



**ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ «ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ»
ΕΘΝΙΚΟ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΕΣΠΑ 2007-2013
ΔΡΑΣΗ «ΑΡΙΣΤΕΙΑ ΙΙ»**

**Συνδυασμένα συστήματα ανανεώσιμων πηγών για
αειφορική ενεργειακή ανάπτυξη (CRESENDO)**

Ενότητα Εργασίας 4

Πιλοτική εφαρμογή

Παραδοτέο 2.4

Πιλοτική εφαρμογή στο σύστημα Αχελώου-Θεσσαλίας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της έκθεσης είναι ο έλεγχος των μεθοδολογιών και τα υπολογιστικών εργαλείων που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο του έργου, στο σύστημα των διασυνδεδεμένων λεκανών απορροής του Αχελώου και Πηνειού. Η περιοχή μελέτης αντιμετωπίζεται ως ένα υποθετικά κλειστό και ενεργειακά αυτόνομο σύστημα, προκειμένου να διερευνήσουμε τις προοπτικές της αειφόρου ανάπτυξης σε περιφερειακή κλίμακα, με αποκλειστική χρήση ΑΠΕ.

ABSTRACT

This report describes the validation of methodologies and computer tools that have been developed in the context of the research project, in the interconnected river basin system of Acheloos and Peneios. The study area is modelled as a hypothetically closed and autonomous (in terms of energy balance) system, in order to investigate the perspectives of sustainable development at the peripheral scale, merely based on renewable energy.

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

1	Εισαγωγή	7
1.1	Αντικείμενο του τεύχους - Ιστορικό	7
1.2	Στόχοι πιλοτικής εφαρμογής.....	7
1.3	Διάρθρωση του τεύχους.....	8
2	Τοποθέτηση του προβλήματος	10
2.1	Συνοπτική περιγραφή.....	10
2.2	Δεδομένα.....	11
2.3	Υπολογιστικά εργαλεία.....	11
2.4	Μεθοδολογία.....	14
3	Περιοχή μελέτης	15
3.1	Γενικά χαρακτηριστικά.....	15
3.2	Έργα ανάπτυξης υδατικών και ενεργειακών πόρων.....	17
3.2.1	Υδροενεργειακά έργα μέσου και κάτω ρου Αχελώου.....	17
3.2.2	Υδροενεργειακά έργα άνω ρου Αχελώου και Δυτικής Θεσσαλίας.....	19
3.2.3	Λοιπά έργα ανάπτυξης υδατικών πόρων Θεσσαλίας.....	20
4	Γεωγραφικά δεδομένα και επεξεργασίες	24
4.1	Γενικά	24
4.2	Δεδομένα και επεξεργασίες	24
4.2.1	Υψόμετρα	24
4.2.2	Υδρογραφικό δίκτυο.....	26
4.2.3	Φυσικές λίμνες και ταμιευτήρες.....	28
4.2.4	Χρήσεις γης	30
4.2.5	Λεκάνες απορροής.....	30
4.2.6	Υπόγειοι υδροφορείς	31
4.2.7	Αρδευτικά έργα.....	33
5	Σχηματοποίηση συνδυασμένου συστήματος υδατικών και ενεργειακών πόρων	35
5.1	Σχηματοποίηση επιφανειακών συστημάτων	35
5.2	Σχηματοποίηση γεωτρήσεων και απολήψεων	41
5.3	Τελική σχηματοποίηση και εννοιολογική απεικόνιση υδροσυστήματος.....	42
6	Υδρολογικά δεδομένα εισόδου μοντέλου προσομοίωσης	44
6.1	Απαιτήσεις σε δεδομένα	44

6.2	Ιστορικά δεδομένα απορροής υπολεκανών ανάντη λιμνών και ταμιευτήρων	44
6.3	Ιστορικές χρονοσειρές απορροής κόμβων εισροής	47
6.3.1	Κόμβοι εισροής και αντίστοιχες λεκάνες απορροής	47
6.3.2	Λεκάνες Δυτικής Θεσσαλίας.....	48
6.3.3	Λεκάνες Ανατολικής Θεσσαλίας.....	49
6.4	Ιστορικές χρονοσειρές επιφανειακής βροχόπτωσης ταμιευτήρων	50
6.5	Ιστορικές χρονοσειρές εξάτμισης ταμιευτήρων	50
6.6	Παραγωγή μηνιαίων συνθετικών χρονοσειρών	51
6.7	Παραγωγή ημερήσιων συνθετικών χρονοσειρών	52
7	Εκτίμηση υδατικών αναγκών	54
7.1	Χρήσεις νερού περιοχής μελέτης.....	54
7.2	Αρδευτικές χρήσεις.....	54
7.2.1	Γενική μεθοδολογία εκτίμησης αρδευτικών αναγκών	54
7.2.2	Εκτίμηση αρδευτικών αναγκών ΛΑΠ Πηνειού	55
7.2.3	Εκτίμηση αρδευτικών αναγκών στη ΛΑΠ Αχελώου	56
7.2.4	Κατανομή υδατικών αναγκών στους αρδευτικούς κόμβους	57
7.3	Υδρευτικές χρήσεις.....	59
7.3.1	Εκτίμηση υδρευτικών αναγκών στη ΛΑΠ Πηνειού.....	59
7.3.2	Εκτίμηση υδρευτικών αναγκών στη ΛΑΠ Αχελώου	59
7.3.3	Υδρευτική ζήτηση υδροσυστήματος	60
7.4	Περιβαλλοντικοί περιορισμοί	61
7.4.1	Ελάχιστη διατηρητέα παροχή ποταμών.....	61
7.4.2	Ελάχιστη στάθμη ταμιευτήρα Πλαστήρα.....	62
8	Εκτίμηση ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας	63
8.1	Εισαγωγή	63
8.2	Δεδομένα.....	63
8.3	Διαδικασία προσομοίωσης	68
8.3.1	Προσομοίωση ζήτησης ενέργειας στην Ελλάδα	68
8.3.2	Προσομοίωση ζήτησης ενέργειας στην Θεσσαλία.....	72
8.3.3	Προσομοίωση ζήτησης ενέργειας για γεωργική χρήση στην Θεσσαλία.....	77
9	Διερεύνηση μακροχρόνιας διαχειριστικής πολιτικής υδροσυστήματος	79
9.1	Σκοπός και μεθοδολογία	79
9.2	Γενική διατύπωση προβλήματος προσομοίωσης-βελτιστοποίησης	80
9.2.1	Παραμετροποίηση λειτουργίας υδροηλεκτρικών έργων	80
9.2.2	Πολυκριτηριακή στοχαστική συνάρτηση.....	81
9.2.3	Λοιπές παραδοχές	82
9.3	Διερεύνηση εναλλακτικών διαχειριστικών σεναρίων	83

9.3.1	Εξεταζόμενα σενάρια	83
9.3.2	Διάταξη Δ1: Εκτροπή 250 hm ³ με αντλησιοταμίευση	83
9.3.3	Διάταξη Δ2: Εκτροπή 600 hm ³ με αντλησιοταμίευση	85
9.3.4	Διάταξη Δ3: Μηδενική εκτροπή.....	86
9.3.5	Διάταξη Δ4: Χωρίς αντλησιοταμίευση στο Πευκόφυτο	86
9.3.6	Διάταξη Δ5: Περιορισμός αρδευτικής ζήτησης	87
9.3.7	Επιλογή πλέον συμβιβαστικής λύσης.....	88
9.4	Συμπεράσματα	88
10	Διερεύνηση σεναρίων κάλυψης ενεργειακών αναγκών Θεσσαλίας μέσω υδροηλεκτρικών έργων	90
10.1	Σκοπός και μεθοδολογία.....	90
10.2	Γενική διατύπωση προβλήματος προσομοίωσης-βελτιστοποίησης.....	92
10.2.1	Χρονικός ορίζοντας προσομοίωσης	92
10.2.2	Χρονοσειρές εισόδου.....	92
10.2.3	Παραμετροποίηση λειτουργίας υδροηλεκτρικών έργων.....	93
	Αναφορές	95

1 Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο του τεύχους - Ιστορικό

Στα πλαίσια της Δράσης «Αριστεία II» του ΕΣΠΑ 2007-2013, η Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας ανέθεσε Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο το ερευνητικό έργο “*Συνδυασμένα συστήματα ανανεώσιμων πηγών για αιεφόρο ενεργειακή ανάπτυξη*”. Το έργο αποσκοπεί στην ανάπτυξη ενός ολιστικού πλαισίου για τον βέλτιστο σχεδιασμό και διαχείριση των υβριδικών συστημάτων ανανεώσιμης ενέργειας μεγάλης κλίμακας, όπου η Υ/Η ενέργεια θα έχει κυρίαρχο ρόλο. Οι μεθοδολογίες και τα υπολογιστικά εργαλεία που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο του έργου ελέγχθηκαν στο σύστημα των λεκανών απορροής του Αχελώου και του Πηνειού, που αντιμετωπίστηκε ως ένα υποθετικά κλειστό και ενεργειακά αυτόνομο σύστημα, προκειμένου να διερευνησουμε τις προοπτικές της αιεφόρου ανάπτυξης σε περιφερειακή κλίμακα, με αποκλειστική χρήση ΑΠΕ. Στην παρούσα τεχνική έκθεση περιγράφεται η πιλοτική εφαρμογή, που υλοποιήθηκε στο πλαίσιο της ενότητας εργασίας 4.

Η ομάδα εκπόνησης του παρόντος τεύχους είναι:

- Αντώνης Κουκουβίνος, Τοπογράφος Μηχανικός, DEA
- Ανδρέας Ευστρατιάδης, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, MSc, ΕΔΙΠ ΕΜΠ
- Διονύσης Νικολόπουλος, Πολιτικός Μηχανικός
- Χρήστος Τύραλης, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, MSc
- Αριστοτέλης Τέγος, Πολιτικός Μηχανικός, MSc, Υποψ. Δρ. ΕΜΠ
- Νίκος Μαμάσης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ
- Δημήτρης Κουτσογιάννης, Καθηγητής ΕΜΠ

Συντονιστής του συνόλου των εργασιών της Ενότητας Εργασίας 4 είναι ο Αντώνης Κουκουβίνος.

1.2 Στόχοι πιλοτικής εφαρμογής

Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει τις γειτονικές λεκάνες απορροής του Αχελώου και Πηνειού, που εκτείνονται σε περίπου 15 500 km², δηλαδή στο 12% της χώρας. Ο ποταμός Αχελώος χαρακτηρίζεται από πολύ υψηλή απορροή και διαθέτει πάνω από το 1/3 της εγκατεστημένης Υ/Η ισχύος της Ελλάδας. Από την άλλη πλευρά, η πεδιάδα της Θεσσαλίας, που αποτελεί αγροτική περιοχή-κλειδί για την εθνική οικονομία, συχνά υποφέρει λόγω λειψυδρίας και συστηματικής περιβαλλοντικής υποβάθμισης. Οι δύο λεκάνες είναι διασυνδεδεμένες μέσω έργων εκτροπής, υφιστάμενων και σχεδιαζόμενων, διαμορφώνοντας έτσι ένα μοναδικό υδρο-ενεργειακό σύστημα μεγάλης κλίμακας. Αυτό μελετάται ως κλειστό σύστημα, έτσι ώστε να αποτιμηθούν οι προοπτικές μιας αιεφόρου ανάπτυξης των υδατικών, ενεργειακών και εδαφικών πόρων της περιοχής μελέτης.

Με τη χρήση των μεθοδολογιών και συναφών εργαλείων λογισμικού που αναπτύχθηκαν, εξετάστηκαν τα ακόλουθα ζητήματα:

(1) **Αποτίμηση τρέχουσας ενεργειακής ζήτησης και διαχείρισης:** Η αποτίμηση αυτή αφορά στο σύνολο της περιοχής μελέτης, βασίστηκε σε μια αδρομερή ανάλυση των βασικών οικονομικών της τομέων. Για παράδειγμα, στον αγροτικό τομέα εκτιμήθηκε η ενεργειακή ζήτηση για άρδευση, λόγω της άντλησης υπόγειου νερού, που σχετίζεται με τη χρήση των γεωτρήσεων στην περιοχή μελέτης και με τη σειρά της εξαρτάται από τη διαχειριστική πολιτική στους υδατικούς πόρους, το υδρολογικό-υδρογεωλογικό καθεστώς, κτλ.

(2) **Διερεύνηση δυνατοτήτων αιεφόρου ανάπτυξης:** Η περιοχή μελέτης είναι ισχυρά εξαρτημένη από εξωτερικές πηγές ενέργειας, παρά το υψηλό θεωρητικό υδροδυναμικό της. Κατά συνέπεια, η μελλοντική αιεφόρος ανάπτυξή της προϋποθέτει αυξημένη εκμετάλλευση των τοπικών ΑΠΕ. Λαμβάνοντας υπόψη το ευνοϊκό ως προς την ανάπτυξη υδροηλεκτρικής, ηλιακής και αιολικής ενέργειας, υδρομετεωρολογικό καθεστώς και τοπογραφία, σε συνδυασμό με χωροταξικούς, νομικούς και περιβαλλοντικούς περιορισμούς, διερευνήθηκε η δυνατότητα περαιτέρω ανάπτυξης των ΑΠΕ.

(3) **Διαμόρφωση μελλοντικών ενεργειακών σεναρίων:** Με βάση τα αποτελέσματα της προηγούμενης διερεύνησης, διαμορφώθηκαν μελλοντικά σενάρια δυνητικής προσφοράς και ζήτησης ενέργειας, σε διάφορες χρονικές κλίμακες. Οι δυνητικές πηγές αποτιμήθηκαν ως προς τεχνικά, κοινωνικοοικονομικά και περιβαλλοντικά κριτήρια, ενώ για την ενεργειακή ζήτηση αναλύθηκαν οι επιμέρους χρήσεις και παρήχθησαν μελλοντικά σενάρια ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω στοχαστικής προσομοίωσης.

(4) **Μακροπρόθεσμες προσομοιώσεις για την ανάπτυξη ενός στρατηγικού αναπτυξιακού σχεδίου των ΑΠΕ:** Μέσω ολοκληρωμένης μοντελοποίησης του υδατικού και ενεργειακού ισοζυγίου της περιοχής μελέτης, προσδιορίστηκε μια βέλτιστη διάταξη των αναγκαίων υδραυλικών και ενεργειακών έργων. Οι αναλύσεις βασίστηκαν στο πλαίσιο στοχαστικής προσομοίωσης-βελτιστοποίησης υδροενεργειακών συστημάτων που αναπτύχθηκε στο έργο. Το βασικό κριτήριο για τη διαστασιολόγηση και αποτίμηση των απαιτούμενων νέων έργων ήταν η αξιοπιστία της ενεργειακής παραγωγής, κάτω από ένα σύνολο κοινωνικών, τεχνικών και περιβαλλοντικών περιορισμών. Στις βελτιστοποιήσεις λάβαμε υπόψη τρία μείζονα κριτήρια: (α) τη μεγιστοποίηση της συνολικής ενεργειακής παραγωγής, (β) τη μεγιστοποίηση της απόδοσης των προτεινομένων σχημάτων, και (γ) τη μεγιστοποίηση της αξιοπιστίας, όσον αφορά στην ικανοποίηση των πολλαπλών και αντικρουόμενων υδατικών, ενεργειακών και περιβαλλοντικών στόχων και περιορισμών.

1.3 Διάρθρωση του τεύχους

Το τεύχος διαρθρώνεται, μαζί με την παρούσα εισαγωγή (Κεφάλαιο 1), σε δώδεκα κεφάλαια.

Στο **Κεφάλαιο 2** παρουσιάζεται το γενικό πλαίσιο της πιλοτικής εφαρμογής (στόχοι και φυσικό αντικείμενο, δεδομένα, υπολογιστικά εργαλεία, μεθοδολογία).

Στο **Κεφάλαιο 3** περιγράφεται η περιοχή μελέτης και τα έργα ανάπτυξης των υδατικών και ενεργειακών της πόρων, υφιστάμενα και μελλοντικά (υπό κατασκευή ή σχεδιασμό).

Στο **Κεφάλαιο 4** περιγράφονται τα πρωτογενή γεωγραφικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στις περαιτέρω αναλύσεις και οι σχετικές τους επεξεργασίες.

Στο **Κεφάλαιο 5** εξηγείται η σχηματοποίηση του υδροσυστήματος, για την εννοιολογική του απεικόνιση στο μοντέλο προσομοίωσης.

Στο **Κεφάλαιο 6** περιγράφονται οι επεξεργασίες των υδρομετεωρολογικών δεδομένων, με στόχο την παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών μεγάλου μήκους, σε μηνιαία και ημερήσια κλίμακα, οι οποίες αποτελούν δεδομένα εισόδου του μοντέλου προσομοίωσης.

Στο **Κεφάλαιο 7** εξηγείται η μεθοδολογία εκτίμησης των αρδευτικών, υδρευτικών και περιβαλλοντικών αναγκών του υδροσυστήματος.

Στο **Κεφάλαιο 8** αναπτύσσεται η μεθοδολογία εκτίμησης των ενεργειακών αναγκών της περιοχής μελέτης και η διαδικασία παραγωγής συνθετικών χρονοσειρών ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, σε μηνιαία και ημερήσια κλίμακα.

Στο **Κεφάλαιο 9** διερευνώνται διάφορες διατάξεις του υδροσυστήματος και διαχειριστικά σενάρια, προκειμένου να προσδιοριστεί το τελικό σχήμα έργων και αντίστοιχα λειτουργικά μεγέθη που εφαρμόζονται στις επόμενες αναλύσεις, δηλαδή τη συνδυασμένη λειτουργία του συστήματος υδατικών και ενεργειακών πόρων. Στο πλαίσιο αυτό, διατυπώνεται το μοντέλο μακροπρόθεσμης προσομοίωσης και βελτιστοποίησης του συστήματος, που υλοποιείται σε μηνιαίο χρονικό βήμα.

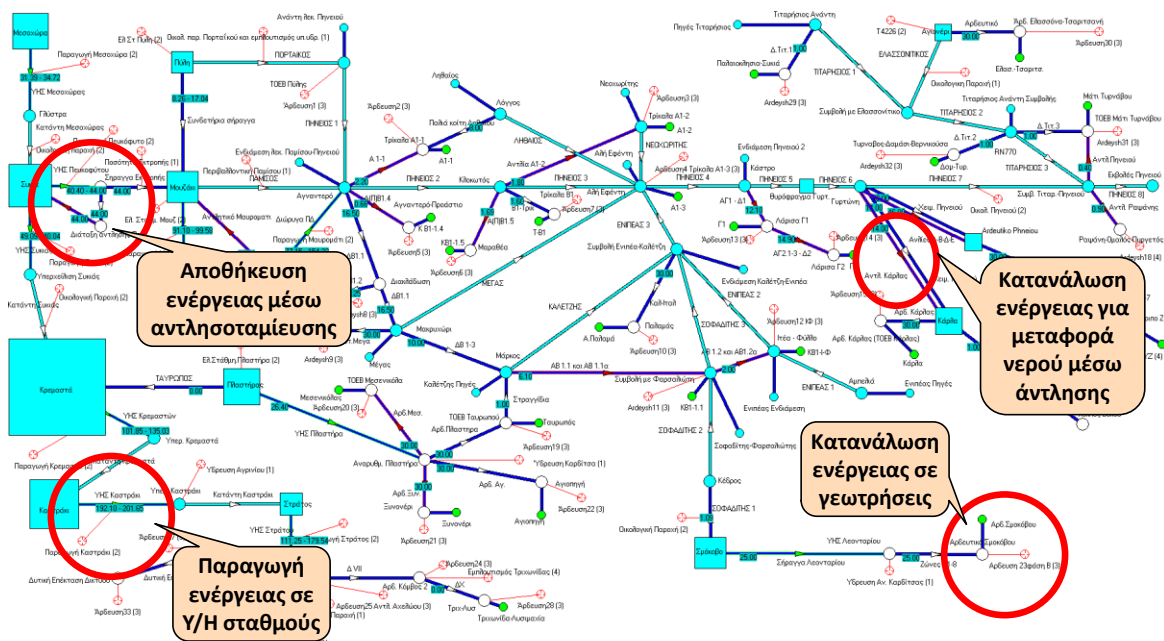
Στο **Κεφάλαιο 10** εξετάζεται η ημερήσια λειτουργία του υδροσυστήματος, και ειδικότερα η δυνατότητα ικανοποίησης των ενεργειακών αναγκών της περιοχής μελέτης (στις οποίες περιλαμβάνονται και οι ανάγκες του ίδιου του υδροσυστήματος, δηλαδή η ζήτηση ενέργειας στις γεωτρήσεις και αντλιοστάσια), αποκλειστικά από υδροηλεκτρικά έργα. Με βάση τις αναλύσεις αυτές εκτιμάται η απαιτούμενη εγκατεστημένη ισχύς των υπόλοιπων ΑΠΕ, για την κάλυψη των εκτιμώμενων ενεργειακών ελλειμμάτων.

2 Τοποθέτηση του προβλήματος

2.1 Συνοπτική περιγραφή

Εξετάζεται η συνδυασμένη διαχείριση νερού και ενέργειας στις λεκάνες απορροής των ποταμών Αχελώου και Πηνειού, που θεωρείται ότι συνδέονται μέσω έργων εκτροπής. Κύριος στόχος είναι ο προσδιορισμός ενός σχήματος πρόσθετων έργων ΑΠΕ και η κατάρτιση διαχειριστικών πολιτικών λειτουργίας του συνδυασμένου υδροενεργειακού συστήματος, ώστε να εξασφαλίζεται η μέγιστη εφικτή αυτονομία της περιοχής σε ηλεκτρική ενέργεια, και παράλληλα η ορθολογική και βιώσιμη διαχείριση του υδατικού δυναμικού.

Οι υδατικοί πόροι της περιοχής μελέτης περιλαμβάνουν επιφανειακά και υπόγεια νερά, και συναφή έργα αξιοποίησης (ταμιευτήρες, γεωτρήσεις, υδραγωγεία, κτλ.). Αντίστοιχα, οι ενεργειακοί πόροι αναφέρονται σε τρεις πηγές ανανεώσιμης ενέργειας: (α) μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα, υφιστάμενα και μελετημένα στο πλαίσιο συναφών διαχειριστικών μελετών που αφορούν στην αξιοποίηση των υδατικών πόρων του Αχελώου, (β) αιολικά πάρκα, και (γ) συστήματα φωτοβολταϊκών έργων.



Εικόνα 2.1: Η σχέση νερού και ενέργειας στο υδροσύστημα Αχελώου-Πηνειού.

Στη διαχείριση του νερού λαμβάνονται υπόψη οι καταναλωτικές (ύδρευση, άρδευση), περιβαλλοντικές (ελάχιστη διατηρητέα παροχή κατάντη φραγμάτων, ελάχιστη στάθμη ταμιευτήρων) και ενεργειακές χρήσεις του υδροσυστήματος. Οι τελευταίες αποτελούν ουσιώδη συνιστώσα του ενεργειακού ισοζυγίου της περιοχής, καθώς συνδέονται: (α) με την προσφορά ενέργειας από τα Υ/Η έργα, (β) με την κατανάλωση ενέργειας στις γεωτρήσεις και τα αντλιοστάσια, και (γ) με την αποθήκευση ενέργειας στα έργα αντλιοσταμείωσης (Εικόνα 2.1). Οι άλλες συνιστώσες του ενεργειακού ισοζυγίου είναι η προσφορά αιολικής και ηλιακής ενέργειας, και η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για οικιακή, βιομηχανική, δημοτική και γεωργική χρήση.

2.2 Δεδομένα

Για την τυποποίηση και μαθηματική περιγραφή του προβλήματος συνδυασμένης διαχείρισης νερού και ενέργειας απαιτείται η συλλογή, διαχείριση και επεξεργασία ενός μεγάλου εύρους δεδομένων, συγκεκριμένα:

- χωρικά δεδομένα (λεκάνες απορροής, υδρογραφικό δίκτυο, σταθμοί μέτρησης, θέσεις έργων αξιοποίησης υδατικών και ενεργειακών πόρων, κτλ.)
- δεδομένα τεχνικών έργων (γενική διάταξη, χαρακτηριστικά μεγέθη, κτλ.)
- υδρομετεωρολογικά δεδομένα, που αφορούν στους υδατικούς πόρους (χρονοσειρές απορροής, βροχόπτωσης, εξάτμισης) και την παραγωγή ενέργειας από τις ΑΠΕ (χρονοσειρές ηλιοφάνειας, ταχύτητας ανέμου)
- ενεργειακά δεδομένα, που αφορούν στην προσφορά και ζήτηση ενέργειας
- διαχειριστικά δεδομένα (πληθυσμιακά δεδομένα, χρήσεις νερού, οικονομικά μεγέθη, περιβαλλοντικοί περιορισμοί, κτλ.)

2.3 Υπολογιστικά εργαλεία

Για τις αναλύσεις των δεδομένων και, στη συνέχεια, τις διαχειριστικές αναλύσεις των συστημάτων νερού και ενέργειας, αξιοποιήθηκαν οι μεθοδολογίες και σχετικά υπολογιστικά εργαλεία που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου (Κουτσογιάννης κ.ά., 2015· Ευστρατιάδης κ.ά., 2016· Σίσκος κ.ά., 2016). Συγκεκριμένα:

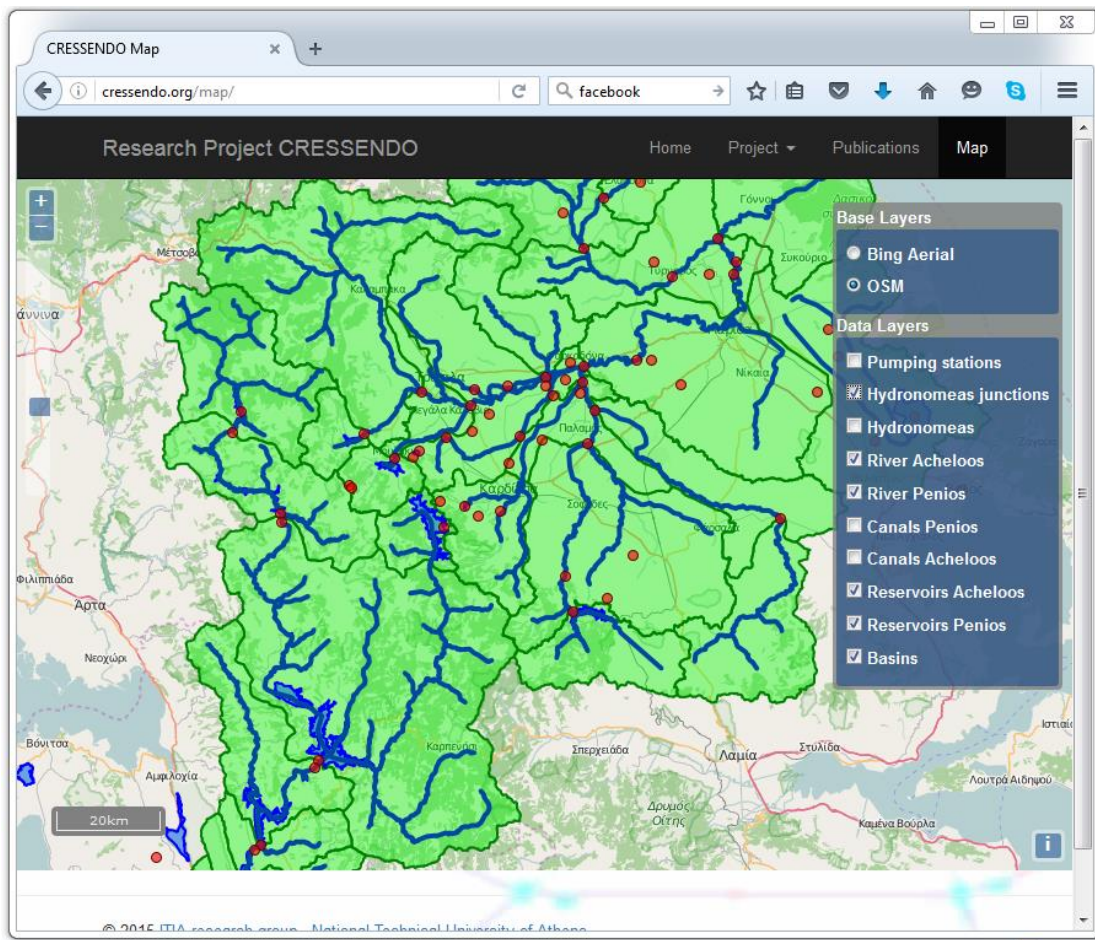
Για την διαχείριση και επεξεργασία των χωρικών δεδομένων αναπτύχθηκε σύστημα γεωγραφικής πληροφορίας και διαδικτυακή εφαρμογή (Εικόνα 2.2).

Για τις επεξεργασίες των υδρομετεωρολογικών δεδομένων και τη διαχείριση των αντίστοιχων χρονοσειρών χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Υδρογνώμων (Εικόνα 2.3).

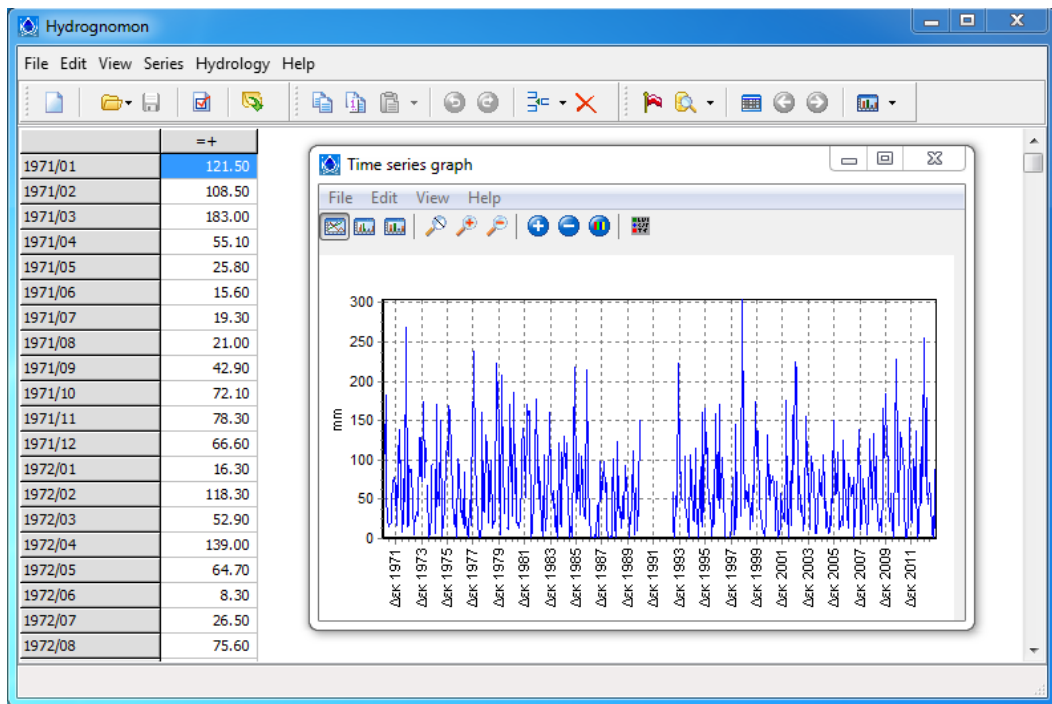
Η παραγωγή των μηνιαίων (σε πρώτη φάση) και ημερήσιων (σε δεύτερη φάση) συνθετικών χρονοσειρών εισόδου του υδροσυστήματος έγινε με το μοντέλο στοχαστικής προσομοίωσης Κασταλία (Εικόνα 2.4).

Η παραγωγή των συνθετικών χρονοσειρών ωριαίας ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, ωριαίας ταχύτητας ανέμου και ωριαίας ηλιακής ακτινοβολίας έγινε με χρήση πρωτότυπων λογισμικών που αναπτύχθηκαν σε γλώσσα προγραμματισμού R.

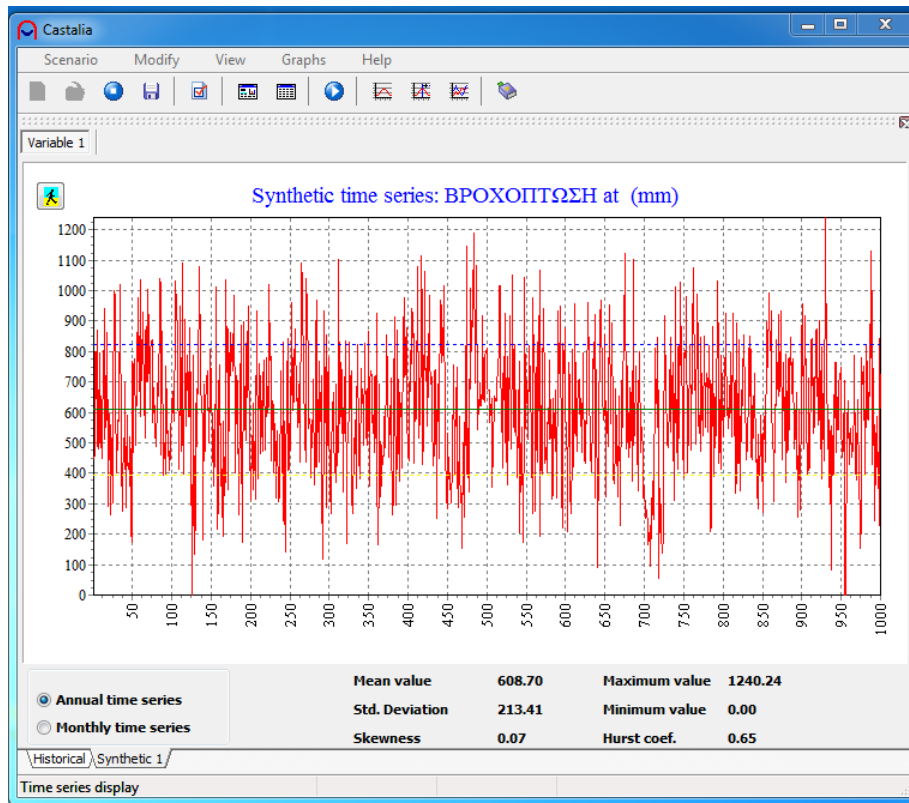
Τέλος, οι προσομοιώσεις και βελτιστοποιήσεις του συνδυασμένου συστήματος έγιναν με το σύστημα υποστήριξης αποφάσεων Υδρονομέας (Εικόνα 2.5).



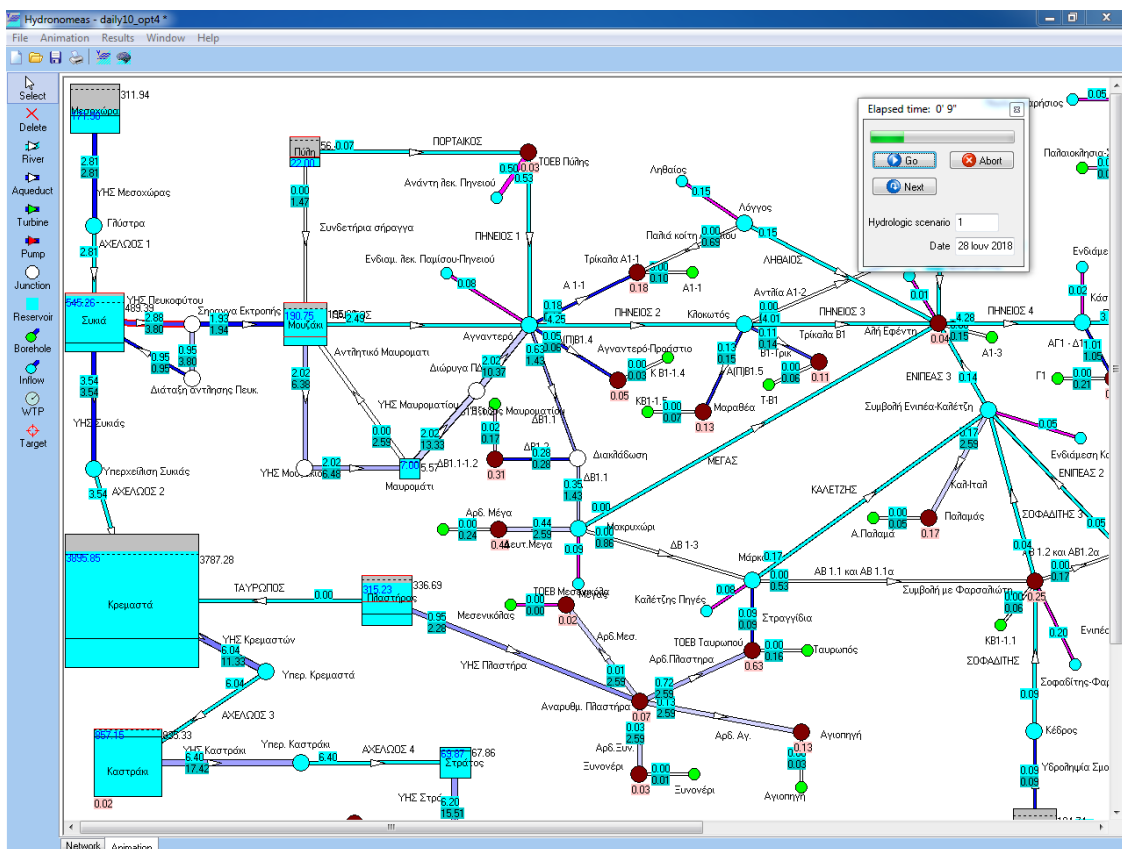
Εικόνα 2.2: Διαδικτυακή εφαρμογή διαχείρισης χωρικών δεδομένων υδροενεργειακού συστήματος Αχελού-Πηνειού.



Εικόνα 2.3: Επεξεργασία χρονοσειράς στο λογισμικό Υδρογνώμων.



Εικόνα 2.4: Παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών στο λογισμικό Κασταλία.



Εικόνα 2.5: Προσομοίωση συστήματος στο λογισμικό Υδρονόμας.

2.4 Μεθοδολογία

Αρχικά, καθορίστηκε το σχηματικό μοντέλο του συστήματος, που βασίζεται σε μια δικτυακή απεικόνιση των βασικών συνιστωσών που αφορούν στο φυσικό σύστημα, τα έργα αξιοποίησης και τις θέσεις ζήτησης νερού και ενέργειας. Οι συνιστώσες αυτές συνδέθηκαν με στοιχεία μεταφοράς νερού, υδατορεύματα και υδραγωγεία, ενώ για τη διασύνδεση της ενέργειας έγινε η απλοποιητική (αλλά ρεαλιστική) παραδοχή απεριόριστων διασυνδέσεων μεταξύ των θέσεων παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας.

Το σύστημα αυτό μελετήθηκε σε τρεις φάσεις. Η **πρώτη φάση** αφορά αποκλειστικά στο υδροσύστημα Αχελού-Πηνειού, το οποίο αντιμετωπίστηκε ως τυπικό πρόβλημα διαχείρισης υδατικών πόρων. Για το υδροσύστημα αυτό αναζητήθηκε η βέλτιστη διαχειριστική πολιτική λειτουργίας των υδροηλεκτρικών ταμιευτήρων, με την οποία εξασφαλίζεται η μέγιστη παραγωγή πρωτεύουσας υδροηλεκτρικής ενέργειας (δηλαδή μιας σταθερής ενέργειας που είναι διαθέσιμη με πολύ υψηλό επίπεδο αξιοπιστίας), και ταυτόχρονα η ικανοποίηση των υδρευτικών, αρδευτικών και περιβαλλοντικών χρήσεων της περιοχής με αποδεκτά επίπεδα αστοχίας. Στο πρόβλημα αυτό εξετάστηκαν διάφορα σενάρια που αφορούν όχι μόνο στη λειτουργία των έργων αλλά και στην ποσότητα νερού που είναι αναγκαίο να εκτρέπεται από τον Αχελώο προς τη Θεσσαλία, προκειμένου να ικανοποιούνται οι παραπάνω στόχοι και περιορισμοί. Στις προσομοιώσεις χρησιμοποιήθηκαν συνθετικές χρονοσειρές υδρολογικών εισροών και απωλειών, μήκος 1000 ετών, εφαρμόζοντας μηνιαίο χρονικό βήμα.

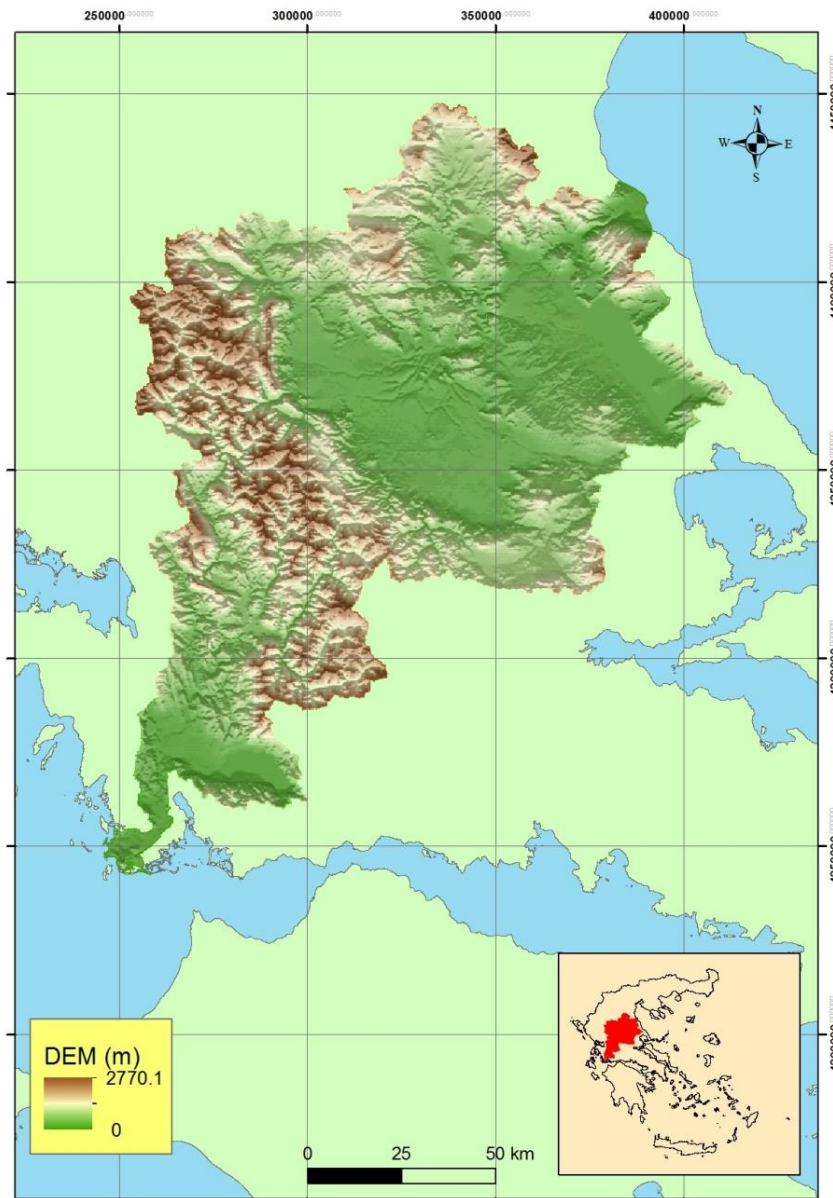
Στη **δεύτερη φάση**, έχοντας οριστικοποιήσει τη γενική διάταξη των έργων και τα ουσιώδη διαχειριστικά μεγέθη του υδροσυστήματος, θεωρήθηκε ως εξωτερική μεταβλητή εισόδου η ημερήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας της περιοχής μελέτης και αναζητήθηκε μια βέλτιστη διαχείριση των υδροηλεκτρικών ταμιευτήρων σε *πραγματικό χρόνο*, ώστε να ελαχιστοποιείται η απόκλιση μεταξύ της παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας και της αντίστοιχης ζήτησης. Η διερεύνηση έγινε εισάγοντας πραγματικά οικονομικά μεγέθη, δίνοντας έτσι έμφαση όχι μόνο στα ελλείμματα ενέργειας αλλά και στην αξία της ενεργειακής παραγωγής. Με τον τρόπο αυτό καθορίστηκε, χονδρικά, η απαιτούμενη ισχύς από πρόσθετα έργα ΑΠΕ, ειδικότερα έργα παραγωγής αιολικής και ηλιακής ενέργειας. Στις προσομοιώσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν ημερήσιες συνθετικές χρονοσειρές μήκους 100 ετών των υδρολογικών εισροών και απωλειών, καθώς και της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας.

Η **τρίτη φάση** βασίστηκε σε μια επαναληπτική διαδικασία, στην οποία εξετάστηκαν διάφορα μίγματα έργων ΑΠΕ. Για κάθε μίγμα, δηλαδή για κάθε συνδυασμό διαθέσιμης ισχύος από αιολικές και φωτοβολταϊκές μονάδες, έγινε προσομοίωση του ισοζυγίου ενέργειας σε ωριαία κλίμακα, από την οποία προέκυψαν τα ενεργειακά ελλείμματα και πλεονάσματα στην ημερήσια κλίμακα. Στη συνέχεια, θεωρώντας τα παραπάνω ως εξωτερική ζήτηση ενέργειας από τα υδροηλεκτρικά έργα και προσφορά ενέργειας στις γεωτρήσεις, αντλιοστάσια και αντλιοστροβίλους, αντίστοιχα, έγινε εκ νέου προσομοίωση και βελτιστοποίηση του υδροσυστήματος. Η επαναληπτική διαδικασία ολοκληρώθηκε όταν εντοπίστηκε το μίγμα ΑΠΕ εκείνο που εξασφαλίζει πρακτικά πλήρη *ενεργειακή αυτονομία* της περιοχής μελέτης, το οποίο αποτελεί τον βασικό στόχο του έργου.

3 Περιοχή μελέτης

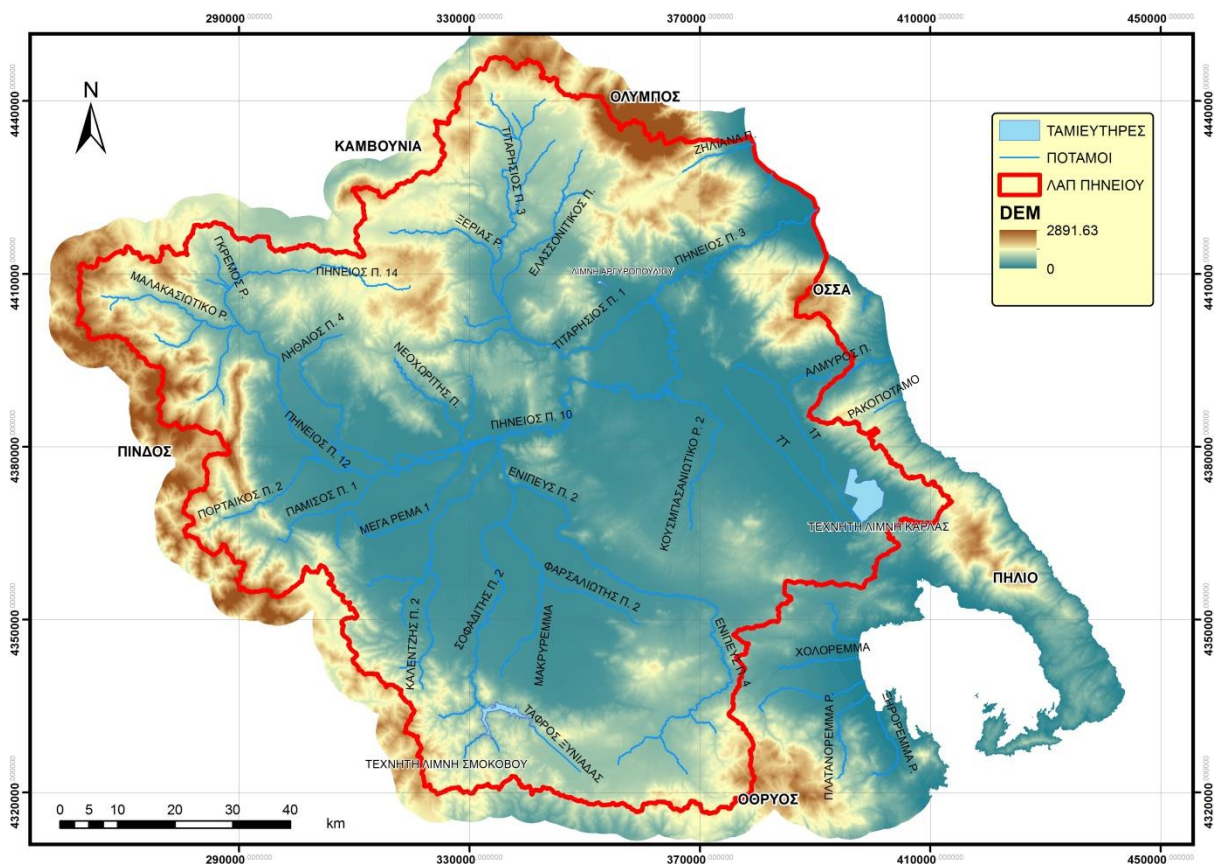
3.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Η περιοχή μελέτης με συνολική έκταση 18 593 km² εκτείνεται στην επιφάνεια δύο μεγάλων Λεκανών Απορροής της χώρας (ΛΑΠ), τη ΛΑΠ Πηνειού και τη ΛΑΠ Αχελώου (Εικόνα 3.1). Στη μελέτη, οι δύο λεκάνες αντιμετωπίζονται ως υδρολογικά διασυνδεδεμένες μέσω έργων εκτροπής, υφιστάμενων (φράγμα Πλαστήρα, έργο ολικής εκτροπής) και σχεδιαζόμενων (έργα μερικής εκτροπής άνω ρου Αχελώου).



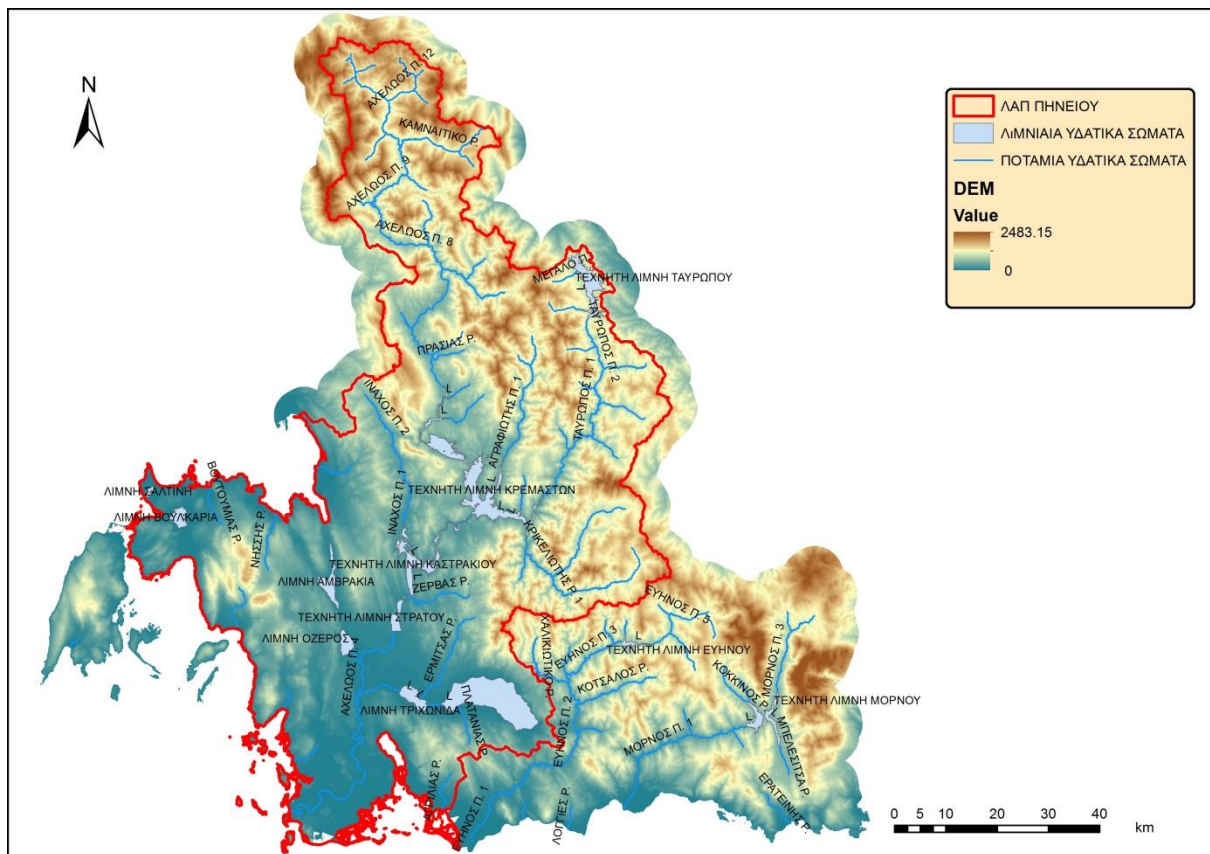
Εικόνα 3.1: Περιοχή μελέτης.

Η ΛΑΠ Πηγειού (Εικόνα 3.2), με έκταση 11 062 km², καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας (GR08) και διατρέχεται από τον π. Πηγειό και τους παραποτάμους του (Καλέτζης, Πάμισος, Ενιπέας, Σοφαδίτης, Φαρσαλιώτης, Ληθαίος, Πορταϊκός, Νεοχωρίτης και Τιταρήσιος). Το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης συγκροτείται, πέρα από τα φυσικά υδατορεύματα, και από μεγάλο αριθμό τεχνητών αρδευτικών τάφρων και διωρύγων (τάφρος Μέγα, διευθέτηση Κουσμπασανιώτικου ρέματος, συλλεκτήριες τάφροι 7Σ και 1Τ, κλπ.). Στη λεκάνη υπάρχει πλήθος μικρών αρδευτικών ταμιευτήρων, κυρίως πρόχειρα εποχικά φράγματα με αναχώματα. Οι πιο αξιόλογοι ταμιευτήρες είναι του Πλαστήρα (έργο εκτροπής του Αχελώου), του Σμοκόβου, της λίμνης Αργυροπούλιου (Μάτι Τυρνάβου) και της Κάρλας (λίμνη που είχε αποξηρανθεί και ανασυστάθηκε, μερικής). Σε διάφορες μελέτες έχει προταθεί η κατασκευή νέων ταμιευτήρων, με σημαντικότερους αυτούς της Πύλης και του Μουζακίου, που σχετίζονται με μία από τις προτεινόμενες διατάξεις έργων του σχεδίου εκτροπής του Αχελώου. Οι δύο αυτοί ταμιευτήρες μελετήθηκαν στο πλαίσιο των αναλύσεων σχετικά με μελλοντικά σενάρια ανάπτυξης του υδροσυστήματος.



Εικόνα 3.2: ΥΔ Θεσσαλίας και όρια ΛΑΠ Πηγειού.

Η ΛΑΠ Αχελώου (Εικόνα 3.3), με έκταση 4 762 km², αποτελεί μέρος του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (GR04) και διατρέχεται από τον π. Αχελώο και τους παραποτάμους του (Αγραφιώτης, Ταυρωπός, Ίναχος και Κρικελιώτης). Κατά μήκος του Αχελώου έχουν κατασκευαστεί οι υδροηλεκτρικοί ταμιευτήρες Κρεμαστών, Καστρακίου και Στράτου. Στις μελέτες εκτροπής έχει προταθεί η κατασκευή και λειτουργία δύο νέων ταμιευτήρων (Μεσοχώρας και Συκιάς) που σχετίζονται με τις προτεινόμενες διατάξεις των έργων. Οι δύο αυτοί ταμιευτήρες μελετήθηκαν στο πλαίσιο των αναλύσεων σχετικά με μελλοντικά σενάρια ανάπτυξης του υδροσυστήματος.



Εικόνα 3.3: ΥΔ Δυτικής Στερεάς Ελλάδας και όρια ΛΑΠ Αχελώου.

3.2 Έργα ανάπτυξης υδατικών και ενεργειακών πόρων

Στην περιοχή μελέτης αναπτύσσονται μεγάλης κλίμακας έργα ανάπτυξης των υδατικών και ενεργειακών πόρων, ενώ υπάρχουν και αρκετά ακόμη έργα που είτε είναι υπό κατασκευή ή έχουν εξεταστεί, σε στάδιο προμελέτης ή, και οριστικής μελέτης. Για λόγους εποπτείας, τα έργα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: (α) υφιστάμενα υδροενεργειακά έργα στον μέσο και κάτω ρου του Αχελώου, (β) υπό κατασκευή ή μελετη υδροενεργειακά έργα στον άνω ρου του Αχελώου και τη Δυτική Θεσσαλία, που σχετίζονται, άμεσα ή έμμεσα, με την εκτροπή του Αχελώου, και (γ) υφιστάμενα ή υπό κατασκευή έργα (κυρίως αρδευτικά) στην υπόλοιπη ΛΑΠ Πηνειού.

3.2.1 Υδροενεργειακά έργα μέσου και κάτω ρου Αχελώου

Φράγμα Κρεμαστών: Πρόκειται για φράγμα από αμμοχάλικο με αργιλικό πυρήνα, ύψους 160.3 m και όγκου 8.13 hm³. Η στέψη διαμορφώθηκε στη στάθμη +287.0 m. Η ανώτατη και κατώτατη στάθμη λειτουργίας του ταμιευτήρα βρίσκονται στα +282.0 m και +227.0 m, αντίστοιχα. Η συνολική χωρητικότητά του είναι 4 500 hm³ και η ωφέλιμη 3 500 hm³ περίπου. Η ανάντη λεκάνη απορροής έχει έκταση 3570 km², αλλά με την κατασκευή των φραγμάτων Μεσοχώρας και Συκιάς σημαντικό μέρος της απορροής θα είναι πλέον ρυθμιζόμενο. Ο ταμιευτήρας εμφανίζει διαφυγές της τάξης των 6 m³/s. Το έργο λειτουργεί από το 1965.

ΥΗΣ Κρεμαστών: Πρόκειται για υμνιπαίθριο σταθμό παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας με τέσσερις μονάδες Francis συνολικής ισχύος 437 MW. Το ακαθάριστο ύψος πτώσης είναι 136 m και η μέγιστη παροχετευτικότητα της σήραγγας προσαγωγής περίπου 135 m³/s.

Φράγμα Καστρακίου: Φράγμα ύψους 95.7 m και όγκου 5.22 hm³, αμέσως κατάντη των Κρεμαστών, κατασκευασμένο από αμμοχάλικο, με αργιλικό πυρήνα. Η στέψη του διαμορφώθηκε στη στάθμη +154.0 m. Η ανώτατη και κατώτατη στάθμη λειτουργίας βρισκόταν αρχικά στα +144.2 m και +142.0 m αντίστοιχα, διαμορφώνοντας ταμιευτήρα συνολικού όγκου 800 hm³ και ωφέλιμου όγκου 50 hm³ περίπου. Προκειμένου η ΔΕΗ να εκμεταλλευτεί περαιτέρω το διαθέσιμο ύψος του ταμιευτήρα, τοποθέτησε ανατρεπόμενα θυροφράγματα, με τα οποία η ανώτατη στάθμη ανέβηκε στα +146.0 m. Η λεκάνη απορροής του έχει έκταση 548 km. Το έργο λειτουργεί από το 1969.

ΥΗΣ Καστρακίου: Στο έργο λειτουργεί υμιυπαίθριος σταθμός παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας με τέσσερις μονάδες Francis συνολικής ισχύος 320 MW. Το ακαθάριστο ύψος πτώσης είναι 75.7 m και η μέγιστη παροχετευτικότητα της σήραγγας προσαγωγής 201 m³/s. Μέσω του αντλιοστασίου της Σπολάιτας, το φράγμα υδροδοτεί την ΔΕΥΑ Αγρινίου.

Φράγμα Στράτου: Έργο κατάντη του Καστρακίου, κατασκευασμένο από αμμοχάλικο με αργιλικό πυρήνα, ύψους 23 m και όγκου 2.80 hm³. Η στέψη διαμορφώθηκε στη στάθμη +173.0 m. Η ανώτατη και κατώτατη στάθμη λειτουργίας βρίσκονται στα +68.6 m και +67 m αντίστοιχα. Κατά αυτόν τον τρόπο διαμορφώνεται ταμιευτήρας συνολικού όγκου 70 hm³ και ωφέλιμου 10 hm³ περίπου. Η λεκάνη απορροής του έχει έκταση 202 km². Στον ταμιευτήρα παρατηρούνται διαφυγές της τάξης των 4 m³/s. Το έργο λειτουργεί από το 1989.

ΥΗΣ Στράτου: Στο δεξιό αντέρεισμα του φράγματος υπάρχει υπόγειος σταθμός παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας (Στράτος Ι) με 2 μονάδες Francis συνολικής ισχύος 156 MW, διαθέτοντας ακαθάριστο ύψος πτώσης 36.6 m, και στο αριστερό αντέρεισμα ένας υπαίθριος μικρότερος (Στράτος ΙΙ), λόγω του συστήματος προσαγωγής για τις απολήψεις της αρδευτικής περιόδου, με δύο μονάδες τύπου S ισχύος 16 MW και ύψος πτώσης 16.8 m.

Προσαγωγός Διώρυγα ΔΙ: Πρόκειται για έργο μεταφοράς νερού στα δυτικά του Αχελώου για άρδευση των ΤΟΕΒ Οζερού και Φυτειών. Ξεκινάει από τη δεξιά υδροληψία του φράγματος εκτροπής του Στράτου, έχει μήκος 10.1 km και παροχετευτικότητα 12.5 m³/s. Στη συνέχεια, μέσω αντλιοστασίων, το νερό δειοχετεύεται σε μια σειρά από δευτερεύουσες διώρυγες (ΔΙΙ, ΔΙΙΙ, ΔΙΥ) για την εξυπηρέτηση συνολικής έκτασης 32 939 στρεμμάτων. Τα αρδευτικά έργα που είχαν σχεδιαστεί αρχικά δεν έχουν περατωθεί, ενώ προβλέπεται η επέκτασή της δυτικά προς τις παραλίμνιες περιοχές της Αμβρακίας αρδύοντας επιπλέον 12 000 στρέμματα. Από εκεί, μέσω νέου αντλιοστασίου, θα συνεχίσει προς την περιοχή Βάλτου εντάσσοντας 37 000 στρέμματα επιπλέον, καθώς και μικρότερα δίκτυα κατάντη, όπως του Κάμπου Κατούνας (8 000 στρέμματα).

Προσαγωγός Διώρυγα ΔΥΙΙ: Πρόκειται για έργο μεταφοράς στα ανατολικά του Αχελώου, που εξυπηρετεί τους ΤΟΕΒ Καλυβίων, Πεδιάδας Αγρινίου, Αγρινίου-Ερημίτσας, Λυσιμαχίας και Παναιτώλιου, στους οποίους η εφαρμογή αρδευτικού νερού είναι κατά βάση επιφανειακή. Η παροχετευτικότητα της διώρυγας είναι 30 m³/s και το μήκος της 350 m περίπου, μέχρι τη διακλάδωση των κύριων διωρύγων ΔΥΙΙΙ και ΔΥΙ. Η πρωτεύουσα διώρυγα ΔΥΙΙΙ, παροχετευτικότητας 10 m³/s και μήκους 9 289 m, υδροδοτεί το μεγαλύτερο μέρος του ΤΟΕΒ Καλυβίων. Η κύρια διώρυγα ΔΥΙΙ, παροχετευτικότητας 20 m³/s, υδροδοτεί μέσω αντλιοστασίων πλήθος διωρύγων (ΔΙΧ, ΔΧ, ΔΧΙ, ΔΧΙΙ, ΔΧΙΙΙ), αρδύοντας τους ΤΟΕΒ Πεδιάδας Αγρινίου, Λυσιμαχίας, Καλυβίων και Παναιτώλιου. Η συνολικά εξυπηρετούμενη έκταση από την προσαγωγό διώρυγα ΔΥΙΙ είναι 69 530 στρέμματα. Μέσω της ΔΧΙ μεταφέρονται, επίσης, 47 hm³ ετησίως, για τον εμπλουτισμό της λίμνης Τριχωνίδα.

Έργα σχετικά με τις λίμνες Τριχωνίδα και Λυσιμαχία: Με αντλιοστάσια στην λίμνη Τριχωνίδα και αντίστοιχες διώρυγες αρδύονται οι ΤΟΕΒ Παραβόλας, Πάμφιας, Καινουρίου,

Μακρύνειας και Παντάνασσας, έκτασης 16 598 στρεμμάτων. Το νερό του εκτεταμένου αυτού στραγγιστικού δικτύου καταλήγει ξανά στην λίμνη. Η Τριγωνίδα συνδέεται με την λίμνη Λυσιμαχία με την Ενωτική Τάφρο, παροχετευτικότητας 50 m³/s. Από την Λυσιμαχία αρδεύονται, μέσω αντλιοστασίων, 2 100 στρέμματα του ΤΟΕΒ Κλεισούρας. Ακόμη, μεταφέρεται νερό μέσω της Σήραγγας Λυσιμαχίας παροχετευτικότητας 45 m³/s σε δύο διώρυγες προσαγωγής τις ΔΧΧ και ΔΧΧVIII. Η ΔΧΧ αρδεύει τους ΤΟΕΒ Νεοχωρίου και Κατοχής καθώς και τμήμα του ΤΟΕΒ Λεσινίου, ενώ η ΔΧΧVIII αρδεύει τους ΤΟΕΒ Μεσολογγίου και Ευνηοχωρίου. Από τη σήραγγα Λυσιμαχίας αρδεύεται συνολική έκταση 92 384 στρεμμάτων.

3.2.2 Υδροενεργειακά έργα άνω ρου Αχελώου και Δυτικής Θεσσαλίας

Φράγμα Μεσοχώρας: Πρόκειται για ήδη κατασκευασμένο αλλά ανενεργό λιθόρριπτο φράγμα ύψους 135 m, με ανάντη πλάκα από σκυρόδεμα. Η λεκάνη απορροής ανάντη του φράγματος έχει έκταση 644.1 km². Η συνολική χωρητικότητα του ταμιευτήρα είναι 358 hm³, με ωφέλιμο όγκο 228 hm³. Η υδροληψία βρίσκεται στην στάθμη +731 m. Το φράγμα της Μεσοχώρας εξυπηρετεί μόνο ενεργειακές σκοπιμότητες και είναι ανεπηρέαστο πρακτικά από την αρδευτική σκοπιμότητα του Θεσσαλικού κάμπου, καθώς δεν απαιτείται η διατήρηση πρόσθετου ρυθμιστικού όγκου, αφού μόνος του ο ταμιευτήρας της Συκιάς έχει επαρκή αποθηκευτικότητα (Κουτσογιάννης, 1996β).

Σήραγγα και ΥΗΣ Γλύστρας: Κατάντη του φράγματος ξεκινά σήραγγα προσαγωγής, μήκους 7.5 km, διαμέτρου 5 m και παροχετευτικότητας ως 34.72 m³/s. Η σήραγγα καταλήγει στη θέση Γλύστρα όπου βρίσκεται ο ΥΗΣ, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 160 MW (δύο μονάδες των 80 MW), με μέγιστο ύψος πτώσης 220 m.

Φράγμα Συκιάς: Μη κατασκευασμένο φράγμα στον άνω ρου του Αχελώου από αμμοχάλικο κοίτης, ύψους 150 m. Η λεκάνη απορροής του ανέρχεται σε 530.8 km². Η συνολική χωρητικότητα του ταμιευτήρα υπολογίζεται σε 591 hm³, με ωφέλιμο όγκο 500 hm³ και υδροληψία στη στάθμη +485 m.

ΥΗΣ Συκιάς: Ο ΥΗΣ κατάντη του φράγματος Συκιάς θα έχει δύο μονάδες, εγκατεστημένης ισχύος 120 MW. Το νερό θα οδηγείται στον ΥΗΣ μέσω σήραγγας προσαγωγής μήκους 1 km, διαμέτρου 6.0 m και μέγιστης παροχετευτικότητας 49 m³/s. Σημειώνεται πως στον αρχικό σχεδιασμό (ΔΕΗ/ΔΑΥΕ, 1987) που αφορούσε την εκτροπή 1100 hm³ προς τη λεκάνη του Πηνειού, η σήραγγα θεωρήθηκε μικρότερη (4.5 m), όπως αντίστοιχα και η ισχύς του ΥΗΣ Συκιάς (60 MW). Επίσης σύμφωνα με τη μελέτη, αν δεν πραγματοποιούταν η εκτροπή η εγκατεστημένη ισχύς θα έπρεπε να αυξηθεί στα 220 MW.

Σήραγγα εκτροπής Αχελώου και ΥΗΣ Πευκόφυτου: Η σήραγγα έχει μήκος 17.4 km, διάμετρο 6.0 m και μέγιστη παροχετευτικότητα 44 m³/s. Το νερό οδηγείται στον ΥΗΣ Πευκόφυτου, ισχύος 260 MW (2×130 MW) και στη συνέχεια στον ταμιευτήρα Μουζακίου. Λόγω του μεγάλου ύψους πτώσης και της εγγύτητας των δύο ταμιευτήρων, προτάθηκε να λειτουργήσει και αντιστρεπτή λειτουργία του υδροηλεκτρικού σταθμού μέσω συστήματος άντλησης-ταμίευσης. Εκτιμάται ότι λόγω των πολύ ευνοϊκών συνθηκών, η διάταξη αυτή θα αποβεί εξαιρετικά συμφέρουσα σε σχέση με την πλήρη ενεργειακή αξιοποίηση των νερών του Αχελώου από τα υδροηλεκτρικά έργα του κάτω ρου (Κουτσογιάννης, 1996β, 2006).

Φράγμα Πύλης: Προβλέπεται να κατασκευαστεί στον Πορταϊκό φράγμα ύψους 90 m, με ανάντη λεκάνη απορροής 132 km². Ο ταμιευτήρας θα διαθέτει συνολικό όγκο 68.7 hm³ και ωφέλιμο 46 hm³. Η υδροληψία του έργου θα βρίσκεται στην στάθμη +318 m. Σκοπός του έργου είναι να μεταφέρει νερό μέσω μιας συνδετήριας σήραγγας μήκους 8 km, διαμέτρου 3.0

m και μέγιστης παροχεταιυτικότητας 17.04 m³ στον ταμειυτήρα Μουζακίου. Στη τρέχουσα μελέτη της ΔΕΗ (ΔΕΗ/ΔΑΥΕ, 1997) δεν προβλέπεται να λειτουργήσει κάποιος ΥΗΣ, καθώς η ενεργειακή αξιοποίηση γίνεται εξ ολοκλήρου στο Μουζάκι.

Φράγμα Μουζακίου: Προβλέπεται να κατασκευαστεί στον Πάμισο (ή αλλιώς Πλιούρη) φράγμα με στέψη στα +290 m, που θα δημιουργεί ταμειυτήρα συνολικής χωρητικότητας 237.2 hm³ και ωφέλιμου όγκου 182.8 hm³ (ΥΠΕΧΩΔΕ/ΕΥΔΕ Αχελώου, 1996). Η ανάντη λεκάνη απορροής έχει έκταση 140.6 km². Ο ταμειυτήρας θα τροφοδοτείται κυρίως από τα νερά της εκτροπής του Αχελώου, καθώς και μικρότερες ποσότητες που θα εκτρέπονται από το έργο της Πύλης. Αξίζει να σημειωθεί πως για το έργο του Μουζακίου έχουν προταθεί πολλές εναλλακτικές διατάξεις, οι οποίες είτε δεν το περιλαμβάνουν στα έργα (η πρόταση αυτή αφορά και το φράγμα Πύλης) είτε μειώνουν το ύψος του σε διαφορετικές στάθμες, μεταξύ +250 m και +280 m (Κουτσογιάννης, 2001· Λαζαρίδης, 2010).

ΥΗΣ Μουζακίου: Για την περαιτέρω ενεργειακή αξιοποίηση των νερών της εκτροπής του Αχελώου, κατάντη του φράγματος Μουζακίου προβλέπεται σήραγγα προσαγωγής μήκους 4 km, διαμέτρου 8 m και μέγιστης παροχεταιυτικότητας 100 m³/s, με έξοδο σε ΥΗΣ στη θέση Μαυρομάτι, εγκατεστημένης ισχύος 270 MW (2×135 MW). Ο Κουτσογιάννης (1996) είχε προτείνει και σε αυτή τη θέση την κατασκευή έργου άντλησης-ταμίευσης, σε συνδυασμό με το αναρρυθμιστικό έργο Μαυροματίου, ώστε να μεγιστοποιηθεί το ενεργειακό όφελος.

Αναρρυθμιστικό έργο Μαυροματίου: Πρόκειται, ουσιαστικά, για ανάχωμα, που δημιουργεί λιμνοδεξαμενή ημερήσιας ρύθμισης με σκοπό την προσωρινή αποθήκευση του νερού, στο πλαίσιο της αντιστρεπτής λειτουργίας του υδροηλεκτρικού έργου, και την αναρρύθμιση των νερών της εκτροπής. Η δεξαμενή, που θα κατασκευαστεί κοντά στο ομώνυμο χωριό, έχει συνολική χωρητικότητα 7.7 hm³ και ωφέλιμη 4.9 hm³. Το ανάχωμα της δεξαμενής είναι χωμάτινο με ύψος 25 m. Η στέψη του αναχώματος τοποθετείται στο υψόμετρο +162.0 m και ο όγκος του είναι περίπου 250 000 m³ (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2006). Στην έξοδο του διαθέτει μικρό ΥΗΣ 30 MW με ακαθάριστο ύψος πτώσης 25 m. Σημειώνεται ότι κατάντη του Μαυροματίου προβλέπονται θυροφράγματα (κόφτρες) στις διώρυγες σε όλο το αρδευτικό δίκτυο, ώστε να αποταμιεύουν προσωρινά το νερό στο σύστημα.

Κύρια διώρυγα ΠΔ: Από τη δεξαμενή του Μαυροματίου σχεδιάζεται να ξεκινάει κανάλι πολύ μεγάλης παροχεταιυτικότητας, της τάξης των 120 m³/s, ώστε να καλύπτει τις αιχμές της αρδευτικής ζήτησης (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2006). Η ΠΔ θα καταλήγει στο Αγναντερό, από όπου το νερό της εκτροπής θα διαμοιράζεται στις περιοχές ζήτησης του Θεσσαλικού κάμπου, μέσω δευτερευόντων έργων.

3.2.3 Λοιπά έργα ανάπτυξης υδατικών πόρων Θεσσαλίας

Φράγμα Πλαστήρα: Πρόκειται για το παλαιότερο αναπτυξιακό έργο τη Θεσσαλίας, που υδρολογικά ανήκει στη λεκάνη του Αχελώου. Πράγματι, η κατασκευή του φράγματος Πλαστήρα αποτέλεσε την πρώτη (και μάλιστα ολική) εκτροπή νερών του Αχελώου προς την Θεσσαλία εκτρέποντας τον ποταμό Μέγδοβα (ή αλλιώς Ταυρωπό) στην λεκάνη του Πηνειού. Ο ταμειυτήρας έχει λεκάνη απορροής 161.3 km² και βρίσκεται στα Άγραφα, με το φράγμα να τοποθετείται κοντά στο χωριό Καστανιά. Ο συνολικός αποθηκευτικός όγκος του ταμειυτήρα, για ανώτατη στάθμη λειτουργίας +792.0 m, είναι 373 hm³, ενώ νεκρός όγκος, για στάθμη υδροληψίας +776.0 m, είναι 85 hm³.

ΥΗΣ Πλαστήρα: Ο ΥΗΣ βρίσκεται στον πλευρά της Θεσσαλίας και λειτουργεί και με τρεις στροβίλους τύπου Pelton, συνολικής ισχύος 129.9 MW. Το μέγιστο ύψος πτώσης ανέρχεται στα 577 m, και είναι ένα από τα μεγαλύτερα στην Ελλάδα. Η σήραγγα προσαγωγής έχει

μήκος 2625 m, διάμετρο 3.5 m και παροχευτικότητα 54.6 hm³/μήνα (ΔΕΗ, 1997). Κατάντη του ΥΗΣ βρίσκεται η αναρρυθμιστική δεξαμενή του Πλαστήρα, χωρητικότητας 0.6 hm³, για την προσωρινή αποθήκευση νερού που διανέμεται για τις άλλες χρήσεις (άρδευση, ύδρευση).

Συστήματα μεταφοράς αρδευτικού και υδρευτικού νερού κατάντη της αναρρυθμιστικής δεξαμενής Πλαστήρα: Σε αυτά περιλαμβάνονται έργο υδροληψίας για την ύδρευση της ευρύτερης περιοχής της πόλης της Καρδίτσας, καθώς και τέσσερα μεγάλα αρδευτικά έργα, με κυριότερο το συλλογικό αρδευτικό δίκτυο του ΤΟΕΒ Ταυρωπού. Το δίκτυο έχει περίμετρο 160 000 στρεμμάτων και καθαρή γεωργική γη έκτασης 120 000 στρεμμάτων. Λειτουργεί αξιόπιστα για την επιφανειακή άρδευση τριών ζωνών, ωστόσο τα έργα μεταφοράς (κανάλια) παρουσιάζουν σημαντικές απώλειες νερού. Από το εκτεταμένο στραγγιστικό δίκτυο, το οποίο καταλήγει στον Πηνειό μέσω του Μέγα και τον Καλέτζη, αρδεύονται σημαντικές εκτάσεις στα Σέλλανα και τον Παλαμά, ενώ μέσω του ίδιου δικτύου δύναται να φτάσει νερό μέχρι και τις δυτικές περιοχές του Ν. Λάρισας. Τα υπόλοιπα δίκτυα που υδροδοτούνται από τη λίμνη Πλαστήρα είναι το αρδευτικό έργο Μοσχάτου-Ξυνοερίου-Ρούσσου, μέσω του οποίου αρδεύονται 6 000 στρέμματα, μέσω άντλησης, το αρδευτικό έργο Μεσενικόλα, μέσω του οποίου αρδεύονται 3 200 στρέμματα, πάλι μέσω άντλησης, και η συμπληρωματική αρδευτική υδροληψία στην περιοχή της Αγιοπηγής (Τέγος, 2005).

Φράγμα Σμοκόβου: Το έργο έχει κατασκευαστεί στη συμβολή των ρεμάτων Ρεντινιώτικου και Ονόχωνου που σχηματίζουν τον ποταμό Σοφαδίτη, και τέθηκε σε λειτουργία το 2002. Η λεκάνη απορροής του που εκτείνεται και στο Ν. Φθιώτιδας έχει έκταση 376.5 km² και περιλαμβάνει και τα 80 km² του οροπεδίου Ξυνιάδας (αποξηραμένη πλέον λίμνη) που αποστραγγίζεται μέσω τάφρου στον Ονόχωνο. Κατά την αρδευτική περίοδο, η τάφος φράζεται και έτσι η λεκάνη της Ξυνιάδας δεν συμβάλλει στις εισροές του ταμιευτήρα. Το φράγμα είναι λιθόρριπτο ύψους 104 m με κεκλιμένο αργιλικό πυθμένα, συνολικού όγκου (μαζί με το ενσωματωμένο πρόφραγμα) 3.6 hm³. Το μήκος της στέψης είναι 456 m και το πλάτος της 11 m. Η στέψη του φράγματος βρίσκεται στη στάθμη +382 m, ενώ η στάθμη της στέψης του υπερχειλιστή στο +375 m, και η στάθμη υδροληψίας στο +330 m. Η συνολική χωρητικότητα του ταμιευτήρα ανέρχεται σε 237.6 hm³, με ωφέλιμο όγκο 209.2 hm³.

Σήραγγα και ΥΗΣ Λεονταρίου: Από την υδροληψία του ταμιευτήρα Σμοκόβου το νερό οδηγείται στα κατάντη έργα, μέσω της σήραγγας Λεονταρίου. Η σήραγγα έχει μήκος 4120 m και παροχευτικότητα ως 25 hm³, και καταλήγει στον ΥΗΣ Λεονταρίου, εγκατεστημένης ισχύος 10 MW. Ο σταθμός περιλαμβάνει τρεις στροβίλους τύπου Francis, ο ένας με παροχή λειτουργίας 2-5 m³/s και οι άλλοι δύο 5-10 m³/s. Το ύψος πτώσης κυμαίνεται από 28 έως 88 m. Η μέγιστη ετήσια ενέργεια που παράγει είναι της τάξης των 28.6 GWh, όμως δεν υπάρχει δυνατότητα παραγωγής πρωτεύουσας ενέργειας καθώς η παραγωγή συνδέεται άμεσα με τις απολήψεις για άρδευση. Μετά την έξοδο του ΥΗΣ το νερό οδηγείται στην λεκάνη ηρεμίας, από όπου ξεκινά δίκτυο αγωγών υπό πίεση για την άρδευση και ύδρευση των οικισμών της Ανατολικής Καρδίτσας.

Αρδευτικά δίκτυα Σμοκόβου: Σύμφωνα με τον αρχικό σχεδιασμό, το αρδευτικό δίκτυο θα εξυπηρετούσε γεωργικές εκτάσεις 252 600 στρεμμάτων σε πλήρη ανάπτυξη, με την καθαρή γεωργική γη να εκτιμάται σε 224 700 στρέμματα. Στο σχέδιο αυτό προβλέπονταν τρεις φάσεις ανάπτυξη του δικτύου, το οποίο χωρίζεται σε οκτώ ζώνες. Οι ζώνες Σ1, Σ2, Σ3 και Σ4 ανήκουν στον Ν. Καρδίτσας, και εκτείνονται νότια του Σοφαδίτη και κεντρικά του μετώπου εξόδου της σήραγγας Λεονταρίου. Ανατολικά των ζωνών Σ1 ως Σ4 εκτείνεται η ζώνη Σ5, στο μέσον του αρδευτικού δικτύου. Ανατολικά της ζώνης Σ5, στην περιοχή που υπάγεται στο Ν. Φθιώτιδας, αναπτύσσεται η Σ6, ακόμη ανατολικότερα η ζώνη Σ7 που εκτείνεται στους Ν.

Φθιώτιδας και Λάρισας και, τέλος, στο πιο ανατολικό άκρο του δικτύου η ζώνη Σ8. Μέχρι σήμερα, έχει ολοκληρωθεί μικρό μόνο τμήμα της πρώτης φάσης, αρδεύοντας περίπου 20 000 στρέμματα μέσω κλειστών δικτύων.

Φράγμα Γυρτώνης: Πρόκειται για μικρό αναρρυθμιστικό έργο στον Πηνειό, κατάντη της Λάρισας, και αποτελείται από ρουφράκτη ύψους 15.6 m, διώρυγες προσαγωγής στα κατάντη αρδευτικά έργα και άλλα μικρότερα θυροφράγματα. Με τη στέψη να διαμορφώνεται στα +63.0 m, δημιουργείται μικρός ταμιευτήρας χωρητικότητας 5 hm³. Ο ρόλος του έργου είναι η παροχή αρδευτικού νερού σε κατάντη περιοχές του Ν. Λάρισας, καθώς οι περιοχές «Ζ» είναι φτωχές σε υπόγεια νερά. Ο ρουφράκτης έχει ιδιαίτερο αναρρυθμιστικό ρόλο καθώς πρόκειται για το τελευταίο έργο που δέχεται τα νερά της εκτροπής του Αχελώου. Κατά την χειμερινή περίοδο ο κύριος σκοπός του έργου είναι η πλήρωση των λιμνοδεξαμενών του ΤΟΕΒ Πηνειού και του ταμιευτήρα Κάρλας με βαρύτητα (την θερινή λειτουργούν αντλιοστάσια στο Πηνειό). Στην έξοδο θα λειτουργεί μικρό υδροηλεκτρικό έργο ισχύος 5 MW, που θα υλοποιεί και την οικολογική παροχή 10 m³/s του Πηνειού προς τα Τέμπη.

Εγγειοβελτιωτικά έργα και μικροί ταμιευτήρες ΤΟΕΒ Πηνειού και περιοχής Πλατύκαμπου: Αναπτύσσονται σε εκτάσεις 280 000 στρεμμάτων που ανήκουν στις περιοχές Ζ1 και Ζ3 της ΜΠΕ (ΕΥΔΕ Αχελώου και Υδροεξυγιαντική, 1995). Από αυτά, τα 125 000 στρέμματα ανήκουν στον ΤΟΕΒ Πηνειού που αρδεύεται ήδη με επιφανειακά νερά μέσω πολλών μικρών αρδευτικών ταμιευτήρων, που τροφοδοτούνται μέσω εκτροπής τμήματος της χειμερινής απορροής του Πηνειού.

Ταμιευτήρας Κάρλας: Πρόκειται για την επανασύσταση της ομώνυμης λίμνης που αποξηράνθηκε το 1962 προκειμένου να κερδηθεί γεωργική γη που χανόταν από τις συχνές πλημμύρες. Η λεκάνη απορροής και το τεχνικό έργο βρίσκονται σε μια κλειστή λεκάνη που υπάγεται διοικητικά στους Νομούς Λάρισας και Μαγνησίας, στο νοτιοανατολικό τμήμα της Θεσσαλικής πεδιάδας. Σκοπός του έργου είναι η άρδευση του ΤΟΕΒ Κάρλας και των γύρω περιοχών. Η νέα λίμνη έχει κατασκευαστεί με αναχώματα μήκους 14 km, και σε υψόμετρο +52.0 m, και η λεκάνη απορροής της έχει έκταση 1050 km² (ΥΠΕΚΑ, 2011). Η επιφάνεια της λίμνης στην ανώτατη στάθμη πλημμύρας +50.0 m φτάνει τα 38 km² και ο αποθηκευμένος όγκος τα 183.9 hm³. Στον όγκο αυτό προστίθενται τα 42.7 hm³ της πλημμυρικής ανάσχεσης, καθώς ο ωφέλιμος όγκος για άρδευση είναι 84.1 hm³ και ο νεκρός 57.0 hm³. Η ανώτατη στάθμη άρδευσης είναι στα +48.8 m και η κατώτατη στα +46.4 m. Το κατώτατο υψόμετρο του ταμιευτήρα, που ταυτόχρονα είναι το χαμηλότερο υψόμετρο της Θεσσαλικής πεδιάδας, είναι στη στάθμη +43.5 m. Η απορροή της λεκάνης δεν επαρκεί μόνη της για την πλήρωση του ταμιευτήρα και έτσι είναι αναγκαία η άντληση παροχής 14 m³/s από τον Πηνειό. Ακόμη, χρειάστηκε ισχυρή στεγάνωση πάχους 1 m, επειδή ο ταμιευτήρας κατακλύζει εδάφη υψηλής περατότητας (οι ετήσιες διαφυγές εκτιμώνται σε 20 ως 25 hm³). Σε περίπτωση πλημμύρας, τα υπερχειλίζοντα νερά απάγονται μέσω σήραγγας στον Παγασητικό Κόλπο. Ο ταμιευτήρας πρόκειται να υδροδοτήσει πλήρως την περιοχή του ΤΟΕΒ Κάρλας, έκτασης 130 000 στρεμμάτων. Αν πραγματοποιηθεί το σενάριο της εκτροπής Αχελώου, τότε είναι δυνατό να προστεθούν στην εξυπηρετούμενη έκταση 45 000 στρέμματα της περιοχής Ριζόμυλου-Βαλεστίνου, ώστε να αποδεσμευτεί το πολύ καλής ποιότητας νερό τους για ύδρευση του Βόλου, με 15 hm³ ετησίως (ΕΥΔΕ Αχελώου και Υδροεξυγιαντική, 1995).

Φράγμα Αγιονερίου: Πρόκειται για αρδευτικό φράγμα υπό κατασκευή στον Ελασσονίτικο ποταμό που ανήκει στην λεκάνη του Τιταρήσιου, κοντά στην περιοχή της Ελασσόνας. Θα εξυπηρετήσει τις ανάγκες για άρδευση 20 000 στρεμμάτων στην Ελασσόνα και στην Τσαριτσάνη, με ασφαλή ετήσια αρδευτική απόληψη 8 hm³. Η λεκάνη απορροής του έχει

έκταση 342.8 km². Το φράγμα είναι χωμάτινο με αργιλικό πυρήνα, έχει ύψος 48 m, μήκος στέψης 195 m και πλάτος στέψης 10 m και ο όγκος του είναι 545 000 m³. Η ανώτατη στάθμη λειτουργίας του ταμιευτήρα είναι στα +250 m και η κατώτατη στα +240 m. Ο ωφέλιμος όγκος του είναι 13.7 hm³ ενώ ο νεκρός όγκος 1.65 hm³. Η προβλεπόμενη από τους περιβαλλοντικούς όρους οικολογική παροχή είναι ίση κατ' ελάχιστον με 0.204 m³/s.

4 Γεωγραφικά δεδομένα και επεξεργασίες

4.1 Γενικά

Για την κατανόηση και την ορθή αναπαράσταση των συνιστωσών του υδροσυστήματος αναζητήθηκαν ή δημιουργήθηκαν και οργανώθηκαν σε βάσεις διάφορα είδη χωρικών δεδομένων όπως αναλύεται στα επόμενα κεφάλαια.

Τα πρωτογενή δεδομένα προέρχονται κυρίως:

- από τα Σχέδια Διαχείρισης των λεκανών απορροής της χώρας (<http://wfd.ypeka.gr/>)
- το ερευνητικό έργο του ΕΜΠ «*Εκτίμηση και Διαχείριση των Υδατικών Πόρων της Στερεάς Ελλάδας - Φάση 3*» (Κουκουβίνος και Χριστοφίδης, 1999)
- από ψηφιοποίηση στοιχείων του συστήματος (διώρυγες, αντλιοστάσια, ζώνες άρδευσης κτλ) από χάρτες που αφορούσαν τα έργα της εκτροπής του Αχελώου (ΕΥΔΕ Αχελώου-ΥΠΕΧΩΔΕ, 1997).

4.2 Δεδομένα και επεξεργασίες

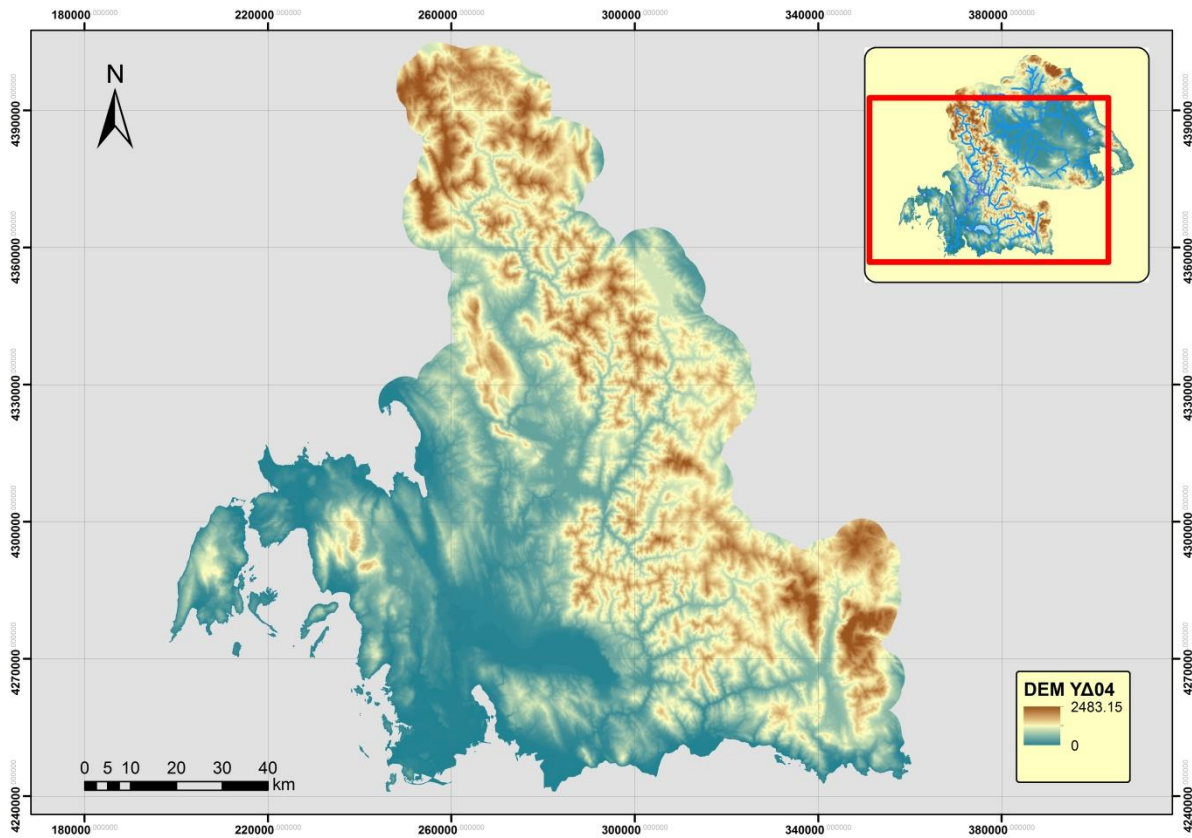
Τα πρωτογενή γεωγραφικά δεδομένα που συγκεντρώθηκαν οργανώθηκαν σε αρχεία με κοινό σύστημα αναφοράς (ΕΓΣΑ '87). Η μορφή των αρχείων είναι είτε διανυσματικής ή ψηφιδωτής διαμέρισης.

Μετά τις επεξεργασίες (ψηφιοποιήσεις, έλεγχοι, εισαγωγή στοιχείων στους πίνακες των χαρακτηριστικών) τα αρχεία αποθηκεύονται και χρησιμοποιούνται και από την διαδικτυακή εφαρμογή που αναπτύχθηκε στα πλαίσια του έργου (<http://cressendo.org/map/>).

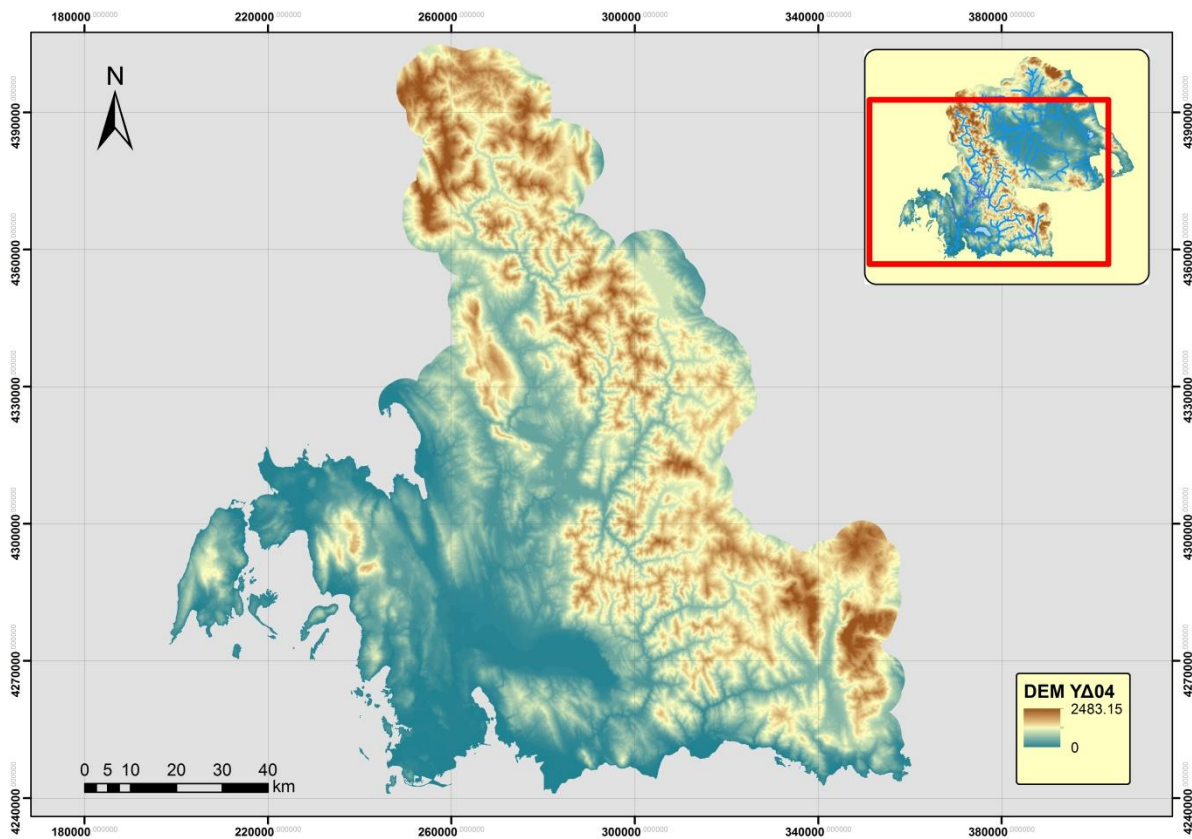
Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά τα επίπεδα των χωρικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη.

4.2.1 Υψόμετρα

Χρησιμοποιήθηκαν χάρτες ψηφιδωτής μορφής (ψηφιακά μοντέλα υψομέτρων), με διάσταση στοιχειώδους ψηφίδας 25 m. (Εικόνες 4.1 και 4.2).



Εικόνα 4.1: Ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων ΥΔ04.



Εικόνα 4.2: Ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων ΥΔ08.

4.2.2 Υδρογραφικό δίκτυο

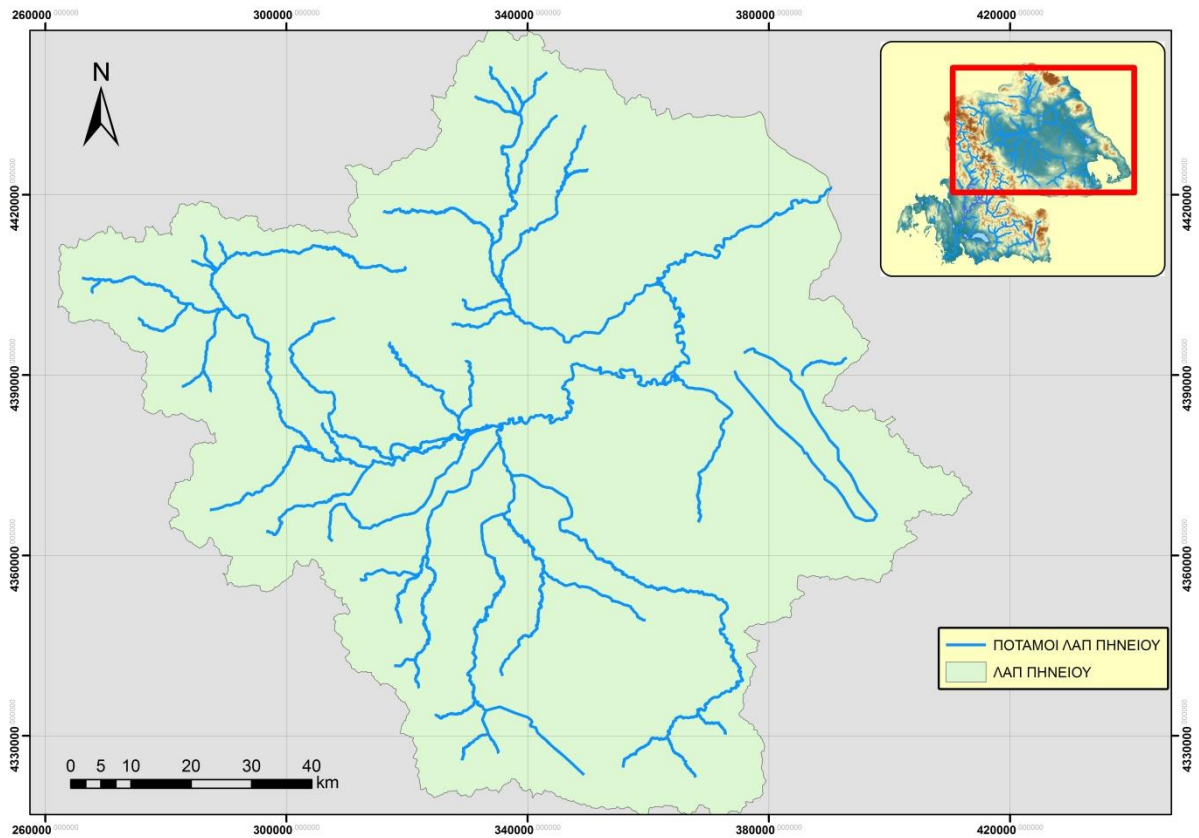
Στις Εικόνες 4.3 και 4.4 παρουσιάζεται το υδρογραφικό δίκτυο των ΛΑΠ Πηνειού και Αχελώου, ενώ στους Πίνακες 4.1 και 4.2 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά υδρογραφικού δικτύου ΥΔ08 (απόσπασμα).

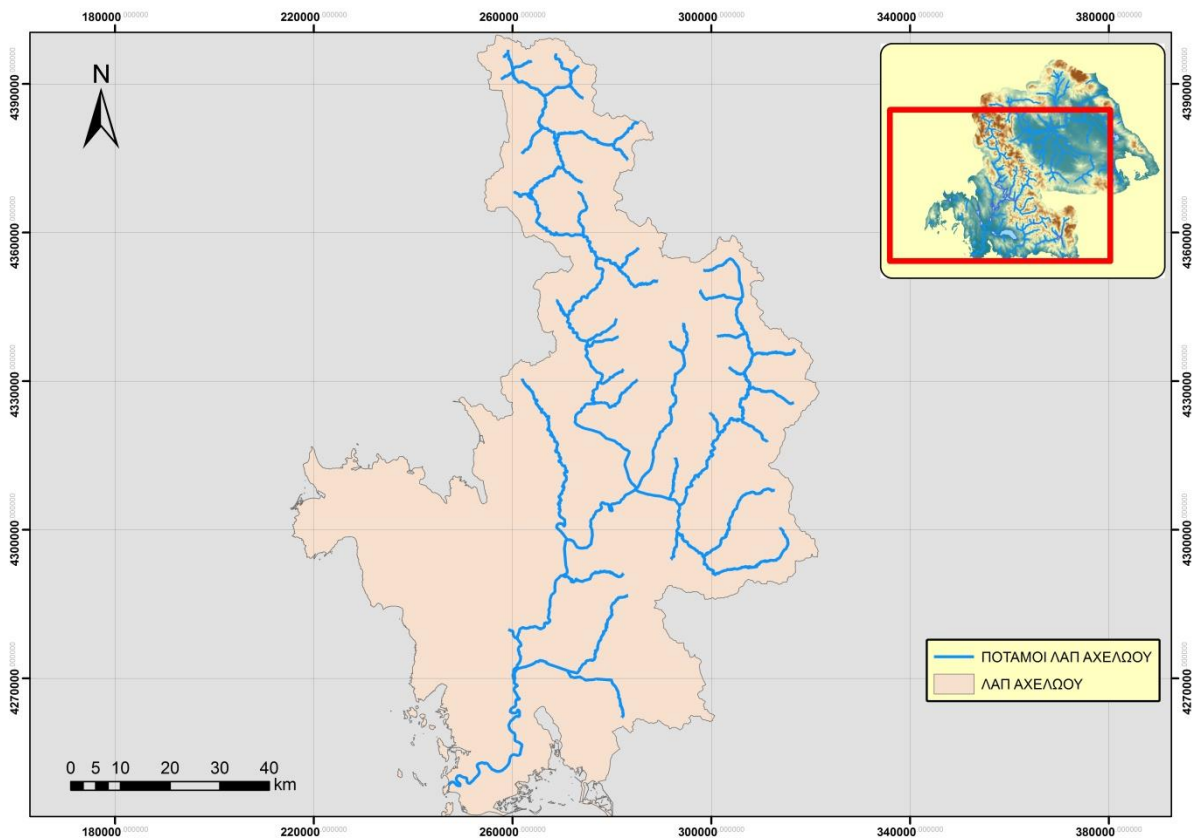
Κωδικός EU	Ονομασία	Μήκος (km)
GR0816R000200022N	ΠΗΝΕΙΟΣ Π. 10	29.8
GR0816R000000064A	7T	36.2
GR0816R000000062A	1T	37.9
GR0816R000000163N	ΑΛΜΥΡΟΣ Π.	9.5
GR0816R000202007N	ΤΙΤΑΡΗΣΙΟΣ Π. 2	36.4
GR0816R000200016A	ΠΗΝΕΙΟΣ Π. 7	2.3
GR0816R000204019N	ΚΟΥΣΜΠΙΑΣΑΝΙΩΤΙΚΟ Ρ. 2	16.9
GR0816R000202108N	ΣΜΟΛΙΩΤΙΚΟ Ρ.	12.5
GR0816R000202209N	ΚΑΡΚΑΤΣΕΛΙ Ρ.	10.3
GR0816R000202411N	ΞΕΡΙΑΣ Ρ.	26.1
GR0816R000202310N	ΕΛΑΣΣΟΝΙΤΙΚΟΣ Π.	43.9

Πίνακας 4.2: Χαρακτηριστικά υδρογραφικού δικτύου ΥΔ04 (απόσπασμα).

Κωδικός EU	Ονομασία	Μήκος (km)
GR0415R000200004H	ΑΧΕΛΩΟΣ Π. 3	7.7
GR0415R000234055N	ΑΧΕΛΩΟΣ Π. - ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΟΣ 1	5.7
GR0415R000200054N	ΑΧΕΛΩΟΣ Π. 10	19.4
GR0415R000236056N	ΚΑΜΝΑΙΤΙΚΟ Ρ.	24.4
GR0415R000202005H	ΔΙΜΗΚΟΣ Π.	11.1
GR0415R000202007H	ΕΝΩΤΙΚΗ ΤΑΦΡΟΣ	2.8
GR0415R000204010H	ΤΑΦΡΟΣ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΗΣ ΟΖΕΡΟΥ	2.9
GR0415R000000008N	ΠΛΑΤΑΝΙΑΣ Ρ.	8.6
GR0415R000206012N	ΖΕΡΒΑΣ Ρ.	16.3
GR0415R000210015N	ΚΡΙΚΕΛΙΩΤΗΣ Ρ. 1	22.2
GR0415R000210217N	ΚΑΡΠΕΝΙΣΙΩΤΗΣ Ρ. 1	15.5
GR0415R000210116N	ΑΓΑΛΙΑΝΟΣ Ρ.	6.1
GR0415R000214033N	ΦΡΑΓΓΙΣΤΑΝΟΡΕΜΜΑ	7.7
GR0415R000212021N	ΤΑΥΡΩΠΟΣ Π. 1	39.8
GR0415R000216034N	ΑΓΡΑΦΙΩΤΗΣ Π. 1	16.0
GR0415R000212223N	ΑΓΙΟΤΡΙΑΔΙΤΙΚΟ Ρ.	7.7
GR0415R000212324N	ΤΑΥΡΩΠΟΣ Π. - ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΟΣ ΜΕ	7.7
GR0415R000212527N	ΣΑΡΑΝΤΑΠΟΡΟΥ Ρ. 1	5.6



Εικόνα 4.3: Φυσικό υδρογραφικό δίκτυο ΛΑΠ Πηνείου.



Εικόνα 4.4: Φυσικό υδρογραφικό δίκτυο ΛΑΠ Αχελώου.

4.2.3 Φυσικές λίμνες και ταμιευτήρες

Πηγή των δεδομένων αυτών ήταν, για τις φυσικές λίμνες και τους υπάρχοντες ταμιευτήρες τα Σχέδια Διαχείρισης της ΕΓΥ, ενώ τα μελλοντικά έργα ψηφιοποιήθηκαν από τους χάρτες της ΜΠΕ των έργων εκτροπής (ΕΥΔΕ Αχελώου και ΥΠΕΧΩΔΕ, 1995).

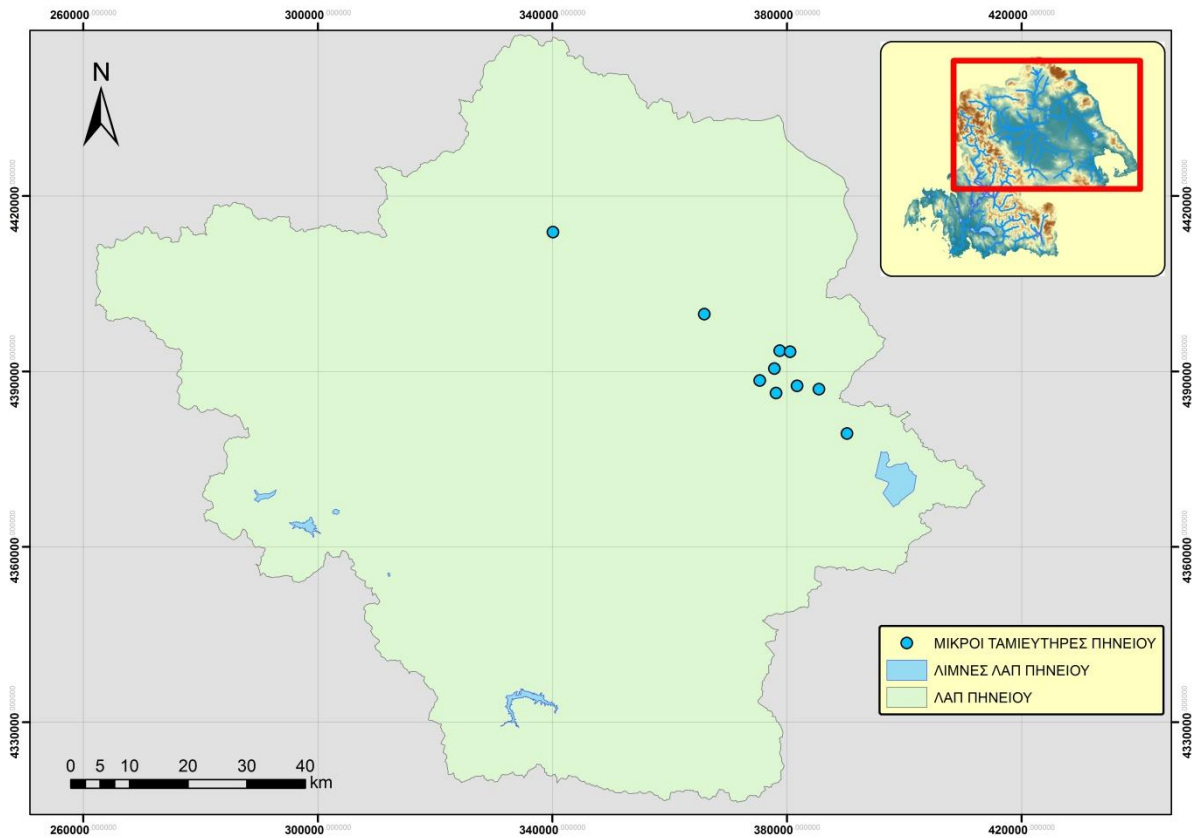
Στους Πίνακες 4.3 και 4.4 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά μεγέθη των λιμνών και ταμιευτήρων των δύο ΥΔ, ενώ οι θέσεις τους φαίνονται στις Εικόνες 4.5 (ΥΔ08) και 4.6 (ΥΔ04).

Πίνακας 4.3: Χαρακτηριστικά λιμνών και ταμιευτήρων ΥΔ08.

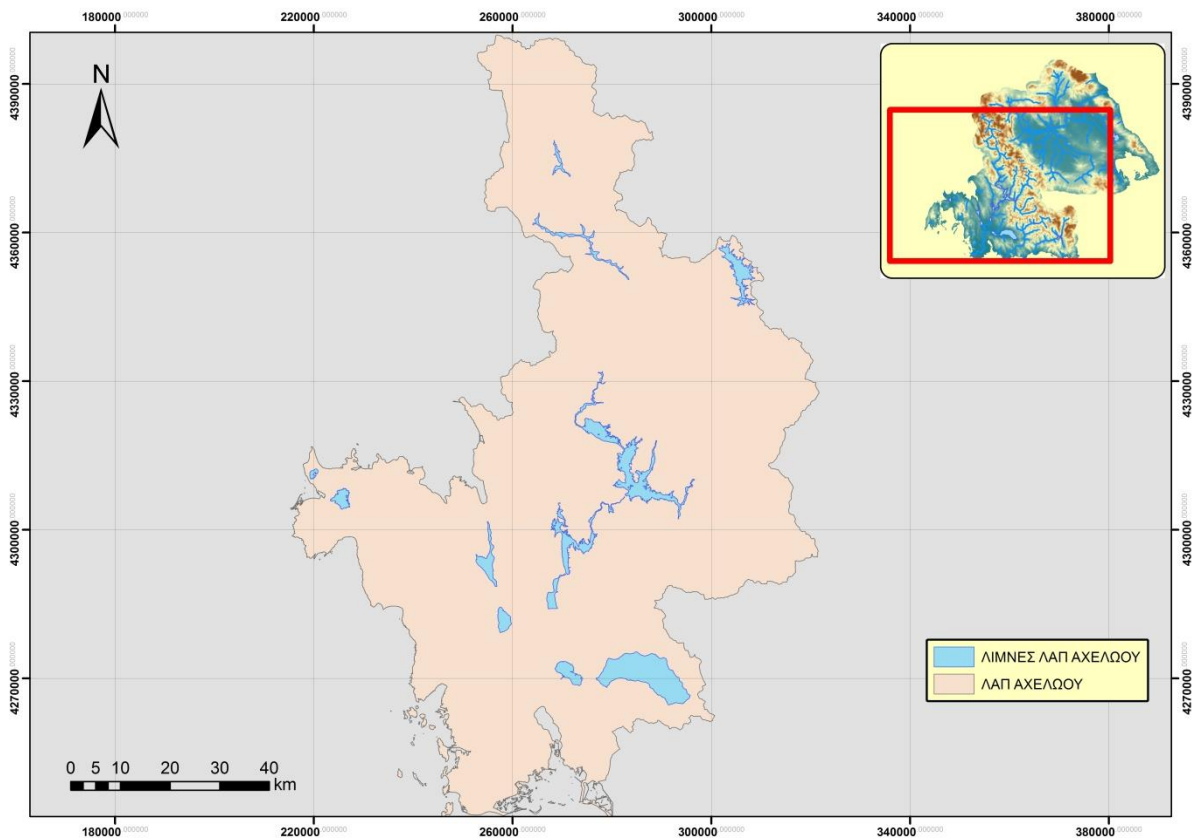
Όνομασία	Έκταση λεκάνης (km ²)	Συνολική χωρητικότητα (hm ³)	Ωφέλιμη χωρητικότητα (hm ³)
ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ ΠΥΛΗΣ	132.0	68.7	46.0
ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ ΜΟΥΖΑΚΙΟΥ	140.6	237.2	182.8
ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ ΜΑΥΡΟΜΑΤΙΟΥ	-	7.7	4.9
ΑΝΑΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟ ΠΛΑΣΤΗΡΑ	-	0.6	0.6
ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ ΚΑΡΛΑΣ	1050.0	141.1	84.1
ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ ΣΜΟΚΟΒΟΥ	376.5	237.6	209.2
ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ ΑΓΙΟΝΕΡΙΟΥ	342.8	15.0	13.7
ΛΟΙΠΟΙ ΜΙΚΡΟΙ	-	20.0	20.0

Πίνακας 4.4: Χαρακτηριστικά λιμνών και ταμιευτήρων ΥΔ04.

Όνομασία	Έκταση λεκάνης (km ²)	Συνολική χωρητικότητα (hm ³)	Ωφέλιμη χωρητικότητα (hm ³)
ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ ΜΕΣΟΧΩΡΑΣ	644.1	358	228
ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ ΣΥΚΙΑΣ	530.8	591	500
ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ ΚΡΕΜΑΣΤΩΝ	2395	4500	3500
ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ ΚΑΣΤΡΑΚΙΟΥ	548	857	107
ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ ΣΤΡΑΤΟΥ	202	70	11
ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ ΤΑΥΡΩΠΟΥ	161.3	373	288
ΛΙΜΝΗ ΛΥΣΙΜΑΧΙΑ	-	0	0
ΛΙΜΝΗ ΤΡΙΧΩΝΙΔΑ	-	0	0



Εικόνα 4.5: Φυσικές και τεχνητές λίμνες ΥΔ08.



Εικόνα 4.6: Φυσικές και τεχνητές λίμνες ΥΔ04.

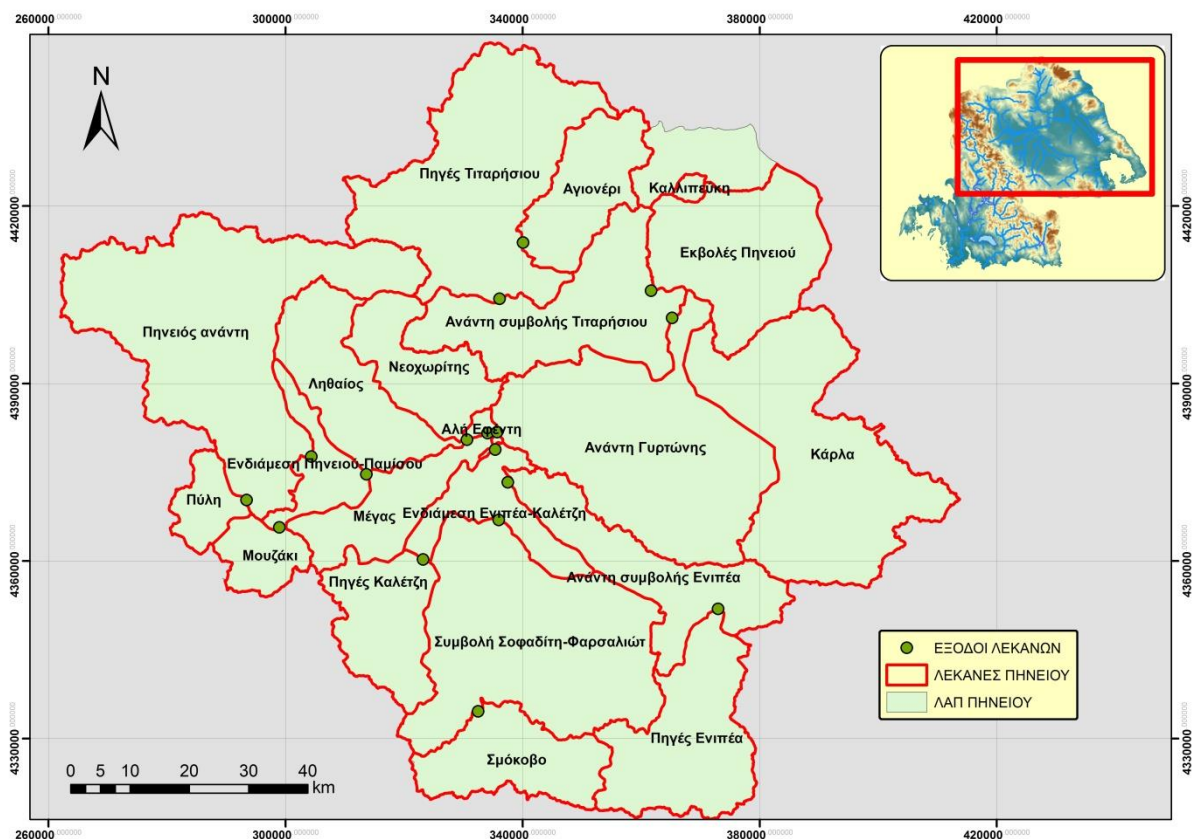
4.2.4 Χρήσεις γης

Πρόκειται για το επίπεδο χρήσεων σύμφωνα με το CORINE (CLC, 2000) του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (<http://www.eea.europa.eu/el>).

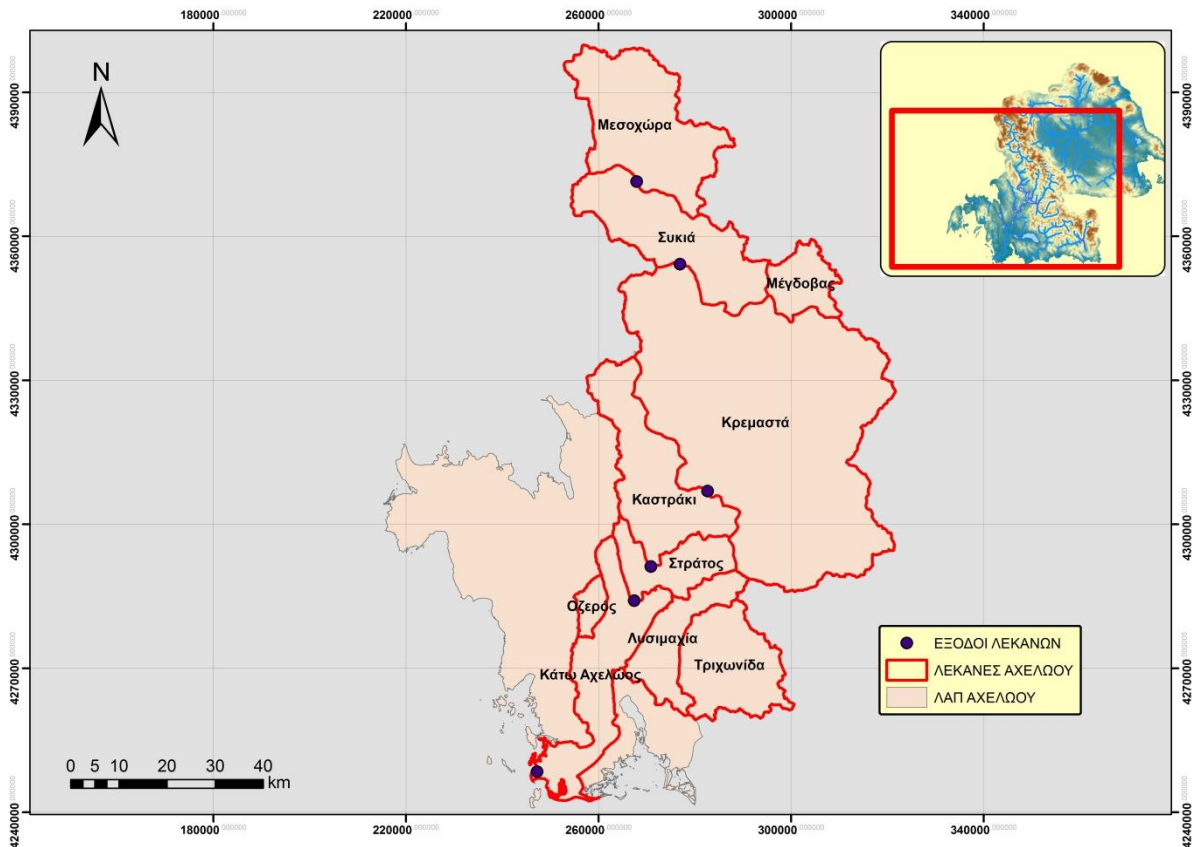
Τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για τη χωροθέτηση και διαστασιολόγηση των αιολικών και φωτοβολταϊκών έργων, που έγινε στο πλαίσιο βελτιστοποίησης του σχήματος έργων ΑΠΕ, με τα οποία εξασφαλίζεται ενεργειακή αυτονομία της περιοχής μελέτης.

4.2.5 Λεκάνες απορροής

Οι λεκάνες απορροής ανάντη των θέσεων ενδιαφέροντος κατά μήκος του υδρογραφικού δικτύου (ταμειυτήρες, θέσεις συμβολής, θέσεις απόληξης, κτλ.), που καθορίστηκαν κατά τη σχηματοποίηση του υδροσυστήματος, ψηφιοποιήθηκαν με βάση το επίπεδο των υψομέτρων (Εικόνες 4.7 και 4.8).



Εικόνα 4.7: Λεκάνες απορροής ΛΑΠ Πηνείου.



Εικόνα 4.8: Λεκάνες απορροής ΛΑΠ Αχελώου.

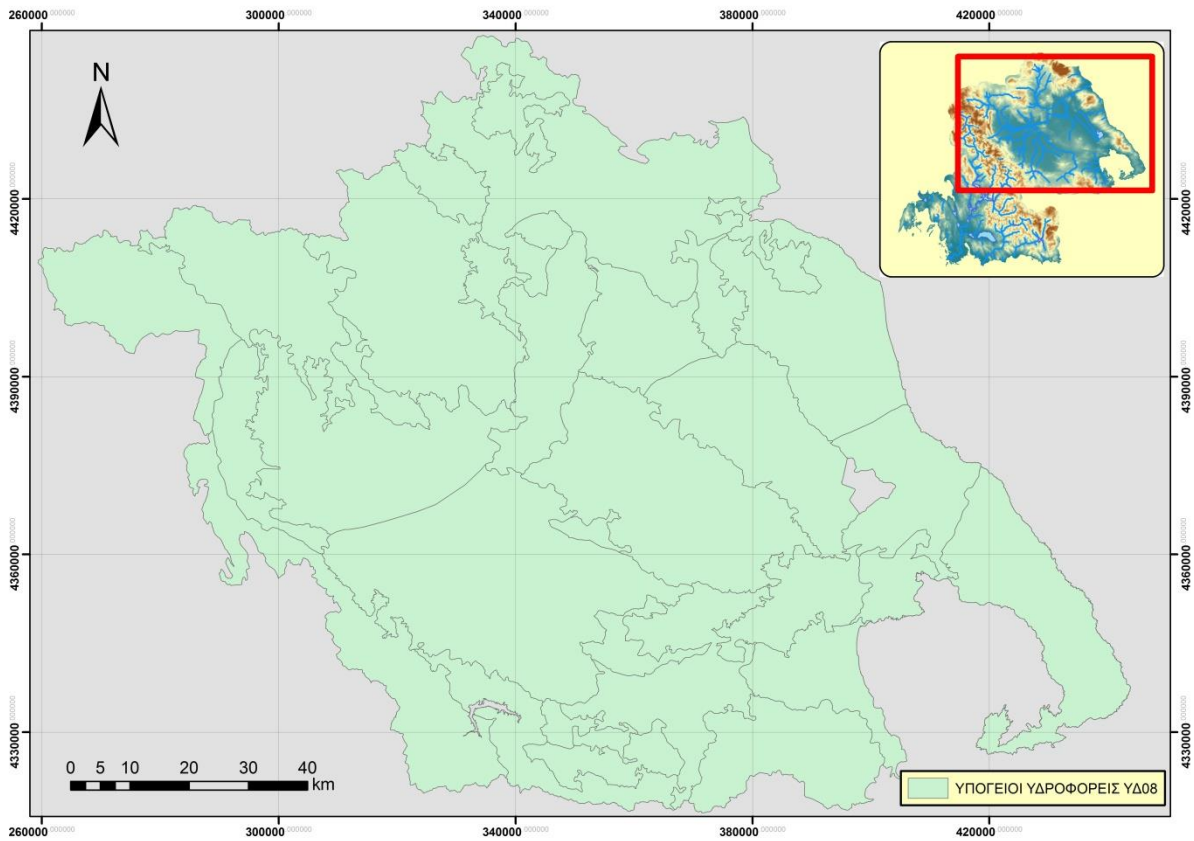
4.2.6 Υπόγειοι υδροφορείς

Τα όρια των υπόγειων υδροφορέων φαίνονται στις Εικόνες 4.9 (ΛΑΠ Πηνειού) και 4.10 (ΛΑΠ Αχελώου). Με βάση τα όρια αυτά, προσδιορίστηκαν οι αρδευόμενες εκτάσεις της περιοχής μελέτης, που αναπαρίστανται ως αρδευτικοί κόμβοι. Ακόμη, στον Πίνακα 4.5 δίνονται κάποια βασικά χαρακτηριστικά των υδροφορέων της ΛΑΠ Πηνειού, τα οποία αξιοποιήθηκαν για την εκτίμηση της δυναμικότητας των γεωτρήσεων της περιοχής μελέτης.

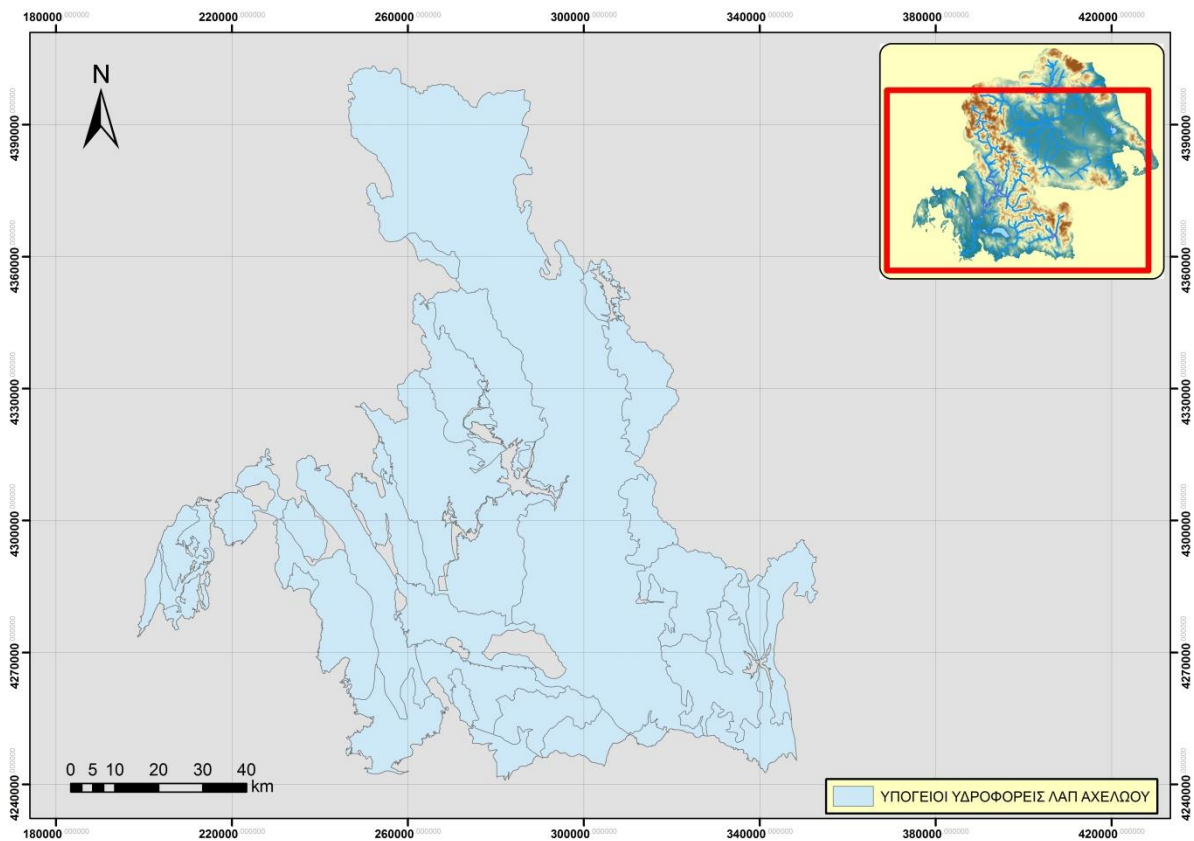
Πίνακας 4.5: Χαρακτηριστικά υπόγειων υδροφορέων ΛΑΠ Πηνειού και μέσα ετήσια μεγέθη εισροών και απολήψεων για άρδευση και ύδρευση (απόσπασμα).

Κωδικός	Ονομασία	Είδος	Εισροή (hm ³)	Άρδευση (hm ³)	Ύδρευση (hm ³)
GR0800140	Αλμυρού	Κ	50	24.8	2.2
GR0800300	Ξυνιάδας-Κέδρου	P	25	1.2	0.8
GR0800200	Ξυνιάδας	Κ	30	9.8	0.2
GR0800100	Εκκάρας-Βελεσιωτών	ΚΑ	10	0.0	0.5
GR0800160	Όθρυος	ΚΑ-P	55	10.4	0.6
GR0800180	Ναρθακίου-Βρυσιών	ΚΑ	24	6.0	0.5
GR0800290	Άνω ρου Εννιπέα	P-K	40	14.0	1.0
GR0800090	Αλμυρού-Βελεστίνου	ΚΑ-P	40	11.6	0.4
GR0800280	Ν. Αγκιάλου- Ν. Ιωνίας	P-ΚΑ-Κ	25	4.8	4.2
GR0800080	Φυλλίτου-Ορφανών	ΚΑ	9	4.2	0.3
GR0800170	Πηλίου	ΚΑ-P	80	27.8	12.2

ΚΑ: καρστικός, P: ρωγματώδης, Κ: κοκκώδης.



Εικόνα 4.9: Υπόγειοι υδροφορείς ΛΑΠ Πηνηιού.



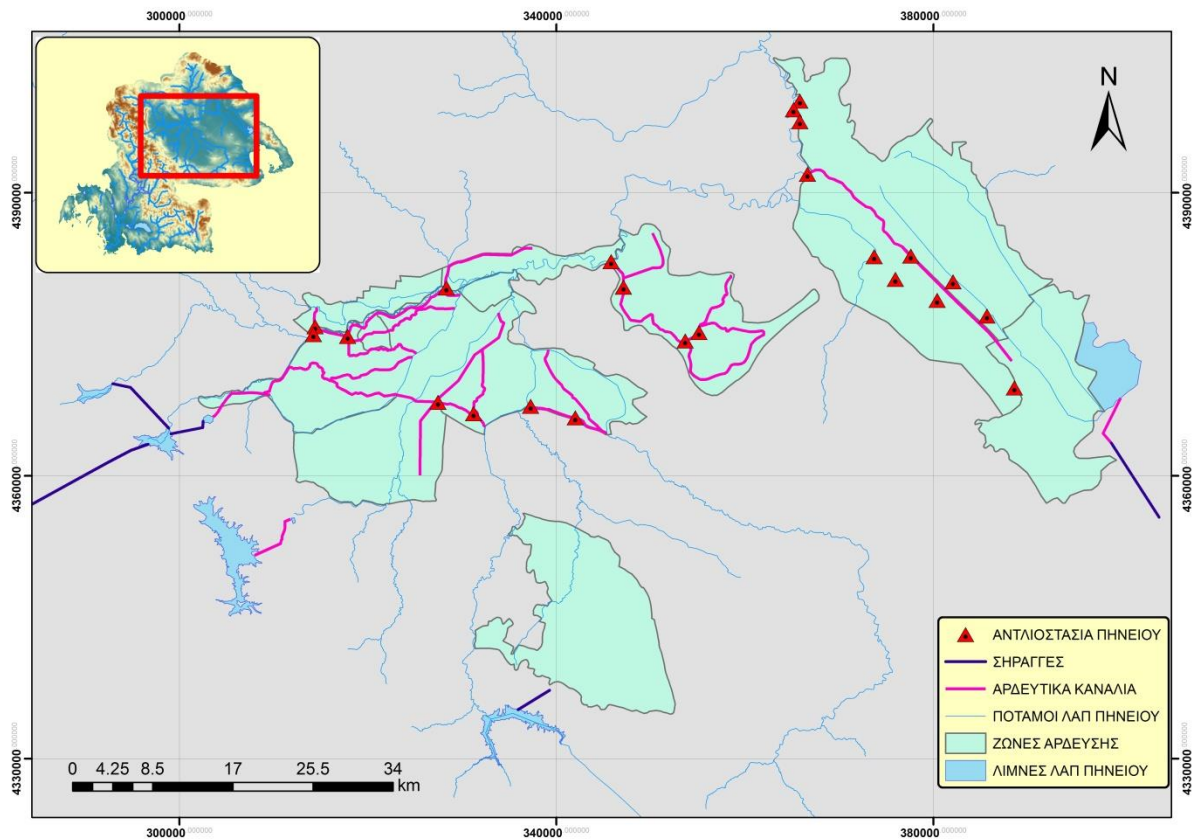
Εικόνα 4.10: Υπόγειοι υδροφορείς ΛΑΠ Αχελώου.

4.2.7 Αρδευτικά έργα

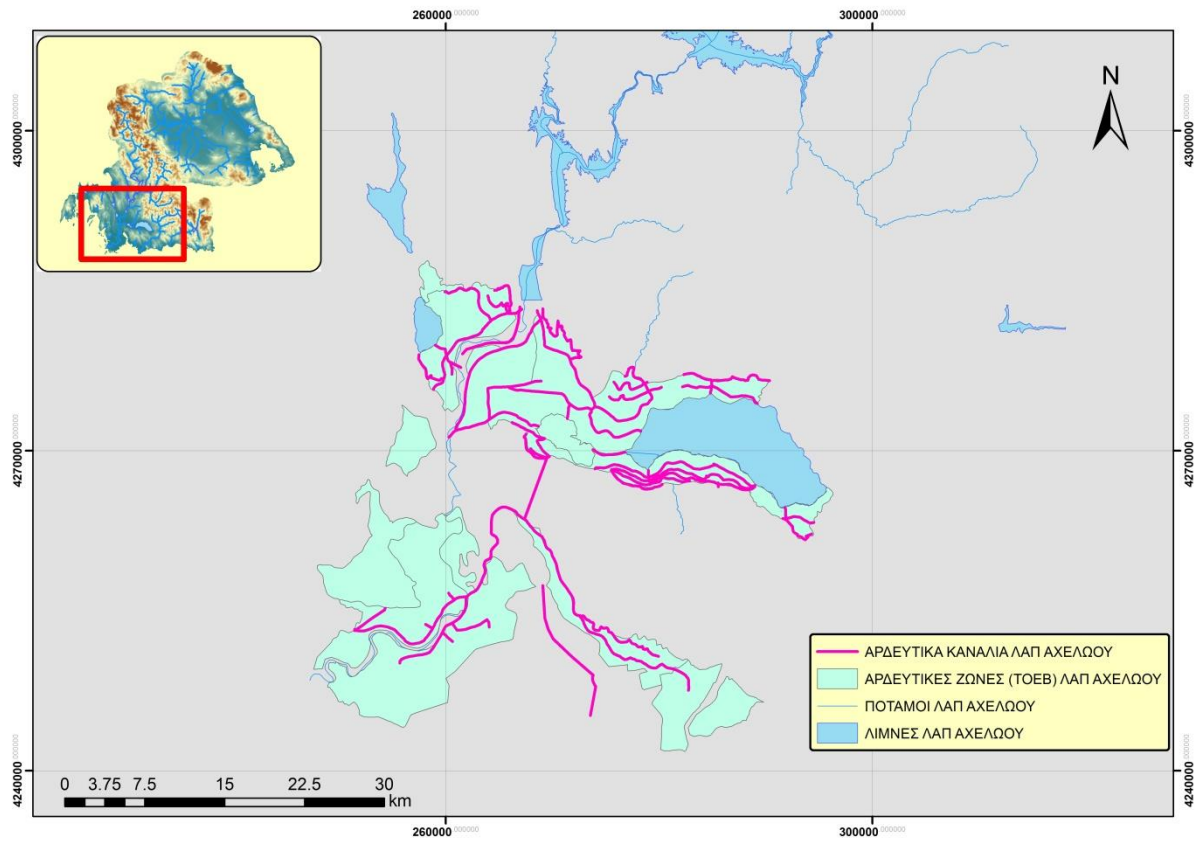
Στις πληροφορίες των αρδευτικών έργων αυτά περιλαμβάνονται οι ζώνες των αρδευόμενων εκτάσεων, τα αντλιοστάσια και τα αρδευτικά κανάλια.

Για την περιοχή της Θεσσαλίας χρησιμοποιήθηκαν οι αρδευόμενες ζώνες και τα έργα σύμφωνα με την ΜΠΕ του 1995, ενώ για την λεκάνη του Αχελώου υπήρχαν διαθέσιμα χωρικά δεδομένα για όλα τα έργα των συλλογικών αρδευτικών δικτύων (Κουκουβίνος και Χριστοφίδης, 1999). Στις παραπάνω μελέτες εντοπίστηκαν και διάφορα δεδομένα διαχειριστικού ενδιαφέροντος, όπως είναι οι δυναμικότητες των γεωτρήσεων και οι παροχτευτικότητες των αρδευτικών δικτύων και καναλιών.

Η χάραξη των αρδευτικών δικτύων στις δύο λεκάνες απορροής φαίνεται στις Εικόνες 4.11 (ΛΑΠ Πηνειού) και 4.12 (ΛΑΠ Αχελώου).



Εικόνα 4.11: Κυρίως αρδευτικό δίκτυο της ΛΑΠ Πηνειού.



Εικόνα 4.12: Κυρίως αρδευτικό δίκτυο της ΛΑΠ Αχελώου.

5 Σχηματοποίηση συνδυασμένου συστήματος υδατικών και ενεργειακών πόρων

5.1 Σχηματοποίηση επιφανειακών συστημάτων

Με στόχο την ορθή κατανόηση της αντιστοιχίας των συνιστωσών του επιφανειακού συστήματος (υδρογραφικό δίκτυο, έργα ταμίευσης, μεταφοράς νερού με τα εννοιολογικά στοιχεία του τοπολογικού μοντέλου, η περιοχή μελέτης χωρίστηκε σε δέκα υποπεριοχές.

Περιοχή Π1 – Άνω Ρους Αχελώου και Δυτική Θεσσαλία: Η περιοχή εκτείνεται σε τμήματα και των δύο Υδατικών Διαμερισμάτων, και περιλαμβάνει τον άνω ρου του ποταμού Αχελώου, και τους ποταμούς Πορταϊκό και Πάμισο στην ΛΑΠ Πηνειού (Εικόνα 5.1).

Περιοχή Π2 – Ευρύτερη περιοχή Ν. Τρικάλων: Περιλαμβάνει όλες τις εκτάσεις του Ν. Τρικάλων που εντάσσονται στο μοντέλο προσομοίωσης. Το αντίστοιχο υδρογραφικό δίκτυο περιλαμβάνει τους ποταμούς Πηνειό, μέχρι το κατάντη όριο της Π2, και τον κάτω ρου των παραποτάμων του Ληθαίου και Νεοχωρίτη (Εικόνα 5.2).

Περιοχή Π3 – Εκτάσεις σχετιζόμενες με την εκτροπή του Αχελώου: Πρόκειται για την βόρεια και ανατολική περιοχή του Ν. Καρδίτσας (Εικόνα 5.3).

Περιοχή Π4 – Εκτάσεις που υδροδοτούνται από τον ταμιευτήρα Πλαστήρα: Πρόκειται για τις εκτάσεις νότια και δυτικά της πόλης της Καρδίτσας, με χαρακτηριστικό ότι υδροδοτούνται από τον ταμιευτήρα Πλαστήρα (Εικόνα 5.4).

Περιοχή Π5 – Εκτάσεις που υδροδοτούνται από τον ταμιευτήρα Σμοκόβου: Πρόκειται για το ΝΔ τμήμα του ΥΔ Θεσσαλίας, και περιλαμβάνει τμήματα των Νομών Καρδίτσας, Φθιώτιδας και Λάρισας. Το κύριο έργο της περιοχής είναι ο ταμιευτήρας Σμοκόβου και το εκτεταμένο αρδευτικό δίκτυο που κατασκευάζεται, που στην τελική του φάση προβλέπεται να φτάνει τα 250 000 στρέμματα (Εικόνα 5.5).

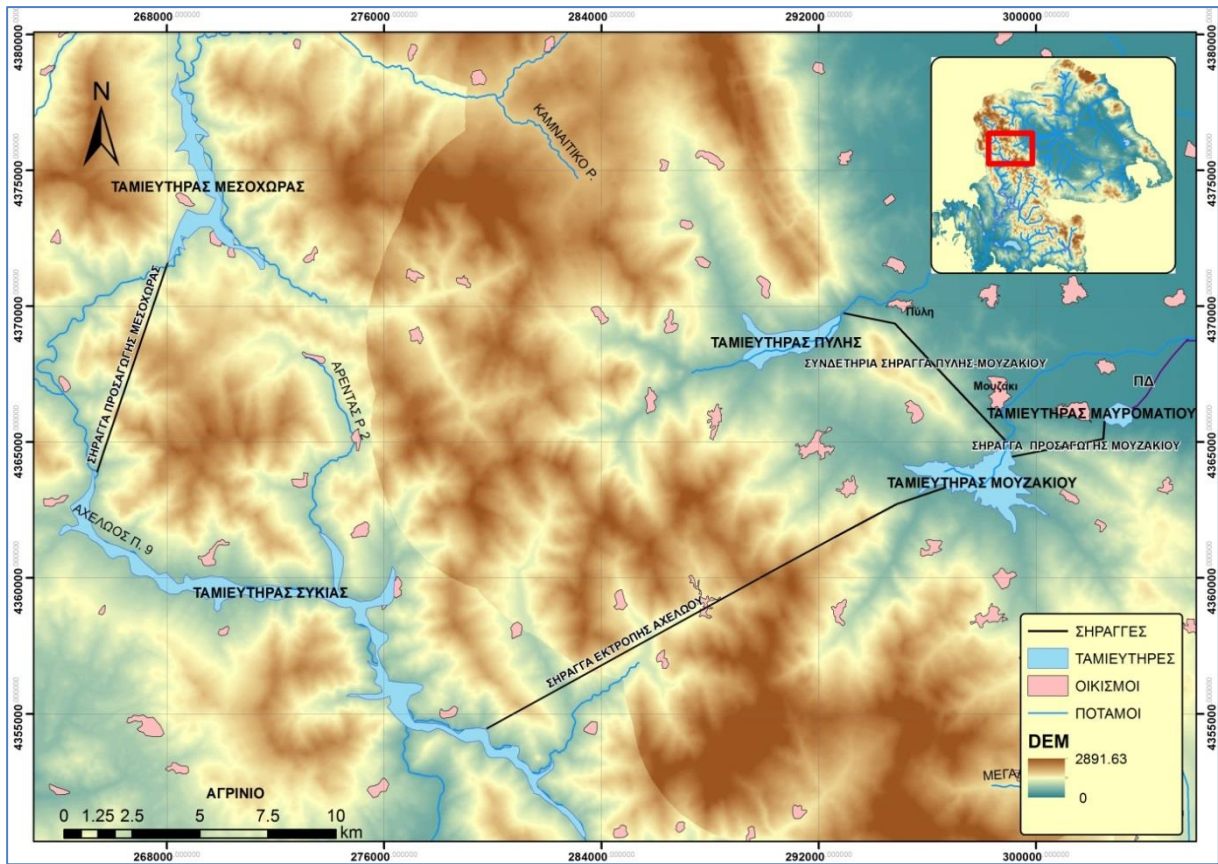
Περιοχή Π6 – Ενδιάμεση Λεκάνη Πηνειού - Ν. Λάρισας: Αναφέρεται στις αντίστοιχες εκτάσεις «Γ1» και «Γ2» της ΜΠΕ του Αχελώου (ΕΥΔΕ Αχελώου και ΥΠΕΧΩΔΕ, 1995), που ανήκουν στο Ν. Λάρισας (Εικόνα 5.6).

Περιοχή Π7 – Περιοχή Ν. Λάρισας σχετιζόμενη με τα έργα Κάρλας, Γυρτώνης και Πλατυκάμπου: Περιλαμβάνονται οι πεδινές περιοχές στα νότια του Πηνειού ως το έργο της Γυρτώνης, στα ανατολικά τις Νίκαια και Χάλκη, στα δυτικά τις περιοχές ως την Νέα Εθνική Οδό Λάρισας-Βόλου, την περιοχή της λίμνης Κάρλας και τις ΒΔ εκτάσεις του Ν. Μαγνησίας (Εικόνα 5.7).

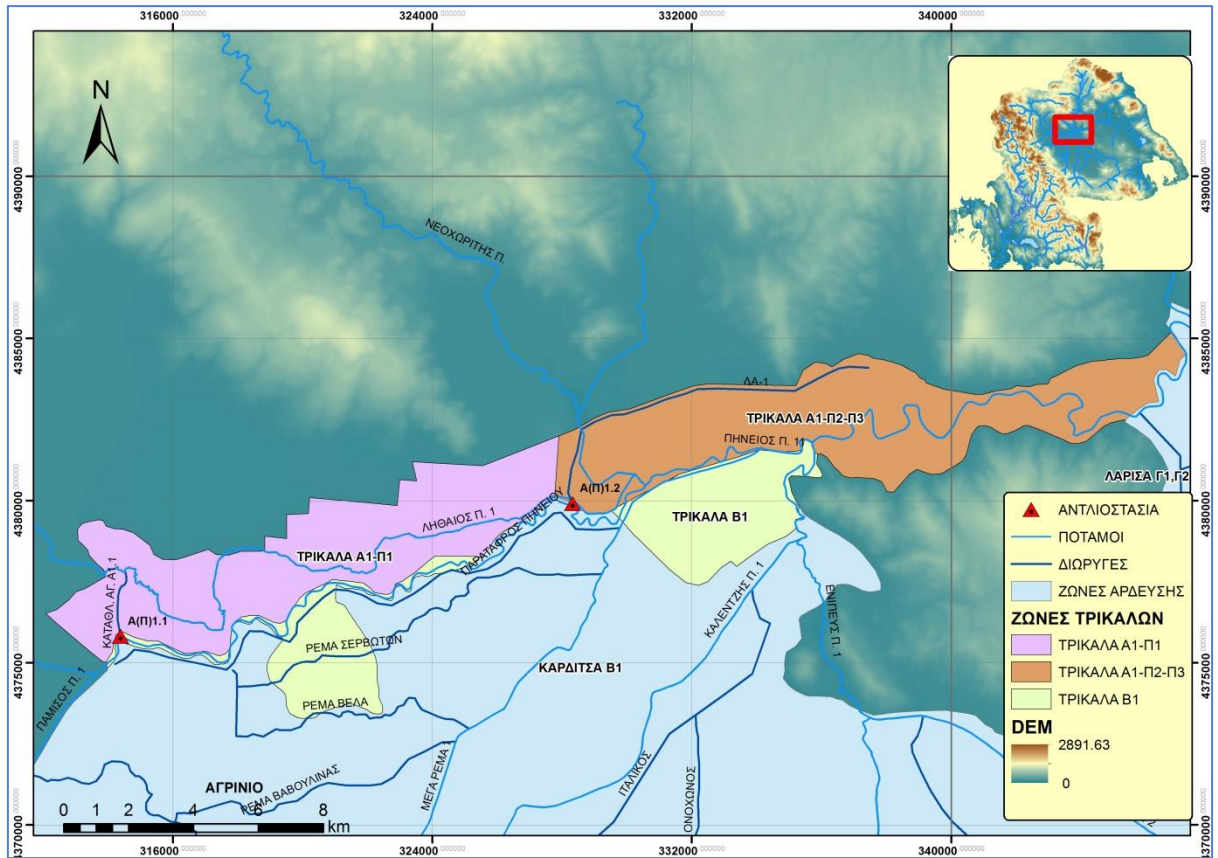
Περιοχή Π8 – Τιταρήσιος και εκβολές Πηνειού: Περιλαμβάνεται η περιοχή γύρω από τον Τιταρήσιο ποταμό και το τμήμα του Πηνειού κατάντη της συμβολή τους (Εικόνα 5.8).

Περιοχή Π9 – Μέσος Ρους Αχελώου: Στην περιοχή Π9 βρίσκονται τα τρία φράγματα του Μέσου Ρου Αχελώου Κρεμαστά, Καστράκι και Στράτος (Εικόνα 5.9).

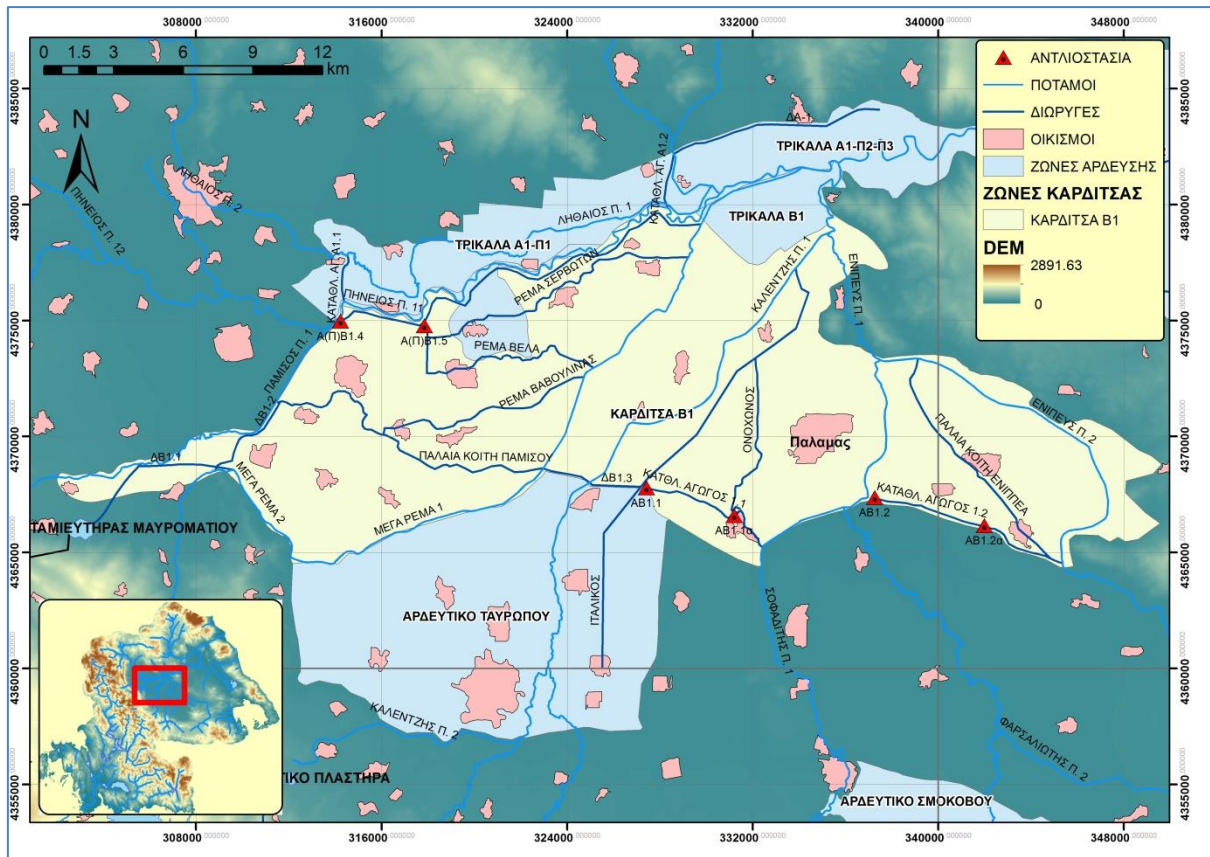
Περιοχή Π10 – Κάτω Ρους Αχελώου: Η περιοχή του Κάτω Αχελώου αποτελείται από ένα εκτεταμένο αρδευτικό δίκτυο, το οποίο είναι από τα παλαιότερα και πιο σύνθετα δίκτυα στην Ελλάδα. Βρίσκεται κατάντη του ταμιευτήρα Στράτου (Εικόνα 5.10).



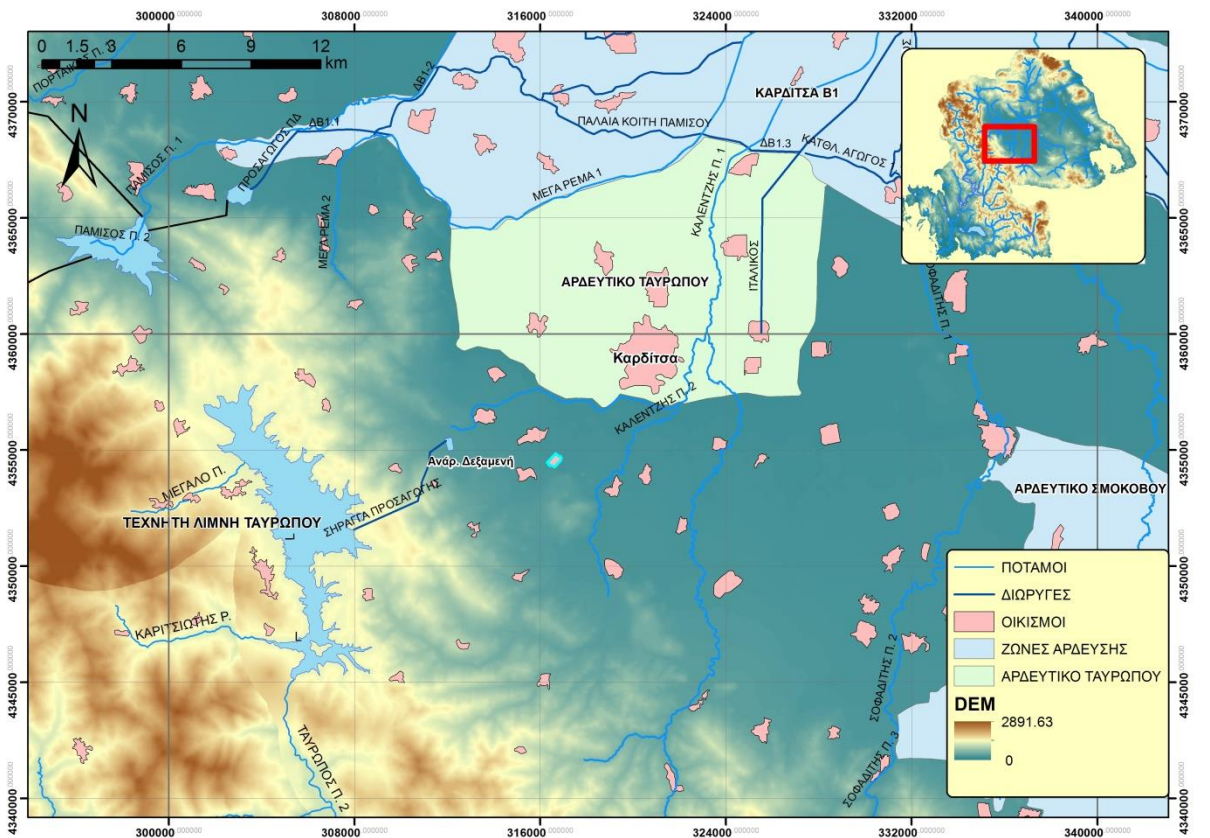
Εικόνα 5.1: Περιοχή Π1 (άνω ρους Αχελώου και Δυτική Θεσσαλία).



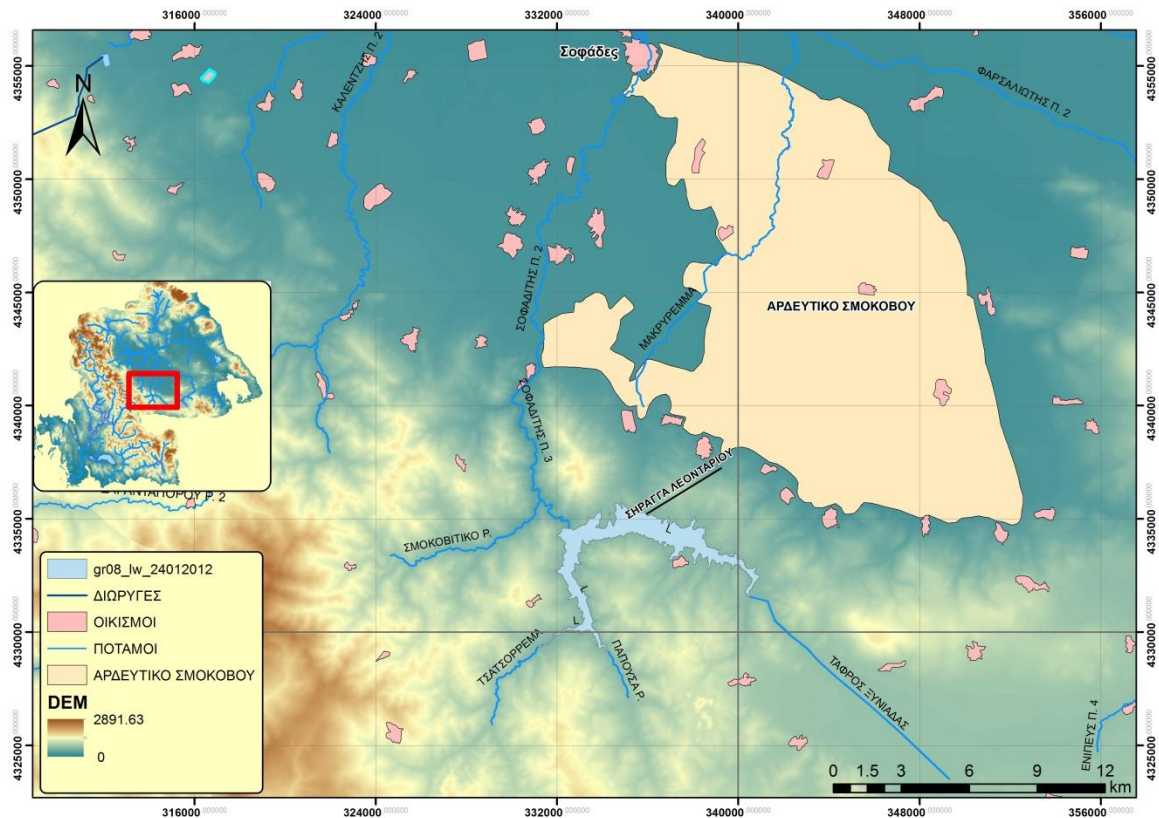
Εικόνα 5.2: Περιοχή Π2 (Ν. Τρικάλων).



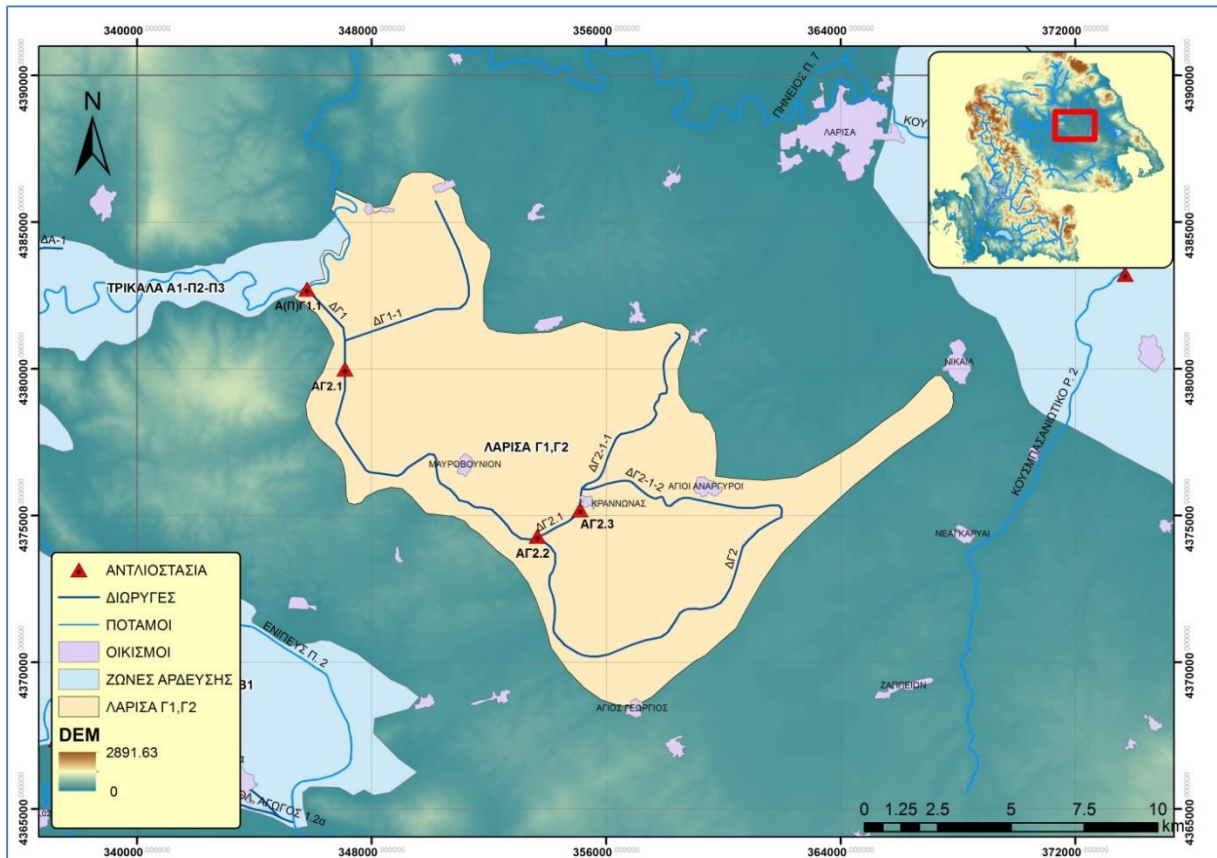
Εικόνα 5.3: Περιοχή Π3 (Ν. Καρδίτσας).



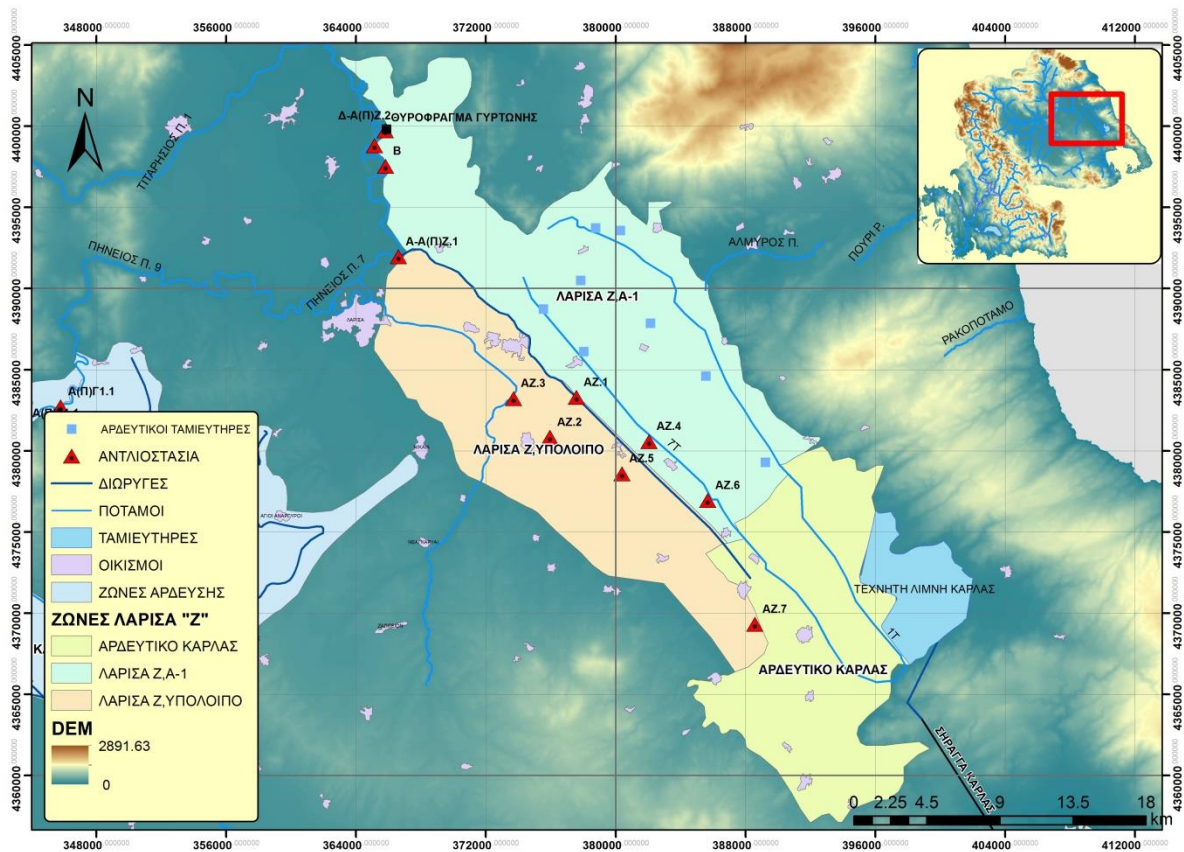
Εικόνα 5.4: Περιοχή Π4 (εκτάσεις που υδροδοτούνται από τον ταμιευτήρα Πλαστήρα).



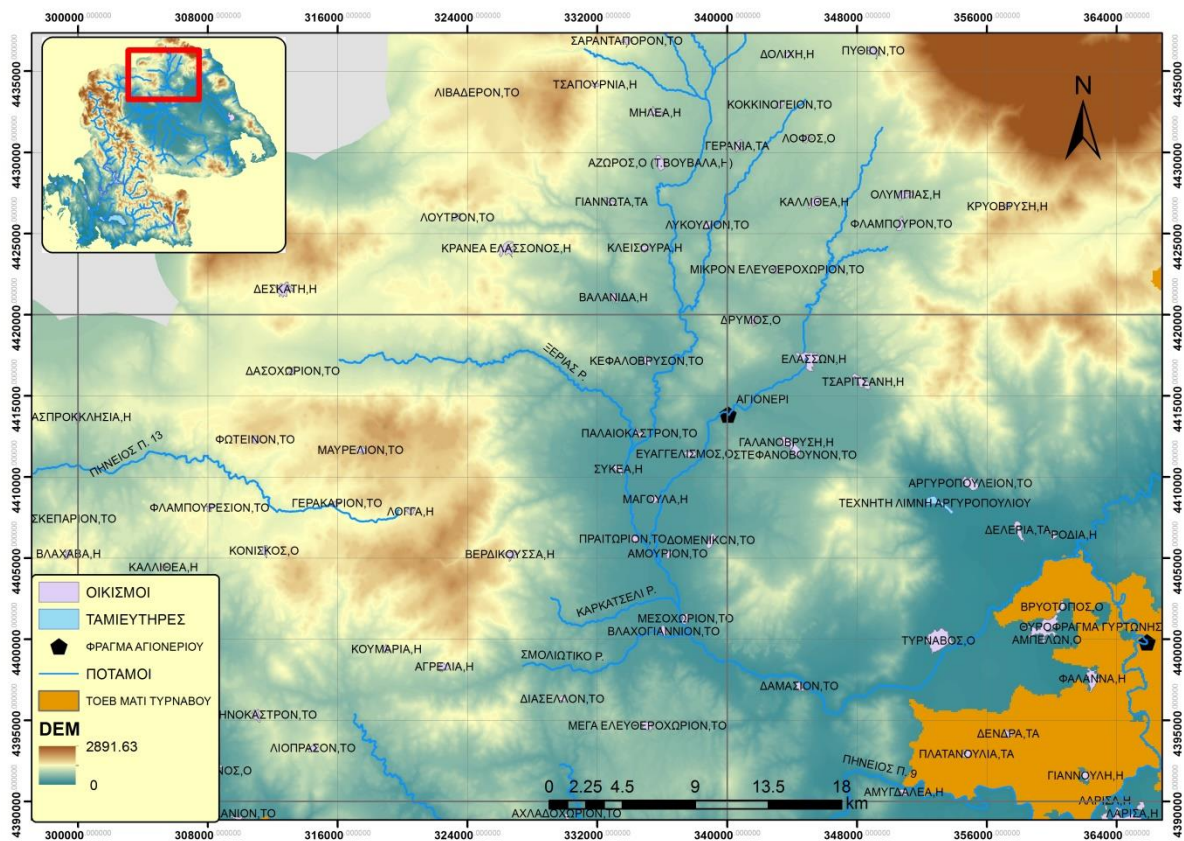
Εικόνα 5.5: Περιοχή Π5 (εκτάσεις που υδροδοτούνται από τον ταμιευτήρα Σμοκόβου).



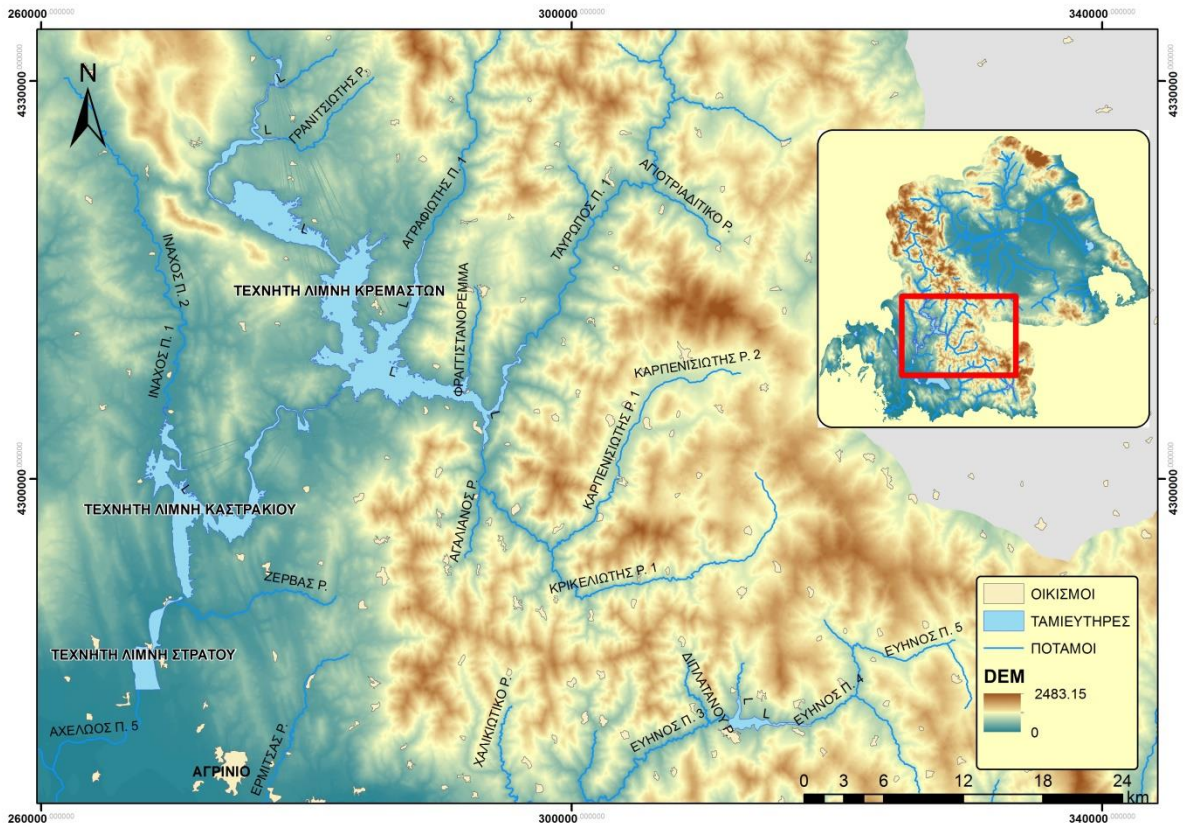
Εικόνα 5.6: Περιοχή Π6 (ενδιάμεση Δεκάνη Πηνειού - Ν. Λάρισας).



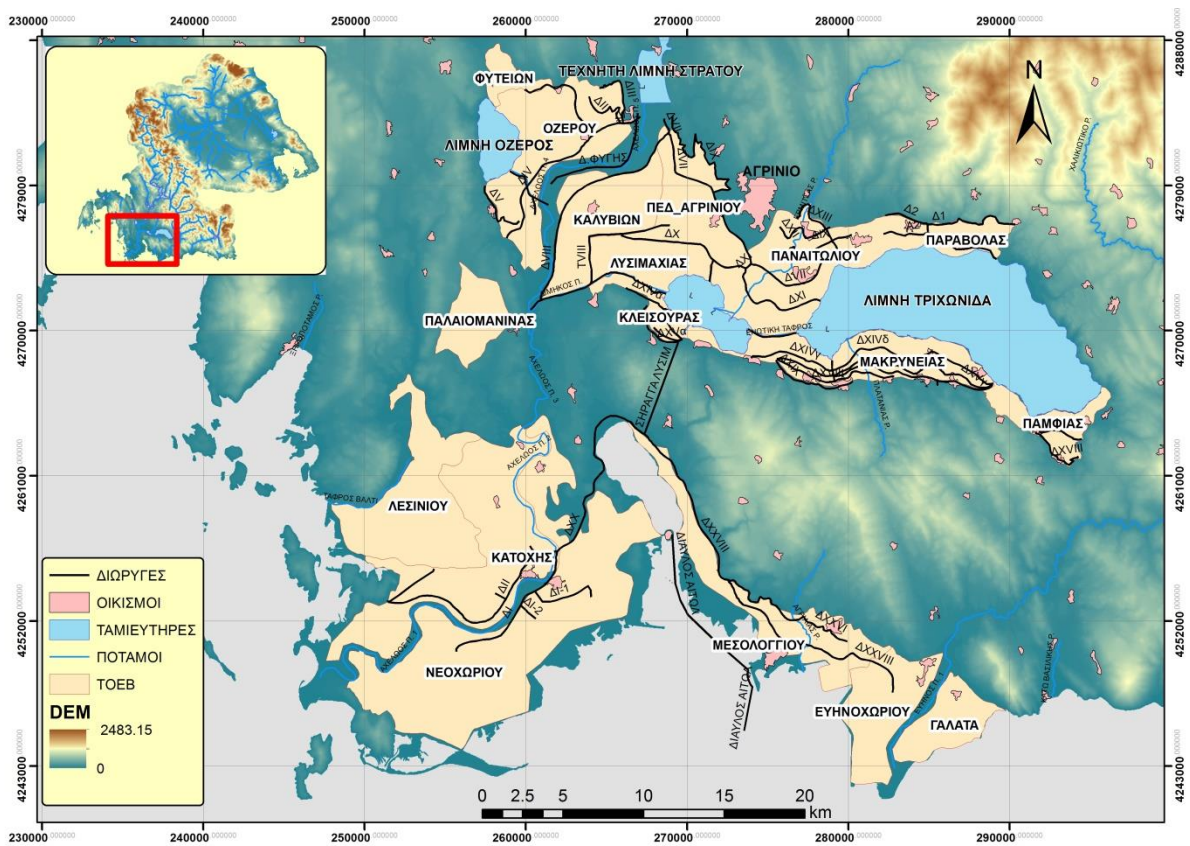
Εικόνα 5.7: Περιοχή Π7 (σχετιζόμενη με τα έργα Κάρλας, Γυρτώνης και Πλατυκάμπου).



Εικόνα 5.8: Περιοχή Π8 (Τιταρήσιος και εκβολές Πηνηιού).



Εικόνα 5.9: Περιοχή Π9 (μέσος ρους Αχελώου).



Εικόνα 5.10: Περιοχή Π10 (κάτω ρους Αχελώου).

5.2 Σχηματοποίηση γεωτρήσεων και απολήψεων

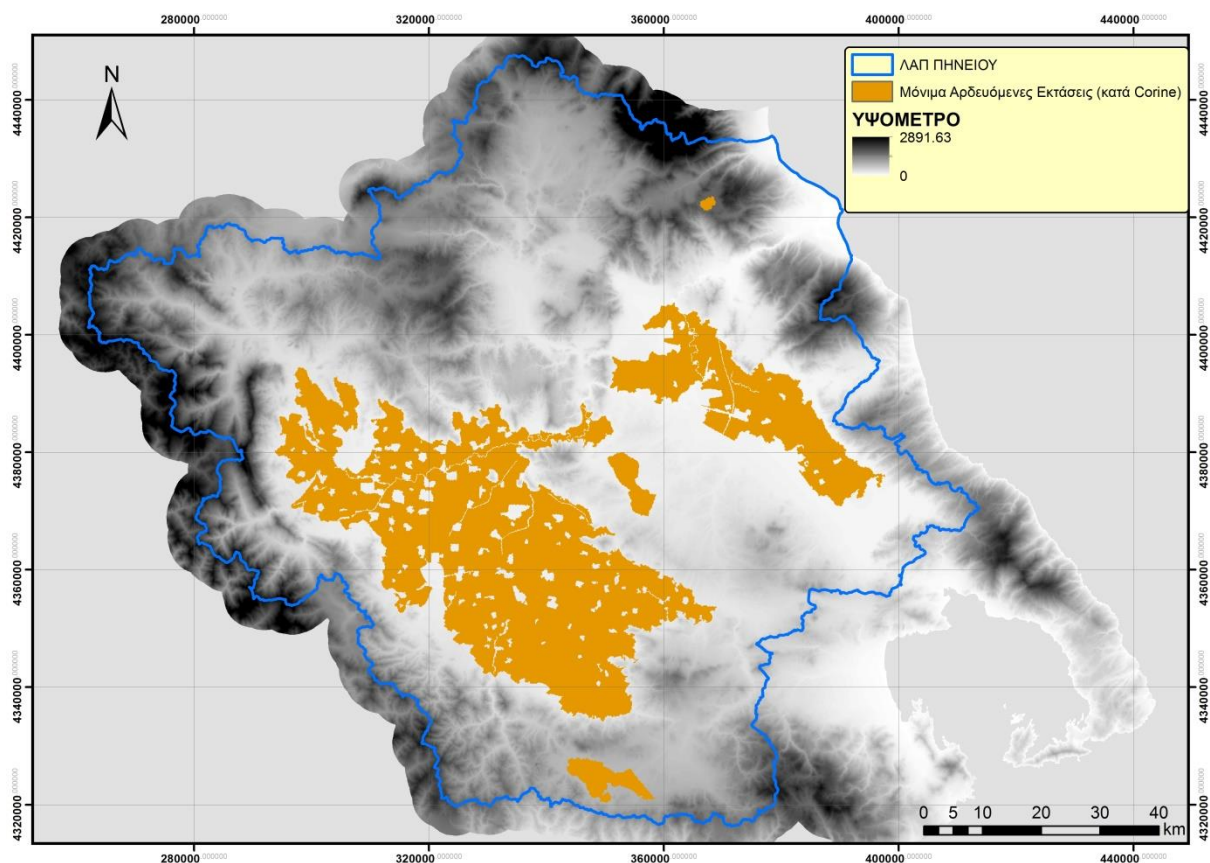
Μεγάλο τμήμα των απολήψεων του υδροσυστήματος, κυρίως στη ΛΑΠ Πηνειού, προέρχεται από τα υπόγεια υδατικά συστήματα. Βασική παραδοχή στο μοντέλο προσομοίωσης είναι πως λόγω του μεγέθους και της άμεσης σχέσης τους με τα υπόγεια νερά, οι απολήψεις από πηγές προσομοιώνονται ως κόμβοι γεωτρήσεων.

Τα διαθέσιμα δεδομένα για τον αριθμό των γεωτρήσεων και τα μεγέθη τους είναι λίγα, καθώς οι καταγεγραμμένες κρατικές γεωτρήσεις είναι κατά πολύ λιγότερες από τις ιδιωτικές, που στην πλειονότητά τους είναι παράνομες. Για τον λόγο αυτό, επιλέχθηκε η δυναμικότητα των γεωτρήσεων στους αρδευτικούς κόμβους του μοντέλου να εκτιμηθεί από το ισοζύγιο του αντίστοιχου υδροφορέα. Με τον τρόπο αυτό, αν και η αβεβαιότητα παραμένει μεγάλη, στην κλίμακα του υπόγειου υδροφορέα τηρείται η αναλογία των απολήψεων.

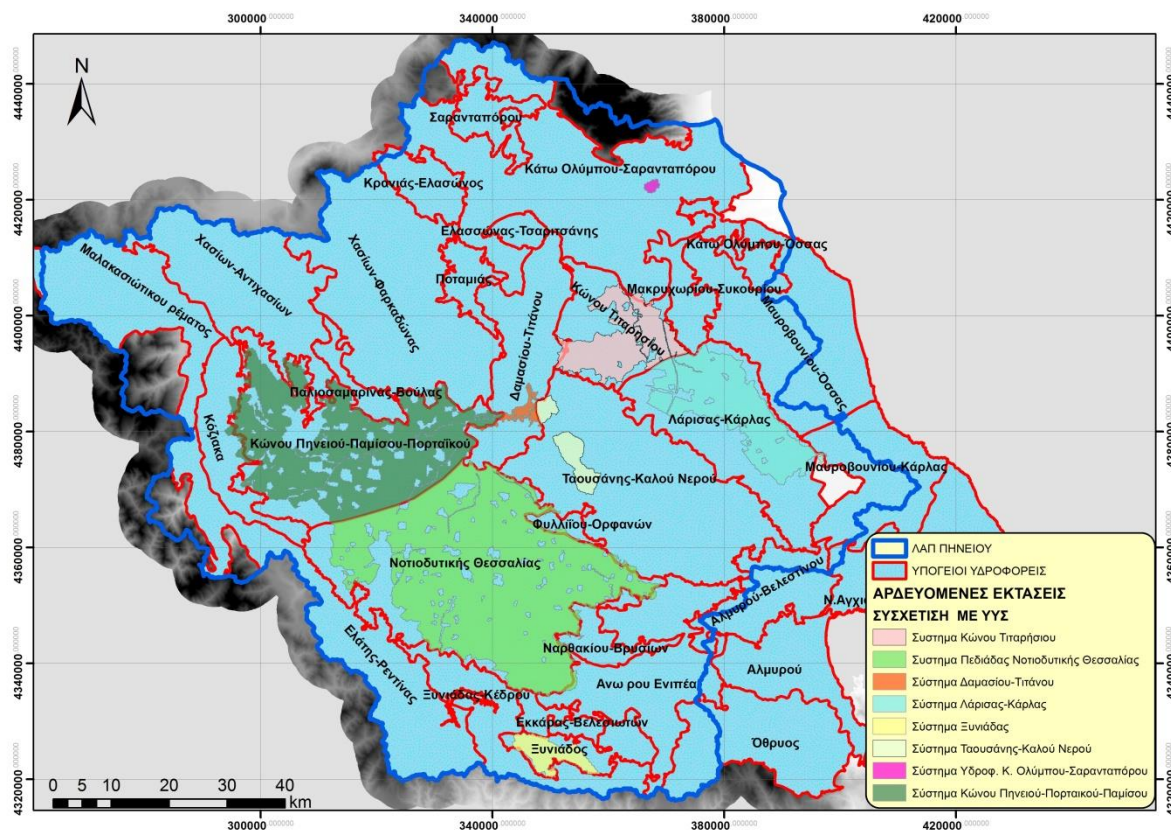
Για την σχηματοποίηση συχετίστηκαν δύο επίπεδα:

- οι μόνιμα αρδευόμενες εκτάσεις, με βάση το σύστημα Corine 2000, και
- τα όρια των υπόγειων υδάτινων σωμάτων..

Τα επίπεδα αυτά απεικονίζονται στις Εικόνες 5.11 και 5.12.



Εικόνα 5.11: Χάρτης μόνιμα αρδευόμενων εκτάσεων κατά Corine Land Cover 2000 στη ΛΑΠ Πηνειού.



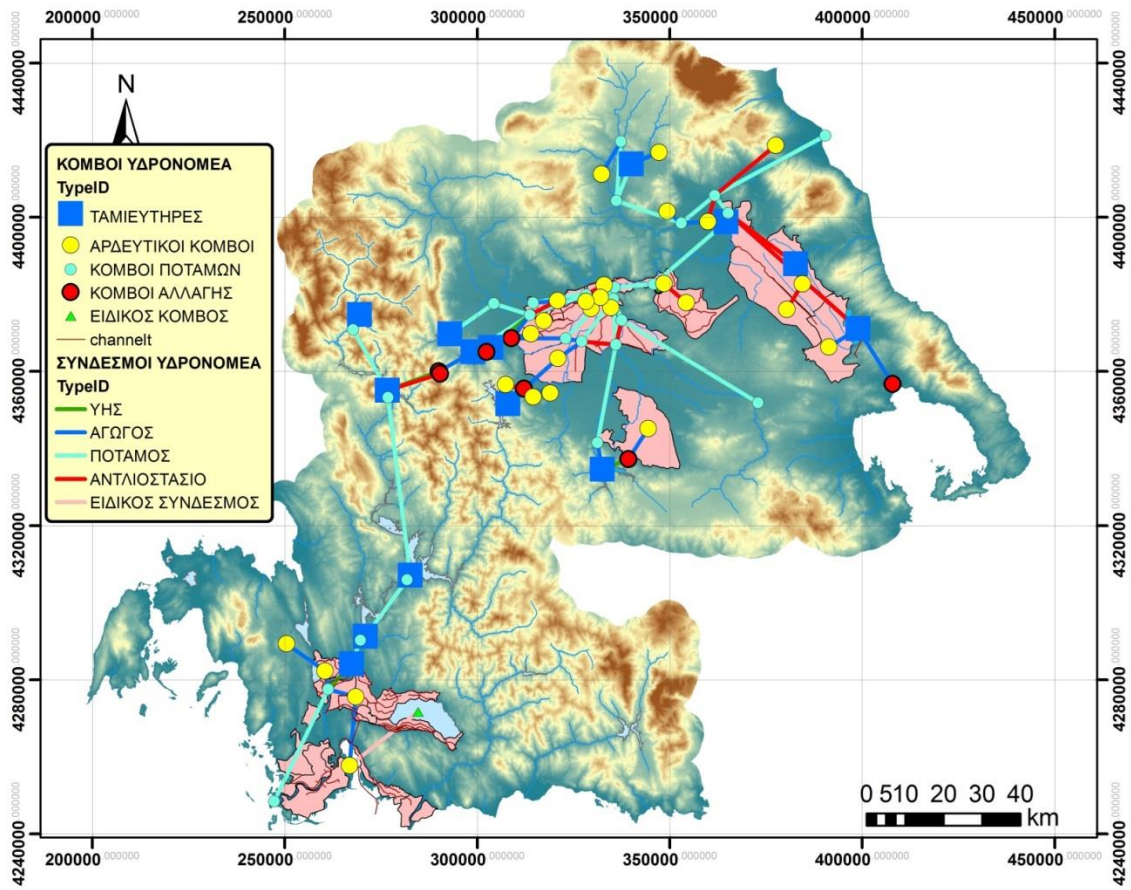
Εικόνα 5.12: Συσχέτιση αρδευόμενων εκτάσεων με υπόγεια υδατικά συστήματα.

5.3 Τελική σχηματοποίηση και εννοιολογική απεικόνιση υδροσυστήματος

Από τη σύνθεση όλων των παραπάνω πληροφοριών, καθορίστηκε η τελική σχηματοποίηση του υδροσυστήματος, που περιλαμβάνει τις ακόλουθες συνιστώσες (Εικόνα 5.13):

- Υδρογραφικό δίκτυο
- Ταμιευτήρες και φυσικές λίμνες
- Αρδευτικοί κόμβοι (αντιπροσωπεύουν αντίστοιχες αρδύμενες ζώνες)
- Κόμβοι υδρογραφικού δικτύου (κόμβοι εισροής)
- Λοιποί κόμβοι (συμβολές, θέσεις απολήψεων)
- Υδραγωγεία (αρδευτικά κανάλια και λοιπά έργα μεταφοράς νερού με βαρύτητα)
- Αγωγοί προσαγωγής Υ/Η έργων (και αντίστοιχοι σταθμοί παραγωγής – στρόβιλοι)
- Καταθλιπτικοί αγωγοί και αντλιοστάσια
- Λοιπά έργα διασύνδεσης

Η παραπάνω σχηματοποίηση υλοποιήθηκε στο μοντέλο προσομοίωσης του υδρο-ενεργειακού συστήματος, που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 9. Σε χαρακτηριστικές θέσεις του (ταμιευτήρες, κόμβοι εισροής) κατασκευάστηκαν συνθετικές χρονοσειρές υδρολογικών εισόδων (Κεφάλαιο 6), ενώ στις θέσεις ζήτησης νερού προσδιορίστηκαν οι αντίστοιχες μηνιαίες υδατικές ανάγκες για ύδρευση και άρδευση, που δίνονται στο Κεφάλαιο 7. Τέλος, η εκτίμηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, σε ωριαία κλίμακα, περιγράφεται στο Κεφάλαιο 8.



Εικόνα 5.13: Σχέση συνιστωσών μοντέλου με χωρικά δεδομένα.

6 Υδρολογικά δεδομένα εισόδου μοντέλου προσομοίωσης

6.1 Απαιτήσεις σε δεδομένα

Από την διαδικασία σχηματοποίησης που προηγήθηκε, διαμορφώθηκαν οι θέσεις στις οποίες πρέπει να εισαχθούν χρονοσειρές εισόδου του μοντέλου προσομοίωσης της λειτουργίας του υδροσυστήματος (λογισμικό Υδρονομέας). Οι απαιτούμενες υδρολογικές χρονοσειρές είναι:

- οι απορροές των υπολεκανών που συμβάλλουν στους κόμβους του υδρογραφικού δικτύου ή τροφοδοτούν ταμιευτήρες (εκφράζονται σε ισοδύναμα ύψη), και
- οι χρονοσειρές των υψών βροχόπτωσης και εξάτμισης στην επιφάνεια των λιμνών και ταμιευτήρων.

Αρχικά, καταρτίστηκαν χρονοσειρές των ιστορικών υδρολογικών δειγμάτων στις αντίστοιχες θέσεις. Για τον σκοπό αυτό, αναζητήθηκαν ιστορικά δεδομένα, πρωτογενή ή επεξεργασμένα, σε σημεία όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικά των θέσεων ελέγχου (κόμβοι μοντέλου προσομοίωσης). Τα ιστορικά δείγματα είχαν διαφορετικό μήκος, που σε κάθε περίπτωση είναι ανεπαρκές για την ασφαλή εκτίμηση πιθανοτικών μεγεθών, όπως η αξιοπιστία στην ικανοποίηση των υδατικών αναγκών και η παραγόμενη πρωτεύουσα ενέργεια. Για τον λόγο αυτό δημιουργήθηκαν, με το λογισμικό Κασταλία, συνθετικά δείγματα μήκους 1000 ετών, που αναπαράγουν τα στατιστικά χαρακτηριστικά των αντίστοιχων ιστορικών, στην ημερήσια, μηνιαία, ετήσια αλλά και υπερετήσια κλίμακα (η τελευταία αφορά στην αναπαραγωγή του φαινομένου της μακροπρόθεσμης εμμονής, γνωστής και ως δυναμικής Hurst-Kolmogorov). Σε κάποιες περιπτώσεις, απαιτήθηκαν τροποποιήσεις των συνθετικών χρονοσειρών, ώστε να γίνει αναγωγή των αρχικών μεγεθών στους κόμβους του μοντέλου.

Όπως αναφέρθηκε στο υποκεφάλαιο 2.4, η ανάλυση του συστήματος έγινε αρχικά σε μηνιαίο και στη συνέχεια σε ημερήσιο βήμα. Γενικά, τα ιστορικά δείγματα ήταν διαθέσιμα στη μηνιαία κλίμακα, και συνεπώς η παραγωγή των συνθετικών χρονοσειρών έγινε με χρήση του μηνιαίου μοντέλου στοχαστικής προσομοίωσης. Αντίθετα, πολύ λίγα δείγματα ήταν διαθέσιμα στην ημερήσια κλίμακα. Για τον σκοπό αυτό, παρήχθησαν ημερήσιες συνθετικές χρονοσειρές στις θέσεις των εν λόγω ιστορικών δειγμάτων, ενώ για την αναγωγή τους στις υπόλοιπες θέσεις εφαρμόστηκε μια εμπειρική διαδικασία επιμερισμού των αντίστοιχων μηνιαίων συνθετικών χρονοσειρών.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται, περιληπτικά, οι υδρολογικές επεξεργασίες που αφορούν στην κατάρτιση των ιστορικών δειγμάτων, την παραγωγή των συνθετικών χρονοσειρών και τις τελικές αναγωγές, για την προετοιμασία των υδρολογικών δεδομένων εισόδου του μοντέλου προσομοίωσης.

6.2 Ιστορικά δεδομένα απορροής υπολεκανών ανάντη λιμνών και ταμιευτήρων

Τα ιστορικά δείγματα ισοδύναμου ύψους απορροής των λεκανών που τροφοδοτούν φυσικές λίμνες και ταμιευτήρες (Πίνακας 6.1) καταρτίστηκαν κυρίως με βάση δεδομένα εισροών που εκτιμήθηκαν από το μηνιαίο υδατικό ισοζύγιο των ταμιευτήρων που είναι σε λειτουργία (με

εξαίρεση τον Στράτο), καθώς και ή σε συνδυασμό με ανηγμένα δείγματα μηνιαίων παροχών σε κοντινούς υδρομετρικούς σταθμούς. Τα παραπάνω δεδομένα, οι μέσες μηνιαίες τιμές των οποίων συνοψίζονται στον Πίνακα 6.2, αξιοποιήθηκαν, στη συνέχεια, για την παραγωγή των συνθετικών χρονοσειρών ύψους απορροής των αντίστοιχων υπολεκανών του μοντέλου προσομοίωσης. Αναλυτικότερα:

Υπολεκάνη ανάντη φράγματος Μεσοχώρας: Για την απορροή της υπολεκάνης ανάντη του φράγματος Μεσοχώρας υπάρχουν διαθέσιμα ιστορικά δεδομένα που έχουν προκύψει από αναγωγή δείγματος απορροής στον υδρομετρικό σταθμό Αυλάκι της ΔΕΗ. Η αναγωγή έγινε με βάση τον λόγο των επιφανειακών υψών βροχής των δύο λεκανών, και αφορά στην περίοδο 1960-1994 (Κουτσογιάννης, 1996α).

Ενδιάμεση υπολεκάνη μεταξύ φραγμάτων Μεσοχώρας και Συκιάς: Το ιστορικό δείγμα της ενδιάμεσης υπολεκάνης απορροής μεταξύ των φραγμάτων Μεσοχώρας και Συκιάς προήρθε από παρόμοια αναγωγή των υδρομετρικών δεδομένων του Αυλακίου, και αφορά στην ίδια περίοδο 1960-1994 (Κουτσογιάννης, 1996α).

Ενδιάμεση υπολεκάνη μεταξύ φραγμάτων Συκιάς και Κρεμαστών: Το διαθέσιμο ιστορικό δείγμα για τη συνολική λεκάνη ανάντη των Κρεμαστών προέρχεται από δύο πηγές. Η πρώτη καλύπτει την περίοδο 1950-1965 και αφορά σε επεξεργασμένα υδρομετρικά δεδομένα της ΔΕΗ (Μιμίκου, 1980), ενώ η δεύτερη καλύπτει την περίοδο 1966-2008, κατά την οποία καταρτίστηκε το ημερήσιο υδατικό ισοζύγιο του ταμιευτήρα, με βάση στοιχεία στάθμης και εκροών της ΔΕΗ, καθώς και εκτιμήσεις σχετικά με τις λοιπές υδρολογικές εισροές και απώλειες (Κουτσογιάννης κ.ά., 2009). Οι παραπάνω εκτιμήσεις αφορούν το σύνολο της ανάντη λεκάνης, έκτασης 3700 km². Με την κατασκευή των φραγμάτων Μεσοχώρας και Συκιάς, αυτό που ενδιαφέρει είναι η απορροή που παράγεται στην ενδιάμεση υπολεκάνη Συκιάς-Κρεμαστών, η έκταση της οποίας είναι 2395 km². Η εκτίμηση των απορροών της εν λόγω λεκάνης, έγινε απευθείας στις συνθετικές χρονοσειρές, με αφαίρεση των απορροών που παράγονται στις υπολεκάνες Μεσοχώρας και μεταξύ Μεσοχώρας-Συκιάς. Αυτό ήταν εφικτό καθώς οι συνθετικές χρονοσειρές έχουν κοινό μήκος. Σε διαφορετική περίπτωση θα έπρεπε να παραληφθεί σημαντικό τμήμα της ιστορικής χρονοσειράς απορροών των Κρεμαστών.

Ενδιάμεση υπολεκάνη μεταξύ φραγμάτων Κρεμαστών και Καστρακίου: Τα στοιχεία του ιστορικού δείγματος της υπολεκάνης μεταξύ του ταμιευτήρα Κρεμαστών και Καστρακίου προέρχονται από το μηνιαίο ισοζύγιο ταμιευτήρα Καστρακίου για την περίοδο 1969-2008, ενώ για την περίοδο 1966-1969 έγινε συμπλήρωση των δεδομένων με βάση το δείγμα στα Κρεμαστά (Κουτσογιάννης κ.ά., 2009).

Ενδιάμεση υπολεκάνη μεταξύ φραγμάτων Καστρακίου και Στράτου: Επειδή τα δεδομένα του υδατικού ισοζυγίου του Στράτου (που λειτουργεί από το 1989) είναι μειωμένης αξιοπιστίας, και λόγω της εγγύτητας των ταμιευτήρων Στράτου και Καστρακίου, έγινε η παραδοχή πως το ύψος απορροής στην ενδιάμεση υπολεκάνη είναι παρόμοιο με της υπολεκάνης μεταξύ Κρεμαστών και Καστρακίου (Κουτσογιάννης κ.ά., 2009), οπότε θεωρήθηκε κοινή χρονοσειρά ύψους απορροής των δύο υπολεκανών.

Υπολεκάνες ανάντη φραγμάτων Πύλης και Μουζακίου: Στις θέσεις κατασκευής των φραγμάτων Μουζακίου και Πύλης δεν διατίθενται αξιόπιστα πρωτογενή δείγματα παροχών, παρόλο υπάρχουν υδρομετρικοί σταθμοί που λειτουργούν από το 1960. Εξαίρεση αποτελεί η περίοδος 1986-1994, για την οποία δημοσιεύονται δείγματα ημερήσιων παροχών, για το μεν Μουζάκι από τον Μακρυγιώργο (1996), για τη δε Πύλη από τους Χατζησάββα κ.ά. (1995). Για την επέκταση προς τα πίσω, μέχρι το υδρολογικό έτος 1960-61, χρησιμοποιήθηκε ένα

μηνιαίο στοχαστικό μοντέλο αυτοπαλινδρόμησης πρώτης τάξης, με στοιχεία εισόδου τα ύψη βροχής στις υπόψη λεκάνες και τα ύψη απορροής στο Αυλάκι (Κουτσογιάννης, 1996α).

Υπολεκάνη ανάντη φράγματος Πλαστήρα: Το ιστορικό δείγμα απορροών της υπολεκάνης εκτιμήθηκε από το μηνιαίο υδατικό ισοζύγιο του ταμιευτήρα για τις περιόδους 1961-2001 (Ευστρατιάδης κ.ά., 2002) και 2002-2010 (Efstratiadis and Hadjibiros, 2011). Τα πρωτογενή δεδομένα λειτουργίας του ταμιευτήρα προέρχονται από τη ΔΕΗ.

Υπολεκάνη ανάντη φράγματος Σμοκόβου: Το ιστορικό δείγμα απορροής της υπολεκάνης ανάντη του φράγματος Σμοκόβου προέρχεται από υδρολογική προσομοίωση της ευρύτερης λεκάνης απορροής ανάντη του υδρομετρικού σταθμού Κέδρου, με το μοντέλο Υδρόγειος (Efstratiadis *et al.*, 2008). Η βαθμονόμηση του μοντέλου έγινε με βάση μηνιαίο δείγμα απορροών των υδρομετρικών σταθμών Κέδρου (1960-1982), Λουτροπηγής (1972-1982) και Ξυνιαδας (1972-1982). Για την περίοδο 2002-2007, η εκτίμηση των απορροών έγινε απευθείας από το μηνιαίο υδατικό ισοζύγιο του ταμιευτήρα (Ευστρατιάδης κ.ά., 2008).

Υπολεκάνη ανάντη φράγματος Αγιονερίου: Στη λεκάνη ανάντη του φράγματος Αγιονερίου δεν διατίθενται ιστορικά δεδομένα παροχών. Για τον λόγο αυτό, έγινε η παραδοχή πως το ανηγμένο ύψος απορροής στη λεκάνη του Ελασσονίτικου είναι παρόμοιο με αυτό της λεκάνης του Τιταρησίου, για την οποία διατίθενται εκτιμημένες απορροές από το 1961 έως το 2012 (ο πρώτος είναι παραπόταμος του δεύτερου).

Πίνακας 6.1: Ιστορικά δείγματα απορροής στις θέσεις λιμνών και ταμιευτήρων.

Λίμνη ή ταμιευτήρας	Έκταση υπολεκάνης απορροής (km ²)	Περίοδος δεδομένων
Μεσοχώρα	644.1	1960-1994
Συκιά*	530.9	1960-1994
Κρεμαστά*	2395.0	1950-2009
Καστράκι*	548.0	1966-2009
Στράτος*	202.0	1966-2009
Πύλη	128.5	1960-1994
Μουζάκι	140.6	1960-1994
Πλαστήρας	161.3	1961-2010
Σμόκοβο	376.5	1960-2007
Αγιονέρι	342.8	1961-2012
Κάρλα	1050.0	1950-2013

(*) Ενδιάμεση υπολεκάνη μεταξύ του ανάντη φράγματος και του υπόψη ταμιευτήρα.

Πίνακας 6.2: Μέσες τιμές μηνιαίου και ετήσιου ύψους απορροής στους σημαντικότερους ταμιευτήρες του υδροσυστήματος (mm).

	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιουλ.	Αύγ.	Σεπ.	Έτος
Μεσοχώρα	39.8	107.9	196.2	151.6	144.0	148.5	160.9	123.2	49.5	22.7	11.6	12.5	1168.5
Συκιά	42.6	124.1	228.5	182.4	173.1	173.1	190.7	133.6	54.2	23.9	16.0	14.4	1356.6
Κρεμαστά	39.7	93.5	160.9	143.7	133.0	133.1	125.4	83.3	41.3	25.7	18.7	19.2	1018.4
Καστράκι	49.0	91.7	166.3	137.8	147.8	124.9	95.5	56.7	29.3	23.7	18.8	21.3	964.9
Πύλη	24.8	102.5	212.2	180.2	193.3	209.2	179.8	101.4	35.5	12.4	6.8	5.6	1263.9
Μουζάκι	12.0	48.8	123.2	115.4	120.0	134.4	120.3	80.7	18.9	27.8	4.6	3.9	810.2
Πλαστήρας	41.8	76.9	156.1	134.3	143.0	161.0	137.3	81.2	28.1	18.5	13.5	9.7	994.5
Σμόκοβο	8.1	19.4	37.4	48.9	52.3	50.1	33.5	19.3	5.4	0.7	0.3	0.9	282.5

Κλειστή λεκάνη λίμνης Κάρλας: Για την λίμνη Κάρλα δεν υπάρχουν αξιόπιστα δεδομένα απορροής. Στην μελέτη των ΕΥΔΕ Αχελώου και ENVECO (1995) αναφέρεται ότι ο συντελεστής απορροής της λεκάνης Κάρλας είναι πολύ μικρός, μεταξύ 0.04 και 0.15. Στην εργασία έγινε η παραδοχή πως η μηνιαία απορροή που παράγεται στην κλειστή λεκάνη της Κάρλας είναι ίση με το 10% της μηνιαίας βροχόπτωσης στη λεκάνη. Για την τελευταία θεωρήθηκε αντιπροσωπευτική η μηνιαία χρονοσειρά βροχόπτωσης στον σταθμό Ζάππειο, το δείγμα της οποίας εκτείνεται στην περίοδο 1950-2013.

6.3 Ιστορικές χρονοσειρές απορροής κόμβων εισροής

6.3.1 Κόμβοι εισροής και αντίστοιχες λεκάνες απορροής

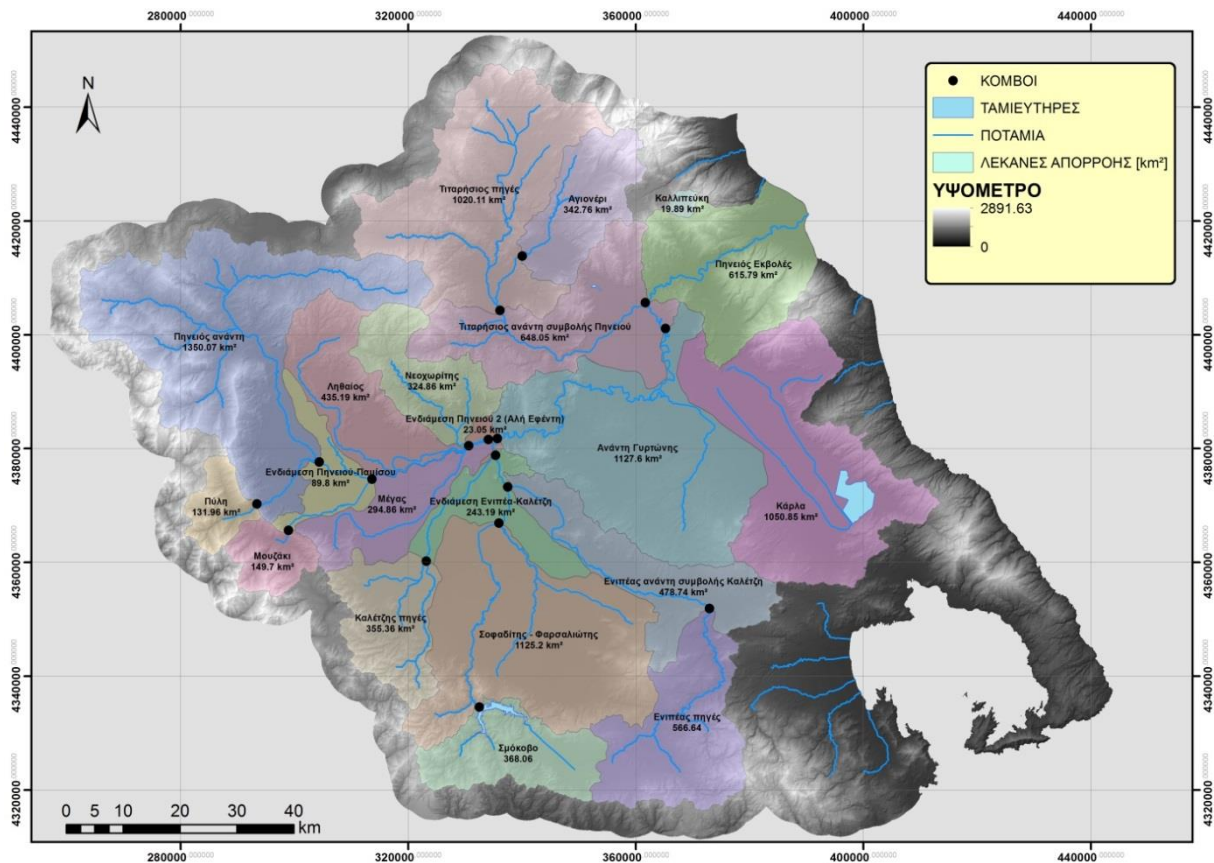
Οι κόμβοι εισροής συγκεντρώνουν την απορροή υπολεκανών του Πηνειού και των κυρίων παραποτάμων του, τα όρια των οποίων απεικονίζονται στην Εικόνα 6.1. Τα χαρακτηριστικά των κόμβων και υπολεκανών δίνονται στον Πίνακα 6.3. Υπενθυμίζεται ότι οι κόμβοι εισροής αναφέρονται σε συγκεκριμένες θέσεις του υδροσυστήματος, όπου πρέπει να είναι γνωστό το υδατικό ισοζύγιο από την φυσική προσφορά νερού και απόληψης από τις ζητήσεις του μοντέλου.

Θεωρητικά, όλοι οι κόμβοι του μοντέλου αποτελούν θέσεις εισροών. Για τις ανάγκες της προσομοίωσης, ωστόσο, επιλέχθηκαν λίγοι κόμβοι εισροής, για την απλοποίηση της διαδικασίας, στις σημαντικότερες θέσεις του υδρογραφικού δικτύου, όπου καταλήγει η απορροή των λεκανών που συμβάλλουν σε αυτούς.

Η διαδικασία κατάρτισης των ιστορικών χρονοσειρών απορροής στις λεκάνες ενδιαφέροντος είναι πιο σύνθετη αλλά και λιγότερο αξιόπιστη σε σχέση με τις υπολεκάνες των ταμιευτήρων, καθώς τα διαθέσιμα υδρομετρικά δεδομένα της περιοχής μελέτης (ειδικά στην πλευρά της Θεσσαλίας, όπου αναπτύσσονται οι κόμβοι εισροής) είναι ελλιπή, περιορισμένης ακρίβειας και μικρού μήκους.

Πίνακας 6.3: Χαρακτηριστικά κόμβων εισροής και αντίστοιχων λεκανών απορροής.

Λεκάνη απορροής	Έκταση (km ²)	Κατάντη κόμβος
Ανάντη υπολεκάνη Ενιπέα	566.6	Αμπελιά
Ανάντη υπολεκάνη Τιταρήσιου	1020.1	Τιταρήσιος (ανάντη)
Λεκάνη απορροής Μέγα	294.9	Μακρυχώρι
Ανάντη υπολεκάνη Καλέντζη	355.5	Μάρκος
Ενδιάμεση υπολεκάνη Τιταρήσιου	648.0	Τύρναβος
Ενδιάμεση υπολεκάνη Καλέντζη-Ενιπέα	243.2	Συμβολή Ενιπέα
Ανάντη υπολεκάνη Πηνειού (συμβολή με Πορταϊκό)	1350.1	ΤΟΕΒ Πύλης
Ενδιάμεση υπολεκάνη Παμίσου-Πηνειού	89.8	Αγναντερό
Ενδιάμεση υπολεκάνη Πηνειού έως τη Γυρτώνη	1127.6	Κάστρο
Ενδιάμεση υπολεκάνη Ενιπέα	478.7	Ιτέα – Φύλλο
Ενδιάμεση υπολεκάνη Σοφαδίτη-Φαρσαλιώτη	1125.2	Συμβολή Φαρσαλιώτη
Ενδιάμεση υπολεκάνη Πηνειού έως τον Αλή Εφέντη	23.1	Αλή Εφέντη
Λεκάνη απορροής Νεοχωριτή	324.9	Τρίκαλα
Λεκάνη απορροής Ληθαίου	435.2	Λόγγος



Εικόνα 6.1: Υπολεκάνες Πηγειού, για τις οποίες διαμορφώθηκαν αντίστοιχοι κόμβοι εισροής (Πηγή: Νικολόπουλος, 2015).

6.3.2 Λεκάνες Δυτικής Θεσσαλίας

Προσομοιωμένα δεδομένα απορροών σε υπολεκάνες της Δυτικής Θεσσαλίας ανακτήθηκαν από ερευνητική εργασία του Τέγου (2005· βλ. και Ευστρατιάδης κ.ά., 2006). Οι χρονοσειρές αυτές εκτιμήθηκαν μέσω συνδυασμένης υδρολογικής και υδρογεωλογικής προσομοίωσης της περιοχής με το μοντέλο Υδρογείος, και αφορούν στη σχηματοποίηση της Εικόνας 6.2. Οι παράμετροι του μοντέλου βαθμονομήθηκαν με βάση υδρομετρικά δείγματα της περιόδου 1960-1994 των υδρομετρικών σταθμών Αλή Εφέντη, Κέδρου, Σαρακήνας, Μουζακίου και Αμπελιάς, καθώς και με βάση μετρήσεις πιεζομετρίας σε αντιπροσωπευτικές γεωτρήσεις.

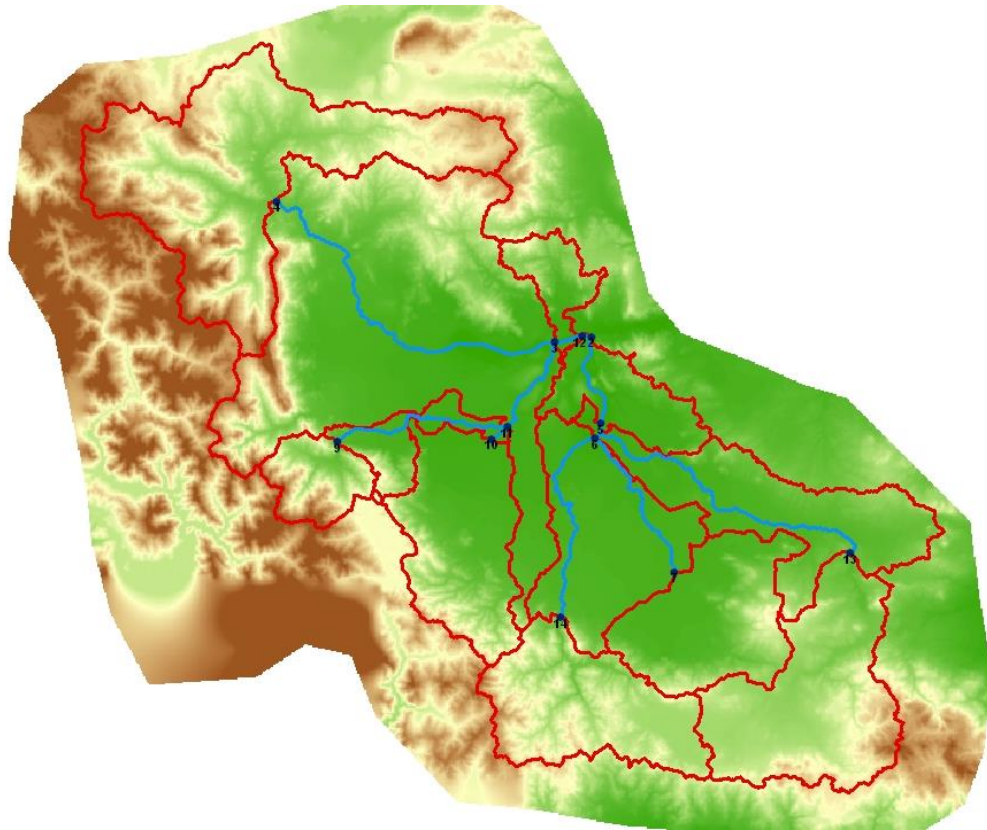
Επειδή η σχηματοποίηση αυτή διαφέρει από τη σχηματοποίηση της παρούσας μελέτης (στις περισσότερες περιπτώσεις, δεν συμπίπτουν τα όρια των υπολεκανών), έγινε αναγωγή των απορροών με βάση τους λόγους των επιφανειών τους στις ζητούμενες λεκάνες. Συνεπώς, αν A_{ij} είναι η έκταση που καταλαμβάνει η υπολεκάνη j στην περιοχή ενδιαφέροντος i και q_{ij} η αντίστοιχη απορροή, τότε η απορροή ανάντη του κόμβου εισροής i εκτιμάται από τη σχέση:

$$q_i = \frac{\sum_{j=1}^n q_{ij} A_{ij}}{\sum_{j=1}^n A_{ij}} \quad (6.1)$$

Σημειώνεται ότι η παραπάνω σχέση εφαρμόστηκε στις συνθετικές χρονοσειρές απορροής και όχι στις ιστορικές, προκειμένου να μην υπάρξει αλλοίωση των στατιστικών χαρακτηριστικών

της απορροής (π.χ. εξομάλυνση διασποράς), λόγω της αναγωγής, αλλά και προκειμένου να εξασφαλιστεί ταύτιση των χρονικών περιόδων των επιμέρους δειγμάτων.

Τέλος, επισημαίνεται ότι για την λεκάνη απορροής του Πάμισου, ανάντη του φράγματος Μουζακίου, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του υποκεφαλαίου 6.2 που βασίζονται σε υδρομετρήσεις, και όχι εκτιμημένες τιμές από την υδρολογική προσομοίωση.



Εικόνα 6.2: Διαχωρισμός λεκάνης απορροής Δυτικής Θεσσαλίας σε υπολεκάνες, στις οποίες έγινε υδρολογική προσομοίωση με το μοντέλο Υδρόγειος (Πηγή: Τέγος, 2005).

6.3.3 Λεκάνες Ανατολικής Θεσσαλίας

Για την Ανατολική Θεσσαλία τα ιστορικά υδρολογικά δεδομένα είναι πιο περιορισμένα. Για τη λεκάνη του Πηνειού μεταξύ των σταθμών Αλή Εφέντη και Λάρισας διατίθενται μηνιαίες χρονοσειρές παροχών από την επεξεργασία πρωτογενών μετρήσεων στάθμης και παροχής στους σταθμούς Γιάννουλη και Αλκαζάρ (Ζαρρή κ.ά., 1997). Τα κενά στις χρονοσειρές συμπληρώθηκαν με βάση τις επιφανειακές βροχές των λεκανών (Κουτσογιάννης κ.ά., 2001). Για την εκτίμηση της απορροής του Πηνειού στη Λάρισα αθροίστηκαν οι χρονοσειρές των σταθμών Γιάννουλη και Αλκαζάρ, που είναι τοποθετημένοι στην κανονική και την ανακουφιστική πλημμυρική κοίτη, αντίστοιχα. Από το αποτέλεσμα αφαιρέθηκε η απορροή στη θέση Αλή Εφέντη, ώστε να προκύψει η απορροή της ενδιάμεσης λεκάνης Αλή Εφέντη και Λάρισας. Λόγω της ανεπάρκειας μετρήσεων κατάντη, έγινε η παραδοχή πως το ύψος απορροής της λεκάνης μεταξύ Αλή Εφέντη και Λάρισας είναι αντιπροσωπευτικό μέχρι το φράγμα της Γυρτώνης, που είναι το πιο κατάντη κόμβος του υδροσυστήματος στον Πηνειό.

Τέλος, η απορροή στον Τιταρήσιο εκτιμήθηκε με βάση τα δεδομένα των Ζαρρή κ.ά. (1997), και πιο πρόσφατα στοιχεία που ελήφθησαν από τον Παπαλέξη (2013).

6.4 Ιστορικές χρονοσειρές επιφανειακής βροχόπτωσης ταμιευτήρων

Η βροχόπτωση που πέφτει απευθείας στην επιφάνεια των ταμιευτήρων αποτελεί μικρό, αλλά όχι αμελητέο, ποσοστό των συνολικών εισροών τους. Στο μοντέλο χρησιμοποιήθηκαν ιστορικά δεδομένα γειτονικών βροχομετρικών σταθμών, τα οποία προέρχονται από παρόμοιες πηγές με τα δεδομένα απορροής. Οι μέσες μηνιαίες και ετήσιες τιμές τους συνοψίζονται στον Πίνακα 6.4. Σημειώνεται ότι στους ταμιευτήρες Στράτου και Αγιονερίου εφαρμόστηκαν οι τιμές βροχόπτωσης του Καστρακίου και της Κάρλας, αντίστοιχα.

Πίνακας 6.4: Μέσες τιμές μηνιαίου και ετήσιου ύψους βροχόπτωσης ταμιευτήρων (mm).

	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.	Έτος
Μεσοχώρα	165.0	255.5	301.3	223.0	212.7	159.6	133.8	101.2	48.1	36.7	34.2	64.8	1735.9
Συκιά	174.9	293.3	340.5	266.6	251.1	184.7	158.4	109.2	53.5	39.1	45.1	75.4	1991.7
Κρεμαστά	108.3	216.3	210.7	149.1	144.6	115.1	95.8	72.4	37.7	26.2	20.1	50.0	1246.4
Καστράκι	103.1	202.2	194.7	132.0	138.0	102.5	77.7	50.7	34.0	18.4	22.1	41.6	1117.2
Πύλη	181.4	225.8	287.7	207.5	200.6	161.9	144.9	104.9	43.5	28.0	33.9	60.3	1680.4
Μουζάκι	154.2	197.5	245.1	194.1	175.3	143.3	125.7	86.6	40.5	25.5	29.6	57.4	1474.8
Πλαστήρας	141.9	167.1	180.2	112.1	113.2	104.0	106.8	77.3	33.1	24.7	28.8	48.8	1137.9
Σμόκοβο	95.6	102.9	89.3	71.1	85.2	77.4	68.2	53.1	26.8	21.1	23.6	47.4	753.8
Κάρλα	60.1	64.6	62.2	42.1	37.2	47.0	34.7	41.7	28.3	22.2	16.4	33.1	485.2

6.5 Ιστορικές χρονοσειρές εξάτμισης ταμιευτήρων

Στις συνιστώσες του ισοζυγίου των ταμιευτήρων περιλαμβάνονται και οι απώλειες μέσω εξάτμισης. Ακριβής υπολογισμός της εξάτμισης μπορεί να γίνει με τη μέθοδο Penman, εφόσον διατίθενται αντιπροσωπευτικές μετρήσεις θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας ηλιακής ακτινοβολίας, ταχύτητας ανέμου στην περιοχή των ταμιευτήρων. Επειδή στις θέσεις ενδιαφέροντος, δηλαδή στους ταμιευτήρες, δεν υπάρχουν τέτοια δεδομένα, εφαρμόστηκε μια ημιεμπειρική παραμετρική έκφραση που αποτελεί απλοποίηση της μεθόδου Penman, και δίνεται από τη σχέση:

$$E = \frac{aS_0 - b}{1 - cT} \quad (6.2)$$

όπου S_0 η εξωγήινη ηλιακή ακτινοβολία, που είναι αστρονομικό μέγεθος που εξαρτάται από την ημέρα του έτους και το γεωγραφικό πλάτος, και a , b και c παράμετροι. Στην περίπτωση που υπάρχει διαθέσιμο δείγμα εξάτμισης κατά Penman, οι τελευταίες εκτιμώνται μέσω βελτιστοποίησης. Με τη διαδικασία αυτή, οι Tegos *et al.* (2013) προσάρμοσαν την παραπάνω σχέση σε ένα πλήθος μετεωρολογικών σταθμών της Ελλάδας, παράγοντας έτσι σημειακές εκτιμήσεις των παραμέτρων a , b και c .

Πίνακας 6.5: Μέσες τιμές μηνιαίας και ετήσιας θερμοκρασίας μετεωρολογικών σταθμών περιοχής μελέτης (°C).

Σταθμός	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.	Έτος
Αγρίνιο	17.5	12.5	9.2	8.1	9.1	11.5	15.1	20.4	23.9	26.7	26.1	22.9	17.2
Τρίκαλα	16.1	11.2	7.1	5.6	7.4	10.3	15.3	21.5	25.0	27.4	26.4	22.6	16.3
Λάρισα	15.8	10.2	6.1	5.4	6.9	9.3	13.9	19.7	24.5	27.0	25.7	21.9	15.5

Πίνακας 6.6: Μέση μείωση θερμοκρασίας ανά 100 m αύξησης υψομέτρου κατά Giandotti.

Μήνας	Θερμοβαθμίδα	Μήνας	Θερμοβαθμίδα
Ιανουάριος	0.31	Ιούλιος	0.61
Φεβρουάριος	0.38	Αύγουστος	0.59
Μάρτιος	0.56	Σεπτέμβριος	0.59
Απρίλιος	0.63	Οκτώβριος	0.53
Μάιος	0.63	Νοέμβριος	0.43
Ιούνιος	0.63	Δεκέμβριος	0.34

Οι μετεωρολογικοί σταθμοί της περιοχής μελέτης, όπου διατίθενται δεδομένα θερμοκρασίας είναι τρεις (Αγρίνιο, Τρίκαλα, Λάρισα), οι μέσες τιμές των οποίων δίνονται στον Πίνακα 6.5. Για τους σταθμούς αυτούς διατίθενται εκτιμήσεις των παραμέτρων της ημιεμπειρικής σχέσης, που στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της εξάτμισης στον εγγύτερο κάθε φορά ταμιευτήρα, με μοναδική είσοδο τη χρονοσειρά μηνιαίας θερμοκρασίας. Οι ταμιευτήρες βρίσκονται πλησιέστερα στους σταθμούς Αγρίνιο (Κρεμαστά, Καστράκι, Στράτος), Τρίκαλα (Πύλη, Μουζάκι, Μεσοχώρα, Συκιά) και Λάρισα (Αγιονέρι, Κάρλα). Για την εκτίμηση της θερμοκρασίας στην εκάστοτε θέση ενδιαφέροντος έγινε υψομετρική αναγωγή της αντίστοιχης χρονοσειράς του πλησιέστερου σταθμού στη μέση στάθμη κάθε ταμιευτήρα, σύμφωνα με τη μέθοδο της θερμοβαθμίδας (δηλαδή της μείωσης της θερμοκρασίας συναρτήσει του υψομέτρου) κατά Giandotti (Πίνακας 6.6).

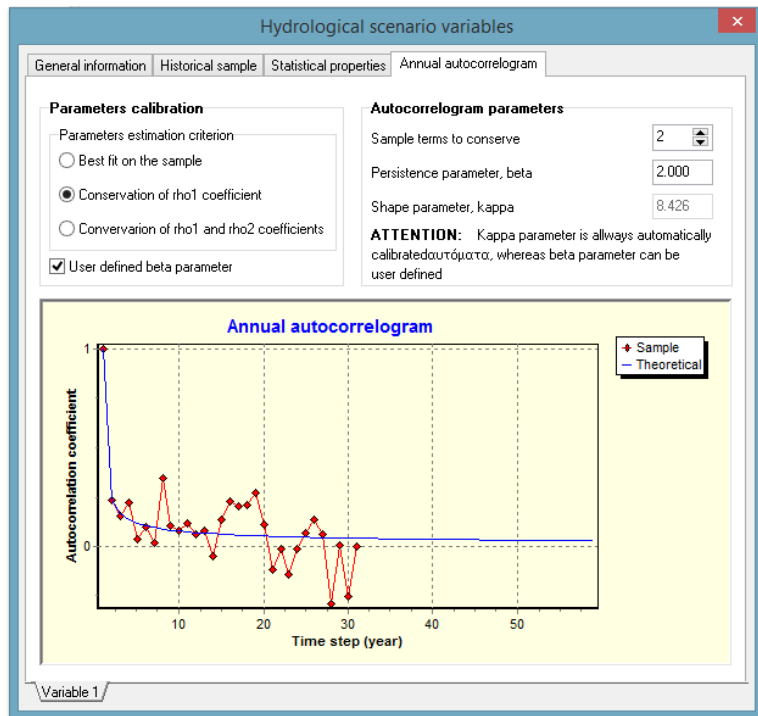
6.6 Παραγωγή μηνιαίων συνθετικών χρονοσειρών

Οι μηνιαίες ιστορικές χρονοσειρές χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου του λογισμικού Κασταλία, για την στοχαστική προσομοίωση των αντίστοιχων διεργασιών και την παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών.

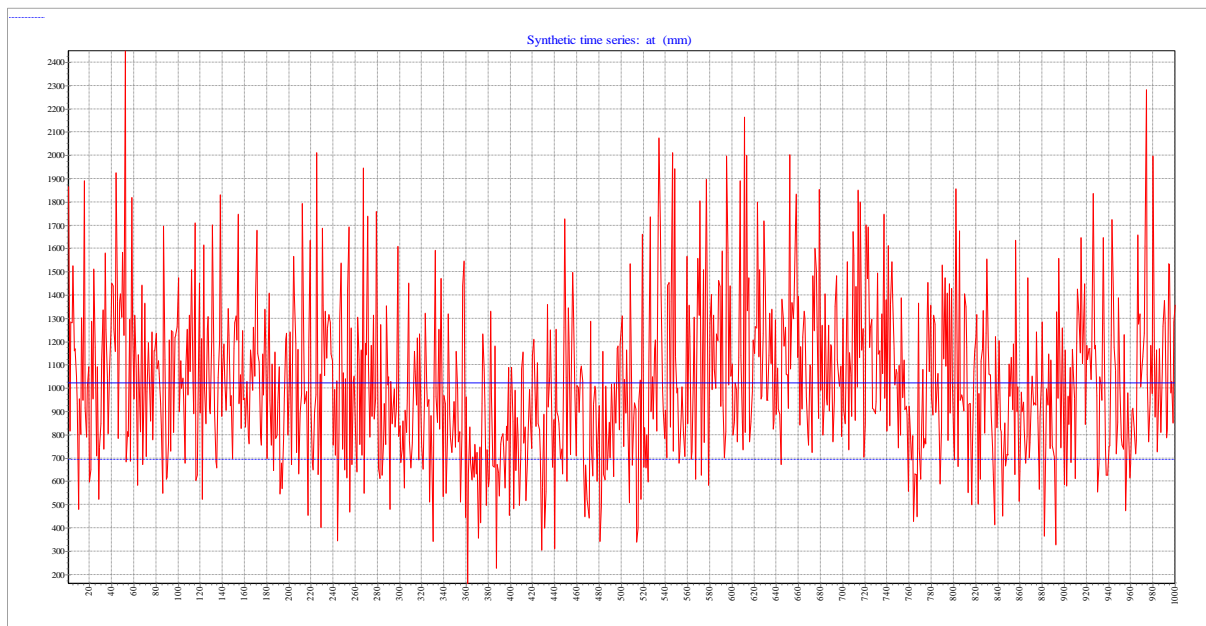
Λόγω του μικρού μήκους των ιστορικών δειγμάτων, η παράμετρος εμμονής β καθορίστηκε εμπειρικά, και τέθηκε ίση με $\beta = 2$ για όλες τις μεταβλητές (Εικόνα 6.3). Για να μπορεί να οριστεί το θεωρητικό μοντέλο αυτοσυνδιασποράς, σε ορισμένες χρονοσειρές που ο ετήσιος συντελεστής αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης ήταν (οριακά) αρνητικός, αντικαταστάθηκε από μια μικρή θετικής τιμή, ίση με $\rho_1 = 0.10$. Όλες οι χρονοσειρές εισήχθησαν στο ίδιο σενάριο ώστε να διατηρηθεί η χωρική τους συσχέτιση, δηλαδή να αναπαραχθούν οι ετεροσυσχετίσεις όλων των διεργασιών τόσο στη μηνιαία όσο και στην ετήσια κλίμακα. Τελικά, διαμορφώθηκε ένα πολυμεταβλητό μοντέλο στοχαστικής προσομοίωσης των απορροών και βροχοπτώσεων της περιοχής μελέτης, που περιλαμβάνει 26 μεταβλητές.

Από την προσομοίωση κατασκευάστηκαν συνθετικές χρονοσειρές περιόδου 1000 ετών για κάθε διεργασία (απορροή, βροχόπτωση). Αυτές είναι στατιστικά ισοδύναμες με τις ιστορικές, ενώ έχουν και χαρακτηριστικά εμμονής, με περιόδους υγρών και ξηρών ετών σε ακολουθία (Εικόνα 6.4). Το τελευταίο είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τη μελέτη του υδροσυστήματος, καθώς επιτρέπει την αξιολόγηση της συμπεριφοράς του κάτω από διαφορετικές συνθήκες, ακόμη και ακραίες (π.χ. περίοδοι μακροχρόνιων ξηρασιών).

Παρόμοια διαδικασία έγινε για την παραγωγή των συνθετικών χρονοσειρών εξάτμισης των ταμιευτήρων. Στην περίπτωση αυτή, διαμορφώθηκε ένα πολυμεταβλητό μοντέλο με είσοδο τις δέκα ιστορικές χρονοσειρές που εκτιμήθηκαν στις θέσεις των ταμιευτήρων. Σημειώνεται ότι οι συνθετικές εξάτμισεις παρήχθησαν από διαφορετικό μοντέλο, καθώς δεν συσχετίζονται με τις άλλες διεργασίες της περιοχής μελέτης (βροχόπτωση, απορροή).



Εικόνα 6.3: Προσδιορισμός θεωρητικού αυτοσυσχετογράμματος ετήσιου ύψους απορροής Κρεμαστών, στο γραφικό περιβάλλον του λογισμικού Κασταλία.



Εικόνα 6.4: Συνθετική χρονοσειρά ετήσιου ύψους απορροής ταμιευτήρα Πλαστήρα, η οποία χαρακτηρίζεται από μακροπρόθεσμη εμμονή.

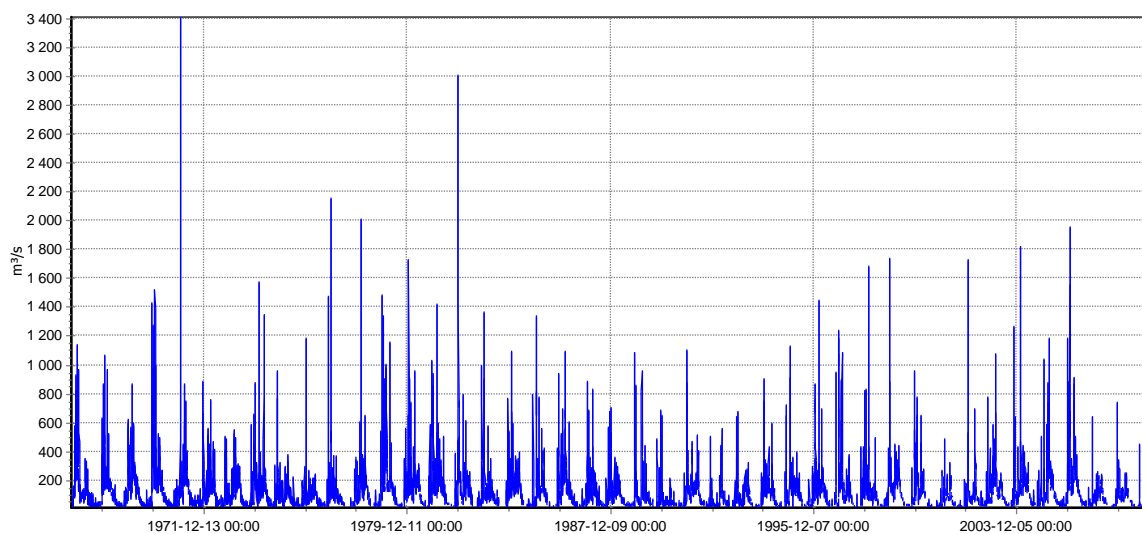
6.7 Παραγωγή ημερήσιων συνθετικών χρονοσειρών

Σε αντίθεση με τη μηνιαία κλίμακα, στην ημερήσια κλίμακα δεν υπάρχουν αξιόπιστα ιστορικά δεδομένα απορροής, με εξαίρεση τη λεκάνη ανάντη του φράγματος Κρεμαστών, στην οποία ήταν δυνατή η κατάρτιση του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου του ταμιευτήρα για την περίοδο 1966-2009 (Κουτσογιάννης κ.ά., 2009). Επισημαίνεται ότι η εκτίμηση των εισροών σε τέτοια μικρή χρονική κλίμακα με την παραπάνω μέθοδο είναι ικανοποιητικά

ακριβής, λόγω του μεγάλου μεγέθους του ταμιευτήρα και την ύπαρξης συστηματικών και αξιόπιστων μετρήσεων στάθμης και εκροών από τη ΔΕΗ. Σε άλλες περιπτώσεις, η εκτίμηση ημερήσιων παροχών από τα ισοζύγια των φραγμάτων θεωρείται, γενικά, επισφαλής. Η χρονοσειρά ημερήσιων παροχών εισροής στα Κρεμαστά δίνεται στην Εικόνα 6.5.

Η χρονοσειρά αυτή χρησιμοποιήθηκε, σε συνδυασμό με τα ιστορικά δείγματα ημερήσιων υψών βροχής σε χαρακτηριστικούς σταθμούς της περιοχής μελέτης, για την κατάρτιση ενός σεναρίου πολυμεταβλητής στοχαστικής προσομοίωσης μήκους 1000 ετών. Στη συνέχεια, οι χρονοσειρές αυτές αδιαστατοποιήθηκαν, ώστε το συνολικό ύψος απορροής (ή βροχόπτωσης) κάθε μήνα του χρονικού ορίζοντα της προσομοίωσης (12 000 μήνες) να επιμερίζεται σε αντίστοιχα ημερήσια ποσοστά. Τα ποσοστά αυτά εφαρμόστηκαν για τον επιμερισμό των μηνιαίων συνθετικών χρονοσειρές όλων των θέσεων ενδιαφέροντος στην ημερήσια κλίμακα. Ειδικότερα, όλες οι χρονοσειρές απορροής επιμερίστηκαν με βάση την αδιαστατοποιημένη ημερήσια χρονοσειρά των Κρεμαστών, ενώ οι χρονοσειρές βροχόπτωσης επιμερίστηκαν με βάση την αδιαστατατοποιημένη χρονοσειρά του εγγύτερου βροχομετρικού σταθμού, στον οποίο έγινε στοχαστική προσομοίωση.

Όσον αφορά στις χρονοσειρές εξάτμισης, υλοποιήθηκε ένα στοιχειώδες σχήμα επιμερισμού, διαιρώντας το ύψος εξάτμισης κάθε μήνα ε τον αριθμό των ημερών του μήνα. Η διαδικασία αυτή έχει επουσιώδη επίδραση στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων, καθώς η μεταβλητότητα της ημερήσιας εξάτμισης δεν επηρεάζει καθόλου τη διαχείριση των μεγάλων ταμιευτήρων. Αντίθετα, η μεταβλητότητα της απορροής δεν είναι αμελητέα, καθώς στην ημερήσια κλίμακα περιγράφονται με πολύ καλύτερη ακρίβεια η διακυμάνσις της στάθμης, που επηρεάζουν τις απολήψεις και την υδροηλεκτρική παραγωγή, καθώς και οι απώλειες λόγω υπερχειλίσις.



Εικόνα 6.5: Χρονοσειρά ημερήσιων παροχών εισροής στον ταμιευτήρα Κρεμαστών (m^3/s).

7 Εκτίμηση υδατικών αναγκών

7.1 Χρήσεις νερού περιοχής μελέτης

Η κύρια καταναλωτική χρήση νερού στην περιοχή μελέτης είναι η άρδευση, ενώ μικρότερες ποσότητες νερού διατίθενται και για ύδρευση. Μια άλλη χρήση νερού, που έχει υψηλή ιεράρχηση, είναι η περιβαλλοντική, η οποία εκφράζεται με τη μορφή περιορισμών ελάχιστης διατηρητέας παροχής κατάντη φραγμάτων, καθώς και ως περιορισμοί ελάχιστου διατηρητέου αποθέματος σε λίμνες και ταμιευτήρες (ή, ισοδύναμα, ελάχιστης στάθμης απολήψεων πάνω από τη κανονική στάθμη υδροληψίας).

Οι τρεις αυτές χρήσεις νερού αναφέρονται σε συγκεκριμένες συνιστώσες του εννοιολογικού μοντέλου του υδροσυστήματος (π.χ. αρδευτικοί κόμβοι), και η εκτίμησή τους ακολουθεί τη σχηματοποίηση του Κεφαλαίου 5. Λεπτομερής περιγραφή των δεδομένων, των παραδοχών, και της διαδικασίας εκτίμησης των υδατικών αναγκών του υδροσυστήματος δίνεται από τον Νικολόπουλο (2015).

Η υδροηλεκτρική παραγωγή, που αποτελεί μη καταναλωτική χρήση, εξετάζεται ως χωριστή ζήτηση νερού, εξαρτώμενη από την αντίστοιχη ζήτηση ενέργειας στην περιοχή μελέτης.

7.2 Αρδευτικές χρήσεις

7.2.1 Γενική μεθοδολογία εκτίμησης αρδευτικών αναγκών

Με βάση την ΚΥΑ Φ.16/6631/2.6.1989 (ΦΕΚ Β 428), έχουν διαμορφωθεί οκτώ κατηγορίες καλλιεργειών, ανάλογα με τον φυτικό συντελεστή (Πίνακας 7.1), και έχουν καθοριστεί άνω και κάτω όρια χρήσης του αρδευτικού νερού, που εκφράζουν τις θεωρητικές ανάγκες κάθε καλλιέργειας (τα όρια διαφοροποιούνται ανά περιοχή). Σημειώνεται πως για τις ξηρικές καλλιέργειες λαμβάνονται μηδενική αρδευτική ζήτηση. Για την εκτίμηση των πραγματικών αναγκών, αρχικά αφαιρείται η ενεργός βροχόπτωση και οι τιμές που προκύπτουν διαιρούνται με έναν μειωτικό συντελεστή. Γενικά, ο συντελεστής αυτός κυμαίνεται από 0.60 ως 0.90, και εκφράζει τις συνολικές απώλειες λόγω διαρροών στα δίκτυα και μειωμένης απόδοσης της αντίστοιχης μεθόδου άρδευσης (επιφανειακή, καταιονισμός, στάγδην).

Πίνακας 7.1: Κατηγορίες καλλιεργειών ανά φυτικό συντελεστή, k .

Κατηγορία	k	Είδη καλλιεργειών
I	0.55	Εσπεριδοειδή, ελιές
II	0.60	Σανός, ρόβι
III	0.65	Οπωροφόρα, άνθη ακρόδρυα, όσπρια, βαμβάκι, φράουλες
IV	0.70	Καπνά δυτικού τύπου, κηπευτικό σόργο, μπιστανικά, πατάτες, ζαχαρότευτλα, ηλίναθος, αραχίδα
V	0.75	Καλαμπόκι, γρασιδία, λεύκες
VI	0.80	Τριφύλλι, μηδική
VII	0.85	Δεν αναφέρεται
VIII	1.20	Ρύζι

7.2.2 Εκτίμηση αρδευτικών αναγκών ΛΑΠ Πηγειού

Η αγροτική παραγωγή στη Θεσσαλία (ΥΔ08) αποτελεί μία από τις κύριες οικονομικές της δραστηριότητες. Η συνολική γεωργική γη εκτείνεται σε περίπου 5 000 000 στρέμματα, με την αρδευόμενη έκταση να εκτιμάται σε περίπου 2 700 000 στρέμματα (Υπουργείο Ανάπτυξης, 2006). Από αυτά, τα 870 000 στρέμματα ανήκουν σε συλλογικά αρδευτικά δίκτυα, τα οποία διαχειρίζονται οι 55, στο σύνολο, Τοπικοί Οργανισμοί Έγγειων Βελτιώσεων (ΤΟΕΒ).

Στην παρούσα μελέτη, τα στοιχεία των καλλιεργειών ελήφθησαν από την ετήσια απογραφή της ΕΣΥΕ του έτους 2000. Για κάθε είδος καλλιέργειας, δίνονται στοιχεία για την έκταση, την παραγωγή και σε ορισμένες περιπτώσεις για τον αριθμό των φυτών ανά καλλιέργεια. Τα στοιχεία αυτά παρέχονται για κάθε Δημοτικό Διαμέρισμα (ΔΔ), παρέχοντας το πλεονέκτημα μιας αρκετά λεπτομερούς χωρικής διακριτοποίησης.

Από τα παραπάνω εκτιμήθηκαν οι καλλιεργούμενες εκτάσεις ανά κατηγορία και ανά Δήμο, ενώ για την εκτίμηση των υδατικών αναγκών πολλαπλασιάστηκε η έκταση κάθε κατηγορίας με τον μέσο όρο των εφαρμοζόμενων αρδευτικών ορίων της Θεσσαλίας, που δίνονται στον Πίνακα 7.2. Στη συνέχεια, εκτιμήθηκε η ενεργός βροχόπτωση από τον μέσο όρο των κατακρημνισμάτων σε σταθμούς που κρίνονται αντιπροσωπευτικοί για τις πεδινές εκτάσεις που αρδεύονται (Πίνακας 7.3). Ο συντελεστής αναγωγής τέθηκε ίσος με 0.65. Για την Δυτική Πεδιάδα επιλέχθηκαν ως πλέον χαρακτηριστικοί οι σταθμοί Καρδίτσας και Λάρισας, ενώ για την Ανατολική Πεδιάδα επιλέχθηκαν οι Λάρισα και Ζάππειο.

Τέλος, αφού αφαιρέθηκε η ενεργός βροχόπτωση από τις θεωρητικές ανάγκες άρδευσης, διαιρέθηκαν οι καθαρές ανάγκες ανά περιοχή με ένα συντελεστή απόδοσης που επιλέχθηκε ίσος με 0.715.

Πίνακας 7.2: Μέσες τιμές ορίων χρήσης αρδευτικού νερού στη Θεσσαλία (m³/στρέμμα).

Κατηγορία	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.
I	63.5	88.0	100.5	114.0	105.5	79.5
II	66.0	87.0	109.5	124.5	115.5	81.0
III	71.5	94.5	118.5	134.5	125.0	88.0
IV	77.0	101.5	127.5	145.0	134.5	94.5
V	82.5	108.5	137.0	155.5	144.0	101.0
VI	88.0	116.0	146.0	166.0	154.0	108.0
VII	93.5	102.0	138.0	155.0	146.5	104.0
VIII	132.0	174.0	219.0	249.0	231.0	162.0

Πίνακας 7.3: Μέσες τιμές βροχόπτωσης αρδευτικής περιόδου στην Θεσσαλία (mm).

Περιοχή	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.
Ανατολική πεδιάδα	41.6	41.9	19.5	20.3	19.0	14.6
Δυτική πεδιάδα	62.3	48.5	22.1	15.7	20.6	19.9

Πίνακας 7.4: Ποσοστιαία κατανομή μηνιαίων αρδευτικών αναγκών στη Θεσσαλία, με βάση τις εκτιμήσεις των ΕΥΔΕ Αχελώου και Υδροεξυγιαντική (1995).

Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.
5.0%	11.0%	23.6%	30.2%	26.4%	3.8%

Συγκεντρωτικά, στο Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας αρδεύονται 2 752 862 στρέμματα, με εκτιμώμενες ετήσιες ανάγκες 2032 hm³, δηλαδή τα όρια χρήσης κατά μέσο όρο εκτιμώνται σε 738 m³ ανά στρέμμα και ανά αρδευτική περίοδο. Η τιμή αυτή είναι αντιπροσωπευτική για προσωρινά έργα άρδευσης (όχι για κλειστά δίκτυα) και σύμφωνα με τις μέσες τιμές που προέβλεπε η μελέτη των ΕΥΔΕ Αχελώου και Υδροεξυγιαντικής (1995) για άρδευση από τα εκτρεπόμενα νερά του Αχελώου (760 m³/στρέμμα στο Ν. Λάρισας, 700 m³/στρέμμα στο Ν. Καρδίτσας και 730 m³/στρέμμα στο Ν. Τρικάλων). Αυτά τα μεγέθη χρησιμοποιούνται στα επόμενα στάδια των αναλύσεων, ενώ για τη μηνιαία κατανομή των αρδευτικών αναγκών εφαρμόζονται τα ποσοστά του Πίνακα 7.4, που αναφέρονται στην παραπάνω μελέτη.

Όσον αφορά στα συλλογικά αρδευτικά δίκτυα του ΥΔ08, σε αρκετά από αυτά γίνεται απόληψη επιφανειακού νερού, καθώς και η κυρίως χρήση των κρατικών γεωτρήσεων που λειτουργούν υπό την ΥΕΒ στο πλαίσιο του Προγράμματος Ανάπτυξης Υπόγειων Υδάτων Θεσσαλίας (ΠΑΥΥΘ), οι οποίες εκτιμώνται σε περίπου 1700. Ως επί το πλείστον, οι υπόλοιπες εκτάσεις που καλλιεργούνται από ιδιώτες κάνουν χρήση ιδιωτικών γεωτρήσεων ή αφορούν σε καλλιέργειες που δεν αρδεύονται. Εκτιμάται ότι έχουν διανοιχτεί συνολικά πάνω από 30 000 γεωτρήσεις, που σε πολλές περιπτώσεις μάλιστα λειτουργούν χωρίς άδεια.

7.2.3 Εκτίμηση αρδευτικών αναγκών στη ΛΑΠ Αχελώου

Από πλευράς ποσότητας νερού, και στο ΥΔ04 η άρδευση αποτελεί τον μεγαλύτερο καταναλωτή. Οι μεγαλύτερες αρδευόμενες εκτάσεις αναπτύσσονται στην περιοχή του Κάτω Αχελώου, που εκτείνεται κατάντη του Στράτου ως τις εκβολές του Αχελώου και ανατολικά ως τις εκβολές του Ευήνου. Ωστόσο, σε σχέση με το ΥΔ Θεσσαλίας, η γεωργική γη είναι κατά πολύ μικρότερη, καθώς εκτείνεται σε περίπου 1 373 000 στρέμματα, με την αρδευόμενη έκταση να εκτιμάται σε περίπου 602 000 στρέμματα (Υπουργείο Ανάπτυξης, 2006).

Σε αντίθεση με το ΥΔ08, μεγάλο μέρος της αρδευσίμης έκτασης έχει οργανωθεί σε ΤΟΕΒ, ιδιαίτερα στην περιοχή Κάτω Αχελώου, όπου η απόληψη αρδευτικού νερού γίνεται κυρίως από επιφανειακά νερά. Ειδικότερα, στο ΥΔ04 λειτουργούν 49 ΤΟΕΒ, με τους 40 να βρίσκονται στο Ν. Αιτωλοακαρνανίας. Για να καθοριστούν οι ανάγκες σε νερό άρδευσης θεωρήθηκαν οι ίδιες κατηγορίες καλλιεργειών με το ΥΔ08, αλλά με διαφορετικά (μικρότερα) μέσα όρια χρήσης ανά καλλιέργεια, τα οποία δίνονται στον Πίνακα 7.5.

Πίνακας 7.5: Μέσες τιμές ορίων χρήσης αρδευτικού νερού στη ΛΑΠ Αχελώου (m³/στρέμμα).

Κατηγορία	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.
I	51.0	80.0	103.0	114.0	106.0	72.0
II	56.0	87.0	113.0	125.0	116.0	78.0
III	60.0	95.0	122.0	135.0	125.0	85.0
IV	65.0	102.0	131.0	145.0	135.0	91.0
V	65.0	109.0	141.0	156.0	144.0	98.0
VI	74.0	116.0	150.0	166.0	154.0	104.0
VII	79.0	123.0	159.0	176.0	164.0	111.0
VIII	111.0	174.0	225.0	249.0	231.0	156.0

Πίνακας 7.6: Μέσες τιμές βροχόπτωσης αρδευτικής περιόδου στην Αιτωλοακαρνανία, με βάση τα δεδομένα του σταθμού Αγρινίου (mm).

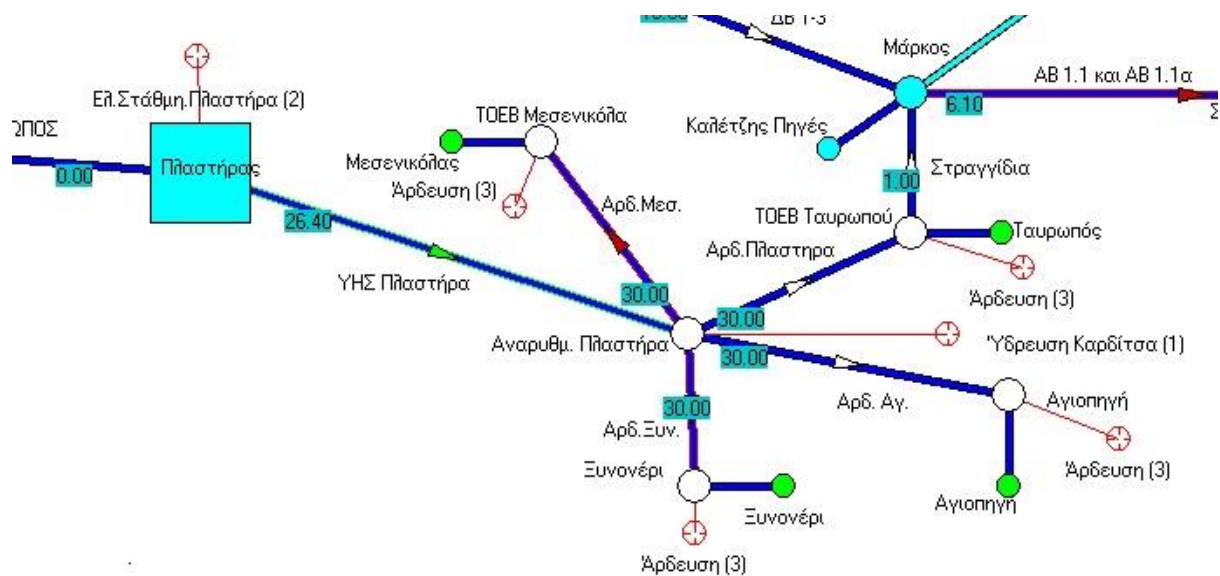
Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.
71.7	38.0	19.3	18.2	23.1	31.7

Δεδομένου ότι το σημαντικότερο μέρος της αρδευσιμης γης στην ΛΑΠ Αχελώου ανήκει σε συλλογικά αρδευτικά δίκτυα, η επιμέρους ανάλυση έγινε σε επίπεδο ΤΟΕΒ και όχι περιοχών ή δήμων, όπως στη Θεσσαλία. Για την εκτιμήση των πραγματικών αρδευτικών αναγκών, εφαρμόστηκαν οι τιμές βροχόπτωσης του σταθμού Αγρινίου, που θεωρείται ως ο πλέον αντιπροσωπευτικός για τις πεδινές περιοχές της περιοχής (Πίνακας 7.6). Στην περίπτωση αυτή, ο συντελεστής ενεργού βροχόπτωσης τέθηκε ίσος με 0.65. Οι ανάγκες άρδευσης των ΤΟΕΒ εκτιμήθηκαν με την ίδια μεθοδολογία όπως στη Θεσσαλία, προσαυξάνοντας τις πραγματικές ανάγκες με έναν συντελεστή απόδοσης 0.723 για τις απώλειες μεταφοράς και διανομής. Το όριο χρήσης ελήφθη ίσο με το μέσο όρο του Ν. Αιτωλοακαρνανίας, δηλαδή 744 m³/στρέμμα. Τέλος, η ποσοστιαία κατανομή της μηνιαίας ζήτησης θεωρήθηκε ίδια με αυτή της Θεσσαλίας (Πίνακας 7.4).

7.2.4 Κατανομή υδατικών αναγκών στους αρδευτικούς κόμβους

Με βάση τη σχηματοποίηση του Κεφαλαίου 5, διαμορφώθηκαν οι αρδευτικοί κόμβοι που υλοποιούν την απόληξη αρδευτικού νερού ευρύτερων περιοχών. Στην Εικόνα 7.1 φαίνεται η σχηματοποίηση της περιοχής Π4, που αφορά στις εκτάσεις που εξυπηρετούνται από τον ταμιευτήρα Πλαστήρα και τα αντίστοιχα έργα αξιοποίησης. Στο μοντέλο προσομοίωσης έχουν διαμορφωθεί τέσσερις αρδευτικοί κόμβοι, που συγκεντρώνουν την αρδευτική ζήτηση των ΤΟΕΒ Ταυρωπού, Μεσενικόλα, Ξυνονερίου και Αγιοπηγής.

Για κάθε κόμβο, εκτιμήθηκαν οι αντίστοιχες υδατικές ανάγκες, με συνάθροιση των τιμών που εκτιμήθηκαν με την παραπάνω μεθοδολογία, οι οποίες αναφέρονται σε λεπτομερέστερη χωρική κλίμακα (Δημοτικού Διαμερίσματος ή ΤΟΕΒ). Στον Πίνακα 7.7 δίνονται οι τιμές της μηνιαίας και ετήσιας αρδευτικής ζήτησης σε όλους τους αρδευτικούς κόμβους του μοντέλου προσομοίωσης του υδросυστήματος (32 κόμβοι, συνολικά), και οι αντίστοιχες εκτάσεις που εξυπηρετούν.



Εικόνα 7.1: Παράδειγμα σχηματοποίησης περιοχής Π4, με τον ταμιευτήρα Πλαστήρα και τα συναφή έργα αξιοποίησης.

Πίνακας 7.7: Αρδευτικοί κόμβοι υδροσυστήματος, μηνιαία ζήτηση και αντίστοιχες εκτάσεις.

Όνομασία	Περιοχή	Έκταση (στρέμ.)	Αρδευτική ζήτηση (hm ³)						
			Σύνολο	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.
ΤΟΕΒ Πύλης	Π1	5 000	3.50	0.18	0.38	0.83	1.06	0.92	0.13
Τρίκαλα Α1-Π1	Π2	33 300	23.31	0.00	0.00	0.00	1.17	2.56	5.50
Τρίκαλα Α1-Π2	Π2	19 300	13.51	0.00	0.00	0.00	0.68	1.49	3.19
Τρίκαλα Α1-Π3	Π2	6 500	4.55	0.00	0.00	0.00	0.23	0.50	1.07
Τρίκαλα Β1	Π2	19 300	13.51	0.68	1.49	3.19	4.08	3.57	0.51
ΔΒ1.1 & ΔΒ1.2	Π3	55 500	38.85	1.94	4.27	9.17	11.73	10.26	1.48
Μέγας	Π3	79 420	55.59	2.78	6.12	13.12	16.79	14.68	2.11
Παλαμάς	Π3	31 450	22.02	1.10	2.42	5.20	6.65	5.81	0.84
ΑΒ1.1	Π3	45 380	31.77	1.59	3.49	7.50	9.59	8.39	1.21
Ιτέα-Φύλλο	Π3	32 970	23.08	1.15	2.54	5.45	6.97	6.09	0.88
ΑΒ1.4	Π3	9 500	6.65	0.33	0.73	1.57	2.01	1.76	0.25
ΑΒ1.5	Π3	24 180	16.93	0.85	1.86	3.99	5.11	4.47	0.64
ΤΟΕΒ Ταυρωπού	Π4	114 300	80.01	4.00	8.80	18.88	24.16	21.12	3.04
Μεσενικόλας	Π4	3 200	2.24	0.11	0.25	0.53	0.68	0.59	0.09
Ξυνονέρι	Π4	6 000	4.20	0.21	0.46	0.99	1.27	1.11	0.16
Αγιοπηγή	Π4	22 771	15.94	0.80	1.75	3.76	4.81	4.21	0.61
Αρδ. Σμοκόβου	Π5	136 000	84.70	4.24	9.32	19.99	25.58	22.36	3.22
Λάρισα Γ1	Π6	29 500	20.65	1.03	2.27	4.87	6.24	5.45	0.78
Λάρισα Γ2	Π6	88 000	61.60	3.08	6.78	14.54	18.60	16.26	2.34
Λάρισα Ζ-Α1	Π7	280 000	196.00	9.80	21.56	46.26	59.19	51.74	7.45
Υπόλοιπο Ζ	Π7	150 000	105.00	5.25	11.55	24.78	31.71	27.72	3.99
Αρδ. Κάρλας	Π7	175 000	122.50	6.13	13.48	28.91	37.00	32.34	4.66
ΤΟΕΒ Μάτι Τυρνάβου	Π8	85 000	59.50	2.98	6.55	14.04	17.97	15.71	2.26
Τύρναβος- Δαμάστα-Βερνικ.	Π8	37 000	25.90	1.30	2.85	6.11	7.82	6.84	0.98
Παλαιοχ.-Συκιά	Π8	10 000	7.00	0.35	0.77	1.65	2.11	1.85	0.27
Ραψάνη-Ομαλό- Πυργετός	Π8	6 180	4.32	0.29	0.51	0.98	1.22	1.08	0.24
Ελασσόνα- Τσαριτσάνη	Π8	20 000	14.00	0.70	1.54	3.30	4.23	3.70	0.53
Αρδ. Κόμβος 1	Π10	32 939	23.06	1.15	2.54	5.44	6.96	6.09	0.88
Δυτ. επέκ. δικτύου	Π10	57 500	40.25	2.01	4.43	9.50	12.16	10.63	1.53
Αρδ. κόμβος 2	Π10	69 530	48.67	2.43	5.35	11.49	14.70	12.85	1.85
Τριγωνίδα- Λυσιμαχία	Π10	111 082	77.76	3.89	8.55	18.35	23.48	20.53	2.95
Αντλ. Αχελώου	Π10	311 89	21.83	1.09	2.40	5.15	6.59	5.76	0.83

7.3 Υδρευτικές χρήσεις

7.3.1 Εκτίμηση υδρευτικών αναγκών στη ΛΑΠ Πηνειού

Στο Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας, οι υδρευτικές ανάγκες εξυπηρετούνται κυρίως από γεωτρήσεις, με εξαίρεση το νερό που προέρχεται από τον ταμιευτήρα Πλαστήρα για χρήση στο Σύνδεσμο Καρδίτσας και σε 37 πέριξ Δήμους και Κοινότητες (Ευστρατιάδης κ.ά., 2002) και το νερό του ταμιευτήρα Σμοκόβου που θα χρησιμοποιηθεί για την ύδρευση της Ανατολικής Καρδίτσας σε 55 συνολικά οικισμούς των Δήμων Ταμασίου, Μενελαΐδας, Καλλιφώνου, Σοφάδων, Αρνης, Παλαμά και Φύλλου (Μαμάσης κ.ά., 2007).

Με βάση στοιχεία των ΔΕΥΑ και της απογραφής της ΕΣΥΕ του πληθυσμού του 2001, η ειδική (κατά κεφαλή) υδρευτική κατανάλωση ανέρχεται σε 170 L/d. Επίσης, κατά την μελέτη του Υπουργείου Ανάπτυξης (ΥΠΑΝ, 2006) εκτιμήθηκαν σημαντικές απώλειες στα δίκτυα, τέτοιες ώστε οι συνολικές ετήσιες υδρευτικές ανάγκες του μόνιμου πληθυσμού του ΥΔ Θεσσαλίας να εμφανίζονται προσαυξημένες κατά 40%, στα 64.2 hm³.

Στις ανάγκες ύδρευσης συνυπολογίζονται και πρόσθετες ζητήσεις πόσιμου νερού λόγω του τουρισμού. Στο ΥΔ08 υπάρχει τουριστική κίνηση κυρίως κατά την χειμερινή περίοδο, ιδιαίτερα στη περιοχή του Πηλίου, στην ευρύτερη περιοχή της Λίμνης Πλαστήρα, στην Καλαμπάκα και στο Περτούλι Τρικάλων, ενώ παρατηρείται και στις παραθαλάσσιες περιοχές της Λάρισας το καλοκαίρι. Η ετήσια ζήτηση εκτιμήθηκε με μεγαλύτερες ανάγκες ανά διανυκτέρευση, που κυμαίνονται από 300 ως 400 L/d, με βάση στοιχεία της ΕΣΥΕ για το έτος 2002. Με τις παραπάνω παραδοχές, το Υπουργείο Ανάπτυξης εκτιμά πρόσθετες ανάγκες της τάξης των 0.52 hm³ ετησίως.

Στις υδρευτικές ανάγκες μπορούν να ενταχθούν και αυτές για κτηνοτροφική και βιομηχανική χρήση, που βεβαίως δεν απαιτούν αντίστοιχης ποιότητας νερό. Συνολικά, στο ΥΔ08 εκτρέφονται περίπου 4.3 εκατομμύρια ζώα, με εκτιμώμενες ετήσιες ανάγκες 12.8 hm³. Ως προς την χωρική κατανομή της βιομηχανικής δραστηριότητας το 63.3% αναπτύσσεται στην λεκάνη του Πηνειού, ενώ το 36.7% στην λεκάνη ρεμάτων Αλμυρού-Πηλίου. Με βάση τη μελέτη του ΥΠΑΝ, η συνολική ζήτηση εκτιμάται σε 17.65 hm³.

7.3.2 Εκτίμηση υδρευτικών αναγκών στη ΛΑΠ Αχελώου

Με βάση την έκθεση του ΥΠΑΝ που χρησιμοποιεί στοιχεία απογραφών της ΕΣΥΕ του 2001 (ΥΠΑΝ, 2006), εκτιμήθηκε μια μέση ζήτηση ανά κάτοικο 170 L/d. Σε ετήσια βάση, η καθαρή ζήτηση φτάνει τα 18.7 hm³, ενώ με την παραδοχή απωλειών της τάξης του 40%, η συνολική υδρευτική ζήτηση ανέρχεται στα 25.06 hm³.

Στις ανάγκες ύδρευσης ακόμα θα πρέπει να συνυπολογιστούν πρόσθετες ζήτησης πόσιμου νερού λόγω του τουρισμού. Στο ΥΔ04 υπάρχει τουριστική κίνηση κατά την χειμερινή περίοδο, ιδιαίτερα στη περιοχή της ορεινής Ναυπακτίας και της Ευρυτανίας, ενώ τη θερινή περίοδο κύριος προορισμός είναι η Λευκάδα. Η εκτίμηση έγινε με τον ίδιο τρόπο όπως στη Θεσσαλία, οπότε προκύπτει μια επιπρόσθετη ετήσια ζήτηση της τάξης των 0.21 hm³.

Ακόμη, οι ανάγκες για κτηνοτροφική χρήση εκτιμώνται σε 8.32 hm³. Σημειώνεται πως το 79% της δραστηριότητας της εσταλισμένης κτηνοτροφίας λαμβάνει χώρα στην ΛΑΠ Αχελώου, και συγκεκριμένα στον ποταμό Αχελώο και τις λίμνες Βουλκαρία και Λυσιμαχία, ενώ σχεδόν όλη η υπόλοιπη δραστηριότητα λαμβάνει χώρα στη ΛΑΠ Μόρνου.

Τέλος, για τη βιομηχανική χρήση, η εκτιμώμενη ζήτηση είναι πολύ μικρή, γύρω στα 0.36 hm³ ετησίως.

7.3.3 Υδρευτική ζήτηση υδροσυστήματος

Στο μοντέλο προσομοίωσης, η υδρευτική ζήτηση αφορά μόνο στις χρήσεις εκείνες που εξυπηρετούνται από επιφανειακούς υδατικούς πόρους, συγκεκριμένα τους ταμιευτήρες Πλαστήρα, Σμόκοβο και Καστράκι. Οι σχετικοί στόχοι ζήτησης, οι μηνιαίες τιμές των οποίων δίνονται στον Πίνακα 7.8, αναφέρονται στις εξής συνιστώσες του υδροσυστήματος:

Αναρρυθμιστικό Πλαστήρα (περιοχή Π4): Στον κόμβο τίθεται στόχος σταθερής ζήτησης 2.0 hm³ ανά μήνα, που αναφέρεται στις υδρευτικές ανάγκες της ευρύτερης περιοχής της Καρδίτσας. Η τιμή αυτή θεωρείται ότι καλύπτει την μελλοντική αύξηση του πληθυσμού και του χειμερινού τουρισμού (Ευστρατιάδης κ.ά., 2006). Στη μελέτη των ΕΥΔΕ Αχελώου και ΥΠΕΧΩΔΕ (1995) αναφέρεται ότι το έτος 1993 η συνολική ζήτηση ήταν 15 hm³, ενώ για το έτος 2035 προβλέπεται ζήτηση 23 hm³.

Ανατολική Καρδίτσα (περιοχή Π4): Ο σχετικός στόχος ζήτησης αφορά στις υδρευτικές ανάγκες των περιοχών που προβλέπεται να εξυπηρετούνται από τον ταμιευτήρα Σμοκόβου. Συγκεκριμένα, πρόκειται για 55 κοινότητες των Δήμων Ταμασίου, Μενελαΐδας, Καλλιφώνου, Σοφάδων, Άρνης, Παλαμά και Φύλλου, ο πληθυσμός σχεδιασμού των οποίων (για το έτος 2042) εκτιμήθηκε σε 55 000 άτομα. Μέχρι τώρα, οι κοινότητες αυτές υδρεύονται είτε από γεωτρήσεις είτε από τοπικές πηγές, ενώ ο Δήμος Σοφάδων υδροδοτείται και από τη λίμνη Πλαστήρα. Σημειώνεται ότι οι τιμές του πίνακα εκτιμήθηκαν θεωρώντας ειδική κατανάλωσης 250 L/d, που αντιστοιχεί σε ετήσια ζήτηση της τάξης των 5 hm³ (Κουκουβίνος κ.ά., 2006).

Ταμιευτήρας Καστρακίου (περιοχή Π9): Από τον ταμιευτήρα εκτρέπεται μικρή ποσότητα νερού για την εξυπηρέτηση των υδρευτικών αναγκών της ευρύτερης περιοχής του Αγρινίου. Η ΔΕΥΑ Αγρινίου εκτιμά ετήσια ζήτηση της τάξης των 7 hm³, που θεωρήθηκε πως ακολουθεί τη μηνιαία κατανομή της μηνιαίας ζήτησης της Ανατολικής Καρδίτσας.

Πίνακας 7.8: Υδρευτική ζήτηση υδροσυστήματος.

Μήνας	Αναρρυθμιστικό Πλαστήρα	Ανατολική Καρδίτσα	Ταμιευτήρας Καστρακίου
Οκτώβριος	2.00	0.33	0.47
Νοέμβριος	2.00	0.33	0.47
Δεκέμβριος	2.00	0.33	0.47
Ιανουάριος	2.00	0.33	0.47
Φεβρουάριος	2.00	0.33	0.47
Μάρτιος	2.00	0.33	0.47
Απρίλιος	2.00	0.51	0.72
Μάιος	2.00	0.51	0.72
Ιούνιος	2.00	0.51	0.72
Ιούλιος	2.00	0.62	0.87
Αύγουστος	2.00	0.51	0.72
Σεπτέμβριος	2.00	0.51	0.72
Σύνολο	24.00	5.16	6.82

7.4 Περιβαλλοντικοί περιορισμοί

7.4.1 Ελάχιστη διατηρητέα παροχή ποταμών

Η ελάχιστη διατηρητέα παροχή κυρίως αναφέρεται στους ταμιευτήρες, στους οποίους τίθεται ως στόχος ελάχιστης εκροής κατάντη, είτε σταθερός είτε εποχιακά μεταβαλλόμενος (Πίνακας 7.9). Στο μοντέλο προσομοίωσης, οι σχετικοί περιορισμοί ορίστηκαν, ανά περιοχή, ως εξής:

Περιοχή Π1: Η ελάχιστη διατηρητέα παροχή στον Αχελώο κατάντη των ταμιευτήρων Μεσοχώρας και Συκιάς τέθηκε ίση με 1.5 και 5.0 m³/s, αντίστοιχα, όπως προβλέπεται στην ΜΠΕ των ΕΥΔΕ Αχελώου και ENVECO (1995). Για τον Πάμισο, τέθηκε στόχος εκροής 0.15 m³/s από τον ταμιευτήρα Μουζακίου, ενώ για τον Πορταϊκό τέθηκε στόχος περιβαλλοντική παροχής 0.15 m³/s κατάντη του ταμιευτήρα Πύλης, στην οποία προστίθενται 0.35 m³/s ώστε να επιτευχθεί η ισορροπία του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα που διαταράσσεται με την κατασκευή του φράγματος (Κουτσογιάννης, 1996β).

Περιοχή Π5: Στον ταμιευτήρα Σμοκόβου τέθηκε εποχιακά μεταβαλλόμενη περιβαλλοντική παροχής, σύμφωνα με τη ΜΠΕ του έργου (Βαβίζος κ.ά., 1995). Στη μελέτη προβλέπεται να αφήνεται μέσω του εκκενωτή πυθμένα εκροή από 0.7 έως 1.1 m³/s κατά τους μήνες Απρίλιο έως Σεπτέμβριο, για τον εμπλουτισμό του κώνου του Σοφαδίτη και προστασία των κατάντη οικοσυστημάτων.

Περιοχή Π7: Στον κόμβο Γυρτώνης, τίθεται στόχος ελάχιστης εκροής 10 m³/s ανά μήνα, με την οποία εξασφαλίζεται η διατήρηση περιβαλλοντικής παροχής στις εκβολές του Πηνηιού.

Περιοχή Π8: Σύμφωνα με την περιβαλλοντική μελέτη του φράγματος Αγιονερίου, προβλέπεται η θέσπιση περιορισμού ελάχιστης συνεχούς παροχής ίσης με 0.204 m³/s.

Περιοχή Π9: Στη ΜΠΕ των έργων εκτροπής του Αχελώου (ΕΥΔΕ Αχελώου και ENVECO, 1995) είχε καθοριστεί σταθερή παροχή περιβαλλοντικής διατήρησης στις εκβολές του Αχελώου ίση με 21.0 m³/s. Ωστόσο, προκειμένου να διατηρούνται τα χαρακτηριστικά εποχικότητας της φυσικής παροχής του ποταμού, εφαρμόζεται η περιβαλλοντική παροχή που εκτιμήθηκε από τους Efstratiadis *et al.* (2014), η οποία τίθεται ως στόχος ελάχιστης παροχής κατάντη του ταμιευτήρα Στράτου.

Περιοχή Π10: Μέσω της ΔΧΙ μεταφέρονται 47 hm³ ετησίως για τον εμπλουτισμό της λίμνης Τριγωνίδας. Στο μοντέλο γίνεται η παραδοχή πως η εκροή πραγματοποιείται κατά την αρδευτική περίοδο, και ακολουθεί την ίδια κατανομή με την άρδευση. Ο σχετικός στόχος τοποθετείται στον κόμβο 2, ώστε να εξυπηρετείται πάντοτε από νερά του Αχελώου.

Πίνακας 7.9: Περιβαλλοντική παροχή σε διάφορες θέσεις του υδροσυστήματος (m³/s).

Συνιστώσα	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιάν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.
Μεσοχώρα	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Συκιά	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Μουζάκι	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Πύλη	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Σμόκοβο	–	–	–	–	–	–	0.14	0.66	0.94	1.09	0.69	0.27
Γυρτώνη	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Αγιονέρι	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Στράτος	27.8	27.8	31.3	34.3	33.6	29.0	21.0	22.8	18.5	17.7	17.9	21.4

7.4.2 Ελάχιστη στάθμη ταμιευτήρα Πλαστήρα

Λόγω της τουριστικής αξιοποίησης της περιοχής γύρω από την τεχνητή λίμνη, υπάρχει η απαίτηση η λίμνη να διατηρεί την στάθμη της ψηλά, ώστε να αποκρύπτεται η νεκρή ζώνη που μειώνει την καλαισθησία της. Συνεπώς, απαιτείται να παραμένει η στάθμη τουλάχιστον στα +782 m, στο όριο δηλαδή όπου ακόμα η λίμνη παραμένει ικανοποιητικά καλαίσθητη από επισκέπτες (Σαργέντης και Χριστοφίδης, 2002) και η απολήψιμη ποσότητα με ικανοποιητική αξιοπιστία δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα (Ευστρατιάδης κ.ά., 2002).

Στο μοντέλο προσομοίωσης, η απαίτηση αυτή τίθεται ως περιορισμός ελάχιστου αποθέματος, που τίθεται σε υψηλότερη προτεραιότητα σε σχέση με την αρδευτική ζήτηση της περιοχής. Με τον τρόπο αυτό, στον ταμιευτήρα Πλαστήρα διατηρείται ωφέλιμο απόθεμα 83.4 hm³, εξασφαλίζοντας πλήρη, πρακτικά, αξιοπιστία στην κάλυψη των αναγκών ύδρευσης, ενώ συμβάλλει θετικά στον περιορισμό του κινδύνου ευτροφισμού της λίμνης.

8 Εκτίμηση ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας

8.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό προσομοιώνεται η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στην περιοχή της Θεσσαλίας, η οποία αφορά στην οικιακή, δημοτική και βιομηχανική χρήση. Η συνολική ζήτηση προκύπτει προσθέτοντας τη συνιστώσα της ζήτησης ενέργειας για γεωργική χρήση, η οποία αντιμετωπίζεται με διαφορετική μεθοδολογία.

Η προσομοίωση πραγματοποιείται στην ημερήσια και ωριαία κλίμακα. Για την προσομοίωση λαμβάνουμε υπόψη τα οικονομικά και κλιματικά δεδομένα και τις περιοδικότητες των χρονοσειρών και χρησιμοποιούμε τις χρονοσειρές που προκύπτουν μετά την αφαίρεση των περιοδικοτήτων. Στην συνέχεια, παράγονται στάσιμες συνθετικές χρονοσειρές εφαρμόζοντας μεθόδους bootstrap, στις οποίες χρησιμοποιούμε τμήματα τυχαίου μήκους παραγόμενα από μια γεωμετρική κατανομή. Στις χρονοσειρές αυτές προσθέτουμε τις περιοδικότητες που έχουν αφαιρεθεί, ώστε να προκύψουν οι τελικές χρονοσειρές στη μηνιαία κλίμακα. Στο τελικό στάδιο των υπολογισμών, οι μηνιαίες χρονοσειρές ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας επιμερίζονται στην ωριαία κλίμακα (Tyrallis *et al.*, 2015, 2016).

8.2 Δεδομένα

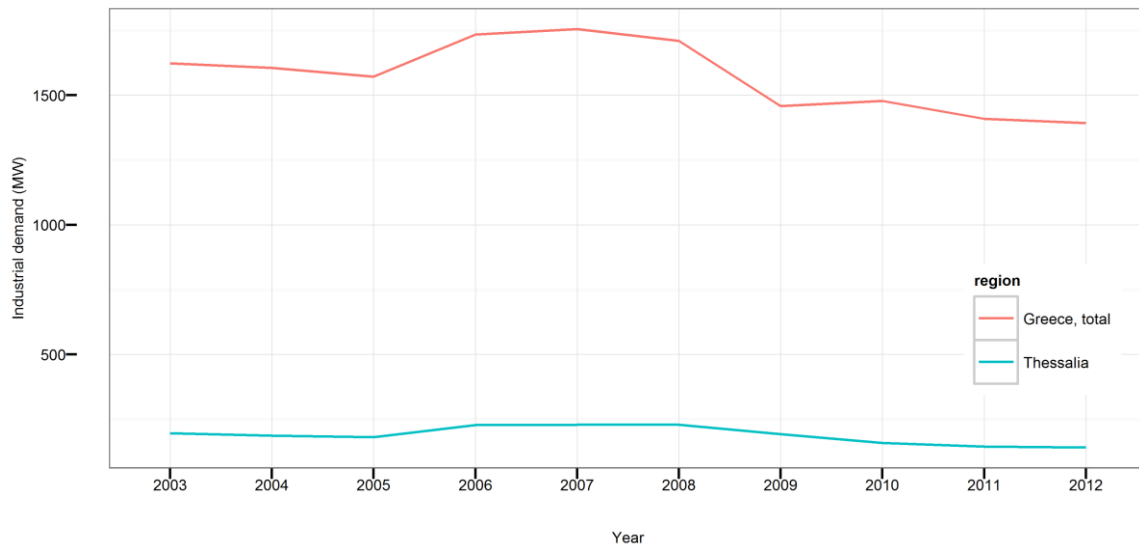
Χρησιμοποιούνται δεδομένα ωριαίας ζήτησης ισχύος του IPTO (2015) της χρονικής περιόδου 2003-2012 για την Ελλάδα, και κατανομή της ζήτησης σε διάφορες χρήσεις σε ετήσια κλίμακα, για την Ελλάδα και την Θεσσαλία από την ΕΛΣΤΑΤ.

Τα δεδομένα ωριαίας ζήτησης ενέργειας μετασχηματίζονται σε ημερήσια ζήτηση ενέργειας. Από την ημερήσια συνολική ζήτηση ενέργειας για την Ελλάδα πρέπει να εξάγουμε την ημερήσια συνολική ζήτηση ενέργειας για την Θεσσαλία. Στην συνέχεια από τις δύο προηγούμενες ζητήσεις πρέπει να αφαιρεθεί η ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση. Ωστόσο η συνολική ζήτηση ενέργειας είναι σε ημερήσια κλίμακα, ενώ οι δείκτες που θα χρησιμοποιήσουμε για την αναγωγή σε ετήσια.

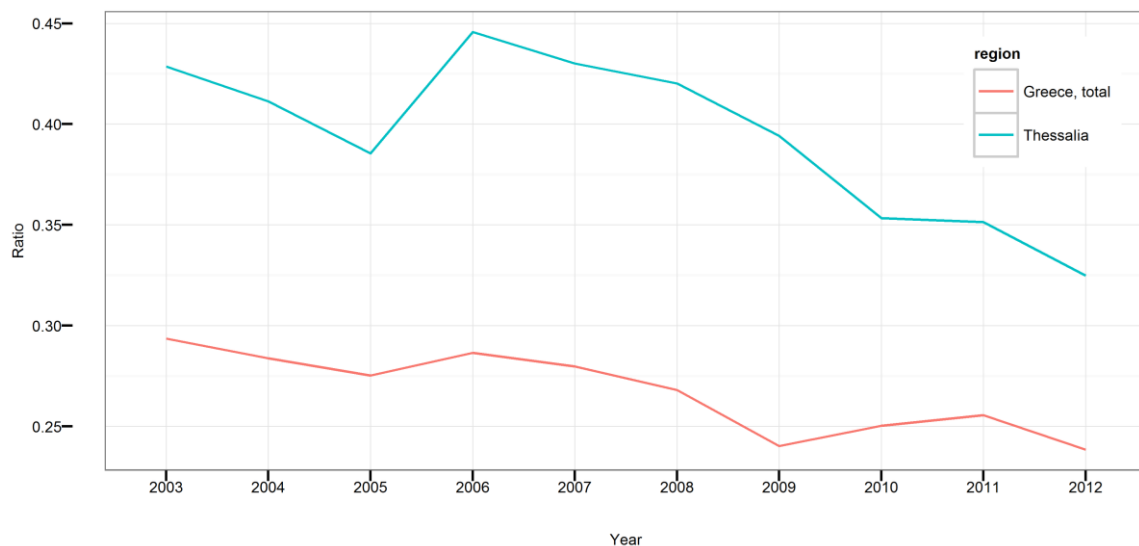
Εκτός των δεικτών που έχουν σχέση με την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση και την κατανομή ενέργειας στην Θεσσαλία σε σχέση με το σύνολο της Ελλάδας, ενδιαφέρον παρουσιάζει και η ενέργεια για βιομηχανική χρήση, η οποία συνήθως αφαιρείται από την συνολική ζήτηση για ενέργεια κατά την πρόβλεψη ζήτησης ενέργειας. Στην περίπτωσή μας, λόγω των δεδομένων που είναι σε ετήσια κλίμακα, θεωρήσαμε ότι τα αποτελέσματα θα ήταν καλύτερα, εάν δεν αφαιρούσαμε την ζήτηση ενέργειας για βιομηχανική χρήση.

Στην συνέχεια παρουσιάζουμε τους δείκτες που χρησιμοποιούμε. Στην Εικόνα 8.1 και την Εικόνα 8.2 παρουσιάζουν δείκτες για την ζήτηση ενέργειας για βιομηχανική χρήση στην Θεσσαλία και την Ελλάδα. Η Εικόνα 8.3 και η Εικόνα 8.4 παρουσιάζουν τους αντίστοιχους δείκτες για την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση. Η Εικόνα 8.5 παρουσιάζει τον λόγο συνολικής ζήτησης ενέργειας της Θεσσαλίας ως προς την Ελλάδα, ενώ στην Εικόνα 8.6 και την Εικόνα 8.7 τους αντίστοιχους λόγους για την ζήτηση ενέργειας για βιομηχανική και γεωργική χρήση αντίστοιχα. Για την μηνιαία κατανομή της ζήτησης ενέργειας για γεωργική χρήση σε κάθε έτος εφαρμόστηκαν οι τυπικοί συντελεστές που χρησιμοποιήθηκαν για τις εκτιμήσεις των αρδευτικών αναγκών του υδροσυστήματος (Πίνακας 7.4).

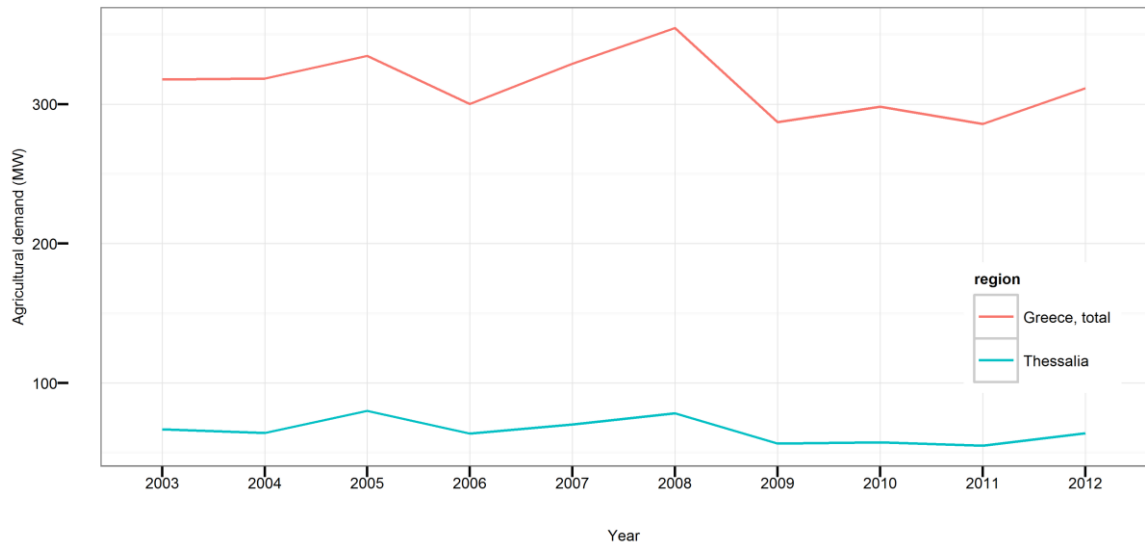
Αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση, προκύπτουν η Εικόνα 8.8 και η Εικόνα 8.9, με την ζήτηση ενέργειας για την Ελλάδα, και η Εικόνα 8.10 με την Εικόνα 8.11 για την ζήτηση ενέργειας στην Θεσσαλία. Η διαδικασία της αφαίρεσης της ζήτησης ενέργειας για γεωργική χρήση γίνεται με την χρήση γραμμικών μετασχηματισμών. Στην Εικόνα 8.9 και την Εικόνα 8.11 παρατηρούμε ότι μεγάλες αυτοσυσχετίσεις μεταξύ μεταβλητών που απέχουν 7 ημέρες ή ακέραια πολλαπλάσια του διαστήματος των 7 ημερών.



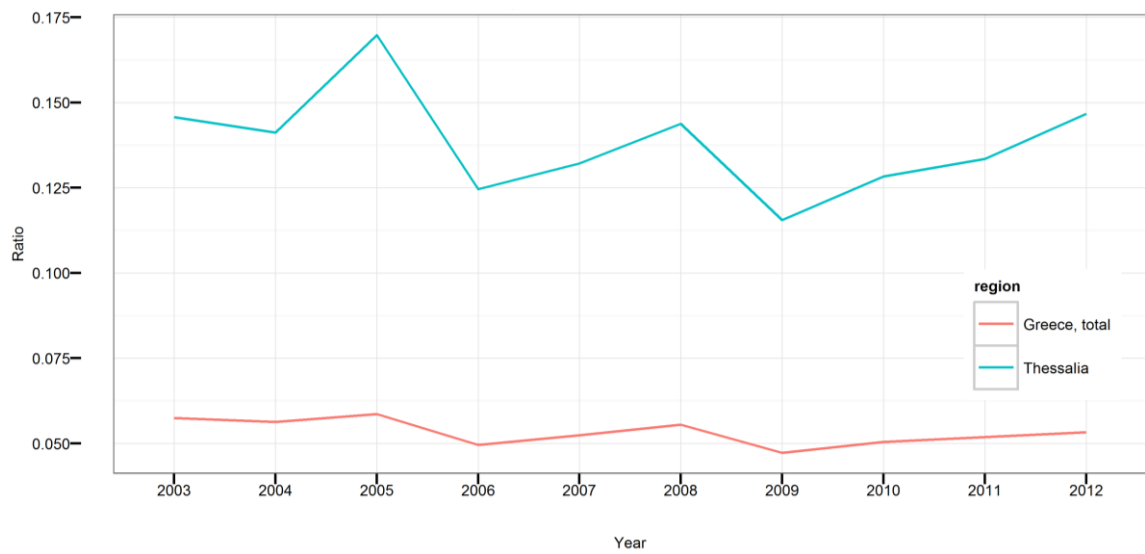
Εικόνα 8.1: Ετήσια ζήτηση ενέργειας για βιομηχανική χρήση στην Θεσσαλία και την Ελλάδα.



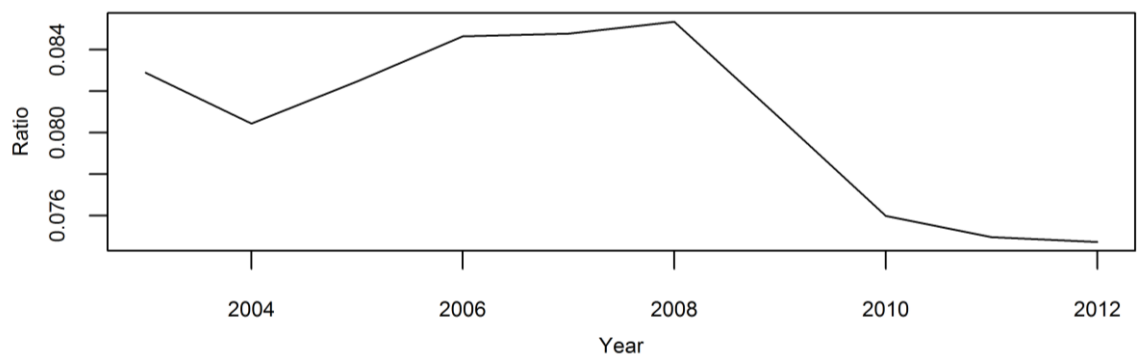
Εικόνα 8.2: Λόγος ζήτησης ενέργειας για βιομηχανική χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας για την Θεσσαλία και την Ελλάδα.



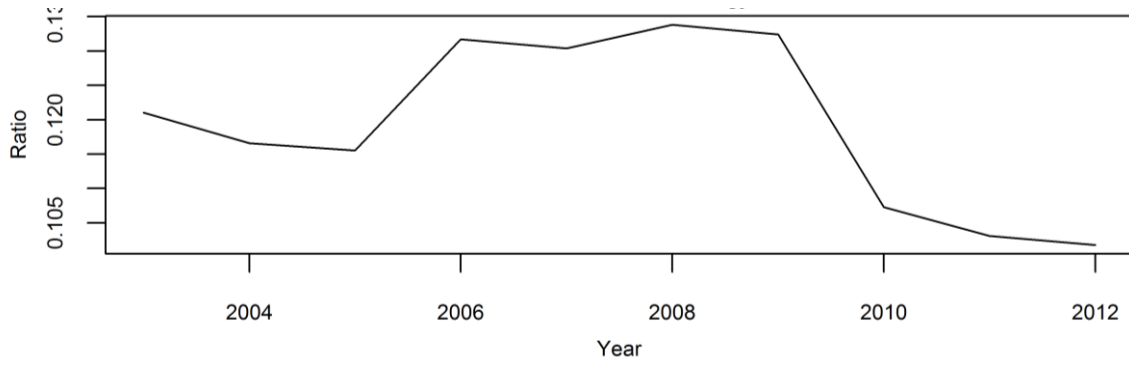
Εικόνα 8.3: Ετήσια ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση στην Θεσσαλία και την Ελλάδα.



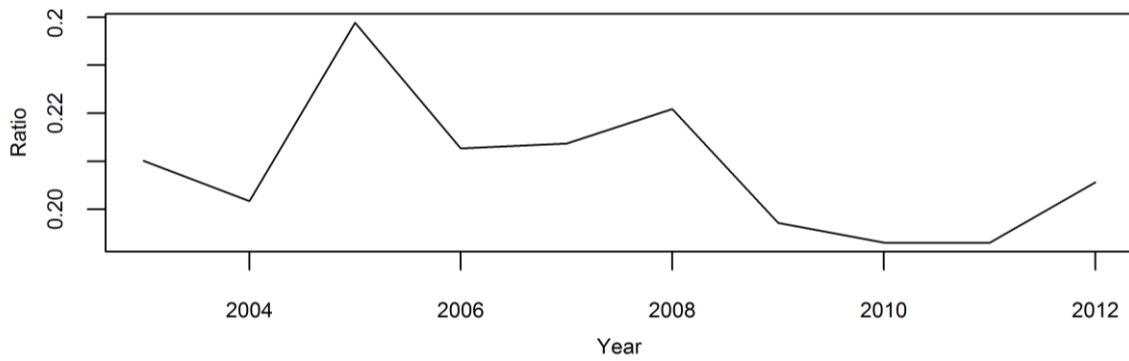
Εικόνα 8.4: Λόγος ζήτησης ενέργειας για γεωργική χρήση προς την συνολική ζήτηση ενέργειας για την Θεσσαλία και την Ελλάδα.



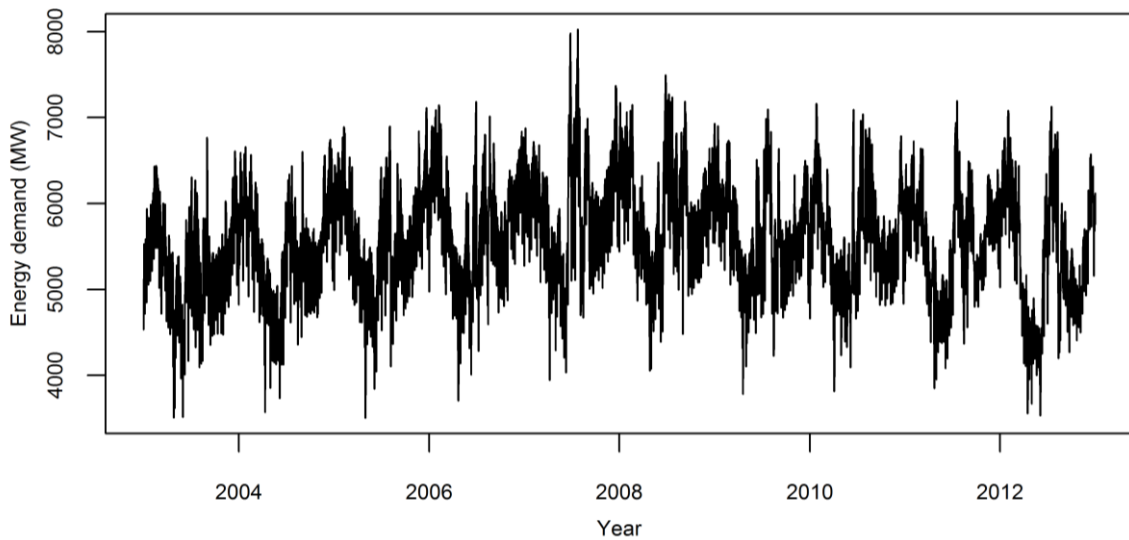
Εικόνα 8.5: Λόγος συνολικής ζήτησης ενέργειας της Θεσσαλίας ως προς την Ελλάδα.



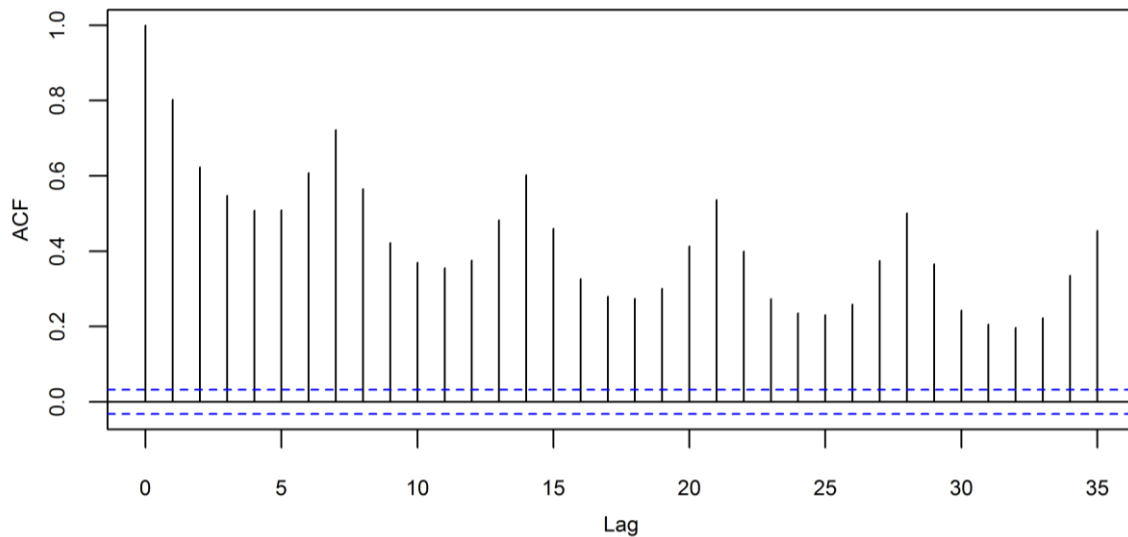
Εικόνα 8.6: Λόγος ζήτησης ενέργειας για βιομηχανική χρήση της Θεσσαλίας ως προς την Ελλάδα.



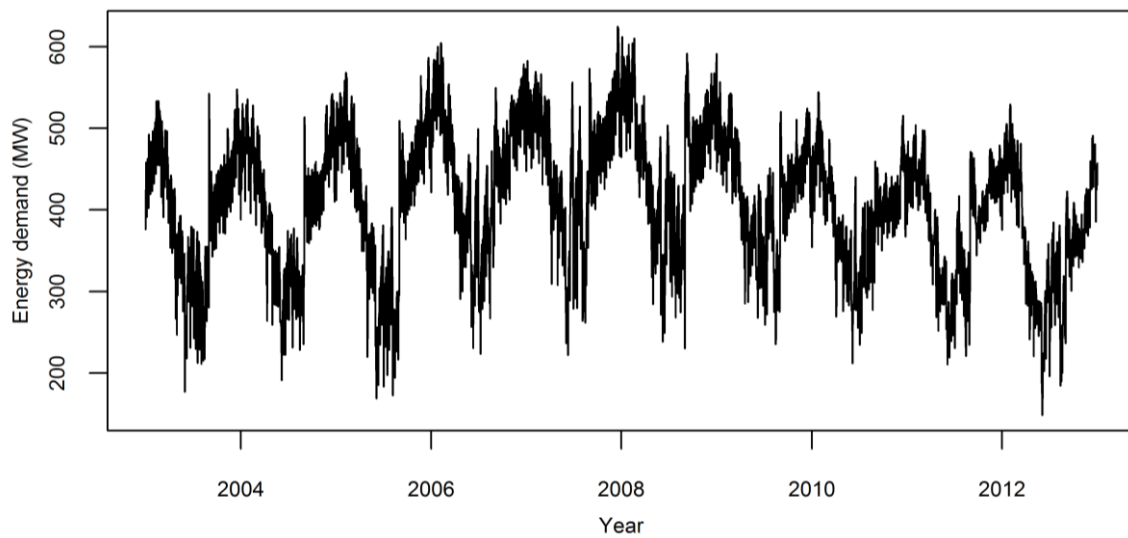
Εικόνα 8.7: Λόγος ζήτησης ενέργειας για γεωργική χρήση της Θεσσαλίας ως προς την Ελλάδα.



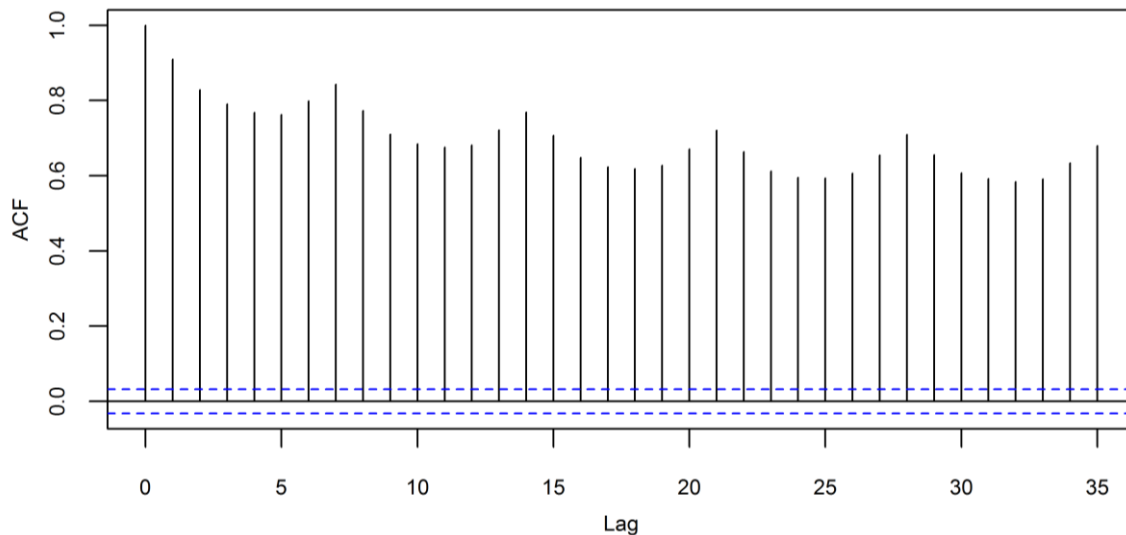
Εικόνα 8.8: Συνολική ζήτηση ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση στην Ελλάδα σε ημερήσια κλίμακα.



Εικόνα 8.9: Εκτίμηση της αυτοσυσχέτισης για την συνολική ζήτηση ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση σε ημερήσια κλίμακα για την Ελλάδα από δεδομένα της χρονικής περιόδου 2003-2012.



Εικόνα 8.10: Συνολική ζήτηση ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση στην Θεσσαλία σε ημερήσια κλίμακα.



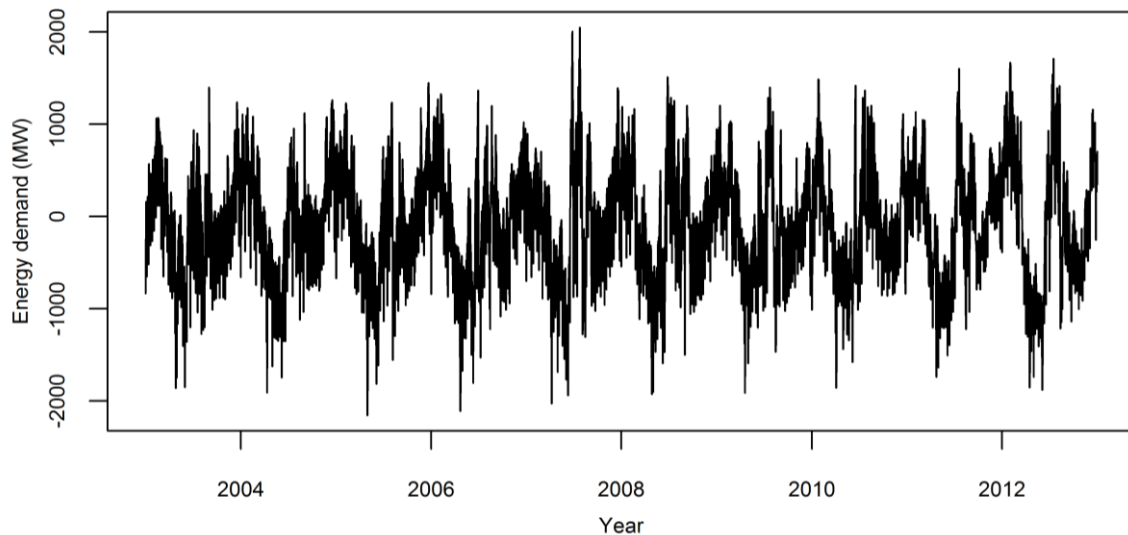
Εικόνα 8.11: Εκτίμηση της αυτοσυσχέτισης για την συνολική ζήτηση ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση σε ημερήσια κλίμακα για την Θεσσαλία από δεδομένα της χρονικής περιόδου 2003-2012.

8.3 Διαδικασία προσομοίωσης

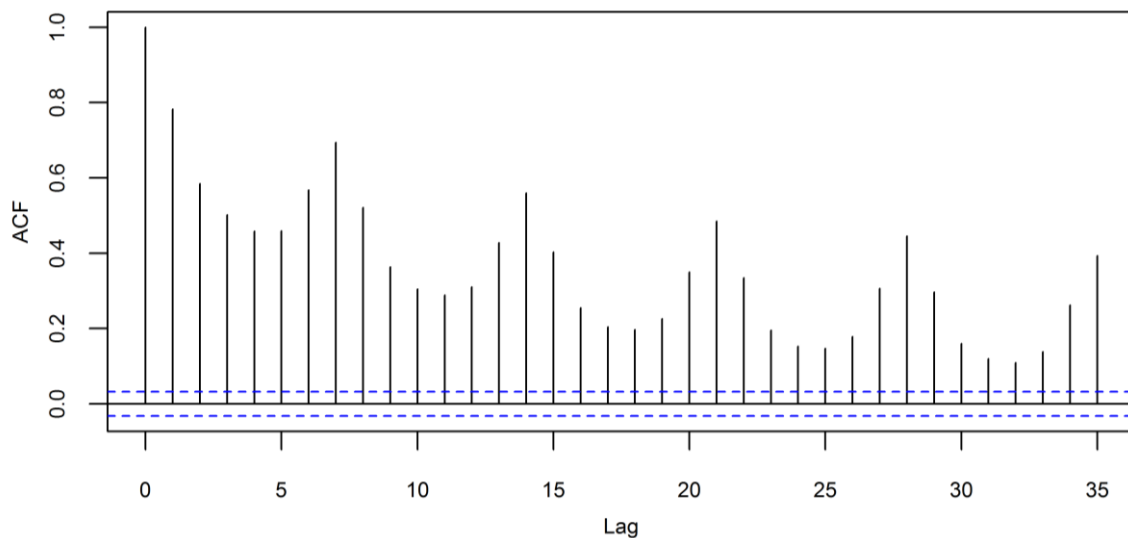
8.3.1 Προσομοίωση ζήτησης ενέργειας στην Ελλάδα

Για την προσομοίωση της ζήτησης ενέργειας στην Ελλάδα αφαιρούμε τους ετήσιους μέσους (Εικόνα 8.12). Η Εικόνα 8.13 παρουσιάζει την εκτίμηση της αντίστοιχης συνάρτησης αυτοσυσχέτισης. Στην συνέχεια αφαιρούμε την μηνιαία και την εβδομαδιαία περιοδικότητα και προκύπτουν η Εικόνα 8.14 και η Εικόνα 8.16, με τις αντίστοιχες εκτιμήσεις των συναρτήσεων αυτοσυσχέτισης στην Εικόνα 8.15 και την Εικόνα 8.17.

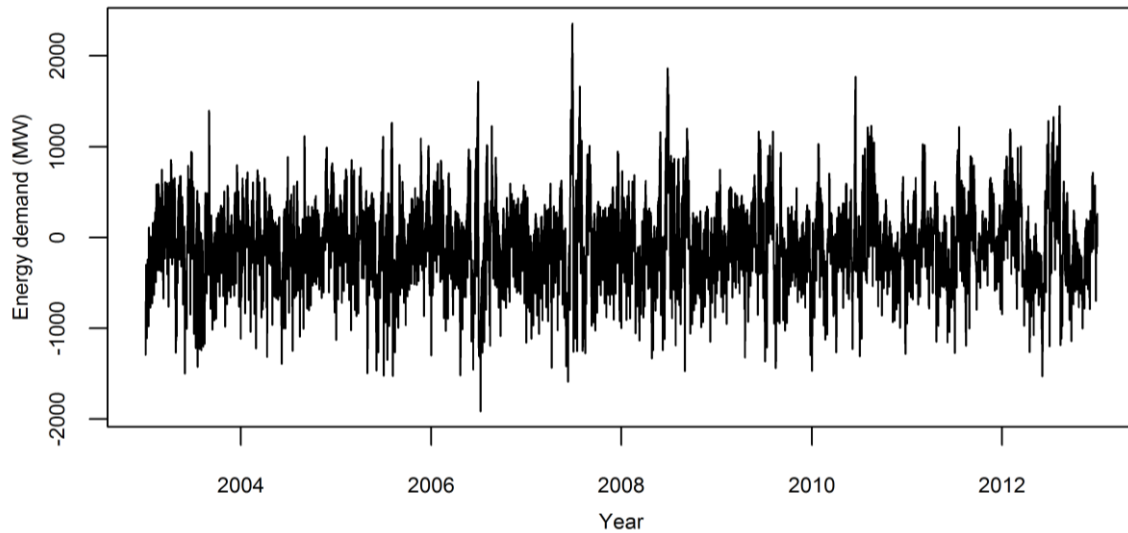
Χρησιμοποιώντας την χρονοσειρά, που παρουσιάζεται στην Εικόνα 8.16, παράγουμε μια συνθετική χρονοσειρά μήκους 500 ετών. Για την προσομοίωση χρησιμοποιούμε την συνάρτηση `tsboot` του λογισμικού R (Davison and Hinkley, 1997· Cauty and Ripley, 2015), ενώ παράγουμε τμήματα τυχαίου μήκους από μια γεωμετρική κατανομή. Επιπλέον υπολογίζουμε το βέλτιστο μήκος αυτών των τμημάτων με την συνάρτηση `b.star` του λογισμικού R (Hayfield and Racine, 2008). Στην συνέχεια προστίθενται οι διάφορες περιοδικότητες. Η τελική συνθετική χρονοσειρά παρουσιάζεται στην Εικόνα 8.18 και η εκτίμηση της συνάρτησης αυτοσυσχέτισης στην Εικόνα 8.19.



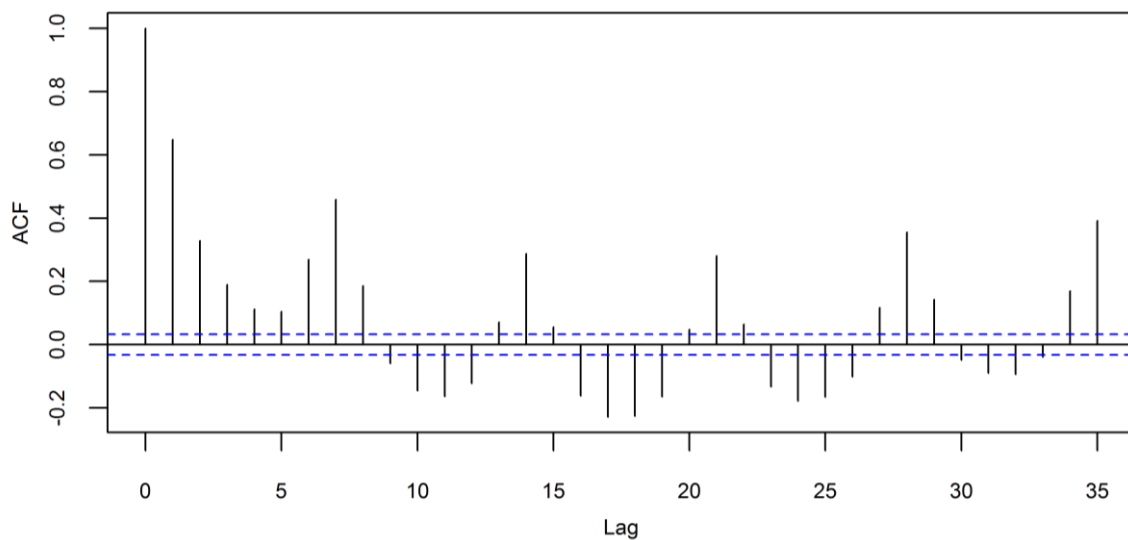
Εικόνα 8.12: Συνολική ζήτηση ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση στην Ελλάδα σε ημερήσια κλίμακα, μετά την αφαίρεση των ετήσιων μέσων.



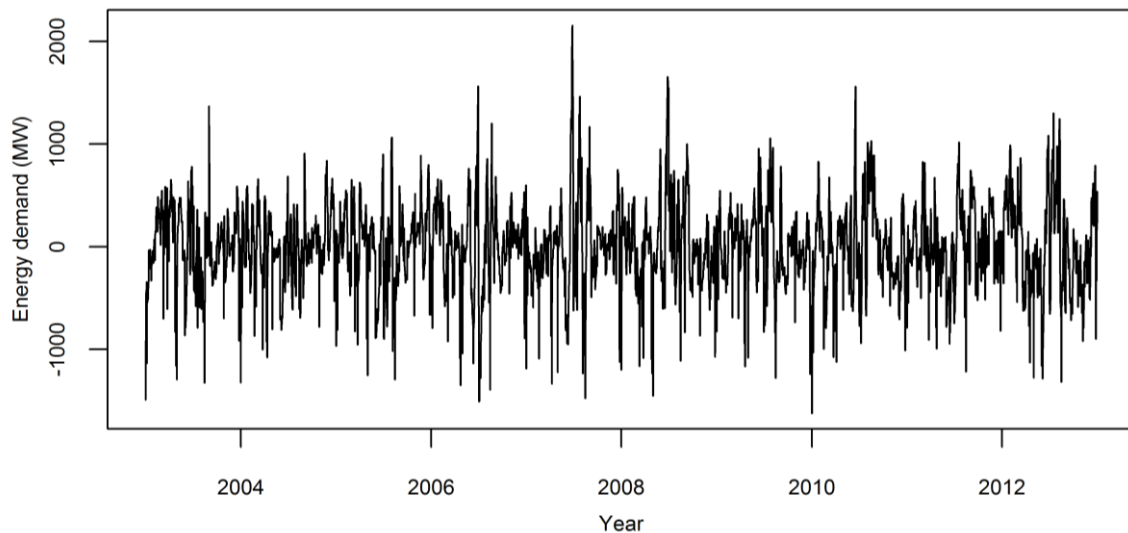
Εικόνα 8.13: Εκτίμηση της αυτοσυσχέτισης για την συνολική ζήτηση ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση σε ημερήσια κλίμακα, μετά την αφαίρεση των ετήσιων μέσων, για την Ελλάδα από δεδομένα της χρονικής περιόδου 2003-2012.



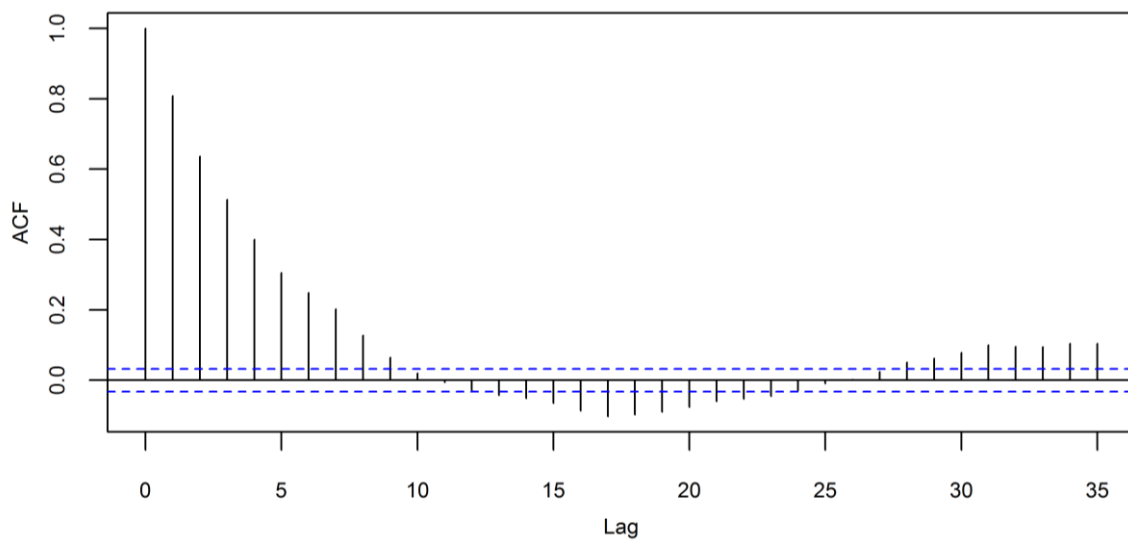
Εικόνα 8.14: Συνολική ζήτηση ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση στην Ελλάδα σε ημερήσια κλίμακα, μετά την αφαίρεση των ετήσιων μέσων και της μηνιαίας περιοδικότητας.



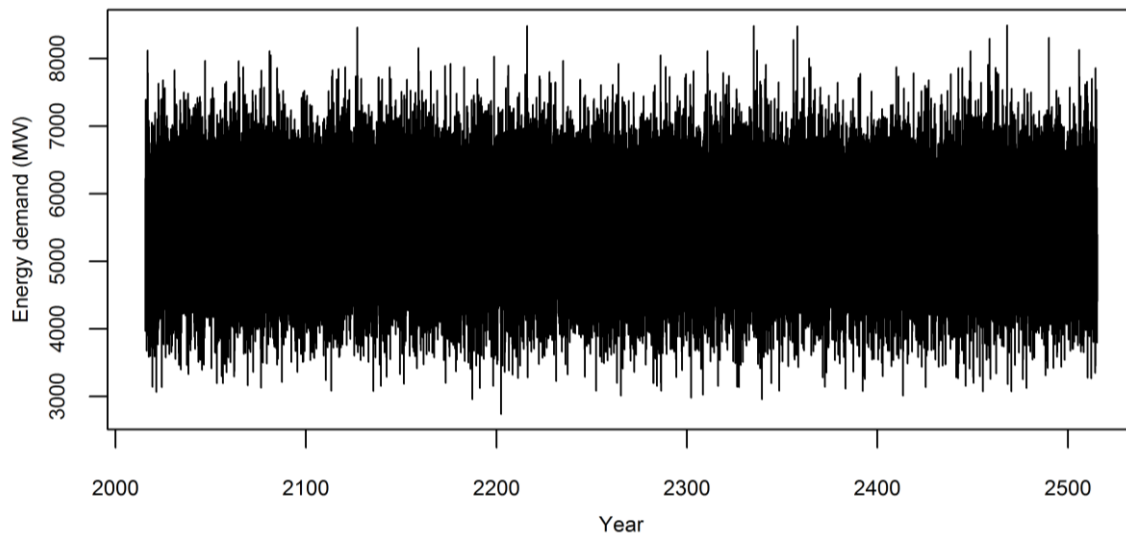
Εικόνα 8.15: Εκτίμηση της αυτοσυσχέτισης για την συνολική ζήτηση ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση σε ημερήσια κλίμακα, μετά την αφαίρεση των ετήσιων μέσων και της μηνιαίας περιοδικότητας, για την Ελλάδα από δεδομένα της χρονικής περιόδου 2003-2012.



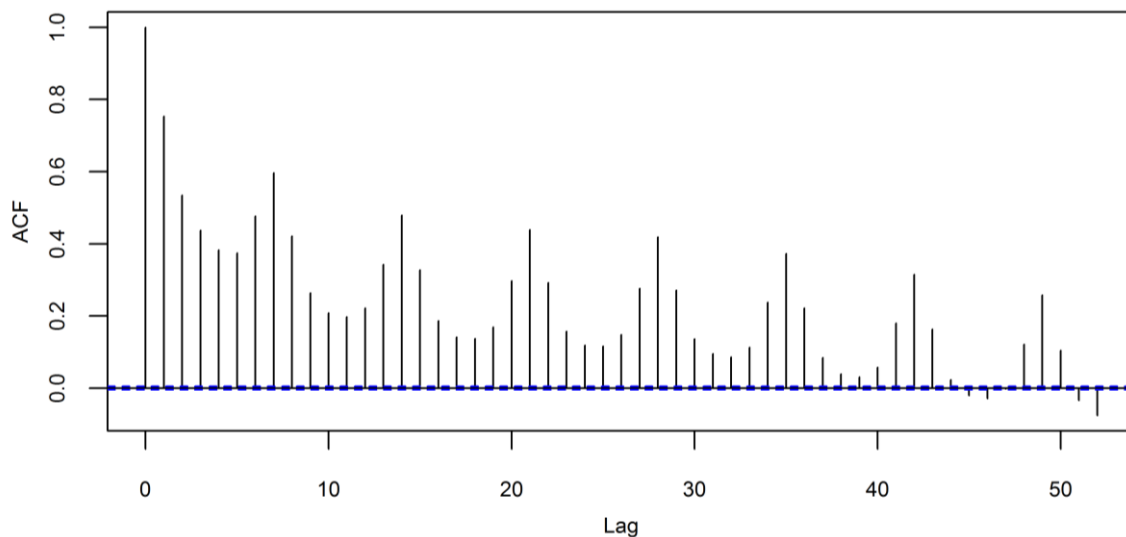
Εικόνα 8.16: Συνολική ζήτηση ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση στην Ελλάδα σε ημερήσια κλίμακα, μετά την αφαίρεση των ετήσιων μέσων, της μηνιαίας και της εβδομαδιαίας περιοδικότητας.



Εικόνα 8.17: Εκτίμηση της αυτοσυσχέτισης για την συνολική ζήτηση ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση σε ημερήσια κλίμακα, μετά την αφαίρεση των ετήσιων μέσων, της μηνιαίας και της εβδομαδιαίας περιοδικότητας, για την Ελλάδα από δεδομένα της χρονικής περιόδου 2003-2012.



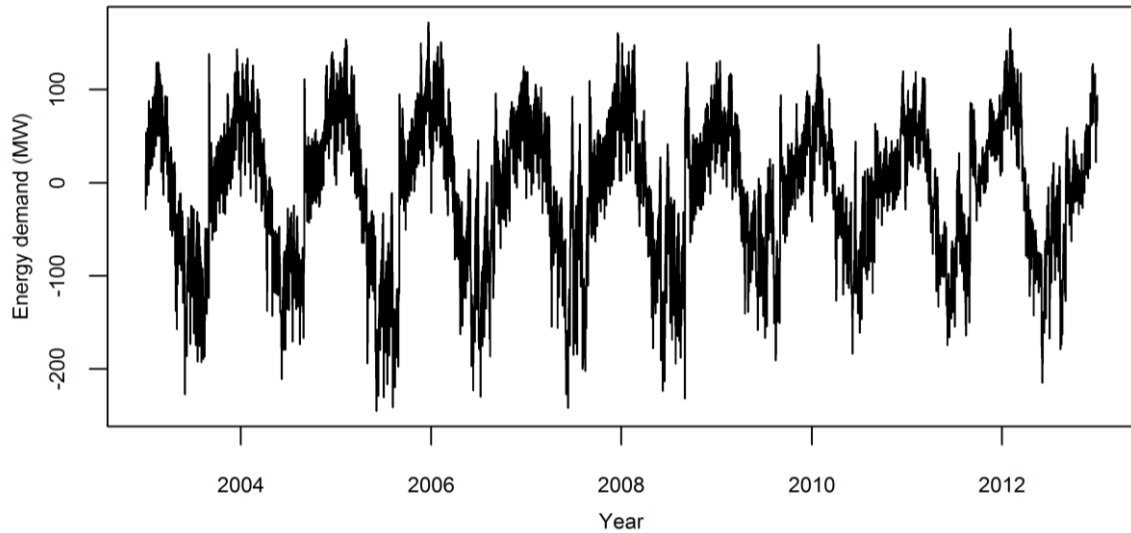
Εικόνα 8.18: Συνθετική χρονοσειρά συνολικής ζήτησης ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση στην Ελλάδα σε ημερήσια κλίμακα.



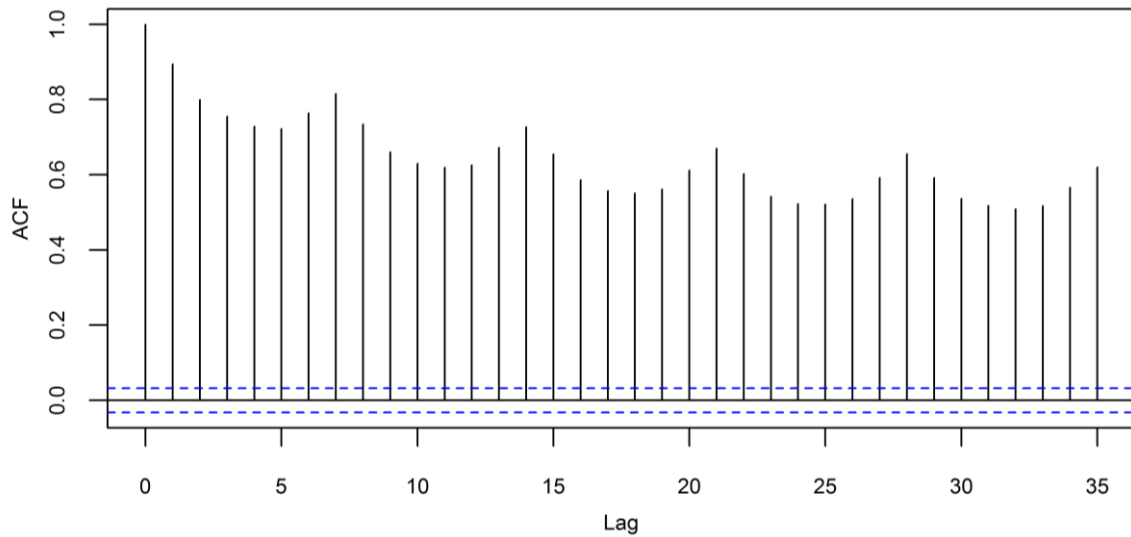
Εικόνα 8.19: Εκτίμηση της αυτοσυσχέτισης για την συνθετική χρονοσειρά της συνολικής ζήτησης ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση σε ημερήσια κλίμακα, για την Ελλάδα.

8.3.2 Προσομοίωση ζήτησης ενέργειας στην Θεσσαλία

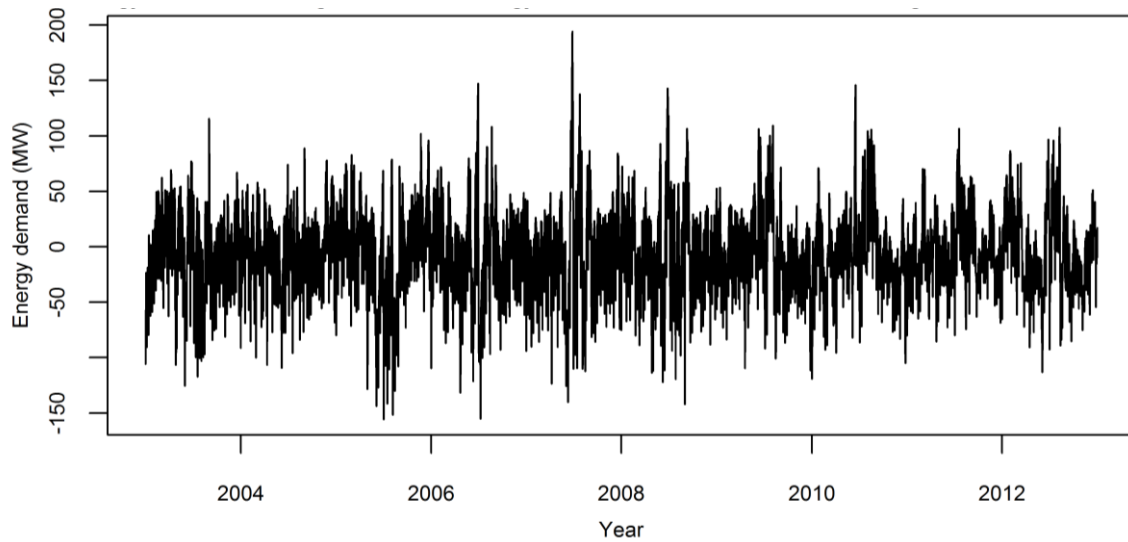
Για την προσομοίωση της ενέργειας στην Θεσσαλία χρησιμοποιούμε την ίδια μεθοδολογία. Αφαιρούμε τους ετήσιους μέσους (Εικόνα 8.20 και Εικόνα 8.21), την μηνιαία περιοδικότητα (Εικόνα 8.22 και Εικόνα 8.23) και την εβδομαδιαία περιοδικότητα (Εικόνα 8.24 και Εικόνα 8.25). Η χρονοσειρά που προκύπτει μετά την προσομοίωση παρουσιάζεται στο Εικόνα 8.26 και η εκτίμηση της συνάρτησης αυτοσυσχέτισης στην Εικόνα 8.27. Στην Εικόνα 8.28 παρουσιάζεται η συνθετική χρονοσειρά ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σε ωριαία κλίμακα. Η χρονοσειρά αυτή προέκυψε μετά από αποσύνθεση της χρονοσειράς ζήτησης σε ημερήσια κλίμακα με μέθοδο που παρουσιάζεται στο υποστηρικτικό υλικό.



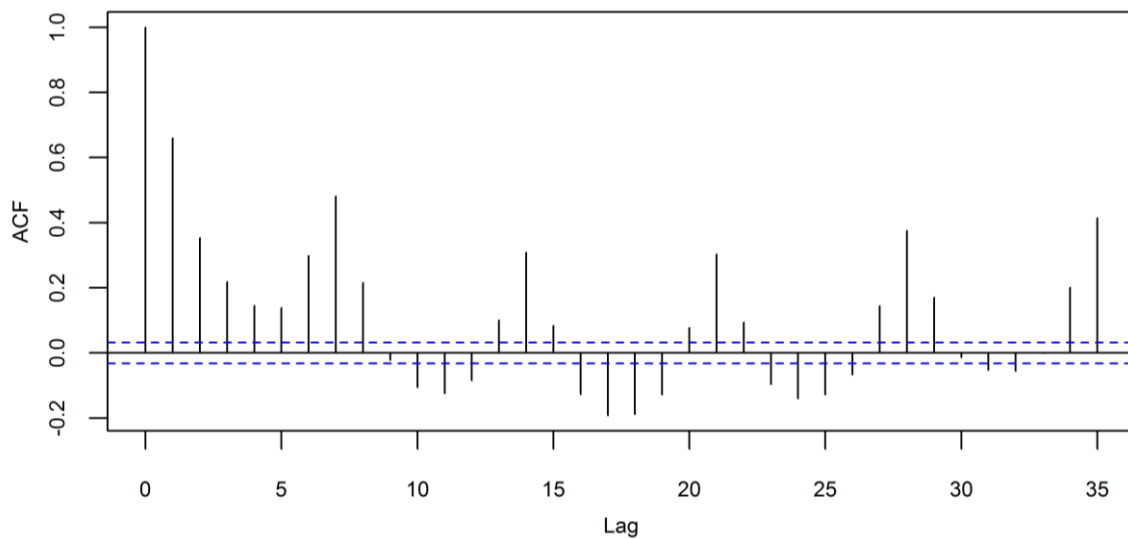
Εικόνα 8.20: Συνολική ζήτηση ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση στην Θεσσαλία σε ημερήσια κλίμακα, μετά την αφαίρεση των ετήσιων μέσων.



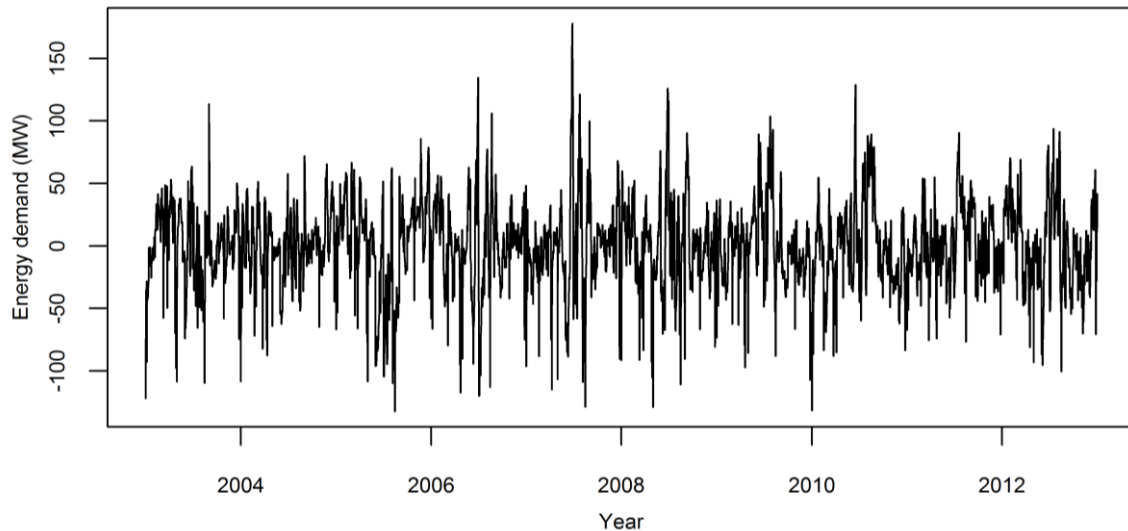
Εικόνα 8.21: Εκτίμηση της αυτοσυσχέτισης για την συνολική ζήτηση ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση σε ημερήσια κλίμακα, μετά την αφαίρεση των ετήσιων μέσων, για την Θεσσαλία από δεδομένα της χρονικής περιόδου 2003-2012.



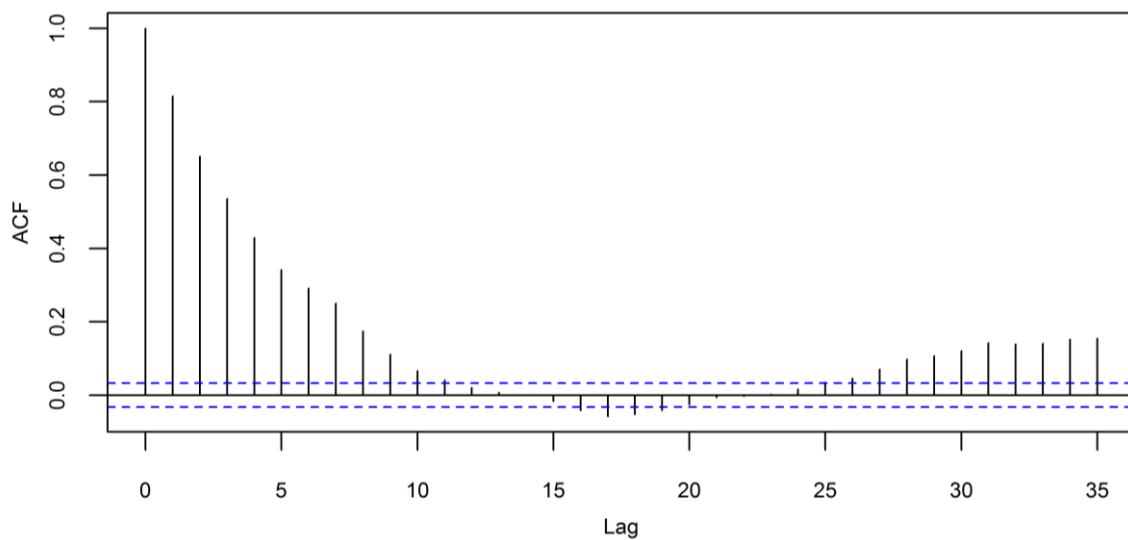
Εικόνα 8.22: Συνολική ζήτηση ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση στην Θεσσαλία σε ημερήσια κλίμακα, μετά την αφαίρεση των ετήσιων μέσων και της μηνιαίας περιοδικότητας.



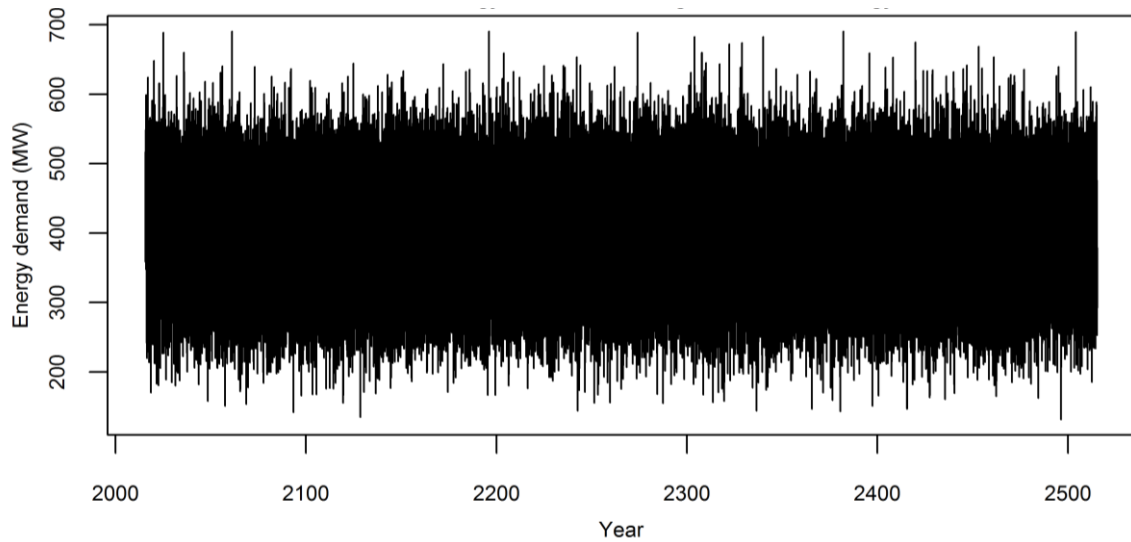
Εικόνα 8.23: Εκτίμηση αυτοσυσχέτισης για την συνολική ζήτηση ενέργειας στη Θεσσαλία (χωρίς γεωργική χρήση) σε ημερήσια κλίμακα, μετά την αφαίρεση των ετήσιων μέσων και της μηνιαίας περιοδικότητας, για την από δεδομένα της χρονικής περιόδου 2003-2012.



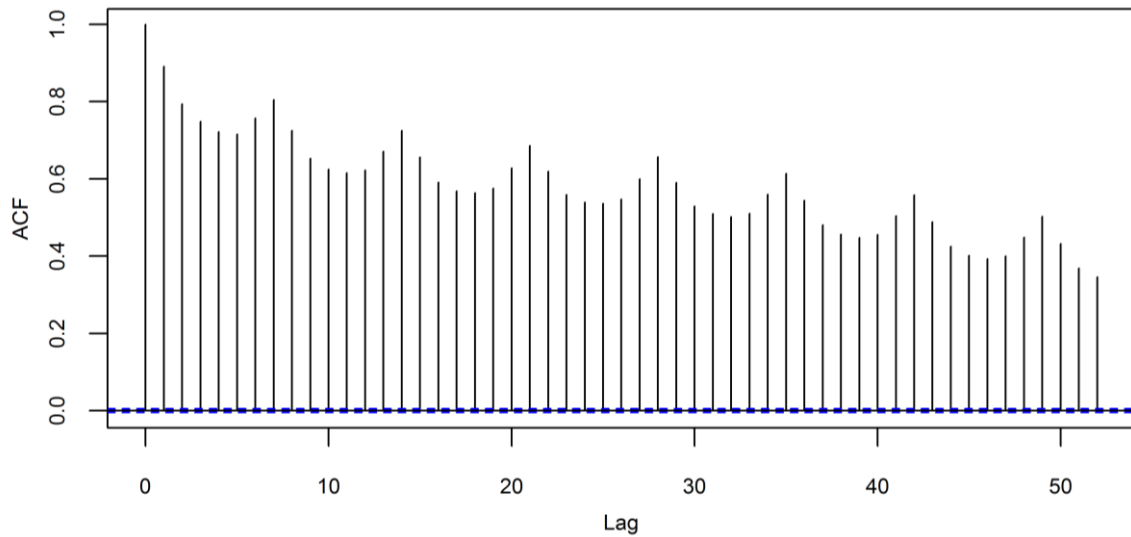
Εικόνα 8.24: Συνολική ζήτηση ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση στην Θεσσαλία σε ημερήσια κλίμακα, μετά την αφαίρεση των ετήσιων μέσων, της μηνιαίας και της εβδομαδιαίας περιοδικότητας.



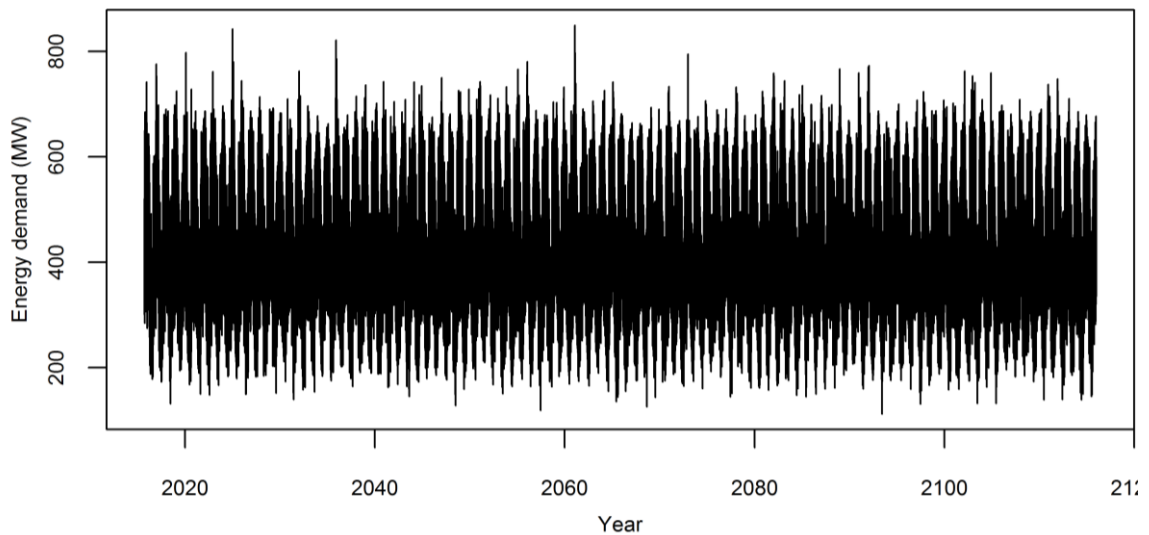
Εικόνα 8.25: Εκτίμηση αυτοσυσχέτισης συνολικής ζήτησης ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση σε ημερήσια κλίμακα, μετά την αφαίρεση των ετήσιων μέσων, της μηνιαίας και της εβδομαδιαίας περιοδικότητας, για την Θεσσαλία από δεδομένα της χρονικής περιόδου 2003-2012.



Εικόνα 8.26: Συνθετική χρονοσειρά συνολικής ζήτησης ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση στην Θεσσαλία σε ημερήσια κλίμακα.



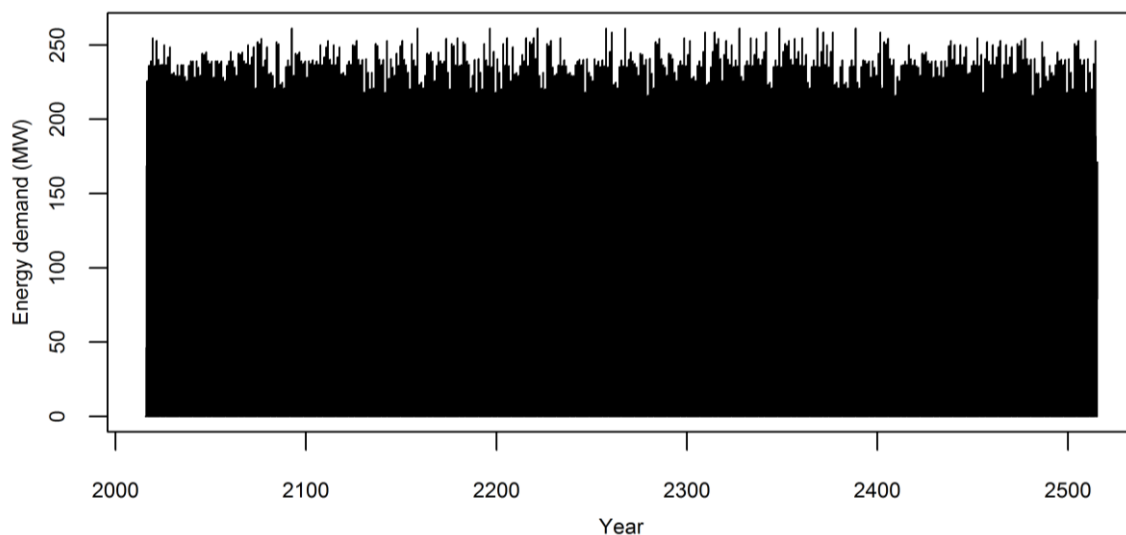
Εικόνα 8.27: Εκτίμηση της αυτοσυσχέτισης για την συνθετική χρονοσειρά της συνολικής ζήτησης ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση σε ημερήσια κλίμακα, για την Θεσσαλία.



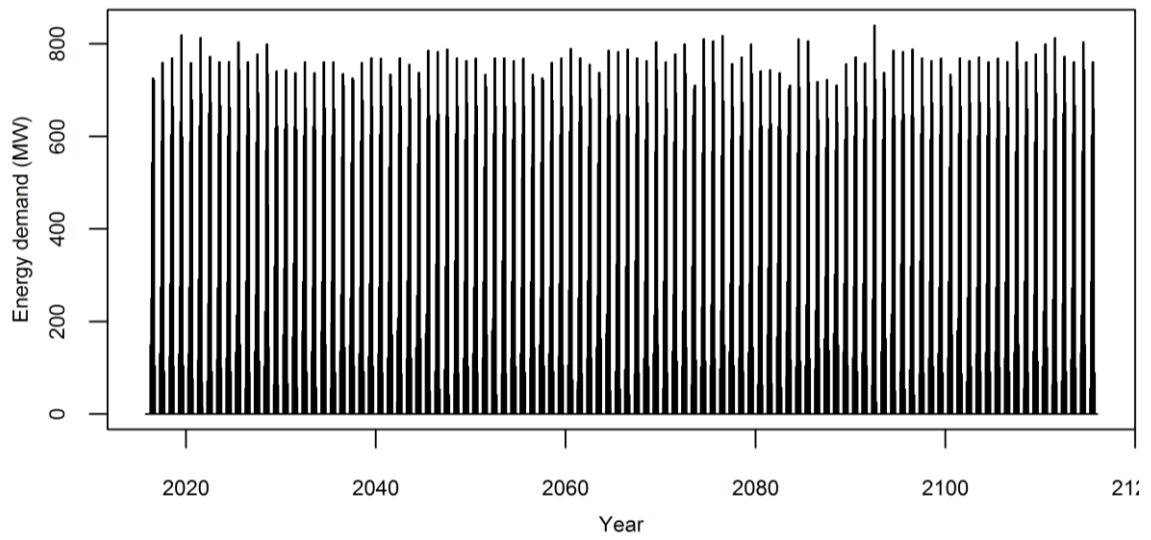
Εικόνα 8.28: Συνθετική χρονοσειρά συνολικής ζήτησης ενέργειας αφαιρώντας την ζήτηση ενέργειας για γεωργική χρήση στην Θεσσαλία σε ωριαία κλίμακα.

8.3.3 Προσομοίωση ζήτησης ενέργειας για γεωργική χρήση στην Θεσσαλία

Για την προσομοίωση της ζήτησης ενέργειας για αγροτική χρήση χρησιμοποιήσαμε την ίδια μεθοδολογία με την διαφορά ότι πρώτα αφαιρέθηκαν οι μήνες με μηδενική ζήτηση ενέργειας, και ότι δεν πραγματοποιήθηκε αφαίρεση της εβδομαδιαίας περιοδικότητας, καθώς η ζήτηση θεωρήθηκε σταθερή στον μήνα. Η συνθετική χρονοσειρά παρουσιάζεται στην Εικόνα 8.29. Στην Εικόνα 8.30 παρουσιάζεται η συνθετική χρονοσειρά ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σε ωριαία κλίμακα. Η χρονοσειρά αυτή προέκυψε μέσω αποσύνθεσης της χρονοσειράς ζήτησης σε ημερήσια κλίμακα, με χρήση του Πίνακα 64 των Funk and DeOreo (2011).



Εικόνα 8.29: Συνθετική χρονοσειρά ζήτησης ενέργειας για γεωργική χρήση στην Θεσσαλία σε ημερήσια κλίμακα.



Εικόνα 8.30: Συνθετική χρονοσειρά ζήτησης ενέργειας για γεωργική χρήση στην Θεσσαλία σε ωριαία κλίμακα.

9 Διερεύνηση μακροχρόνιας διαχειριστικής πολιτικής υδροσυστήματος

9.1 Σκοπός και μεθοδολογία

Οι λεκάνες απορροής του Αχελώου και του Πηνειού, τα όρια των οποίων ταυτίζονται με τις ομώνυμες διαχειριστικές ενότητες ΛΑΠ Αχελώου και ΛΑΠ Πηνειού, εξετάζονται ως ενιαίο υδρολογικό σύστημα. Η δυνατότητα αυτή προσφέρεται ήδη σε κάποιο μικρό βαθμό, μέσω του ταμιευτήρα Πλαστήρα, που υλοποιεί ολική εκτροπή των υδατικών πόρων του Ταυρωπού (παραπόταμος του Αχελώου) στην πλευρά της Θεσσαλίας. Ωστόσο, η ουσιώδης διασύνδεση προβλέπεται να υλοποιηθεί μέσω των έργων μερικής εκτροπής του άνω ρου Αχελώου, τα οποία είναι πολλαπλού σκοπού (αρδευτικού, περιβαλλοντικού, ενεργειακού).

Από τα διάφορα σχήματα έργων που έχουν μελετηθεί, εξετάζεται η πλέον πρόσφορη, από ενεργειακή αλλά και οικονομική σκοπιά, γενική διάταξη, που είχε προταθεί από την Ειδική Υπηρεσία Δημοσίων Έργων Αχελώου του ΥΠΕΧΩΔΕ την δεκαετία του '90 (Κουτσογιάννης, 1996α· βλ. και Ευστρατιάδης και Ζερβός, 1999· Μπουζιώτας, 2012· Ευστρατιάδης κ.ά., 2013). Η διάταξη αυτή αναπτύσσεται στην αναφερόμενη, στην παρούσα έκθεση, ως περιοχή Π1, και περιλαμβάνει τους ταμιευτήρες Μεσοχώρας, Συκιάς, Πύλης και Μουζακίου, την αναρρυθμιστική δεξαμενή Μαυροματίου, τις σήραγγες Γλύστρας, Συκιάς, Πευκοφύτου (μέσω της οποίας υλοποιείται η μερική εκτροπή του Αχελώου) και Πύλης, και τους υδροηλεκτρικούς σταθμούς Μεσοχώρας, Συκιάς, Πευκοφύτου, Μουζακίου και Μαυρονερίου. Δύο από τους παραπάνω (Πευκόφυτο, Μουζάκι) εξετάζονται ως αντιστρεπτής λειτουργίας, επιτρέποντας έτσι την αποθήκηση πλεονάζουσας ενέργειας που θα παράγεται από άλλες πηγές (ιδιαίτερα από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας), τις περιόδους μειωμένης ενεργειακής ζήτησης. Βεβαίως, είναι γνωστό ότι το παραπάνω σχήμα έργων παραμένει εδώ και δύο σχεδόν δεκαετίες ημιτελές (αν και ορισμένες συνιστώσες του είναι σε προχωρημένο στάδιο ολοκλήρωσης), καθώς είναι εξαιρετικά αμφιλεγόμενο, με ενστάσεις κυρίως όσον αφορά τις ευρύτερες περιβαλλοντικές του επιπτώσεις στη λεκάνη του Αχελώου, αλλά και τις επιπτώσεις την ενεργειακή παραγωγή των υφιστάμενων έργων στον μέσο ρου του ποταμού (Κρεμαστά, Καστράκι, Στράτος). Η κατάσταση αυτή έχει τύχει έντονης κριτικής (Koutsoyiannis, 2011).

Στην παρούσα εργασία, το ενοποιημένο σύστημα των δύο λεκανών εξετάζεται ως υποθετικό σύστημα, για τις οποίες διερευνώνται, σε πρώτη φάση, οι προοπτικές ολοκληρωμένης συν-διαχείρισής τους, για διάφορα σενάρια λειτουργίας του. Ειδικότερα, εξετάζονται εναλλακτικά σενάρια που αφορούν στις ποσότητες νερού που θα εκτρέποναι προς τη Θεσσαλία, αλλά και στη διάταξη ορισμένων κρίσιμων ενεργειακών έργων, όπως τα έργα αντλησιοταμίευσης. Τα σενάρια αναλύθηκαν και αξιολογήθηκαν μέσω του συστήματος υποστήριξης αποφάσεων Υδρονομέας. Στις αναλύσεις, ιδιαίτερο βάρος δόθηκε στη βελτιστοποίηση της ενεργειακής παραγωγής του υδροσυστήματος, με τρόπο ώστε να ικανοποιούνται με πολύ υψηλό βαθμό αξιοπιστίας οι υψηλής προτεραιότητας στόχοι του (υδρευτικές ανάγκες και περιβαλλοντικοί περιορισμοί), και να εξασφαλίζεται ικανοποιητικό επίπεδο αξιοπιστίας στην ικανοποίηση των αρδευτικών χρήσεων. Η προσομοίωση του συστήματος έγινε σε μηνιαίο βήμα, με χρήση των συνθετικών χρονοσειρών υδρολογικών εισροών και απωλειών μήκους 1000 ετών.

Είναι προφανές ότι η συνδυασμένη διαχείριση ενός τέτοιας έκτασης και πολυπλοκότητας υδροσυστήματος (το οποίο είναι μοναδικό για τα ελληνικά δεδομένα) προϋποθέτει την

ικανοποίηση πληθώρας χρήσεων νερού και συναφών περιορισμών, που είναι σε μεγάλο βαθμό αντικρουόμενα, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να εντοπιστεί μια μονοσήμαντη ολικά βέλτιστη διαχειριστική πολιτική. Συνεπώς, στη βελτιστοποίηση του συστήματος υιοθετήθηκε μια πολυκριτηριακή προσέγγιση, που αρχικά αποσκοπεί στον εντοπισμό εναλλακτικών πολιτικών από το λεγόμενο μέτωπο Pareto, και ακολούθως της επιλογή μιας τελικής διάταξης και αντίστοιχης διαχειριστικής πολιτικής. Το σενάριο αυτό αποτελεί τη βάση για το επόμενο στάδιο αναλύσεων, που αφορά στη συνδυασμένη προσομοίωση του συνδυασμένου υδρο-ενεργειακού συστήματος, μαζί και με τα έργα ΑΠΕ, με σκοπό τη διαμόρφωση μιας ενεργειακά αυτόνομης περιοχής, που καλύπτει τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας από τοπικές πηγές.

9.2 Γενική διατύπωση προβλήματος προσομοίωσης-βελτιστοποίησης

Η γενική διατύπωση του προβλήματος προσομοίωσης-βελτιστοποίησης, στο υπολογιστικό περιβάλλον του Υδρονομέα, αφορά στην παραμετροποίηση της λειτουργίας του συστήματος, με την οποία ορίζονται οι προς βελτιστοποίηση μεταβλητές ελέγχου, τον προσδιορισμό των κριτηρίων επίδοσης και την διατύπωση της στοχικής συνάρτησης, με την οποία αξιολογείται η εξεταζόμενη διαχειριστική πολιτική του υδροσυστήματος.

9.2.1 Παραμετροποίηση λειτουργίας υδροηλεκτρικών έργων

Η παραμετροποίηση της λειτουργίας των υδροηλεκτρικών μονάδων γίνεται με τη θεώρηση χρονικά σταθερών στόχων παραγωγής ενέργειας, στο εννοιολογικό υδραγωγείο που αναπαριστά τη λειτουργία των στροβίλων. Συνεπώς, για κάθε στρόβιλο μπορεί να εισαχθεί μία παράμετρος, που αναφέρεται στον άγνωστο ενεργειακό στόχο. Η θεωρητικά μέγιστη τιμή του εν λόγω στόχου προκύπτει με βάση την εγκατεστημένη ισχύ του αντίστοιχου έργου.

Στο σχήμα προσομοίωσης που περιγράφεται λεπτομερώς στη σχετική έκθεση θεωρητικής τεκμηρίωσης του λογισμικού Υδρονομέας (Ευστρατιάδης κ.ά., 2016), κάθε ενεργειακός στόχος αντιμετωπίζεται ως περιορισμός ελάχιστης ροής στον στρόβιλο. Η τήρηση του περιορισμού εξασφαλίζεται με την αντιστοίχιση ενός εικονικού μοναδιαίου κέρδους στο αντίστοιχο υδραγωγείο. Στο πρόβλημα γραμμικής βελτιστοποίησης, το οποίο διαμορφώνεται στα πλαίσια της προσομοίωσης, το κέρδος αυτό εξαρτάται από τη σχετική σημασία κάθε στόχου, σε σχέση με τους υπόλοιπες χρήσεις νερού και περιορισμούς. Σε κάθε χρονικό βήμα (στην προκειμένη περίπτωση, μήνα), για δεδομένο ενεργειακό διαθέσιμο και δεδομένο συντελεστή απόδοσης, υπολογίζεται ο αντίστοιχος όγκος νερού που πρέπει να διοχετευτεί μέσω των στροβίλων ώστε να παραχθεί η απαιτούμενη ενέργεια. Στη συνήθη περίπτωση που το ενεργειακό διαθέσιμο, καθώς και ο συντελεστής απόδοσης των στροβίλων, εξαρτώνται από τη στάθμη του ανάντη ταμιευτήρα, η επιθυμητή εκροή για την παραγωγή της ζητούμενης ενέργειας μεταβάλλεται σε κάθε χρονικό βήμα.

Στις αναλύσεις του υδροσυστήματος ορίστηκαν μεταβλητές ελέγχου της μορφή σταθερού στόχου παραγωγής ενέργειας σε οκτώ από τα δέκα υδροηλεκτρικά έργα (Μεσοχώρα, Συκιά, Πευκόφυτο, Μουζάκι, Μαυρομάτι, Κρεμαστά, Καστράκι, Στράτος). Στις μεταβλητές αυτές δόθηκε ένα μεγάλο εύρος εφικτών τιμών, από 0 έως 100 GWh/μήνα, που πρακτικά καλύπτει όλο τον χώρο δυνητικών λύσεων του προβλήματος βελτιστοποίησης. Στα υδροηλεκτρικά έργα Πλαστήρα και Σμοκόβου δεν ορίστηκε στόχος παραγωγής ενέργειας, καθώς η διαχείριση των δύο αυτών ταμιευτήρων διέπεται κυρίως από την αρδευτική και υδρευτική ζήτηση, με την παραγωγή ενέργειας να υλοποιείται όχι ως αποτέλεσμα κάποιου μακροχρόνιου ενεργειακού προγραμματισμού αλλά λόγω της εκροής νερού για την ικανοποίηση των παραπάνω χρήσεων νερού. Συνεπώς, η παραγόμενη ενέργεια είναι δευτερεύουσα, και σε κάθε περίπτωση έχει

χαμηλότερη προτεραιότητα σε σχέση με τις άλλες χρήσεις. Επιπλέον, επειδή η άρδευση συγκεντρώνεται την ξηρή περίοδο, δεν είναι επιθυμητή άλλη εκροή νερού εκτός από αυτή που γίνεται για την ύδρευση, καθώς σε μια τέτοια περίπτωση θα εξαντλούνταν τα αποθέματα των ταμιευτήρων, δημιουργώντας μεγάλα αρδευτικά ελλείμματα, με υψηλή συχνότητα.

Τονίζεται ότι η υπόθεση σταθερού στόχου παραγωγής ενέργειας αφορά στην εκτίμηση της μακροχρόνιας επίδοσης του συστήματος, με θεώρηση των υδροηλεκτρικών έργων ως μονάδων βάσης, για παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας (σταθερή τιμή ενέργειας που είναι διαθέσιμη με πολύ υψηλό επίπεδο αξιοπιστίας). Σε επιχειρησιακό επίπεδο, και ειδικότερα στο πρόβλημα συνδυασμένης διαχείρισης υδροηλεκτρικών έργων και ΑΠΕ, στο οποίο η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και η αντίστοιχη προφορά από τις ΑΠΕ διέπονται από έντονη μεταβλητότητα σε όλες τις χρονικές κλίμακες, η υπόθεση αυτή προφανώς δεν ισχύει. Στο πρόβλημα αυτό, που αποτελεί το κεντρικό ζητούμενο της πιλοτικής εφαρμογής και το οποίο εξετάζεται στα επόμενα κεφάλαια, η ζήτηση ενέργειας από τα υδροηλεκτρικά έργα δεν ορίζεται ως μεταβλητή ελέγχου προς βελτιστοποίηση αλλά ως «εξωτερικός» περιορισμός του υδροσυστήματος, όπως ακριβώς και οι υπόλοιπες ζητήσεις νερού. Το χαρακτηριστικό αυτό αποτελεί ουσιώδη διαφορά των τυπικών προβλημάτων διαχείρισης υδατικών πόρων και των προβλημάτων συνδυασμένης διαχείρισης νερού και ενέργειας (Efstratiadis *et al.*, 2015).

9.2.2 Πολυκριτηριακή στοχική συνάρτηση

Στα εξεταζόμενα σενάρια διατυπώνεται ένα πρόβλημα πολυκριτηριακής βελτιστοποίησης, η στοχική συνάρτηση του οποίου περιλαμβάνει τα εξής κριτήρια:

- **Συνολικά παραγόμενη πρωτεύουσα ενέργεια:** Με αυτό το κριτήριο επιδιώκεται να μεγιστοποιηθεί το άθροισμα της παραγωγής πρωτεύουσας ενέργειας από όλους τους ΥΗΣ. Στο άθροισμα αυτό συμμετέχουν και οι ΥΗΣ Πλαστήρα και Σμοκόβου, παρόλο που στα έργα αυτά δεν τίθεται στόχος παραγωγής ενέργειας. Η εκτίμηση της ολικής πρωτεύουσας ενέργειας του συστήματος γίνεται αθροίζοντας τις προσομοιωμένες χρονοσειρές ενέργειας όλων των υδροηλεκτρικών μονάδων (στρόβιλοι), οπότε προκύπτει η συνολική παραγωγή ενέργειας του υδροσυστήματος. Στο μαθηματικό μοντέλο, ως πρωτεύουσα ενέργεια ορίζεται η ποσότητα που είναι διαθέσιμη το 99% των μηνών την περίοδο προσομοίωσης ($1000 \times 12 = 12\ 000$ μήνες), δηλαδή η 120^η μικρότερη τιμή του δείγματος.
- **Μέση ετήσια πιθανότητα αστοχίας:** Το προς ελαχιστοποίηση αυτό κριτήριο τίθεται σε επιλεγμένους αρδευτικούς στόχους του συστήματος. Συγκεκριμένα, από τους 33 τέτοιους στόχους επιλέγονται όσοι έχουν την δυνατότητα να καλύψουν πλήρως ή εν μέρει τις ανάγκες τους από νερά του Αχελώου, συμπεριλαμβανόμενης και της εκτροπής, καθώς και αυτοί που σχετίζονται με τα έργα Πλαστήρα και Σμοκόβου. Με τον τρόπο αυτό επιλέγονται οι 27 αρδευτικοί στόχοι του Πίνακα 9.1. Στους στόχους αυτούς περιλαμβάνεται και ο περιβαλλοντικός στόχος εμπλουτισμού της Τριχωνίδας, καθώς συνδέεται άμεσα με τις αρδευτικές απολήψεις της λίμνης.
- **Μέσο ετήσιο έλλειμμα:** Το κριτήριο αυτό εφαρμόζεται στους επιλεγμένους στόχους άρδευσης. Η χρήση του κρίθηκε απαραίτητη καθώς το κριτήριο ελαχιστοποίησης της πιθανότητας αστοχίας άρδευσης οδηγεί, σε ορισμένες περιπτώσεις, σε πληθώρα λύσεων με παρόμοια τιμή αστοχίας, δηλαδή παρόμοια συχνότητα ελλειμμάτων, αλλά διαφορετικό ελλειμματικό όγκο. Προφανώς, σε μια τέτοια περίπτωση, θα πρέπει να επιλεγθεί η λύση με το μικρότερο έλλειμμα.

Πίνακας 9.1: Αρδευτικοί στόχοι που εντάσσονται στην πολυκριτηριακή στοχική συνάρτηση (η ονοματολογία και αρίθμηση των στόχων αντιστοιχεί στη σχηματοποίηση του Υδρονομέα).

Αρδευτικός στόχος	Αρδευτικός στόχος
26) Αρδευτικό Σμοκόβου	43) Λάρισα Γ2
27) Αγιοπηγή	44) Τρίκαλα Α1-2
28) Αρδ. Κόμβος 2	45) Αγναντερό-Προάστιο
29) Αρδ. Κόμβος 1	46) Μαραθέα
30) ΤΟΕΒ Πύλης	47) Τρίκαλα Β1
31) Αρδ. Κάρλας (ΤΟΕΒ Κάρλας)	49) Αλή Εφέντη
32) Ζ-Α1 (Περιοχή Πηνειού-Πλατυκάμπου)	50) Συμβολή με με Φαρσαλιώτη
33) Λάρισα Γ1	51) ΔΒ1.1-1.2
34) ΤΟΕΒ Ταυρωπού	52) Τρίκαλα Α1-1
35) Παλαμάς	54) ΥΗΣ Στράτου
36) Αρδ. Μέγα	55) Αρδ. Κόμβος 2
37) ΤΟΕΒ Μεσενικόλα	56) Υπόλοιπο Ζ
38) Ξυνονέρι	57) Ραψάνη-Ομαλός-Πυργετός
40) Ιτέα-Φύλλο	

Εκτός του συνόλου των αρδευτικών στόχων για τους οποίους ζητείται η ελαχιστοποίηση της πιθανότητας αστοχίας και των αντίστοιχων ελλειμμάτων, μένουν οι πέντε αρδευτικοί στόχοι της περιοχής του ποταμού Τιταρήσιου (περιοχή Π8) αφού αποτελούν αυτόνομο σύστημα (δεν εξυπηρετούνται από την εκτροπή του Αχελώου), καθώς και ο στόχος του κόμβου «Δυτική Επέκταση Δικτύου» στον Κάτω Αχελώο (περιοχή Π10), καθώς αφορά σε μελλοντικά έργα, με πολύ χονδροειδή περιγραφή, και άρα μεγάλη αβεβαιότητα ως προς την επίτευξη των αντίστοιχων υδατικών αναγκών.

Προκειμένου να παραχθούν αντιπροσωπευτικές λύσεις από το μέτωπο Pareto, ορίστηκε μια πολυκριτηριακή στοχική συνάρτηση στην οποία τα επιμέρους κριτήρια σταθμίζονται με χρήση κατάλληλων συντελεστών βάρους. Μεταβάλλοντας τις τιμές των βαρών αλλάζουν οι βέλτιστες τιμές των παραμέτρων και η αντίστοιχη διαχειριστική πολιτική. Οι λύσεις που παράγονται με την παραπάνω διαδικασία, η οποία εντάσσεται στις κλασικές τεχνικές πολυκριτηριακής ανάλυσης, είναι μαθηματικά ισοδύναμες, καθώς ένα τουλάχιστον από τα κριτήρια επίδοσης βελτιώνεται, ενώ τουλάχιστον ένα άλλο χειροτερεύει (Efstratiadis and Koutsoyiannis, 2010).

9.2.3 Λοιπές παραδοχές

Όλες οι αναλύσεις έγιναν με βάση τη σχηματοποίηση που περιγράφηκε στο υποκεφάλαιο 5.3, με είσοδο συνθετικές υδρολογικές χρονοσειρές μήκους 1000 ετών (υποκεφάλαιο 6.6), και με τους στόχους και λειτουργικούς περιορισμούς (αρδευτικούς, υδρευτικούς, περιβαλλοντικούς) που περιγράφονται στο Κεφάλαιο 7.

Προκειμένου να εξασφαλιστεί η επιθυμητή μεταφορά νερού από τον Αχελώο στη Θεσσαλία μέσω της σήραγγας εκτροπής, ορίστηκε μια μηνιαία κατανομή του ετήσιου όγκου εκτροπής (π.χ. 600 hm³), που ακολουθεί την κατανομή της αρδευτικής ζήτησης (Πίνακας 7.4). Στο μοντέλο προσομοίωσης, κατανομή αυτή τέθηκε ως περιορισμός σταθερής παροχής. Ωστόσο, προκειμένου να μην παραβιάζεται ο παραπάνω περιορισμός τους μήνες που διατίθεται πλεονάζουσα ποσότητα νερού για υπερχειλίση από τη Συκιά, στο μοντέλο προσομοίωσης ορίστηκε κατάλληλος συντελεστής μείωσης της παροχεταιυτικότητας της σήραγγα εκτροπής,

που ακολουθεί παρόμοια κατανομή. Συνεπώς, από τον Οκτώβριο έως τον Μάρτιο δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί μεταφορά νερού, αφού ο εν λόγω συντελεστής είναι μονάδα, ενώ τους υπόλοιπους μήνες μπορεί να μεταφερθεί αναλογικά τόσο όσο επιβάλλει η αρδευτική ζήτηση.

Συντελεστές μείωσης της παροχτευτικότητας, με σταθερή τιμή 0.75, ορίστηκαν και στους δύο αντλιοστροβίλους, έτσι ώστε η άντληση να πραγματοποιείται έξι ώρες ημερησίως, κατά μέσο όρο, κατά τις οποίες ισχύει το νυκτερινό τιμολόγιο.

Τέλος, επειδή στις παρούσες αναλύσεις εφαρμόζεται μηνιαίο χρονικό βήμα, προκειμένου να αποδοθεί σωστά η ενεργειακή λειτουργία της αναρρυθμιστικής δεξαμενής Μαυροματίου (η ωφέλιμη χωρητικότητα της οποίας είναι μόλις 4.9 hm^3), στο μοντέλο αντιμετωπίστηκε ως ταμειυτήρας ισοδύναμης χωρητικότητας 100 hm^3 . Παλαιότερες έρευνες (Ευστρατιάδης και Ζερβός, 1999) έδειξαν ότι η παραδοχή αυτή δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα του μοντέλου.

9.3 Διερεύνηση εναλλακτικών διαχειριστικών σεναρίων

9.3.1 Εξεταζόμενα σενάρια

Πραγματοποιήθηκε πλήθος αναλύσεων, που αφορούν σε διαφορετικές διατάξεις έργων και επιμέρους διαχειριστικά σενάρια για κάθε διάταξη. Συνοπτικά, τα σενάρια που εξετάζονται ομαδοποιούνται ως εξής:

- σενάρια ετήσιου όγκου εκτροπής από τον Αχελώο·
- σενάρια υλοποίησης ή όχι επιλεγμένων έργων·
- σενάρια λειτουργίας ή όχι των αντλιοστροβίλων·
- σενάρια εξοικονόμησης αρδευτικού νερού.

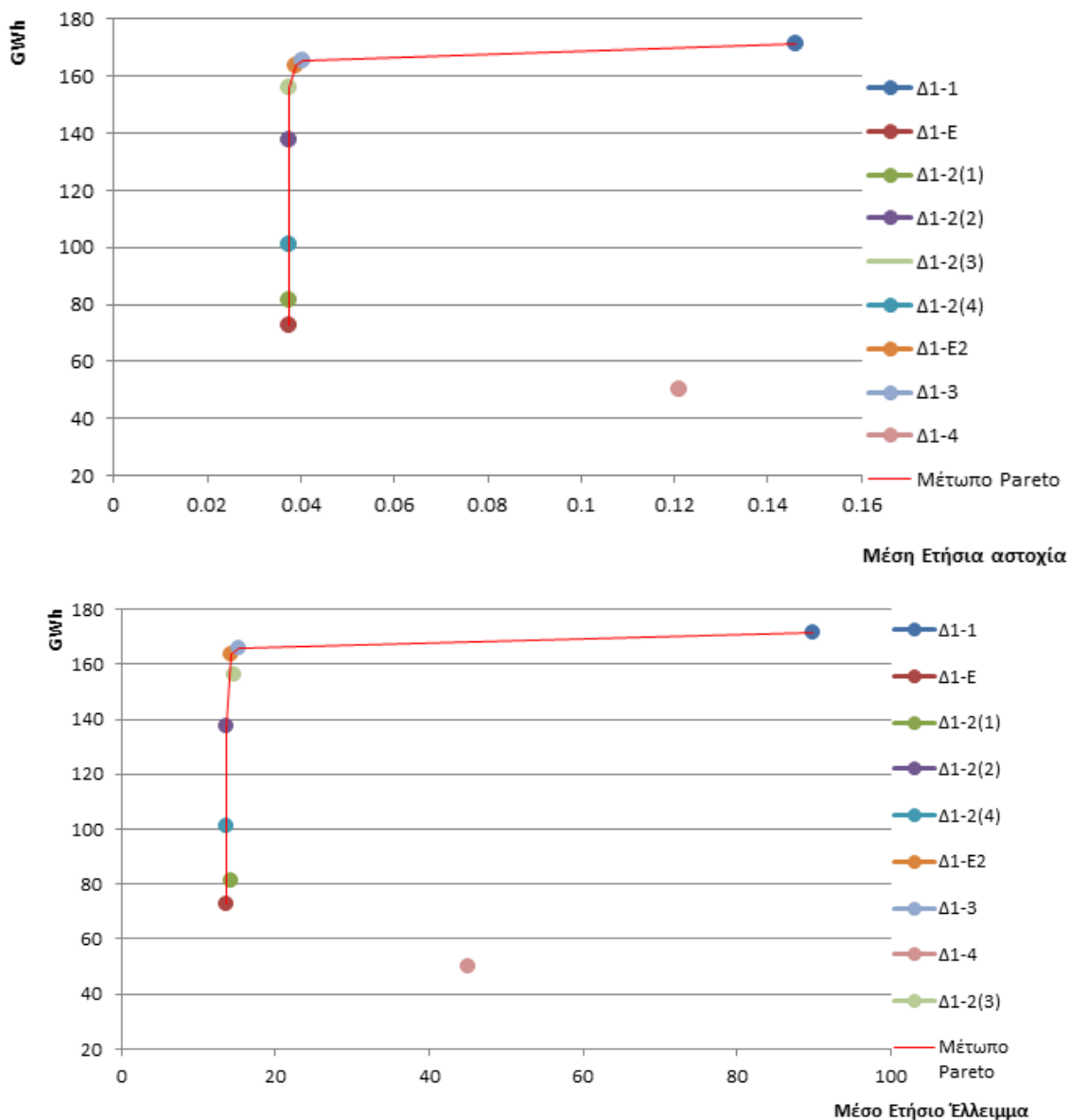
Αναλυτική περιγραφή των παραπάνω γίνεται από τον Νικολόπουλο (2015).

9.3.2 Διάταξη Δ1: Εκτροπή 250 hm^3 με αντλησιοταμίευση

Εξετάζεται η γενική διάταξη του συστήματος με την πλήρη ανάπτυξη των έργων εκτροπής και τις σημερινές τιμές κατανάλωσης αρδευτικού νερού, της τάξης των $700 \text{ m}^3/\text{στρέμμα}$, που αποτυπώνονται στους αντίστοιχους στόχους ζήτησης. Πρόκειται για το βασικό διαχειριστικό σενάριο, το οποίο χρησιμοποιείται ως βάση σύγκρισης των υπολοίπων. Η διάταξη αυτή εξετάζεται με διάφορους συνδυασμούς κριτηρίων, ώστε να εντοπιστούν αντιπροσωπευτικές λύσεις από μέτωπο Pareto.

Πίνακας 9.2: Σενάρια που εξετάζονται στο πλαίσιο της διάταξης Δ1.

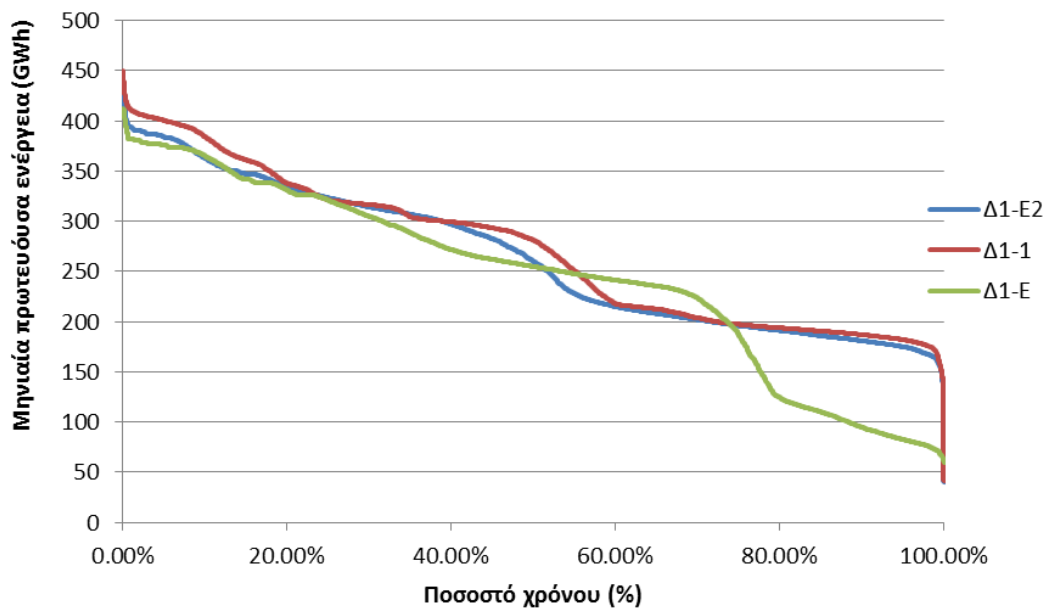
Κωδικός	Συνολική πρωτεύουσα ενέργεια (GWh/μήνα)	Ετήσια πιθανότητα αστοχίας (μέσος όρος)			Μέσο ετήσιο έλλειμμα αρδευτικών στόχων (hm^3)
		Υδρευτικοί στόχοι	Περιβαλλοντικοί στόχοι	Αρδευτικοί στόχοι	
Δ1-1	171.3	0.079	0.206	0.151	89.94
Δ1-2	81.5	0.072	0.140	0.038	14.27
Δ1-E	72.5	0.072	0.143	0.038	13.60
Δ1-3	165.7	0.073	0.127	0.042	15.33
Δ1-E2	163.4	0.072	0.123	0.039	14.31



Εικόνα 9.1: Απεικόνιση χαρακτηριστικών λύσεων από το μέτωπο Pareto που προκύπτουν από τα σενάρια βελτιστοποίησης της διάταξης Δ1 (πάνω: ετήσια παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας – μέση ετήσια πιθανότητα αστοχίας επιλεγμένων αρδευτικών στόχων, κάτω: ετήσια παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας – μέσο ετήσιο έλλειμμα αρδευτικών στόχων).

Συγκεκριμένα, παράγονται τα τρία ακραία σημεία του μετώπου, βελτιστοποιώντας κάθε ένα από τα τρία κριτήρια ξεχωριστά (σενάριο Δ1-1: πρωτεύουσα ενέργεια συστήματος, σενάριο Δ1-2: μέση ετήσια πιθανότητα αστοχίας επιλεγμένων αρδευτικών στόχων, σενάριο Δ1-E: μέσο ετήσιο αρδευτικό έλλειμμα), και δύο ενδιάμεσα σημεία, στα οποία συνδυάζονται τα κριτήρια ανά δύο, με χρήση κατάλληλων συντελεστών βάρους (σενάρια Δ1-3 και Δ1-E2). Τα βάρη επιλέγονται έτσι ώστε τα δύο κριτήρια να είναι ισοσταθμισμένα.

Τα βασικά αποτελέσματα των πέντε σεναρίων δίνονται στον Πίνακα 9.2, ενώ στην Εικόνα 9.1 απεικονίζονται οι δύο τομές του μετώπου Pareto (όπου περιέχονται επιπλέον λύσεις, που προκύπτουν ως υποσενάρια του Δ1-2). Τέλος, στην Εικόνα 9.2 απεικονίζονται οι καμπύλες διάρκειας – συνολικής παραγωγής ενέργειας, για τα σενάρια Δ1-1, Δ1-E και Δ1-E2.



Εικόνα 9.2: Καμπύλη διάρκειας – παραγωγής ενέργειας σεναρίων Δ1-1, Δ1-E και Δ1-E2.

9.3.3 Διάταξη Δ2: Εκτροπή 600 hm³ με αντλησιοταμίευση

Πρόκειται για την ίδια διάταξη έργων με τη Δ1, που διαφοροποιείται ως προς την ποσότητα της εκτροπής, η οποία ορίζεται στα επίπεδα που προέβλεπαν οι μελέτες της δεκαετίας του '90, δηλαδή 600 hm³. Η ίδια διάταξη έχει μελετηθεί και παλαιότερα (Κουτσογιάννης, 1996α· Ευστρατιάδης και Ζερβός, 1999· Μπουζιώτας, 2012), με τη διαφορά ότι περιελάμβανε μόνο τα έργα στην πλευρά της Θεσσαλίας, τα οποία σχετίζονται άμεσα με την εκτροπή, δηλαδή την περιοχή Π1. Η παρούσα ανάλυση είναι η μοναδική στην οποία σχηματίζεται το πλήρες σύστημα των λεκανών Αχελώου και Πηνειού, εξασφαλίζοντας έτσι μια ολιστική προσέγγιση του διαχειριστικού προβλήματος.

Κατ' αντιστοιχία με τη διάταξη Δ1, εξετάζονται τα τρία ακραία σενάρια, που παράγονται με βελτιστοποίηση κάθε μεμονωμένου κριτηρίου επίδοσης (σενάριο Δ2-1: πρωτεύουσα ενέργεια συστήματος, σενάριο Δ2-2: μέση ετήσια πιθανότητα αστοχίας επιλεγμένων αρδευτικών στόχων, σενάριο Δ2-E: μέσο ετήσιο αρδευτικό έλλειμμα). Τα βασικά τους αποτελέσματα συνοψίζονται στον Πίνακα 9.3.

Στο σενάριο Δ2-1, συγκριτικά με τον Δ1-1 στο οποίο επίσης επιδιώκεται η μεγιστοποίηση της πρωτεύουσας ενέργειας, αλλά με σημαντικά μικρότερη ποσότητα εκτροπής, παράγεται, όπως, αναμενόταν λιγότερη ενέργεια, ωστόσο το αρδευτικό έλλειμμα και η αντίστοιχη αστοχία παραμένουν μεγάλα, παρόλο που εκτρέπεται πολύ μεγαλύτερη ποσότητα. Αυτό οφείλεται στον καθαρά ενεργειακό προσανατολισμό της πολιτικής διαχείρισης των ταμιευτήρων, καθώς κατά μέσο όρο η μέση ετήσια εκτρεπόμενη ποσότητα ανέρχεται σε 501 hm³, σημαντικά μικρότερη από την απαιτούμενη (600 hm³) και μεγαλύτερη από το μέσο αρδευτικό έλλειμμα (77 hm³). Ακόμη, παρατηρείται μεγαλύτερη αστοχία και έλλειμμα στους περιβαλλοντικούς στόχους, σε σχέση με τη διάταξη Δ1, που μάλιστα αφορούν κυρίως στη λεκάνη Αχελώου, η οποία είχε μηδενική αστοχία με τη διάταξη Δ1. Στα σενάρια Δ2-2 και Δ2-E οι αρδευτικές αστοχίες και ελλείμματα περιορίζονται δραστικά. Ωστόσο, υπάρχει μείωση της πρωτεύουσας ενέργειας, που στη μεν περίπτωση του σεναρίου Δ2-2 είναι σχετικά μικρή, γίνεται ωστόσο πολύ μεγάλη στο σενάριο ελαχιστοποίησης των αρδευτικών ελλειμμάτων (Δ2-E).

Πίνακας 9.3: Σενάρια που εξετάζονται στο πλαίσιο της διάταξης Δ2.

Κωδικός	Συνολική πρωτεύουσα ενέργεια (GWh/μήνα)	Ετήσια πιθανότητα αστοχίας (μέσος όρος)			Μέσο ετήσιο έλλειμμα αρδευτικών στόχων (hm ³)
		Υδρευτικοί στόχοι	Περιβαλλοντικοί στόχοι	Αρδευτικοί στόχοι	
Δ2-1	151.4	0.076	0.319	0.202	76.59
Δ2-2	130.2	0.066	0.042	0.019	5.74
Δ2-E	69.9	0.065	0.044	0.018	5.10

9.3.4 Διάταξη Δ3: Μηδενική εκτροπή

Στη διάταξη αυτή δεν υπάρχει διασύνδεση των δύο λεκανών, καθώς ορίζεται μηδενικός στόχος μεταφοράς νερού στη σήραγγα εκτροπής, ενώ δεν επιτρέπεται η αντλησιοταμίευση. Στη διάταξη αυτή εξετάζονται δύο σενάρια, το Δ3-1 το οποίο αποσκοπεί στη μεγιστοποίηση της πρωτεύουσας ενέργειας, και το Δ3-E, το οποίο αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση του μέσου ετήσιου αρδευτικού ελλείμματος (αναφέρεται στους αρδευτικούς στόχους μόνο της Θεσσαλίας). Τα βασικά αποτελέσματα των δύο σεναρίων συνοψίζονται στον Πίνακα 9.4.

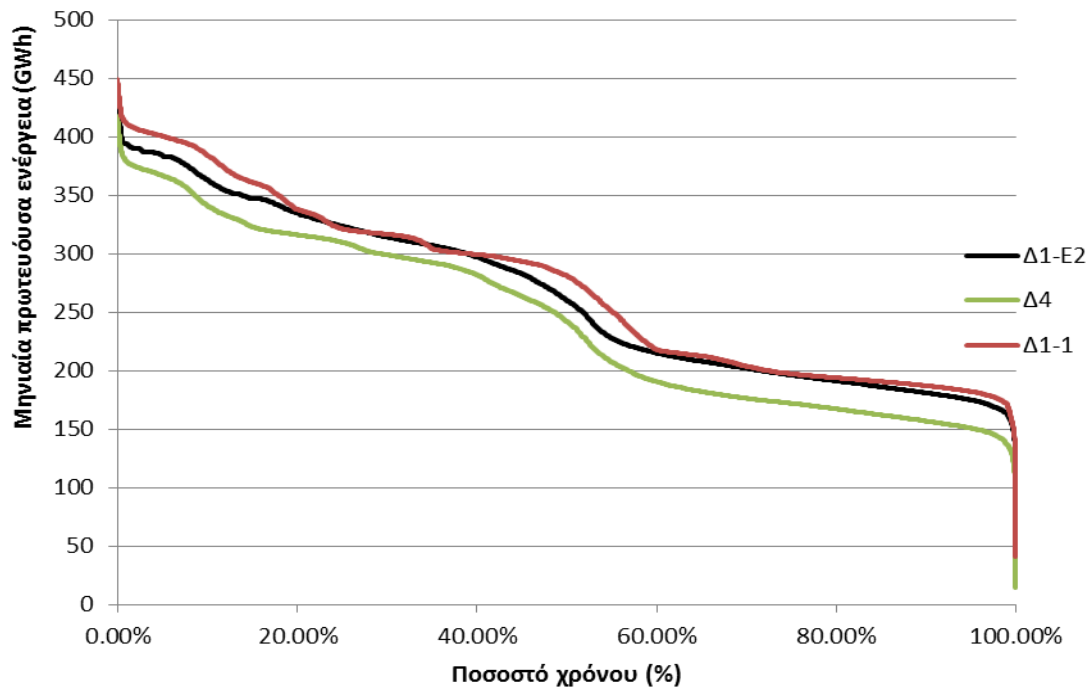
Το σενάριο Δ3-1 έχει θεωρητικό χαρακτήρα, καθώς δεν είναι ρεαλιστική η λειτουργία των έργων Μουζακίου και Μαυροματίου ως ενεργειακού σκοπού, όπως συμβαίνει και με τους ταμειυτήρες Πλαστήρα και Σμοκόβου, η βασική χρήση των οποίων είναι η άρδευση. Σε κάθε περίπτωση, η πρωτεύουσα ενέργεια που εξασφαλίζεται είναι στα ίδια επίπεδα με το σενάριο Δ1-E2, καθώς η μείωση της παραγόμενης ενέργειας στα έργα του Αχελώου αντισταθμίζεται από τη λειτουργία του Υ/Η έργου Πευκοφύτου, και μάλιστα με αντλησιοταμίευση. Από την άλλη πλευρά, η υπόθεση μηδενικής εκτροπής είναι πολύ δυσμενής ως προς τις αρδευτικές αστοχίες και ελλείμματα. Ακόμα και αν θεωρηθεί το σενάριο Δ3-E, στο οποίο επιδιώκεται η ελαχιστοποίηση του ελλείμματος, αυτό διατηρείται σε πολύ υψηλά επίπεδα (128 hm³), έναντι 90 hm³ που είναι το αντίστοιχο μέσο έλλειμμα του σεναρίου Δ1-1, δηλαδή του πλέον δυσμενούς από όλα τα σενάρια της διάταξης Δ1. Τονίζεται ότι η κάλυψη των εν λόγω ελλειμμάτων γίνεται με πρόσθετη χρήση γεωτρήσεων, κάτι που αυξάνει το ενεργειακό κόστος και επιδεινώνει την ήδη κακή κατάσταση του υδροφορέα της Θεσσαλίας.

Πίνακας 9.4: Σενάρια που εξετάζονται στο πλαίσιο της διάταξης Δ3.

Κωδικός	Συνολική πρωτεύουσα ενέργεια (GWh/μήνα)	Ετήσια πιθανότητα αστοχίας (μέσος όρος)			Μέσο ετήσιο έλλειμμα αρδευτικών στόχων (hm ³)
		Υδρευτικοί στόχοι	Περιβαλλοντικοί στόχοι	Αρδευτικοί στόχοι	
Δ3-1	162.9	0.082	0.279	0.561	257.70
Δ3-E	149.2	0.079	0.154	0.520	128.26

9.3.5 Διάταξη Δ4: Χωρίς αντλησιοταμίευση στο Πευκόφυτο

Εξετάζεται η σκοπιμότητα της κατασκευής του έργου άντλησιοταμίευσης στη σήραγγα εκτροπής (ΥΗΣ Πευκοφύτου), για τήσιο στόχο εκτροπής 250 hm³, θέτοντας ως κριτήριο την μεγιστοποίηση της πρωτεύουσας ενέργειας του συστήματος. Στο Εικόνα 9.3 συγκρίνονται οι καμπύλες διάρκειας – συνολικής παραγωγής ενέργειας του σεναρίου Δ4 με τα Δ1-1 και Δ1-E2. Σε σχέση με το Δ1-1, παρατηρείται σημαντική διαφορά στην παραγόμενη πρωτεύουσα ενέργεια, της τάξης των 34 GWh/μήνα, ποσότητα που είναι συγκρίσιμη με την παραγωγή της Μεσοχώρας, ενώ και σε σχέση με το Δ1-E2 η παραγωγή ενέργειας είναι μειωμένη.



Εικόνα 9.3: Καμπύλη διάρκειας – παραγωγής ενέργειας σεναρίων Δ4, Δ1-1 και Δ1-E2.

9.3.6 Διάταξη Δ5: Περιορισμός αρδευτικής ζήτησης

Η διάταξη αυτή είναι ισοδύναμη με την Δ1, με την διαφορά ότι οι αρδευτικές ζητήσεις και στις δύο ΛΑΠ μειώνονται, λόγω εκσυγχρονισμού των αρδευτικών δικτύων, αλλαγής της αγροτικής πολιτικής και των πρακτικών άρδευσης. Στο πλαίσιο αυτό, διερευνώνται δύο σενάρια, υποθέτοντας μειωμένη ζήτηση της τάξης των 550 m³/στρέμμα. Στο σενάριο Δ5-1 επιδιώκεται η βελτιστοποίηση της παραγωγής πρωτεύουσας ενέργειας, ενώ στο σενάριο Δ5-2 γίνεται απλή προσομοίωση, εφαρμόζοντας τη διαχειριστική πολιτική του σεναρίου μηδενικής εκτροπής Δ3-E. Τα βασικά μεγέθη των δύο σεναρίων συνοψίζονται στον Πίνακα 9.5.

Στο σενάριο Δ5-1 παρατηρείται μικρή μόνο άνοδος της παραγόμενης πρωτεύουσας ενέργειας σε σχέση με το Δ1-1 (178 έναντι 171 GWh). Αντίθετα, όσον αφορά τους στόχους άρδευσης, το αρδευτικό έλλειμμα και τις απολήψεις από τον υδροφορέα, το Δ5-1 είναι συγκρίσιμο με το Δ2-E, στο οποίο θεωρείται εκτροπή 600 hm³ από τον Αχελώο. Τέλος, το έλλειμμα των περιβαλλοντικών στόχων είναι πρακτικά μηδενικό (1.64 hm³). Από την άλλη πλευρά, στο σενάριο Δ5-2 παρατηρείται ότι, παρά τη μείωση της αρδευτικής κατανάλωσης, εφόσον δεν πραγματοποιηθεί εκτροπή νερού από τον Αχελώο, το ύψος των ελλειμμάτων θα είναι ακόμα σημαντικό, και οι αντλήσεις παραμένουν σε υψηλά επίπεδα.

Πίνακας 9.5: Σενάρια που εξετάζονται στο πλαίσιο της διάταξης Δ5.

Κωδικός	Συνολική πρωτεύουσα ενέργεια (GWh/μήνα)	Ετήσια πιθανότητα αστοχίας (μέσος όρος)			Μέσο ετήσιο έλλειμμα αρδευτικών στόχων (hm ³)
		Υδρευτικοί στόχοι	Περιβαλλοντικοί στόχοι	Αρδευτικοί στόχοι	
Δ5-1	178.3	0.038	0.158	0.027	6.77
Δ5-2	142.2	0.035	0.118	0.234	38.19

9.3.7 Επιλογή πλέον συμβιβαστικής λύσης

Η επιλογή της πλέον συμβιβαστικής λύσης γίνεται μεταξύ των σεναρίων της διάταξης Δ1, που αφορά στο πλήρες σχήμα έργων, με εκτροπή 250 hm³, και τα υφιστάμενα επίπεδα αρδευτικών καταναλώσεων. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 9.1, τα βελτιστοποιημένα κριτήρια των διαφόρων σεναρίων που εξετάστηκαν δημιουργούν ένα ιδιότυπο μέτωπο Pareto, που έχει μορφή ορθής γωνίας. Αυτό υποδηλώνει πολύ μεγάλη ευαισθησία ως προς τη διαχειριστική πολιτική, καθώς μια μικρή βελτίωση της ενεργειακής επίδοσης του υδροσυστήματος έχει σημαντικές επιπτώσεις στην κάλυψη των αρδευτικών στόχων, τόσο σε όρους ετήσιας πιθανότητας αστοχίας όσο και σε όρους ετήσιου ελλείμματος.

Σε μια τέτοια περίπτωση, η επιλογή της πλέον συμβιβαστικής διαχειριστικής πολιτικής καθίσταται προφανής, καθώς είναι αυτή που κείται στη γωνία του μετώπου. Πράγματι, στα ενδιάμεσα σενάρια Δ1-3 και Δ1-E2 η συνολική πρωτεύουσα ενέργεια είναι πολύ υψηλή και το έλλειμμα άρδευσης πολύ μικρό, συγκρινόμενα με τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές αυτών των μεγεθών, που βρίσκονται στα άκρα του μετώπου. Οι δύο αυτές λύσεις είναι πρακτικά ισοδύναμες, όσον αφορά στις τιμές των τριών εξεταζόμενων κριτηρίων. Τελικά, λαμβάνεται ως πλέον πρόσφορη η διαχειριστική πολιτική του σεναρίου Δ1-E2, στο οποίο οι μέσες ετήσιες αντλήσεις από γεωτρήσεις ανέρχονται σε 109.0 hm³, έναντι 112.1 hm³ του σεναρίου Δ1-3. Το παραπάνω κριτήριο είναι σημαντικό, καθώς οι απολήψεις από υπόγεια νερά έχουν αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις (δεδομένης της υποβάθμισης του υδροφορέα της Θεσσαλίας), και αυξάνουν την ενεργειακή κατανάλωση και, συνακόλουθα, το ενεργειακό κόστος του συστήματος.

9.4 Συμπεράσματα

Από την διερεύνηση της λειτουργίας του συστήματος και τα αποτελέσματα των σεναρίων βελτιστοποίησης προκύπτει ότι δεν έχει σημασία μόνο η ποσότητα της εκτροπής, αλλά και το διαχειριστικό της πλαίσιο. Το υδροσύστημα, λόγω της εγγενούς πολυπλοκότητάς του, είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο, και μικρές αλλαγές στην πολιτική λειτουργίας του οδηγούν σε έντονες διαφοροποιήσεις των μεγεθών επίδοσής του (πρωτεύουσα ενέργεια, πιθανότητα αστοχίας, ετήσια ελλείμματα).

Χαρακτηριστική της ευαισθησίας του συστήματος είναι η απότομη γεωμετρική μορφή, τύπου σχεδόν ορθής γωνίας, του μετώπου Pareto πρωτεύουσας ενέργειας-ελλείμματος, όπου μετά το σημείο αλλαγής κλίσης, για μικρό επιπλέον όφελος στην παραγωγή το έλλειμμα αυξάνεται με υψηλό ρυθμό (Εικόνα 9.1). Ακόμη, από τις αναλύσεις φάνηκε ότι η εκτροπή των 600 hm³, με αποκλειστικό κριτήριο την ενεργειακή απόδοση, κρίνεται μη αποδεκτή, και μάλιστα τα αποτελέσματά της είναι χειρότερα από την καλύτερη συμβιβαστική λύση της λεγόμενης μικρής εκτροπής των 250 hm³. Συγκεκριμένα, προέκυψε ότι για ελάχιστη μείωση στο ετήσιο έλλειμμα, η παραγόμενη ενέργεια υποδιπλασιάζεται.

Τα σημαντικότερα συμπεράσματα των διαφόρων σεναρίων που εξετάστηκαν είναι:

- Η εκτροπή του Αχελώυ έχει σημαντική θετική επιρροή στην παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας, εφόσον συνδυστεί με τα έργα αντλησιοταμίευσης. Μάλιστα το πλήρες σχήμα έργων εξασφαλίζει σημαντικά μεγαλύτερη παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας από την υφιστάμενη κατάσταση, αλλά και από την διάταξη κατασκευής των έργων χωρίς εκτροπή.

- Ακόμα και αν δεν υλοποιηθεί η εκτροπή του Αχελώου, η κατασκευή των έργων Πύλης και Μουζακίου κρίνεται αναγκαία, καθώς συμβάλει σε ουσιώδη μείωση του ελλείμματος στη Θεσσαλία.
- Η αρδευτική ζήτηση στις δύο λεκάνες έχει περιθώρια σημαντικής μείωσης, σε πρώτο στάδιο με βελτίωση των τωρινών πρακτικών άρδευσης και, πιο μακροπρόθεσμα, με αναδιάρθρωση των καλλιεργειών. Στα σενάρια μείωσης των αρδευτικών αναγκών από 700 σε 550 m³/στρέμμα, κατά μέσο όρο, τα ενεργειακά οφέλη που προκύπτουν είναι πολλαπλά, καθώς υπάρχει αύξηση της παραγόμενης πρωτεύουσας ενέργειας, και παράλληλα μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης από γεωτρήσεις.
- Αν και η εκτροπή του Αχελώου ανακουφίζει, σε κάποιο βαθμό, τους υδροφορείς, στις περιοχές στις οποίες πραγματοποιούνται συνδυασμένες απολήψεις από επιφανειακά και υπόγεια νερά, δεν λύνει πλήρως το πρόβλημα των ελλειμμάτων στη Θεσσαλία, καθώς παραμένουν σημαντικές εκτάσεις (~800 000 στρέμματα) που αρδεύονται μόνο από γεωτρήσεις. Γενικότερα, το περιβαλλοντικό πρόβλημα της Θεσσαλίας δεν λύνεται μόνο με τα έργα της εκτροπής, αλλά απαιτεί επιπρόσθετες παρεμβάσεις, σε επίπεδο έργων υποδομής και διαχείρισης της αρδευτικής ζήτησης.
- Σε όλα τα σενάρια, οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί του συστήματος (ελάχιστη παροχή περιβαλλοντικής διατήρησης ποταμών, ελάχιστη στάθμη απολήψεων ταμιευτήρα Πλαστήρα) ικανοποιούνται με πολύ μεγάλη αξιοπιστία. Το μέσο ετήσιο έλλειμμα κυμαίνεται από 1.4 hm³ (Δ2-E) ως 13.6 hm³ (Δ2-1), σε σύνολο ζήτησης της τάξης των 1400 hm³. Ειδικά στην λεκάνη του Αχελώου, για οποιοδήποτε από τα εξεταζόμενα σενάρια εκτροπής, τηρείται συνεχώς ο περιορισμός της οικολογικής παροχής κατάντη του φράγματος Στράτου.
- Λαμβάνοντας υπόψη ότι: (α) το κόστος για αναδιάρθρωση των καλλιεργειών και ανάπτυξη μεγάλης κλίμακας κλειστών αρδευτικών δικτύων είναι ασύμφορο, (β) ακόμα και με εξορθολογισμό των αρδευτικών καταναλώσεων δεν αντιμετωπίζεται πλήρως το πρόβλημα υπεράντλησης των υδροφορέων, και (γ) οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί ικανοποιούνται πλήρως, κρίνεται σκόπιμο να υλοποιηθεί η μερική εκτροπή του Αχελώου, και ειδικότερα το χαμηλό σενάριο των 250 hm³. Μάλιστα, η ίδια ποσότητα της λεγόμενης «ήπιας» εκτροπής έχει προταθεί (και εγκριθεί) στις διαχειριστικές μελέτες που εκπονήθηκαν στον πλαίσιο εφαρμογής της Οδηγίας-Πλαίσιο 2000/60/ΕΚ (ΥΠΕΚΑ και Κ/Ξ Διαχείρισης Υδάτων Θεσσαλίας, Ηπείρου και Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, 2011α, β).

Συνοψίζοντας, κρίνεται ότι το σενάριο εκτροπής των 250 hm³, πλαισιωμένο με ορθολογικές διαχειριστικές πολιτικές, είναι και εφικτό και βιώσιμο. Τα χαρακτηριστικά μεγέθη του σεναρίου αυτού αποτυπώνονται στη διάταξη Δ1-E2, που αποτελεί τη βάση για τις αναλύσεις του συνδυασμένου υδρο-ενεργειακού συστήματος, που αναφέρονται, πλέον, στην ημερήσια χρονική κλίμακα.

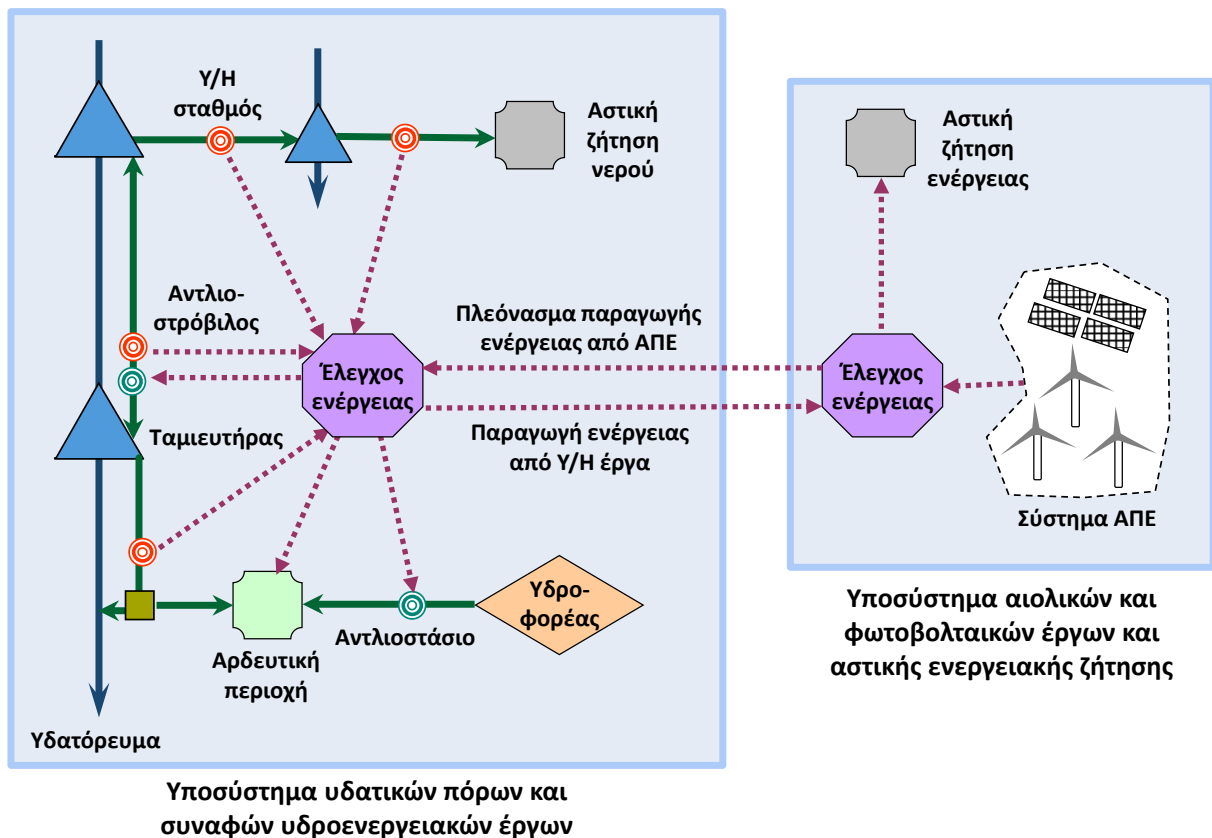
10 Διερεύνηση σεναρίων κάλυψης ενεργειακών αναγκών Θεσσαλίας μέσω υδροηλεκτρικών έργων

10.1 Σκοπός και μεθοδολογία

Στις διαχειριστικές αναλύσεις του προηγούμενου κεφαλαίου, ορίστηκαν σταθερές τιμές ζήτησης ενέργειας σε όλα τα υδροηλεκτρικά έργα του υδροσυστήματος, με εξαίρεση τα έργα κατάντη των ταμιευτήρων Πλαστήρα και Σμοκόβου, που χρησιμοποιούνται για παραγωγή δευτερεύουσας ενέργειας, που έχουν ως κύριες χρήσεις νερού την ύδρευση και την άρδευση. Οι εν λόγω στόχοι παραγωγής ενέργειας ποσοτικοποιούν, στην πραγματικότητα, την πολιτική λειτουργίας των εν λόγω έργων, ορίζοντας σε κάθε χρονικό βήμα (μήνα) μια επιθυμητή εκροή από τους στροβίλους, λαμβάνοντας υπόψη το τρέχον ενεργειακό διαθέσιμο (που κατά κανόνα είναι μεταβλητό, καθώς εξαρτάται από την στάθμη του ανάντη ταμιευτήρα). Θεωρητικά, το (σταθερό) άθροισμα όλων των επιμέρους στόχων υποδηλώνει μια ζητούμενη ενέργεια βάσης του συστήματος. Ωστόσο, η πραγματική παραγωγή ενέργειας γενικά διαφέρει από την παραπάνω ζήτηση, καθώς λόγω των υπόλοιπων χρήσεων νερού και των διαφόρων τεχνικών και λειτουργικών περιορισμών, άλλοτε παράγεται μικρότερη ποσότητα και άλλοτε περισσότερη. Για τον λόγο αυτό, η παραγόμενη ενέργεια αξιολογείται *εκ των υστέρων*, με βάση ένα προκαθορισμένο επίπεδο αξιοπιστίας (στην προκειμένη περίπτωση 99%), το οποίο χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της συνολικής πρωτεύουσας ενέργειας του συστήματος από την προσομοιωμένη καμπύλη διάρκειας – παραγωγής ενέργειας. Η πρωτεύουσα ενέργεια αποτελεί ένα μέτρο επίδοσης του συστήματος, που σε συνδυασμό με άλλα κριτήρια, τα οποία σχετίζονται με την ικανοποίηση των αρδευτικών στόχων, εφαρμόστηκε για τον προσδιορισμό της πλέον πρόσφορης γενικής διάταξης έργων και τον καθορισμό βασικών διαχειριστικών επιλογών, όπως π.χ. η ποσότητα της ετήσιας εκτροπής νερού από τον Αχελώο.

Συγκεκριμένα, από τις αναλύσεις του Κεφαλαίου 9 προκρίθηκε η ήπια εκτροπή των 250 hm³, με θεώρηση της γενικής διάταξης έργων που περιλαμβάνει το πλήρες σχήμα της περιοχής Π1, με τη χρήση ανλιοστροβίλων. Για τη διάταξη αυτή, επιλέχθηκε ως πλέον συμβιβαστικό το διαχειριστικό σενάριο που εξασφαλίζει μηνιαία παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας 163.4 GWh (με αξιοπιστία 99%, σε μηνιαία βάση). Ακόμη, εξασφαλίζει ικανοποιητική κάλυψη των υδρευτικών, αρδευτικών και περιβαλλοντικών στόχων του συστήματος. Ειδικότερα, η μέση ετήσια πιθανότητα αστοχίας όλων των αρδευτικών στόχων που σχετίζονται με απολήψεις από επιφανειακά νερά είναι μόλις 4%, ενώ το μέσο ετήσιο αρδευτικό έλλειμμα είναι της τάξης των 14 hm³.

Τα παραπάνω μεγέθη μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικά της βέλτιστης μακροχρόνιας λειτουργίας του συστήματος, που σε ημερήσια βάση εξασφαλίζει, με πολύ υψηλή αξιοπιστία, μια ελάχιστη ενεργειακή παραγωγή της τάξης των 5.4 GWh. Ωστόσο, η παραγωγή αυτή μπορεί να καλύψει μέρος μόνο της ημερήσιας ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στην Θεσσαλία, που ανέρχεται, κατά μέσο όρο, στα επίπεδα των 8.0 GWh, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η ζήτηση ενέργειας από τις γεωτρήσεις και ανλιοστάσια του υδροσυστήματος. Με βάση τα χονδρικά αυτά μεγέθη, προκύπτει ότι το σύστημα των υδροηλεκτρικών έργων μπορεί να εξυπηρετήσει το 50-60% των ενεργειακών αναγκών της περιοχής μελέτης, με την υπόλοιπη ποσότητα να πρέπει να καλυφθεί από άλλες μορφές ΑΠΕ, συγκεκριμένα από φωτοβολταϊκές και αιολικές μονάδες.



Εικόνα 10.1: Εννοιολογικός διαχωρισμός υποσυστημάτων νερού και ανανεώσιμης ενέργειας.

Προφανώς, οι εκτιμήσεις αυτές είναι υπερβολικά αδρομερείς για τον σχεδιασμό των εν λόγω έργων ΑΠΕ. Θεωρητικά, η εκτίμηση της απαιτούμενης εγκατεστημένης ισχύος τους είναι ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης, για το οποίο απαιτείται η συνδυασμένη προσομοίωση όλων των ενεργειακών πηγών της περιοχής μελέτης (υδροηλεκτρικά, φωτοβολταϊκά και αιολικά έργα), ώστε να καταρτιστεί το πλήρες ισοζύγιο προσφοράς και ζήτησης ενέργειας. Ωστόσο, εξαιτίας της πολυπλοκότητας του προβλήματος και του υπολογιστικού φόρτου που απαιτεί, κρίνεται πιο σκόπιμη η προσέγγισή του σε μια μορφή επαναληπτικών κύκλων, διαμορφώνοντας δύο βασικά υποσυστήματα, όπως φαίνεται στο παράδειγμα της Εικόνας 10.1. Το πρώτο είναι το υδροσύστημα, όπως ακριβώς αποτυπώνεται στις έως τώρα διαχειριστικές αναλύσεις, αλλά με λειτουργία του σε ημερήσιο χρονικό βήμα και με ορισμό της συνολικής ζήτησης ενέργειας ως εξωτερική μεταβλητή, κατ' αντιστοιχία με την υδρευτική και αρδευτική ζήτηση. Το δεύτερο είναι το υποσύστημα των άλλων δύο ΑΠΕ, που δεν έχουν δυνατότητα ρύθμισης της ενεργειακής τους παραγωγής. Λόγω της έντονης μεταβλητότητας των υδρομετεωρολογικών διεργασιών που καθορίζουν την παραγωγή ενέργειας, καθώς και της μεταβλητότητας της ζήτησης, το υποσύστημα αυτό μελετάται σε λεπτότερη χρονική κλίμακα (ωριαία).

Επειδή δεν είναι γνωστή η διάταξη των ΑΠΕ, η μελέτη των δύο παραπάνω συνιστωσών ξεκινά από το υδροσύστημα, για το οποίο ορίζονται διάφορα *σενάρια εξωτερικής ζήτησης ενέργειας*. Στο αρχικό σενάριο, θεωρείται η συνολική ζήτηση ενέργειας της Θεσσαλίας, στην οποία προστίθενται οι εκτιμώμενες ημερήσιες ανάγκες του ίδιου του υδροσυστήματος, δηλαδή η ζήτηση ενέργειας από τις γεωτρήσεις και αντλιοστάσια. Στο μεθοδολογικό πλαίσιο του συστήματος υποστήριξης αποφάσεων, η ζήτηση αυτή της εκτιμάται, σε κάθε χρονικό βήμα (ημέρα), με βάση την προσομοιωμένη κατανάλωση της προηγούμενης ημέρας. Στα υπόλοιπα σενάρια ορίζεται μειωμένη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, αφαιρώντας από τη

συνολική ζήτηση της Θεσσαλίας μια σταθερή ποσότητα κάθε ημέρα. Το τελικό ζητούμενο είναι ο εντοπισμός της ζήτησης εκείνης που μπορεί να καλυφθεί με υψηλή αξιοπιστία αποκλειστικά από τα υδροηλεκτρικά έργα του υδροσυστήματος. Το ενεργειακό έλλειμμα που προκύπτει χρησιμοποιείται ως βάση για τη διαστασιολόγηση των δύο άλλων πηγών ΑΠΕ, και στη συνέχεια την ωριαία προσομοίωση του αντίστοιχου υποσυστήματος. Στον τελικό κύκλο, με γνωστά πλέον τα μεγέθη όλων των ενεργειακών πηγών, είναι εφικτή η κατάρτιση του πλήρους ενεργειακού ισοζυγίου της περιοχής μελέτης, και η διερεύνηση των προοπτικών ενεργειακής αυτονομίας του.

10.2 Γενική διατύπωση προβλήματος προσομοίωσης-βελτιστοποίησης

Όπως και στις αναλύσεις του Κεφαλαίου 9, η προσομοίωση του υδροσυστήματος γίνεται με το λογισμικό Υδρονομέας, εφαρμόζοντας μηνιαίο χρονικό βήμα και ορίζοντας μια εξωτερική χρονοσειρά ζήτησης ενέργειας. Στη συνέχεια περιγράφονται τα γενικά χαρακτηριστικά του προβλήματος προσομοίωσης-βελτιστοποίησης.

10.2.1 Χρονικός ορίζοντας προσομοίωσης

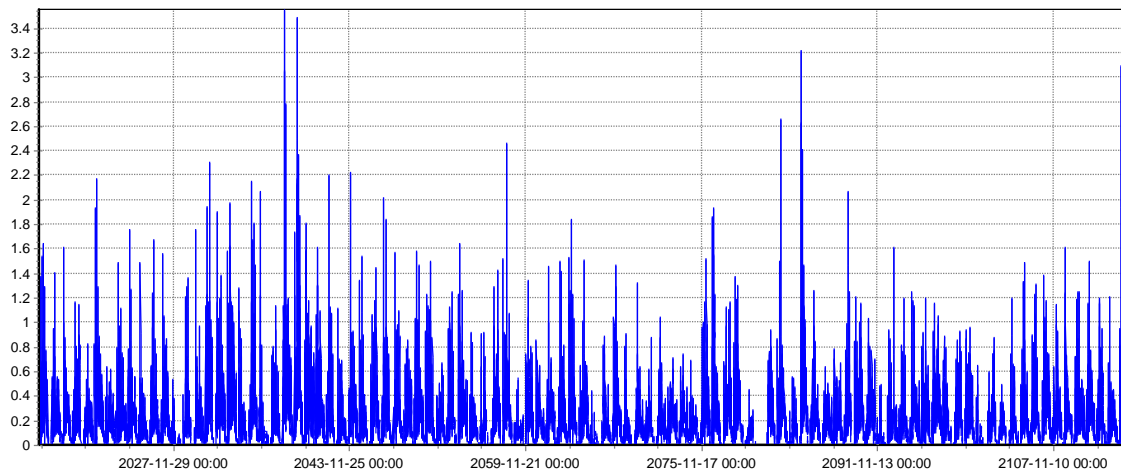
Στις προσομοιώσεις θεωρείται χρονικός ορίζοντας 100 ετών, ενώ ορισμένες προκαταρκτικές αναλύσεις γίνονται με μικρότερο χρονικό ορίζοντα (10 έτη), προκειμένου να περιοριστεί ο υπολογιστικό φόρτος. Σημειώνεται ότι στις μηνιαίες προσομοιώσεις του Κεφαλαίου 9, με χρονικό ορίζοντα 1000 έτη, το συνολικό πλήθος των χρονικών βημάτων ήταν $1000 \times 12 = 12\,000$, ενώ στις παρούσες αναλύσεις, με ημερήσιο χρονικό βήμα, το πλήθος αυτό αυξάνει σε περίπου $100 \times 365 = 36\,500$ (στην πραγματικότητα, λόγω των δίσεκτων ετών ο αριθμός αυτό είναι λίγο μεγαλύτερος). Κατά συνέπεια, στις παρούσες αναλύσεις ο υπολογιστικό φόρτος του προβλήματος προσομοίωσης είναι τριπλάσιος.

10.2.2 Χρονοσειρές εισόδου

Οι χρονοσειρές εισόδου του υδροσυστήματος αφορούν στις υδρολογικές εισροές (απορροές υπολεκανών ανάντη φραγμάτων, απορροές υπολεκανών που συμβάλλουν στους κόμβους του υδρογραφικού δικτύου, επιφανειακή βροχόπτωση λιμνών και ταμιευτήρων), τις απώλειες λόγω εξάτμισης των ταμιευτήρων, καθώς και τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγωγή των συνθετικών χρονοσειρών εξηγείται στα Κεφάλαια 6 και 8.

Ειδικότερα, η αρχική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας της περιοχής μελέτης, που έχει παραχθεί στην ωριαία κλίμακα, συναθροίζεται στην ημερήσια κλίμακα.

Υπενθυμίζεται ότι για τις απορροές των υπολεκανών, έγινε επιμερισμός των συνθετικών μηνιαίων τιμών σε ημερήσιες χρησιμοποιώντας ως βάση την ημερήσια συνθετική χρονοσειρά εισροών στον ταμιευτήρα Κρεμαστών, καθώς είναι η μοναδική θέση του υδροσυστήματος όπου διατίθεται επαρκές δείγμα ημερήσιων παροχών για στοχαστική προσομοίωση. Συνεπώς, στην ημερήσια κλίμακα, όλες οι χρονοσειρές απορροής ακολουθούν τη χρονική κατανομή της συνθετικής χρονοσειράς του Αχελώου στην θέση αυτή. Στην Εικόνα 10.2 απεικονίζεται μια τέτοια χρονοσειρά, που εισάγεται στον κόμβο εισροής Αλή Εφέντη.



Εικόνα 10.2: Συνθετική χρονοσειρά ημερήσιων απορροών ενδιάμεσης υπολεκάνης Αλή Εφέντη στον αντίστοιχο κόμβο εισροής.

Σε κάθε περίπτωση, η χρήση του ημερήσιου βήματος παρέχει πιο ακριβή αποτελέσματα, όσον αφορά στην προσομοίωση της λειτουργίας των ταμιευτήρων αλλά και των αρδευτικών απολήψεων από υδατορεύματα. Ειδικότερα, τα μεγέθη που εξαρτώνται από την στάθμη των ταμιευτήρων (με κυριότερα την παραγωγή ενέργειας και τις υπερχειλίσεις), που εκτιμώνται, αναγκαστικά, με βάση τη στάθμη του προηγούμενου χρονικού βήματος (καθώς το σχήμα επίλυσης του προβλήματος προσομοίωσης είναι ρητό), είναι πολύ πιο ακριβή όταν το βήμα είναι μικρό, καθώς οι μεταβολές της στάθμης στη διάρκεια του χρονικού αυτού διαστήματος είναι επίσης μικρές, αντίθετα με ό,τι συμβαίνει στη μηνιαία χρονική κλίμακα. Σε παλαιότερες διερευνήσεις έχει αποδειχθεί ότι το σφάλμα που εισάγει η υιοθέτηση μηνιαίου βήματος στα αποτελέσματα της ενεργειακής παραγωγής των υδροηλεκτρικών ταμιευτήρων της περιοχής μελέτης δεν είναι αμελητέο (Ευστρατιάδης και Ζερβός, 1999).

Όσον αφορά στις απολήψεις από υδατορεύματα, με την υιοθέτηση του ημερήσιου βήματος οι εκτιμήσεις γίνονται πιο ρεαλιστικές αλλά και πιο δυσμενείς. Ειδικά τη θερινή περίοδο, δεν μπορεί να παραληφθεί το σύνολο της απορροής, καθώς τις ημέρες που πραγματοποιούνται πλημμυρικά επεισόδια, είτε η παροχευτικότητα των έργων υδροληψίας είτε και η ίδια η αρδευτική ζήτηση μπορεί να είναι μικρότερες. Αντίθετα, στη μηνιαία κλίμακα, οι μεταβολές της παροχής εξομαλύνονται, με αποτέλεσμα να θεωρείται εσφαλμένα το σύνολο της μηνιαίας απορροής διαθέσιμο για την πραγματοποίηση απολήψεων.

10.2.3 Παραμετροποίηση λειτουργίας υδροηλεκτρικών έργων

Η χρονοσειρά ζήτησης ενέργειας θεωρείται εξωτερική μεταβλητή του υδροσυστήματος, και ορίζει μια συνολική ζήτηση που πρέπει να καλυφθεί από τα υδροηλεκτρικά έργα, μαζί με τις ενεργειακές ανάγκες των αντλιοστασίων και γεωτρήσεων (οι οποίες εκτιμώνται με βάση την προσομοιωμένη κατανάλωση της αμέσως προηγούμενης ημέρας). Στην περίπτωση αυτή, η παραμετροποίηση της λειτουργίας των υδροηλεκτρικών μονάδων γίνεται με την εισαγωγή χρονικά σταθερών στόχων παραγωγής ενέργειας, που στο μεθοδολογικό πλαίσιο του Υδρονομέα εφαρμόζονται ως εξής (Ευστρατιάδης κ.ά., 2016):

Αν η συνολική ζήτηση ενέργειας υπολείπεται (ή είναι οριακά ίση) του αθροιστικού στόχου, τότε επιδιώκεται η παραγωγή συνολικής ενέργειας ίση με τον αθροιστικό στόχο, ορίζοντας σε κάθε στρόβιλο ζήτηση ίση με τον αρχικό στόχο (η διαδικασία είναι όμοια με αυτή που

εφαρμόζεται στη λειτουργία του συστήματος χωρίς εξωτερική ζήτηση ενέργειας). Αντίθετα, αν η συνολική ζήτηση υπερβαίνει τον αθροιστικό στόχο των στρόβιλων, τότε οι επιμέρους αρχικοί στόχοι προσαυξάνονται αναλογικά, ορίζοντας σε κάθε στρόβιλο μια επιθυμητή παραγωγή ενέργειας τέτοια ώστε το σύνολό τους να ισούται με τη συνολική ζήτηση ενέργειας. Ωστόσο, αν δεν διατίθεται επαρκές ύψος πτώσης ή επαρκής παροχευτικότητα σε κάποιους από τους στρόβιλους, η επιθυμητή παραγωγή ενδέχεται να μην είναι υλοποιήσιμη. Στην περίπτωση αυτή, υπάρχει το ενδεχόμενο να εμφανιστεί έλλειμμα ενέργειας, παρόλο που άλλοι στρόβιλοι έχουν παραπάνω δυνατότητα παραγωγής από αυτή που επιβάλει ο αντίστοιχος στόχος. Για τον λόγο αυτό, οι εν λόγω στόχοι αναθεωρούνται περαιτέρω, ώστε να εξασφαλιστεί η μέγιστη εφικτή παραγωγή ενέργειας από το σύστημα των στρόβιλων. Σημειώνεται ότι η προσέγγιση αυτή βασίζεται στην δυνατότητα μεταφοράς των ενεργειακών πόρων από όλες τις πηγές ενέργειας προς τον κεντρικό κόμβο ελέγχου του συστήματος, χωρίς περιορισμούς. Η υπόθεση αυτή είναι ρεαλιστική, δεδομένου ότι οι γραμμές μεταφοράς των υδροηλεκτρικών σταθμών ανήκουν στο διασυνδεδεμένο δίκτυο.

Αναφορές

- Βαβίζος, Γ., Κ. Ζαννάκη, Δ. Ζαφειρόπουλος & ΣΙΑ Α.Ε., και Ιωάννης Ζαχάρωφ ΣΥΝΘΕΣΗ & ΕΡΕΥΝΑ Ε.Π.Ε., *Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων και επανορθωτικών μέτρων από την κατασκευή και λειτουργία του φράγματος Σμοκόβου και συναφών έργων*, Ανάδοχος: ΥΠΕΧΩΔΕ, Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων, Διεύθυνση Εγγειοβελτιωτικών Έργων (Δ7), Αθήνα, 1995.
- ΔΕΗ/ΔΑΥΕ, *Έργα Εκτροπής Αχελώου: Έργα Δυτικής Θεσσαλίας Κατάντη της Σήραγγας Εκτροπής Αχελώου*, Τεχνική έκθεση, Αθήνα, 1997.
- ΕΥΔΕ Αχελώου και ENVECO, *Συνολική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων της Εκτροπής Αχελώου*, Αθήνα, ΥΠΕΧΩΔΕ, 1995.
- ΕΥΔΕ Αχελώου και ΥΠΕΧΩΔΕ, *Εγγειοβελτιωτικά έργα Α-1 φάσης στη Θεσσαλία, Εκτροπή Αχελώου: Συνολική Μελέτη Οικονομικής Σκοπιμότητας*, Τελική Έκθεση, Παράρτημα 1.Β, Αθήνα, 1997.
- Ευστρατιάδης, Α., Α. Κουκουβίνος, Δ. Κουτσογιάννης, και Ν. Μαμάσης, *Υδρολογική μελέτη, Διερεύνηση των δυνατοτήτων διαχείρισης και προστασίας της ποιότητας της Λίμνης Πλαστήρα*, Τεύχος 2, 70 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Μάρτιος 2002.
- Ευστρατιάδης, Α., Α. Κουκουβίνος, Ν. Μαμάσης, και Δ. Κουτσογιάννης, *Εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης και βέλτιστης λειτουργίας ταμιευτήρα Σμοκόβου και συναφών έργων, Διερεύνηση σεναρίων διαχείρισης του ταμιευτήρα Σμοκόβου*, Τεύχος 3, 104 σ., Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ιούλιος 2008.
- Ευστρατιάδης, Α., Α. Τέγος, Γ. Καραβοκυρός, Ι. Κυριαζοπούλου, και Ι. Βαζίμας, *Σχέδιο διαχείρισης των υδατικών πόρων περιοχής Καρδίτσας, Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Συστημάτων σε Σύζευξη με Εξελιγμένο Υπολογιστικό Σύστημα (ΟΔΥΣΣΕΥΣ)*, Τεύχος 16, 132 σ., ΝΑΜΑ Σύμβουλοι Μηχανικοί και Μελετητές Α.Ε., Δεκέμβριος 2006.
- Ευστρατιάδης, Α., Δ. Μπουζιώτας, και Δ. Κουτσογιάννης, *Σύστημα υποστήριξης αποφάσεων για τη διαχείριση υδροηλεκτρικών ταμιευτήρων – Εφαρμογή στο υδροσύστημα Αχελώου-Θεσσαλίας, Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου Φραγμάτων και Ταμιευτήρων*, Αθήνα, Αίγλη Ζαπτείου, Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων, 2013.
- Ευστρατιάδης Α., και Ν. Ζερβός, *Βέλτιστη διαχείριση συστημάτων ταμιευτήρων – Εφαρμογή στο σύστημα Αχελώου-Θεσσαλίας*, Διπλωματική εργασία, 181 σ., Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 1999.
- Ευστρατιάδης, Α., Ν. Μαμάσης, Ι. Μαρκόνης, Π. Κοσσιέρης, και Χ. Τύραλης, *Μεθοδολογικό πλαίσιο βέλτιστου σχεδιασμού και συνδυασμένης διαχείρισης υδατικών και ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων, Συνδυασμένα συστήματα ανανεώσιμων πηγών για αειφορική ενεργειακή ανάπτυξη (CRESSEND0)*, 154 σ., Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Φεβρουάριος 2016.
- Ζαρρής, Δ., Ε. Ρόζος, και Δ. Σακελλαριάδης, *Περιγραφή των υδατικών συστημάτων, Εκτίμηση και Διαχείριση των Υδατικών Πόρων της Στερεάς Ελλάδας – Φάση 3*, Τεύχος 36,

- 160 σ., Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ιανουάριος 1999.
- Ζαρρής, Δ., Π. Αναστασοπούλου, και Κ. Αλεξοπούλου, Επικαιροποίηση παροχομετρικής πληροφορίας, *Αναβάθμιση και επικαιροποίηση της υδρολογικής πληροφορίας της Θεσσαλίας*, Τεύχος 2, 170 σ., Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Μάρτιος 1997.
- Κουκουβίνος, Α., και Α. Χριστοφίδης, Ανάπτυξη συστήματος γεωγραφικής πληροφορίας για την υδρολογία, τις χρήσεις και τα έργα αξιοποίησης νερού, *Εκτίμηση και Διαχείριση των Υδατικών Πόρων της Στερεάς Ελλάδας – Φάση 3*, Τεύχος 38, 50 σ., Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ιανουάριος 1999.
- Κουτσογιάννης, Δ., Α. Ευστρατιάδης, και Ν. Μαμάσης, Αποτίμηση του επιφανειακού υδατικού δυναμικού και των δυνατοτήτων εκμετάλλευσής του στη λεκάνη του Αχελώου και τη Θεσσαλία, *Κεφ. 5 της Μελέτης Υδατικών Συστημάτων, Συμπληρωματική μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων εκτροπής του Αχελώου προς τη Θεσσαλία*, Εργοδότης: Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων, Ανάδοχος: Υδροεξυγιαντική, Συνεργαζόμενοι: Δ. Κουτσογιάννης, 2001.
- Κουτσογιάννης, Δ., Ν. Μαμάσης, και Α. Ευστρατιάδης, Διερεύνηση οικολογικής παροχής, *Ειδική Τεχνική Μελέτη για την Οικολογική Παροχή από το Φράγμα Στράτου*, Εργοδότης: Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, Ανάδοχος: ECOS Μελετητική Α.Ε., 88 σ., Αθήνα, Μάιος 2009.
- Κουτσογιάννης, Δ., Σ. Μ. Παπαλεξίου, Ι. Μαρκόνης, Π. Δημητριάδης, και Π. Κοτσιέρης, Στοχαστικό πλαίσιο εκτίμησης της αβεβαιότητας των υδρομετεωρολογικών διεργασιών, *Συνδυασμένα συστήματα ανανεώσιμων πηγών για αειφορική ενεργειακή ανάπτυξη (CRESSENDO)*, 231 σ., Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ιανουάριος 2015.
- Κουτσογιάννης, Δ., Μελέτη λειτουργίας ταμιευτήρων, *Γενική διάταξη έργων εκτροπής Αχελώου προς Θεσσαλία*, Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, Ειδική Υπηρεσία Δημοσίων Έργων Αχελώου, Συνεργαζόμενοι: Γ. Καλαούζης, ELECTROWATT, Π. Μαρίνος, Δ. Κουτσογιάννης, 1996α.
- Κουτσογιάννης, Δ., Υδρολογική διερεύνηση, *Γενική διάταξη έργων εκτροπής Αχελώου προς Θεσσαλία*, Ανάδοχος: Ειδική Υπηρεσία Δημοσίων Έργων Αχελώου – Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων – Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, Συνεργαζόμενοι: Γ. Καλαούζης, Π. Μαρίνος, Δ. Κουτσογιάννης, 44 σ., 1996β.
- Λαζαρίδης, Λ., Γ. Καλαούζης, Δ. Κουτσογιάννης και Π. Μαρίνος, *Βασικά τεχνικά και οικονομικά μεγέθη σχετικά με τη διαχείριση των υδατικών πόρων στη Θεσσαλία*, 1996.
- Λαζαρίδης Λ., *Η διαχείριση των υδατικών πόρων – Το Θεσσαλικό πρόβλημα – Παρόν και προοπτικές*, Βόλος, 2010.
- Μακρυγιώργος, Χ., *Μελέτη μέσων ημερήσιων παροχών ποταμού Πάμισου στη θέση Μουζάκι*, ΔΕΗ, Αθήνα, 1996.
- Μιμίκου, Μ., Π. Χατζησάββα, και Θ. Βλαχαντώνης, *Υδρολογική μελέτη λεκάνης Κρεμαστών και Άνω Αχελώου*, ΔΕΗ/ΔΑΥΕ, Αθήνα, 1980.

- Μπουζιώτας, Δ., *Ανάπτυξη πλαισίου βελτιστοποίησης της υδροηλεκτρικής παραγωγής στο λογισμικό Υδρονομέας – Διερεύνηση στο υδροσύστημα Αχελώου-Θεσσαλίας*, Διπλωματική εργασία, 162 σ., Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Οκτώβριος 2012.
- Νικολόπουλος, Δ., *Ανάπτυξη μοντέλου συνδυασμένης διαχείρισης λεκανών απορροής Αχελώου και Πηνειού*, Διπλωματική εργασία, 214 σ., Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Μάρτιος 2015.
- Παπαλέξης, Δ., *Πρόγνωση και αναγνώριση της υδρολογικής ζήρασίας με τη χρήση στατιστικών δεικτών*, Μεταπτυχιακή εργασία, 477 σ., Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Οκτώβριος 2013.
- Σαργέντης, Γ.-Φ., και Α. Χριστοφίδης, *Το τοπίο της λίμνης, Διερεύνηση των δυνατοτήτων διαχείρισης και προστασίας της ποιότητας της Λίμνης Πλαστήρα*, Τεύχος 4, 73 σ., Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Μάρτιος 2002.
- Σίσκος, Α., Γ. Καραβοκυρός, Α. Χριστοφίδης, και Α. Ευστρατιάδης, *Ανάπτυξη συστήματος υποστήριξης αποφάσεων για τη διαχείριση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, Συνδυασμένα συστήματα ανανεώσιμων πηγών για αειφορική ενεργειακή ανάπτυξη (CRESSENDO)*, 103 σ., Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Μάρτιος 2016.
- Τέγος, Α., *Συνδυασμένη προσομοίωση υδρολογικών-υδρογεωλογικών διεργασιών και λειτουργίας υδροσυστήματος Δυτικής Θεσσαλίας*, Διπλωματική εργασία, 132 σ., Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2005.
- ΥΠΕΚΑ και Κ/Ξ Διαχείρισης Υδάτων Θεσσαλίας, Ηπείρου και Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, *Σχέδιο Διαχείρισης Υδάτων: Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Στερεάς Ελλάδας*, 2011α.
- ΥΠΕΚΑ και Κ/Ξ Διαχείρισης Υδάτων Θεσσαλίας, Ηπείρου και Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, *Σχέδιο Διαχείρισης Υδάτων: Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας*, 2011β.
- ΥΠΕΧΩΔΕ – Ειδική Υπηρεσία Δημόσιων Έργων, Οδικών Σηράγγων και Υπόγειων Έργων, *Διαχειριστική μελέτη υδατικών πόρων λεκάνης απορροής π. Πηνειού, Έργα εκτροπής Αχελώου και Ε/Β έργα Θεσσαλικής πεδιάδας*, Τεύχη Α, Β, Γ, Δ και Παραρτήματα Α&Β, 2006.
- Χατζησάββα, Π., Ι. Κουβόπουλος, Η. Θεοδόσης, Σ. Δημητρέλλος, και Ι. Βαλίλας, *Εκτίμηση μέσων ημερήσιων παροχών ποταμού Πορταϊκού στη θέση Πύλη*, ΔΕΗ, Αθήνα, 1995.
- Canty, A., and B. D. Ripley, *Boot: Bootstrap R (S-Plus) Functions*, R package version 1.3-17, 2015.
- Christofides, A., A. Efstratiadis, D. Koutsoyiannis, G.-F. Sargentis, and K. Hadjibiros, *Resolving conflicting objectives in the management of the Plastiras Lake: can we quantify beauty?*, *Hydrology and Earth System Sciences*, 9(5), 507–515, 2005.
- Daskalou, O., M. Karanastasi, Y. Markonis, P. Dimitriadis, A. Koukouvinos, A. Efstratiadis, and D. Koutsoyiannis, *GIS-based approach for optimal siting and sizing of renewables considering techno-environmental constraints and the stochastic nature of meteorological*

- inputs, *European Geosciences Union General Assembly 2016, Geophysical Research Abstracts, Vol. 18*, Vienna, EGU2016-12044-1, European Geosciences Union, 2016.
- Davison, A. C., and D. V. Hinkley, *Bootstrap Methods and their Application*, Cambridge University Press, Cambridge, 1997.
- Efstratiadis, A., A. Tegos, A. Varveris, and D. Koutsoyiannis, Assessment of environmental flows under limited data availability – Case study of Acheloos River, Greece, *Hydrological Sciences Journal*, 59(3-4), 731–750, 2014.
- Efstratiadis, A., and D. Koutsoyiannis, One decade of multi-objective calibration approaches in hydrological modelling: a review, *Hydrological Sciences Journal*, 55(1), 58–78, 2010.
- Efstratiadis, A., and K. Hadjibiros, Can an environment-friendly management policy improve the overall performance of an artificial lake? Analysis of a multipurpose dam in Greece, *Environmental Science and Policy*, 14(8), 1151–1162, 2011.
- Efstratiadis, A., I. Nalbantis, A. Koukouvinos, E. Rozos, and D. Koutsoyiannis, HYDROGEIOS: A semi-distributed GIS-based hydrological model for modified river basins, *Hydrology and Earth System Sciences*, 12, 989–1006, 2008.
- Efstratiadis, A., I. Tsoukalas, P. Kossieris, G. Karavokiros, A. Christofides, A. Siskos, N. Mamassis, and D. Koutsoyiannis, Computational issues in complex water-energy optimization problems: Time scales, parameterizations, objectives and algorithms, *European Geosciences Union General Assembly 2015, Geophysical Research Abstracts, Vol. 17*, Vienna, EGU2015-5121, European Geosciences Union, 2015.
- Funk, A., and W. B. DeOreo, *Embedded Energy in Water Studies, Study 3: End-use Water Demand Profiles*, 2011.
- Hayfield, T., and J. S. Racine, Nonparametric econometrics: the NP package, *Journal of Statistical Software*, 27(5), 2008.
- Koukouvinos, A., D. Nikolopoulos, A. Efstratiadis, A. Tegos, E. Rozos, S. M. Papalexiou, P. Dimitriadis, Y. Markonis, P. Kossieris, H. Tyrallis, G. Karakatsanis, K. Tzouka, A. Christofides, G. Karavokiros, A. Siskos, N. Mamassis, and D. Koutsoyiannis, Integrated water and renewable energy management: the Acheloos-Peneios region case study, *European Geosciences Union General Assembly 2015, Geophysical Research Abstracts, Vol. 17*, Vienna, EGU2015-4912, European Geosciences Union, 2015.
- Koutsoyiannis, D., Scale of water resources development and sustainability: Small is beautiful, large is great, *Hydrological Sciences Journal*, 56(4), 553–575, 2011.
- Tegos A., A. Efstratiadis, and D. Koutsoyiannis, A parametric model for potential evapotranspiration estimation based on a simplified formulation of the Penmann-Monteith equation, *Evapotranspiration – An Overview*, edited by S. Alexandris, InTech, 2012.
- Tyrallis, H., G. Karakatsanis, K. Tzouka, and N. Mamassis, Analysis of the electricity demand of Greece for optimal planning of a large-scale hybrid renewable energy system, *European Geosciences Union General Assembly 2015, Geophysical Research Abstracts, Vol. 17*, Vienna, EGU2015-5643, European Geosciences Union, 2015.
- Tyrallis, H., N. Mamassis, and Y. Photis, Spatial analysis of electricity demand patterns in Greece: Application of a GIS-based methodological framework, *European Geosciences Union General Assembly 2016, Geophysical Research Abstracts, Vol. 18*, Vienna, European Geosciences Union, 2016.