τα πλεονεκτήματα λειτουργίας της σήραγγας εκτροπής και του ΥΗΣ Πευκοφύτου, εγγυημένη παραγωγή ενέργειας, το σενάριο A2.2 συνδυάζει υψηλές οικονομικές απολαβές και υψηλές τιμές

παραγόμενης πρωτεύουσας ενέργειας, αλλά και την εκτροπή μικρής ποσότητας συγκριτικά με τις απορροές του Αχελώου.

#### 6.4.2. Σύγκριση αποτελεσμάτων με παλαιότερες μελέτες

Η ολοκλήρωση και αξιοποίηση των έργων του Άνω Αχελώου έχει μελετηθεί αρκετές φορές στο παρελθόν. Πραγματοποιήθηκε μία σύγκριση των αποτελεσμάτων της παρούσας μελέτης με αυτές, καθώς αυτές αξιοποιούσαν υδρολογικά δεδομένα της περιόδου 1960-1994 και παρουσιάζεται στον Πίνακα 6.4.2. Λόγω των νέων δεδομένων που καθιστούν την πλήρη (1200 hm<sup>3</sup>) αλλά και την μερική (600 hm<sup>3</sup>) εκτροπή του Αχελώου αδύνατη, σύγκριση πραγματοποιήθηκε με την μελέτη του (Koutsoyiannis, 1996) και της σχετικής διπλωματικής εργασίας (Μπουζιώτας, 2012) και μόνο για τα σενάρια μηδενικής εκτροπής, δηλαδή την λειτουργία των ταμιευτήρων Μεσοχώρας και Συκιάς.

Πίνακας 6.4.2: Σύγκριση αποτελεσμάτων με παλαιότερες μελέτες

Σενάριο μηδενικής εκτροπής ( Μεσοχώρα και Συκιά)	Ετήσια πρωτεύουσα ενέργεια (GWh/έτος)	Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh/έτος)
Παρούσα μελέτη (Σενάριο X2)	440.64	794.27
Κουτσογιάννης (1996)	507.9 (-13.2%)	805.9 (-1%)
Μπουζιώτας (2012)	423.84 (4%)	685.2 (16%)

Οι αποκλίσεις από τις παλαιότερες μελέτες (που αναγράφονται στις παρενθέσεις) είναι μικρότερες του 20% και οφείλονται κυρίως στις διαφορές των υδρολογικών δεδομένων. Βάση της σύγκρισης αυτής, προκύπτει το συμπέρασμα ότι τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης είναι αξιόπιστα και αντίστοιχα των παλαιότερων μελετών.

#### 6.5. Αξιοποίηση αιολικής ενέργειας για αντλησιοταμίευση

Στην περιοχή βρίσκεται ένας σημαντικός αριθμός αιολικών έργων, τα οποία όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενα κεφάλαια της μελέτης αδυνατούν να αποθηκεύσουν την ενέργεια που παράγουν. Καθώς η αιολική ενέργεια βασίζεται στη δύσκολα προβλέψιμη και μη σταθερή ταχύτητα του ανέμου αξιοποιούνται αποκλειστικά για την κάλυψη αναγκών αιχμής ζήτησης. Όπως

αποδείχθηκε από τα προηγούμενα κεφάλαια η άντληση μεγάλων ποσοτήτων έχει ως αποτέλεσμα σημαντικές οικονομικές ζημιές. Στο παρόν κεφάλαιο εξετάζονται τα οικονομικά οφέλη που θα επέφερε η αξιοποίηση ενός μέρους αυτής της ενέργειας για την άντληση του νερού προς τον ταμιευτήρα Συκιάς.

#### **6.5.1. Γενική μεθοδολογία και παραδοχές**

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Αρχικά συλλέχθηκαν στοιχεία για τα υπάρχοντα αιολικά έργα (πάρκα) της περιοχής. Θεωρήθηκε ότι θα αξιοποιηθούν τα έργα που βρίσκονται στις δημοτικές ενότητες των κατάντη της σήραγγας εκτροπής περιοχών, δηλαδή στους δήμους Πύλης και Μουζακίου. Επιπλέον, θεωρήθηκε ότι θα αξιοποιηθούν τα αιολικά έργα που υπάρχουν ήδη στην περιοχή και έχουν ήδη άδεια παραγωγής. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν από την Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ, n.d.) και παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.5.1:

Πίνακας 6.5.1: Μονάδες αιολικής παραγωγής περιοχής Δυτικής Θεσσαλίας

Αναγνωριστικό	ΑΑ	Δήμος	Ισχύς (MW)	Μέγιστη ισχύς (MW)
36443	Γ-07120	ΠΥΛΗΣ	3	
36554	Γ-07417	ΠΥΛΗΣ	2.999	
37859	Γ-010649	ΑΡΓΙΘΕΑΣ,ΜΟΥΖΑΚΙΟΥ	3.45	3
40309	Γ-03261	ΠΥΛΗΣ	28	28
40063	Γ-04352	ΑΡΓΙΘΕΑΣ,ΜΟΥΖΑΚΙΟΥ	4.7	4
42484	Γ-012738	ΠΥΛΗΣ	21	21
36461	Γ-07086	ΑΡΓΙΘΕΑΣ	10.35	
40087	Γ-012742	ΑΡΓΙΘΕΑΣ,ΠΥΛΗΣ	25.2	25.2
39716	Γ-012202	ΑΡΓΙΘΕΑΣ,ΠΥΛΗΣ	29.4	29.4
38689	Γ-012200	ΠΥΛΗΣ	8.4	8.4
37502	Γ-04032	ΑΡΓΙΘΕΑΣ,ΠΥΛΗΣ	30	30
42732	Γ-04292	ΠΥΛΗΣ	54.6	52
42742	Γ-012198	ΠΥΛΗΣ	25.2	25.2
42743	Γ-012198	ΠΥΛΗΣ	8.4	8.4
42698	Γ-015181	ΑΡΓΙΘΕΑΣ,ΜΟΥΖΑΚΙΟΥ	0.5	0.5
41429	Γ-07161	ΠΥΛΗΣ	24	21.6
39243	Γ-012213	ΠΥΛΗΣ	29.4	29.4
41379	Γ-013690	ΑΡΓΙΘΕΑΣ,ΜΟΥΖΑΚΙΟΥ	13.8	13.8
41903	Γ-014841	ΠΥΛΗΣ	45	45
42263	Γ-015080	ΠΥΛΗΣ	20	20

Αθροισμα ισχύος (MW)	387.40	-
----------------------	--------	---

Θεωρώντας έναν εύλογο συντελεστή δυναμικότητας (Capacity Factor) για ανεμογεννήτριες, ίσο με 0.35 προκύπτει η μέγιστη δυνατή παραγόμενη ενέργεια βάση της εξίσωσης:

$$E = CF \times I \times \frac{8760}{1000}$$

(6.5.1)

Προκύπτει έτσι: E = 1187.77 GWh, μέγιστη δυνατή παραγόμενη ενέργεια ετησίως. Βάσει της υπόθεσης ότι η άντληση του συστήματος λειτουργεί το 25 % του χρόνου λειτουργίας και υποθέτοντας την χρήση ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες στο ίδιο ποσοστό χρόνου προκύπτει ότι θα καλύπτονται 297 GWh. Ο Πίνακας 6.5.2 παρουσιάζει την μέση ετήσια ενέργεια που απαιτείται για την άντληση:

Πίνακας 6.5.2: Μέση ετήσια απαιτούμενη ενέργεια για άντληση

Σενάριο	Ενέργεια (GWh)
A1.1	92.89
A1.2	111.6
A1.3	185.77
A1.4	371.54
A2.1	404.65
A2.2	364.36
A2.3	377.05

### 6.5.2. Οικονομικά αποτελέσματα, με χρήση αιολικής ενέργειας για άντληση

Βάσει των παραπάνω, είναι εφικτή η κάλυψη είτε ολόκληρης της ζήτησης ενέργειας είτε ενός σημαντικού μέρους της από την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας. Σύμφωνα με τα νέα αυτά δεδομένα παρουσιάζεται στον Πίνακα 6.5.3 εκ νέου τα οικονομικά αποτελέσματα των μοντέλων:

Πίνακας 6.5.3: Μέσα ετήσια κέρδη σεναρίων με την υπόθεση χρήσης αιολικής ενέργειας για την άντληση

A/A	Νέο μέσο ετήσιο κόστος άντλησης (€)	Νέο μέσο ετήσιο όφελος (€)
X1	-	40,801,176.00
X2	-	81,066,600.00
X3	-	112,022,841.20
A1.1	0	121,120,152.44
A1.2	0	123,583,161.39
A1.3	0	134,024,087.79
A1.4	3,350,745.00	156,189,581.76
A2.1	4,856,713.00	191,419,741.74
A2.2	3,021,955.00	197,648,005.91
A2.3	3,599,842.00	188,990,764.87

Η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας έχει ως αποτέλεσμα την εκτεταμένη μείωση του κόστους άντλησης. Το σενάριο A2.2, στο οποίο αποδίδεται και η μεγαλύτερη αρδευτική ζήτηση (240 hm<sup>3</sup>) θεωρείται το επικρατέστερο σενάριο.

## 7. Συμπεράσματα μελέτης – προτάσεις επέκτασης μελέτης

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύονται τα συμπεράσματα της μελέτης για την εύρεση μίας βέλτιστης διαχειριστικής πολιτικής για το υδροσύστημα Άνω Αχελώου – Δυτικής Θεσσαλίας.

### 7.1. Συμπεράσματα αποτελεσμάτων

1. Η λειτουργία του ταμιευτήρα Μεσοχώρας και η ενσωμάτωσή του στο εθνικό δίκτυο ενέργειας θα αποδώσει πολλαπλά οικονομικά οφέλη, καθώς βάσει των υπολογισμών θα προσδίδει 330 GWh το έτος, με υψηλή αξιοπιστία απόδοσης πρωτεύουσας ενέργειας ύψους 164 GWh ανά έτος. Η λειτουργία του ταμιευτήρα αυτού δεν ενέχει, όπως έχει αποδειχθεί από πολλαπλές μελέτες, ουσιώδεις οικολογικούς κινδύνους και η αξιοποίησή του θεωρείται αναγκαία για την αναστροφή των οικονομικών ζημιών που έχουν επέλθει μετά την ολοκλήρωσή και μη χρήση του έργου. Τέλος, όπως αποδεικνύεται από τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, υπάρχει δυνατότητα απόδοσης μεγαλύτερης (υπερδιπλάσιας) της προβλεπόμενης (από την πιο πρόσφατη Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Γ. Βαβίζος, Κ. Ζαννακάκη, Δ. Ζαφειροπούλου & ΣΙΑ Α.Ε., Βακάκης και Συνεργάτες Ε.Π.Ε, Υδροεξυγιαντική Λ.Σ. Λαζαρίδης, 1995) οικολογικής παροχής, χωρίς ουσιαστικό αντίκτυπο στα ενεργειακά και οικονομικά αποτελέσματα του συστήματος.
2. Η κατασκευή του ταμιευτήρα Συκιάς και η λειτουργία του, χωρίς της ένταξη της σήραγγας εκτροπής και των συνοδών της έργων, υπερδιπλασιάζει τη μέση ετήσια παραγόμενη ενέργεια του συστήματος, αξιοποιώντας τις υψηλές απορροές του ποταμού Αχελώου και τις μεγάλες δυνατότητες ταμίευσης του έργου. Η ολοκλήρωση και λειτουργία του ταμιευτήρα Συκιάς θεωρείται αναγκαία, καθώς θα προσθέσει κατά μέσο όρο 468 GWh ετησίως στο δίκτυο, ενώ το σύστημα θα παρέχει πρωτεύουσα ενέργεια ύψους 440 GWh ανά έτος.
3. Όπως έχει ήδη αναλυθεί η περιοχή της Θεσσαλίας αντιμετωπίζει έντονες ελλείψεις σε υδατικούς πόρους και σημαντικά πλημμυρικά προβλήματα ταυτόχρονα. Η κατασκευή των ταμιευτήρων Πύλης και Μουζακίου θα έχει ως αποτέλεσμα την απόδοση υδρευτικού νερού στις αντίστοιχες περιφερειακές ενότητες, με πολύ υψηλή αξιοπιστία και την κάλυψη ενός αξιόλογου μέρους της τοπικής αρδευτικής ζήτησης. Οι αναλύσεις δείχνουν ότι είναι εφικτή η κάλυψη του 10% της συνολικής αρδευτικής ζήτησης της Θεσσαλίας, η παραγωγή

ενέργειας ύψους 840 GWh κατά μέσο όρο ετησίως, και η παροχή πρωτεύουσας ενέργειας ύψους 437.52 GWh ανά έτος, αλλά και η διοχέτευση επιπρόσθετης του σχεδιασμού οικολογικής παροχής για την σταδιακή ανάπλαση του υπόγειου υδροφορέα. Τα παραπάνω καθιστούν τα έργα αυτά αναγκαία.

4. Η λειτουργία του πλήρους συστήματος (ταμιευτήρες Μεσοχώρας, Συκιάς, Μουζακίου, Πύλης) σε συνδυασμό με την σήραγγα εκτροπής και τον ΥΗΣ Πευκοφύτου οδηγεί σε υψηλά οικονομικά οφέλη και παραγόμενη πρωτεύουσα ενέργεια, 12% και 32% αντίστοιχα αυξημένα, σε σχέση με το αντίστοιχο σενάριο που δεν λειτουργεί η σήραγγα εκτροπής και ο ΥΗΣ Πευκοφύτου.
5. Το σενάριο εκτροπής πολύ μικρής, αναλογικά με το δυναμικό του, ποσότητας του ποταμού Αχελώου (περίπου 2%) έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της αρδευτικής απόληψης και της υδροηλεκτρικής παραγωγής. Επιπλέον, το σενάριο αυτό δίνει την δυνατότητα να παράγεται στο 99% του χρόνου ενέργεια ύψους 70 GWh. Τα παραπάνω καθιστούν το σενάριο αυτό το επικρατέστερο, καθώς έτσι δύναται να αξιοποιηθεί στο πλήρες το υδροδυναμικό του συστήματος. Επιπλέον, λόγω της αμελητέας ποσότητας εκτροπής, σε σχέση με την μέση ετήσια απορροή του Αχελώου, κρίνεται ότι θα υπάρχει μηδενική επιρροή στο ισοζύγιο των κατασκευασμένων έργων του Κάτω Αχελώου.
6. Η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας για την άντληση από τον ταμιευτήρα Μουζακίου αποδίδει, εκτός του υψηλού μέσου ετήσιου οφέλους, επιπλέον ανεξαρτησία του συστήματος. Με τον τρόπο αυτό οι ροές ενέργειας (παραγωγή και άντληση) προέρχονται σχεδόν αποκλειστικά από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Επιπλέον, χρησιμοποιείται αιολική ενέργεια που συνήθως μένει αναξιοποίητη.
7. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης είναι πλήρως σύμφωνα με τις τελευταίες αποφάσεις του Υπουργείου Υποδομών και Μεταφορών, τόσο για την μέγιστη δυνατή μεταφερόμενη ποσότητα νερού προς τον Θεσσαλικό κάμπο, αλλά και υλοποιεί τα χρόνια αιτήματα των τοπικών κοινωνιών, που επί δεκαετίες ζητούν την ολοκλήρωση των έργων. Η παραγωγή μεγάλης ποσότητας εγγυημένης ενέργειας, η κάλυψη κρίσιμων αρδευτικών ζητήσεων και τα αναμφισβήτητα πλεονεκτήματα σε ζητήματα αντιπλημμυρικής προστασίας της περιοχής, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η πρόταση αυτή είναι επίκαιρη και η υλοποίησή της αναγκαία.



8. Η μελέτη αυτή και τα αποτελέσματά της αποτελούν έναυσμα για την αναδιάρθρωση του ενεργειακού τομέα της Ελλάδας με την εν γένει αξιοποίηση του υδροδυναμικού της, συμβάλλοντας θετικά στην ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας και ανεξαρτησίας αυτής και στη χάραξη βιώσιμων πολιτικών με ενσωμάτωση και των τριών διαστάσεων της αειφόρου ανάπτυξης (κοινωνικής, περιβαλλοντικής, οικονομικής), με κοινά οφέλη και συνέργειες στην προστασία της φύσης και βιοποικιλότητας, των υδάτινων πόρων και του περιβάλλοντος.

## **7.2. Προτάσεις επέκταση μελέτης**

1. Αναλυτική μελέτη περιβαλλοντικών και λοιπών επιπτώσεων από την υλοποίηση του προτεινόμενου συστήματος. Παρά το γεγονός ότι τέτοιου είδους μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί στο παρελθόν, είναι απαραίτητη η επικαιροποίησή τους υπό το πρίσμα του προτεινόμενου σχεδιασμού, στον οποίο η καθαρή εκτροπή του Αχελώου είναι ελάχιστη, ως ποσοστό.
2. Επέκταση της παρούσας μελέτης ως προς το σκέλος της αντιπλημμυρικής προστασίας που θα παρέχουν τα έργα Πύλης και Μουζακίου.
3. Εξέταση πιθανής λειτουργίας υδροηλεκτρικού σταθμού στην συνδετήρια σήραγγα Πύλης-Μουζακίου.
4. Μελέτη εναλλακτικών σεναρίων για την χωρητικότητα των ταμιευτήρων Πύλης και Μουζακίου.
5. Περαιτέρω διερεύνηση της δυνατότητας εποχιακά μεταβαλλόμενης μεταφοράς νερού μεταξύ των ταμιευτήρων Συκιάς και Μουζακίου και αντίστροφα (βλ. Σενάριο Α2.3) μέσω βελτιστοποίησης.

## 8. Βιβλιογραφία

- 7/μελής, σ. Ε. (1994). ΜΠΕ - Χωροθέτηση/Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων , ΣτΕ 2759/1994.
- Brutsaert, W. (1982). *Evaporation into the Atmosphere: Theory, History, and Applications*.
- ECOFLOW. (2019). *ECOFLOW*. Ανάκτηση από [ecoflow.hcmr.gr](https://ecoflow.hcmr.gr/):  
<https://ecoflow.hcmr.gr/%CF%80%CE%BF%CF%84%CE%B1%CE%BC%CF%8C%CF%82-%CE%B1%CF%87%CE%B5%CE%BB%CF%8E%CE%BF%CF%82/>
- ELECTROWATT. (1968). *Μελέτη σκοπιμότητας για την αξιοποίηση της Θεσσαλικής πεδιάδας. entsoe*. (χ.χ.). Ανάκτηση από <https://www.entsoe.eu/>
- geogreece*. (χ.χ.). Ανάκτηση από <https://www.geogreece.gr/rain.php>
- Grigg, N. S. (1996). *Water Resources Management*.
- J. Song, Y. H.-S. (2022). *Estimating Reservoir Inflow and Outflow From Water Level Observations Using Expert Knowledge: Dealing With an Ill-Posed Water Balance Equation in Reservoir Management*.
- Koutsoyiannis, D. (1996). *Study of the operation of reservoirs*. Ανάκτηση από <https://www.itia.ntua.gr/en/getfile/214/1/documents/1996EktropiResOper.pdf>
- Mays W. L., T. Y. (1992). *Hydrosystems Engineering and Management*.
- T. Hashimoto, J. S. (1982). *Reliability, Resiliency, and Vulnerability Criteria For Water Resource System Performance Evaluation*.
- V. T . Chow, D. R. (1988). *Applied Hydrology*.
- Winston, W. L. (1994). *Operations Research, Applications and Algorithms* (Τόμ. 3rd Edition).
- A. Ευστρατιάδης, Γ. Κ. (2007). *Θεωρητική τεκμηρίωση μοντέλου προσομοίωσης και βελτιστοποίησης της διαχείρισης υδατικών συστημάτων «ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ»*. Ανάκτηση από [https://www.itia.ntua.gr/en/softwaredownload/4/2/software/Hydronomeas\\_theory.pdf](https://www.itia.ntua.gr/en/softwaredownload/4/2/software/Hydronomeas_theory.pdf)
- A. Ευστρατιάδης, Ν. Ζ. (1999). *Βέλτιστη διαχείριση συστημάτων ταμιευτήρων. Εφαρμογή στο σύστημα Αχελώου - Θεσσαλίας*.
- A.Ευστρατιάδης, Γ. .,-Κ. (2020 - 2021). Γενικές διατάξεις υδροενεργειακών έργων.

Αίτηση 13/3/1996 της Κοινότητας Αρματολικού Ν. Τρικάλων κατά της ΚΥΑ διαφόρων υπουργείων. (χ.χ.). Ανάκτηση από

[https://www.ypethe.gr/sites/default/files/archivefiles/1996-3-13\\_aitisi.pdf](https://www.ypethe.gr/sites/default/files/archivefiles/1996-3-13_aitisi.pdf)

Αίτηση 15/2/1996 της κοινότητας Μεσοχώρας του Ν. Τρικάλων κατά διαφόρων υπουργών για την ακύρωση της ΚΥΑ. (1996). Ανάκτηση από

[https://www.ypethe.gr/sites/default/files/archivefiles/1996-2-15\\_aitisi\\_tis.pdf](https://www.ypethe.gr/sites/default/files/archivefiles/1996-2-15_aitisi_tis.pdf)

Αίτηση 15/2/1996 φορέων της Νομαρχίας Αιτωλοακαρνανίας κατά διαφόρων υπουργών για την ακύρωση ΚΥΑ. (1996). Ανάκτηση από

[https://www.ypethe.gr/sites/default/files/archivefiles/1996-2-15\\_aitisi\\_foreon.pdf](https://www.ypethe.gr/sites/default/files/archivefiles/1996-2-15_aitisi_foreon.pdf)

Αίτηση ακύρωσης της Αστικής Εταιρίας "Ελληνική Εταιρία για την προστασία του Περιβάλλοντος και της Πολιτιστικής Κληρονομιάς". (χ.χ.). Ανάκτηση από

[https://www.ypethe.gr/sites/default/files/archivefiles/2006-11-11\\_aitisi\\_akyrosis\\_tis.pdf](https://www.ypethe.gr/sites/default/files/archivefiles/2006-11-11_aitisi_akyrosis_tis.pdf)

Απόφαση ΣτΕ. (χ.χ.). Ανάκτηση από

[https://www.ypethe.gr/sites/default/files/archivefiles/1688\\_ste\\_aheloos.pdf](https://www.ypethe.gr/sites/default/files/archivefiles/1688_ste_aheloos.pdf)

Απόφαση ΣτΕ 2228/2020. (χ.χ.). Ανάκτηση από <https://nomosphysis.org.gr/20698/ste-2228-2020-nomimes-oi-anatheoriseis-ton-sdlap-ton-y-d-dytikis-st-elladas-lap-axelooy-kai-thessalias-lap-pineioy/>

Απόφαση ΣτΕ 2230/2020. (χ.χ.). Ανάκτηση από

<https://ddikastes.gr/%CF%80%CE%B5%CF%81%CE%AF%CE%BB%CE%B7%CF%88%CE%B7-%CF%83%CF%84%CE%B5-e%CE%84-%CF%84%CE%BC%CE%AE%CE%BC%CE%B1-7%CE%BC-2228-2230-2020-%CE%BC%CE%AD%CF%84%CF%81%CE%BF-%CF%84%CE%B7%CF%82-%CE%BC/>

Απόφαση ΣτΕ 3053/2009. (χ.χ.). Ανάκτηση από <https://nomosphysis.org.gr/11946/apofaseis-tis-olomeleias-ste-2009i/>

Γ. Βαβίζος, Κ. Ζαννακάκη, Δ. Ζαφειροπούλου & ΣΙΑ Α.Ε., Βακάκης και Συνεργάτες Ε.Π.Ε, Υδροεξυγιαντική Λ.Σ. Λαζαρίδης. (1995). *Εκτροπή Αχελώου Συνολική μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων.*

- Γ. Καραβοκυρός, Α. Ε. (2004). *Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας*. Ανάκτηση από <https://www.itia.ntua.gr/el/getfile/620/1/documents/report24.pdf>
- Γεωργακόπουλος, Θ. (2017). Το Φράγμα της Μεσοχώρας. *διαΝΕΟσις*. Ανάκτηση από <https://www.dianeosis.org/2017/02/mesochora/>
- Γκούμα, Κ. (χ.χ.). *ypethe.gr*. Ανάκτηση από <https://www.ypethe.gr/archive/arheio-k-gkoyma-erga-ano-ahelooy>
- Δ. Κουτσογιάννης, Θ. Ξ. (1997). *Τεχνική Υδρολογία*. Ανάκτηση από <https://www.itia.ntua.gr/el/getfile/115/10/documents/1999EngineeringHydrology.pdf>
- Δ. Κουτσογιάννης, Ν. Μ. (1995). *Αποτίμηση του επιφανειακού υδατικού δυναμικού και των δυνατοτήτων εκμετάλλευσής του στη λεκάνη του Αχελώου και τη Θεσσαλία, Κεφ. 5 της Μελέτης υδατικών συστημάτων*. Ανάκτηση από <https://www.itia.ntua.gr/el/getfile/215/1/documents/KEF5A.pdf>
- Δανιλάκης, Β. (χ.χ.). ΔΕΕ - Υπόθεση C-43/10 Νομαρχική Αυτοδιοίκηση Αιτωλοακαρνανίας. Ανάκτηση από [https://nomosphysis.org.gr/14221/to-amfilegomeno-ergo-tis-ektropis-toy-potamoy-axelooy-yper-i-kata-en-anamoni-tis-epikeimenis-apofasis-toy-dee/#\\_ftnref78](https://nomosphysis.org.gr/14221/to-amfilegomeno-ergo-tis-ektropis-toy-potamoy-axelooy-yper-i-kata-en-anamoni-tis-epikeimenis-apofasis-toy-dee/#_ftnref78)
- ΔΕΗ. (1987). *Η φυσιογνωμία και τα τεχνικά στοιχεία των έργων Αχελώου*. Υ.ΠΕ.ΘΕ. Ανάκτηση από [https://www.ypethe.gr/sites/default/files/archivefiles/1987\\_dei\\_tehnika\\_stoiheia\\_ergon\\_ano\\_ahelooy\\_0.pdf](https://www.ypethe.gr/sites/default/files/archivefiles/1987_dei_tehnika_stoiheia_ergon_ano_ahelooy_0.pdf)
- ΔΕΗ Διεύθυνση Ανάπτυξης. (1986). *Εκτροπή Αχελώου στη Θεσσαλία λαο υδροηλεκτρική αξιοποίηση Άνω Αχελώου και συγκοτήματος εκτροπής*.
- ΔΕΗ, Υ. (2013). *Επικαιροποιημένη δαπάνη έργων Αχελώου*. Ανάκτηση από [https://www.ypethe.gr/sites/default/files/archivefiles/2013\\_1\\_epikairopoiimeni\\_dapani\\_ergon\\_ahelooy.pdf](https://www.ypethe.gr/sites/default/files/archivefiles/2013_1_epikairopoiimeni_dapani_ergon_ahelooy.pdf)
- ΙΤΙΑ, Ε. ο. (2010). *Θεωρητική τεκμηρίωση για το λογισμικό ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ – Έκδοση 4*. Ανάκτηση από

<https://www.itia.ntua.gr/el/getfile/928/1/documents/HydrognomonV4TheoryGR-v1.02.pdf>

- Κ/ΕΙΑ Γ. ΚΑΡΑΒΟΚΥΡΗΣ & ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ ΣΥΜΒ. ΜΗΧΑΝ. Α.Ε., Π. Β.–Ο.–Ο. (2017). *1η Αναθεώρηση Σχεδίου Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών*. ΥΠΕΝ.
- Κατσανεβάκη, Α. (2018). *Συστήματα αντλησιοταμίευσης - εφαρμογή σε υφιστάμενες υποδομές (Λίμνη Πλαστήρα)*.
- Κουτσογιάννης, Δ. (2007). Έννοιες, μεθοδολογία, μεγέθη. Πλαίσιο διαχείρισης υδατικών πόρων στην Ελλάδα.
- Κουτσογιάννης, Δ. (2016). *Στατιστική Υδρολογία* (Τόμ. Έκδοση 5). Ανάκτηση από <https://www.itia.ntua.gr/el/getfile/122/100/documents/StatisticalHydrology.pdf>
- Κουτσογιάννης, Δ. (2017). *Στοχαστικές Μέθοδοι Εισαγωγή στην προσομοίωση*.
- Λαζαρίδης, (2010). *ΕΥΔΕ Αχελώου και ENVECO 1995*.
- Μαγειρίας, Σ. (1972). *Εκτροπή υδάτων από τον Αχελώου (από Λίμνη Συκιάς) προς τη θεσσαλική πεδιάδα*.
- Μπαλάς, Ε. (2017-2018). *Διαχείριση Υδατικών Πόρων Θεσσαλίας*.
- Μπουζιώτας, Δ. (2012). *Ανάπτυξη πλαισίου βελτιστοποίησης της υδροηλεκτρικής παραγωγής στο λογισμικό ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ – Διερεύνηση στο υδροσύστημα Αχελώου-Θεσσαλίας*.
- Νομολογία Ελεγκ. Συνεδρίου. (χ.χ.). Ανάκτηση από <https://www.mydocman.gr/es-kl-e-318-2022>
- Νόμος 3481/2006. (χ.χ.). Ανάκτηση από [https://www.dsnet.gr/Epikairothta/Nomothesia/n3481\\_06.htm](https://www.dsnet.gr/Epikairothta/Nomothesia/n3481_06.htm)
- ΡΑΕ. (χ.χ.). [geo.rae.gr](http://geo.rae.gr). Ανάκτηση από <https://geo.rae.gr/>
- Στεφανάκος, Ι. (2014). *Και πάλι το σήριαλ κατά της Εκτροπής του Αχελώου και πάλι το μένος κατά των Υδροηλεκτρικών Έργων και των Φραγμάτων*. . Υ.ΠΕ.ΘΕ.
- (2015). *Συνοπτική περιγραφή έργων Άνω Αχελώου*. Ανάκτηση από [https://www.ypethe.gr/sites/default/files/archivefiles/2015\\_3\\_23\\_synoptiki\\_perigrifi\\_ergon\\_ano\\_ahelooy.pdf](https://www.ypethe.gr/sites/default/files/archivefiles/2015_3_23_synoptiki_perigrifi_ergon_ano_ahelooy.pdf)

- Τράτσα, Μ. (2022). Επίσπευση των έργων στον Αχελώο. *Οικονομικός Ταχυδρόμος*. Ανάκτηση από <https://www.ot.gr/2022/02/17/green/epispeysi-ton-ergon-ston-axeloo/>
- Τροβά, Ε. (1995). Ο Θεός Ποταμός, Περιβάλλον και Δίκαιο 1/2001, σ. 38-42 και ΜΠΕ – Χωροθέτηση/Εγκριση Περιβαλλοντικών Ορών, ΣτΕ 2759/1994 (Τμήμα Ε΄) – Εκτροπή Αχελώου. *Νόμος και Φύση*, 162-181. Ανάκτηση από [https://nomosphysis.org.gr/14221/to-amfilegomeno-ergo-tis-ektropis-toy-potamoy-axeloooy-yper-i-kata-en-anamoni-tis-epikeimenis-apofasis-toy-dee/#\\_ftnref15](https://nomosphysis.org.gr/14221/to-amfilegomeno-ergo-tis-ektropis-toy-potamoy-axeloooy-yper-i-kata-en-anamoni-tis-epikeimenis-apofasis-toy-dee/#_ftnref15)
- Υ.Π.Ε.Ν. (χ.χ.). *1η Αναθεώρηση σχεδίου διαχείρισης των λεκανών απορροής του υδατικού διαμερίσματος Θεσσαλίας (EL08)*.
- ΥΠΕΘΕ. (χ.χ.). Ανάκτηση από <https://www.ypethe.gr/archive/ydroilektrika-erga-aheloooy>
- ΥΠΕΘΕ. (χ.χ.). *ypethe.gr*. Ανάκτηση από <https://www.ypethe.gr/archive/erga-ano-aheloooy-prosfygesdikastikes-apofaseis-ste-dek>
- ΥΠΕΧΩΔΕ. (2002). *Συμπληρωματική μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων εκτροπής του Αχελώου ποταμού προς Θεσσαλία*.
- Φράγκος, Ε. (2022, 10 14). Ερώτηση με αίτημα γραπτής απάντησης E-003391/2022. Ανάκτηση από [https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/E-9-2022-003391\\_EL.html](https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/E-9-2022-003391_EL.html)

## 9. Παράρτημα

### 9.1. Μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης

Οι παρακάτω πίνακες (Πίνακας 9.1.1, Πίνακας 9.1.2, Πίνακας 9.1.3, Πίνακας 9.1.4) παρουσιάζουν αναλυτικά τις μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του μοντέλου απορροής:

Πίνακας 9.1.1: Μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης Μεσοχώρας

	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1980-81	273.07	103.42	311.22	103.38	163.37	44.28	14.45	48.57	42.28	312.41	274.74	356.72
1981-82	244.34	258.48	88.73	94.02	124.15	27.89	6.78	66.66	95.13	186.9	129.75	519.77
1982-83	68.02	188.15	182.21	136.15	127.61	33.68	12.02	59.82	108.24	162.38	332.48	323.22
1983-84	59.74	162.1	110.35	53.48	82.89	111.9	80.03	23.79	58.34	123.38	225.67	221
1984-85	352.55	274.51	191.16	149.44	53.78	30.31	10.64	52.99	86.16	23.38	218.08	97.38
1985-86	433.14	164.64	190.19	153.64	93.52	25.34	37.32	11.53	13.62	88.17	385.51	103.36
1986-87	289.17	425	128.41	96.34	109.3	99.88	39.77	11.77	36.67	123.52	65.04	225.57
1987-88	417.3	179.83	357.92	80.29	126.57	59.74	43.55	53.13	47.13	236.64	324.27	107.93
1988-89	121.24	238.52	138.42	83.51	26.55	43.47	8.6	27.63	67.94	90.89	314.69	262.69
1989-90	17	216.89	147.42	134.02	102.29	84.9	96.93	15.69	51.63	257.12	285.29	162.94
1990-91	32.11	139.74	26.11	120.2	155.3	13.05	17.33	72.3	31.13	139.56	192.02	381.66
1991-92	77.09	188.75	89.88	143.98	126.91	29.6	35.63	37.73	14.83	75	186.92	56.89
1992-93	40.58	55.31	84.95	170.18	87.61	30.39	30.99	6.59	26.47	155.67	177.37	129.88
1993-94	131.43	171.65	124.9	41.77	151.16	28.48	12.26	12.5	24.83	45.02	274.79	289.51
1994-95	278.08	294.21	33.2	163.36	99.32	15.35	20.09	24.32	26.59	251.13	187.89	276.82
1995-96	282.25	83.68	210.92	74.55	75.59	24.74	42.96	110.53	67.2	52.12	141.77	292.43
1996-97	184.31	214.74	178.36	86.64	52.41	32.27	41.95	43.4	128.02	202.85	319.09	296.53

1997-98	159.93	80.43	127.61	109.59	40.37	31.92	16.37	34.79	21.59	188.63	181.93	211.69
1998-99	53.5	172.45	46.13	49.3	128.09	28.18	10.81	28.01	103.48	86.67	231.16	214.14
1999-00	81.04	138.08	96.6	71.27	40.11	28.23	28.74	25.59	47.34	95.66	244.14	206.88
2000-01	46.56	159.71	61.38	52.38	41	98.97	35.19	6.48	76.67	197	221.39	160.79
2001-02	105.87	133.22	81.53	144.24	87.54	36.88	14.83	94.76	56.03	24.03	95.09	111.38
2002-03	58.32	33.6	114.84	144.53	89.51	21.8	100.19	113.85	249.63	117.61	105.58	212.37
2003-04	187.59	168.38	32.53	46.84	57.67	22.9	47.56	35.21	47.81	207.96	68.25	141.06
2004-05	243.68	159.55	181.26	112.47	83.91	39.02	61.1	40.35	96.3	120.92	143.61	167.09
2005-06	219.04	287.96	145.28	82.46	84.05	55.23	53.75	23.11	68.92	37.71	149.83	406.85
2006-07	205.5	226.82	224.5	109.42	81.15	109.64	121.46	46.21	120.13	65	113.77	46.04
2007-08	111.2	120.45	139.91	72.38	124.55	43.54	7.6	51.47	91.27	247.35	136.03	127.61
2008-09	100.54	103.32	155.49	113.56	111.75	90.14	24.9	23.65	217.56	216.53	178.22	239.27
2009-10	246.26	162.6	276.8	105.17	91.08	73.43	85.62	37.92	68.21	240.19	214.95	295.52
2010-11	231.23	290.2	225.29	69.14	180.82	89.53	101.99	33.54	172.51	325.2	431.83	200.72
2011-12	99.77	142.79	173.29	89.42	114.05	104.73	2.37	36.47	53.8	140.04	29.51	258.2
2012-13	116.34	234.03	126.05	320.48	134.37	27.45	10.31	64.72	66.16	266.99	193.41	271.69
2013-14	351.85	252.98	330.91	97.86	139.18	31.27	24.9	25.57	37.79	94.15	462.4	127.62
2014-15	165.67	101.02	158.32	179.48	150.26	104.86	34.91	27.84	113.12	180.48	174.18	275.89
2015-16	219.46	258.13	161.54	119.49	86.4	121.25	93.85	62.26	185.45	143.63	217.38	35.13
2016-17	236.08	198.76	197.24	132.49	221.32	78.4	46.84	58.54	286.66	171.59	284.71	32.9
2017-18	213.13	147.39	69.08	71.35	110.58	56.22	75.35	5.94	66.38	98.83	189.3	251.65
2018-19	108.92	284.32	299.72	30.28	113.99	82.31	62.79	65.75	25.54	40.81	271.47	111.47
2019-20	367.14	97.68	65.22	120.07	117.19	51.26	51.01	4.95	28.81	96.48	407.32	215.15



<i>2020-21</i>	<i>32.25</i>	<i>101.74</i>	<i>100.52</i>	<i>125.26</i>	<i>54.74</i>	<i>71.52</i>	<i>72.11</i>	<i>75.5</i>	<i>224.78</i>	<i>143.59</i>	<i>12.53</i>	<i>306.36</i>
----------------	--------------	---------------	---------------	---------------	--------------	--------------	--------------	-------------	---------------	---------------	--------------	---------------

Πίνακας 9.1.2: Μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης Συκιάς

	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1980-81	301.65	103.93	313.67	112.79	233.4	53.56	8.02	41.06	41.6	349.96	296.78	452.82
1981-82	259.58	289.81	80.98	111.21	167.41	26.02	10.23	47.13	92.97	175.49	159.47	608.03
1982-83	74.58	199.55	210.24	164.2	153.71	38.02	16.41	13.48	70.48	160.75	346.55	391.06
1983-84	83.33	222.77	130.9	43.04	67.14	128.87	51.66	24.13	45.78	120.8	255.87	246.37
1984-85	372.7	320.82	237.93	192.6	72.01	27.52	8.83	73.24	92.71	23.41	183.13	111.91
1985-86	473.6	155.32	253.71	125.25	76.39	21.48	15.82	7.72	13.28	98.97	406.8	123.99
1986-87	380.35	504.1	182.62	112.32	115.53	101.46	39.64	26.21	32.6	152.76	82.21	201.81
1987-88	417.54	224.43	374.7	98.76	122.95	57.46	20.78	25.98	27.42	234.21	349.77	224.62
1988-89	134.38	275.31	162.34	92.21	32.76	50.7	5.62	8.57	51.05	94.77	337.93	303.92
1989-90	21.43	226.46	178.7	155.74	131.58	95.09	80.11	16.93	49.92	252.57	226.18	158.91
1990-91	21.98	67.04	27.43	139.33	120.68	13.94	9.98	45.25	22.79	154.27	210.2	623.49
1991-92	75.04	226.83	114.19	173.98	184.86	28.03	28.98	38.87	13.53	72.49	224.13	67.54
1992-93	45.02	56.08	123.22	268.6	116.57	47.93	32.28	6.44	35.1	168.02	136.91	169.16
1993-94	85.51	198.09	134.29	61.62	179.33	25.42	7.36	4.41	43.01	37.72	301.69	331.35
1994-95	284.46	286.66	44.2	172.09	108.81	23.99	25.16	25.06	18.76	234.19	221.79	327.79
1995-96	303.26	114.23	243.16	104.74	98.77	22.12	33.02	70.8	123.09	18.46	134.69	356.81
1996-97	153.08	347.1	260.4	95.5	54.76	44	33.32	37.61	130.02	199.85	330.39	302.18
1997-98	175.11	107.11	159.2	147.67	35.14	37.3	14.29	46.14	18.93	250.94	177.78	258.42
1998-99	86.21	205.08	58.59	61.32	129.04	29.97	6.15	22.96	118.47	97.67	281.94	278.18
1999-00	104.01	154.93	130.45	73.86	41.14	27.39	27.66	21.69	55.88	103.1	221.58	265.75
2000-01	56.37	159.88	81.95	59.13	34.68	53.15	13.03	6.12	27.84	139.91	166.02	136.8
2001-02	133.27	122.04	75.25	137.26	63.18	32.83	24.87	33.5	31.17	27.64	114.07	177.34

2002-03	78.52	46.16	126.91	178.29	62.07	31.83	84.49	64.81	224.35	107.71	94.52	266.13
2003-04	283.69	174.39	49.11	56.35	60.23	47.42	22.28	34.64	71	291.36	80.14	173.1
2004-05	246.84	167.31	202.66	116.57	122.48	46.59	36.42	10.08	113.3	110.98	153.87	206.14
2005-06	316.4	314.36	195.04	97.5	81.24	49.33	49.03	11.83	91.82	71.99	202.66	595.01
2006-07	178.21	317.78	273.63	139.62	32.97	61.49	65.72	56.63	152.59	111.17	155.91	85.03
2007-08	124.47	174.26	160.48	66.63	88.23	60.52	6.46	18.35	78.52	171.91	119.7	162.79
2008-09	115.98	89.81	208.98	98.83	23.26	62.29	10.95	19.31	141.76	161.12	221.12	243.37
2009-10	350.38	244.83	280.88	118.18	92.13	58.74	26.76	40.18	59.83	313.85	235.26	367
2010-11	283.43	395.89	195.87	66.39	158.56	102.87	55.49	3.69	137.88	335.6	362.13	263.66
2011-12	98.64	125	105.62	73.7	169.63	91.32	4.52	16.98	57.98	143.19	22.86	382.24
2012-13	182.02	301.3	125.63	335.27	166.25	14.56	8.21	67.4	116.9	232.59	256.67	457.91
2013-14	473.91	300.84	390.88	112.45	131.52	37.19	49.24	1.72	62.38	140.89	365.46	148.18
2014-15	260.83	106.77	266.52	167.23	108.12	105.27	33.13	43.13	103.88	189.06	129.7	311.1
2015-16	329.36	318.39	240	109.39	77.39	91.82	37.99	46.08	213.95	198.44	238.07	23.55
2016-17	354.22	293.31	274.27	113.27	196.02	46.87	23.42	57.5	248.59	179.37	257.46	14.71
2017-18	214.89	199.37	80.87	75.37	112.48	64.22	43.29	2.28	49.63	68.11	226.32	335.43
2018-19	174.86	387.14	307.13	25.82	87.51	145.07	79.31	87.43	20.09	67.16	323.87	129.84
2019-20	353.89	98.32	51.54	178.55	82.82	68.23	43.74	1.72	42.55	94.35	443.39	316.88
2020-21	90.7	86.7	83.68	160.98	50.95	86.01	48.32	34.66	301.52	128.58	10.85	375.95

Πίνακας 9.1.3: Μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης Μουζακίου

	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1980-81	244.34	152.57	240.45	94.96	149.62	33.25	4.7	12.41	55.07	359.53	202.98	305.17
1981-82	287.82	196.17	47.88	142.78	80.26	34.06	3.55	51.77	93.12	153.7	130.29	320.75
1982-83	75.64	194.3	291.73	178.93	153.25	19.33	10.96	30.74	55.49	138.92	242.68	241.62
1983-84	64.66	154.13	79.86	54.15	36.93	102.64	56.69	18.8	36.4	133.46	201.26	198.04
1984-85	204.14	237.29	187.93	213.46	47.24	22.55	8.79	57.19	60.41	26.59	160.72	146.66
1985-86	280.22	98.52	187.23	184.97	55.88	13.2	12.17	6.49	17.4	136.98	278.63	117.99
1986-87	221.61	346.43	157.78	58.67	103.29	91.11	25.07	29.93	43.44	214.27	102.79	119.55
1987-88	269.91	173.11	323.31	108.38	68.83	31.87	13.82	30.18	12.19	182.17	186.2	143.79
1988-89	126.95	162.29	104.58	92.8	25.52	18.71	5.2	2.69	27.45	101.92	243.18	141.88
1989-90	31.18	96.38	141.09	74.76	56.92	34.72	107.81	3.21	33.89	128.01	118.79	100.23
1990-91	29.29	49.89	48.27	57.65	108.14	6.61	5.66	19.82	19.97	103.96	166.74	342.99
1991-92	127.85	112.78	107	179.26	80.47	14.37	21.1	23.45	26.07	66.3	115.5	75.96
1992-93	58.66	46.26	66.64	156.11	81.07	35.31	12.03	4.43	26.07	119.77	100.81	132.05
1993-94	142.9	312.41	54.78	36.87	125.81	16.77	5.56	4.17	24.01	52.4	219.89	114.28
1994-95	172.59	265.82	36.65	87.26	67.3	13.4	21.15	5.75	16.15	304.86	145.46	190.75
1995-96	158.53	75.46	139.56	76.48	58.78	12.94	36.24	28.81	66.3	40.17	97.81	302.19
1996-97	177.72	296.98	243.52	71.91	29.68	15.72	39.1	15.87	95.63	167.63	137.47	246.74
1997-98	249.36	92.41	127.69	208.21	58.24	16.61	6.74	20.08	39.37	205.74	262.93	179.05
1998-99	75.01	187.36	42.9	35.24	178.51	8.89	9.6	7.3	100.95	56.48	335.78	291.81
1999-00	49.23	129.23	86.79	60.58	30.37	15.06	15.27	19.57	53.3	98.31	277.96	137.89
2000-01	29.13	170.4	58.06	34.74	48.39	20.02	18.83	4.52	28.79	228.53	86.91	137.81
2001-02	134.66	108.65	82.89	148.05	73.16	11.89	18.24	49.23	15.74	50.69	148.26	142.94

2002-03	59.75	36.8	171.41	252.04	39.69	7.61	112.8	54.06	185.43	97.34	97.45	406.45
2003-04	446.63	219.02	55.9	82.24	50.06	40.78	54.93	77.5	59.4	389.31	119.55	214.82
2004-05	262.94	161.13	244.21	159.22	135	17.59	55.7	50.49	86.9	203.23	117.11	178.51
2005-06	198.37	235.31	172.6	78.08	79.79	31	16	17.58	35.29	67.6	190.7	496.35
2006-07	266.65	320.95	179.85	147.02	24.6	35.03	61.55	22.29	145.67	113.46	132.43	58.54
2007-08	90.46	172.49	160.57	76.71	72.69	54.11	36.94	11.38	60.95	139.41	248.22	155.14
2008-09	43.01	87.15	175.7	95.35	28.49	30.79	1.09	13.36	141.27	131.08	198.09	213.34
2009-10	273.49	168.82	226.4	105.69	38.21	29.22	30.01	16.17	67.58	302.99	174.8	284.83
2010-11	280.66	272.56	177.85	42.47	136.9	51.73	77.97	12.15	162.76	324.4	306.92	180.75
2011-12	108.09	217.59	175.14	147.11	189.33	36.81	0	9.28	34.55	131.28	46.21	265.21
2012-13	121.66	393.88	153.88	281.1	97.3	5.64	0.88	44.91	116.6	138.9	235.95	357.45
2013-14	308.96	243.79	250.78	102.84	78.07	15.12	37.08	0.58	18.15	71.42	356.71	166.27
2014-15	162.53	105.85	223.74	161.1	28.48	79.19	23.37	11.41	87.19	208.1	104.93	203.44
2015-16	186.14	343.03	209.05	100.94	80.46	119.72	54.08	44.72	202	229.89	182.09	28.73
2016-17	244.92	121.75	311.58	38.55	199.46	45.26	16.97	101.43	237.82	212.41	243.38	27.94
2017-18	258.54	173.51	146.43	50.69	108.12	83.58	51.26	4.22	85.9	53.79	238.91	299.28
2018-19	152.64	420.69	77.23	30.72	76.04	117.21	63.98	46.13	8.74	122.17	247.19	110.48
2019-20	261.18	116.14	75.09	138.73	50.01	45.45	104.25	2.54	23.3	107.28	406.6	252.33
2020-21	41.81	72.19	189.01	199.11	77.14	87.23	51.41	38.62	400.43	94.85	48.15	220.77

Πίνακας 9.1.4: Μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης Πύλης

	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1980-81	260.32	138.85	233.79	142.57	140.2	64.7	34.43	38.3	33.34	251.44	214.27	310.58
1981-82	149.46	182.85	159.98	122.5	128.07	135.65	48.49	103.49	78.99	74.57	76.02	360.17
1982-83	89.43	164.32	243.83	55.83	95.63	21.74	25.86	26.38	95.27	98.25	181.22	252.4
1983-84	94.53	149.3	85.34	77.42	88.48	113.71	134.56	40.34	37.04	119.75	166.63	104.74
1984-85	192.19	180.52	267.67	196.16	61.22	61.65	84.71	65.49	47.72	14.31	132.37	131.91
1985-86	312.48	162.73	196.05	160	124.07	45.59	25.41	37.56	35.87	90.35	278.18	155.76
1986-87	322.72	359.83	148.87	134.89	143.89	143.27	48.59	28.2	38.48	113.78	73.67	128.28
1987-88	295.3	228.12	309.3	132.36	77.13	42.29	27.59	26.14	11.29	163.15	171.19	134.29
1988-89	165.76	205	136.62	72.44	53.46	72.86	18.81	36.01	38.17	92.81	195.83	157.05
1989-90	64.69	140.84	159.93	59.23	72.91	34.91	85.4	38.63	22.53	100.98	132.66	106.95
1990-91	45.56	102.05	125.87	91.58	134.59	26.55	66.09	58.48	23.04	76.1	163.95	341.27
1991-92	145.51	160.1	105.76	161.44	77.69	31.07	67.79	64.85	33.12	62.49	106.75	70.63
1992-93	85.09	85.68	103.08	166.12	111.35	51.42	31.59	52.31	24.22	96.3	88.54	145.29
1993-94	164.85	296.2	110.94	98.38	168.99	25.53	43.42	22.45	24.68	72.36	188.3	130.01
1994-95	271.12	297.94	80.95	136.77	60.92	55.72	38.99	36.31	14.2	232.68	137.53	198.07
1995-96	177.17	97.41	238.24	109.18	113.64	49.98	50.16	33.42	54.62	40.43	108.1	308.21
1996-97	205.51	298.84	220.88	132.38	38.15	34.98	89.8	42.71	64.27	122.86	154.64	218.11
1997-98	291.67	145.96	145.63	141.98	105.72	14.13	21.46	78.52	39.75	145.06	192.12	166.94
1998-99	78.39	234.81	88.62	40.61	133.71	20.91	26.33	10.99	82.25	55.77	201.08	211.41
1999-00	78.92	179.11	114.81	49.69	53.03	26.83	33.31	26.45	41.16	87.53	249.04	134.49
2000-01	69.36	160.55	73.7	53.54	63.35	46.74	37.04	20.56	26.79	175.42	111.01	118.96
2001-02	117.66	118.6	86.92	170.18	64.65	41.66	66.83	49.11	13.27	48.88	116.06	163.13

2002-03	47.58	45.15	184.9	269.41	65.26	46.08	83.07	63	186.19	119.29	89.15	270.86
2003-04	424.28	167.72	81.14	105.3	67.46	34.8	83.39	80.43	46.33	407.74	60.73	152.96
2004-05	234.46	160.81	262.79	160.89	147.04	53.73	41.72	32.95	130.54	163.86	152.18	175.94
2005-06	246.54	243.87	251.7	140.06	135.95	85.06	44.07	17.31	54.57	64.53	174.07	509.13
2006-07	189.43	328.14	218.22	136.54	60.83	68.32	72.44	28	132.6	70.91	113.36	58.41
2007-08	113.07	204.63	171.38	57.03	57.14	56.7	31.66	17.92	60.91	102.5	330.73	162.37
2008-09	79.83	106.83	208.2	109.12	37.57	55.37	27.31	14.04	108.67	141.02	198.24	252.89
2009-10	343.63	196.64	293.86	145.69	118.01	60.73	52.87	27.63	81.73	279.95	183.91	355.27
2010-11	316.38	393.67	194.47	88.45	137.74	90.48	44.44	23.85	128.95	260.36	317.83	205.09
2011-12	113.49	194.72	201.04	131.82	151.52	98.09	51.63	25.29	29.8	109.01	48.42	228.13
2012-13	126.49	422.73	204.37	293.15	113.01	45.53	25.71	27.61	69.55	140.18	182.41	296.9
2013-14	307.4	332.54	300.77	98.28	68.05	77.53	55.85	5.51	34.99	70.83	265.68	124.31
2014-15	178.73	113.88	229.76	143.24	102.38	101.89	24.59	27.12	75.51	152.58	96.06	237.44
2015-16	205.37	314.37	183.99	122.02	56.41	133.24	31.51	78.84	153.04	165.08	178.12	72.31
2016-17	271.03	244.61	214.66	79.96	177.08	66.3	28.19	86.32	203.2	184.5	228.93	42.48
2017-18	181	222.7	142.74	45.52	183.83	112.33	46.32	16.68	105.61	60.12	199.86	298.8
2018-19	179.49	443.54	239.19	73.35	98.23	96.23	53.89	70.89	25.14	92.85	255.13	88.09
2019-20	287.89	176.52	137.63	115.01	65.69	68.91	112.65	14.44	18.57	85.92	295.79	259.14
2020-21	46.28	79.48	194.48	227.36	65.96	66.74	87.73	30.72	232.82	66.94	20.84	231.96

## 9.2. Μηνιαίες τιμές απορροής

Οι παρακάτω πίνακες (Πίνακας 9.2.1, Πίνακας 9.2.2, Πίνακας 9.2.3, Πίνακας 9.2.4) παρουσιάζουν αναλυτικά τις μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του μοντέλου απορροής:

Πίνακας 9.2.1: Μηνιαίες τιμές απορροής Μεσοχώρας

	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1980-81	167.5	226.8	344.5	272.8	244.8	137.3	104.5	96.9	42.9	30	24.6	32.1
1981-82	91.4	103	416.3	144.8	169.2	207.8	133.1	102.2	50.8	34.7	24.8	33.8
1982-83	89.9	223.3	307.2	133.4	165.6	120.1	68.9	45.5	47	34.3	16.9	15.4
1983-84	47.3	135	210.6	292.5	239.1	204.2	162.7	78	45.3	32	24.1	32
1984-85	16.6	105.9	96.9	333.8	166	189.4	146.1	72.5	43.4	30.4	20.6	13.8
1985-86	27.8	233.9	140	261.9	327.5	184.5	108.1	85	67.6	37.6	24.1	16.2
1986-87	39.1	55.7	148.6	277.2	194.3	297.2	115.9	96.9	57.7	43.4	26.7	23.7
1987-88	113.1	234	183.1	133.8	199.7	147.2	82.9	52.4	32.3	22	15.1	15.1
1988-89	31.9	201.1	237.4	76	147.9	152.7	111.4	81.4	43	36.5	22.1	20
1989-90	151.4	183.7	162.8	73.4	76.4	38.3	81	50.2	29.2	17.4	17.1	9.7
1990-91	45.6	128	386.6	139	185	112	121.3	98.3	38.9	27.2	19.8	12.5
1991-92	21.1	110	69	45.9	43.2	54.4	125.8	53.6	26.8	18.8	12.5	8.6
1992-93	47.5	91.3	120.7	106.4	141.5	118.7	60.1	84.1	29.2	20.7	14.2	10.4
1993-94	10.6	129.8	228.4	236.5	242.2	94	128.3	84.3	38.6	27.7	19	12.6
1994-95	103.6	155.8	243.9	260.9	123.4	189.6	95.8	64.7	34.3	24.7	20.3	21.6
1995-96	15.3	68.4	230.3	155	210.8	178.7	101.8	51.6	33.3	25.1	16.8	30.6
1996-97	101.4	225.6	248.6	211	111.4	131.2	103.9	60.9	32.1	22.4	15.6	10.4
1997-98	75.6	122.2	188.5	102.4	151.6	66.4	37.7	55.4	19.9	13.6	9.4	19



1998-99	38.9	151.6	217.8	114.6	135.1	103.8	64.8	30.5	19.9	14.1	9.7	7.1
1999-00	26.5	144.1	199	93.1	132.3	76	45.2	25.1	19.8	12.3	8.4	7.2
2000-01	59.8	98.5	123	116.1	107.4	73.2	104.8	52.2	25.3	18.1	14.8	11.6
2001-02	7.5	46	111.7	71.2	35.9	72.5	104.7	34.5	20	26.3	27.9	104.4
2002-03	92.2	82.3	214.3	210.1	185.3	79.9	68.7	40.3	24.6	18.3	13.9	14.8
2003-04	120.2	78.5	141.3	194.4	138.5	178.1	102.2	90.2	42.7	29.7	19.3	33.8
2004-05	70.5	117.7	159.2	200.5	230.6	188.7	94.2	66.4	49.8	28.7	19.6	18.9
2005-06	19.2	106.4	344.1	237.3	240	252.3	128.5	80.8	57.2	40.3	28.4	49.2
2006-07	54.3	91.7	67.2	100.5	108.4	118.8	69	49.4	41.2	20.7	16.4	14.1
2007-08	89.5	131.3	145.5	103.8	100.5	119.7	72.1	45.9	34.8	18.8	12.4	45.2
2008-09	112.7	150	256	297.4	213.4	267.5	134.9	87.3	57.3	43	26.7	20.5
2009-10	143.1	202.5	309.3	271.3	299.1	226.6	108.9	118.6	70.4	47.7	30.4	58.1
2010-11	234	331.9	272.2	159.9	152.8	169.1	91	83.5	60.6	28.9	21.2	19.8
2011-12	65	24.3	185.6	141.8	230.1	144.9	230.4	120	58.4	40.6	29.3	33.7
2012-13	148.7	166.6	315.2	357.6	279	328.6	153.5	110.3	64.3	44.1	30.1	24.3
2013-14	49.9	267.7	159.5	189	119.6	166	140.9	91.7	64.8	34	23.9	35.6
2014-15	98.6	107.1	243.1	258.2	232.8	206.1	127	68.6	56.8	36.8	27.6	69.6
2015-16	119.2	163.3	73.8	251.4	184.3	210.5	100.7	136.3	56.1	37.5	28.8	132
2016-17	130.5	216.2	83	195	141.5	106.9	57.8	53.4	31.7	30.9	15.7	14.9
2017-18	28.5	159.3	233.4	156.1	308.3	306.6	100.2	85.9	66.2	47.1	38.1	20.2
2018-19	22	140.9	130.2	285.8	131.2	85	102.1	76	36.2	28.4	17.2	12.4
2019-20	39	263.9	245.3	93.7	94.8	114.2	107.7	46	36.4	35.4	26.2	92.3
2020-21	108.9	36.5	250.7	478.6	241.5	207.2	101.9	66.1	45.1	31	21.3	14.3

Πίνακας 9.2.2: Μηνιαίες τιμές απορροής Σουκιάς

	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1980-81	183.5	248.5	377.4	298.9	268.2	150.4	114.5	106.2	47	32.8	27	35.1
1981-82	100.1	112.8	456.1	158.6	185.4	227.7	145.8	112	55.7	38	27.2	37
1982-83	98.5	244.7	336.5	146.2	181.5	131.5	75.5	49.9	51.5	37.6	18.5	16.8
1983-84	51.9	147.9	230.8	320.5	262	223.8	178.2	85.5	49.6	35	26.4	35
1984-85	18.2	116	106.1	365.7	181.8	207.6	160.1	79.4	47.6	33.3	22.6	15.1
1985-86	30.4	256.2	153.4	286.9	358.8	202.2	118.4	93.2	74	41.2	26.4	17.8
1986-87	42.8	61	162.8	303.7	212.8	325.6	126.9	106.1	63.2	47.5	29.3	26
1987-88	123.9	256.4	200.5	146.6	218.7	161.3	90.8	57.4	35.4	24.1	16.6	16.5
1988-89	35	220.3	260.1	83.3	162.1	167.3	122	89.2	47.1	40	24.2	21.9
1989-90	165.9	201.2	178.3	80.5	83.6	42	88.7	55	32	19	18.7	10.7
1990-91	49.9	140.3	423.5	152.3	202.7	122.7	132.9	107.7	42.6	29.8	21.7	13.7
1991-92	23.1	120.5	75.6	50.3	47.4	59.6	137.9	58.7	29.4	20.6	13.6	9.5
1992-93	52.1	100	132.2	116.5	155.1	130	65.8	92.1	32	22.7	15.6	11.4
1993-94	11.6	142.2	250.2	259.1	265.4	102.9	140.5	92.3	42.3	30.3	20.8	13.8
1994-95	113.4	170.7	267.2	285.9	135.2	207.7	105	70.8	37.5	27	22.3	23.6
1995-96	16.8	75	252.3	169.8	231	195.8	111.6	56.5	36.4	27.5	18.4	33.5
1996-97	111.1	247.1	272.4	231.2	122	143.8	113.9	66.7	35.1	24.6	17.1	11.4
1997-98	82.8	133.9	206.5	112.2	166.1	72.8	41.3	60.7	21.8	14.9	10.3	20.8
1998-99	42.6	166	238.6	125.6	148	113.7	71	33.4	21.7	15.5	10.6	7.8
1999-00	29.1	157.9	218.1	102	144.9	83.2	49.5	27.5	21.7	13.5	9.2	7.9
2000-01	65.6	107.9	134.8	127.2	117.6	80.2	114.8	57.2	27.8	19.9	16.2	12.8
2001-02	8.2	50.4	122.4	78	39.4	79.4	114.7	37.8	21.9	28.8	30.6	114.4

2002-03	101	90.1	234.7	230.2	203	87.6	75.3	44.2	27	20.1	15.2	16.2
2003-04	131.7	86	154.8	213	151.8	195.2	111.9	98.8	46.8	32.6	21.2	37
2004-05	77.2	128.9	174.4	219.6	252.6	206.7	103.2	72.8	54.6	31.4	21.5	20.7
2005-06	21	116.6	376.9	260	262.9	276.4	140.8	88.5	62.7	44.2	31.1	53.9
2006-07	59.4	100.5	73.6	110.1	118.8	130.1	75.6	54.1	45.2	22.7	18	15.4
2007-08	98.1	143.9	159.4	113.7	110.2	131.2	79	50.3	38.2	20.6	13.6	49.5
2008-09	123.4	164.3	280.4	325.8	233.8	293	147.8	95.6	62.8	47.1	29.3	22.4
2009-10	156.8	221.9	338.8	297.3	327.7	248.2	119.3	129.9	77.1	52.3	33.3	63.6
2010-11	256.4	363.6	298.2	175.1	167.4	185.2	99.7	91.5	66.4	31.7	23.2	21.7
2011-12	71.2	26.6	203.3	155.3	252	158.8	252.4	131.4	64	44.5	32.1	36.9
2012-13	162.9	182.5	345.3	391.8	305.6	360	168.2	120.8	70.5	48.4	33	26.6
2013-14	54.6	293.2	174.8	207	131	181.9	154.4	100.5	71	37.3	26.2	39
2014-15	108	117.3	266.3	282.9	255.1	225.8	139.1	75.2	62.2	40.3	30.2	76.2
2015-16	130.6	178.9	80.9	275.4	201.9	230.6	110.3	149.3	61.5	41.1	31.6	144.6
2016-17	142.9	236.9	90.9	213.7	155	117.1	63.3	58.5	34.8	33.8	17.2	16.4
2017-18	31.3	174.5	255.7	171	337.8	335.9	109.7	94.1	72.6	51.6	41.7	22.1
2018-19	24.1	154.3	142.7	313.1	143.8	93.1	111.9	83.3	39.7	31.1	18.9	13.6
2019-20	42.8	289.2	268.7	102.6	103.8	125.1	118	50.4	39.8	38.8	28.7	101.1
2020-21	119.3	40	274.7	524.4	264.6	227	111.6	72.4	49.4	33.9	23.3	15.6

Πίνακας 9.2.3: Μηνιαίες τιμές απορροής Μουζακίου

	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1980-81	97.1	111.6	181.4	191.3	146.9	89.1	94.2	58.8	37.7	27.3	19.8	23
1981-82	35.7	52.3	153.1	79.9	103.3	182.3	114.7	92.3	55.8	40.4	28.6	21.4
1982-83	34.8	94.2	137.2	72.8	97	63.1	39.8	26.4	24.3	15.2	10.7	7.2
1983-84	26.2	68.5	115.1	123.9	134.9	124.7	131.1	64	42.7	31.3	22.5	16.8
1984-85	11.8	36.2	62.7	148.1	78.4	99.6	105.6	54.3	36.6	27	18.9	13
1985-86	24.9	98	94	132.3	190.9	134.4	73.9	60.1	49.3	30.9	22.1	15
1986-87	40.6	58.7	67.2	141.1	114.5	185.9	90.9	62.3	41.7	30.3	21.5	15.2
1987-88	31.8	74.8	87.4	80.1	84.7	67.8	42.4	33.7	20.8	15.3	10.7	7.4
1988-89	11.8	75.4	88.2	42.1	40.9	71.5	44.2	27.7	18.7	15.5	10.5	7.2
1989-90	23.2	34.8	46.4	24.9	19.4	12.2	13.9	14	10.5	6.6	4.7	3.3
1990-91	8	51.4	156.7	103.1	85	73.2	85.5	50.3	29.5	21.7	15.3	10.5
1991-92	9.2	29.9	34.1	27.3	19.4	15.5	45.3	23.4	14.5	10.5	7.5	5.1
1992-93	13.5	27	55.8	72.8	137.6	67.8	40.8	45.3	24.5	18	12.7	8.7
1993-94	6.7	60.3	62.1	96.4	149.4	62.7	55.2	42.5	25.2	18.5	13.1	8.9
1994-95	77.3	85.1	101.4	115.7	65.6	82	49.3	39.9	23	17.4	12.2	9.1
1995-96	8.2	20.5	123.9	107.1	160.3	154.4	76.8	52.2	35.9	27.1	18.9	14.3
1996-97	43.6	57.6	111.2	170.9	77.8	90.4	99.3	72.4	40	29.4	20.8	14.5
1997-98	45.7	114.8	123.7	81.4	110.2	51.7	34.1	51.5	25.7	18.5	13.1	11.6
1998-99	9.4	98.2	171.6	74.7	83.3	56.2	48.5	27.5	18.8	13.9	9.7	6.7
1999-00	13.3	101.1	85	46.2	84.2	45.1	26.6	22.3	13.9	10.1	7.1	4.9
2000-01	56.5	32.1	62	76.4	71.7	58.6	64.8	33.5	22.1	16.5	11.8	8
2001-02	7.7	36.6	55.4	45.5	21.8	65.1	95.6	39.3	26.6	30.7	21.9	47.6

2002-03	49.6	48.2	187.5	230.2	177.2	102.6	84.6	54.3	36.8	29	26.6	17.6
2003-04	123.5	99.8	121.3	157.6	121.4	151	105.1	93	50.4	38.7	27.7	23.4
2004-05	69.3	72.3	84.4	120.9	145.4	139.8	77.2	56.3	37.3	27	19.1	13.2
2005-06	10.7	46.7	201.6	195.8	198.8	172.8	109.6	76	49.8	37.8	26.2	33.9
2006-07	45.5	60.5	43.8	49.8	80.3	78.2	54.7	36.5	29.2	20	13.7	9.6
2007-08	24.3	79	90.2	52.4	58.3	70.4	49.3	29.8	20.1	14.6	10.3	17
2008-09	45.9	66.5	116.8	158.9	130	148.8	82.6	55.2	37	27.1	19.1	13
2009-10	74.5	107.8	174.1	186.4	192.2	158.7	83.5	79.7	48.5	35.2	24.7	31.3
2010-11	120.5	161.8	151	102.6	131.5	134.9	92.7	88.2	48.2	34.6	24.5	17.2
2011-12	32.2	24.5	96	85.7	194.6	137.4	153.6	78.4	51.8	38	26.8	31.7
2012-13	50.5	107.6	198.2	213.7	187.1	194.7	129.5	81	53.6	39.5	27.7	19
2013-14	15.5	119.4	108.4	113.4	82.2	135.7	90.7	50.5	37.5	25.8	18.2	12.7
2014-15	43.2	48.2	99.8	130.6	166.4	156.1	103.6	64.6	52.2	37.1	26.4	45.8
2015-16	93.2	90.9	54.8	141.7	90.3	164.7	67.4	88.2	47.3	34.6	29.4	67.9
2016-17	87.2	125.5	63.3	137.2	107.7	115.3	56	48.3	36	28.8	18.7	17.9
2017-18	19.5	90	139.6	116.8	203.4	125	68.6	52.8	40.4	28.6	20	13.6
2018-19	19.3	79.5	78.4	134.8	96.2	66.3	75	39.3	26.6	25.5	16.1	11
2019-20	20	141.3	160	76.4	57	89.8	115.7	52.8	38.9	29.6	19.8	102.7
2020-21	62.3	43.1	119	231.7	122.1	130.8	83.7	55.6	37.9	27.7	19.7	15.4

Πίνακας 9.2.4: Μηνιαίες τιμές απορροής Πύλης

	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1980-81	127.9	159.9	251.3	201.2	176.2	89.4	91.3	58.2	26.8	17.1	13.2	28.9
1981-82	40.9	55.9	262.7	97.7	113.2	223.4	94.9	74.9	37.7	23.6	14.7	19.4
1982-83	40.1	135.2	221.1	88.4	119.3	59.9	35	18.7	21.5	11.6	6.1	3.8
1983-84	36.4	93	134.6	174.1	149.8	163.1	172.1	61.9	33.7	21.8	15.7	12.9
1984-85	7.3	62.8	107.5	202.8	108.4	123.4	136.2	51.9	29.9	19.5	12.2	7.4
1985-86	29.9	162.8	149.5	213	277.8	155	74.9	58.6	49.1	22.8	14.3	8.7
1986-87	39.9	72.3	101.8	206.3	183.5	263.1	107.3	64.1	37.7	23.4	14.5	10.1
1987-88	60.7	131.6	132.6	119.7	127.8	89.4	46.8	34.6	16.9	10.8	6.9	4.2
1988-89	20.2	120.4	151.1	56.4	71.2	124.6	59.7	43.4	20.7	15.7	9.8	5.9
1989-90	41.3	70.2	85.7	40.3	38.7	17.7	34	27.5	18.1	9.2	6.5	3.8
1990-91	13.4	90.5	266.7	143.8	141.5	101	128.2	62.1	27.2	17.7	11.2	6.8
1991-92	10.6	58.6	55.2	40.9	41.9	33.2	95.7	43	22.1	14.1	8.6	5.3
1992-93	24.2	47.2	105.3	117.3	186.5	94.1	43.9	65.4	22.8	14.5	9.2	5.7
1993-94	10.6	110.3	118.1	174.7	241.4	78.6	87.1	53.5	24.2	15.9	10	6.1
1994-95	106.9	123.4	156.4	180.8	82.9	120.5	65	50.7	20	14	8.4	8
1995-96	8.4	41.3	212.8	148	213.9	174.9	79.7	40.1	24.3	18.1	11.2	12
1996-97	67.2	105.5	169.8	246.6	97.1	107.5	121.7	75.9	31.2	20.4	12.8	9.9
1997-98	68.6	155.9	163.3	89.8	140.2	48.1	28.1	58.2	19.2	12.2	7.7	9.5
1998-99	9.4	121.1	202.6	74.7	84.1	52.5	45.6	17.5	10.6	6.9	4.3	2.7
1999-00	20.6	171.7	133.4	57.8	115.9	51.1	28.1	20.6	10.1	6.5	4.1	2.5
2000-01	69.4	55.3	87.4	92.6	86.8	65.8	89.9	36.6	18.6	12.6	7.9	4.8
2001-02	6.3	51.5	111.2	73.5	32.7	77.4	123.8	35.6	21.7	21.6	16.7	65.2

2002-03	55.4	53.8	220.1	291.4	217.4	96.3	80.8	43	25.1	23.8	25	15.6
2003-04	198.1	105.5	135	176.7	121.6	168	102.5	93.1	35.4	24.4	15.1	28.7
2004-05	94.9	121.5	129.1	193.6	206.2	191.8	90.1	58.6	33.1	21	13	8.9
2005-06	9	69.8	314	247	279.5	232.9	119.8	69.4	41.1	32	18.3	37.5
2006-07	49.1	77.4	50.3	70.9	102.9	102.4	56.9	28.3	26.1	13	8.1	5.9
2007-08	35.8	174	137.8	70.9	82	92.6	53.4	25.9	16.4	10	6.3	22.6
2008-09	82.1	112.8	199.5	229.1	180.9	193.6	96.6	55.8	31.2	22.6	12.8	8.4
2009-10	127.3	164.7	280.8	263.1	285.2	205.4	90.7	92.4	47.5	28.9	17.7	35.4
2010-11	165.5	241.3	205.4	119.3	153.2	156.6	94.9	70.3	45.6	22	13.8	9.7
2011-12	42.2	32.9	140.3	107.3	265.7	165.5	187.5	78.6	42.2	27.3	17.3	21.9
2012-13	64.1	142.8	260.4	289.5	230.6	242.1	127.4	66.8	37.8	24.6	15.3	9.5
2013-14	11.2	168.9	132.4	137.4	96.7	160.2	92.4	41.5	36.3	17.9	11.2	8.2
2014-15	59.3	65	154.7	189.4	208.2	186.9	106.1	52.1	43.9	26.3	17.9	52.7
2015-16	112.6	117.9	55.6	190.4	147.5	191.6	63.5	103.2	40.1	25.7	21.8	97
2016-17	125.2	186.9	67.4	170.2	150.9	131.7	49.4	48.3	33.7	26.1	13.6	17.7
2017-18	26.9	125.3	194.7	161.1	320.2	234.2	82.3	60.1	45.3	27.7	19.8	12.4
2018-19	20.8	123.2	107.5	213.8	131.7	84.3	95.3	45	23.8	27.7	13.4	8.2
2019-20	22.6	176.7	206.7	74.5	70.8	103.2	124.9	42.6	25.3	25.9	13.2	109.5
2020-21	69.2	33.1	170.6	336	150.7	149.9	80.8	43.4	26.4	16.9	10.6	9.1