



ΟΔΥΣΣΕΥΣ

NAMA

ΕΜΠ

ΔΕΥΑΚ

ΑΕΙΦΟΡΙΚΗ

MDS



Γ' Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης 2000-2006  
Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ανταγωνιστικότητα

ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ  
ΣΥΖΕΥΞΗ ΜΕ ΕΞΕΛΙΓΜΕΝΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

ΟΔΥΣΣΕΥΣ

Τεύχος 16

Σχέδιο διαχείρισης των υδατικών πόρων περιοχής  
Καρδίτσας

Αθήνα  
Δεκέμβριος  
2006

*Α. Ευστρατιάδης, Α. Τέγος, Γ. Καραβοκυρός, Ι. Κυριαζοπούλου, Ι. Βαζίμας*

## Συνεργαζόμενοι φορείς



NAMA Σύμβουλοι Μηχανικοί και Μελετητές Α.Ε.



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τομέας Υδατικών Πόρων  
Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων



Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης  
Καρδίτσας



Αειφορική Δωδεκανήσου Α.Ε.



Άδωνις Κοντός και ΣΙΑ Ε.Ε. (Marathon Data Systems)

## Ενότητα Εργασίας 8

### Πιλοτικές Εφαρμογές

## Τεύχος 16

Σχέδιο διαχείρισης των υδατικών πόρων περιοχής  
Καρδίτσας

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Το παρόν τεύχος αναφέρεται στο Διαχειριστικό Σχέδιο της πιλοτικής περιοχής της Καρδίτσας, στην εκπόνηση του οποίου συνέβαλαν η ερευνητική ομάδα της NAMA A.E., σε συνεργασία με τη ΔΕΥΑ Καρδίτσας και το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Το σχετικό παραδοτέο εντάσσεται στην Ενότητα Εργασίας 8, με τίτλο “Πιλοτικές Εφαρμογές”.

Σκοπός των Πιλοτικών Εφαρμογών είναι ο έλεγχος και αξιολόγηση του προϊόντος σε συστήματα υδατικών πόρων με διαφορετικά χαρακτηριστικά, τόσο ως προς την υδροκλιματικό καθεστώς και την κλίμακα των έργων, όσο και ως προς το θεσμικό και διοικητικό πλαίσιο της διαχείρισής τους. Μετά την ολοκλήρωση των πιλοτικών εφαρμογών, το προϊόν επανεξετάστηκε σε όλα τα επίπεδα (θεωρητικό υπόβαθρο, σχεδιασμός και υλοποίηση λογισμικού), προτού λάβει την οριστική του μορφή.

Το τεύχος περιλαμβάνει τις ακόλουθες ενότητες, οι οποίες είναι σε συμφωνία με το πλαίσιο που προδιαγράφεται στο Τεχνικό Παράρτημα της Σύμβασης: (α) περιγραφή της περιοχής μελέτης, (β) περιγραφή του υδροσυστήματος, (γ) δεδομένα και επεξεργασίες, (δ) εκτίμηση υδατικών αναγκών, (ε) εκτίμηση υδρολογικών εισροών, (στ) διαχείριση υδροσυστήματος, (ζ) προσομοίωση ποιοτικών παραμέτρων, (η) χρηματοοικονομική ανάλυση, και (θ) συμπεράσματα και προτάσεις.

## **ABSTRACT**

The present report refers to the Master Plan for water resources management for the area of Karditsa and was elaborated by NAMA's research team in cooperation with DEYA Karditsa and the National Technical University of Athens. This deliverable is part of Work Package 8 with title “Pilot Applications”.

The Pilot Applications aim to test and evaluate the product (from methodology and software efficiency viewpoints) on hydrosystems with totally different characteristics, in terms of their hydroclimatic regime, structure scale, and institutional and administrative framework of management. After the completion of the pilot applications, the product was re-examined at all levels (theoretical background, software design and implementation), before assuming its final form.

This report will include the following main sections, according to the Technical Addendum of the Contract: (a) description of the study area, (b) description of the hydrosystem, (c) data and processing, (d) water needs assessment, (e) hydrological inflow assessment, (f) management of the hydrosystem, (g) simulation of quality parameters, (h) financial analysis and (i) conclusions and proposals.

# Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

<b>1</b>	<b>Εισαγωγή</b>	<b>6</b>
1.1	Αντικείμενο του τεύχους - Ιστορικό.....	6
1.2	Σκοπός του Διαχειριστικού Σχεδίου.....	7
1.3	Μεθοδολογικό πλαίσιο.....	7
1.4	Διάρθρωση του τεύχους.....	10
<b>2</b>	<b>Περιοχή μελέτης</b>	<b>12</b>
2.1	Γενικά στοιχεία.....	12
2.1.1	Οριοθέτηση υδροσυστήματος.....	12
2.1.2	Κλιματικές συνθήκες.....	13
2.1.3	Πληθυσμιακά δεδομένα.....	13
2.2	Αναπτυξιακά δεδομένα.....	15
2.2.1	Τομείς απασχόλησης.....	15
2.2.2	Αγροτική παραγωγή.....	16
2.2.3	Έργα υποδομής.....	16
2.2.4	Τουρισμός.....	17
2.3	Υδατικοί πόροι.....	18
2.3.1	Επιφανειακοί υδατικοί πόροι.....	18
2.3.2	Υπόγειοι υδατικοί πόροι.....	19
2.4	Χρήσεις νερού.....	20
2.4.1	Ύδρευση.....	20
2.4.2	Άρδευση.....	22
2.4.3	Παραγωγή ενέργειας.....	23
2.4.4	Περιβαλλοντικοί περιορισμοί.....	23
2.5	Ποιότητα νερού.....	24
2.5.1	Ποιότητα επιφανειακών νερών.....	24
2.5.2	Ποιότητα υπόγειων νερών.....	27
2.6	Θεσμικό πλαίσιο διαχείρισης υδατικών πόρων.....	27
2.6.1	Νομικό πλαίσιο για τη διασφάλιση της ποιότητας των υδάτων.....	27
2.6.2	Νομικό πλαίσιο για τη διαχείριση των υδατικών πόρων.....	28
2.6.3	Φορείς διαχείρισης και προστασίας της ποιότητας των υδατικών πόρων του Νομού Καρδίτσας.....	28
<b>3</b>	<b>Δεδομένα και επεξεργασίες - Εφαρμογή ΣΓΠ και λογισμικού ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ</b>	<b>30</b>
3.1	Γενικά.....	30
3.2	Γεωγραφικά δεδομένα.....	30

3.3	Βροχομετρικά δεδομένα .....	31
3.3.1	Βροχομετρικοί σταθμοί.....	31
3.3.2	Διερεύνηση της σχέσης βροχόπτωσης-υψομέτρου .....	33
3.3.3	Εκτίμηση επιφανειακής βροχόπτωσης υπολεκανών υδροσυστήματος .....	33
3.3.4	Εκτίμηση επιφανειακής βροχόπτωσης ταμιευτήρα Πλαστήρα.....	34
3.4	Υδρομετρικά δεδομένα.....	35
3.4.1	Χρονοσειρές παροχής υδατορευμάτων .....	35
3.4.2	Απορροή ταμιευτήρα Πλαστήρα.....	36
3.5	Μετεωρολογικά δεδομένα και υπολογισμός εξάτμισης .....	37
3.5.1	Εκτίμηση εξάτμισης ταμιευτήρων .....	37
3.5.2	Δυνητική εξατμοδιαπνοή υπολεκανών .....	39
3.6	Υδρογεωλογικά δεδομένα .....	39
3.7	Δεδομένα τεχνικών έργων .....	39
3.7.1	Ταμιευτήρες .....	39
3.7.2	Αρδευτικό δίκτυο - Γεωτρήσεις .....	41
<b>4</b>	<b>Εκτίμηση υδατικών αναγκών – Εφαρμογή λογισμικού ΔΙΨΟΣ</b>	<b>42</b>
4.1	Σκοπός και μεθοδολογία.....	42
4.2	Θεωρητικές ανάγκες καλλιεργειών περιοχής μελέτης.....	43
4.2.1	Δυνητική εξατμοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς.....	43
4.2.2	Φυτικοί συντελεστές .....	44
4.3	Αναγωγή στους αρδευτικούς κόμβους του υδροσυστήματος.....	45
<b>5</b>	<b>Εκτίμηση υδρολογικών εισροών – Εφαρμογή λογισμικών ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ και ΚΑΣΤΑΛΙΑ</b>	<b>47</b>
5.1	Σκοπός και μεθοδολογία.....	47
5.2	Σχηματοποίηση υδροσυστήματος.....	48
5.2.1	Γενικές αρχές.....	48
5.2.2	Υδρογραφικό δίκτυο - Υπολεκάνες .....	49
5.2.3	Μονάδες υδρολογικής απόκρισης .....	51
5.2.4	Υδροφορέας - Πηγές .....	52
5.2.5	Σχήμα διαχείρισης υδατικών πόρων .....	54
5.3	Βαθμονόμηση μοντέλου ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ .....	58
5.3.1	Παράμετροι και δεδομένα ελέγχου .....	58
5.3.2	Διαμόρφωση στοχικής συνάρτησης.....	59
5.3.3	Περιγραφή διαδικασίας βαθμονόμησης .....	59
5.3.4	Βελτιστοποιημένες παράμετροι .....	61
5.3.5	Βελτιστοποιημένες χρονοσειρές απόκρισης .....	63
5.3.6	Υδατικό ισοζύγιο υδροσυστήματος .....	70

5.3.7	Διαχειριστικά συμπεράσματα .....	71
5.4	Παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών με το λογισμικό ΚΑΣΤΑΛΙΑ .....	72
5.4.1	Θεωρητικό υπόβαθρο μοντέλου .....	72
5.4.2	Ιστορικές χρονοσειρές.....	73
5.4.3	Παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών .....	73
5.5	Πρόγνωση εισροών με το λογισμικό ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ .....	76
<b>6</b>	<b>Διαχείριση υδροσυστήματος – Εφαρμογή λογισμικού ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ</b>	<b>78</b>
6.1	Σκοπός και μεθοδολογία.....	78
6.2	Σχηματοποίηση δικτύου .....	78
6.3	Υδρολογικά δεδομένα .....	80
6.4	Λειτουργικοί στόχοι και περιορισμοί.....	81
6.5	Προσομοίωση και βελτιστοποίηση υδροσυστήματος .....	83
6.6	Αποτελέσματα .....	85
6.6.1	Πιθανότητες αστοχίας.....	85
6.6.2	Χαρακτηριστικά μεγέθη υδατικού ισοζυγίου.....	86
6.6.3	Σενάριο ελάχιστης στάθμης ταμιευτήρα Σμοκόβου.....	88
<b>7</b>	<b>Προσομοίωση ποιοτικών παραμέτρων – Εφαρμογή λογισμικών ΡΥΠΟΣ και ΛΕΡΝΗ</b>	<b>90</b>
7.1	Εισαγωγή .....	90
7.1	Εισερχόμενες και εξερχόμενες παροχές .....	91
7.1.1	Εισερχόμενες παροχές.....	91
7.1.2	Εξερχόμενες παροχές .....	92
7.2	Φορτία οργανικών - Εφαρμογή λογισμικού ΡΥΠΟΣ .....	94
7.3	Θερμοκρασία .....	99
7.4	Ηλιοφάνεια και Φωτοπερίοδος.....	99
7.5	Λοιπές παραδοχές .....	100
7.6	Αποτελέσματα .....	102
7.7	Συμπεράσματα.....	116
<b>8</b>	<b>Χρηματοοικονομική ανάλυση – Εφαρμογή λογισμικού ΕΡΜΗΣ</b>	<b>117</b>
8.1	Εξεταζόμενο έργο .....	117
8.2	Μεγέθη σχεδιασμού.....	118
8.2.1	Εκτίμηση ωφελούμενου πληθυσμού.....	118
8.2.2	Εκτίμηση παροχών ακαθάρτων.....	118

8.3	Εκτίμηση εσόδων .....	119
8.4	Εκτίμηση εξόδων .....	119
8.4.1	Κόστος συντήρησης έργων .....	119
8.4.2	Κόστος προσωπικού .....	120
8.4.3	Κόστος λειτουργίας .....	121
8.5	Αποτελέσματα χρηματοοικονομικής ανάλυσης .....	121
<b>9</b>	<b>Συμπεράσματα και προτάσεις</b>	<b>123</b>
9.1	Συμπεράσματα .....	123
9.1.1	Συμπεράσματα που αφορούν στην περιοχή μελέτης .....	123
9.1.2	Αξιολόγηση μαθηματικών μοντέλων και λογισμικών .....	125
9.2	Προτάσεις .....	126
	<b>Αναφορές</b>	<b>129</b>

# 1 Εισαγωγή

---

## 1.1 Αντικείμενο του τεύχους - Ιστορικό

Το παρόν τεύχος συντάχθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού έργου με τίτλο «*Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Συστημάτων σε Σύζευξη με Εξελιγμένο Υπολογιστικό Σύστημα (ΟΔΥΣΣΕΥΣ)*», που ανατέθηκε από την Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας (ΓΓΕΤ) στη εταιρεία NAMA Σύμβουλοι Μηχανικοί και Μελετητές Α.Ε., σε συνεργασία με τον Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος του ΕΜΠ και τρεις ακόμη φορείς (Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Καρδίτσας, Αειφορική Δωδεκανήσου, Marathon Data Systems). Το έργο εντάσσεται στο Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Ανταγωνιστικότητα», στην Πράξη «Φυσικό Περιβάλλον και Βιώσιμη Ανάπτυξη». Επιστημονικός υπεύθυνος είναι ο Αναπληρωτής Καθηγητής Δ. Κουτσογιάννης.

Αντικείμενο του έργου είναι η ανάπτυξη του ολοκληρωμένου συστήματος εργαλείων πληροφορικής (στο οποίο έχει δοθεί η ονομασία ΥΔΡΟΓΑΙΑ), που σε συνδυασμό με ένα παράλληλο πλαίσιο μεθοδολογιών και προδιαγραφών, θα παρέχει την κατάλληλη υποδομή για την ορθολογική και βιώσιμη διαχείριση υδροσυστημάτων κάθε κλίμακας. Η κεντρική συνιστώσα της ΥΔΡΟΓΑΙΑΣ είναι το μοντέλο προσομοίωσης και βελτιστοποίησης της διαχείρισης υδροσυστημάτων, που θα λειτουργεί ως ένα ολοκληρωμένο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων. Το μοντέλο διαχείρισης πλαισιώνεται από μια δέσμη υποστηρικτικών εργαλείων, για την ανάλυση κρίσιμων συνιστωσών που σχετίζονται με την προσφορά, ζήτηση και διαχείριση του νερού, τα οποία θα λειτουργούν υποστηρικτικά.

Στα πλαίσια του έργου προβλέπεται η αρχική επίδειξη των παραπάνω εργαλείων, για την κατάρτιση Σχεδίων Διαχείρισης των υδατικών πόρων του Νομού Καρδίτσας και της Νήσου Καλύμνου. Οι σχετικές εργασίες εντάσσονται στην Ενότητα Εργασίας 8, με τίτλο “Πιλοτικές Εφαρμογές”. Σκοπός τους είναι ο έλεγχος και αξιολόγηση του προϊόντος σε συστήματα υδατικών πόρων με διαφορετικά χαρακτηριστικά, τόσο ως προς την υδροκλιματικό καθεστώς και την κλίμακα των έργων, όσο και ως προς το θεσμικό και διοικητικό πλαίσιο της διαχείρισής τους.

Το παρόν τεύχος αναφέρεται στο Διαχειριστικό Σχέδιο της πιλοτικής περιοχής της Καρδίτσας, στην εκπόνηση του οποίου συνέβαλαν η ερευνητική ομάδα της NAMA Α.Ε., σε συνεργασία με τη ΔΕΥΑ Καρδίτσας και το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Το τεύχος περιλαμβάνει τις ακόλουθες ενότητες, οι οποίες είναι σε συμφωνία με το πλαίσιο που προδιαγράφεται στο Τεχνικό Παράρτημα της Σύμβασης: (α) περιγραφή της περιοχής μελέτης, (β) δεδομένα και επεξεργασίες, (γ) εκτίμηση υδατικών αναγκών, (δ) εκτίμηση υδρολογικών εισροών, (ε) διαχείριση υδροσυστήματος, (στ) προσομοίωση ποιοτικών παραμέτρων, (ζ) χρηματοοικονομική ανάλυση, και (η) συμπεράσματα και προτάσεις.

Η ομάδα εκπόνησης του τεύχους είναι:

- Ανδρέας Ευστρατιάδης, Πολιτικός Μηχανικός, Msc Υδρολόγος, Υποψ. Δρ.



- Αριστοτέλης Τέγος, Πολιτικός Μηχανικός
- Γιώργος Καραβοκυρός, Διπλ. Πληροφορικής
- Ισμήνη Κυριαζοπούλου, Πολιτικός Μηχανικός, Υποψ. Δρ.
- Γιάννης Βαζίμας, Γεωλόγος Msc

## 1.2 Σκοπός του Διαχειριστικού Σχεδίου

Το υδροσύστημα της πιλοτικής περιοχής περιλαμβάνει φυσικούς πόρους από επιφανειακά και υπόγεια νερά, σύνθετα έργα αξιοποίησης (ταμιευτήρες, αρδευτικά δίκτυα) και έντονα ανταγωνιστικές χρήσεις νερού (υδρευτικές, αρδευτικές, ενεργειακές, περιβαλλοντικές). Στην περιοχή αυτή, τα υπολογιστικά συστήματα που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια του έργου μπορούν να παράσχουν σημαντική υποστήριξη στους φορείς που σχετίζονται με τη διαχείριση των υδατικών πόρων, υποβοηθώντας τους στη λήψη αποφάσεων για την ορθολογική λειτουργία του υδροσυστήματος. Λαμβάνοντας, μάλιστα, υπόψη την πολυπλοκότητα του προβλήματος, η οποία απαιτεί τη συνδυαστική χρήση πολλών εργαλείων, με πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων τους, προκύπτει ότι η περιοχή της Καρδίτσας αποτελεί ένα άριστο πεδίο πιλοτικής εφαρμογής του προτεινόμενου πληροφοριακού συστήματος.

Με βάση τον κεντρικό στόχο, που είναι ο έλεγχος και αξιολόγηση των υπολογιστικών συστημάτων, διαμορφώθηκαν οι συνιστώσες του Διαχειριστικού Σχεδίου, που περιλαμβάνουν:

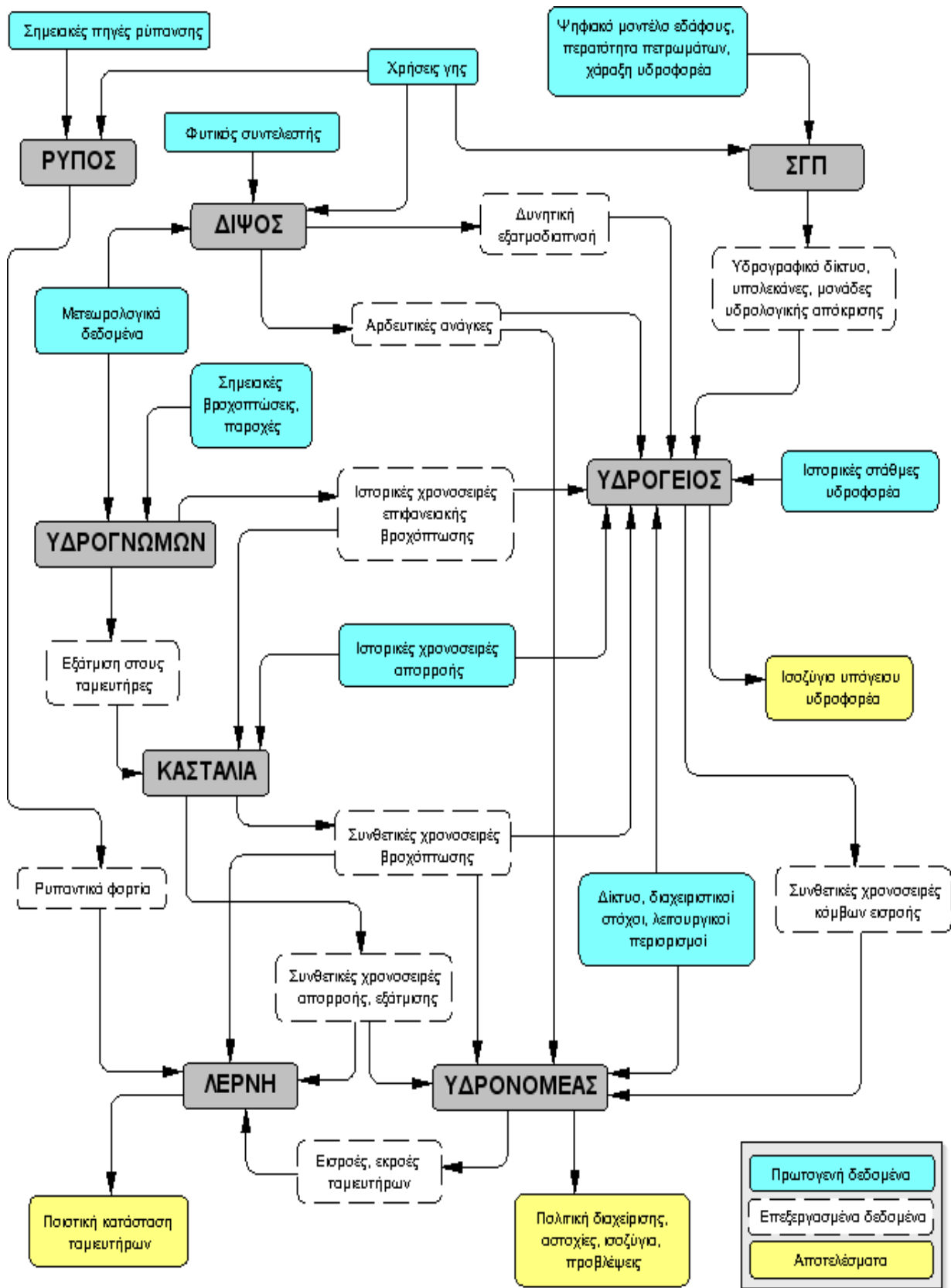
- καταγραφή των υδατικών πόρων, χρήσεων και των υποδομών, και αξιολόγηση της υπάρχουσας κατάστασης όσον αφορά στη διαχείριση του υδροσυστήματος·
- διερεύνηση μια πληθώρας πτυχών του διαχειριστικού προβλήματος (ποσοτικών, ποιοτικών, περιβαλλοντικών, οικονομικών), με συνδυασμένη εφαρμογή των υπολογιστικών εργαλείων που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια του έργου (ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ, ΔΙΨΟΣ, ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ, ΚΑΣΤΑΛΙΑ, ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ, ΡΥΠΙΟΣ, ΛΕΡΝΗ, ΕΡΜΗΣ)·
- εκτίμηση υδατικών αναγκών περιοχής Καρδίτσας·
- εκτίμηση ισοζυγίου επιφανειακών και υπόγειων νερών·
- αναζήτηση της βέλτιστης πολιτικής λειτουργίας ταμιευτήρων Πλαστήρα και Σμοκόβου·
- εκτίμηση μακροπρόθεσμης αστοχίας κάλυψης των υδατικών αναγκών·
- έλεγχος ποιοτικής κατάστασης ταμιευτήρα Πλαστήρα.

Τα υπολογιστικά εργαλεία που εφαρμόστηκαν στο Νομό Καρδίτσας βρίσκονται πλέον στη διάθεση της ΔΕΥΑ Καρδίτσας και άλλων φορέων του νομού, με στόχο να αποτελέσουν μια ολοκληρωμένη λύση για την αντιμετώπιση του διαχειριστικού προβλήματος της περιοχής. Οι εργασίες και τα αποτελέσματα της πιλοτικής εφαρμογής που περιγράφονται στην παρούσα έκθεση παρουσιάστηκαν στους εμπλεκόμενους φορείς, σε ημερίδα που διοργανώθηκε στις 7/12/2006.

## 1.3 Μεθοδολογικό πλαίσιο

Για την προετοιμασία του Σχεδίου Διαχείρισης της πιλοτικής περιοχής απαιτήθηκε, αρχικά, μια σειρά από εργασίες υποδομής, όπως η βιβλιογραφική και επιτόπια έρευνα, η συνεργασία με τους τοπικούς φορείς και παράγοντες, και η συλλογή πρωτογενών δεδομένων.

Στη συνέχεια, αξιοποιήθηκε το σύνολο σχεδόν των εργαλείων που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος, με σκοπό την ολιστική αντιμετώπιση του διαχειριστικού προβλήματος. Η εφαρμογή των εργαλείων και συναφών μαθηματικών μοντέλων της ΥΔΡΟΓΑΙΑΣ έγινε άλλοτε αυτόνομα και άλλοτε σε συνεργασία, σύμφωνα με το σχηματικό διάγραμμα που απεικονίζεται στο Σχήμα 1.1. Βεβαίως, η εφαρμογή των μοντέλων έγινε σε διάφορα στάδια, που είναι ως επί το πλείστον πειραματικά και όχι επιχειρησιακά, δεδομένου ότι ο σημαντικότερος στόχος της πιλοτικής εφαρμογής ήταν η αξιολόγηση των μεθοδολογιών και λογισμικών, τα οποία αναπτύσσονταν παράλληλα με την εκπόνηση του Διαχειριστικού Σχεδίου. Η διαδικασία αυτή ελέγχου αποτέλεσε μια από τις πλέον καθοριστικές συνιστώσες του έργου, συμβάλλοντας στην τεκμηρίωση των μοντέλων αλλά και την ανάδειξη ορισμένων αδυναμιών, οι οποίες τελικά αποκαταστάθηκαν.



Σχήμα 1.1: Συνεργασία μοντέλων ΥΔΡΟΓΑΙΑΣ στην πιλοτική περιοχή της Καρδίτσας.

Στο Σχήμα 1.1 φαίνονται τα συστήματα που χρησιμοποιήθηκαν, και τα αντίστοιχα δεδομένα εισόδου και εξόδου. Η επεξεργασία των υδρολογικών δεδομένων έγινε με το λογισμικό ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ, ενώ των γεωγραφικών με το σύστημα γεωγραφικής πληροφορίας. Η εκτίμηση των υδατικών αναγκών, που αποτελούν είσοδο του υδρολογικού και διαχειριστικού μοντέλου, έγινε με το λογισμικό ΔΙΨΟΣ. Το λογισμικό ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ αποτέλεσε ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία, καθώς χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση των επιφανειακών εισροών του υδροσυστήματος και τη μελέτη της δίαιτας των υπόγειων νερών. Το λογισμικό ΚΑΣΤΑΛΙΑ παρήγαγε συνθετικές χρονοσειρές, λειτουργώντας τόσο αυτόνομα όσο και σε συνδυασμό με την ΥΔΡΟΓΕΙΟ, προκειμένου να τροφοδοτήσει το κεντρικό εργαλείο διαχείρισης, δηλαδή τον ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ, με τα απαραίτητα υδρολογικά δεδομένα εισόδου. Τα αποτελέσματα του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ, που αφορούν στο υδατικό ισοζύγιο του ταμιευτήρα Πλαστήρα, αξιοποιήθηκαν στην αξιολόγηση της ποιοτικής κατάστασης των υδάτων του, με συνδυασμένη χρήση των λογισμικών ΡΥΠΟΣ και ΛΕΡΝΗ.

## 1.4 Διάρθρωση του τεύχους

Εκτός από την παρούσα εισαγωγή (Κεφάλαιο 1), το τεύχος περιλαμβάνει οκτώ ακόμη κεφάλαια.

Στο Κεφάλαιο 2 οριοθετείται η περιοχή μελέτης και περιγράφονται τα γενικά χαρακτηριστικά της (αναπτυξιακή ταυτότητα, έργα υποδομής, υδρολογία, χρήσεις νερού, ποιότητα νερού, θεσμικό και διοικητικό πλαίσιο διαχείρισης υδατικών πόρων).

Στο Κεφάλαιο 3 περιγράφεται η συλλογή και επεξεργασία των γεωγραφικών, υδρομετεωρολογικών, υδρογεωλογικών και διαχειριστικών δεδομένων, με χρήση του λογισμικού ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ και του συστήματος γεωγραφικής πληροφορίας.

Στο Κεφάλαιο 4 εξηγείται η διαδικασία εκτίμησης των υδατικών αναγκών της περιοχής μελέτης (ιδιαίτερα των αρδευτικών), με εφαρμογή του λογισμικού ΔΙΨΟΣ.

Το Κεφάλαιο 5 αποσκοπεί στην εκτίμηση του υδατικού δυναμικού της περιοχής, επιφανειακού και υπόγειου, με εφαρμογή του μοντέλου ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ. Το μοντέλο προσαρμόστηκε ώστε να αναπαριστά τις διεργασίες της λεκάνης απορροής ανάντη του υδρομετρικού σταθμού Αλή Εφέντη και του υποκείμενου της υδροφορέα, με βάση τα χαρακτηριστικά του φυσικού συστήματος και τις μετρήσεις παροχής κατά μήκος του υδρογραφικού δικτύου και στάθμης σε ένα πλήθος γεωτρήσεων. Επιπλέον, εξηγεί την προετοιμασία των συνθετικών υδρολογικών χρονοσειρών, με συνδυασμένη χρήση των λογισμικών ΚΑΣΤΑΛΙΑ και ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ.

Το Κεφάλαιο 6 αναφέρεται στην εφαρμογή του λογισμικού ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ για την προσομοίωση της λειτουργίας του υδροσυστήματος της περιοχής μελέτης (περιλαμβανομένων των ταμιευτήρων Πλαστήρα και Σμοκόβου), λαμβάνοντας υπόψη μια πληθώρα στόχων και περιορισμών, κατά κανόνα αντικρουόμενων. Βελτιστοποιώντας ορισμένες κρίσιμες παραμέτρους που αφορούν στη λειτουργία των ταμιευτήρων και γεωτρήσεων της περιοχής, προκύπτει η πλέον πρόσφορη πολιτική διαχείρισης του υδροσυστήματος, στη βάση κριτηρίων όπως η ελαχιστοποίηση της πιθανότητας αστοχίας των στόχων και η ελαχιστοποίηση του κόστους χρήσης των υδραγωγείων και γεωτρήσεων.

Στο Κεφάλαιο 7 επιχειρείται η αξιολόγηση της ποιοτικής κατάστασης του ταμιευτήρα Πλαστήρα, στη βάση των διαχειριστικών σεναρίων που παρήχθησαν από τον ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ. Η εκτίμηση

των εισερχόμενων ρυπαντικών φορτίων γίνεται με το λογισμικό ΡΥΠΙΟΣ, ενώ για τη μελέτη της δόσας τους στον ταμειυτήρα χρησιμοποιείται το λογισμικό ΛΕΡΝΗ.

Στο Κεφάλαιο 8 περιγράφεται η εφαρμογή του λογισμικού ΕΡΜΗΣ, για την χρηματοοικονομική αποτίμηση ενός νέου έργου στην περιοχή μελέτης, που είναι η επέκταση της ΕΕΛ Καρδίτσας.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 9, συνοψίζονται τα συμπεράσματα και διατυπώνονται προτάσεις σε σχέση με την βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων της περιοχής, με περαιτέρω αξιοποίηση των εργαλείων της ΥΔΡΟΓΑΙΑΣ.

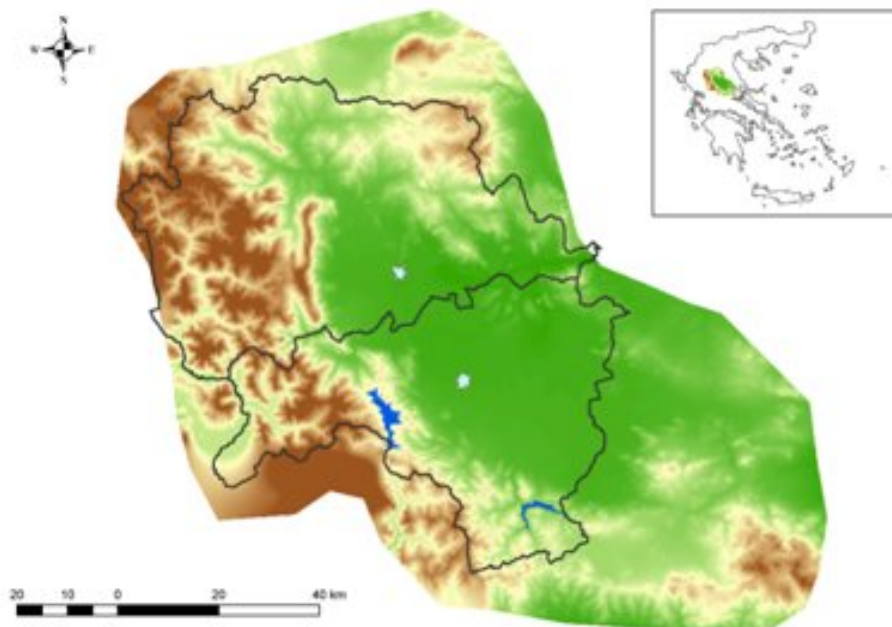
## 2 Περιοχή μελέτης

---

### 2.1 Γενικά στοιχεία

#### 2.1.1 Οριοθέτηση υδροσυστήματος

Σύμφωνα με το συμβατικό αντικείμενο του έργου, η περιοχή πιλοτικής εφαρμογής των μοντέλων είναι ο Νομός Καρδίτσας. Ο Νομός Καρδίτσας βρίσκεται στην Κεντρική Ελλάδα και συγκεκριμένα στο νοτιοδυτικό τμήμα του γεωγραφικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας. Ο Νομός καταλαμβάνει έκταση 2 636 km<sup>2</sup> και εκτείνεται σε δύο υδατικά διαμερίσματα, της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας και της Θεσσαλίας. Το δυτικό τμήμα του, που ανήκει στη λεκάνη απορροής του Αχελώου, είναι ορεινό, με λίγες αρδευτικές εκτάσεις και ιδιαίτερα σημαντικό υδατικό πλούτο, αφού εκεί βρίσκεται και ο ταμιευτήρας Πλαστήρα. Το ανατολικό τμήμα του Νομού ανήκει στη λεκάνη απορροής του Πηνειού, και αποτελεί κομμάτι του Θεσσαλικού κάμπου, με σημαντικές αρδευτικές εκτάσεις. Στο ΝΑ τμήμα έχει πρόσφατα κατασκευαστεί ο ταμιευτήρας Σμοκόβου, που προβλέπεται να εξυπηρετεί μελλοντικά μια αρδευτική περιοχή 252 000 στρεμμάτων.



Σχήμα 2.1: Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της Δυτικής Θεσσαλίας, όπου απεικονίζονται τα όρια των νομών Τρικάλων και Καρδίτσας και οι ταμιευτήρες Πλαστήρα και Σμοκόβου.

Η οριοθέτηση του υδροσυστήματος, όπου γίνεται η εφαρμογή των βασικών μοντέλων (ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ, ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ), γίνεται με βάση το υδρολογικό καθεστώς της περιοχής, λαμβάνοντας υπόψη ότι η θεμελιώδης συνιστώσα της διαχείρισης των υδατικών πόρων είναι η

λεκάνη απορροής, και όχι μια αυθαίρετη διοικητική μονάδα, όπως ο νομός. Με δεδομένο ότι ο έλεγχος των απορροών του Νομού Καρδίτσας γίνεται στη θέση Αλή Εφέντη στον Πηνειό, τα όρια του υδροσυστήματος ταυτίζονται, αναγκαστικά, με τα όρια της ανάντη λεκάνης, έκτασης 6 087 km<sup>2</sup>, που περιλαμβάνει ακόμη το Νομό Τρικάλων αλλά και μικρό τμήμα του Νομού Φθιώτιδας (Σχήμα 2.1). Τα φυσικά όρια της λεκάνης είναι τα Χαλκηδόνια όρη στα ανατολικά, το όρος Ζάρκο στα βορειανατολικά, τα όρη Χάσια και Αντιχάσια στα βόρεια, το Κερκότιον όρος (Κόζιακας) στα δυτικά, και το όρος Τυμφρηστός στα νότια. Επειδή όμως στη λεκάνη εκτρέπεται και το σύνολο, πρακτικά, των υδατικών πόρων της υπολεκάνης του Ταυρωπού (παραπόταμος του Αχελώο) ανάντη του φράγματος Πλαστήρα, η τελική έκταση της περιοχής μελέτης ανέρχεται σε 6 249 km<sup>2</sup>.

Με βάση τα παραπάνω, αν και το διαχειριστικό ενδιαφέρον επικεντρώνεται στα όρια του Νομού Καρδίτσας, η περιοχή μελέτης, όπως προκύπτει από την διαμόρφωση του φυσικού συστήματος, καλύπτει μια αρκετά μεγαλύτερη της συμβατικής έκτασης, που θα αναφέρεται στην συνέχεια ως υδροσύστημα Δυτικής Θεσσαλίας.

### 2.1.2 Κλιματικές συνθήκες

Στη περιοχή μελέτης διακρίνονται δύο τύποι κλίματος:

- ηπειρωτικό κλίμα στη πεδινή περιοχή·
- ορεινό κλίμα στην δυτική ορεινή περιοχή·

Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται από 16 έως 17° C. Οι πιο θερμοί μήνες είναι ο Ιούλιος και Αύγουστος, ενώ οι ψυχροί ο Ιανουάριος, ο Φεβρουάριος και ο Δεκέμβριος. Οι παγετοί είναι συχνοί και εμφανίζονται κατά την περίοδο Νοεμβρίου και Απριλίου.

Το ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων είναι μεγάλο στο Νομό Καρδίτσας σε σύγκριση με του Νομούς Λάρισας και Βόλου και κυρίως στα δυτικά ορεινά του Νομού. Ενδεικτικές τιμές μέσης ετήσιας βροχόπτωσης είναι 550 mm στο σταθμό του Τυρνάβου και 1142 mm στο σταθμό του Μουζακίου.

Οι πιο βροχεροί μήνες είναι από τον Οκτώβριο μέχρι τον Ιανουάριο, ενώ οι πιο ξηροί ο Ιούλιος και ο Αύγουστος. Οι χιονοπτώσεις είναι συνηθισμένες στα ορεινά του Νομού.

Η μέση ετήσια νέφωση κυμαίνεται από 4 έως 5 βαθμίδες, ενώ η μέση σχετική υγρασία κυμαίνεται από 67 έως 72%.

### 2.1.3 Πληθυσμιακά δεδομένα

Ο Νομός Καρδίτσας είναι ο μικρότερος πληθυσμιακά Νομός της Θεσσαλίας με 129 000 κατοίκους, βάσει της απογραφής του 2001. Κατά τη δεκαετία 1991-2001, ο πληθυσμός παρουσίασε πολύ μικρό ποσοστό αύξησης, της τάξης του 2.3%. Ο Νομός Καρδίτσας περιλαμβάνει είκοσι Δήμους στα διοικητικά του όρια, με το Δήμο Καρδίτσας να είναι η πρωτεύουσα του Νομού, με πληθυσμό περίπου 37 000 κατοίκους. Οι Δήμοι Παλαμά, Σοφάδων και Μουζακίου συγκεντρώνουν ένα ακόμη σημαντικό ποσοστό του πληθυσμού του Νομού. Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζεται ο πληθυσμός όλων των δήμων, με βάση τις απογραφές του 1991 και του 2001.

Πίνακας 2.1: Πληθυσμός Νομού Καρδίτσας ανά Δήμο (Πηγή: ΕΣΥΕ).

Δήμος	Κοινότητες	Πληθυσμός		Διαφορά
		1991	2001	
ΑΡΓΙΘΕΑΣ	Αργιθέα - Ελληνικό - Θερινό - Καληκώμη - Καρυά - Μεσοβούνι - Πετρωτό	1 583	2 618	+ 65.4
ΑΡΝΗΣ	Ερμήτσι - Κυψέλη - Πύργος Κιερίου	3 689	3 295	- 10.7
ΑΧΕΛΩΟΥ	Αργυρό - Καταφύλλι - Μάραθος	1 212	1 695	40.0
ΙΘΩΜΗΣ	Άγιος Ακάκιος - Ελληνόπυργος - Καπά - Κανάλια - Λοξάδα - Πύργος Ιθώμης - Χάρμα	3 636	3 125	-14.0
ΙΤΑΜΟΥ	Αμάραντος - Αμπελικό - Καροπλέσι - Καστανιά - Καταφύγι - Νεράιδα - Ραχούλα	4 198	4 728	+ 12.6
ΚΑΛΛΙΦΩΝΙΟΥ	Απιδιά - Δαφνοσπηλιά - Ζαΐμι - Μολόχα - Παλιούρι	3 469	3 257	-6.0
ΚΑΜΠΙΟΥ	Άγιος Θεόδωρος - Μακρυχώρι - Μέλισσα - Μυρίνη - Πρόδρομος - Πτελοπούλα	5 591	5 471	- 2.1
ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Αγιοπηγή - Αρτεσιανό - Ρούσσο - Παλαιοκκλήσι - Καρδίτσομαγούλα- Καρδίτσα	36 168	37 707	+ 4.2
ΜΕΝΕΛΑΪΔΟΣ	Αηδονοχώρι - Βαθύλακκος - Θραψίμι - Λουτροπηγή - Λουτρό- Κέδρος	3 067	2 687	-10.0
ΜΗΤΡΟΠΟΛΗΣ	Άγιος Γεώργιος - Γεωργικό - Κρύα βρύση - Ξυνονέρι - Πορτίτσα - Φράγκο- Μητρόπολη	4 573	4 755	4.0
ΜΟΥΖΑΚΙΟΥ	Αμυγδαλή - Ανθοχώρι - Βατσουνιά - Γελάνθη - Δρακότρυπα - Ελληνόκαστρο - Κρυοπηγή - Λαζαρίνα -Μαγουλίτσα - Μαυρομάτι - Οξυά - Πευκόφυτο - Πορτή-Μουζάκι	10 299	10 149	- 1.4
ΝΕΒΡΟΠΟΛΗΣ	Καρβασσαρά - Καρίτσα Δολόπων - Κρυονέρι - Μπελοκομύτης - Νεοχώρι - Φυλακτή- Πεζούλα	3 287	3 615	10.0
ΠΑΛΑΜΑ	Άγιος Δημήτριος - Βλοχός - Κοσκινά - Γοροβίτες - Μάρκος - Μεταμόρφωση- Παλαμά	10 01	10 024	0.0
ΠΑΜΙΣΟΥ	Κρασιά - Μαγούλα - Παλαιοχώρι - Ριζοβούνι- Αγναντερό	4 995	4 643	- 7.0
ΠΛΑΣΤΗΡΑ	Κερασιά - Λαμπερό - Μεσενικόλας - Μοσχάτο- Μορφοβούνι	2 717	3 916	+ 44.2
ΡΕΝΤΙΝΑΣ	Ρεντίνας	573	757	+ 32.1
ΣΕΛΛΑΝΩΝ	Αγία Τριάδα - Καλογριανά - Μαραθέα - Πεδινό-Προάστιο	5 704	5 078	-11.0
ΣΟΦΑΔΩΝ	Αγία Παρασκευή - Άγιος Βησσάριος - Άμπελος - Ανώγειο - Γεφύρια - Δασοχώρι - Καππαδοκικό - Καρποχώρι - Μοσχολούρι - Μαυραχάδες - Μελισσοχώρι - Πασχαλίτσα - Φίλια- Σοφάδων	12 407	12 169	- 1.9
ΤΑΜΑΣΙΟΥ	Ανάβρα - Ασημοχώρι - Αχλαδιά - Γραμματικό - Κτημένη-Λεονταρίου	4 529	4 05	- 10.6
ΦΥΛΛΟΥ	Αστρίτσα - Λεύκη - Ορφανά - Πέτρινο -	4 181	4 038	- 3.4



## 2.2 Αναπτυξιακά δεδομένα

### 2.2.1 Τομείς απασχόλησης

Η ανάπτυξη του Νομού Καρδίτσας βασίζεται κυρίως στην αγροτική οικονομία, η οποία αποτελεί την οικονομική βάση όλης της περιοχής μελέτης. Ο νομός συγκεντρώνει ποσοστό 1.2% του πληθυσμού της χώρας και 0.9% του Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος. Όπως μπορούμε να διακρίνουμε και στον Πίνακα 2.2 (ΕΣΥΕ, 1991), περίπου ο μισός οικονομικά ενεργός πληθυσμός απασχολείται στη γεωργία, ενώ το συγκεκριμένο ποσοστό είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο ποσοστό της Περιφέρειας Θεσσαλίας.

Το οικονομικό κέντρο του νομού, η πόλη της Καρδίτσας, έχει μικρό ποσοστό απασχολούμενων στον αγροτικό τομέα. Σημαντικό ποσοστό στην απασχόληση και στην τοπική οικονομία διαδραματίζουν ο χώρος των υπηρεσιών, κατασκευών, εμπορίου και τουρισμού.

Ο κλάδος των μεταποιητικών επιχειρήσεων αποτελεί το κύριο αντικείμενο δραστηριότητας των επιχειρήσεων του δευτερογενούς τομέα. Στον κλάδο των μεταποιητικών επιχειρήσεων εργάζεται το 9.70% των απασχολούμενων του Δήμου Καρδίτσας, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό στο Νομό Καρδίτσας φθάνει το 6.35% και στην Περιφέρεια Θεσσαλίας το 13.28%.

Στις κατασκευές εργάζεται το 9.52% των απασχολούμενων του Δήμου Καρδίτσας, το 8.12% στο Νομό Καρδίτσας και το 8.72% της Περιφέρειας Θεσσαλίας.

Μεγαλύτερα ποσοστά εμφανίζει η απασχόληση στην κατηγορία «Εμπόριο, Επισκευές, Ξενοδοχεία, Εστιατόρια» στο Δήμο Καρδίτσας (24.64%), στο Νομό (13.37%) και στην Περιφέρεια (16.29%).

Στην κατηγορία «Μεταφορές, αποθηκεύσεις και επικοινωνίες» εντάσσεται το 7.30% των απασχολούμενων της περιοχής μελέτης, το 3.80% στο Νομό Καρδίτσας και το 5.22% της Περιφέρειας Θεσσαλίας. Το ποσοστό του αριθμού των εργαζομένων που ασχολείται με άλλες υπηρεσίες πέραν των προαναφερθέντων (στρατιωτικοί, δημόσιοι υπάλληλοι, εκπαιδευτικοί κ.λ.π.) είναι μεγαλύτερο στο Δήμο Καρδίτσας (40.10%) σε σχέση με το Νομό Καρδίτσας (18.87%) και στο σύνολο της Περιφέρειας Θεσσαλίας (21.81%).

Η ανεργία στο Νομό Καρδίτσας ανέρχεται σε ποσοστό 33.46% για τους άνδρες (2301 άτομα) και σε ποσοστό 66.54% για τις γυναίκες (4575 άτομα). Ιδιαίτερα μεγάλα ποσοστά ανεργίας παρουσιάζονται στις κατηγορίες ατόμων 20-45 χρόνων, καθώς και στην κατηγορία των ανειδίκευτων εργατών-εργατοτεχνιτών και υπαλλήλων γραφείου.

Πίνακας 2.2: Ποσοστά απασχόλησης κατά τομέα οικονομικής δραστηριότητας σε σχέση με το σύνολο της Περιφέρειας Θεσσαλίας και το σύνολο του Νομού Καρδίτσας.

Περιοχή	Πρωτογενής τομέας	Δευτερογενής τομέας	Τριτογενής τομέας
Περιφέρεια Θεσσαλίας	32.57%	22.78%	44.65%
Νομός Καρδίτσας	47.68%	15.19%	37.13%
Δήμος Καρδίτσας	4.81%	20.69%	74.50%

## 2.2.2 Αγροτική παραγωγή

Το σύνολο των καλλιεργούμενων εκτάσεων του Νομού Καρδίτσας για τα έτη 1996-2001 και οι ποσότητες των αγροτικών προϊόντων, με βάση στοιχεία της ΕΣΥΕ, δίνονται στους Πίνακες 2.3 και 2.4, αντίστοιχα. Από τα συγκεντρωτικά στοιχεία προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- διαφαίνεται μία πτωτική τάση στο τελικό άθροισμα των καλλιεργούμενων εκτάσεων στοιχείο που μπορεί να συνδυαστεί με την πτωτική τάση της απασχόλησης του πρωτογενούς τομέα·
- αποτυπώνεται σημαντική πτωτική τάση στην καπνοκαλλιέργεια·
- η κύρια καλλιέργεια, που είναι το βαμβάκι, εμφανίζει σημαντικές αυξομειώσεις·
- το μοναδικό αγροτικό προϊόν που εμφανίζει σταθερή αύξηση είναι το σιτάρι, γεγονός που πιθανόν συνδέεται και με το γεγονός ότι έχει το χαμηλότερο κόστος παραγωγή·
- στα υπόλοιπα αγροτικά προϊόντα δεν εμφανίζονται διακριτές μεταβολές.

Πίνακας 2.3: Συνολικές καλλιεργούμενες και αρδευθείσες εκτάσεις Νομού Καρδίτσας (στρέμματα).

	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Σύνολο	1 098 530	1 099 601	1 099 615	1 097 624	1 097 684	1 039 328
Αρδευθείσες	893 624	866 625	839 048	849 529	812 481	775 803

Πίνακας 2.4: Αγροτική παραγωγή Νομού Καρδίτσας (τόνοι).

	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Καπνός	7 251	6 926	7 044	6 458	6 148	5 860
Βαμβάκι	134 799	193 443	186 605	179 154	179 950	194 066
Σιτάρι	29 833	42 307	50 722	46 816	61 545	76 429
Μήλα	576	542	525	583	564	452
Ροδάκινα	139	173	159	78	66	67
Πατάτες	4 775	4 657	4 891	4 604	4 707	4 193
Τομάτες	41 975	43 389	47 124	73 099	52 201	38 577
Κρέας	9 186	8 936	8 465	8 006	8 379	8 126
Γάλα	36 299	36 063	33 106	30 195	32 131	30 187
Τυρί μαλακό	1 822	2 025	1 984	1 968	1 831	1 695
Τυρί σκληρό	53	45	55	59	68	74
Αυγά (χιλ. τεμάχια)	17 469	18 377	18 178	22 808	21 018	20 201

## 2.2.3 Έργα υποδομής

Τα έργα υποδομής της περιοχής μελέτης αφορούν χρηματοδοτήσεις από τα κοινοτικά πλαίσια στήριξης καθώς και από τα Επιχειρησιακά προγράμματα της Περιφέρειας Θεσσαλίας. Στη παρούσα μελέτη είναι διαθέσιμος κατάλογος ενταγμένων έργων στο ΠΕΠ Θεσσαλίας, καθώς και στο επιχειρησιακό πρόγραμμα Περιβάλλον της Περιφέρειας. Με βάση την απόδοση των κονδυλίων μπορούμε να βγάλουμε το συμπέρασμα ότι η βασική χρηματοδοτική στήριξη δόθηκε στις υποδομές του Νομού. Συγκεκριμένα, διατέθηκαν πόροι για την κατασκευή δρόμων, για την συντήρηση και κατασκευή σχολικών μονάδων στην Καρδίτσα και άλλους Δήμους, καθώς και του κτιρίου του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Επεξεργασίας Ξύλου.

Όσον αφορά τα έργα που αφορούν την διαχείριση του υδροδοτικού συστήματος της περιοχής μελέτης, ολοκληρώθηκαν οι επεκτάσεις του δικτύου ύδρευσης-αποχέτευσης για όλο το δήμο Καρδίτσας με χρηματοδότηση από το Ταμείο Συνοχής, παραδόθηκε η επέκταση του βιολογικού καθαρισμού του Δήμου Καρδίτσας (η οικονομική αποτίμηση του οποίου γίνεται με το μοντέλο EPMHS), χρηματοδοτήθηκε η ύδρευση του Δήμου Σοφάδων από το ΠΕΠ Θεσσαλίας, ολοκληρώθηκε η πρώτη φάση του αρδευτικού δικτύου Σμοκόβου και δημοπρατείται η δεύτερη φάση από τη Περιφέρεια Θεσσαλίας. Ακόμη, κατασκευάστηκαν μικρότερης κλίμακας αντιπλημμυρικά έργα σε δημοτικά διαμερίσματα του Νομού.

Μελλοντικά, προβλέπεται να πραγματοποιηθεί η εκτροπή μέρους του υδατικού δυναμικού του Άνω Αχελώου (600 hm<sup>3</sup> ετησίως), μέσω του ταμιευτήρα Συκιάς και της σήραγγας εκτροπής Αχελώου. Το έργο είναι πολλαπλής σκοπιμότητας και θα εξυπηρετήσει την περιβαλλοντική προστασία της Θεσσαλίας, την παραγωγή ενέργειας και την άρδευση. Επιπλέον, προβλέπεται η κατασκευή αρκετών φραγμάτων στις υπώρειες των περιμετρικών ορεινών όγκων, για την καλύτερη αξιοποίηση των τοπικών υδατικών πόρων (Κουτσογιάννης κ.ά., 2001). Το μείζον αυτό σύμπλεγμα έργων αναμένεται να επηρεάσει καθοριστικά την οικονομία της περιοχής.

## 2.2.4 Τουρισμός

Η ανάπτυξη της τουριστικής οικονομίας είναι πολύ σημαντικός παράγοντας, με δεδομένη την μείωση που εμφανίζεται τη τελευταία δεκαετία στην απασχόληση στον πρωτογενή τομέα. Οι τουριστικοί πόλοι του νομού είναι τα παραλίμνια χωριά της λίμνης Πλαστήρα, η πόλη της Καρδίτσας και μελλοντικά η αναμενόμενη τουριστική ανάπτυξη της λίμνης Σμοκόβου. Από τα στοιχεία της ΕΣΥΕ όσον αφορά τη τουριστική κίνηση του Νομού για τη περίοδο 1993-1999 μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα:

- παρουσιάζεται αύξηση των αθροιστικών ετήσιων αφίξεων στο Νομό Καρδίτσας και στο Δήμο Καρδίτσας και αύξηση των διανυκτερεύσεων στο Δήμο Καρδίτσας ·
- παρουσιάζεται αύξηση του μεριδίου τουριστικών αφίξεων για το Νομό Καρδίτσας σε σχέση με όλη τη Περιφέρεια Θεσσαλίας, αναδεικνύοντας έτσι τις δυνατότητες τουριστικής ανάπτυξης της περιοχής μελέτης.

Η λίμνη Πλαστήρα καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μερίδιο τουριστικής προσέλευσης στο Νομό. Το πανέμορφο τοπίο και η διαρκώς αυξανόμενες υποδομές στα παραλίμνια Δημοτικά Διαμερίσματα του Δήμου Νευρόπολης Αγράφων καθιστούν τη λίμνη ένα βασικός πόλο ανάπτυξης του Νομού. Στους επισκέπτες δίνεται η δυνατότητα εναλλακτικών μορφών αθλητισμού όπως η ιππασία, το ποδήλατο βουνού, η ορειβασία ενώ λειτουργεί και χιονοδρομικό κέντρο δίχως βέβαια την απαιτούμενη οργάνωση. Σημαντικά αξιοθέατα είναι το ξωκλήσι της Ζωοδόχου Πηγής που κτίστηκε το 1647 καθώς και η μονή της Παναγίας της Πελεκητής, που κτίστηκε το 1529.

Η Καρδίτσα συγκεντρώνει το υπόλοιπο κομμάτι του τουρισμού. Διαθέτει αναπτυγμένες τουριστικές υποδομές, σημαντικά αξιοθέατα και παρέχει σημαντικές ψυχαγωγικές προτάσεις. Μερικές από αυτές είναι το Άλσος του Πανσίλυπου, το κτήριο της Δημοτικής Αγοράς, η Δημοτική Πινακοθήκη, το υπό ίδρυση Αρχαιολογικό Μουσείο, το Λαογραφικό Μουσείο και το Μουσείο Ύδρευσης, που βρίσκεται στο άλσος των Χιλίων Δέντρων.

Η λίμνη Σμοκόβου, λόγω της μικρής διάρκειας ζωής της δεν έχει αναπτυγμένες τουριστικές υποδομές. Στην ευρύτερη περιοχή της λίμνης αναπτύσσεται ανελαστικές μορφές τουρισμού λόγω των λουτρών Σμοκόβου, Καΐτσας και Σουλαντάς. Τα λουτρά Σμοκόβου λειτουργούν από το 1662 και δέχονται εκατοντάδες επισκέπτες τη θερινή περίοδο λειτουργίας του (Ιούνιος-Οκτώβριος).

## 2.3 Υδατικοί πόροι

### 2.3.1 Επιφανειακοί υδατικοί πόροι

Το επιφανειακό υδατικό δυναμικό της περιοχής περιλαμβάνει δύο συνιστώσες:

- τις απορροές του φυσικού υδρογραφικού δικτύου·
- τα αποθέματα των ταμιευτήρων Πλαστήρα και Σμοκόβου.

Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής είναι αρκετά εκτεταμένο, καθώς περιλαμβάνει, εκτός από τον Πηνειό, ένα μεγάλο αριθμό από παραποτάμους που συμβάλλουν σε αυτόν, σημαντικότεροι από τους οποίους είναι ο Καλέτζης, ο Πάμισος, ο Ληθαίος, ο Φαρσαλιώτης και ο Ενιπέας. Επιπλέον, έχει διαμορφωθεί ένα εξαιρετικά σύνθετο δίκτυο καναλιών και χωμάτινων τάφρων, που κατά την ξηρή περίοδο εξυπηρετεί την άρδευση των παρακείμενων αγροτεμαχίων, ενώ την υγρή περίοδο λειτουργεί ως αποστραγγιστικό δίκτυο.

Οι ταμιευτήρες Πλαστήρα και Σμοκόβου, τα χαρακτηριστικά των οποίων συνοψίζονται στον Πίνακα 2.5, αποτελούν τα μοναδικά έργα αξιοποίησης των επιφανειακών υδατικών πόρων της περιοχής.

Πίνακας 2.5: Χαρακτηριστικά ταμιευτήρων Πλαστήρα και Σμοκόβου.

	Πλαστήρας	Σμόκοβο
Στάθμη υδροληψίας (m)	776.0	331.0
Στάθμη υπερχείλισης (m)	792.0	375.0
Νεκρός όγκος (hm <sup>3</sup> )	75.5	38.4
Μικτή χωρητικότητα (hm <sup>3</sup> )	361.8	237.6
Ωφέλιμη χωρητικότητα (hm <sup>3</sup> )	286.3	209.2
Παροχευτικότητα σήραγγας προσαγωγής (m <sup>3</sup> /s)	20.8	25.0
Εγκατεστημένη ισχύς (MW)	129.9	15.0
Έκταση υπολεκάνης απορροής (km <sup>2</sup> )	161.3	376.5

Ο ταμιευτήρας Πλαστήρα βρίσκεται στον παραπόταμο Ταυρωπό (Μέγδοβα) του Αχελώου, 18 km δυτικά της πόλης της Καρδίτσας. Το φράγμα είναι τοξωτό από σκυρόδεμα, και κατασκευάστηκε κατά τη χρονική περίοδο 1956-62 με κύριο στόχο της παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας και, δευτερευόντως, την άρδευση της Θεσσαλικής πεδιάδας. Σταδιακά, ο ενεργειακός χαρακτήρας του έργου υποβαθμίστηκε προς όφελος του αρδευτικού, ενώ τα τελευταία χρόνια έχει δοθεί ιδιαίτερη βαρύτητα στην τουριστική αξιοποίηση του τοπίου της λίμνης.

Η λεκάνη απορροής ανάντη του φράγματος έχει έκταση 161.3 km<sup>2</sup>. Ο δυτικός υδροκρίτης της ορίζεται από την οροσειρά των Αγράφων, από όπου πηγάζουν τα κύρια υδατορεύματα της περιοχής, το Μεγάλο Ποτάμι και ο Καρυτσιώτης. Το πρώτο πηγάζει από τα βορειοδυτικά και

εκβάλλει στην περιοχή του οικισμού Καλύβια. Το δεύτερο πηγάζει από τα νοτιοδυτικά και εκβάλλει νότια του οικισμού Μπελοκομύτη. Η στάθμη υδροληψίας του ταμιευτήρα βρίσκεται σε απόλυτο υψόμετρο +776 m, ενώ η στάθμη υπερχειλίσης βρίσκεται στα +792 m. Η μικτή χωρητικότητα του ταμιευτήρα ανέρχεται σε 361.8 hm<sup>3</sup>, ενώ ο νεκρός του όγκος φτάνει τα 75.5 hm<sup>3</sup>. Κατά συνέπεια, η ωφέλιμη χωρητικότητα του ταμιευτήρα εκτιμάται σε 286.3 hm<sup>3</sup>. Το σχήμα της λίμνης είναι επίμηκες, με κατεύθυνση βορρά-νότου. Ο ταμιευτήρας έχει μέγιστο μήκος 14 km, μέγιστο πλάτος 4 km και μέγιστο βάθος περί τα 60 m, ενώ το μήκος της ακτογραμμής του ξεπερνά τα 70 km.

Ο ταμιευτήρας Σμοκόβου, που έχει πρόσφατα ολοκληρωθεί (η πλήρωση του ταμιευτήρα ξεκίνησε το 2002), βρίσκεται στην θέση «Παλιοσταλός» Λουτροπηγής, στη συμβολή των ρεμάτων Ονόχωρου και Ρεντινιώτικου, και σε απόσταση 30 km περίπου από την πόλη της Καρδίτσας. Το σύνολο των έργων Σμοκόβου, που περιλαμβάνουν το φράγμα, την σήραγγα εκτροπής Λεονταρίου και ένα εκτεταμένο δίκτυο σωληνωτών αγωγών, θα εξυπηρετούν το πρόγραμμα αξιοποίησης της Θεσσαλικής πεδιάδας, εξασφαλίζοντας νερό για άρδευση έως και 260 000 στρεμμάτων των Νομών Καρδίτσας, Φθιώτιδας και Λάρισας, την ύδρευση οικισμών και τον εμπλουτισμό του υδροφόρου ορίζοντα, από την κατάργηση των μέχρι σήμερα αρδευτικών γεωτρήσεων.

Η λεκάνη απορροής ανάντη του φράγματος έχει έκταση 376.5 km<sup>2</sup>. Ο υδροκρίτης της ορίζεται από την οροσειρά των Αγράφων, την οροσειρά του Τυμφρηστού στα νοτιοδυτικά, τον όρο Όθρυς στα Νότια, την αποξηραμένη λίμνη της Ξυνιάδας στα ανατολικά και τα όρη Ξεροβούνι, Κούμαρος, Πλατειά Ράχη, Παλιομονάστηρο, Κρανόρραχη και Κατάχλωμο στα βόρεια. Η ανώτατη στάθμη λειτουργίας του ταμιευτήρα είναι στα +375 m, ενώ η κατώτερη (στάθμη υδροληψίας) στα +331 m. Το μέγιστο απόθεμά του ανέρχεται στα 237.6 hm<sup>3</sup> και ο νεκρός του όγκος στα 91.8 hm<sup>3</sup>. Η ωφέλιμη χωρητικότητα του ταμιευτήρα είναι 209.2 hm<sup>3</sup>. Τέλος, η έκταση της λίμνης στη ανώτατη στάθμη της ανέρχεται σε 8.4 km<sup>2</sup>.

### 2.3.2 Υπόγειοι υδατικοί πόροι

Στο Νομό Καρδίτσας αναπτύσσονται οι παρακάτω υδροφορείς (ΥΠΑΝ κ.ά., 2003):

- οι κώνοι Πορταϊκού-Παμίσου-Πηνείου, στο βορειοδυτικό τμήμα του νομού, με υψηλό δυναμικό φρεάτιο υδροφορέα, που τροφοδοτείται από τις διηθήσεις των τριών ποταμών αλλά και από την κατείσδυση της βροχής·
- ο κώνος του Σοφαδίτη, με υψηλό δυναμικό φρεάτιο υδροφορέα, που μεταπίπτει σε υπό πίεση και τροφοδοτείται από τις διηθήσεις του ποταμού·
- το υπόλοιπο της πεδιάδας, με πολλούς επάλληλους υπό πίεση υδροφορείς που τροφοδοτούνται κυρίως από τους κώνους των παραποτάμων του Πηνείου, με βραδύτατο όμως ρυθμό, πράγμα που δυσχεραίνει την επαναπλήρωση των ποσοτήτων νερού που αντλούνται.

Γενικά, ελλείπει άλλων έργων επιφανειακής ταμίευσης πλην του Πλαστήρα (τα έργα Σμοκόβου έχουν μόλις λειτουργήσει, και σε μικρό μόνο βαθμό), παρατηρείται έντονη εκμετάλλευση των υπόγειων υδατικών πόρων για την κάλυψη των αρδευτικών, κυρίως, αναγκών, γεγονός που έχει συμβάλλει στην έντονη ταπείνωση της στάθμης του υδροφορέα, ειδικά στην περιοχή των Σοφάδων.

## 2.4 Χρήσεις νερού

Η διατύπωση ασφαλών σεναρίων διαχείρισης των υδατικών πόρων της περιοχής μελέτης προϋποθέτουν την καταγραφή των υφιστάμενων χρήσεων νερού, τα σχεδιαζόμενα τεχνικά έργα για την βελτίωση της υδροδότησης της περιοχής και τις μελλοντικές μεταβολές που θα επιφέρουν στις χρήσεις νερού. Η σαφής καταγραφή των χρήσεων νερού επιβάλλεται από την εθνική και κοινοτική νομοθεσία, με σκοπό την καλύτερη επίτευξη της βέλτιστης ποιοτικής και ποσοτικής διαχείρισης των υφιστάμενων υδατικών πόρων.

### 2.4.1 Ύδρευση

Η κύρια πηγή υδρευτικού νερού στο Νομό Καρδίτσας είναι ο ταμιευτήρας Πλαστήρα. Οι εκροές του ταμιευτήρα, μετά την αναρρυθμιστική λίμνη, διοχετεύεται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας του Συνδέσμου Ύδρευσης και στη συνέχεια διανέμεται στο δίκτυο ύδρευσης. Μελλοντικά, προβλέπεται η υδροδότηση και δημοτικών διαμερισμάτων του Νομού από τον ταμιευτήρα Σμοκόβου, καθώς παρεμβάσεις και επεκτάσεις του υπάρχοντος δικτύου του Συνδέσμου Ύδρευσης.

Ο Σύνδεσμος Ύδρευσης ιδρύθηκε το 1965 και αποτελεί Νομικό Πρόσωπο Δημοσίου Δικαίου που υπάγεται στο Υπουργείο Εσωτερικών και Δημόσιας Διοίκησης. Τα μέλη του Συνδέσμου είναι οι ακόλουθοι δήμοι:

- Καρδίτσας (ΔΕΥΑ Καρδίτσας, Καρδιτισομάγουλα, Αρτεσιανό, Παλιοκλήσι, Ρουσσό, Αγιοπηγή)·
- Μητρόπολης (Μητρόπολη, Ξυνονέρι, Κρύα Βρύση, Γεωργικό, Φράγκο)·
- Κάμπου (Σταυρός, Πρόδρομος, Μυρίνη, Μαξρυχώρι, Αγ. Θεόδωρος, Πτελοπούλα, Μέλλισσα)·
- Σοφάδων (ΔΕΥΑ Σοφάδων, Μασχολούρι, Καρποχώρι, Άμπελος, Ανώγι, Αγία Παρασκευή)·
- Σελλάνων (Προάστιο, Πεδινό, Καλογριαννά, Αγία Τριάδα)·
- Άρνης (Ματαράγκα, Ερμήτσι)·
- Παμίσου (Μαγούλα, Παλαιοχώρι, Κρανιά, Ριζοβούνι)·
- Παλαμά (Μάρκο, Γοργοβίτες)·
- Πελιναίων Τρικάλων (Σερβωτά).

Το δίκτυο του Συνδέσμου χωρίζεται σε τρεις βασικούς κλάδους:

- κλάδος Καρδίτσας, μήκους 8 200 m, ο οποίος εξυπηρετεί αποκλειστικά την πόλη της Καρδίτσας και που το 1993 ενισχύθηκε και με δεύτερο παράλληλο αγωγό του ίδιου μήκους·
- βόρειος κλάδος, μήκους 46 200 m, που εξυπηρετεί 14 Δημοτικά Διαμερίσματα·
- ανατολικός κλάδος, μήκος 70 630 m, που εξυπηρετεί 22 Δημοτικά Διαμερίσματα.

Το εν λόγω δίκτυο έχει ξεπεράσει την ηλικία λειτουργίας, αφού έχει κατασκευαστεί πριν από 40 χρόνια. Αποτελείται από σιδηροσωλήνες που έχουν οξειδωθεί, καθώς έχουν περάσει το όριο ζωής τους, και από σωλήνες αμιαντοτσιμέντου, επίσης πεπαλαιωμένους.

Η κατανάλωση νερού είναι ιδιαίτερα υψηλή, κάτι που σύμφωνα με τους υπευθύνους του Συνδέσμου οφείλεται:

- στην αλόγιστη χρήση νερού για αρδευτικούς σκοπούς κατά τη θερινή περίοδο·
- σημαντικές διαρροές στα εσωτερικά δίκτυα των Δημοτικών Διαμερισμάτων·

- στις απώλειες του κυρίου κλάδου·
- στην κακή εκπλήρωση των οικονομικών υποχρεώσεων των δήμων απέναντι στο Σύνδεσμο.

Συγκεκριμένα, η κατά κεφαλή κατανάλωση νερού για το δίκτυο του Συνδέσμου κυμαίνεται στα 700 L/κατ./d τιμή που θεωρείται πολύ μεγάλη για την βιβλιογραφία (η αντίστοιχη τιμή για την Αττική είναι 200 L/κάτ./d). Την μεγαλύτερη κατανάλωση έχει ο κλάδος της Καρδίτσας, με 650 Lt/κάτ./d, στη συνέχεια ο βόρειος κλάδος, με 600 L/κάτ./d, και, τέλος, ο ανατολικός, με 420 Lt/κάτ./d. Στο βόρειο κλάδο οι μεγαλύτερες καταναλώσεις παρατηρούνται στη Μητρόπολη και στη Κρανιά, όπου προσεγγίζουν τα 1000 L/κάτ./d. Στον ανατολικό κλάδο, οι μεγαλύτερες καταναλώσεις παρατηρούνται στο Γεωργικό, όπου φτάνουν στα 900 L/κάτ./d.

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι στη συντριπτική πλειοψηφία των Δημοτικών Διαμερισμάτων του ανατολικού και βόρειο κλάδου παρατηρούνται μέσες καταναλώσεις μεγαλύτερες από την κανονική (εξαιρούνται η Άμπελος, οι Σοφάδες, το Ερμήτσι, το Μάρκο του Ανατολικού κλάδου και τα Σερβωτά του Βορείου Κλάδου).

Οι μελλοντικές παρεμβάσεις στο υδροδοτικό δίκτυο του νομού αφορούν:

- τη βελτίωση και την επέκταση του υπάρχοντος δικτύου του Συνδέσμου Ύδρευσης·
- την υδροδότηση δημοτικών διαμερισμάτων του νομού από τον ταμιευτήρα Σμοκόβου.

Για το δίκτυο ύδρευσης του Συνδέσμου έχουν εκπονηθεί μελέτες που αφορούν :

- στην κατασκευή νέου αγωγού από το διυλιστήριο μέχρι τη πόλη της Καρδίτσας·
- στην κατασκευή βασικού αγωγού στον ανατολικό κλάδο, από το διυλιστήριο μέχρι το Δ.Δ Ριζοβουνίου·
- στον εκσυγχρονισμό των διυλιστηρίων του Συνδέσμου (αντικατάσταση της άμμου των φίλτρων διύλισης, εφαρμογή συστήματος πλύσης φίλτρων με νερό και αέρα, συντήρηση-αντικατάσταση ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού ταχείας ανάμιξης-κροκίδωσης, εκσυγχρονισμός του κέντρου ελέγχου και αυτοματισμού της μονάδας)·
- στην κατασκευή δύο κεντρικών δεξαμενών στο βόρειο και ανατολικό κλάδο·
- στην κατασκευή νέων αγωγών που θα εξυπηρετήσουν τη Βιομηχανική Περιοχή Καρδίτσας στους Γοργοβίτες καθώς και τα Δ.Δ Παλαμά, Δασοχωρίου, Μελισσοχωρίου, Αγναντερό, Κόρδα, Μαραθέας, Καλλίθηρου, Ζαμίου, Καλλιφωνίου, Πύργου Κιερίου και Κυψέλης.

Σήμερα, οι Δήμοι Ταμασίου, Μενελαίδος, Σοφάδων, Άρνης, Παλαμά και Φύλλου, υδροδοτούνται είτε από γεωτρήσεις είτε από πηγές. Σε πολλές περιπτώσεις, στον υπόγειο υδροφορέα παρουσιάζονται υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών και φυτοφαρμάκων, σύμφωνα με σχετικές μετρήσεις του ΙΓΜΕ την περίοδο 1999-2000. Μελλοντικά, οι περιοχές αυτές θα υδρεύονται από τον ταμιευτήρα Σμοκόβου. Το δίκτυο που θα κατασκευαστεί προβλέπεται να εξυπηρετεί 55 οικισμούς.

Σε επίπεδο προμελέτης (Μπουλούγαρης και Τσίτσης, 2002) έχουν προταθεί τρεις εναλλακτικές λύσεις για την κατασκευή του υδρευτικού δικτύου. Από οικονομική άποψη, προτιμητέα θεωρείται η λύση κατά την οποία το κεντρικό υδραγωγείο ξεκινά δίπλα από τη σήραγγα Λεονταρίου. Στην περίπτωση αυτή προβλέπεται η λειτουργία δύο μόνο συλλογικών δεξαμενών, ενώ η χάραξη των αγωγών ακολουθεί την μέγιστη δυνατή ευθυγραμμία. Βάση της προμελέτης προβλέπονται τρεις κεντρικοί κλάδοι: Ο ανατολικός κλάδος θα εξυπηρετεί τους οικισμούς Γραμματικό, Νέο Ικόνιο, Πασχαλίτσα, Γεφύρια, Πασχαλίτσα, Λεύκη, Ορφανά, Φύλλο, Άμπελο,

Ιτέα, Συκεώνα, Πέτρινο και Άγιο Δημήτριο. Ο κεντρικός κλάδος θα τροφοδοτεί τους οικισμούς Καππαδοκικό, Άγιο Βησσάριο, Κυψέλη, Ματαράγκα, Ερμήτσι, Μάρκο, Γοργοβίτες, Καλυβάκια, Κοσκινά, Ψαθοχώρι, Μεταμόρφωση, Παλαμά, Μοσχολούρι και Σοφάδες. Τέλος, ο δυτικός κλάδος τροφοδοτεί τα χωριά Ασημοχώρι, Λεοντάρι, Ανάβρα, Κέδρος, Λουτρό, Παλιούρι, Δαφνοσπηλιά, Ζαίμι, Φίλια, Μαυραχάδες, Ανώγειο, Άμπελο, Αγία Παρασκευή και Καρποχώρι.

#### **2.4.2 Άρδευση**

Η εξυπηρέτηση των αρδευτικών αναγκών γίνεται από επιφανειακά και υπόγεια νερά. Ειδικότερα, ο Νομός Καρδίτσας, σε ένα σημαντικό ποσοστό της αρδευσιμής έκτασής τους, εξυπηρετείται από τον ταμιευτήρα Πλαστήρα, που εκτρέπει το σύνολο των υδατικών πόρων της υπολεκάνης του Ταυρωπού (παραπόταμος του Αχελώου) προς τη Θεσσαλική πεδιάδα. Οι εκροές του ταμιευτήρα κατευθύνονται προς τον υδροηλεκτρικό σταθμό, και στη συνέχεια σε μια αναρρυθμιστική λίμνη που βρίσκεται στο Δήμο Μητρόπολης. Από την τελευταία ξεκινούν τέσσερις διαφορετικοί αγωγοί. Ο πρώτος εξυπηρετεί το κύριο αρδευτικό έργο του Πλαστήρα, έκτασης 150 000 στρεμμάτων, που περιλαμβάνει αρδευσιμες εκτάσεις των Δήμων Καρδίτσας, Μητρόπολης, Κάμπου και Ιθώμης. Ο δεύτερος μεταφέρει νερό μέσω άντλησης προς τρία ορεινά χωριά του Δήμου Πλαστήρα (Μεσενικόλας, Μορφοβούνι, Μοσχάτο), τα οποία βρίσκονται στα δυτικά της αναρρυθμιστικής λίμνης, αρδύοντας εκτάσεις 3 000 στρεμμάτων. Ο τρίτος εξυπηρετεί με απευθείας άντληση δύο χωριά του Δήμου Μητρόπολης που δεν εντάσσονται στο κύριο αρδευτικό έργο του Πλαστήρα (Ξυνονέρι, Ρούσσο). Τέλος, ο τέταρτος αγωγός είναι ένα τεχνητό κανάλι, που έχει διανοιχτεί περιμετρικά του αρδευτικού δικτύου του Πλαστήρα (νότια του αρδευτικού δικτύου), εξυπηρετώντας τους Δήμους Μητρόπολης, Παλαμά, Ιτάμου, Άρνης και Φύλλου. Στη συνέχεια, η περίσσεια νερού οδηγείται μέσω του Πηνειού στο Νομό Λάρισας. Η υπόλοιπη περιοχή, που ανήκει στον ΤΟΕΒ Θεσσαλιώτιδος και περιλαμβάνει τους Δήμους Σοφάδων, Ταμασίου και Μενελαίδος εξυπηρετείται από κρατικές και ιδιωτικές γεωτρήσεις, καθώς και από τα επιφανειακά νερά του Σοφαδίτικου, του Φαρσαλιώτη και του Ενιπέα.

Μεγάλο μέρος της αρδευτικής ζήτησης καλύπτεται από ιδιωτικές και κρατικές γεωτρήσεις. Εκτιμάται (ΔΕΒ Καρδίτσας) ότι στο σύνολο του Νομού λειτουργούν περί τις 7 000 ιδιωτικές γεωτρήσεις, ενώ στους Τοπικούς Οργανισμούς των Εγγείων Βελτιώσεων λειτουργούν 150 κρατικές γεωτρήσεις. Το μεγαλύτερο αριθμό γεωτρήσεων, καθώς και τη μεγαλύτερη εγκατεστημένη παροχή, έχει ο ΤΟΕΒ Θεσσαλιώτιδος (Δήμοι Σοφάδων, Ταμασίου). Με την απουσία επιφανειακών νερών, οι αρδευσιμες εκτάσεις της περιοχής καλύπτουν τη ζήτηση τους από υπόγεια νερά. Σε αυτή την έκταση εμφανίζεται και η μεγαλύτερη ταπείνωση του υπόγειου υδροφορέα στην περιοχή μελέτης.

Οι μεταβολές στο αρδευτικό δίκτυο της περιοχής καθώς και στις χρήσεις του αρδευτικού νερού σχετίζονται με την ολοκλήρωση του αρδευτικού δικτύου του Σμοκόβου και με την ολοκλήρωση του φράγματος Μουζακίου (που είναι το κύριο από τα έργα εκτροπής του Αχελώου στην πλευρά της Θεσσαλίας), οπότε αναμένεται ένα ποσοστό από το νερό του να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη αρδευτικών αναγκών του νομού.

Το αρδευτικό δίκτυο του Σμοκόβου, στην πλήρη ανάπτυξη του, θα έχει έκταση 252 600 στρεμμάτων. Το δίκτυο χωρίζεται σε δύο περιοχές και οκτώ ζώνες, και θα ολοκληρωθεί μακροπρόθεσμα, εφόσον βρεθούν τα αναγκαία κονδύλια. Σήμερα αρδύονται 18 000 στρέμματα μέσω σωληνωτών αγωγών και άλλα 37 000 στρέμματα από προσωρινά έργα (ρουφράκτες).



### 2.4.3 Παραγωγή ενέργειας

Στην περιοχή μελέτης λειτουργεί σήμερα το υδροηλεκτρικό έργο Πλαστήρα, ενώ έχει ολοκληρωθεί η κατασκευή ενός ακόμα μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού στην έξοδο της σήραγγας Λεονταρίου. Στο μέλλον προβλέπεται η κατασκευή των έργων εκτροπής του Αχελώου, με παράλληλη υδροηλεκτρική αξιοποίηση.

Το υδροηλεκτρικό έργο Πλαστήρα, που είναι το μοναδικό αξιόλογο σε όλη τη Θεσσαλία, αποτελείται από τρεις υπαίθριες μονάδες Pelton, συνολικής εγκαταστημένης ισχύος 129.9 MW, και παράγει ενέργεια 220 GWh ετησίως. Η παραγωγή από τον ταμιευτήρα γίνεται μέσω σήραγγας μήκους 2625 m και διαμέτρου 3.5 m. Το μέγιστο ύψος πτώσης ανέρχεται σε 577 m και συγκαταλέγεται στα μεγαλύτερα που υπάρχουν στον ελληνικό χώρο. Μετά την έξοδο από τους στροβίλους, το νερό αποθηκεύεται στην αναρρυθμιστική λίμνη συνολικού όγκου 600 000 m<sup>3</sup> και στη συνέχεια είτε διατίθεται για άρδευση είτε για περαιτέρω επεξεργασία για υδρευτικούς σκοπούς.

Πρέπει να επισημανθεί ότι η σταδιακή αλλαγή του χαρακτήρα του έργου Πλαστήρα από ενεργειακό σε αρδευτικό είχε ως αποτέλεσμα να αλλάξει σημαντικά η μηνιαία κατανομή των απολήψεων, οι οποίες ενώ μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1980 παρουσίαζαν μια σχετική ομοιομορφία καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, έκτοτε πραγματοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά κατά τη θερινή περίοδο. Από τα δεδομένα ισοζυγίου του ταμιευτήρα για τη περίοδο 1972-1993 μπορούμε να διακρίνουμε ότι τη πρώτη δεκαετία ο σταθμός είναι αιχμής για τη ΔΕΗ, ενώ στα μέσα της δεύτερης δεκαετίας ο σταθμός γίνεται βάση για το σύστημα της ΔΕΗ, με αποτέλεσμα τη μείωση των χειμερινών απολήψεων και τη σημαντική αύξηση των θερινών. Η ανισοκατανομή των εκροών και η πλήρης εξάρτησή της από τις αρδευτικές ανάγκες έχει ως επιπλέον συνέπεια τη μείωση της αξίας της παραγόμενης ενέργειας.

Ο υδροηλεκτρικός σταθμός Λεονταρίου, που λειτουργεί υπό την εποπτεία της ΔΕΗ, βρίσκεται στην έξοδο της ομώνυμης σήραγγας. Ο σταθμός περιλαμβάνει τρεις στροβίλους τύπου Francis με παροχές λειτουργίας από 2 έως 5 m<sup>3</sup>/s, από 5 έως 10 m<sup>3</sup>/s και από 5 έως 10 m<sup>3</sup>/s αντίστοιχα. Με αυτό τον τρόπο καλύπτεται όλο το φάσμα των διερχόμενων παροχών που κυμαίνεται από 2 έως 25 m<sup>3</sup>/s. Η καθαρή υψομετρική διαφορά μεταξύ (αφαιρούμενων των απωλειών) μεταξύ της στάθμης του ταμιευτήρα και της στάθμης εξόδου κυμαίνεται από 28 έως 88 m. Η γραμμή μεταφοράς ενέργειας είναι μέσης τάσης 15 KW και συνδέεται με τον υποσταθμός Λεονταρίου. Ο σταθμός αναμένεται να τεθεί σε λειτουργία το 2007.

### 2.4.4 Περιβαλλοντικοί περιορισμοί

Το σημαντικότερο περιβαλλοντικό μέτρο της περιοχής μελέτης αφορά στη λειτουργία του ταμιευτήρα Σμοκόβου, και αναφέρεται στην διατήρηση μιας ελάχιστης ροής κατάντη του φράγματος, που θα διοχετεύεται μέσω της σήραγγας του εκκενωτή. Με βάση την Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ) του έργου (Βαβίζος κ.ά., 1995), η οικολογική εκροή που θα διοχετεύεται την περίοδο Απριλίου-Σεπτεμβρίου, φτάνοντας αθροιστικά τα 10.0 hm<sup>3</sup>, προβλέπεται να ακολουθεί την κατανομή του Πίνακα 2.6 (διαφορετική είναι η κατανομή που προτείνει η Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων Καρδίτσας, η οποία επίσης παρατίθεται στον πίνακα). Με τον τρόπο αυτό, θα εξασφαλίζεται μια ελάχιστη θερινή παροχή στον κώνο του Σοφαδίτη, που θα κυμαίνεται από 0.7 έως 1.1 m<sup>3</sup>/s.

Όσον αφορά στη λειτουργία του ταμιευτήρα Πλαστήρα, έχει προταθεί από το ΕΜΠ ένα πλαίσιο μέτρων που περιλαμβάνει:

- την επιλογή μιας ελάχιστης επιτρεπόμενης στάθμης·
- τη θέσπιση μιας σταθερής ετήσιας απόληψης-στόχου·
- την αυστηρή τήρηση του περιορισμού στάθμης, σε περίπτωση αδυναμίας ικανοποίησης της τιμής-στόχου λόγω δυσμενών υδρολογικών συνθηκών.

Μετά από διερεύνηση όλων των συνιστωσών που διέπουν τη βιώσιμη διαχείριση του ταμιευτήρα (ποσοτικών, ποιοτικών και περιβαλλοντικών), προτάθηκε η θεσμοθέτηση ενός ελάχιστου ορίου απολήψεων, που αντιστοιχεί στη στάθμη των +782 m, έναντι των +776 m που είναι το φυσικό όριο υδροληψίας. Η τήρηση του εν λόγω περιορισμού, με σταθεροποίηση των ετήσιων απολήψεων στα επίπεδα των 134 hm<sup>3</sup>, αναμένεται να εξασφαλίσει υψηλή (90%) αξιοπιστία στην εξυπηρέτηση των αρδευτικών και υδρευτικών χρήσεων, προστασία της ποιότητας του νερού της λίμνης και ανάδειξη του περιβάλλοντος τοπίου (λόγω μείωσης της διακύμανσης της στάθμης), που αποτελεί πόλο έλξης για τον τουρισμό (Ομάδα ερευνητικού έργου Πλαστήρα, 2002).

Πίνακας 2.6: Προτεινόμενα σενάρια μηνιαίας κατανομής της περιβαλλοντικής εκροής κατάντη του φράγματος Σμοκόβου (όγκοι νερού σε hm<sup>3</sup>).

Μήνας	Σύμφωνα με τη ΜΠΕ του έργου	Σύμφωνα με την ΔΕΒ Καρδίτσας
Απρίλιος	0.36	0.00
Μάιος	1.76	0.80
Ιούνιος	2.43	2.30
Ιούλιος	2.93	3.00
Αύγουστος	1.84	2.70
Σεπτέμβριος	0.71	1.20
Σύνολο	10.00	10.00

## 2.5 Ποιότητα νερού

### 2.5.1 Ποιότητα επιφανειακών νερών

Ο έλεγχος της ποιοτικής κατάστασης των υδάτινων σωμάτων αφορά στους ταμιευτήρες Πλαστήρα και Σμοκόβου και έχει διερευνηθεί από τις αρμόδιες υπηρεσίες, καθώς και από μελέτες του ΕΜΠ.

Τα ρυπαντικά φορτία της λίμνης Πλαστήρα προέρχονται από σημειακές (αστικά απόβλητα) και μη σημειακές πηγές (επιφανειακές εισροές, λόγω γεωργικών και κτηνοτροφικών δραστηριοτήτων). Οι σημειακές φορτίσεις λόγω της τουριστικής κίνησης μεταβάλλονται μέσα στο έτος. Οι σχετικές εκτιμήσεις που έγιναν στα πλαίσια του προαναφερθέντος ερευνητικού έργου του ΕΜΠ (Ανδρεαδάκης κ.ά., 2002), και αφορούν στα ρυπαντικά φορτία των σημειακών φορτίσεων, συνοψίζονται στον Πίνακα 2.7. Τα ρυπαντικά φορτία από μη σημειακές πηγές οφείλονται στις αγροτικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες, και εκτιμήθηκαν με βάση τις χρήσεις γης που αναπτύσσονται στη λεκάνη. Οι τιμές τους, που θεωρήθηκαν σταθερές για κάθε έτος, δίνονται στον Πίνακα 2.8.

Πίνακας 2.7: Ρυπαντικά φορτία στη λεκάνη απορροής του ταμιευτήρα Πλαστήρα (kg/έτος).

Παράμετρος	Μη τουριστική περίοδος	Τουριστική περίοδος
BOD	60 827	92 400
SS	27 558	41 993
N	13 907	21 280
P	745	1 139

Πίνακας 2.8: Εισροή θρεπτικών από μη σημειακές πηγές στον ταμιευτήρα Πλαστήρα (kg/έτος).

Χρήσεις γης	Άζωτο (N)	Φώσφορος (P)
Αστικές	500	200
Καλλιέργειες	37 500	1 250
Βοσκότοποι	20 000	2 000
Δάση	25 350	845
Νερά	11 200	860
Σύνολο	94 550	4 855

Η διερεύνηση της ποιοτικής κατάστασης της λίμνης Πλαστήρα βασίστηκε σε ερευνητικό έργο του ΕΜΠ και πραγματοποιήθηκε με την ανάπτυξη δύο μοντέλων του MERES και το EUTRO-SEL. Οι βασικοί ποιοτικοί παράμετροι που εξετάζουν τα μοντέλα είναι η συγκέντρωση της χλωροφύλλης και το διαλυμένο οξυγόνο. Στα δύο μοντέλα χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου οι διάφορες στάθμες λειτουργίας καθώς και οι εκτιμήσεις των ρυπαντικών φορτίων των Πινάκων 2.7 και 2.8. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων των δύο μοντέλων κατέληξαν σε κοινά συμπεράσματα, που είναι:

- σε ελάχιστη επιτρεπόμενη στάθμη +786 m, και με την προϋπόθεση μη αύξησης των ρυπαντικών φορτίων, οι συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης πρέπει να θεωρείται βέβαιο ότι δεν θα υπερβαίνει τα 5 mg/L, οπότε η ποιοτική κατάσταση της λίμνης εντάσσεται στην κατηγορία 1·
- σε ελάχιστες επιτρεπόμενες στάθμες λειτουργίας της λίμνης στο επίπεδο +782 μέχρι +784 m οι συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης δεν υπερβαίνουν τα 10 mg/L, και σε αυτή την περίπτωση η ποιότητα των υδάτων είναι καλή και η λίμνη ανήκει στην κατηγορία 2·
- σε ελάχιστη στάθμη λειτουργίας +780 m η συγκέντρωση της χλωροφύλλης είναι πολύ πιθανό να υπερβαίνει το 10 mg/L, οπότε η ποιότητα των υδάτων είναι μέτρια και η κατάταξη της λίμνης από άποψη ποιότητας ανήκει στην κατηγορία 3.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο ταμιευτήρας Πλαστήρα τροφοδοτεί με πόσιμο νερό την πόλη της Καρδίτσας καθώς και τους Δήμους Σοφάδων, Παλαμά και Κάμπου. Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρούνται περιοδικά του θερινούς μήνες έντονα επεισόδια οσμής και γεύσης του νερού (η κατάσταση παρουσίασε σημαντική επιδείνωση το έτος 2005). Το φαινόμενο μελετήθηκε πρόσφατα από ομάδα ερευνητών του ΕΜΠ (Ανδρεαδάκης κ.ά., 2006), που κατέληξαν στα εξής συμπεράσματα:

- το νερό που παράγεται από τα διυλιστήρια και τροφοδοτείται προς τους οικισμούς είναι υγειονομικά κατάλληλο προς πόση με ποιοτικά χαρακτηριστικά που βρίσκονται σε

συμφωνία με τη κοινοτική και εθνική νομοθεσία, ενώ η δυσάρεστη οσμή και γεύση που παρατηρούνται δεν εγκυμονεί κανένα κίνδυνο για τη δημόσια υγεία·

- η γαιώδης οσμή φαίνεται να οφείλεται βάση των εργαστηριακών ευρημάτων στην ουσία γεοσμίνη που ανιχνεύθηκε σε δείγματα του πόσιμου νερού σε συγκεντρώσεις που γίνονται αντιληπτές στον άνθρωπο·
- η προέλευση της γεοσμίνης οφείλεται στην ανάπτυξη κυανοφυκών στη λίμνη Πλαστήρα, η οποία εντείνεται κατά τους θερινούς μήνες και ευνοείται από τους μεγάλους χρόνους παραμονής και την πτώση στάθμης που παρατηρείται τους θερινούς μήνες·
- στις περιπτώσεις υποβιβασμού της στάθμης κάτω από τα +780 m, η υδροληψία του ταμιευτήρα γίνεται από το επιλίμνιο, όπου παρατηρούνται μεγάλες συγκεντρώσεις αλγών και κυανοφυκών·
- η παρουσία της αναρρυθμιστικής λίμνης δεν φαίνεται να επιδεινώνει το πρόβλημα οσμής και γεύσης του νερού.

Η ερευνητική ομάδα διατύπωσε τις ακόλουθες προτάσεις για την αντιμετώπιση του προβλήματος:

- τη διατήρηση της ελάχιστης στάθμης του ταμιευτήρα του Πλαστήρα μεταξύ +784 m και +786 m, που αποτελεί το πλέον αξιόπιστο προληπτικό μέσο για την αποτροπή ανάπτυξης φυτοπλαγκτόν, το οποίο αποτελεί τη γενεσιουργό αιτία του φαινομένου·
- την ανεξάρτητη υδροληψία από τη λίμνη Πλαστήρα από κατάλληλο βάθος (υπολίμνιο), η οποία θα συμβάλει στη μείωση των συγκεντρώσεων γεοσμίνης στο απαγόμενο νερό·
- την εφαρμογή προχωρημένων μεθόδων επεξεργασίας του νερού, που περιλαμβάνει τη χρήση ενεργού άνθρακα και την οζόνωση.

Η ρύπανση της λίμνης Σμοκόβου προέρχεται από τις αγροτική και κτηνοτροφική παραγωγή που πραγματοποιείται στην ευρύτερη περιοχή της Ξυνιάδας. Τα απόβλητα της περιοχής περιέχουν σε σημαντικό βαθμό φορτία αζώτου και φωσφόρου τα οποία μέσω του ρέματος Ονόχωνος διοδεύονται στη λίμνη. Οι αρμόδιες υπηρεσίες του Νομού Καρδίτσας παρακολουθούν ανά τακτά χρονικά διαστήματα τις βασικές παραμέτρους της ποιότητας των υδάτων του ταμιευτήρα Σμοκόβου, μεταξύ των οποίων διάφορες χημικές και μικροβιολογικές παραμέτρους. Από τις μετρήσεις που έχουν γίνει έως τώρα προκύπτει ότι, από άποψη ποιότητας, το νερό της λίμνης μπορεί να καταταγεί στην κατηγορία Α1, και συνεπώς μπορεί να διατεθεί ως πόσιμο μετά από κατάλληλη επεξεργασία (διήθηση και απολύμανση).

Πίνακας 2.9: Εισροή θρεπτικών από μη σημειακές πηγές στον ταμιευτήρα Σμοκόβου από το οροπέδιο της Ξυνιάδας (kg/έτος).

Χρήσεις γης	Αζωτο (N)	Φώσφορος (P)
Αστικές	6 100	2 440
Καλλιέργειες	112 065	8 765
Βοσκότοποι	11 750	1 175
Δάση	73 460	2 448
Νερά	640	32
Σύνολο	354 906	14 860

Πρόσφατα, επιχειρήθηκε μια θεωρητική διερεύνηση της ποιότητας των υδάτων του ταμειυτήρα, με το μοντέλο ευτροφισμού Aquatox, το οποίο προσομοιώνει τη συγκέντρωση μη συντηρητικών ρύπων και τις επιπτώσεις τους στη τροφική κατάσταση του υδάτινου περιβάλλοντος (Ρόπης, 2005). Η ετήσια εισροή θρεπτικών εκτιμήθηκε με βάση τις χρήσεις γης και τον πληθυσμό στη λεκάνη απορροής της Ξυνιάδος (Πίνακας 2.9). Στα πλαίσια της έρευνας, εξετάστηκαν διάφορα σενάρια στάθμης λειτουργίας του ταμειυτήρα, και τα συμπεράσματα που προέκυψαν συνοψίζονται ως εξής:

- η ποιότητα των υδάτων της λίμνης είναι πολύ καλή με βάση τις χαμηλές ποσότητες των θρεπτικών και χλωροφύλλης·
- τους θερινούς μήνες, όποτε εμφανίζονται οι μέγιστες τιμές, είναι κάτω από θεσμοθετημένα όρια·
- στην ελάχιστη στάθμη προσομοιώσεων (+346 m) τα ποιοτικά χαρακτηριστικά διαφοροποιούνται όμως οι τιμές επίσης παραμένουν χαμηλές·
- με βάση τη συγκέντρωση της χλωροφύλλης που παραμένει κάτω από την τιμή των 5 µg/L, η ποιότητα των υδάτων της λίμνης μπορεί να χαρακτηριστεί πολύ καλή και να καταταγεί στην κατηγορία 1.

### **2.5.2 Ποιότητα υπόγειων νερών**

Ως προς την ποιότητα των υπόγειων υδάτων, στο Νομό Καρδίτσας έχουν συστηματικά καταγραφεί αξιολογες συγκεντρώσεις αμμωνιακών στην περιοχή Ματαράγκα. Γενικά, οι μικρές συγκεντρώσεις αζωτούχων ενώσεων που παρατηρούνται στο διαμέρισμα, παρά την παρουσία εντατικών καλλιεργειών και πλήθους σημειακών ρυπαντών, αποδίδονται στους μεγάλης δυναμικότητας υδροφορείς και την παρουσία αργιλικών πετρωμάτων στις προσχώσεις, που απορροφούν τμήμα των ρυπαντικών φορτίων.

## **2.6 Θεσμικό πλαίσιο διαχείρισης υδατικών πόρων**

### **2.6.1 Νομικό πλαίσιο για τη διασφάλιση της ποιότητας των υδάτων**

Η Οδηγία-Πλαίσιο για τα νερά 2000/60/ΕΕ προωθεί την προστασία των υδάτων και προέκυψε μετά από πολλά χρόνια συζητήσεων και διαπραγματεύσεων μεταξύ των χωρών της Ε.Ε.

Η Οδηγία δημιουργεί ένα πλαίσιο για τη διασφάλιση της ποιότητας των υδάτων (επιφανειακών, υπόγειων, μεταβατικών και παράκτιων) με σκοπό:

- να αποτραπεί η περαιτέρω υποβάθμιση των υδάτων και να προστατεύονται και να βελτιώνονται οι υδατικοί πόροι.
- να προωθείται η βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων
- να υποβοηθείται η βελτίωση του υδάτινου περιβάλλοντος με την εφαρμογή συγκεκριμένων μέτρων για τη σταδιακή μείωση της απόρριψης ρυπαντικών ουσιών καθώς και την αποφυγή απόρριψής τοξικών ρυπαντικών ουσιών στους υδάτινους αποδέκτες.
- να εξασφαλίζεται η μείωση της ρύπανσης των υπογείων υδάτων και να αποτρέπεται η περαιτέρω ρύπανση τους.
- να αντιμετωπίζεται το ενδεχόμενο ακραίων πλημμυρών και ξηρασιών.

Με βάση την κοινοτική οδηγία καταρτίζονται ανώτατες τιμές εκπομπών ρύπων σε κάθε υδάτινο σώμα, καθώς επίσης διαχωρίζονται σε κατηγορίες οι ποιοτικές βαθμίδες ανάλογα με τη χρήση του νερού (πόση, κολύμβηση, διαβίωση ιχθύων).

### **2.6.2 Νομικό πλαίσιο για τη διαχείριση των υδατικών πόρων**

Η διαχείριση των υδάτων επιφανειακών και υπόγειων και ο έλεγχος της ποιότητας τους στηρίζεται στο Ν. 1739/87 ο οποίος αναθεωρήθηκε πρόσφατα από το Ν. 3199/03 και εφαρμόζεται για την προστασία και διαχείριση των επιφανειακών και των υπόγειων υδάτων. Η πολιτική για την προστασία και διαχείριση των υδάτων χαράσσεται από την Εθνική Επιτροπή Υδάτων, μετά από εισήγηση του Υπουργού Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων. Στην Επιτροπή συμμετέχουν

Η Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων καταρτίζει τα εθνικά προγράμματα προστασίας και διαχείρισης του υδάτινου δυναμικού της χώρας και συντονίζει την εφαρμογή τους. Τα εθνικά προγράμματα διακρίνονται σε μακροχρόνια με διάρκεια πάνω από έξι χρόνια και βραχυχρόνια, με διάρκεια από δύο έως έξι έτη.

Η τοπική διαχείριση σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού ανήκει στην Περιφέρεια, στα διοικητικά όρια της οποίας εκτείνεται η λεκάνη απορροής. Σε κάθε Περιφέρεια συνίσταται Διεύθυνση Υδάτων μέσω της οποίας ασκούνται οι αρμοδιότητες της για την προστασία και διαχείριση των υδάτων. Η Διεύθυνση Υδάτων έχει τις εξής αρμοδιότητες: Λαμβάνει μέτρα για την πρόληψη της υποβάθμισης των επιφανειακών και υπογείων υδάτων, προχωρεί στην αναβάθμιση και αποκατάσταση των υδατικών συστημάτων, λαμβάνει μέτρα για την προοδευτική μείωση της ρύπανσης από ρυπαντικές ουσίες, διασφαλίζει την ισορροπία στην άντληση του υπόγειου υδροφορέα, μετριάξει τις επιπτώσεις από τις πλημμύρες και ξηρασίες. Βασικό της καθήκον είναι η κατάρτιση μακροπρόθεσμων και μεσοπρόθεσμων σχεδίων διαχείρισης του επιφανειακού υπόγειου υδατικού δυναμικού της λεκάνης απορροής. Μια ακόμη βασική επιδίωξη από την εφαρμογή του νόμου είναι η ουσιαστική συμμετοχή του κοινού σε ζητήματα προστασίας του νερού για προβλέπεται η σύσταση Περιφερειακών Συμβουλίων προστασίας και διαχείρισης των υδάτων τα οποία αποτελούν όργανα κοινωνικού διαλόγου και διαβούλευσης.

Για την πλήρη εφαρμογή του Ν. 3199/03 επιβάλλεται η σύσταση όλων των συμβουλίων και η πλήρης προσαρμογή του διοικητικού μηχανισμού στις απαιτήσεις του νόμου. Επειδή βρισκόμαστε σε μεταβατική διαδικασία εφαρμογής του νόμου οι κανονιστικές διατάξεις που ρυθμίζουν ζητήματα προστασίας και διαχείρισης του υδατικού δυναμικού καθορίζονται από το Ν. 1739/87.

Σημαντική συμβολή στην προστασία της ποιότητας του νερού και την αναβάθμιση των υπηρεσιών στους δημότες έχουν οι Δημοτικές Επιχείρησης Ύδρευσης και Αποχέτευσης, οι οποίες ξεκίνησαν τη λειτουργία τους με την εφαρμογή του Ν. 1069/80.

### **2.6.3 Φορείς διαχείρισης και προστασίας της ποιότητας των υδατικών πόρων του Νομού Καρδίτσας**

Ο Νομός Καρδίτσας έχει διάφορες δημόσιες υπηρεσίες που εμπλέκονται στη διασφάλιση της ποιότητας και τη διαχείριση των υδάτων.

Έχει τέσσερις οργανωμένες Δημοτικές Επιχειρήσεις Ύδρευσης και Αποχέτευσης (Καρδίτσα, Σοφάδων, Παλαμά, Μουζακίου). Το πόσιμο νερό διατίθεται από το Σύνδεσμο Ύδρευσης ο οποίος έχει την ευθύνη για τη διασφάλιση της ποιότητας του νερού με την χημική του επεξεργασία από επιστημονικό προσωπικό. Τα μέλη του Συνδέσμου Ύδρευσης είναι οκτώ δήμοι του Νομού και διοικείται από Διοικητικό συμβούλιο το οποίο απαρτίζεται από εκλεγμένους δημοτικούς συμβούλους των δήμων που είναι μέλη του.

Στο Νομό Καρδίτσας λειτουργούν πέντε Τοπικοί Οργανισμοί Εγγείων Βελτιώσεων (Θεσσαλιώτιδος, Παλαμά, Σελλάνων, Λαζαρίνας, Ταυρωπού), με κύριο σκοπό την συντήρηση του δικτύου. Την κύρια ευθύνη για την διαχείριση των υδάτων και του υδροδοτικού δικτύου του Νομού, με βάση το νόμο 1739/87, έχει η Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων, η οποία υπάγεται στο Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Καρδίτσας.

Τη ευθύνη της διαχείρισης του ταμιευτήρα Πλαστήρα έχει η ΔΕΗ. Όσον αφορά στον ταμιευτήρα Σμοκόβου, πρόσφατα ανατέθηκε από τη Περιφέρεια Θεσσαλίας στο ΕΜΠ το ερευνητικό έργο με τίτλο «Διερεύνηση σεναρίων διαχείρισης του ταμιευτήρα Σμοκόβου», με κύριο στόχο να εξεταστούν εναλλακτικές μορφές (νομικές, οικονομικές) ενός φορέα διαχείρισης του ταμιευτήρα και των συναφών έργων (Μαμάσης κ.ά., 2006).

## 3 Δεδομένα και επεξεργασίες - Εφαρμογή ΣΓΠ και λογισμικού ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ

---

### 3.1 Γενικά

Στο Κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η συλλογή και επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων, γεωγραφικών, υδρολογικών, υδρομετρικών, μετεωρολογικών, υδρογεωλογικών και διαχειριστικών (χαρακτηριστικά μεγέθη τεχνικών έργων), τα οποία χρησιμοποιούνται από τα μαθηματικά μοντέλα του συστήματος ΥΔΡΟΓΑΙΑ, στα πλαίσια της κατάρτισης του Σχεδίου Διαχείρισης των υδατικών πόρων της περιοχής μελέτης. Οι επεξεργασίες έγιναν με συνδυασμένη χρήση του Συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας (ΣΓΠ) και του λογισμικού ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ (Κοζάνης κ.ά., 2005). Το σύνολο των δεδομένων, πρωτογενών και επεξεργασμένων, καταχωρήθηκαν στην κεντρική βάση δεδομένων, και είναι προσπελάσιμα από τον αρμόδιο φορέα της περιοχής, δηλαδή τη ΔΕΥΑ Καρδίτσας.

Συγκεκριμένα, τα πρωτογενή γεωγραφικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για τη σχηματοποίηση του υδροσυστήματος και την κατασκευή των διαφόρων θεματικών επιπέδων του μοντέλου ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ. Από την άλλη πλευρά, τα πρωτογενή υδρολογικά και μετεωρολογικά δεδομένα αξιοποιήθηκαν για την παραγωγή μηνιαίων χρονοσειρών εισόδου των μοντέλων, και ειδικότερα:

- την κατάρτιση ιστορικών χρονοσειρών επιφανειακής βροχόπτωσης και δυνητικής εξατμοδιαπνοής στις υπολεκάνες τις οποίες χωρίστηκε η περιοχή μελέτης, καθώς και παροχής σε διάφορες θέσεις του υδρογραφικού δικτύου, που χρησιμοποιήθηκαν ως εισοδοί του σεναρίου βαθμονόμησης του μοντέλου ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ·
- την κατάρτιση ιστορικών χρονοσειρών βροχόπτωσης, εξάτμισης και απορροής των ταμειυτήρων Πλαστήρα και Σμοκόβου, που μαζί με τις προηγούμενες χρονοσειρές επιφανειακής βροχόπτωσης των υπολεκάνων, χρησιμοποιήθηκαν ως εισοδοί του μοντέλου ΚΑΣΤΑΛΙΑ, για την παραγωγή αντίστοιχων συνθετικών χρονοσειρών, που με τη σειρά τους χρησιμοποιήθηκαν ως εισοδοί του διαχειριστικών σεναρίων του μοντέλου ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ.

### 3.2 Γεωγραφικά δεδομένα

Τα πρωτογενή γεωγραφικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι το ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων της περιοχής (Σχήμα 2.1) και δύο επίπεδα κατανομημένης πληροφορίας, που χρησιμοποιήθηκαν για τον καθορισμό των μονάδων υδρολογικής απόκρισης του μοντέλου ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ.

Το πρώτο επίπεδο αναφέρεται σε τρεις κατηγορίες περατότητας πετρωμάτων, οι οποίες προέκυψαν από τη συμπύκνωση εννέα ευρύτερων ομάδων, όπως έχουν τυποποιηθεί από το ΙΓΜΕ. Συγκεκριμένα:



- *ημιπερατά* πετρώματα, στα οποία εντάσσονται οι κοκκώδεις προσχωματικές, μη προσχωματικές και μολασικές αποθέσεις·
- *περατά* πετρώματα, στα οποία εντάσσονται οι ασβεστόλιθοι και τα μάρμαρα μέτριας έως υψηλής, καθώς και κυμαινόμενης περατότητας, και οι τριαδικοί λατυποπαγείς ασβεστόλιθοι·
- *αδιαπέρατα* πετρώματα, στα οποία εντάσσονται ο φλύσχης και τα μεταμορφωμένα, ηφαιστειακά και πλουτώνια πετρώματα.

Το δεύτερο επίπεδο αναφέρεται στις χρήσεις γης, ο καθορισμός των οποίων στηρίχθηκε σε εργασία της υπηρεσίας του εθνικού κτηματολογίου του ΥΠΕΧΩΔΕ (1993). Με βάση τη συγκεκριμένη χαρτογράφηση, δημιουργήθηκαν τρεις κατηγορίες:

- *αρδευόμενες περιοχές*, που περιλαμβάνει περιοχές μόνιμων αρδευόμενων εκτάσεων, λιβάδια και αγροτικές δασικές περιοχές·
- *περιοχές χαμηλής βλάστησης*, όπου αναπτύσσονται φυσικοί βοσκότοποι, εκτάσεις με αραιή και σκληροφυλλική βλάστηση, θάμνοι και χερσότοποι·
- *δασικές περιοχές*, όπου αναπτύσσονται δάση πλατύφυλλων, κωνοφόρων και μικτά.

Στα πρωτογενή γεωγραφικά δεδομένα περιλαμβάνονται, ακόμη, οι θέσεις των σταθμών μέτρησης της περιοχής μελέτης (βροχομετρικοί, υδρομετρικοί, μετεωρολογικοί).

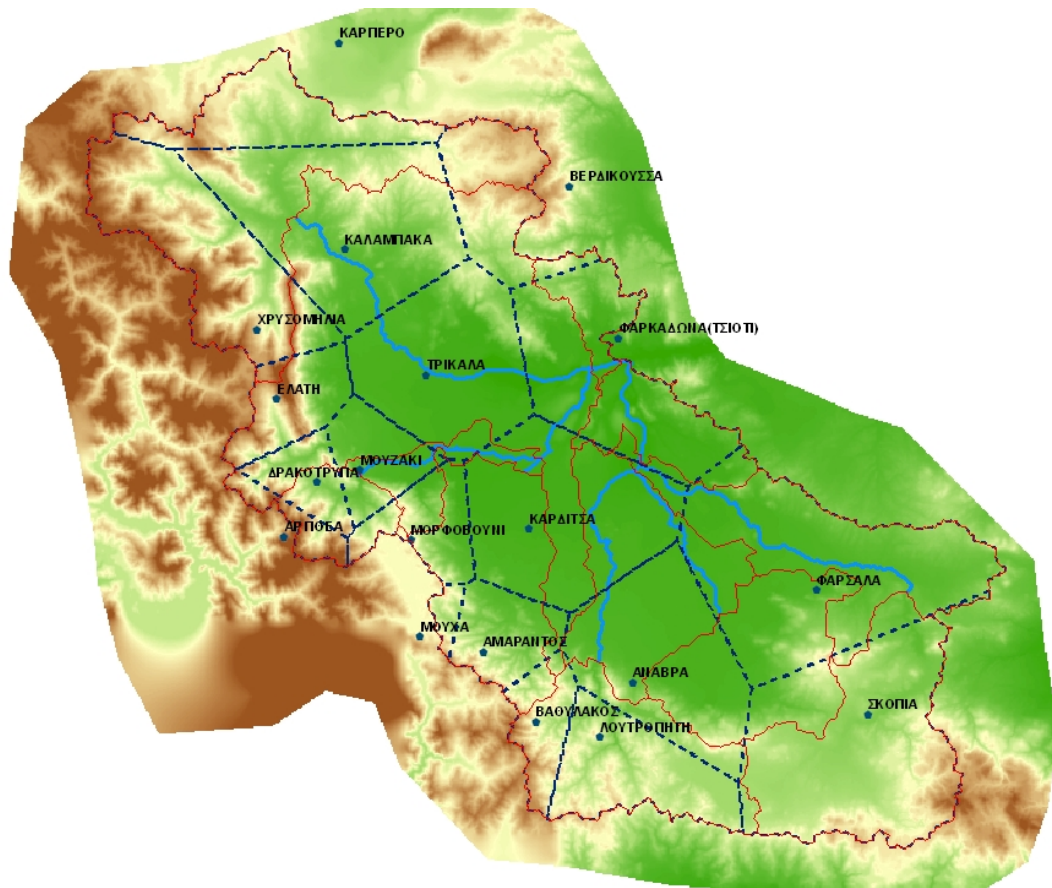
### **3.3 Βροχομετρικά δεδομένα**

#### **3.3.1 Βροχομετρικοί σταθμοί**

Στην περιοχή μελέτης υπάρχουν πολλοί βροχομετρικοί σταθμοί, εγκατεστημένοι κατά κύριο λόγο στις παρυφές των νομών Καρδίτσας και Τρικάλων. Για τη συγκεκριμένη μελέτη αξιοποιήθηκαν τα μηνιαία δεδομένα 19 βροχομετρικών σταθμών, που καλύπτουν ικανοποιητικά την περιοχή. Τα δεδομένα που προέρχονται από την υδρολογική διερεύνηση των Κουτσόγιαννη κ.ά. (2001). Οι θέσεις των σταθμών φαίνονται στο Σχήμα 3.1, ενώ χαρακτηριστικές πληροφορίες τους δίνονται στον Πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1: Χαρακτηριστικά βροχομετρικών σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη.

Σταθμός	Υπηρεσία	Δείγμα	Υψόμετρο (m)	Μέση ετήσια τιμή (mm)
Κάρδιτσα	ΥΠΕΧΩΔΕ	1960-93	103	603.9
Ανάβρα	ΥΠΕΧΩΔΕ	1960-93	208	715.4
Λουτροπηγή	ΥΠΕΧΩΔΕ	1960-93	730	893.0
Μούχα	ΔΕΗ	1960-93	870	1296.0
Καροπλέσι	ΔΕΗ	1960-93	910	1513.0
Βαθύλακος	ΔΕΗ	1960-93	800	1057.5
Αμάραντος	ΥΠΓΕ	1960-93	800	1118.1
Δρακότρυπα	ΔΕΗ	1960-93	680	1331.1
Αργιθέα	ΔΕΗ	1960-93	980	1612.7
Ταυρωπός	ΔΕΗ	1960-93	220	1103.5
Μορφοβούνι	ΥΠΓΕ	1960-93	780	888.6
Μουζάκι	ΥΠΕΧΩΔΕ	1960-93	226	1067.2
Τρίκαλα	ΕΜΥ	1960-93	149	693.7
Καλαμπάκα	ΕΜΥ	1960-93	222	738.1
Φαρκαδώνα	ΥΠΕΧΩΔΕ	1960-93	87	553.5
Σκοπιά	ΥΠΓΕ	1960-93	450	536.9
Φάρσαλα	ΥΠΕΧΩΔΕ	1960-93	250	621.7
Ελάτη	ΥΠΕΧΩΔΕ	1960-93	900	1638.2
Χρυσομηλιά	ΥΠΕΧΩΔΕ	1960-93	940	1124.0
Βερδικούσα	ΥΠΕΧΩΔΕ	1960-93	863	811.1
Δεσκάτη	ΔΕΗ	1960-93	830	672.6



Σχήμα 3.1: Βροχομετρικοί σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη και πολύγωνα Thiessen, για την επιφανειακή αναγωγή των αντίστοιχων δειγμάτων στις υπολεκάνες του υδροσυστήματος.

### 3.3.2 Διερεύνηση της σχέσης βροχόπτωσης-υψομέτρου

Για τη διερεύνηση της σχέσης μεταβολής του ύψους βροχής συναρτήσει του υψομέτρου ελήφθησαν υπόψη τα μηνιαία στοιχεία των βροχομετρικών σταθμών, με αρχή το έτος 1972-73. Από τη συσχέτιση των δύο μεγεθών προκύπτει συντελεστής γραμμικής συσχέτισης  $r^2 = 0.57$ , τιμή που χαρακτηρίζεται σχετικά χαμηλή, πλην όμως αποδεκτή. Υιοθετώντας την εν λόγω σχέση γραμμικής παλινδρόμησης προκύπτει ότι η ετήσια βροχοβαθμίδα της λεκάνης απορροής, δηλαδή η αύξηση του ετήσιου ύψους βροχόπτωσης ανά μέτρο αύξησης του υψομέτρου, είναι ίση με  $\beta = 0.787 \text{ mm/m}$ .

### 3.3.3 Εκτίμηση επιφανειακής βροχόπτωσης υπολεκανών υδροσυστήματος

Τα μηνιαία δείγματα των βροχομετρικών σταθμών του Πίνακα 3.1 ολοκληρώθηκαν στην επιφάνεια των 12 υπολεκανών στις οποίες χωρίστηκε το υδροσύστημα (βλ. 5.2.2). Η επιφανειακή ολοκλήρωση έγινε με τη μέθοδο Thiessen, χρησιμοποιώντας τα ενσωματωμένα εργαλεία του ΣΓΠ. Ακολούθησε η υψομετρική αναγωγή των χρονοσειρών, θεωρώντας κοινή βροχοβαθμίδα για όλη την περιοχή μελέτης, όπως υπολογίστηκε στο εδάφιο 3.3.2 ( $\beta = 0.787 \text{ mm/m}$ ). Στον Πίνακα 3.2 δίνονται τα χαρακτηριστικά μεγέθη των λεκανών απορροής που χρησιμοποιούνται

για την υψομετρική αναγωγή των βροχοπτώσεων. Οι θέσεις των σταθμών, τα όρια των υπολεκανών και τα πολύγωνα Thiessen απεικονίζονται στο Σχήμα 3.1.

Πίνακας 3.2: Χαρακτηριστικά μεγέθη λεκανών απορροής που χρησιμοποιούνται για την υψομετρική αναγωγή των βροχοπτώσεων.

Υπολεκάνη	Μέσο υψόμετρο λεκάνης (m)	Μέσο υψόμετρο σταθμών (m)	Μέση ετήσια βροχόπτωση (mm)	Συντελεστής αναγωγής
Σοφαδίτη (ανάντη υδρομετρικού σταθμού Κέδρου)	643.9	644.9	895.2	1.00
Ενιπέα (ανάντη υδρομετρικού σταθμού Αμπελιάς)	580.3	440.8	573.6	1.19
Πηνειού (μεταξύ συμβολής με Πάμισο και Αλή Εφέντη)	317.6	203.1	574.3	1.16
Καλέτζη (ανάντη συμβολής με Πάμισο)	224.2	368.6	850.6	0.87
Καλέτζη (ανάντη λεκάνη)	319.7	530.4	893.8	0.81
Παμίσου (ανάντη υδρομετρικού σταθμού Μουζακίου)	796.6	688.9	1225.6	1.07
Φαρσαλιώτη (ανάντη λεκάνη)	274.5	278.2	645.7	1.00
Φαρσαλιώτη (ανάντη συμβολής με Σοφαδίτη)	129.6	177.6	659.9	0.94
Ενιπέα (μεταξύ Αμπελιάς και συμβολής με Φαρσαλιώτη)	212.5	242.1	600.3	0.96
Πηνειού (ανάντη υδρομετρικού σταθμού Σαρακήνας)	858.0	660.0	888.9	1,18
Πηνειού (μεταξύ Σαρακήνας και συμβολής με Πάμισο)	355.3	331.7	829.1	1.02
Ενιπέα (μεταξύ συμβολής με Φαρσαλιώτη και Πηνειό)	129.7	107.8	550.9	1.03

### 3.3.4 Εκτίμηση επιφανειακής βροχόπτωσης ταμιευτήρα Πλαστήρα

Το δείγμα επιφανειακής βροχόπτωσης στον ταμιευτήρα Πλαστήρα προέρχεται από την ανάλυση των Ευστρατιάδη κ.ά. (2002). Η εκτίμησή του βασίστηκε στο μηνιαίο δείγμα του βροχομετρικού σταθμού Μούχας, που βρίσκεται στο νότιο άκρο της λίμνης (κοντά στη θέση του φράγματος) και σε υψόμετρο 870 m. Το δείγμα μπορεί να θεωρηθεί αρκετά αντιπροσωπευτικό της επιφανειακής βροχόπτωσης στη λίμνη, τόσο λόγω γειτνίασης του σταθμού με τον ταμιευτήρα όσο και λόγω υψόμετρου, δεδομένου ότι η στάθμη του ταμιευτήρα κυμαίνεται μεταξύ +776 και +792 m.

Το πρωτογενές δείγμα βροχόπτωσης στο σταθμό Μούχας καλύπτει μια περίοδο 26 υδρολογικών ετών (1965-1992), με κενά. Για τη συμπλήρωση των κενών και την επέκταση του δείγματος εφαρμόστηκε η μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης, με τα σχετικά εργαλεία του λογισμικού

ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ. Ως χρονοσειρά βάσης χρησιμοποιήθηκε το δείγμα βροχόπτωσης στον ΥΗΣ Πλαστήρα, που καλύπτει τα υδρολογικά έτη 1960-61 έως 1992-93, χωρίς κενά, ενώ για τα επόμενη έτη, ελλείπει άλλων βροχομετρικών δεδομένων, χρησιμοποιήθηκε ως χρονοσειρά βάσης το δείγμα εισροών στον ταμιευτήρα. Τα κύρια στατιστικά χαρακτηριστικά του μεγιστοποιημένου δείγματος φαίνονται στον Πίνακα 3.3.

Πίνακας 3.3: Στατιστικά χαρακτηριστικά μεγιστοποιημένου δείγματος βροχόπτωσης σταθμού Μούχας (mm), που θεωρείται αντιπροσωπευτικό της βροχόπτωσης στον ταμιευτήρα Πλαστήρα.

	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.	Έτος
Μέση τιμή	141.7	178.2	213.0	174.6	142.7	151.1	119.3	70.5	39.8	19.2	30.2	48.2	1334.4
Τυπ. απόκ.	94.8	41.7	76.5	99.1	50.3	90.0	48.5	37.1	36.4	17.8	26.3	38.3	246.4

### 3.4 Υδρομετρικά δεδομένα

#### 3.4.1 Χρονοσειρές παροχής υδατορευμάτων

Επειδή ένα σημαντικό μέρος των αρδευτικών αναγκών καλύπτονται από απευθείας απολήψεις από επιφανειακά νερά, η ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων της περιοχής μελέτης προϋποθέτει μια έστω και αδρομερή γνώση της χωρικής κατανομής του επιφανειακού υδατικού δυναμικού. Με βάση τη σχηματοποίηση του υδροσυστήματος, όπως αποτυπώνεται στο μοντέλο του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ, απαιτείται η γνώση των υδρολογικών εισροών σε όλους τους κόμβους του υδρογραφικού δικτύου. Ωστόσο, η διαθέσιμη υδρομετρική πληροφορία δεν επαρκεί για κάτι τέτοιο, που σημαίνει ότι δεν υπάρχουν ιστορικά δεδομένα απορροής που αν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή συνθετικών χρονοσειρών εισροής στους αντίστοιχους κόμβους. Για το λόγο αυτό, υιοθετείται η συνδυαστική χρήση του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ με το λογισμικό υδρολογικής προσομοίωσης ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ, το οποίο εκτιμά τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους σε πολλαπλά σημεία ενδιαφέροντος μιας λεκάνης, για δεδομένες τιμές των παραμέτρων του μοντέλου επιφανειακής και υπόγειας υδρολογίας που ενσωματώνει. Η εκτίμηση των παραμέτρων (βαθμονόμηση) του μοντέλου βασίζεται σε μετρήσεις παροχής υδατορευμάτων καθώς και σε παρατηρημένες στάθμες του υδροφορέα.

Στα πλαίσια αυτά, αξιοποιήθηκαν τα διαθέσιμα υδρομετρικά δεδομένα της περιοχής μελέτης. Γενικά, στη Δυτική Θεσσαλία έχουν λειτουργήσει αρκετοί υδρομετρικοί σταθμοί σε θέσεις θεμελίωσης φραγμάτων, σε θέσεις του Πηνειού ποταμού καθώς και σε ορισμένους παραποτάμους του. Βεβαίως, πολλοί από αυτούς θεωρούνται πολύ χαμηλής αξιοπιστίας (Κουτσογιάννης κ.ά., 1988). Μετά από διερεύνηση, τα υδρομετρικά δείγματα που επιλέχθηκαν να χρησιμοποιηθούν για τη βαθμονόμηση του μοντέλου ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ είναι του Αλή Εφέντη και της Σαρακήνας στον Πηνειό, του Μουζακίου στον Πάμισο, του Κέδρου στο Σοφαδίτη και της Αμπελιάς στον Ενιπέα (Πίνακας 3.4). Ο σημαντικότερος είναι του Αλή Εφέντη, που βρίσκεται στα σύνορα των νομών Καρδίτσας και Λάρισας, στη συμβολή του Πηνειού με τον Ενιπέα, ελέγχοντας έτσι το μεγαλύτερο ποσοστό της απορροής της περιοχής μελέτης.

Πίνακας 3.4: Υδρομετρικοί σταθμοί περιοχής Δυτικής Θεσσαλίας, τα δεδομένα των οποίων χρησιμοποιήθηκαν για τη βαθμονόμηση του μοντέλου ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ.

Σταθμός	Υδατόρευμα	Υπηρεσία	Περίοδος μετρήσεων	Μέση παροχή (m <sup>3</sup> /s)
---------	------------	----------	--------------------	---------------------------------

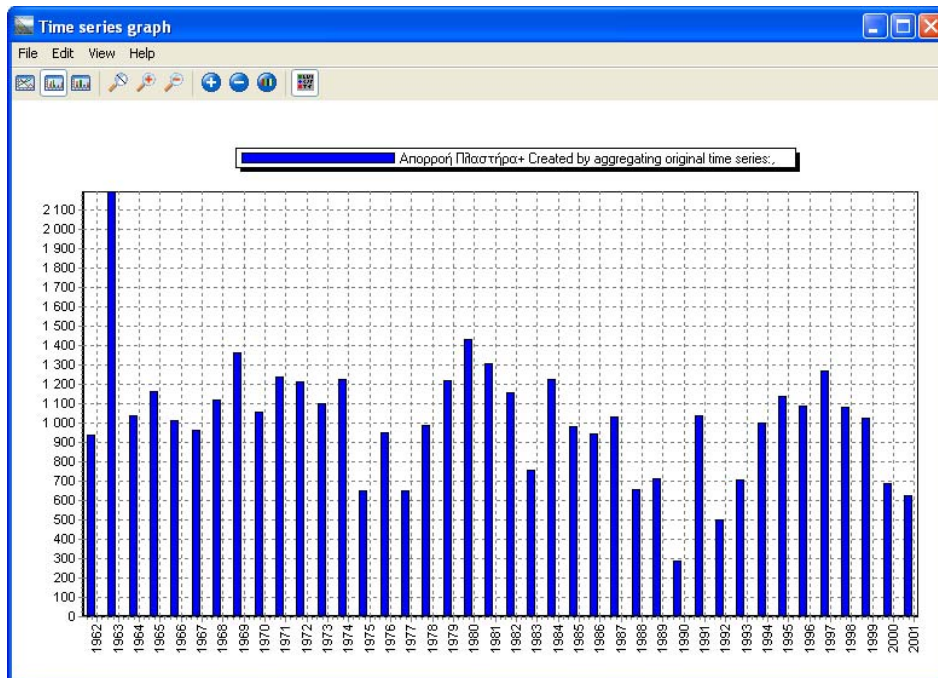
Μουζάκι	Πάμισος	ΥΠΕΧΩΔΕ	10/1985-9/1993	2.76
Αλή Εφέντη	Πηνειός	ΥΠΕΧΩΔΕ	10/1972-9/1993	35.82
Αμπελιά	Ενιπέας	ΥΠΕΧΩΔΕ	3/1974-5/1993	2.23
Κέδρος	Σοφαδίτης	ΥΠΕΧΩΔΕ	10/1972-9/1982	4.85
Σαρακήνα	Πηνειός	ΥΠΕΧΩΔΕ	10/1972-2/1985	11.36

### 3.4.2 Απορροή ταμιευτήρα Πλαστήρα

Οι μικτές εισροές στον ταμιευτήρα Πλαστήρα υπολογίστηκαν από τους Ευστρατιάδη κ.ά. (2002), με βάση το μηνιαίο υδατικό ισοζύγιο της λίμνης. Για σκοπό αυτό, συλλέχθηκαν από τη Διεύθυνση Εκμετάλλευσης της ΔΕΗ οι χρονοσειρές στάθμης την πρώτη κάθε μήνα καθώς και οι μηνιαίες απολήψεις. Στη συνέχεια, εκτιμήθηκε η απορροή της υπολεκάνης ανάντη του ταμιευτήρα, αφαιρώντας από τη μικτή εισροή την επιφανειακή βροχόπτωση στον ταμιευτήρα και προσθέτοντας τις απώλειες λόγω εξάτμισης. Τα στατιστικά χαρακτηριστικά του τελικού δείγματος απορροής, το οποίο καλύπτει την περίοδο 1960-2001 φαίνονται στον Πίνακα 3.5, ενώ η πλήρης χρονοσειρά, σε ετήσια βάση, απεικονίζεται στο Σχήμα 3.2. Το εν λόγω δείγμα χρησιμοποιήθηκε για τη γέννηση συνθετικών τιμών απορροής, όπως εξηγείται στο εδάφιο 5.4.3.

Πίνακας 3.5: Στατιστικά χαρακτηριστικά τελικού δείγματος όγκων απορροής υπολεκάνης Ταυρωπού ανάντη φράγματος Πλαστήρα (hm<sup>3</sup>).

	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.	Έτος
Μέση τιμή	6.1	12.0	24.0	18.6	20.3	22.7	19.6	11.9	4.1	2.7	1.9	1.5	146.6
Τυπ. απόκ.	6.4	9.4	12.4	11.5	12.1	9.8	9.1	6.3	2.3	1.3	1.9	1.4	43.8

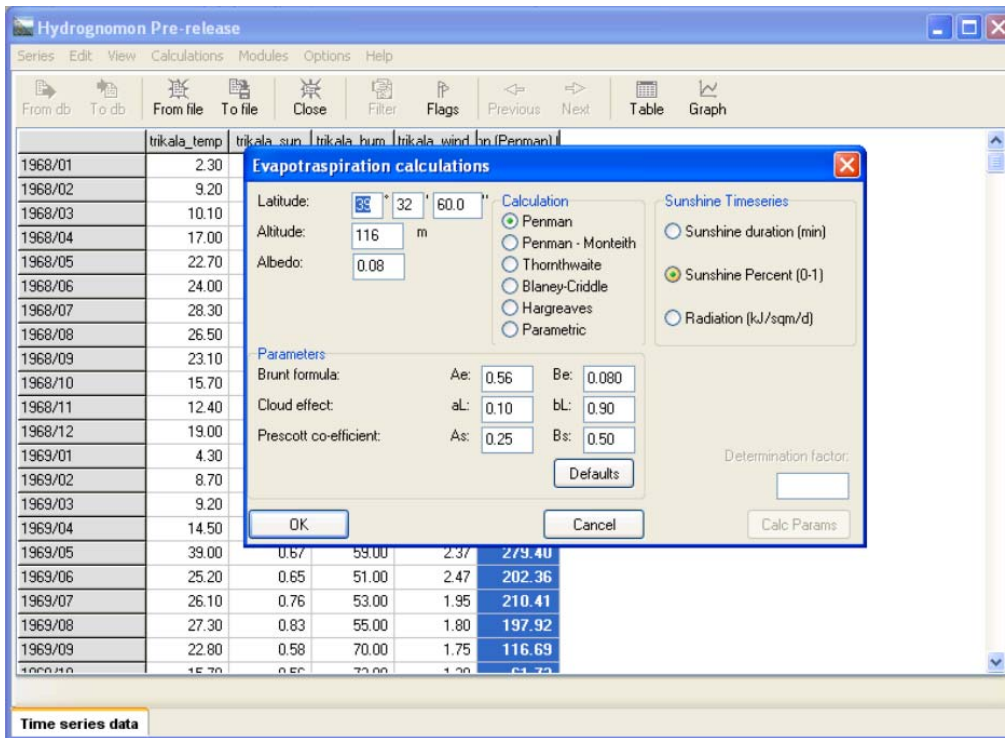


Σχήμα 3.2: Ετήσια χρονοσειρά ύψους απορροής ταμιευτήρα Πλαστήρα (σε mm), με χρήση των γραφικών εργαλείων του λογισμικού ΥΔΡΟΓΝΩΜΟΝ.

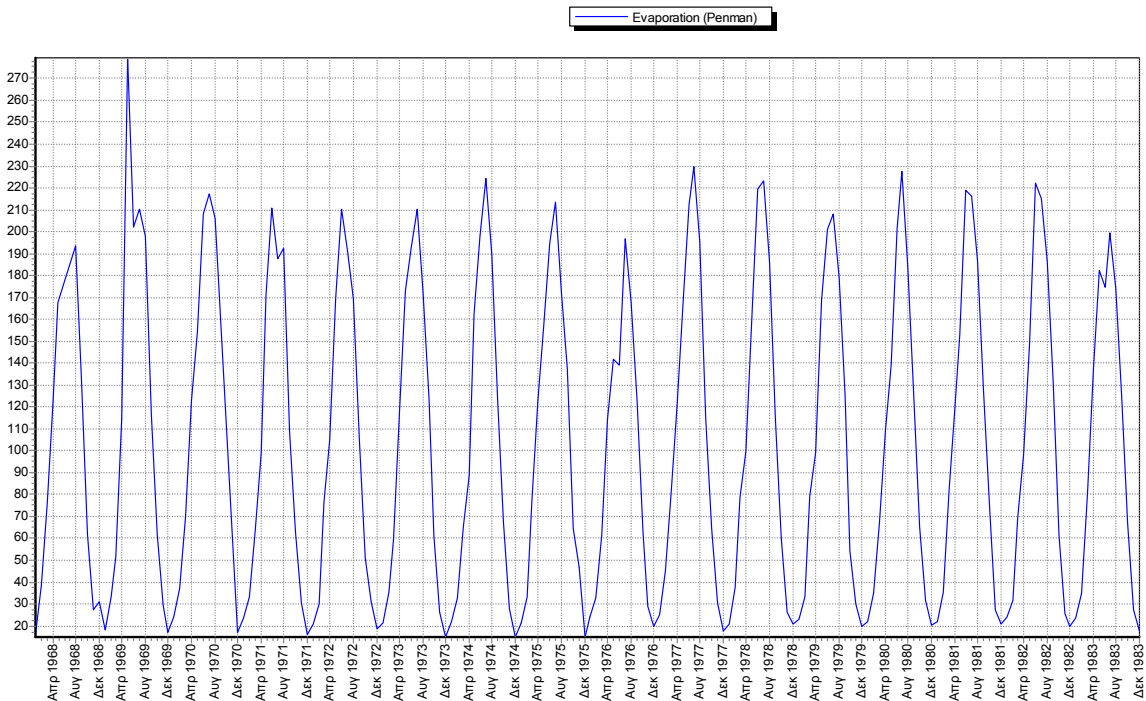
### 3.5 Μετεωρολογικά δεδομένα και υπολογισμός εξάτμισης

#### 3.5.1 Εκτίμηση εξάτμισης ταμιευτήρων

Για την εκτίμηση των υδρολογικών απωλειών των ταμιευτήρων Πλαστήρα και Σμοκόβου λόγω εξάτμισης εφαρμόστηκε η μέθοδος Penman, με βάση τα μέσα μηνιαία μετεωρολογικά δεδομένα του σταθμού Τρικάλων. Τα εν λόγω δεδομένα, που φαίνονται στον Πίνακα 4.1, είναι η μέση, μέγιστη και ελάχιστη μηνιαίας θερμοκρασία, η μέση μηνιαία σχετική υγρασία, η μέση μηνιαία σχετική ηλιοφάνεια και η μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου. Για το σκοπό αυτό αξιοποιήθηκαν τα σχετικά εργαλεία του λογισμικού ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ, όπως φαίνεται στα Σχήματα 3.3 και 3.4. Οι μηνιαίες τιμές εξάτμισης των ταμιευτήρων, που αποτελούν δεδομένο εισόδου του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ, θεωρήθηκαν σταθερές για όλη την περίοδο ελέγχου του μοντέλου.



Σχήμα 3.3: Υπολογισμός εξάτμισης από υδάτινη επιφάνεια, με χρήση των γραφικών εργαλείων του λογισμικού ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ.



Σχήμα 3.4: Μηνιαία χρονοσειρά εξάτμισης ταμειυτήρων Πλαστήρα και Σμοκόβου, όπως απεικονίζεται στο γραφικό περιβάλλον του λογισμικού ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ.



### 3.5.2 Δυνητική εξατμοδιαπνοή υπολεκανών

Η δυνητική εξατμοδιαπνοή, που θεωρήθηκε κοινή για όλες τις υπολεκάνες του υδροσυστήματος, εκτιμήθηκε με τη μέθοδο Penman-Monteith, με βάση τα μέσα μηνιαία μετεωρολογικά δεδομένα του σταθμού Τρικάλων. Στον Πίνακα 3.6 δίνονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου, σε μέση μηνιαία κλίμακα.

Πίνακας 3.6: Μηνιαία ύψη δυνητικής εξατμοδιαπνοής (mm).

Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αυγ.	Σεπ.	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.
23.8	33.4	52.2	95.5	135.0	178.0	182.2	155.5	111.6	57.4	27.6	20.3

### 3.6 Υδρογεωλογικά δεδομένα

Τα υδρογεωλογικά δεδομένα αναφέρονται σε πιεζομετρικές παρατηρήσεις, που ελήφθησαν από μελέτη της Γαλλικής εταιρίας SOGREAH, που εκπονήθηκε τη περίοδο 1971-1978. Στα πλαίσια της παραπάνω μελέτης, εγκαταστάθηκαν 40 γεωτρήσεις παρατηρήσεις της στάθμης και καταγράφηκαν οι μέσες μηνιαίες τιμές τους. Για τη βαθμονόμηση του μοντέλου ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ, χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία 11 γεωτρήσεων, που φαίνονται στον Πίνακα 3.7.

Πίνακας 3.7: Θέσεις παρατήρησης στάθμης υδροφορέα που χρησιμοποιήθηκαν στη βαθμονόμηση.

Όνομασία	Θέση γεώτρησης	Κύτταρο	Περίοδος μετρήσεων	Μέση στάθμη (m)
G406	Παλιοκλήσι Καρδίτσας	16	10/1972-5/1978	98.8
D1	Μεγάρχη Τρικάλων	6	10/1972-3/1985	134.4
D22	Φήκη Τρικάλων	0	10/1972-1/1983	128.8
G402	Ζηλευτή Τρικάλων	13	10/1972-2/1984	93.9
G403	Αγναντερό Καρδίτσας	22	10/1972-2/1984	95.6
D41	Νέο Μοναστήρι Φθιώτιδας	28	10/1972-3/1984	114.7
D34	Γεφύρια Καρδίτσας	32	10/1972-1/1984	103.7
D30	Καλλίθηρο Καρδίτσας	18	10/1972-4/1978	134.6
PZ4	Κυνέλη Σοφάδων	21	5/1973-2/1984	96.7
G501	Πατούλια Τρικάλων	40	10/1972-2/1977	94.1
G506	Βλοχός Καρδίτσας	41	10/1972-1/1984	85.1

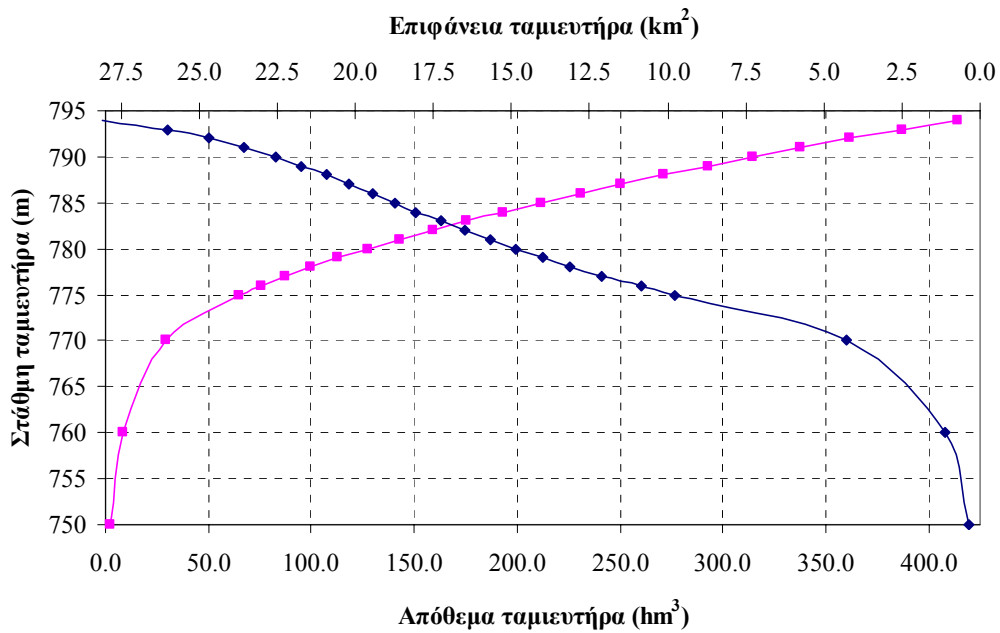
### 3.7 Δεδομένα τεχνικών έργων

#### 3.7.1 Ταμειυτήρες

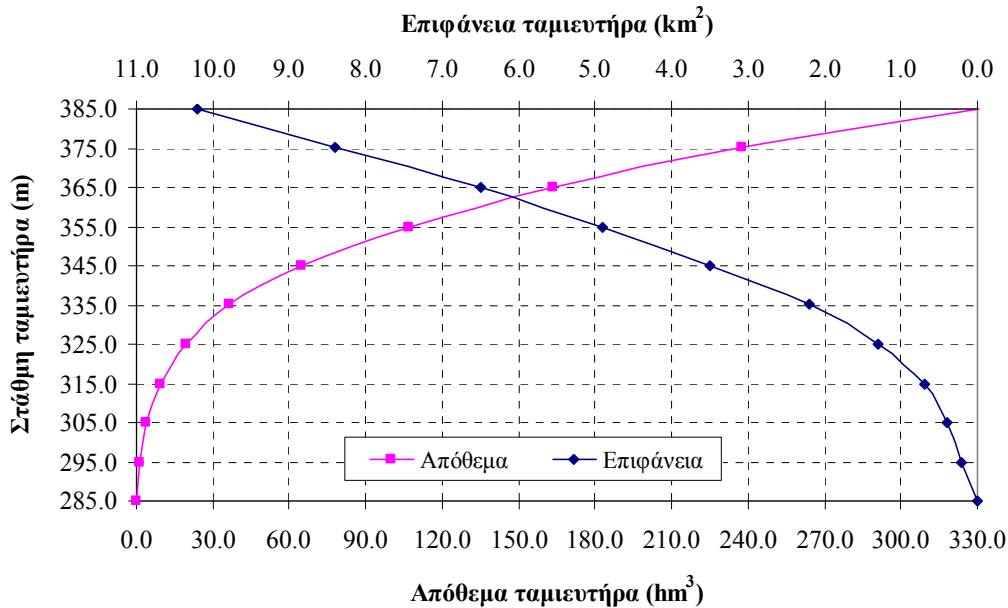
Οι δύο ταμειυτήρες της περιοχής μελέτης (Πλαστήρας, Σμόκοβο) αποτελούν τα κυριότερα έργα υποδομής, η ορθολογική λειτουργία των οποίων έχει καθοριστική σημασία στη βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων. Η αναπαράσταση της λειτουργίας του γίνεται με το λογισμικό ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ, που απαιτεί ως είσοδο τα χαρακτηριστικά μεγέθη του Πίνακα 2.5, καθώς και

τις σχέσεις στάθμης-αποθέματος και στάθμης-επιφάνειας. Οι σχετικές καμπύλες για τους δύο ταμιευτήρες ελήφθησαν από τους Ευστρατιάδη κ.ά. (2002) και Κουκουβίνο κ.ά. (2006), και απεικονίζονται στα Σχήματα 3.5 και 3.6, αντίστοιχα.

Και στις δύο περιπτώσεις, η εκτίμηση του αποθέματος έγινε θεωρώντας τη γνωστή σημειοσειρά στάθμης-επιφάνειας, όπως προκύπτει με εμβαδομέτρηση των επιφανειών πάνω σε τοπογραφικό χάρτη (ειδικά για τον ταμιευτήρα Πλαστήρα, χρησιμοποιήθηκε ψηφιακός χάρτης), και υιοθετώντας μια σχέση δύναμης για τη χωρική ολοκλήρωση των αποτελεσμάτων.



Σχήμα 3.5: Καμπύλες στάθμης-αποθέματος και στάθμης-επιφάνειας ταμιευτήρα Πλαστήρα.



Σχήμα 3.6: Καμπύλες στάθμης-αποθέματος και στάθμης-επιφάνειας ταμιευτήρα Σμοκόβου.

### 3.7.2 Αρδευτικό δίκτυο - Γεωτρήσεις

Στην περιοχή μελέτης αναπτύσσεται ένα εκτεταμένο δίκτυο αρδευτικών και αποστραγγιστικών καναλιών, η λεπτομερής αποτύπωση του οποίου ξεφεύγει από τους σκοπούς της μελέτης. Όσον αφορά στις γεωτρήσεις, μόνο στο Νομό Καρδίτσας λειτουργούν περίπου 150 κρατικές, οι οποίες ανήκουν σε Τοπικούς Οργανισμούς Εγγείων Βελτιώσεων (ΤΟΕΒ), ενώ ο αριθμός των ιδιωτικών εκτιμάται στις 7000. Είναι προφανές ότι η αναζήτηση αναλυτικών στοιχείων θα ήταν μια εξαιρετικά χρονοβόρα διαδικασία, με αμφίβολη χρησιμότητα όσον αφορά στην αξιοποίησή τους στο μοντέλο. Συνεπώς, επιλέχθηκε μια διαφορετική προσέγγιση, που βασίζεται στην ομαδοποίηση των υδατικών αναγκών, με βάση τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις ανά κοινότητα του Νομού και τις πηγές υδροδότησης των αντίστοιχων εκτάσεων.

Τα πρωτογενή δεδομένα ελήφθησαν από το αρχείο καλλιεργειών του Υπουργείου Γεωργίας (Τμήμα Υδρογεωλογίας και Μαθηματικών Ομοιωμάτων) της Δυτικής Θεσσαλίας, και αναφέρονται στα είδη καλλιεργειών και τις εκτάσεις, ανά κοινότητα, των Νομών Καρδίτσας και Τρικάλων. Στη συνέχεια, οι καλλιεργούμενες εκτάσεις συναθροίστηκαν στους αρδευτικούς κόμβους, που προέκυψαν από την ομαδοποίηση των κοινοτήτων, με βάση τη σχηματοποίηση που περιγράφεται στο εδάφιο 5.2.5. Για κάθε είδος καλλιέργειας και για κάθε κόμβο, εκτιμήθηκαν οι θεωρητικές ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό για τα έτη 1972, 1982 και 1993, με χρήση του λογισμικού ΔΙΨΟΣ, όπως περιγράφεται στο Κεφάλαιο 4.

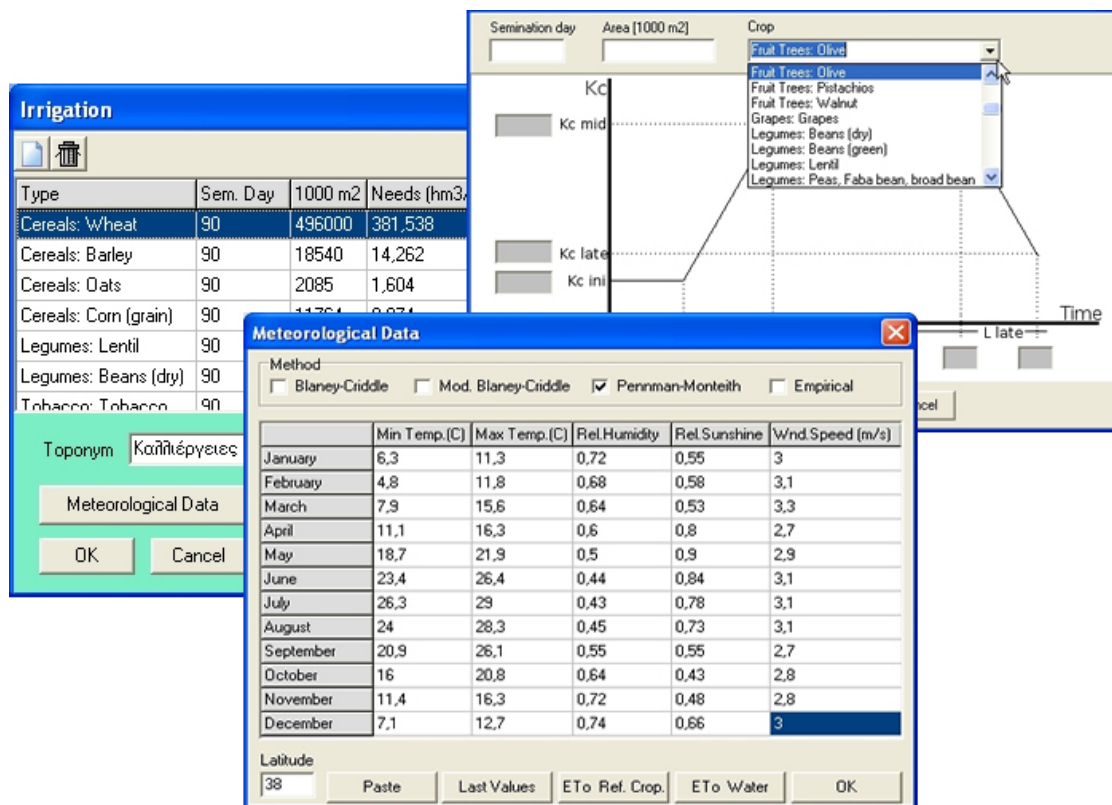
## 4 Εκτίμηση υδατικών αναγκών – Εφαρμογή λογισμικού ΔΙΨΟΣ

---

### 4.1 Σκοπός και μεθοδολογία

Οι υδατικές ανάγκες (αρδευτικές και υδρευτικές) της περιοχής μελέτης, επιμερισμένες στους κόμβους ζήτησης του υδροσυστήματος, αποτελούν είσοδο του μοντέλου διαχείρισης υδατικών πόρων ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ, καθώς και του μοντέλου γεω-υδρολογικής προσομοίωσης ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ. Για την εκτίμησή τους χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ΔΙΨΟΣ (Ρόζος, 2005), χαρακτηριστικές φόρμες του οποίου φαίνονται στο Σχήμα 4.1.

Το ΔΙΨΟΣ υπολογίζει τις υδατικές ανάγκες για διάφορες καταναλωτικές χρήσεις νερού (ύδρευση, κτηνοτροφία, βιομηχανία, άρδευση). Ειδικότερα, οι ανάγκες για ύδρευση καθώς και οι κτηνοτροφικές και βιομηχανικές ανάγκες εκτιμώνται βάσει συντελεστών που έχουν προκύψει από την βιβλιογραφία. Από την άλλη πλευρά, οι αρδευτικές ανάγκες προκύπτουν από την δυνητική εξατμοδιαπνοή και τον φυτικό συντελεστή της κάθε καλλιέργειας. Η δυνητική εξατμοδιαπνοή μπορεί να υπολογιστεί από τέσσερις εναλλακτικές μεθόδους ανάλογα με τα διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα ενώ οι φυτικοί συντελεστές έχουν ληφθεί από την βιβλιογραφία. Οι αρδευόμενες εκτάσεις, καθώς και τα είδη των καλλιεργειών, υπολογίζονται με χρήση συστήματος γεωγραφικής πληροφορίας.



Σχήμα 4.1: Χαρακτηριστικές φόρμες από το περιβάλλον του λογισμικού ΔΙΨΟΣ.

Για τις ανάγκες της μελέτης, όπου η κύρια χρήση των υδατικών πόρων είναι η γεωργική, η εφαρμογή του μοντέλου ΔΙΨΟΣ έγινε αποκλειστικά για την εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών. Αρχικά, υπολογίστηκαν οι θεωρητικές ανάγκες σε νερό των τυπικών ειδών που καλλιεργούνται στην περιοχή μελέτης. Οι εν λόγω ανάγκες εκτιμώνται από τη σχέση:

$$E_c = k_c E_{TC} \quad (4.1)$$

όπου  $E_c$  η δυνητική εξατμοδιαπνοή της συγκεκριμένης καλλιέργειας,  $E_{TC}$  η δυνητική εξατμοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς και  $k_c$  εμπειρικός συντελεστής, γνωστός ως φυτικός συντελεστής. Όπως εξηγείται στο εδάφιο 4.2.1, η δυνητική εξατμοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς υπολογίστηκε με βάση τα μετεωρολογικά δεδομένα του σταθμού Τρικάλων, ενώ ο φυτικός συντελεστής εκτιμήθηκε ανά τύπο καλλιέργειας, με βάση τις παραδοχές του εδαφίου 4.2.2. Στη συνέχεια, με βάση τις εκτάσεις κάθε καλλιέργειας, οι επιμέρους ανάγκες συναθροίστηκαν στις επιφάνειες κάθε αρδευτικού κόμβου, όπως εξηγείται στην ενότητα 0.

## 4.2 Θεωρητικές ανάγκες καλλιέργειών περιοχής μελέτης

### 4.2.1 Δυνητική εξατμοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς

Η δυνητική εξατμοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς εκτιμήθηκε με τη μέθοδο Penman-Monteith, χρησιμοποιώντας μέσες μηνιαίες τιμές ελάχιστης και μέγιστης θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, σχετικής ηλιοφάνειας και ταχύτητας ανέμου.

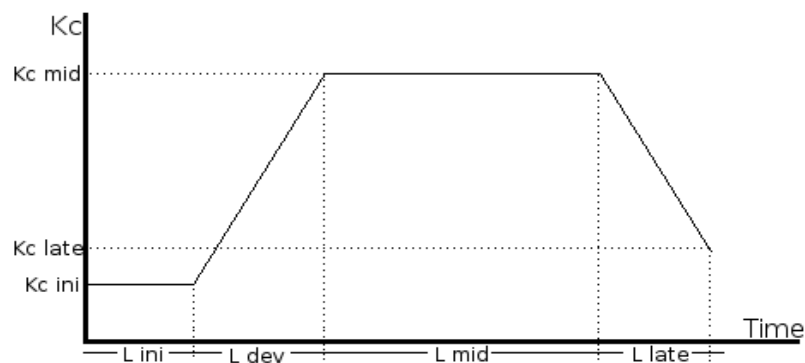
Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν τα μέσα μετεωρολογικά στοιχεία του σταθμού Τρικάλων για την περίοδο μελέτης (Πίνακας 4.1). Τα στοιχεία αυτά είναι τα αντιπροσωπευτικότερα για την περιοχή, στην οποία δεν λειτουργούν αρκετοί μετεωρολογικοί σταθμοί.

Πίνακας 4.1: Μέσα μηνιαία κλιματικά δεδομένα σταθμού Τρικάλων.

Μήνας	Μέση ελάχιστη θερμοκρασία (°C)	Μέση μέγιστη θερμοκρασία (°C)	Σχετική υγρασία (%)	Κλάσμα ηλιοφάνειας	Ταχύτητα ανέμου (m/s)
Ιανουάριος	1.5	10.0	75.5	0.6	1.4
Φεβρουάριος	2.8	11.8	72.7	0.5	1.5
Μάρτιος	5.2	15.4	66.8	0.6	1.8
Απρίλιος	8.5	20.0	59.3	0.6	2.1
Μάιος	13.3	25.8	55.6	0.6	2.1
Ιούνιος	17.2	31.1	46.9	0.7	2.1
Ιούλιος	18.9	32.8	47.6	0.8	1.7
Αύγουστος	18.3	31.9	51.8	0.8	1.6
Σεπτέμβριος	15.2	28.8	55.6	0.8	1.5
Οκτώβριος	11.2	22.1	68.1	0.6	1.2
Νοέμβριος	6.4	15.1	77.1	0.6	1.1
Δεκέμβριος	2.8	10.9	78.1	0.5	1.3

#### 4.2.2 Φυτικοί συντελεστές

Ο φυτικός συντελεστής μιας καλλιέργειας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως το ύψος και η διάπλαση των φυτών, η επιφανειακή και αεροδυναμική αντίσταση τους, οι κλιματολογικές συνθήκες, κ.ά. Μετά από συστηματικές πειραματικές μελέτες, έχουν βρεθεί τυπικές τιμές του εν λόγω συντελεστή, ανάλογα με το είδος της καλλιέργειας και το στάδιο ανάπτυξης της ή την εποχή (μήνα). Η τυπική καμπύλη της εξέλιξης του συντελεστή και ο ορισμός των παραμέτρων της, που αποτελούν είσοδο του μοντέλου ΔΙΨΟΣ, φαίνονται στο Σχήμα 4.2.



Σχήμα 4.2: Στάδια ανάπτυξης καλλιέργειας.

Οι καλλιέργειες που αναπτύσσονται στην περιοχή μελέτης είναι το βαμβάκι, το καλαμπόκι, η μηδική, ο καπνός και τα μπιστόνια. Στον Πίνακα 4.2 διακρίνονται οι τιμές των παραμέτρων της καμπύλης ανάπτυξης κάθε καλλιέργειας, με βάση τις υποδείξεις του FAO. Για όλες τις

καλλιέργειες, θεωρήθηκε κοινή ημερομηνία σποράς η 20η Απριλίου. Η παραδοχή αυτή έγινε με βάση τις κύριες καλλιέργειες της περιοχής, που είναι το βαμβάκι και ο αραβόσιτος.

Πίνακας 4.2: Τυπικές τιμές των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στα διάφορα στάδια ανάπτυξης των καλλιεργειών της περιοχής μελέτης.

	L ini	L dev	L mid	L late	Kc ini	Kc mid	Kc end
Καλαμπόκι	27	72	125	160	0.30	1.20	0.60
Βαμβάκι	45	135	180	225	0.35	1.15	0.70
Μηδική	10	30	50	60	0.40	0.95	0.90
Οπώρες	60	150	270	365	0.80	1.00	0.80
Σακχαρότευτλο	30	75	165	180	0.35	1.20	0.70
Καπνός	10	35	70	105	0.35	1.20	0.75
Καρπούζι	20	50	80	110	0.40	1.00	0.75

### 4.3 Αναγωγή στους αρδευτικούς κόμβους του υδροσυστήματος

Ο υπολογισμός των αναγκών κάθε αρδευτικού κόμβου του δικτύου πραγματοποιήθηκε ως εξής: Αρχικά, με βάση τη σχηματοποίηση του υδροσυστήματος που περιγράφεται στο εδάφιο 5.2.5, ομαδοποιήθηκαν οι κοινότητες, με αντιστοίχησή τους στους αρδευτικούς κόμβους του μοντέλου. Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν οι αθροιστικές καλλιέργειες του κάθε κόμβου, χρησιμοποιώντας το αρχείο καλλιεργειών του Υπουργείου Γεωργίας (Τμήμα Υδρογεωλογίας και Μαθηματικών Ομοιωμάτων) της Δυτικής Θεσσαλίας, το οποίο περιλαμβάνει τα είδη καλλιεργειών και τις εκτάσεις ανά κοινότητα των νομών Καρδίτσας και Τρικάλων.

Συγκεκριμένα, για κάθε είδος καλλιέργειας και για κάθε κόμβο, υπολογίστηκε η αρδευτική ζήτηση για τα έτη 1972, 1982 και 1993 (αρχή, μέση και πέρασ περιόδου προσαρμογής του μοντέλου ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ). Ακολούθως, υπολογίστηκαν οι συνολικές ανάγκες κάθε κόμβου, αθροίζοντας τις επιμέρους ανάγκες κάθε καλλιέργειας. Για όλα τα ενδιάμεσα έτη, οι υδατικές ανάγκες κάθε κόμβου εκτιμήθηκαν μέσω γραμμικής παρεμβολής. Η σχετικά αδρομερής προσέγγιση οφείλεται στο τεράστιο πλήθος των πρωτογενών δεδομένων καλλιεργειών για την περίοδο μελέτης, που δεν υπήρχαν σε ηλεκτρονική μορφή.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για την περίοδο 1972-1993 χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ για την προσομοίωση της υδρολογικής διαίτας της περιοχής και την εξαγωγή των παραμέτρων επιφανειακής και υπόγειας υδρολογίας, όπως περιγράφεται στο Κεφάλαιο 5. Οι συνολικές αρδευτικές ανάγκες του υδροσυστήματος φαίνονται στον Πίνακα 4.3, ενώ ο επιμερισμός τους ανά αρδευτικό κόμβο φαίνεται στον Πίνακα 4.4. Επισημαίνεται ότι, επειδή δεν βρέθηκαν αρχεία καλλιεργειών για την περιοχή της Φθιώτιδας, έγινε η παραδοχή ότι στο σχετικό κόμβο προκύπτουν οι ίδιες αρδευτικές ανάγκες με την περιοχή Αγιοπηγής.

Πίνακας 4.3: Μέσες αρδευτικές ανάγκες υδροσυστήματος για την περίοδο 1972-1993.

	Ποσότητα (hm <sup>3</sup> )	Ποσοστό (%)
Μάιος	0.14	0.00
Ιούνιος	56.13	0.17

Ιούλιος	87.64	0.27
Αύγουστος	96.11	0.29
Σεπτέμβριος	88.71	0.27
Σύνολο	328.74	1.00

Πίνακας 4.4: Ετήσιες ανάγκες ανά αρδευτικό κόμβο (hm<sup>3</sup>).

Κόμβος	Μέση τιμή ετών 1972-1993	Τιμή έτους 1993
Αγιοπηγή	10.39	15.94
Μεσενικόλας	0.80	0.85
Παλαμάς	69.08	70.80
Πλαστήρας	40.46	63.58
Σέλανα	37.74	50.05
Σοφάδες	63.64	84.41
Τρίκαλα	59.56	69.29
Τρίκαλα (γεωτρήσεις)	35.51	41.31
Ξυνονέρι	1.16	1.41
Φθιώτιδα (γεωτρήσεις)	10.39	15.94
Σύνολο	328.74	413.59

Εκτός των ιστορικών αναγκών, εκτιμήθηκαν και οι μακροπρόθεσμες αρδευτικές ανάγκες της περιοχής Καρδίτσας, που αποτελούν δεδομένο εισόδου του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ. Οι τελευταίες θεωρήθηκε ότι ταυτίζονται με τη ζήτηση της περιόδου 1992-93. Τα συνολικά αποτελέσματα της περιοχής μελέτης συνοψίζονται στον Πίνακα 4.5. Επισημαίνεται ότι στην προσομοίωση του υδροσυστήματος με σκοπό την αξιολόγηση των διαχειριστικών σεναρίων, δεν ελήφθησαν υπόψη οι απολήψεις που γίνονται αποκλειστικά από υπόγεια νερά των περιοχών Τρικάλων και Φθιώτιδας (και συνακόλουθα οι αρδευτικές ανάγκες των σχετικών κόμβων), οι οποίες δεν επηρεάζουν τη λειτουργία του μοντέλου του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ. Για το λόγο αυτό, προκύπτει η διαφορά των  $413.59 - 356.33 = 57.26$  hm<sup>3</sup> μεταξύ των συνολικών αναγκών των Πινάκων 4.4 και 4.5.

Πίνακας 4.5: Μέσες ετήσιες αρδευτικές ανάγκες περιοχής Καρδίτσας για την περίοδο 1992-93.

	Ποσότητα (hm <sup>3</sup> )	Ποσοστό (%)
Μάιος	0.24	0.07
Ιούνιος	56.13	15.75
Ιούλιος	90.28	25.34
Αύγουστος	107.92	30.29
Σεπτέμβριος	101.76	28.56
Σύνολο	356.33	100.00



## 5 Εκτίμηση υδρολογικών εισροών – Εφαρμογή λογισμικών ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ και ΚΑΣΤΑΛΙΑ

---

### 5.1 Σκοπός και μεθοδολογία

Οι υδρολογικές εισροές αποτελούν από τις πλέον σημαντικές συνιστώσες εισόδου ενός μοντέλου διαχείρισης υδατικών πόρων. Στην προσέγγιση που εφαρμόζεται στον ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ, που έχει ως θεμελιώδη απαίτηση τη στοχαστική προσομοίωση ενός συστήματος υδατικών πόρων, με σκοπό την ποσοτικοποίηση της αβεβαιότητας και του ρίσκου στη λήψη των αποφάσεων, με αποτίμηση όλων των αποτελεσμάτων του με όρους πιθανοτήτων, οι εν λόγω εισροές παράγονται συνθετικά. Οι συνθετικές χρονοσειρές αναπαράγουν τα στατιστικά χαρακτηριστικά των αντίστοιχων ιστορικών εισροών, είναι δηλαδή στατιστικά συνεπείς με την παρατηρημένη υδρολογική δίαίτα του υδροσυστήματος, ενώ έχουν πολύ μεγαλύτερο μήκος από αυτές, ώστε να επιτρέπουν την εμπειρική εκτίμηση των σχετικών πιθανοτήτων αστοχίας με επαρκή ακρίβεια. Η γέννηση των χρονοσειρών γίνεται με το λογισμικό ΚΑΣΤΑΛΙΑ, που αποτελεί πρόσθετο του συστήματος ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ (Ευστρατιάδης κ.ά., 2005).

Με βάση τη σχηματοποίηση του δικτύου των υδατικών πόρων της περιοχής μελέτης που υιοθετείται στον ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ, και η οποία περιγράφεται στην ενότητα 6.2, απαιτείται η παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών απορροής, βροχόπτωσης και εξάτμισης στις θέσεις των δύο ταμιευτήρων (Πλαστήρας, Σμόκοβο), καθώς και συνθετικών χρονοσειρών παροχής στις θέσεις των κόμβων εισροής, κατά μήκος του υδρογραφικού δικτύου. Οι τελευταίοι αναπαριστούν την απορροή των αντίστοιχων υπολεκάνων, η οποία επιμερίζεται σε επιφανειακή και υπόγεια (παροχή πηγών). Ωστόσο, από το σύνολο των θέσεων ενδιαφέροντος, μόνο για την περιοχή του ταμιευτήρα Πλαστήρα υπάρχει ιστορικό δείγμα απορροής, που να μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα για την παραγωγή του αντίστοιχου συνθετικού. Στις υπόλοιπες θέσεις, δεν υπάρχουν μετρήσεις παροχής, με εξαίρεση τις ανάντη υπολεκάνες του δικτύου. Για το λόγο αυτό εφαρμόστηκε μια σύνθετη προσέγγιση, που περιλάμβανε τη χρήση του λογισμικού ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ (Ευστρατιάδης κ.ά., 2006), όπως περιγράφεται στα ακόλουθα βήματα:

**Βήμα 1:** Απεικόνιση, μέσω του λογισμικού ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ, του μεγαλύτερου τμήματος της περιοχής μελέτης που προσομοιώνεται στον ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ, το οποίο περιλαμβάνει το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης απορροής ανάντη του υδρομετρικού σταθμού Αλή Εφέντη, καθώς και το δίκτυο των αρδευτικών έργων και γεωτρήσεων, ενώ δεν περιλαμβάνει την υπολεκάνη του ταμιευτήρα Πλαστήρα και τα συναφή έργα (οι ιστορικές εκροές του Πλαστήρα αντιμετωπίζονται ως γνωστή εξωτερική προσφορά νερού στο υδροσύστημα).

**Βήμα 2:** Μοντελοποίηση υδρολογικών μηχανισμών υδροσυστήματος (επιφανειακών και υπόγειων), με προσαρμογή (βαθμονόμηση) του μοντέλου ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ στα παρατηρημένα δείγματα παροχής υδατορευμάτων και στάθμης υδροφορέα των ετών 1973-1993, με είσοδο τα

υδρολογικά δεδομένα (βροχόπτωση και δυνητική εξατμοδιαπνοή υπολεκανών) και την εξέλιξη των υδατικών χρήσεων της εν λόγω περιόδου.

**Βήμα 3:** Γέννηση συσχετισμένων συνθετικών χρονοσειρών απορροής και βροχόπτωσης ταμιευτήρα Πλαστήρα, καθώς και επιφανειακής βροχόπτωσης υπολεκανών υδροσυστήματος, μήκους 1000 ετών, με εφαρμογή του λογισμικού ΚΑΣΤΑΛΙΑ.

**Βήμα 4:** Εφαρμογή του μοντέλου ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ (με τις παραμέτρους που έχουν εκτιμηθεί στο βήμα 2, με βάση τα ιστορικά δείγματα παροχής και στάθμης) για την παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών απορροής υπολεκανών, με είσοδο τις αντίστοιχες συνθετικές βροχοπτώσεις.

Αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας είναι οι απαιτούμενες συνθετικές υδρολογικές χρονοσειρές, που εισάγονται στο μοντέλο δικτύου του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ, για την ανάλυση των διαχειριστικών σεναρίων του Κεφαλαίου 6.

## 5.2 Σχηματοποίηση υδροσυστήματος

### 5.2.1 Γενικές αρχές

Με τον όρο σχηματοποίηση νοείται η διαμόρφωση των τεσσάρων κύριων θεματικών επιπέδων του μοντέλου ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ, δηλαδή του υδρογραφικού δικτύου, των μονάδων υδρολογικής απόκρισης, του υδροφορέα και του σχήματος αναπαράστασης της διαχείρισης των υδατικών πόρων της περιοχής μελέτης. Όπως εξηγήθηκε προηγουμένως, στην ΥΔΡΟΓΕΙΟ υιοθετήθηκε κοινή σχηματοποίηση, όσον αφορά στο δίκτυο των υδατορευμάτων και υδραγωγείων, με τον ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ, έτσι ώστε να υπάρχει πλήρης ταύτιση των κόμβων ενδιαφέροντος των δύο μοντέλων, στους οποίους ζητείται η εκτίμηση της απορροής. Το σύνολο των εργασιών που αφορούν στη διαμόρφωση των θεματικών επιπέδων έγιναν με κατάλληλα εργαλεία του ΣΓΠ, τα οποία υποστηρίζει το λογισμικό.

Στην ΥΔΡΟΓΕΙΟ, και συνακόλουθα τον ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ, η λεπτομέρεια της σχηματοποίησης καθορίστηκε από τη διαθέσιμη πληροφορία, σε συνδυασμό με την απαίτηση περιορισμού του υπολογιστικού φόρτου του μοντέλου, που εξασφαλίζει μια ρεαλιστική αναπαράσταση της λειτουργίας του συστήματος. Συνεπώς, όσον αφορά στο υδρογραφικό δίκτυο, ελήφθησαν υπόψη όλοι οι υδρομετρικοί σταθμοί της περιοχής, που αποτελούν τα σημεία ελέγχου των επιφανειακών υδατικών πόρων (Πίνακας 3.4). Η διακριτοποίηση του υδροφορέα βασίστηκε στο μέσο πιεζομετρικό χάρτη της περιοχής, και ήταν πιο λεπτομερής στα πεδινά τμήματα όπου υπήρχαν παρατηρήσεις στάθμης, και οι οποίες αξιοποιήθηκαν στη διαδικασία συνδυαστικής εκτίμησης των παραμέτρων του επιφανειακού και υπόγειου μοντέλου. Τέλος, για την αναπαράσταση της διαχείρισης των υδατικών πόρων, υιοθετήθηκε μια αδρομερής προσέγγιση, σύμφωνα με την οποία η περιοχή διαχωρίστηκε σε αρδευόμενες ζώνες, όπου έγινε συνάθροιση των υδατικών αναγκών των επιμέρους κοινοτήτων σε εννοιολογικούς κόμβους ζήτησης. Επιπλέον, ελήφθησαν υπόψη οι χαρακτηριστικές ιδιαιτερότητες του συστήματος, που είναι η διάκριση της θερινής και χειμερινής κατανομής των εκροών του ταμιευτήρα Πλαστήρα, που επηρεάζει σημαντικά το υδατικό ισοζύγιο της περιοχής.

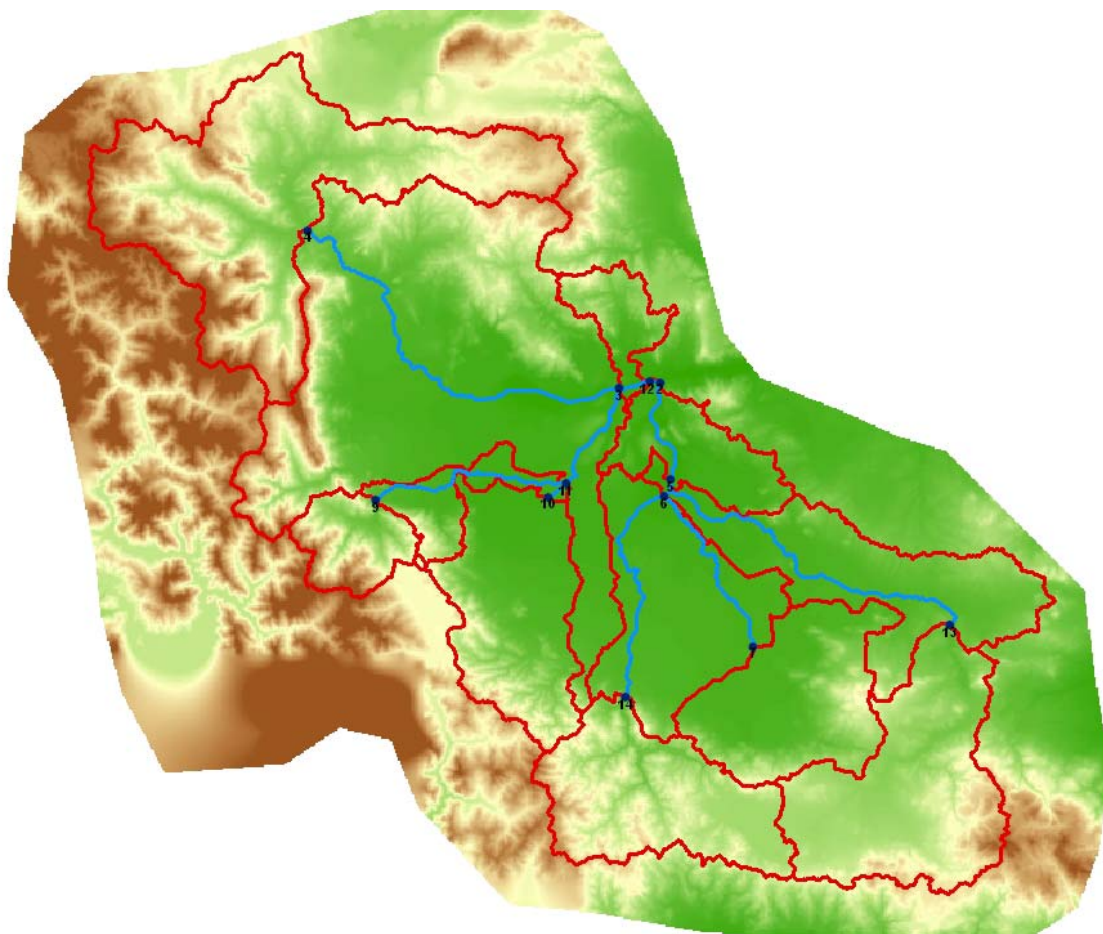
## 5.2.2 Υδρογραφικό δίκτυο - Υπολεκάνες

Η διαμόρφωση του υδρογραφικού δικτύου βασίστηκε σε μια επαναληπτική διαδικασία. Αρχικά, παρήχθη ένα πολύ λεπτομερές δίκτυο, με βάση το ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων της περιοχής και υιοθετώντας ένα σχετικά μικρό κατώφλι συγκέντρωσης της απορροής. Με τον τρόπο αυτό, προέκυψε ένας πολύ μεγάλος αριθμός υπολεκανών, ανάντη όλων των παραγόμενων κόμβων συμβολής. Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν οι πέντε υδρομετρικοί σταθμοί (Σαρακήνα για τον Πηνειό, Μουζάκι για τον Πάμισο, Αμπελιά για τον Ενιπέα, Κέδρος για τον Σοφαδίτη), και αναζητήθηκε μια μεγαλύτερη τιμή κατωφλίου, ώστε οι ανάντη κόμβοι των υδατορευμάτων να ταυτίζονται με τις θέσεις των σταθμών.

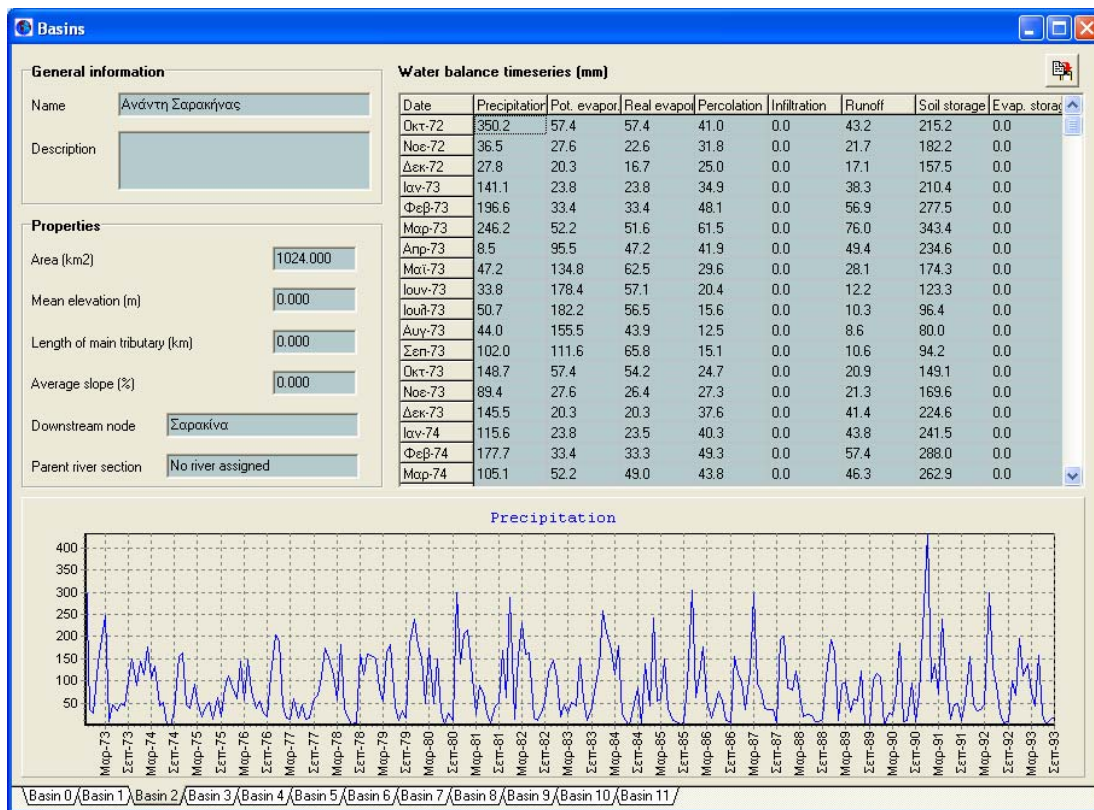
Με την παραπάνω διαδικασία προέκυψε η τελική διάταξη των κόμβων και κλάδων του υδρογραφικού δικτύου, που απεικονίζεται στον χάρτη του Σχήματος 5.1. Η εν λόγω σχηματοποίηση περιλαμβάνει 13 κόμβους του υδρογραφικού δικτύου και 12 υπολεκάνες απορροής. Επισημαίνεται ότι πέντε από τις υπολεκάνες αναπτύσσονται ανάντη των ακραίων κόμβων του δικτύου, και συνεπώς δεν διασχίζονται από υδατορεύματα (μία από αυτές είναι η υπολεκάνη ανάντη του υδρομετρικού σταθμού Σαρακήνας, η αποτύπωση της οποίας στο λογισμικό ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ φαίνεται στο Σχήμα 5.2). Τα χαρακτηριστικά των υπολεκανών δίνονται στον Πίνακα 5.1, ενώ η εκτίμηση των υδρολογικών δεδομένων εισόδου τους (βροχόπτωση, δυναμική εξατμοδιαπνοή) έχει περιγραφεί στα εδάφια 3.3.3 και 3.5.2, αντίστοιχα.

Πίνακας 5.1: Χαρακτηριστικά υπολεκανών απορροής.

α/α	Περιγραφή	Κατάντη κόμβος	Έκταση (km <sup>2</sup> )
1	Ενιπέα (μεταξύ συμβολής με Φαρσαλιώτη και Πηνειό)	2	204.2
2	Πηνειού (μεταξύ Σαρακήνας και συμβολής με Πάμισο)	3	1565.2
3	Πηνειού (ανάντη υδρομετρικού σταθμού Σαρακήνας)	4	1023.6
4	Ενιπέα (μεταξύ Αμπελιάς και συμβολής με Φαρσαλιώτη)	5	486.0
5	Φαρσαλιώτη (ανάντη συμβολής με Σοφαδίτη)	6	479.6
6	Φαρσαλιώτη (ανάντη λεκάνη)	7	425.2
7	Παμίσου (ανάντη υδρομετρικού σταθμού Μουζακίου)	9	152.7
8	Καλέτζη (ανάντη λεκάνη)	10	453.2
9	Καλέτζη (ανάντη συμβολής με Πάμισο)	11	130.9
10	Πηνειού (μεταξύ συμβολής με Πάμισο και Αλή Εφέντη)	12	116.9
11	Ενιπέα (ανάντη υδρομετρικού σταθμού Αμπελιάς)	13	593.3
12	Σοφαδίτη (ανάντη υδρομετρικού σταθμού Κέδρου)	14	456.5



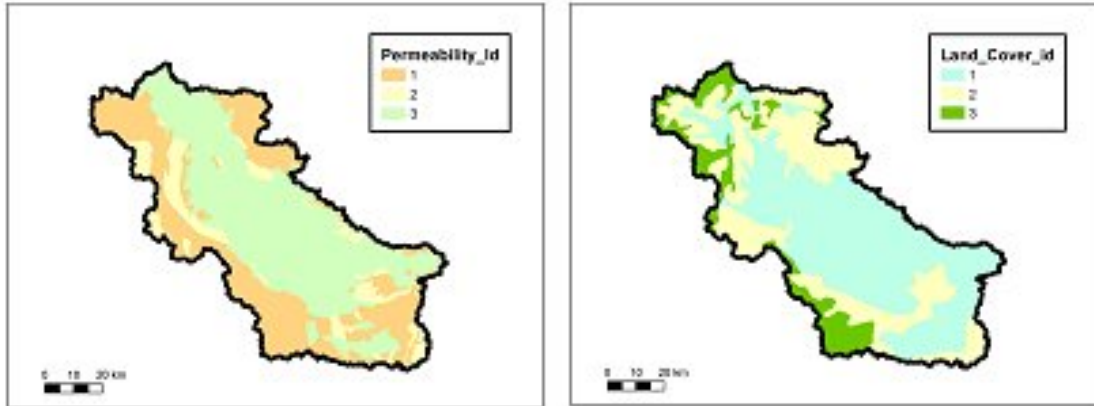
Σχήμα 5.1: Υδρογραφικό δίκτυο, υπολεκάνες και αρίθμηση κόμβων.



Σχήμα 5.2: Χαρακτηριστική φόρμα του λογισμικού ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ, όπου απεικονίζονται τα δεδομένα εισόδου και οι χρονοσειρές την υπολεκάνης ανάντη του υδρομετρικού σταθμού Σαρακήνας.

### 5.2.3 Μονάδες υδρολογικής απόκρισης

Οι μονάδες υδρολογικής απόκρισης (ΜΥΑ), που συνιστούν την παραμετροποίηση του επιφανειακού συστήματος, δημιουργήθηκαν από την ένωση των τριών τύπων περατότητας με τους τρεις τύπους χρήσεων γης (βλ. 3.2). Με τον τρόπο αυτό προέκυψαν 9 ΜΥΑ, που απεικονίζεται στον χάρτη του Σχήματος 5.3. Τα χαρακτηριστικά των ΜΥΑ δίνονται στον Πίνακα 5.2.



Σχήμα 5.3: Επίπεδα πληροφορίας (αριστερά περατότητα, δεξιά χρήσεις γης) που χρησιμοποιήθηκαν για τον καθορισμό των μονάδων υδρολογικής απόκρισης.

Πίνακας 5.2: Χαρακτηριστικά μονάδων υδρολογικής απόκρισης.

α/α	Περατότητα εδαφών	Χρήση γης	Έκταση (km <sup>2</sup> )
1	Αδιαπέρατα	Αρδευόμενη	599.9
2	Αδιαπέρατα	Χαμηλή βλάστηση	1159.4
3	Αδιαπέρατα	Δασώδης	676.3
4	Περατά	Αρδευόμενη	156.2
5	Περατά	Χαμηλή βλάστηση	450.7
6	Περατά	Δασώδης	144.8
7	Ημιπερατά	Αρδευομένη	2466.1
8	Ημιπερατά	Χαμηλή βλάστηση	439.7
9	Ημιπερατά	Δασώδης	173.6

#### 5.2.4 Υδροφορέας - Πηγές

Η σχηματοποίηση του μοντέλου υπόγειων νερών περιλαμβάνει τη διακριτοποίηση του υδροφορέα σε πολυγωνικά κύτταρα και την τοποθέτηση των πηγών.

Η διακριτοποίηση του υδροφορέα στηρίχθηκε σε μελέτη της SOGREAH (1979), και ειδικότερα στον πιεζομετρικό χάρτη της πεδινής έκτασης της περιοχής μελέτης. Τα κύτταρα του υπόγειου υδροφορέα χαράχθηκαν με τις ακμές παράλληλα προς τις ισοδυναμικές γραμμές του χάρτη, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.4. Ορίστηκαν 50 κύτταρα, όπου τα 41 αντιστοιχούν σε πραγματικές χωρικές ενότητες, ενώ τα υπόλοιπα είναι εικονικά και αναπαριστούν ειδικές διεργασίες. Πιο συγκεκριμένα, τα περιμετρικά κύτταρα 44, 45 και 46 προσομοιώνουν τις εισροές από τους ανάντη ορεινούς υδροφορείς, ενώ το κύτταρο 47 προσομοιώνει την εκφόρτιση του συστήματος προς την Ανατολική Θεσσαλία. Τέλος, οι δεξαμενές των κυττάρων 48, 49 και 50 προσομοιώνουν τη λειτουργία των κύριων πηγών, που αναπτύσσονται στα όρια των υπολεκανών Καλαμπάκας και Τρικάλων (πηγές Μεγάλου και Μικρού Κεφαλόβρυσου), στην περιοχή Μουρκάνι (όπου πηγάζει ο ανάντη κλάδος του Πηνειού) και στους πρόποδες του Κόζιακα, κοντά στα χωριά Πρόδρομος και Γοργύρη.





Σχήμα 5.4: Διακριτοποίηση υδροφορέα Δυτικής Θεσσαλίας με βάση τον πιεζομετρικό χάρτη της πεδινής περιοχής (αριστερά), αρίθμηση κυττάρων και γεωτρήσεων παρατήρησης (δεξιά).

Στο Πίνακα 5.3 δίνονται τα χαρακτηριστικά μεγέθη (έκταση, αρχική στάθμη) των κυττάρων. Για όσα κύτταρα στα οποία υπήρχαν γεωτρήσεις με παρατηρήσεις πιεζομετρίας (βλ. Πίνακα 3.7), η αρχική τους στάθμη θεωρήθηκε ίση με την τελευταία παρατηρημένη τιμή πριν την έναρξη της προσομοίωσης (Σεπτέμβριος 1972), παρόλο που τα δύο μεγέθη αντιπροσωπεύουν διαφορετικές χωρικές κλίμακες. Τέλος, οι αρχικές στάθμες των πηγών τέθηκαν ίσες με το υψόμετρο εκφορτίσής τους.

Πίνακας 5.3: Χαρακτηριστικά μεγέθη κυττάρων υδροφορέα (με αστερίσκο σημειώνονται τα κύτταρα για τα οποία υπάρχουν παρατηρήσεις στάθμης).

α/α	Έκταση (km <sup>2</sup> )	Αρχική στάθμη (m)	α/α	Έκταση (km <sup>2</sup> )	Αρχική στάθμη (m)
1 <sup>(*)</sup>	23.0	125.5	26	63.4	103.0
2	30.1	125.0	27	41.7	126.5
3	19.9	130.0	28	28.0	105.0
4	16.2	130.0	29 <sup>(*)</sup>	23.7	116.0
5	44.4	125.0	30	9.3	110.0
6	69.9	125.0	31	15.6	107.0
7 <sup>(*)</sup>	72.5	131.6	32	31.0	115.0
8	59.2	125.0	33 <sup>(*)</sup>	52.0	106.3
9	32.9	124.0	34	26.6	120.0
10	18.3	128.0	35	38.2	116.0
11	31.9	115.0	36	45.7	110.0
12	19.0	110.0	37	59.8	100.0
13	46.7	100.0	38	73.4	95.0
14 <sup>(*)</sup>	50.7	93.6	39	59.6	90.0
15	52.5	140.0	40	91.5	90.0
16	41.8	126.0	41 <sup>(*)</sup>	124.9	94.0
17 <sup>(*)</sup>	47.5	99.0	42 <sup>(*)</sup>	187.0	84.7
18	43.3	95.0	43	89.8	80.0
19 <sup>(*)</sup>	63.1	135.0	44	321.8	140.0
20	63.1	125.0	45	46.0	165.0
21	102.4	110.0	46	187.8	130.0
22 <sup>(*)</sup>	91.0	97.0	47	195.7	75.0
23 <sup>(*)</sup>	76.9	97.4	48	0.0	125.0
24	33.3	125.0	49	0.0	140.0
25	27.0	120.0	50	0.0	145.0

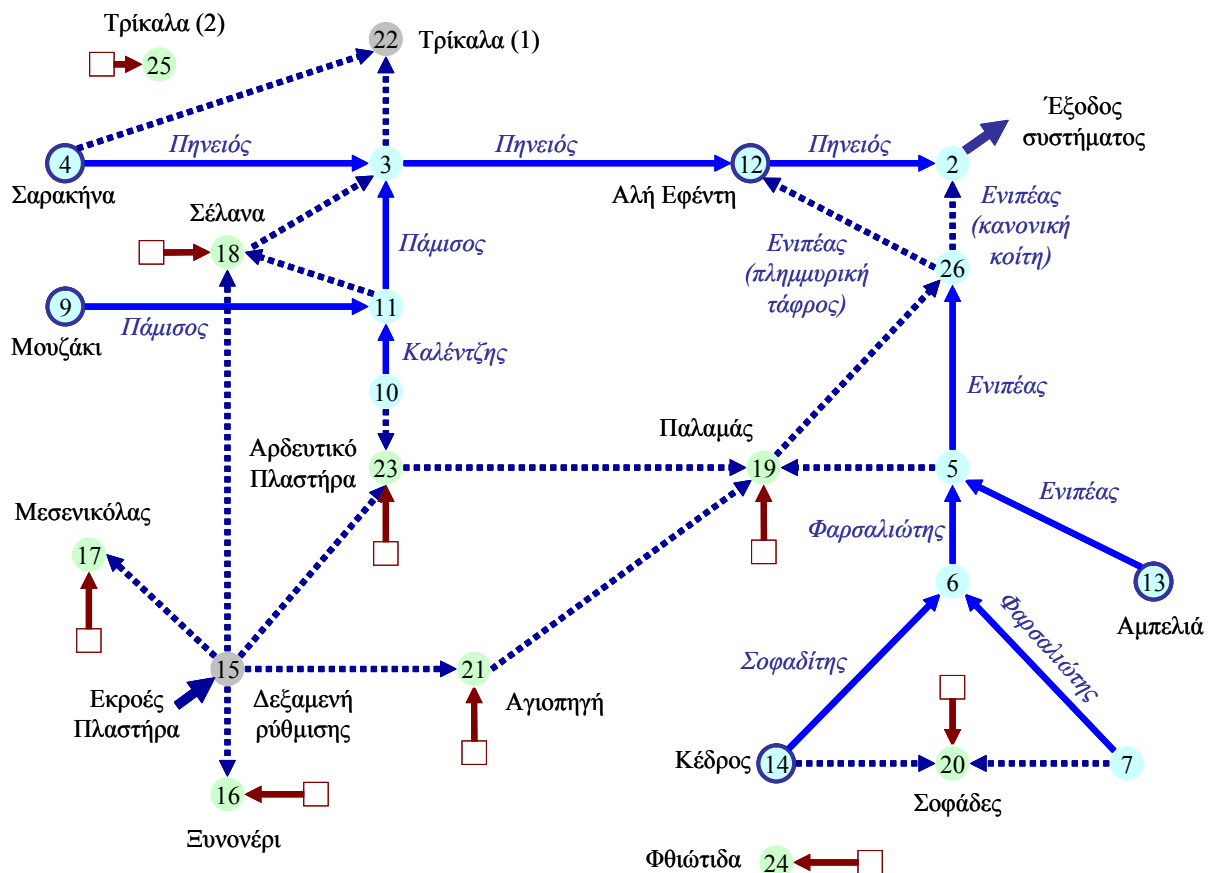
### 5.2.5 Σχήμα διαχείρισης υδατικών πόρων

Για την περιγραφή της διαχείρισης των υδατικών πόρων απαιτείται η διαμόρφωση μιας σχηματικής διάταξη του υδροσυστήματος, που περιλαμβάνει το ενοποιημένο δίκτυο των υδατορευμάτων, των κόμβων ζήτησης και των τεχνικών έργων απόληξης από επιφανειακά και υπόγεια νερά (ομάδες γεωτρήσεων) και μεταφοράς νερού (υδραγωγεία). Η διάταξη αυτή φαίνεται στο Σχήμα 5.5, όπου απεικονίζονται οι κόμβοι του δικτύου (με την αρίθμησή τους) και οι δυνατές διαδρομές του νερού, φυσικές (υδατορεύματα) και τεχνητές (υδραγωγεία). Υπενθυμίζεται ότι, όσον αφορά στην περιοχή κατάντη των ταμιευτήρων Πλαστήρα και Σμοκόβου, η εν λόγω σχηματοποίηση διατηρήθηκε στον ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.1.

Η περιοχή μελέτης χωρίστηκε σε αρδευόμενες ζώνες, που αναπαρίστανται ως κόμβοι αρδευτικής ζήτησης, και απεικονίζονται με ανοιχτό πράσινο χρώμα. Στο Νομό Καρδίτσας πραγματοποιήθηκε σχετικά λεπτομερής (σε επίπεδο ΤΟΕΒ) περιγραφή του διαχειριστικού



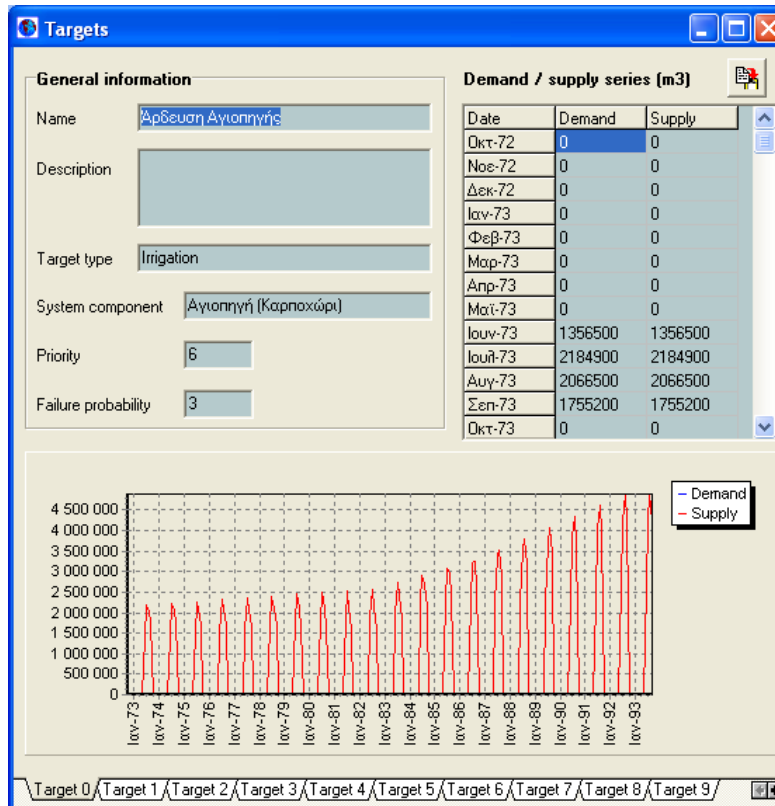
συστήματος και σύνδεση των αρδευτικών κόμβων (Πλαστήρας, Ξυνονέρι, Αγιοπηγή, Μεσενικόλας, Παλαμάς, Σέλανα, Σοφάδες) με το δίκτυο των ανοιχτών αγωγών που μεταφέρουν το νερό από τον ταμιευτήρα Πλαστήρα. Στο Νομό Τρικάλων θεωρήθηκαν δύο κόμβοι απόληξης. Ο πρώτος περιλαμβάνει τις παραποτάμιες περιοχές, οι οποίες αναπτύσσονται πάνω από τα αντίστοιχα κύτταρα του υδροφορέα που γειτνιάζουν με τον Πηνεϊό και χρησιμοποιούν τόσο επιφανειακά όσο και υπόγεια νερά (κόμβος 22), ενώ ο δεύτερος (κόμβος 25) περιλαμβάνει τα πιο απομακρυσμένα κύτταρα, που εξυπηρετούνται αποκλειστικά από γεωτρήσεις. Τέλος, το μικρό τμήμα του υδροσυστήματος που εκτείνεται στο Νομό Φθιώτιδας, και περιλαμβάνει το οροπέδιο της Ξυριάδας, θεωρήθηκε επίσης ως μεμονωμένος κόμβος (κόμβος 24), που εξυπηρετείται μόνο από γεωτρήσεις.



Σχήμα 5.5: Σχηματοποίηση λειτουργίας υδροσυστήματος, όπου απεικονίζονται τα υδατορεύματα (με κανονική γραμμή), τα υδραγωγεία (με διακεκομμένη γραμμή), οι κόμβοι (με την αρίθμηση τους) και οι ομάδες γεωτρήσεων (τετράγωνα).

Για όλους τους αρδευτικούς κόμβους ορίστηκαν οι αντίστοιχοι στόχοι, καθώς και οι σχετικές υδατικές ανάγκες, οι οποίες διατυπώθηκαν με τη μορφή χρονοσειρών ζήτησης που μεταβάλλονται διαχρονικά. Οι ανάγκες αυτές υπολογίστηκαν με εφαρμογή του λογισμικού ΔΙΨΟΣ, και οι τιμές τους, για διάφορες χρονικές περιόδους δίνονται στον Πίνακα 4.4. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της διαχρονικής μεταβολής των αναγκών φαίνεται στο Σχήμα 5.6, όπου απεικονίζονται τα δεδομένα του αρδευτικού στόχου που εισάγεται στον κόμβο Αγιοπηγής.

Εκτός των αρδευτικών χρήσεων, στον κόμβο 15 ορίστηκε και ένας σταθερός στόχος υδρευτικής κατανάλωσης, ίσος με 2.0 hm<sup>3</sup>/μήνα, που αντιστοιχεί στις ανάγκες της πόλης της Καρδίτσας και των γύρω περιοχών, οι οποίες εξυπηρετούνται από το Σύνδεσμο Ύδρευσης (βλ. 2.4.1).



Σχήμα 5.6: Χαρακτηριστική φόρμα του λογισμικού ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ, όπου απεικονίζονται τα δεδομένα του αρδευτικού στόχου στον κόμβο Αγιοπηγής.

Σε κάθε κύτταρο του υδροφορέα τοποθετήθηκε μια εικονική γεώτρηση, η δυναμικότητα της οποίας θεωρήθηκε ανάλογη της έκτασης του κυττάρου και της συνολικής ζήτησης κάθε αρδευτικού κόμβου. Στη συνέχεια, οι γεωτρήσεις ομαδοποιήθηκαν με βάση τον αντίστοιχο αρδευτικό κόμβο που εξυπηρετούν. Τα χαρακτηριστικά των ομάδων γεωτρήσεων δίνονται στον Πίνακα 5.4.

Πίνακας 5.4: Χαρακτηριστικά ομάδων γεωτρήσεων.

α/α	Ομάδα γεωτρήσεων	Κατάντη κόμβος	Δυναμικότητα (m <sup>3</sup> /s)
1	Πλαστήρας	23	2.2
2	Ξυνονέρι	16	0.5
3	Μεσενικόλας	17	0.2
4	Σέλανα	18	17.8
5	Παλαμάς	19	24.7
6	Σοφάδες	20	44.3
7	Αγιοπηγή	21	8.8
8	Τρίκαλα	22	94.0
9	Φθιώτιδα	24	19.9
10	Τρίκαλα	25	10.0

Τα χαρακτηριστικά των τεχνικών έργων που απαιτεί η ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ είναι η παροχетеυτικότητα και το μοναδιαίο κόστος. Για όλες τις γεωτρήσεις τέθηκε κοινή τιμή κόστους, ίση με 1. Όσον αφορά στα αρδευτικά υδραγωγεία, θεωρήθηκε μια μεγάλη τιμή παροχетеυτικότητας (30 m<sup>3</sup>/s) και μηδενική τιμή μοναδιαίου κόστους, με εξαίρεση τα εικονικά υδραγωγεία που αναπαριστούν απευθείας απόληψη από το υδρογραφικό δίκτυο, για τα οποία θεωρήθηκε μια μικρή τιμή κόστους, ίση με 0.1, ώστε να εμποδίζεται η αδικαιολόγητη εκτροπή νερού και κυκλοφορία του στο αρδευτικό δίκτυο.

Η σχηματοποίηση που περιγράφεται παραπάνω αποτελεί προϊόν μιας διαδραστικής διαδικασίας, που έγινε σε συνδυασμό με τη βαθμονόμηση. Κατά τις προκαταρκτικές δοκιμές, διαπιστώθηκαν ορισμένα προβλήματα, που είχαν ως αποτέλεσμα την κακή αναπαραγωγή της παρατηρημένης απορροής στη θέση Αλή Εφέντη (κόμβος 12). Ειδικότερα, κατά τη χειμερινή περίοδο διαπιστώθηκε ότι το μοντέλο υποεκτιμά την απορροή στο συγκεκριμένο κόμβο, ενώ δεν συμβαίνει το ίδιο με τις υπόλοιπες θέσεις ελέγχου. Το γεγονός αυτό αποδόθηκε σε κάποιο συστηματικό σφάλμα, καθώς δεν ήταν δυνατό να βρεθεί συνδυασμός παραμέτρων που να μπορεί να αναπαράξει τις μετρήσεις παροχής των χειμερινών μηνών, χωρίς να διαταράξει την παρατηρημένη δίαυτα της απορροής των υπόλοιπων εποχών του έτους και των υπόλοιπων θέσεων ελέγχου. Μετά από διερεύνηση, προέκυψε ότι το πρόβλημα οφείλεται στον τρόπο διαχείρισης των εκροών από τον ταμιευτήρα Πλαστήρα. Τους θερινούς μήνες, οι εκροές διοχετεύονται, μέσω της αναρρυθμιστικής δεξαμενής (κόμβος 15), προς τις διάφορες αρδευόμενες περιοχές. Αντίθετα, οι χειμερινές εκροές διοχετεύονται αποκλειστικά στον Καλέτζη, και μέσω αυτού στον Πηνεϊό, ανάντη του Αλή Εφέντη. Η ιδιαιτερότητα αυτή αντιμετωπίστηκε με την εισαγωγή του κλάδου 18-3, που μεταφέρει νερό από τον αρδευτικό κόμβο Σελάνων στον Πηνεϊό, με ένα πολύ μικρό αρνητικό κόστος. Συνεπώς, κατά τους χειμερινούς μήνες, το μοντέλο κατανομής των απολήψεων επιλέγει τη συγκεκριμένη διαδρομή ως τη βέλτιστη από πλευράς κόστους, ενώ κατά τη θερινή περίοδο επιλέγει κατά προτεραιότητα την κάλυψη των αρδευτικών στόχων, για τους οποίους το μοντέλο θέτει ένα εικονικό αρνητικό όφελος, η τιμή του οποίου υπερβαίνει (κατ' απόλυτη τιμή) το αθροιστικό κόστος/όφελος μεταφοράς του νερού στο δίκτυο.

Μια άλλη ιδιαιτερότητα, που επίσης εντοπίστηκε εκ των υστέρων (λόγω της αδυναμίας του μοντέλου να αναπαράξει ορισμένες ιδιαίτερα υψηλές αιχμές), αφορά στη διαχείριση των πλημμυρών του Ενιπέα. Ο Ενιπέας συναντιέται με τον Πηνεϊό στην έξοδο του υδροσυστήματος

(κόμβος 2), λίγες δεκάδες μέτρα κατάντη της γέφυρας του Αλή Εφέντη, όπου βρίσκεται ο ομώνυμος υδρομετρικός σταθμός (κόμβος 12). Στα τελευταία μέτρα της διαδρομής του υπάρχουν αποστραγγιστικές τάφροι κάθετα στη διατομή του, έτσι ώστε στην περίπτωση που αυτός πλημμυρίσει, η επιπλέον παροχή να διοχετευτεί όχι πλέον κατάντη αλλά λίγο ανάντη του υδρομετρικού σταθμού. Συνεπώς, στην τελική χάραξη του υδροσυστήματος, η έξοδος του Ενιπέα θεωρήθηκε ξεχωριστός κόμβος (κόμβος 26), κατάντη του οποίου δημιουργήθηκαν δύο διαδρομές, με την πρώτη να αναπαριστά τη φυσική κοίτη και τη δεύτερη το σύνολο των αποστραγγιστικών τάφρων, που καταλήγουν στον κόμβο Αλή Εφέντη. Για τη φυσική κοίτη (αγωγός 26-2) θεωρήθηκε παροχετευτικότητα ίση με  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  και μηδενικό μοναδιαίο κόστος, ενώ για την πλημμυρική κοίτη (αγωγός 26-12) θεωρήθηκε μια μεγάλη τιμή παροχετευτικότητας ( $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ ) και μια μικρή τιμή μοναδιαίου κόστους. Με τον τρόπο αυτό, σε συνήθεις συνθήκες, τα νερά του Ενιπέα οδηγούνται στην έξοδο του συστήματος, δηλαδή κατάντη του Αλή Εφέντη, ενώ στην περίπτωση που η παροχή του ποταμού υπερβεί την τιμή των  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ , η περίσσεια διοχετεύεται ανάντη του Αλή Εφέντη, και συνεπώς προσμετράται στην απορροή του.

## 5.3 Βαθμονόμηση μοντέλου ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ

### 5.3.1 Παράμετροι και δεδομένα ελέγχου

Η προσαρμογή του μοντέλου ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ έγινε για 20 υδρολογικά έτη, από τον Οκτώβριο του 1972 μέχρι το Σεπτέμβριο του 1993 (Τέγος, 2005). Πρόκειται για ένα αντιπροσωπευτικό ιστορικό δείγμα της λεκάνης, καθώς περιλαμβάνει αλληλουχία υγρών και ξηρών υδρολογικών περιόδων. Επίσης, στη συγκεκριμένη περίοδο αποτυπώνεται μια μεγάλη αυξητική τάση της αρδευτικής ζήτησης και των υπόγειων απολήψεων, που είχε ως συνέπεια τη σημαντική ταπείνωση της στάθμης του υδροφορέα σε μεγάλα τμήματα της πεδινής περιοχής. Ο χρονικός ορίζοντας ελέγχου χωρίστηκε σε δύο ίσες χρονικές ενότητες, που αναφέρονται στις περιόδους βαθμονόμησης και επαλήθευσης.

Για τη δεδομένη σχηματοποίηση, το μοντέλο περιλαμβάνει 164 μεταβλητές προς βελτιστοποίηση, που αναφέρονται:

- στις  $6 \times 9 = 54$  παραμέτρους του μοντέλου επιφανειακής υδρολογίας (6 για κάθε μία από τις 9 μονάδες υδρολογικής απόκρισης)·
- στους 12 συντελεστές διήθησης των υδατορευμάτων·
- στις  $2 \times 49 = 98$  παραμέτρους του μοντέλου υπόγειας υδρολογίας (υδραυλική αγωγιμότητα και πορώδες κυττάρων).

Για την απλοποίηση του προβλήματος, θεωρήθηκαν ενιαία η χωρητικότητα κατακράτησης και το πορώδες. Όσον αφορά στους συντελεστές διήθησης, θεωρήθηκαν τέσσερις από αυτούς μη μηδενικοί, στον Πηνεϊό (στο τμήμα ανάντη του Αλή Εφέντη), τον Ενιπέα και τον Σοφαδίτη, στα δύο τμήματα ανάντη της συμβολής με τον Φαρσαλιώτη (η επιλογή έγινε με βάση τις εκτιμήσεις της SOGREAH). Συνεπώς, ο τελικός αριθμός των μεταβλητών ελέγχου ήταν της τάξης των 100.

Η διαδικασία αναζήτησης στα πλαίσια του αλγορίθμου βελτιστοποίησης προϋποθέτει τον ορισμό ενός επιτρεπόμενου εύρους διακύμανσης των τιμών των μεταβλητών ελέγχου. Αρχικά, ο καθορισμός τους βασίστηκε στη φυσική ερμηνεία των παραμέτρων. Ωστόσο, κατά την διάρκεια

της βελτιστοποίησης, τα όρια αυτά μεταβλήθηκαν πολλές φορές, με σκοπό την όσο το δυνατό καλύτερη διερεύνηση του χώρου αναζήτησης για την εύρεση της ολικά βέλτιστης λύσης.

Για το έλεγχο της προσαρμογής του μοντέλου, χρησιμοποιήθηκαν 16 δείγματα μετρημένων τιμών. Πρόκειται για τις μέσες μηνιαίες παροχές των υδρομετρικών σταθμών Αλή Εφέντη, Κέδρου, Μουζακίου, Αμπελιάς και Σαρακήνας, καθώς και στις παρατηρήσεις στάθμης σε 11 γεωτρήσεις που εκτείνονται σε όλη την πεδινή περιοχή μελέτης. Τα περισσότερα δείγματα δεν καλύπτουν όλη την περίοδο ελέγχου. Για παράδειγμα, στον σταθμό του Κέδρου υπάρχουν μετρήσεις μόνο στη περίοδο της βαθμονόμησης, ενώ στο Μουζάκι μόνο την περίοδο της επαλήθευσης.

Στις αποκρίσεις του μοντέλου περιλαμβάνονται οι εκροές των τριών πηγών του υδροσυστήματος. Σύμφωνα με μελέτη του ΙΓΜΕ, η μέση μηνιαία παροχή των πηγών Κεφαλόβρυσου είναι της τάξης των  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ , ωστόσο εξαιτίας της συνεχούς ταπείνωσης της στάθμης που παρατηρείται στην περιοχή, η υδροφορία τους διακόπηκε στα μέσα της δεκαετίας του 1980. Όσον αφορά στις πηγές Μουργκανίου και Προδρόμου-Γοργυρίου, δεν υπάρχουν στοιχεία παροχής.

### 5.3.2 Διαμόρφωση στοχικής συνάρτησης

Για την επιτυχή αναπαράσταση ενός τόσο σύνθετου υδροσυστήματος, όπως της Δυτικής Θεσσαλίας, που περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό παραμέτρων, απαιτείται η χρήση πολλαπλών κριτηρίων ελέγχου, που αναφέρονται σε διάφορες αποκρίσεις του μοντέλου. Το λογισμικό ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ παρέχει ένα ευρύ φάσμα μέτρων προσαρμογής, που αξιοποιήθηκαν στο σύνολό τους στα πλαίσια της συγκεκριμένης εφαρμογής. Συγκεκριμένα, διαμορφώθηκε μια σύνθετη στοχική συνάρτηση, που περιλαμβάνει τις ακόλουθες συνιστώσες:

- την αποτελεσματικότητα (συντελεστές Nash-Sutcliffe) των χρονοσειρών μέσης μηνιαίας παροχής στις 5 θέσεις μέτρησης κατά μήκος του υδρογραφικού δικτύου (Αλή Εφέντη, Μουζάκι, Κέδρος, Αμπελιά, Σαρακήνα)·
- τη μεροληψία αναπαραγωγής της δειγματικής μέσης τιμής, στις παραπάνω θέσεις·
- τη μεροληψία αναπαραγωγής της εκτιμημένης μέσης τιμής στις πηγές Κεφαλόβρυσου·
- την αποτελεσματικότητα των χρονοσειρών στάθμης στις 11 γεωτρήσεις που εκτείνονται στο πεδινό τμήμα του υδροφορέα·
- μέτρα ποινής για την εμφάνιση τάσης στα υπόγεια κύτταρα, για τα οποία δεν υπάρχουν μετρήσεις.

Τα παραπάνω σταθμίστηκαν σε μια ενιαία αριθμητική έκφραση, χρησιμοποιώντας κατάλληλους συντελεστές βάρους, που τέθηκαν με τρόπο ώστε να δίνεται μεγαλύτερη έμφαση στην αναπαραγωγή των παροχών, που είναι και το πρωτεύον μέτρο ελέγχου της προγνωστικής αξιοπιστίας του μοντέλου. Οι συντελεστές διαφοροποιήθηκαν κατά τη διαδικασία βαθμονόμησης, μέχρι να βρεθούν τιμές που εξασφαλίζουν το επιθυμητό αποτέλεσμα για τα διάφορα κριτήρια.

### 5.3.3 Περιγραφή διαδικασίας βαθμονόμησης

Η βαθμονόμηση του μοντέλου έγινε σταδιακά, με συνδυασμό των αυτομάτων υπολογιστικών εργαλείων που παρέχει το λογισμικό ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ και της ανθρώπινης κρίσης. Στόχος ήταν η επίτευξη καλής προγνωστικής ικανότητας του μοντέλου, η οποία εξασφαλίζεται όχι μόνο από

ένα καλό αποτέλεσμα του μέτρου επίδοσης για την περίοδο βαθμονόμησης αλλά και για την περίοδο επαλήθευσης, ταυτόχρονα με εύλογες τιμές παραμέτρων, που είναι συμβατές με την εννοιολογική τους ερμηνεία. Η καλή προγνωστική ικανότητα αποτέλεσε κομβική συνιστώσα της όλης προσέγγισης, καθώς η κύρια χρήση του μοντέλου ήταν η γέννηση συνθετικών χρονοσειρών εισροών, οι οποίες είναι συνεπείς με την υδρολογική δίαιτα της περιοχής μελέτης και χρησιμοποιούνται για διαχειριστικούς σκοπούς, και όχι η απλή αναπαραγωγή του παρελθόντος.

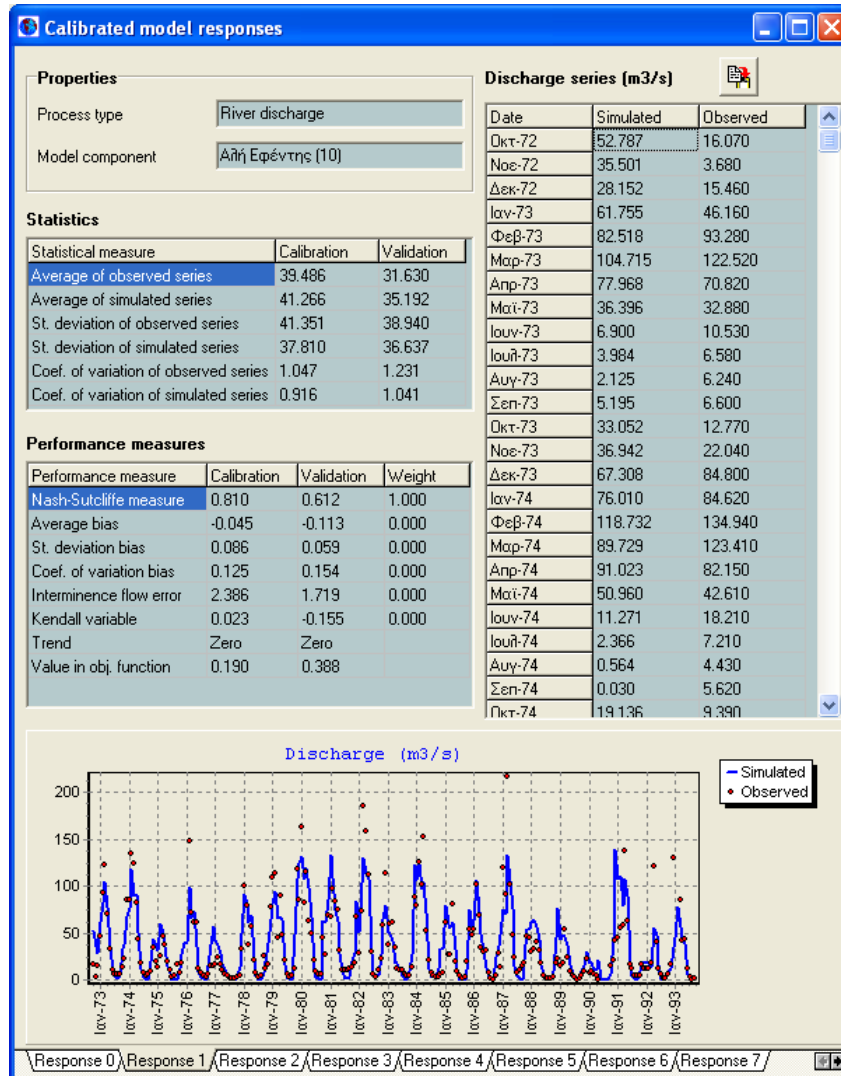
Εξαιτίας της μεγάλης διάστασης του πεδίου αναζήτησης, ήταν πρακτικά αδύνατη η ταυτόχρονη βελτιστοποίηση του συνόλου των παραμέτρων, καθώς για τον δεδομένο πληθυσμό αναζήτησης, ο αλγόριθμος εγκλωβιζόταν γρήγορα σε τοπικά ακρότατα. Από την άλλη πλευρά, αν χρησιμοποιούσαμε μεγαλύτερο μέγεθος πληθυσμού, θα απαιτούνταν τάξεις μεγέθους περισσότερες δοκιμές, κάτι που συνεπάγεται απαράδεκτα υψηλό υπολογιστικό φόρτο. Για το λόγο αυτό, η βελτιστοποίηση έγινε σε στάδια, ως εξής:

Αρχικά, εκτιμήθηκαν οι παράμετροι του μοντέλου επιφανειακής υδρολογίας, με έμφαση σε αυτές που επηρεάζουν σημαντικά την επιφανειακή απορροή, ώστε να επιτευχθεί μια λύση τέτοια που να προσαρμόζεται ικανοποιητικά στα πέντε ιστορικά υδρογραφήματα, με έμφαση στο υδρογράφημα του υδρομετρικού σταθμού Αλή Εφέντη, που ελέγχει το μεγαλύτερο μέρος των επιφανειακών υδατικών πόρων του υδροσυστήματος (Σχήμα 5.7). Όπως εξηγείται στο εδάφιο 5.2.5, η διαδικασία της βαθμονόμησης συνέβαλε και στην καλύτερη κατανόηση του συστήματος, καθώς βοήθησε στον εντοπισμό ορισμένων σφαλμάτων στη σχηματοποίηση, που αφορούν στη διαχείριση των χειμερινών εκροών του ταμιευτήρα Πλαστήρα και την αναπαράσταση της λειτουργίας του κατάντη τμήματος του Ενιπέα, στην περίπτωση που πραγματοποιούνται πλημμύρες.

Στη συνέχεια, με γνωστές, πλέον, τις παραμέτρους του επιφανειακού μοντέλου που καθορίζουν τις φορτίσεις των υπόγειων δεξαμενών (κατείσδυση, διήθηση, άντληση), εκτιμήθηκαν οι παράμετροι υδραυλικής αγωγιμότητας και η παράμετρος που αντιστοιχεί στο ενιαίο πορώδες του υπόγειου συστήματος, με στόχο την αναπαραγωγή των παρατηρημένων χρονοσειρών στάθμης. Στα τελευταία περίπτωση, ο έλεγχος της πιεζομετρίας ήταν λιγότερο αυστηρός, δεδομένης της πολυπλοκότητας του συστήματος αλλά και της αδρομερούς προσέγγισης που υιοθετήθηκε και αφορά στην ταύτιση των τοπικών παρατηρήσεων στάθμης με την μεταβλητή του μοντέλου που αναφέρεται στα κύτταρα. Επισημαίνεται ότι το υπόγειο σύστημα, όπως σχηματοποιήθηκε, έχει μια φυσική ιδιομορφία λόγω της κυκλοειδούς μορφής του, και η διαδικασία της βαθμονόμησης έγινε κατά περιοχή, επιλέγοντας τις σχετικές παραμέτρους υδραυλικής αγωγιμότητας και μεταβάλλοντας, κάποιες φορές, τις αρχικές στάθμες των δεξαμενών, ώστε να εξασφαλιστεί ροή συμβατή με την παρατηρημένη πιεζομετρία.

Εκτός των παρατηρήσεων στάθμης, ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στην ελαχιστοποίηση των μέτρων ποινής, που αναφέρονται στην εμφάνιση τάσης όσον αφορά στη στάθμη των υπόγειων δεξαμενών. Ιδιαίτερα στα περιμετρικά κύτταρα, που αναπαριστούν την κατείσδυση στους ορεινούς και ημιορεινούς όγκους, το μοντέλο προσπαθούσε να συγκεντρώσει νερά, προκειμένου να προσαρμοστεί στις παρατηρημένες στάθμες της πεδινής ζώνης. Μέρος του προβλήματος αποδόθηκε στην απουσία πηγών στο μοντέλο, που θα αναρρυθμίζαν την κατείσδυση στα ανάντη τμήματα της λεκάνης. Μετά από επίσκεψη στο Νομό Τρικάλων, εντοπίστηκαν οι πηγές Προδρόμου-Γοργυρίου, οι οποίες δεν αναφέρονταν σε προηγούμενες τεχνικές μελέτες και συμπεριλήφθηκαν στο υδροσύστημα. Η προσθήκη των πηγών, σε συνδυασμό με τη θέσπιση των

ποιών τάσης, παρόλο που δυσκόλεψε τη διαδικασία βαθμονόμησης, βοήθησε στην επίτευξη μιας εύλογης δίαιτας των υπόγειων νερών.



Σχήμα 5.7: Χαρακτηριστική φόρμα του λογισμικού ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ, όπου απεικονίζονται τα στατιστικά μεγέθη, τα κριτήρια προσαρμογής και οι χρονοσειρές παροχής (παρατηρημένη και προσομοιωμένη) στη θέση Αλή Εφέντη.

### 5.3.4 Βελτιστοποιημένες παράμετροι

Στο Πίνακα 5.5 δίνονται οι βέλτιστες τιμές των παραμέτρων του μοντέλου επιφανειακής υδρολογίας, που διαφοροποιούνται για κάθε μονάδα υδρολογικής απόκρισης (ΜΥΑ). Επιχειρώντας να δώσουμε μια φυσική ερμηνεία των τιμών αυτών, μπορούμε να πούμε τα εξής:

- Η μεγαλύτερη σε έκταση ΜΥΑ που είναι η 7 (ημιπερατά πετρώματα- αρδευόμενες εκτάσεις) έχει μικρό συντελεστή άμεσης απορροής, μικρή δεξαμενή εδαφικής υγρασίας και μικρή τιμή συντελεστή στείρευσης της κατείδυσης. Η πλημμυρική ροή λόγω κορεσμού φαίνεται ότι είναι η κυρίαρχη συνιστώσα της απορροής. Παρά τις μικρές κλίσεις των αρδευόμενων πεδινών εκτάσεων, που θα είχαν ως συνέπεια τη συγκέντρωση της απορροής, ύρα τη

διαμόρφωση μεγάλων δεξαμενών αποθήκευσης υγρασίας, παρατηρείται το ακριβώς αντίθετο. Μια ερμηνεία που μπορεί να δοθεί είναι η επίδραση του αποστραγγιστικού δικτύου, που κατά τη διάρκεια ισχυρών επεισοδίων βροχής λειτουργεί, στην πράξη, ως αντιπλημμυρικό έργο.

- Τα αδιαπέρατα πετρώματα (MYA 1, 2, 3) παρουσιάζουν μικρούς συντελεστές άμεσης απορροής και μικρούς συντελεστές στείρευσης κατείδυσης, που είναι φυσικό λόγω της ιδιομορφίας των πετρωμάτων αυτών.
- Οι δασικές εκτάσεις (MYA 3, 6, 9) χαρακτηρίζονται από μεγάλες χωρητικότητες δεξαμενών εδαφικής υγρασίας, που αιτιολογείται από την αυξημένη δυνατότητα κατακράτησης νερού.
- Τα περατά πετρώματα (MYA 4, 5, 6) εμφανίζουν μεγάλους συντελεστές στείρευσης κατείδυσης.

Οι βέλτιστες τιμές των συντελεστών διήθησης ήταν 7.9% στον Πηνειό, 5.0% στον Ενιπέα, 8.7% στον ανάντη κλάδο του Σοφαδίτη και 11.4% στον κατάντη κλάδο του, πριν τη συμβολή του με τον Φαρσαλιώτη. Πρόκειται για σημαντικές απώλειες νερού, που επιβεβαιώνουν τις εμπειρικές εκτιμήσεις της SOGREAH (1979).

Πίνακας 5.5: Βέλτιστες τιμές παραμέτρων μοντέλου επιφανειακής υδρολογίας.

MYA	Συντελεστής άμεσης απορροής	Χωρητικότητα εδαφικής υγρασίας (mm)	Κατώφλι παραγωγής υποδερμικής ροής	Συντελεστής στείρευσης υποδερμικής ροής	Συντελεστής στείρευσης κατείδυσης
1	0.034	700.0	0.837	0.470	0.308
2	0.013	789.2	0.128	0.117	0.082
3	0.048	428.8	0.213	0.335	0.106
4	0.405	796.0	0.562	0.531	0.418
5	0.200	322.9	0.350	0.538	0.254
6	0.029	713.8	0.655	0.441	0.500
7	0.034	289.0	0.318	0.373	0.060
8	0.072	602.7	0.448	0.633	0.033
9	0.107	838.2	0.636	0.680	0.370

Όσον αφορά στις παραμέτρους του μοντέλου υπόγειας υδρολογίας, αναφέρονται στο πορώδες του υδροφορέα (ενιαίο για όλη τη λεκάνη) και την υδραυλική αγωγιμότητα των κυττάρων του. Η βέλτιστη τιμή του πορώδους προέκυψε ίση με 13.7%, που είναι αρκετά υψηλή, υποδηλώνοντας ότι μεγάλες μεταβολές της στάθμης αντιστοιχούν σε μεγάλες μεταβολές των αποθεμάτων. Οι υψηλές τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας, και συνεπώς ταχύτητες ροής των υπόγειων νερών, εμφανίζονται στα ανάντη του υδροφορέα (περιοχή Τρικάλων), καθώς και στα κατάντη κύτταρα, κοντά στην έξοδο του υδροσυστήματος. Αντίθετα, μικρές τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας εμφανίζονται στην υπόλοιπη περιοχή (Καρδίτσα, Φθιώτιδα), όπου και μειώνονται οι ταχύτητες υπόγειας ροής σε σύγκριση με τη βόρεια περιοχή. Αυτό είναι συμβατό με τις παρατηρήσεις των υδρογεωλόγων, όπως φαίνεται και από το πιεζομετρικό χάρτη του Σχήματος 5.4, αριστερά.

Αν και, λόγω της πολυπλοκότητας του συστήματος (αβεβαιότητες σχηματοποίησης, αδρή περιγραφή διεργασιών, σφάλματα μετρήσεων), δεν είναι δυνατό να δοθεί πλήρης ερμηνεία για



κάθε παράμετρο του μοντέλου, φαίνεται γενικά να υπάρχει συμβατότητα των βελτιστοποιημένων τιμών με τα γενικά χαρακτηριστικά της λεκάνης. Το γεγονός αυτό τεκμηριώνει τις αρχές ανάπτυξης του μοντέλου ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ, δηλαδή την εξασφάλιση φυσικής συνέπειας με ταυτόχρονη διατήρηση μιας φειδωλής παραμετροποίησης.

### 5.3.5 Βελτιστοποιημένες χρονοσειρές απόκρισης

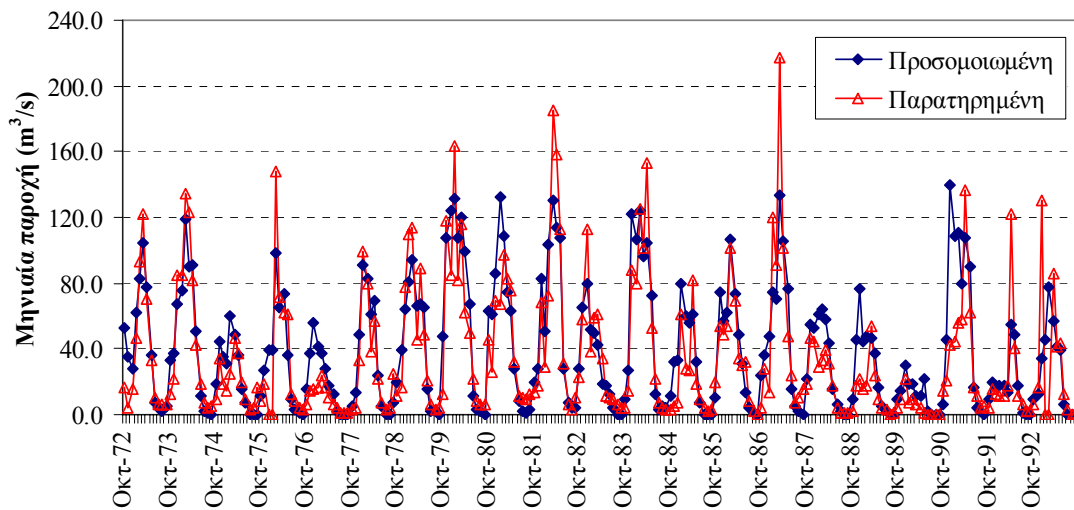
Οι χρονοσειρές απόκρισης, βάσει των οποίων γίνεται ο έλεγχος της προσαρμογής του μοντέλου, αναφέρονται στις παροχές κατάντη των πέντε υδρομετρικών σταθμών, στην παροχή των πηγών Κεφαλόβρυσου και τη στάθμη 11 κυττάρων. Στον Πίνακα 5.6 δίνονται τα αποτελέσματα για τα πέντε υδρογραφήματα, όσον αφορά στο κριτήριο αποτελεσματικότητας, για τις περιόδους βαθμονόμησης και επαλήθευσης, ενώ η γραφική σύγκριση των παρατηρημένων και προσομοιωμένων τιμών γίνεται στα Σχήματα 5.8 έως 5.12.

Πίνακας 5.6: Βέλτιστες τιμές αποτελεσματικότητας για τα υδρογραφήματα στις πέντε θέσεις ελέγχου.

Θέση ελέγχου	Περίοδος βαθμονόμησης	Περίοδος επαλήθευσης
Αλή Εφέντη	0.810	0.612
Σαρακίνα	0.374	0.839
Μουζάκι	–	0.577
Αμπελιά	0.385	0.241
Κέδρος	0.687	–

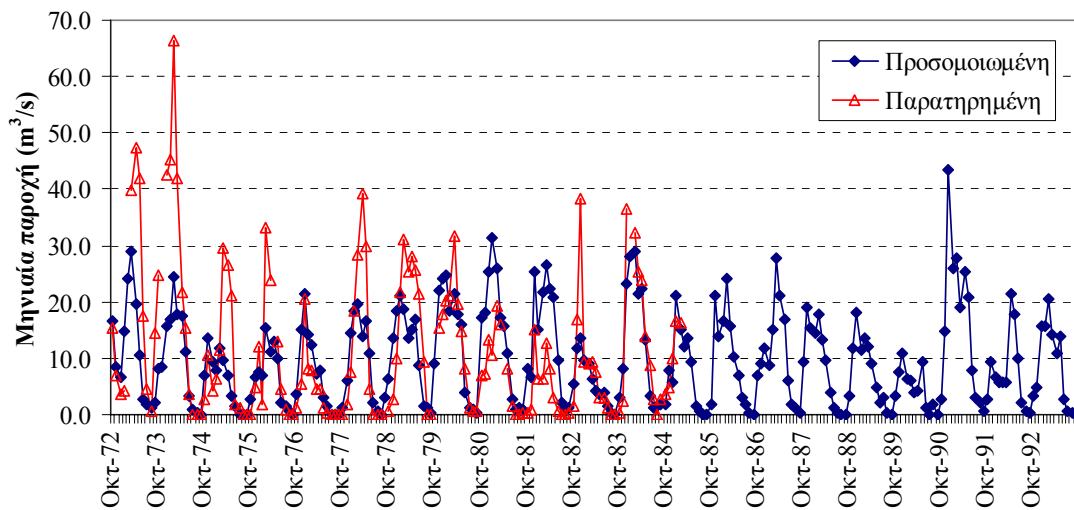
Επιχειρώντας μια συνολική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που αφορούν στην αναπαραγωγή των παρατηρημένων χρονοσειρών παροχής μπορούμε να πούμε τα εξής:

- Το μοντέλο αναπαράγει με αρκετά μεγάλη ακρίβεια το υδρογράφημα στη θέση του υδρομετρικού σταθμού Αλή Εφέντη στον Πηνεϊό (Σχήμα 5.8), κάτι που αποτέλεσε τον πρωτεύοντα στόχο της βαθμονόμησης. Αυτό τεκμηριώνεται από την υψηλή τιμή του δείκτη αποτελεσματικότητας κατά την περίοδο βαθμονόμησης (81.0%) και την αρκετά ικανοποιητική τιμή του κατά την περίοδο επαλήθευσης (61.2%). Υπενθυμίζεται ότι η θέση αυτή βρίσκεται πολύ κοντά στην έξοδο του υδροσυστήματος, και συνεπώς επηρεάζεται σημαντικά από την εξωτερική προσφορά νερού που προέρχεται από τις εκροές του ταμειυτήρα Πλαστήρα, τις απολήψεις που πραγματοποιούνται κατά τη θερινή περίοδο και τη δίαιτα των πλημμυρών του Ενιπέα.

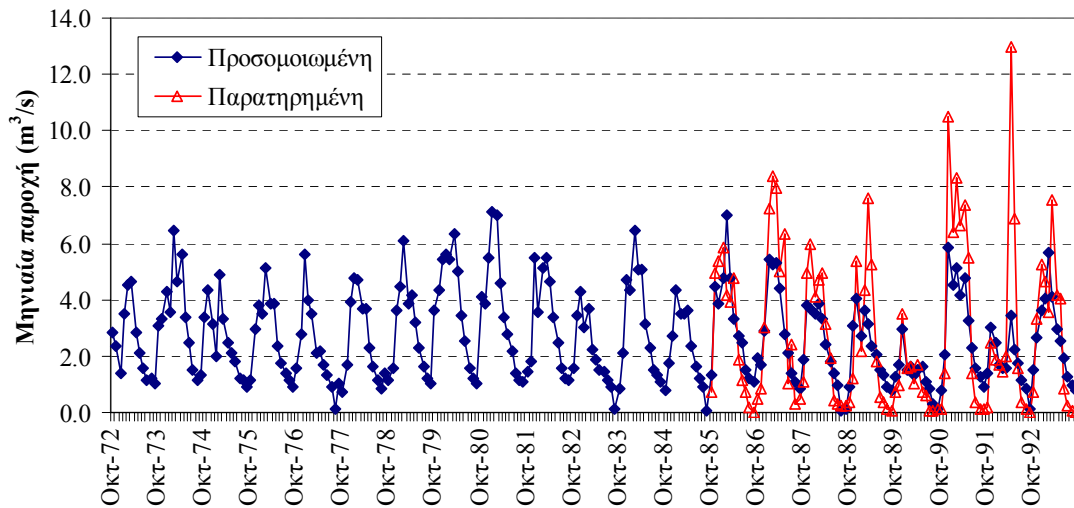


Σχήμα 5.8: Παρατηρημένη και προσομοιωμένη μέση μηνιαία παροχή στη θέση Αλή Εφέντη.

- Η αναπαραγωγή των παρατηρημένων παροχών στη Σαρακήνα χαρακτηρίζεται μέτρια, όπως φαίνεται από τη χαμηλή τιμή του μέτρου αποτελεσματικότητας κατά την περίοδο βαθμονόμησης, που φτάνει στο 37.4%. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα του Σχήματος 5.9, οι πλέον έντονες αποκλίσεις εμφανίζονται την εαρινή περίοδο των ετών 1972, 1973, 1974, 1975 και 1977, που αιτιολογείται όχι μόνο από τη μειωμένη αξιοπιστία των μετρήσεων του σταθμού αλλά και από το γεγονός ότι στην εκτίμηση των κατακρημνίσεων δεν έχει ληφθεί υπόψη η συνεισφορά της τήξης του χιονιού. Όσον αφορά στην επαλήθευση, η αποτελεσματικότητα του μοντέλου φτάνει στα υψηλά επίπεδα του 83.9%, ωστόσο το μήκος της δείγματος είναι σχετικά μικρό (Οκτώβριος 1982-Φεβρουάριος 1985). Επισημαίνεται ότι, παρά τα προβλήματα που εμφανίζει, ο συγκεκριμένος σταθμός συμπεριλήφθηκε στη σχηματοποίηση γιατί ελέγχει την ανάντη ορεινή λεκάνη του Πηνειού, που είναι πρακτικά αδιατάρακτη από ανθρωπογενείς επεμβάσεις.



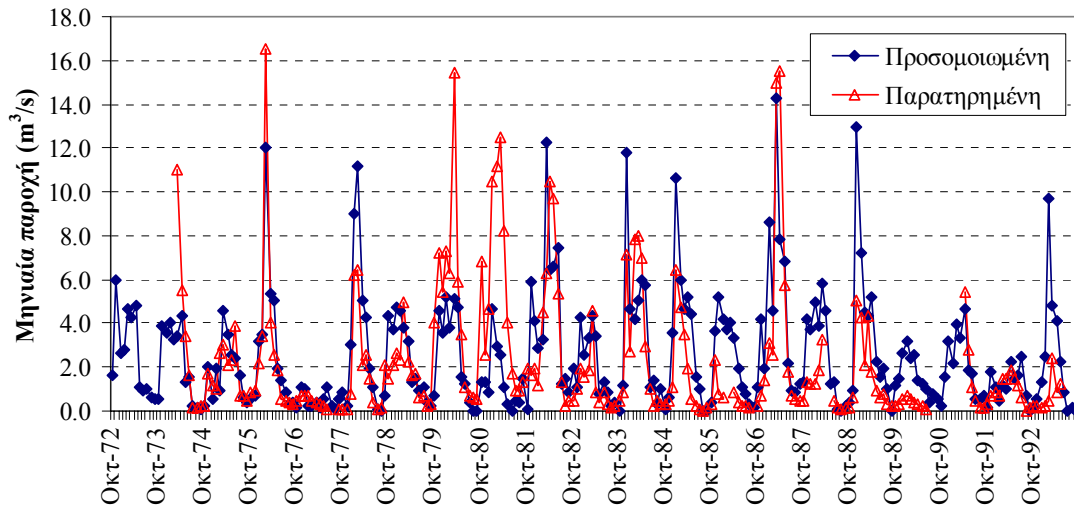
Σχήμα 5.9: Παρατηρημένη και προσομοιωμένη μέση μηνιαία παροχή στη θέση Σαρακίνα.



Σχήμα 5.10: Παρατηρημένη και προσομοιωμένη μέση μηνιαία παροχή στη θέση Μουζάκι.

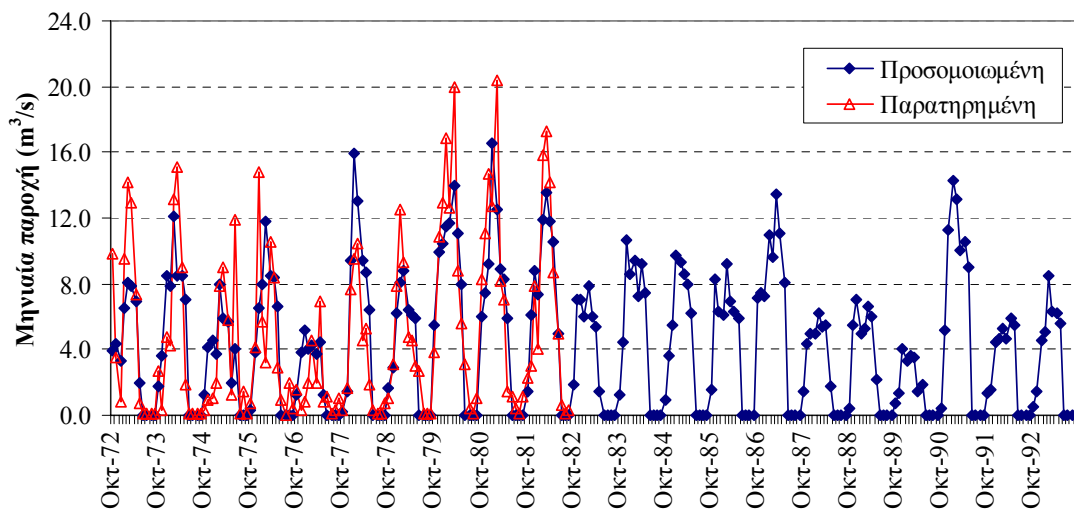
- Ο έλεγχος της προσαρμογής του μοντέλου στη θέση Μουζάκι του Παμίσου (Σχήμα 5.10) αναφέρεται αποκλειστικά στην περίοδο επαλήθευσης, και συνεπώς δεν «κατευθύνεται» από τη διαδικασία βελτιστοποίησης. Για το λόγο αυτό, πρόκειται για μια σημαντική πληροφορία, που αποτελεί τεκμήριο της προγνωστικής ικανότητας του μοντέλου. Για την εν λόγω περίοδο, η τιμή του δείκτη αποτελεσματικότητας φτάνει στο 57.7%, και χαρακτηρίζεται σχετικά ικανοποιητική. Μάλιστα, η τιμή του δείκτη επηρεάζεται δραστικά από την αδυναμία αναπαραγωγής των έντονων αιχμών της εαρινής περιόδου των ετών 1990 και 1991 (κυρίως), που, όπως και στην περίπτωση της Σαρακίνας, μπορεί να αποδοθεί στη συνεισφορά του χιονιού, η οποία δεν έχει ληφθεί υπόψη στο μοντέλο, χωρίς να αποκλείεται να πρόκειται για κάποιο σφάλμα στα δεδομένα (στον Αλή Εφέντη, δεν παρατηρούνται αντίστοιχα έντονες αιχμές).

- Η προσαρμογή του μοντέλου στη θέση Αμπελιά του Ενιπέα (Σχήμα 5.11) αποτέλεσε εξ αρχής μία από τις πλέον δύσκολες συνιστώσες της διαδικασίας βαθμονόμησης, εξαιτίας των πολλαπλών σφαλμάτων που χαρακτηρίζουν τα πρωτογενή δείγματα στα οποία στηρίχθηκε η κατάρτιση της παρατηρημένης χρονοσειράς μέσης μηνιαίας παροχής. Εύλογα λοιπόν προέκυψαν οι αρκετά χαμηλές τιμές του δείκτη αποτελεσματικότητας, τόσο κατά την περίοδο βαθμονόμησης (38.5%) όσο και κατά την περίοδο επαλήθευσης (28.1%).



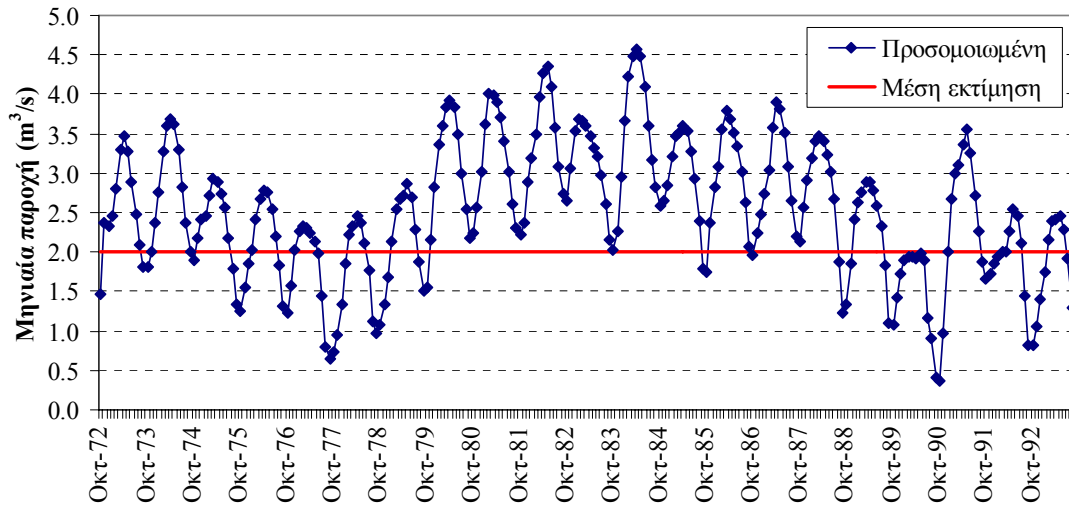
Σχήμα 5.11: Παρατηρημένη και προσομοιωμένη μέση μηνιαία παροχή στη θέση Αμπελιά.

- Τέλος, η προσαρμογή του μοντέλου στη θέση Κέδρος του Σοφαδίτη (Σχήμα 5.12) κρίνεται αρκετά καλή για την περίοδο βαθμονόμησης, με τον μέτρο αποτελεσματικότητας να φτάνει στα επίπεδα του 68.7%. Για την περίοδο επαλήθευσης δεν υπάρχουν μετρήσεις, καθώς στο διάστημα εκείνο κατασκευαζόταν το φράγμα Σμοκόβου, λίγο ανάντη του υδρομετρικού σταθμού.



Σχήμα 5.12: Παρατηρημένη και προσομοιωμένη μέση μηνιαία παροχή στη θέση Κέδρος.

Μια άλλη συνιστώσα ελέγχου του μοντέλου αναφέρεται στην αναπαραγωγή μιας μέσης εκτίμησης της παροχής των πηγών Κεφαλόβρυσου, δεδομένου ότι δεν υπάρχουν υδρομετρικά στοιχεία που να επιτρέπουν την κατάρτιση πλήρων χρονοσειρών. Η μέση προσομοιωμένη τιμή ανέρχεται σε 2.5 m<sup>3</sup>/s, και είναι απόλυτα συνεπής με τη χονδροειδή εκτίμηση του ΙΓΜΕ, που αναφέρει τιμή της τάξης των 2.0 m<sup>3</sup>/s. Επιπλέον, όπως διακρίνουμε στο Σχήμα 5.13, εμφανίζεται μια σαφής τάση μείωσης της παροχής στο τέλος της περιόδου επαλήθευσης, στοιχείο το οποίο επιβεβαιώνεται στη μελέτη του ΙΓΜΕ, όπου αναφέρεται ότι οι πηγές στερεύουν προς τα τέλη της δεκαετίας του 1980.



Σχήμα 5.13: Μέση εκτίμηση και προσομοιωμένη μέση μηνιαία παροχή πηγών Κεφαλόβρυσου.

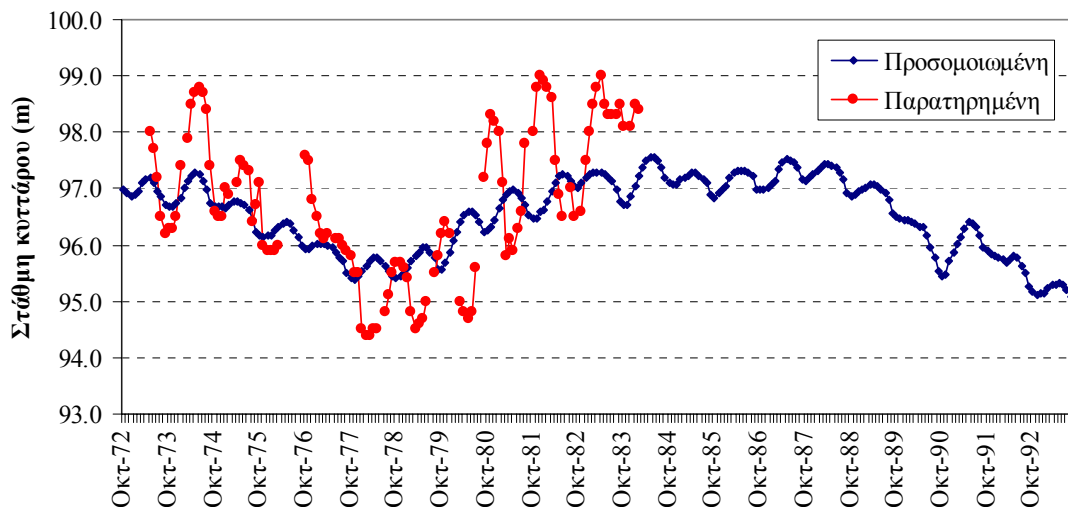
Η τελευταία κατηγορία δεδομένων ελέγχου αφορά στις χρονοσειρές στάθμης των 11 κυττάρων της πεδινής περιοχής, οι τιμές των οποίων θεωρείται ότι αντιπροσωπεύονται από τις παρατηρήσεις στις αντίστοιχες γεωτρήσεις. Βεβαίως, κάτι τέτοιο δεν είναι απόλυτα σωστό, δεδομένου ότι μια γεώτρηση καταγράφει τη δίαιτα του υδροφορέα σε μικρή χωρική κλίμακα, αρκετά μικρότερη από την τυπική έκταση των κυττάρων. Κατά συνέπεια, ζητούμενο της βαθμονόμησης είναι όχι τόσο η ακριβής προσαρμογή των αποκρίσεων του μοντέλου στα ιστορικά δείγματα αλλά η αναπαραγωγή των γενικών χαρακτηριστικών της δίαιτας του υδροφορέα για την περίοδο ελέγχου, όπως αυτή αποτυπώνεται από τις ιστορικές παρατηρήσεις στάθμης.

Στα Σχήματα 5.14 έως 5.17 παρουσιάζονται τέσσερα αντιπροσωπευτικά διαγράμματα, στα οποία συγκρίνονται οι προσομοιωμένες και παρατηρημένες στάθμες αντίστοιχων κυττάρων, που εκτείνονται σε διαφορετικές περιοχές του υδροφορέα. Γενικά, το μοντέλο παρακολουθεί με ικανοποιητική ακρίβεια τη δίαιτα του υδροφορέα, παρόλο που δεν επιτυγχάνει αντίστοιχα μεγάλη διακύμανση στις στάθμες. Αυτό βεβαίως οφείλεται στη διαφορετική χωρική κλίμακα της μέτρησης σε σχέση με την μεταβλητή του μοντέλου.

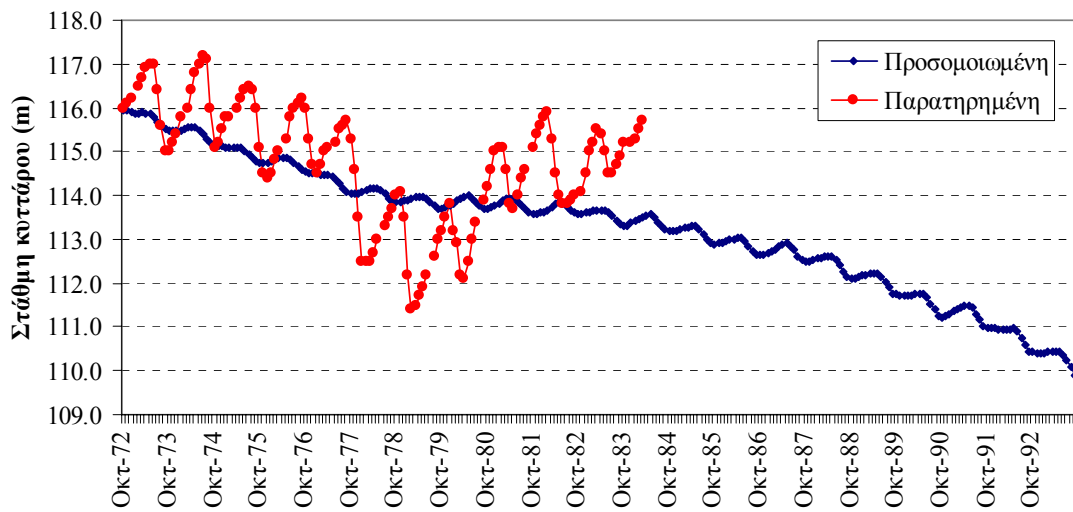
Οι μετρήσεις στάθμης καλύπτουν σχεδόν όλη την περίοδο βαθμονόμησης, και πολύ μικρό μέρος της περιόδου επαλήθευσης. Στα μέσα της δεκαετίας του 1970 παρατηρείται μια σημαντική ταπείνωση της πιεζομετρίας, την οποία ακολουθεί μια εξίσου σημαντική ανάκαμψη. Το φαινόμενο αυτό αποδίδεται στην αλληλουχία ξηρών και υγρών ετών, και αναπαρίσταται επαρκώς

από το μοντέλο. Από τα μέσα της δεκαετίας του 1980, και μέχρι το πέρας της περιόδου ελέγχου (Σεπτέμβριος 1994), οπότε δεν υπάρχουν πιεζομετρικές παρατηρήσεις, το μοντέλο δείχνει μια συστηματική πτώση στάθμης για το σύνολο των κυττάρων, που σε ορισμένες περιπτώσεις (κυρίως στην περιοχή των Σοφάδων) ξεπερνά τα επίπεδα των 10 m. Μια τέτοια συστηματική πτώση θα πρέπει να αποδοθεί όχι μόνο στις κλιματικές συνθήκες (έμμονη ξηρασία ετών 1988-1994) αλλά και στη σημαντική αύξηση των αρδευτικών αντλήσεων. Επισημαίνεται ότι στην περιοχή αυτή υπάρχουν οι μεγαλύτερες αρδευτικές ανάγκες, που σε συνδυασμό με την απουσία έργων αξιοποίησης των επιφανειακών νερών (τουλάχιστον μέχρι πρόσφατα, οπότε κατασκευάστηκε ο ταμιευτήρας Σμοκόβου) έχει οδηγήσει στην υπερεκμετάλλευση του υδροφορέα, προκαλώντας σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα.

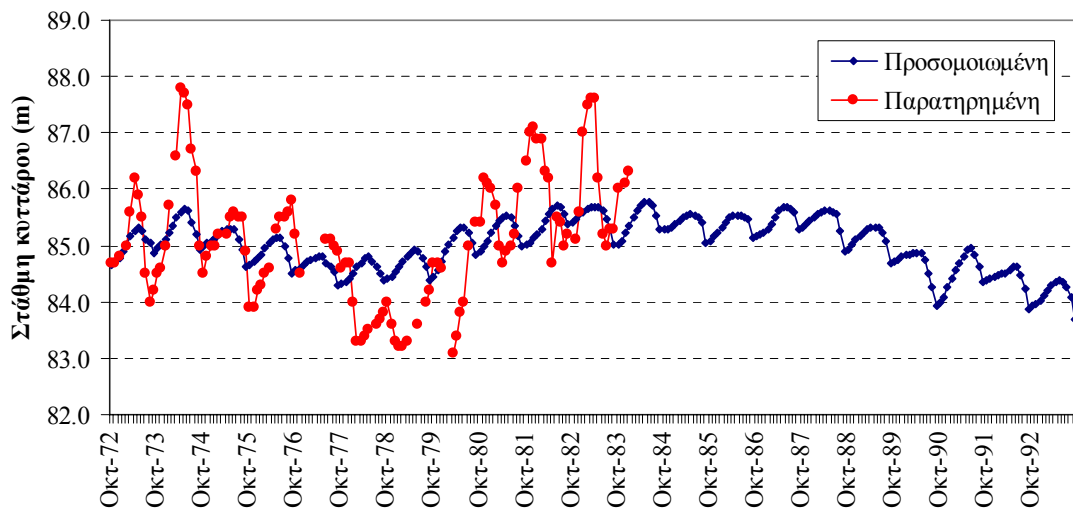
Συνοψίζοντας, μπορούμε να πούμε ότι η προσαρμογή του μοντέλου ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ για την εικοσαετία ελέγχου είναι πολύ ικανοποιητική, δεδομένου ότι γίνεται απόπειρα αναπαραγωγής ενός μεγάλου αριθμού μεταβλητών απόκρισης, με βάση δείγματα παρατηρήσεων μέτριας αξιοπιστίας (όσον αφορά στα επιφανειακά νερά) ή δείγματα που δεν ανταποκρίνονται πλήρως στη χωρική κλίμακα του μοντέλου (όσον αφορά στα υπόγεια νερά). Μάλιστα, κατά την περίοδο επαλήθευσης, το μοντέλο δείχνει να συμβαδίζει με τα ιστορικά δεδομένα (όπου υπάρχουν μετρήσεις) αλλά και με τις εμπειρικές παρατηρήσεις, καταδεικνύοντας έτσι την καλή προγνωστική του ικανότητα. Επιπλέον, με βάση τη διερεύνηση του εδαφίου 5.3.4, οι βελτιστοποιημένες παράμετροι του μοντέλου είναι συμβατές με την εννοιολογική τους ερμηνεία, καθώς οι τιμές τους κρίνονται εύλογες ως προς τα φυσικά χαρακτηριστικά του υδροσυστήματος που αντιπροσωπεύουν.



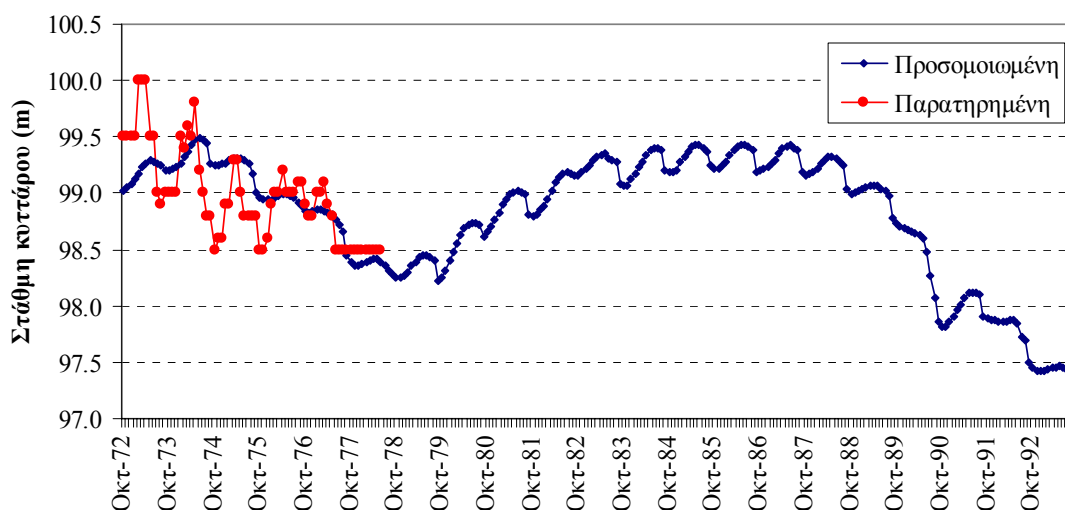
Σχήμα 5.14: Παρατηρημένη στάθμη γεώτρησης Κυψέλης Σοφάδων και προσομοιωμένη στάθμη κυττάρου 21.



Σχήμα 5.15: Παρατηρημένη στάθμη γεώτρησης Νέο Μοναστηρίου Φθιώτιδας και προσομοιωμένη στάθμη κυττάρου 28.



Σχήμα 5.16: Παρατηρημένη στάθμη γεώτρησης Βλοχού Καρδίτσας και προσομοιωμένη στάθμη κυττάρου 21.



Σχήμα 5.17: Παρατηρημένη στάθμη γεώτρησης Παλαιοκλησίου Καρδίτσας και προσομοιωμένη στάθμη κυττάρου 16.

### 5.3.6 Υδατικό ισοζύγιο υδροσυστήματος

Το μοντέλο ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ αναπαράγει τα μεγέθη του υδατικού ισοζυγίου για όλες τις συνιστώσες του συστήματος, τα οποία ολοκληρώνει σε όλη της έκταση της λεκάνης. Τα μέσα ετήσια μεγέθη των υδρολογικών μεταβλητών για την εικοσαετία 1972-73 έως 1992-93 δίνονται στον Πίνακα 5.7.

Επισημαίνεται ότι η περιοχή μελέτης δεν είναι ένα κλειστό υδρολογικό σύστημα, αφού δέχεται επιφανειακές εισροές από εξωτερικές λεκάνες (μέσω του ταμιευτήρα Πλαστήρα), καθώς και υπόγειες εισροές από τους ορεινούς περιμετρικούς όγκους, ενώ εκφορτίζεται προς την πλευρά της Ανατολικής Θεσσαλίας, με το μέτωπο των υπόγειων εκφορτίσεων να είναι, προφανώς, μη ελεγχόμενο. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η κατάρτιση υδατικών ισοζυγίων είναι ιδιαίτερα επισφαλής,

Πίνακας 5.7: Μέσα ετήσια μεγέθη υδατικού ισοζυγίου λεκάνης Δυτικής Θεσσαλίας.

Μεταβλητή ισοζυγίου	Ισοδύναμο ύψος (mm)	Όγκος νερού (hm <sup>3</sup> )
Βροχόπτωση	842.2	5126.8
Εισροές από Πλαστήρα	24.9	151.5
Πραγματική εξατμοδιαπνοή	476.0	2897.7
Κατείδυση	183.2	1115.2
Διηθήσεις ποταμών	20.0	121.7
Επιφανειακή απορροή	259.1	1577.4
Απορροή πηγών	16.4	99.6
Συνολικές απολήψεις	60.0	365.5
Αντλήσεις	27.7	168.6
Απορροή εξόδου	242.6	1477.0



Έχοντας υπόψη τις παραπάνω δυσκολίες, επιχειρείται η εξαγωγή ορισμένων συμπερασμάτων σχετικά με την υδρολογική συμπεριφορά της λεκάνης:

- Από τα 842.2 mm της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης στη λεκάνη, τα 476.0 mm καταναλίσκονται σε απώλειες λόγω εξατμοδιαπνοής, ποσοστό δηλαδή 56.5%, που είναι τυπικό για τις ελληνικές κλιματικές συνθήκες.
- Η επιφανειακή απορροή ανέρχεται σε 259.1 mm (σε αυτή περιλαμβάνεται και μια μικρή, σχετικά, ποσότητα που προέρχεται από τις χειμερινές εκροές του Πλαστήρα), ενώ η συνεισφορά των πηγών σε μόλις 16.4 mm, κάτι που είναι αναμενόμενο αφού στην περιοχή δεν αναπτύσσονται σημαντικές πηγές.
- Η συνολική απορροή, επιφανειακή και υπόγεια, ανέρχεται σε 275.5 mm, συνεπώς ο υπερετήσιος συντελεστής απορροής της λεκάνης εκτιμάται σε  $275.5 / 842.2 = 32.7\%$ . Η τιμή αυτή είναι τυπική για τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, όπου κυριαρχούν ημιπερατά πετρώματα. Επισημαίνεται ότι ο αντίστοιχος συντελεστής στη γειτονική λεκάνη του Αχελώου κυμαίνεται στα επίπεδα του 70%, λόγω του υγρού κλίματος, σε συνδυασμό με την έντονη ανάπτυξη αδιαπέρατων σχηματισμών (φλύσχης).
- Αν από στη συνολική απορροή (275.5 mm) προστεθούν οι εκροές του Πλαστήρα (24.9 mm) και στη συνέχεια αφαιρεθούν οι απώλειες λόγω διήθησης (20.0 mm) και η απορροή που καταλήγει στην έξοδο του συστήματος (242.6 mm), τότε η διαφορά που μένει, δηλαδή τα 12.9 mm ή  $78.2 \text{ hm}^3$ , αναφέρεται στις απολήψεις που πραγματοποιούνται από επιφανειακά νερά.
- Αν από τις συνολικές απολήψεις ( $365.5 \text{ hm}^3$ ) αφαιρεθούν οι απολήψεις από επιφανειακά νερά ( $78.2 \text{ hm}^3$ ) και οι αντλήσεις ( $168.6 \text{ hm}^3$ ), προκύπτει μια διαφορά  $118.6 \text{ hm}^3$ , που προέρχεται από τη συνεισφορά των υδατικών πόρων του Πλαστήρα.

Από την ανάλυση του υδατικού ισοζυγίου προκύπτει ότι, κατά μέσο όρο, οι υδατικές ανάγκες της περιοχής καλύπτονται κατά 21.4% από επιφανειακά νερά (απευθείας απολήψεις από τα υδατορεύματα της περιοχής), κατά 46.1% από γεωτρήσεις και κατά 32.5% από εξωτερικά νερά, που προέρχονται από τον ταμιευτήρα Πλαστήρα. Ωστόσο, σε περιόδους χαμηλής υδροφορίας, οπότε και η φυσική τροφοδοσία του υδροφορέα λόγω κατεισδύσεων είναι μειωμένη, η συνεισφορά των υπόγειων νερών είναι ακόμη μεγαλύτερη, με συνέπεια τη σημαντική ταπείνωση της στάθμης στις πεδινές, αρδευόμενες περιοχές του υδροσυστήματος.

### 5.3.7 Διαχειριστικά συμπεράσματα

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα της προσαρμογής του μοντέλου ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ στα υδρολογικά δεδομένα της πιλοτικής περιοχής της Καρδίτσας, όπου και έγινε αναλυτικότερη περιγραφή του υδροσυστήματος, επισημαίνονται τα παρακάτω σημεία:

- Κατά την περίοδο 1972-1993, οι αρδευτικές ανάγκες του υδροσυστήματος αυξάνονται συνεχώς, χωρίς ωστόσο να ολοκληρώνονται τα αναγκαία έργα υποδομής, με συνέπεια να παρατηρείται υπερεκμετάλλευση του υδροφορέα.
- Η εξέλιξη της επανατροφοδοσίας του υπόγειου υδροφορέα είναι πολύ μικρότερη σε σύγκριση με την εξέλιξη των αρδευτικών αναγκών του κάθε κόμβου ζήτησης.
- Ο δυσμενέστερος κόμβος ως προς την κατανάλωση υπόγειων νερών είναι αυτός των Σοφάδων, που αντιπροσωπεύει τη μεγαλύτερη αρδευόμενη έκταση της περιοχής.

- Η λίμνη Πλαστήρα αρδεύει πολλαπλάσια στρέμματα από το αρχικό σχεδιασμό της. Επιπλέον, έχουν κατασκευαστεί αρδευτικά έργα, όπως του Μεσενικόλα και του Ξυνονερίου, χωρίς να υπάρχει ολοκληρωμένο διαχειριστικό σχέδιο, με συνέπεια τη μη ορθολογική χρήση των αποθεμάτων του ταμιευτήρα.

Η έρευνα κατέδειξε την αναγκαιότητα της ύπαρξης συστηματικών μετρήσεων σε αντιπροσωπευτικά σημεία του υδροσυστήματος. Η βελτίωση όχι μόνο της ποσότητας αλλά και της ποιότητας της διαθέσιμης πληροφορίας αποτελεί αναγκαία προϋπόθεση για την αξιόπιστη μοντελοποίηση των ιδιαίτερα σύνθετων διεργασιών, φυσικών και ανθρωπογενών. Σε κάθε περίπτωση, με το μοντέλο ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ επιχειρήθηκε για πρώτη φορά μια τόσο εκτενής ανάλυση της υδρολογικής δίαιτας της λεκάνης, σε συνδυασμό με την επίδραση σε αυτή των διαχειριστικών πρακτικών. Η εφαρμογή του μοντέλου συνέβαλε στην ολιστική αντιμετώπιση του διαχειριστικού προβλήματος της περιοχής, με συνδυασμένη χρήση του συγκεκριμένου μοντέλου με τα υπόλοιπα εργαλεία που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια του έργου (ΚΑΣΤΑΛΙΑ, ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ).

## **5.4 Παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών με το λογισμικό ΚΑΣΤΑΛΙΑ**

### **5.4.1 Θεωρητικό υπόβαθρο μοντέλου**

Από την πληθώρα των πηγών αβεβαιότητας που διέπει την λειτουργία ενός υδροσυστήματος, σημαντικότερη είναι η υδρολογική, που οφείλεται στην αδυναμία πρόβλεψης της εξέλιξης των υδρομετεωρολογικών διεργασιών, η χαοτική συμπεριφορά των οποίων καθιστά ανέφικτη την πραγματοποίηση ασφαλών προγνώσεων για χρονικό ορίζοντα πέρα των λίγων ημερών. Η αδυναμία αυτή, σε συνδυασμό με την απαίτηση ποσοτικοποίησης της αβεβαιότητας και του ρίσκου στη λήψη των αποφάσεων επιβάλλει την θεώρηση των υδρολογικών διεργασιών ως τυχαίων μεταβλητών και την αντιμετώπισή τους με τη θεωρία των στοχαστικών ανελίξεων. Η εν λόγω προσέγγιση υλοποιείται μέσω του λογισμικού ΚΑΣΤΑΛΙΑ, που εφαρμόζεται για την γέννηση συνθετικών χρονοσειρών, οι οποίες αναπαράγουν τη στατιστική εξάρτηση και τα στατιστικά χαρακτηριστικά των υδρολογικών διεργασιών.

Το μαθηματικό υπόβαθρο της ΚΑΣΤΑΛΙΑΣ υποστηρίζει ένα σχήμα στοχαστικής προσομοίωσης πολλών μεταβλητών και δύο χρονικών επιπέδων, ετήσιου και μηνιαίου. Η πολυμεταβλητή ανάλυση εξασφαλίζει την ταυτόχρονη προσομοίωση υδρολογικών διεργασιών, οι οποίες εμφανίζουν σημαντική στοχαστική εξάρτηση λόγω της προφανούς συγγένειας της ταυτόχρονης υδρολογικής δίαιτας σε γειτονικές θέσεις ή λεκάνες. Από την άλλη πλευρά, η ανάλυση δύο χρονικών επιπέδων επιτρέπει τη χρήση διαφορετικών μοντέλων στοχαστικής ανάλυσης των ετήσιων και μηνιαίων υδρολογικών διεργασιών, με στόχο την ακριβέστερη περιγραφή των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους, που είναι η εμμονή και η περιοδικότητα αντίστοιχα. Το μοντέλο αναπαράγει όλα τα ουσιώδη στατιστικά χαρακτηριστικά των ιστορικών δειγμάτων (περιθώριες και από κοινού συναρτήσεις κατανομής), καθώς και το ιδιαίτερα κρίσιμο φαινόμενο της υδρολογικής εμμονής. Το τελευταίο υποδηλώνει την αλληλουχία μακρών περιόδων υψηλής και, ομοίως, χαμηλής υδροφορίας, η οποία συνδέεται με τις παρατεταμένες ξηρασίες και την κλιματική μεταβλητότητα.

### 5.4.2 Ιστορικές χρονοσειρές

Είσοδος του μοντέλου της ΚΑΣΤΑΛΙΑΣ είναι ιστορικά υδρολογικά δείγματα, όχι κατ' ανάγκη κοινού μήκους, που αναφέρονται στις διεργασίες των οποίων ζητείται η στοχαστική προσομοίωση. Πρόκειται για τις επιφανειακές βροχοπτώσεις όλων των υπολεκανών (12 συνολικά) του υδρογραφικού δικτύου που αναπαρίστανται στην ΥΔΡΟΓΕΙΟ, καθώς και τις χρονοσειρές απορροής και βροχόπτωσης στον ταμιευτήρα Πλαστήρα, που εντάσσεται στο ευρύτερο υδροσύστημα που εξετάζεται στα διαχειριστικά σενάρια του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ. Οι ιστορικές χρονοσειρές, εκφρασμένες σε ισοδύναμα ύψη νερού (mm), δίνονται στον Πίνακα 5.8.

Πίνακας 5.8: Μεταβλητές εισόδου μοντέλου ΚΑΣΤΑΛΙΑ.

Υδρολογική μεταβλητή	Ιστορικό δείγμα	Μέσο ετήσιο ύψος (mm)
Βροχόπτωση ταμιευτήρα Πλαστήρα	10/1961-9/1993	1332.1
Απορροή ταμιευτήρα Πλαστήρα	10/1961-9/2001	1018.8
Επιφανειακή βροχόπτωση υπολεκάνης 1	10/1972-9/1993	568.1
Επιφανειακή βροχόπτωση υπολεκάνης 2	10/1972-9/1993	847.7
Επιφανειακή βροχόπτωση υπολεκάνης 3	10/1972-9/1993	1044.9
Επιφανειακή βροχόπτωση υπολεκάνης 4	10/1972-9/1993	577.1
Επιφανειακή βροχόπτωση υπολεκάνης 5	10/1972-9/1993	622.2
Επιφανειακή βροχόπτωση υπολεκάνης 6	10/1972-9/1993	642.8
Επιφανειακή βροχόπτωση υπολεκάνης 7	10/1972-9/1993	1310.3
Επιφανειακή βροχόπτωση υπολεκάνης 8	10/1972-9/1993	727.9
Επιφανειακή βροχόπτωση υπολεκάνης 9	10/1972-9/1993	736.8
Επιφανειακή βροχόπτωση υπολεκάνης 10	10/1972-9/1993	664.4
Επιφανειακή βροχόπτωση υπολεκάνης 11	10/1972-9/1993	683.4
Επιφανειακή βροχόπτωση υπολεκάνης 12	10/1972-9/1993	894.3

### 5.4.3 Παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών

Με βάση τα ιστορικά δείγματα του Πίνακα 5.8, το πρόγραμμα υπολογίζει μια πληθώρα παραμέτρων, που αφορούν στα μοντέλα στοχαστικής προσομοίωσης, σε μηνιαία και ετήσια κλίμακα (Σχήμα 5.18). Για δεδομένα τιμές παραμέτρων, εφαρμόστηκε το σχήμα γέννησης συνθετικών χρονοσειρών στις διάφορες θέσεις του υδροσυστήματος, μήκους 1000 ετών (Σχήμα 5.19). Το μήκος αυτό κρίνεται επαρκές για την ασφαλή εκτίμηση ακόμα και μικρών πιθανοτήτων αστοχίας, της τάξης του 2-5%, οι οποίες αφορούν στους διαχειριστικούς στόχους του συστήματος υδατικών πόρων της περιοχής μελέτης (αρδευτικούς, υδρευτικούς, περιβαλλοντικούς).

Οι συνθετικές χρονοσειρές είναι στατιστικά συνεπείς με τα ιστορικά δείγματα, των οποίων αναπαράγουν τα ουσιώδη στατιστικά χαρακτηριστικά, τόσο στη μηνιαία όσο και στην ετήσια χρονική κλίμακα. Συγκεκριμένα:

- μέσες τιμές·
- τυπικές αποκλίσεις·
- συντελεστές ασυμμετρίας·
- αυτοσυσχετίσεις πρώτης τάξης·

- ετεροσυσχετίσεις μηδενικής τάξης.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα της διατήρησης των εν λόγω χαρακτηριστικών δίνονται στα Σχήματα 5.20 και 5.21, όπου απεικονίζονται σχετικές φόρμες του λογισμικού.

Μια σημαντική δυνατότητα του προγράμματος είναι η αναπαραγωγή της υδρολογικής εμμονής, που απεικονίζεται με τη μορφή έντονων διακυμάνσεων γύρω από την παρατηρημένη μέση τιμή, σε διάφορες κλίμακες. Το χαρακτηριστικό αυτό είναι εμφανές στο παράδειγμα του Σχήματος 5.19, όπου απεικονίζεται η συνθετική χρονοσειρά επιφανειακής βροχόπτωσης στον ταμιευτήρα Πλαστήρα, μέσα από το γραφικό περιβάλλον της ΚΑΣΤΑΛΙΑΣ.

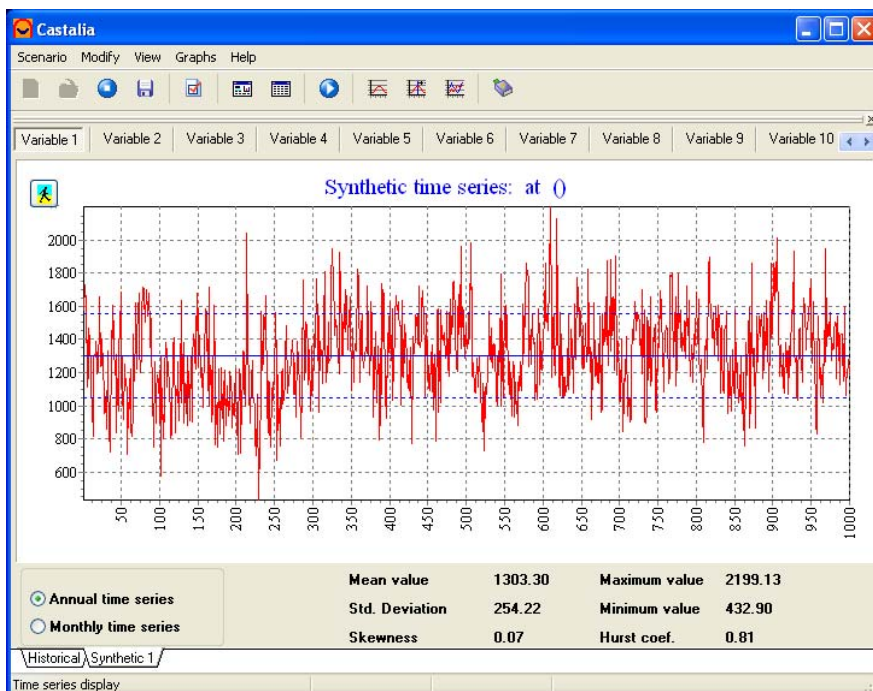
The screenshot shows the Castalia software interface with a table of 14 variables. The table has columns labeled 'Variable 1' through 'Variable 8' and rows labeled 'Variable 1' through 'Variable 14'. The values are numerical and represent parameters of a model.

	Variable 1	Variable 2	Variable 3	Variable 4	Variable 5	Variable 6	Variable 7	Variable 8
Variable 1	22.7145	56.9549	13.2637	15.2071	29.9402	24.0044	20.1922	17.1048
Variable 2	10.4011	14.0071	5.2049	4.7291	6.4410	7.3502	5.7239	11.7140
Variable 3	7.6782	10.9461	6.6297	21.0048	9.3581	7.5257	10.6249	13.0202
Variable 4	5.2668	14.1934	4.6248	14.4552	13.2733	20.7628	10.4633	15.5143
Variable 5	8.0447	17.8068	5.5866	14.1060	36.1782	8.8049	25.9731	15.9406
Variable 6	17.2900	24.5574	4.7391	4.5682	6.5883	27.4449	8.8502	11.3110
Variable 7	29.5773	13.1244	10.4905	12.1547	15.3860	9.8994	8.5035	13.5535
Variable 8	21.1270	17.7397	7.8831	4.1812	9.3011	7.2525	22.0843	8.0293
Variable 9	20.8655	25.9003	8.9779	17.4892	14.2265	17.1896	18.7227	22.1073
Variable 10	11.6399	22.4806	7.6701	8.0093	8.8884	12.8269	11.6760	24.4540
Variable 11	15.1725	15.9664	5.6388	16.0761	10.7748	11.2695	10.2594	14.1513
Variable 12	6.0848	12.2430	10.1920	16.2949	10.9907	7.6863	11.4568	11.8956
Variable 13	0.3292	1.0712	14.2175	-0.3953	15.2576	-4.1176	3.2221	31.4479
Variable 14	15.1881	16.9326	26.4375	6.4369	12.2028	17.9249	17.4818	13.4379

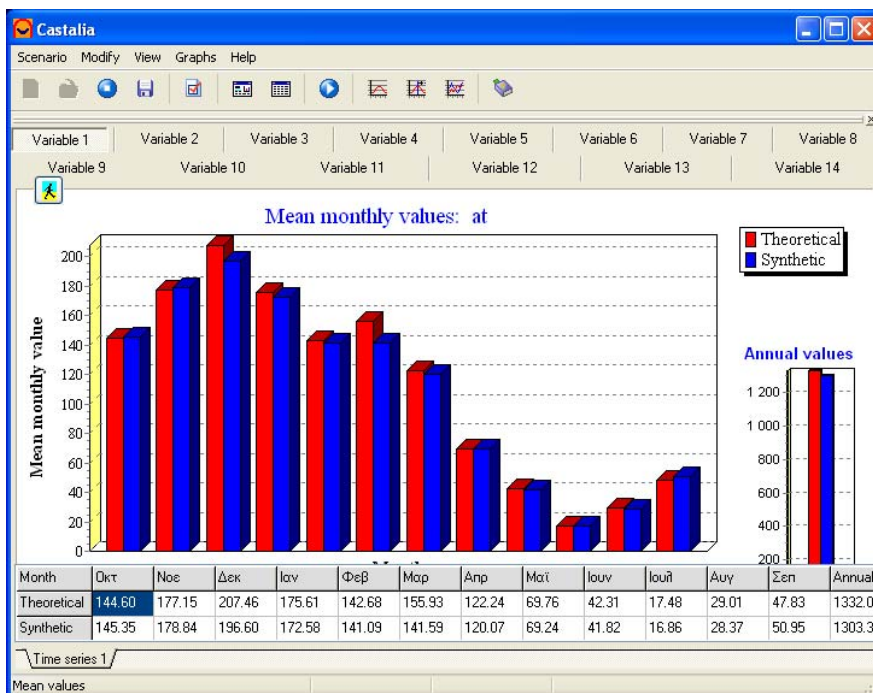
Minimized calculation error: 0.0227

PAR(1) monthly model parameters

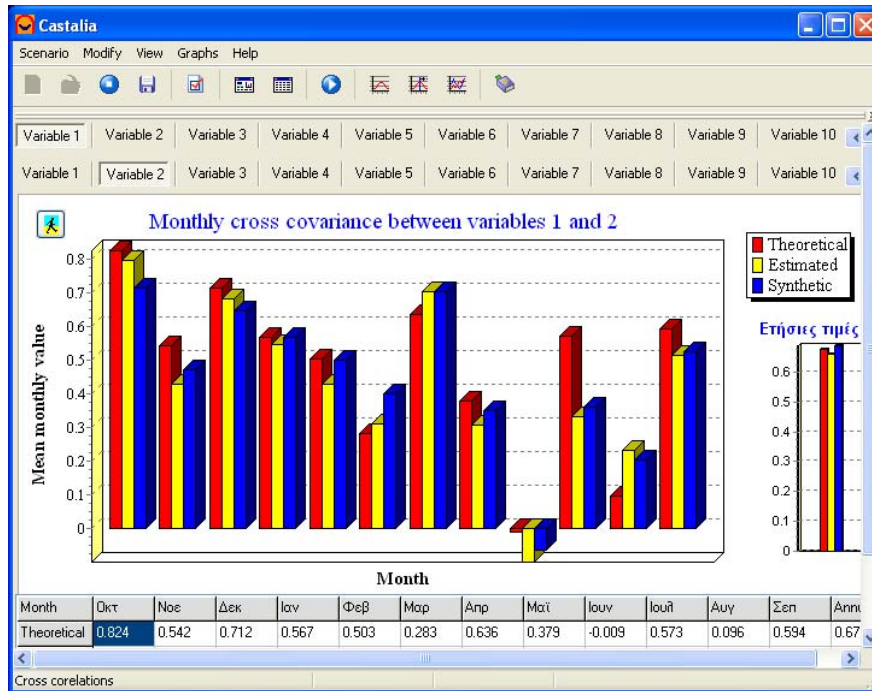
Σχήμα 5.18: Χαρακτηριστική οθόνη του λογισμικού ΚΑΣΤΑΛΙΑ, όπου απεικονίζονται οι παράμετροι του μοντέλου γέννησης μηνιαίων χρονοσειρών.



Σχήμα 5.19: Απεικόνιση συνθετικής χρονοσειράς ετήσιας βροχόπτωσης 1000 ετών στον ταμειυτήρα Πλαστήρα, με χρήση γραφικών εργαλείων του λογισμικού ΚΑΣΤΑΛΙΑ.



Σχήμα 5.20: Χαρακτηριστική οθόνη του λογισμικού ΚΑΣΤΑΛΙΑ, όπου γίνεται σύγκριση των μέσων τιμών των παρατηρημένων (θεωρητικών) και συνθετικών δειγμάτων.



Σχήμα 5.21: Χαρακτηριστική οθόνη του λογισμικού ΚΑΣΤΑΛΙΑ, όπου γίνεται σύγκριση των ετεροσυσχετίσεων μεταξύ των παρατηρημένων (θεωρητικών) και συνθετικών δειγμάτων.

## 5.5 Πρόγνωση εισροών με το λογισμικό ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ

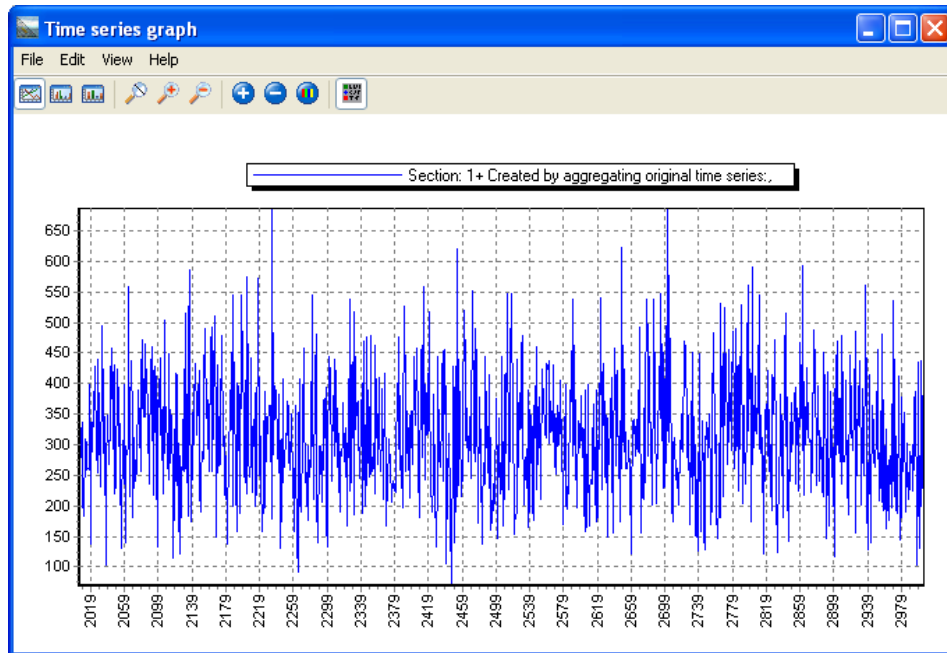
Οι συνθετικές χρονοσειρές επιφανειακής βροχόπτωσης χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση των εισροών στους κόμβους του υδρογραφικού δικτύου, με εφαρμογή του μοντέλου ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ. Οι εν λόγω εισροές περιλαμβάνουν δύο συνιστώσες, την επιφανειακή απορροή και την απορροή των πηγών. Η δεύτερη συνιστώσα αφορά μόνο στην υπολεκάνη του Πηνηιού, μεταξύ της συμβολής του με τον Πάμισο και του υδρομετρικού σταθμού Σαρακήνας, όπου και εντοπίζονται οι πηγές Κεφαλόβρυσου και Προδρόμου-Γοργυρίου. Η λειτουργία των εν λόγω πηγών επηρεάζεται τόσο από τη βροχόπτωση όσο και από τις αρδευτικές απολήψεις (αντλήσεις). Συνεπώς, απαιτείται η πλήρης αναπαράσταση του υδροσυστήματος της Δυτικής Θεσσαλίας (όπως στην περίπτωση του σεναρίου βαθμονόμησης), ώστε να αποκτηθεί μια εικόνα που είναι συνεπής με τη διαίτα των φορτίσεων και το καθεστώς των απολήψεων.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, πραγματοποιήθηκε η προσομοίωση του υδροσυστήματος με το λογισμικό ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ για χρονικό ορίζοντα 1000 ετών, με σκοπό την πρόγνωση των υδρολογικών εισροών στους κόμβους, η οποία βασίστηκε στις ακόλουθες παραδοχές:

- η ζήτηση στους κόμβους διατηρείται σταθερή και ίση με τη ζήτηση του έτους 1993·
- η μηνιαία κατανομή των εκροών του ταμιευτήρα Πλαστήρα, οι οποίες εισάγονται ως εξωτερική προσφορά νερού στο υδροσύστημα, ακολουθεί τις μέσες απολήψεις της περιόδου 1990-2001.

Στο Σχήμα 5.22 απεικονίζεται η μηνιαία συνθετική χρονοσειρά απορροής της υπολεκάνης ανάντη του υδρομετρικού σταθμού Σαρακήνας, η οποία αποτελεί είσοδο του αντίστοιχου κόμβου

εισοχής του δικτύου του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ. Παρατηρείται ότι η χρονοσειρά χαρακτηρίζεται από εμμονή, όπως ακριβώς και οι συνθετικές βροχοπτώσεις που παρήγαγε η ΚΑΣΤΑΛΙΑ (βλ. Σχήμα 5.19). Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει την προγνωστική ικανότητα του μοντέλου ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ, που διατηρεί τη φυσική συνέπεια μεταξύ αίτιου (βροχόπτωση) και αποτελέσματος (απορροή).



Σχήμα 5.22: Απεικόνιση συνθετικής χρονοσειράς ετήσιου ύψους απορροής 1000 ετών στη θέση Σαρακήνα του Πηνειού, με χρήση γραφικών εργαλείων του λογισμικού ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ.

## 6 Διαχείριση υδροσυστήματος – Εφαρμογή λογισμικού ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ

---

### 6.1 Σκοπός και μεθοδολογία

Όπως προκύπτει από προηγούμενα κεφάλαια, η περιοχή της Καρδίτσας παρουσιάζει ανομοιομορφία σε διάφορα επίπεδα όπως τη γεωμορφολογία, τις κλιματικές συνθήκες και την τουριστική ανάπτυξη. Η περιοχή περιλαμβάνει ένα πυκνό υδρογραφικό δίκτυο και σύνθετα έργα αξιοποίησης των υδατικών πόρων, συμπεριλαμβανομένων και των ταμειυτήρων Πλαστήρα και Σμοκόβου. Επιπλέον, υπάρχουν διαφορετικές και ανταγωνιστικές χρήσεις νερού, όπως η ύδρευση των τοπικών οικισμών, η άρδευση μεγάλου τμήματος του Θεσσαλικού Κάμπου και η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, ταυτόχρονα με την απαίτηση προστασία της ποιότητας του νερού και του περιβάλλοντος. Ως εκ τούτου, κρίνεται απαραίτητη η εφαρμογή ενός εργαλείου διαχείρισης υδατικών πόρων που θα υποστηρίζει μια ολιστική προσέγγιση των προβλημάτων και αναγκών της περιοχής.

Το εργαλείο που υιοθετήθηκε για την αντιμετώπιση των σύνθετων προβλημάτων της περιοχής Καρδίτσας είναι ο ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ, που αποτελεί την καρδιά του υπολογιστικού συστήματος της ΥΔΡΟΓΑΙΑΣ (Ευστρατιάδης κ.ά., 2007). Πρόκειται για ένα ολοκληρωμένο μοντέλο προσομοίωσης και βέλτιστης διαχείρισης συστημάτων υδατικών πόρων, το οποίο ενσωματώνει πλήθος φυσικών, λειτουργικών, οικονομικών, διοικητικών και περιβαλλοντικών πτυχών του νερού. Το μοντέλο έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να έχει εφαρμογή σε ευρείας κλίμακας υδροσυστήματα και ιδιαίτερα σε αυτά με πολλαπλές και ανταγωνιστικές χρήσεις νερού. Προτείνει πολιτικές διαχείρισης, τέτοιες ώστε να ελαχιστοποιούνται το κόστος λειτουργίας και η διακινδύνευση όσον αφορά την ποσοτική και ποιοτική επάρκεια του νερού για κάθε χρήση.

### 6.2 Σχηματοποίηση δικτύου

Στα κεντρικά λογισμικά (ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ, ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ), το υδατικό σύστημα παρίσταται ως ένα δίκτυο το οποίο αποτελείται από κόμβους και κλάδους. Οι κόμβοι του δικτύου αποτελούν σημεία προσφοράς (ταμειυτήρες, γεωτρήσεις) ή ζήτησης νερού, σημεία διακλάδωσης καθώς και σημεία αλλαγής των υδραυλικών χαρακτηριστικών των αγωγών. Οι κλάδοι ορίζουν τις δυνατές διαδρομές του νερού και κατά κανόνα ταυτίζονται με τους βασικούς πραγματικούς αγωγούς του δικτύου.

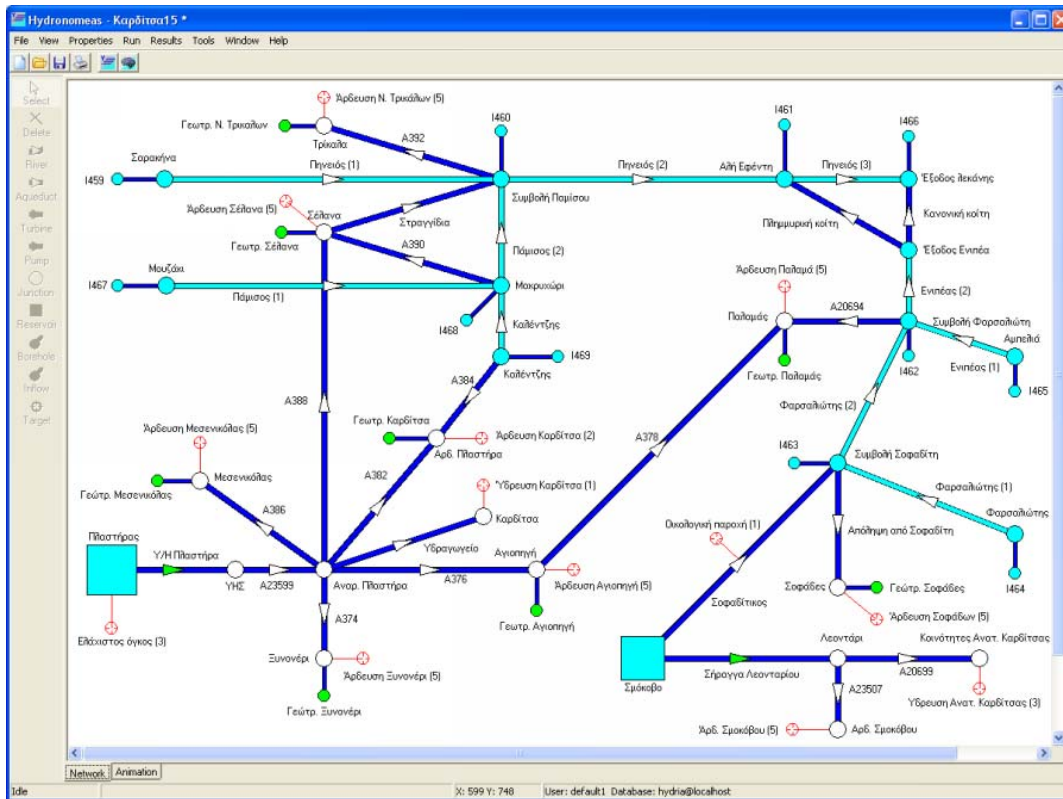
Στα πλαίσια του έργου, υλοποιήθηκε ένα μοντέλο του υδατικού συστήματος που αναπαριστά την παρούσα κατάστασή του (Σχήμα 6.1), και είναι συνεπές με το αντίστοιχο σχήμα που προσομοιώθηκε με το μοντέλο ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ, με σκοπό την εκτίμηση των εισροών κατά μήκος του υδρογραφικού δικτύου (βλ. Σχήμα 5.5). Οι διαφορές των δύο μοντέλων εντοπίζονται στα εξής σημεία:



- οι υπολεκάνες του υδρογραφικού δικτύου αποτυπώνονται ως κόμβοι εισροής στο μοντέλο του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ, η απορροή των οποίων έχει υπολογιστεί με τη συνδυασμένη χρήση των λογισμικών ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ και ΚΑΣΤΑΛΙΑ.
- στο μοντέλο του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ αναπαρίσταται η λειτουργία του ταμιευτήρα Πλαστήρα (με είσοδο τις συνθετικές χρονοσειρές απορροής και βροχόπτωσης που παρήγαγε η ΚΑΣΤΑΛΙΑ), που στην ΥΔΡΟΓΕΙΟ αντιμετωπίστηκε ως γνωστή προσφορά νερού στο υδροσύστημα.
- στο μοντέλο του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ, στον ανάντη κόμβο του Σοφαδίτη τοποθετείται ο ταμιευτήρας Σμοκόβου (η κατασκευή του δεν είχε ολοκληρωθεί την περίοδο ελέγχου της ΥΔΡΟΓΕΙΟΥ), ενώ αναπαρίστανται τα έργα εκτροπής (Σήραγγα και ΥΗΣ Λεονταρίου) και οι κόμβοι συγκέντρωσης των αρδευτικών και υδρευτικών απολήψεων.
- στον ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ δεν λαμβάνονται υπόψη οι αντλήσεις στην περιοχή των Τρικάλων και της Φθιώτιδας, καθώς το διαχειριστικό ενδιαφέρον της μελέτης επικεντρώνεται στο Νομό Καρδίτσας.

Ειδικά όσον αφορά στον ταμιευτήρα του Σμοκόβου, αυτός πρόκειται να τεθεί σε πλήρη λειτουργία το επόμενο χρονικό διάστημα. Επιπλέον, αν και το αρδευτικό δίκτυο που θα εξυπηρετεί δεν έχει υλοποιηθεί παρά σε μικρό μόνο βαθμό, στο μοντέλο του υδροσυστήματος ελήφθησαν υπόψη οι κατ' εκτίμηση αρδευτικές ανάγκες της περιοχής που εξυπηρετεί στην παρούσα κατάσταση.

Οι περιοχές που εξυπηρετούνται από τους δύο ταμιευτήρες έχουν μικρή μόνο επικάλυψη, κυρίως στην περιοχή του αρδευτικού κόμβου του Παλαμά.



Σχήμα 6.1: Σχηματική παράσταση του μοντέλου του υδροσυστήματος στο γραφικό περιβάλλον του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ.

Εκτός από τους κύριους υδατικούς πόρους, που είναι οι επιφανειακοί (ταμιευτήρες, υδατορεύματα), το μοντέλο λαμβάνει υπόψη ως εφεδρικούς και τους υπόγειους υδατικούς πόρους. Για το λόγο αυτό, οι κόμβοι που εξυπηρετούν αρδευτικές ανάγκες και τροφοδοτούνται από τον ταμιευτήρα Πλαστήρα, συνδέονται με μια ομάδα γεωτρήσεων. Σύμφωνα με τον κανόνα λειτουργίας του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ για τις γεωτρήσεις, το νερό από τον υπόγειο υδροφόρα αντλείται για την εξυπηρέτηση αρδευτικών αναγκών όταν δεν είναι διαθέσιμοι άλλοι επιφανειακοί υδατικοί πόροι ή όταν οι συνολικοί διαθέσιμοι υδατικοί πόροι στους ταμιευτήρες μειωθούν περισσότερο από ένα συγκεκριμένο κατώφλι. Το όριο αυτό αποτέλεσε μεταβλητή ελέγχου σε ορισμένα σενάρια βελτιστοποίησης (βλ. 6.5).

### 6.3 Υδρολογικά δεδομένα

Βασικοί στόχοι της προσομοίωσης ήταν η εκτίμηση της συνεισφοράς των υδατικών πόρων για την κάλυψη αναγκών και η εκτίμηση του μακροχρόνιου ρίσκου κάλυψης των αναγκών. Ο τύπος της προσομοίωσης που επιλέχθηκε ώστε να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις είναι αυτός της μόνιμης κατάστασης, στην οποία οι συνθήκες του υδροσυστήματος θεωρούνται αμετάβλητες και τα τελικά αποτελέσματα (πρακτικά) δεν επηρεάζονται από τις αρχικές συνθήκες.

Σύμφωνα με τις παραπάνω απαιτήσεις της προσομοίωσης, παρήχθησαν από το μοντέλο στοχαστικής προσομοίωσης ΚΑΣΤΑΛΙΑ συνθετικές χρονοσειρές διάρκειας 1000 ετών, που λαμβάνουν υπόψη τους τα στατιστικά χαρακτηριστικά των ιστορικών δειγμάτων. Όπως

εξηγήθηκε στην ενότητα 5.4, δημιουργήθηκαν χρονοσειρές απορροής, βροχόπτωσης και εξάτμισης στους δύο ταμιευτήρες, καθώς και χρονοσειρές παροχών από τα υδατορεύματα της περιοχής μελέτης. Τα χαρακτηριστικά μεγέθη των χρονοσειρών των εισροών και απωλειών των ταμιευτήρων, που αποτελούν στοιχεία εισόδου του μοντέλου διαχείρισης, παρατίθενται στον Πίνακα 6.1.

Πίνακας 6.1: Χαρακτηριστικά μεγέθη των χρονοσειρών που χρησιμοποιήθηκαν ως στοιχεία εισόδου στους ταμιευτήρες του μοντέλου διαχείρισης.

Χρονοσειρά	Μέση μηνιαία τιμή (mm)	Τυπική απόκλιση (mm)
Ταμ. Πλαστήρα - Απορροή	83.26	81.09
Ταμ. Πλαστήρα - Εξάτμιση	79.17	61.43
Ταμ. Πλαστήρα - Βροχόπτωση	110.97	88.67
Ταμ. Σμοκόβου - Απορροή	27.01	22.25
Ταμ. Σμοκόβου - Εξάτμιση	79.17	61.43
Ταμ. Σμοκόβου - Βροχόπτωση	74.91	58.32

#### 6.4 Λειτουργικοί στόχοι και περιορισμοί

Ο ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ παρέχει την δυνατότητα ορισμού πολλαπλών στόχων και λειτουργικών περιορισμών χρήσης νερού. Οι στόχοι και περιορισμοί, που ενδέχεται να είναι ανταγωνιστικοί μεταξύ τους, δίνονται σε μηνιαία βάση. Σε κάθε χρονικό βήμα προσομοίωσης, ο ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ διατυπώνει και επιλύει ένα πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού, το οποίο βελτιστοποιεί το συνολικό κόστος μεταφοράς νερού στο δίκτυο (κόστος λειτουργίας υδραγωγείων, γεωτρήσεων και αντλιοστασίων), τηρώντας αυστηρά τους φυσικούς περιορισμούς (εξισώσεις συνέχειας, περιορισμοί χωρητικότητας, κλπ.) και επιδιώκοντας να ικανοποιήσει τους επίκαιρους στόχους και λειτουργικούς περιορισμούς με μια προκαθορισμένη σειρά προτεραιότητας.

Στην πιλοτική εφαρμογή, η βασική επιδίωξη ήταν να επιλεγούν στόχοι και περιορισμοί από διάφορες ανταγωνιστικές κατηγορίες, ώστε να δοκιμαστεί πληρέστερα το μαθηματικό μοντέλο. Εντούτοις, η επιλογή που έγινε ανταποκρίνεται σε μεγάλο βαθμό και στις πραγματικές ανάγκες και χρήσεις νερού της περιοχής.

Πίνακας 6.2: Σύνοψη στόχων και περιορισμών του υδροσυστήματος περιοχής Καρδίτσας.

Στόχος/Περιορισμός	Συνιστώσα δικτύου	Κατηγορία	Προτεραιότητα
Ύδρευση Καρδίτσα	Καρδίτσα	Ύδρευση	1
Οικολογική παροχή	Σοφαδίτικος	Ελάχιστη ροή	1
Άρδευση Καρδίτσα	Αрд. Πλαστήρα	Άρδευση	2
Ύδρευση Ανατ. Καρδίτσας	Κοινότητες Ανατ. Καρδίτσας	Ύδρευση	3
Ελάχιστος όγκος	Πλαστήρας	Ελάχ. απόθεμα	3
Άρδευση Ξυνονέρι	Ξυνονέρι	Άρδευση	5
Άρδευση Αγιοπηγή	Αγιοπηγή	Άρδευση	5
Άρδευση Μεσενικόλας	Μεσενικόλας	Άρδευση	5
Άρδευση Παλαμά	Παλαμάς	Άρδευση	5
Άρδευση Σοφάδων	Σοφάδες	Άρδευση	5
Άρδευση Σέλανα	Σέλανα	Άρδευση	5
Άρδευση Ν. Τρικάλων	Τρίκαλα	Άρδευση	5
Αрд. Σμοκόβου	Αрд. Σμοκόβου	Άρδευση	5

Πίνακας 6.3: Υδατικές ανάγκες, κατανεμημένες στους αρδευτικούς κόμβους του υδροσυστήματος.

	Μάιος	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπτ.	Έτος
Καρδίτσα	0.02	9.07	16.64	19.35	18.50	63.58
Ξυνονέρι	0.01	0.21	0.37	0.42	0.41	1.41
Αγιοπηγή	0.00	2.63	4.19	4.89	4.23	15.94
Μεσενικόλας	0.03	0.13	0.26	0.24	0.19	0.85
Παλαμάς	0.01	11.27	16.37	21.38	21.77	70.80
Σοφάδες	0.01	4.47	6.38	8.26	8.00	27.11
Σέλανα	0.01	7.71	13.06	15.34	13.93	50.05
Τρίκαλα	0.14	11.18	19.55	20.60	17.83	69.30
Σμόκοβο	0.01	9.45	13.48	17.45	16.91	57.30
Σύνολο	0.24	56.13	90.28	107.92	101.76	356.33

Συγκεκριμένα, οι στόχοι και περιορισμοί που τέθηκαν παρουσιάζουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

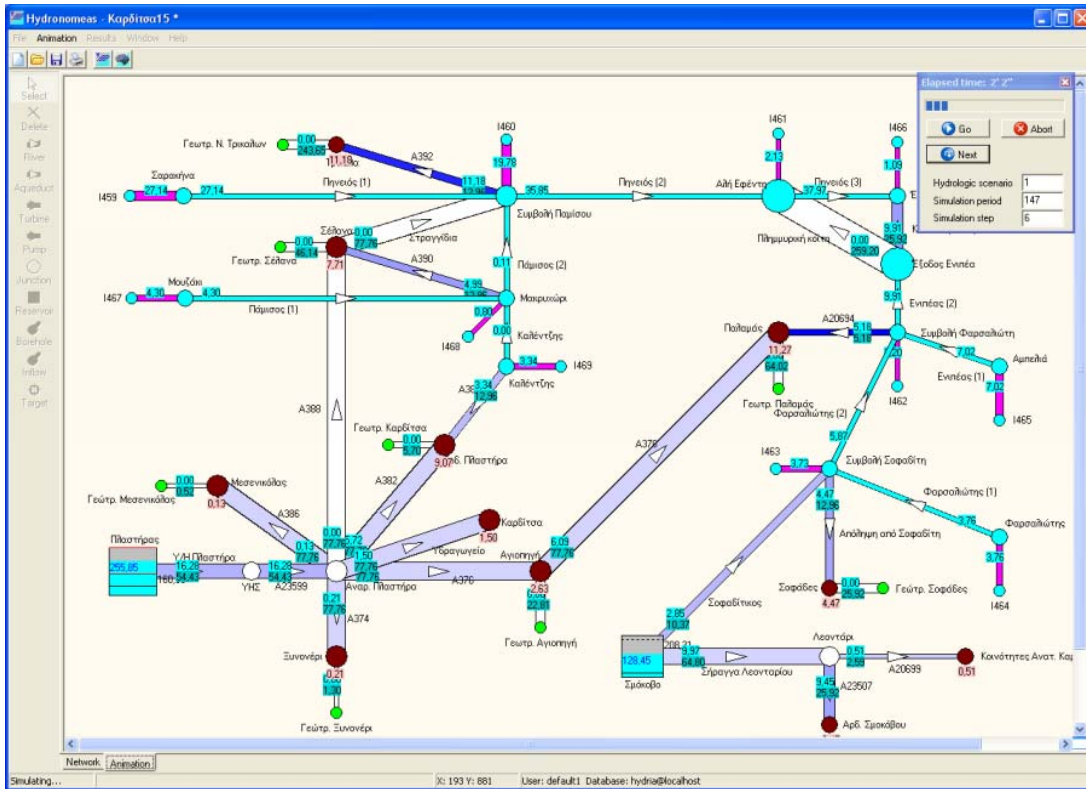
- Τέθηκαν σε υψηλή προτεραιότητα οι στόχοι ύδρευσης για τους οικισμούς που υδρεύονται από τους ταμιευτήρες του Πλαστήρα και Σμοκόβου. Στο υδροσύστημα της Δυτικής Θεσσαλίας, εκτός από την αρδευτική χρήση, υπάρχει και υδρευτική χρήση του νερού. Συγκεκριμένα, πρόκειται για μια ποσότητα 2 hm<sup>3</sup>/μήνα, που χρησιμοποιείται και για την εξυπηρέτηση 50 000 κατοίκων των Δήμων Καρδίτσας, Μητρόπολης, Κάμπου, Σοφάδων, Παλαμά και Αν. Καρδίτσας.
- Στους αρδευτικούς κόμβους τέθηκαν οι μηνιαίοι στόχοι του Πίνακα 6.3, που υπολογίστηκαν με το μοντέλο ΔΙΨΟΣ. Οι υπολογισμοί έγιναν με βάση τα στοιχεία της περιόδου 1992-1993. Ελλείψει στοιχείων για την τελική διαμόρφωση του αρδευτικού δικτύου που τροφοδοτείται από τον ταμιευτήρα Σμοκόβου, η κατανομή της ζήτησης στους κόμβους Σμοκόβου και Σοφάδων έγινε με βάση την κατ' εκτίμηση αρδευόμενη έκταση.

- Τέθηκε στόχος ελάχιστου αποθέματος στον ταμιευτήρα του Πλαστήρα  $160 \text{ hm}^3$ , που αντιστοιχεί στην προτεινόμενη στάθμη των  $+782 \text{ m}$  (βλ. 2.4.4). Ο στόχος αυτός τέθηκε με υψηλότερη προτεραιότητα από όλους σχεδόν τους στόχους άρδευσης, με σκοπό την τήρηση του εν λόγω περιβαλλοντικού περιορισμού, ακόμα και σε περιόδους χαμηλής υδροφορίας.
- Τέθηκε στόχος ελάχιστης παροχής στον ποταμό Σοφαδίτικο, κατάντη του φράγματος Σμοκόβου, με τις τιμές του Πίνακα 2.6 που προβλέπονται από την Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων του φράγματος Σμοκόβου (βλ. 2.4.4).
- Δεν τέθηκε ρητός στόχος παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας στον ΥΗΣ Πλαστήρα, δεδομένου ότι ο ενεργειακός χαρακτήρας του ταμιευτήρα έχει εμφανώς περιοριστεί προς όφελος των υπόλοιπων χρήσεων (αρδευτικών, τουριστικών). Συνακόλουθα, δεν τέθηκε αντίστοιχος στόχος στον ΥΗΣ Λεονταρίου, λαμβάνοντας υπόψη τη μικρή, συγκριτικά, σημασία του έργου.
- Ελήφθη υπόψη ότι ποσοστό 30% των αρδευτικών καταναλώσεων επιστρέφουν στο υδροσύστημα στον κόμβο Σελάνων, μέσω αποστραγγιστικών καναλιών.

Όλοι οι στόχοι και λειτουργικοί περιορισμοί που χρησιμοποιήθηκαν στα σενάρια της πιλοτικής εφαρμογής αναφέρονται συνοπτικά στον Πίνακα 6.2.

## 6.5 Προσομοίωση και βελτιστοποίηση υδροσυστήματος

Ο ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ παρέχει στον χρήστη σημαντικά περιθώρια ελευθερίας στη διατύπωση του προς βελτιστοποίηση προβλήματος. Αν και από την επίλυση του (μη γραμμικού) προβλήματος προκύπτει, κατά κανόνα εύκολα, η πλέον πρόσφορη διαχειριστική πολιτική, καθοριστικός παράγοντας για την ορθότητα και ακρίβεια των αποτελεσμάτων είναι ο προσδιορισμός των μεταβλητών ελέγχου και η διατύπωση της αντικειμενικής (στοχικής) συνάρτησης.



Σχήμα 6.2: Δυναμική απεικόνιση της προσομοίωσης, στο γραφικό περιβάλλον του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ.

Αρχικά, έγιναν δοκιμαστικές προσομοιώσεις με σκοπό την διαπίστωση της ορθότητας του μοντέλου και τον εντοπισμό τυχόν παραλείψεων ή σφαλμάτων στα δεδομένα εισόδου. Η διαδικασία αυτή υποστηρίχθηκε σημαντικά από τη δυνατότητα δυναμικής απεικόνισης της προσομοίωσης που παρέχει το λογισμικό (Σχήμα 6.2). Κατόπιν, πραγματοποιήθηκαν δοκιμαστικές βελτιστοποιήσεις, με σκοπό την επιλογή των μεταβλητών ελέγχου και την ακριβή διατύπωση της στοχικής συνάρτησης. Η τελική επιλογή των μεταβλητών ελέγχου περιλαμβάνει:

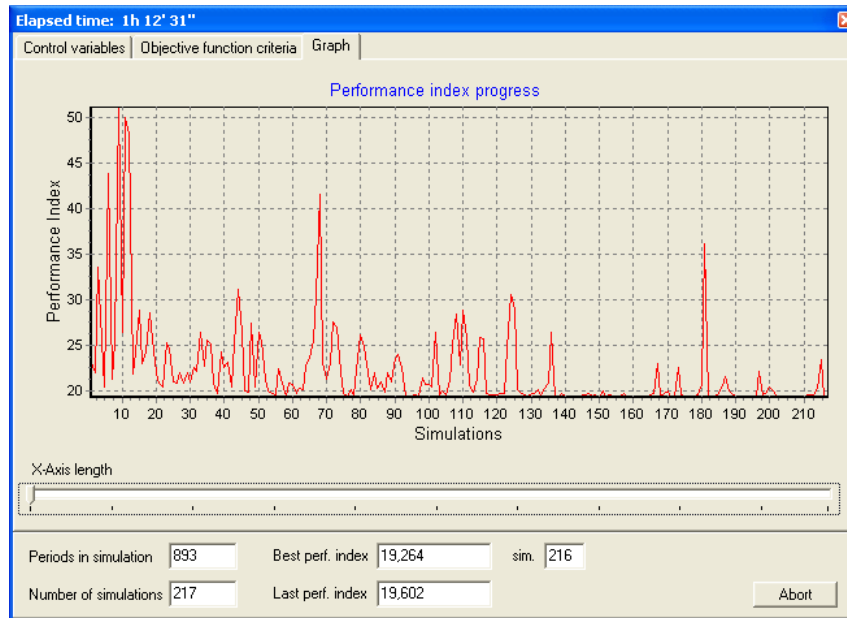
- τις αδιάστατες παραμέτρους  $a_i$  και  $b_i$  των ταμιευτήρων Πλαστήρα και Σμοκόβου, που μπορούν να μεταβάλλονται ανάλογα με την εποχή του έτους (συνολικά οκτώ μεταβλητές)
- μία μεταβλητή για κάθε μια από τις οκτώ γεωτρήσεις του μοντέλου, που αντιστοιχεί στο κάτω όριο χρήσης των γεωτρήσεων, δηλαδή το κατώφλι ενεργοποίησης των γεωτρήσεων κατά προτεραιότητα σε σχέση με τους ταμιευτήρες.

Ως προς την αντικειμενική (στοχική) συνάρτηση, σε αυτή ενσωματώνονται τα εξής κριτήρια:

- ελαχιστοποίηση ετήσιας πιθανότητας αστοχίας ως προς την κάλυψη της υδρευτικής ζήτησης των οικισμών της περιοχής
- ελαχιστοποίηση μέσης ετήσιας κατανάλωση ενέργειας από τη λειτουργία των αντλιοστασίων των γεωτρήσεων
- ελαχιστοποίηση ετήσιας πιθανότητας αστοχίας ως προς την κάλυψη της αρδευτικής ζήτησης επιλεγμένων κόμβων.

Οι συντελεστές βάρους των κριτηρίων επιλέχθηκαν με τρόπο ώστε να αξιολογούνται, κατά κύριο λόγο, τα αποτελέσματα από τους στόχους ύδρευσης και, κατά δεύτερο λόγο, τα αποτελέσματα από τα υπόλοιπα κριτήρια.

Στα πλαίσια του τελικού σεναρίου βελτιστοποίησης, πραγματοποιήθηκαν περισσότερες από 2000 δοκιμές (προσομοιώσεις), κάθε μία με διαφορετικές τιμές των μεταβλητών ελέγχου (Σχήμα 6.3). Τα αποτελέσματα της βέλτιστης λύσης αναλύονται στην ενότητα που ακολουθεί.



Σχήμα 6.3: Εξέλιξη δείκτη επίδοσης στοχικής συνάρτησης κατά τη διάρκεια της βελτιστοποίησης, στο γραφικό περιβάλλον του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ.

## 6.6 Αποτελέσματα

### 6.6.1 Πιθανότητες αστοχίας

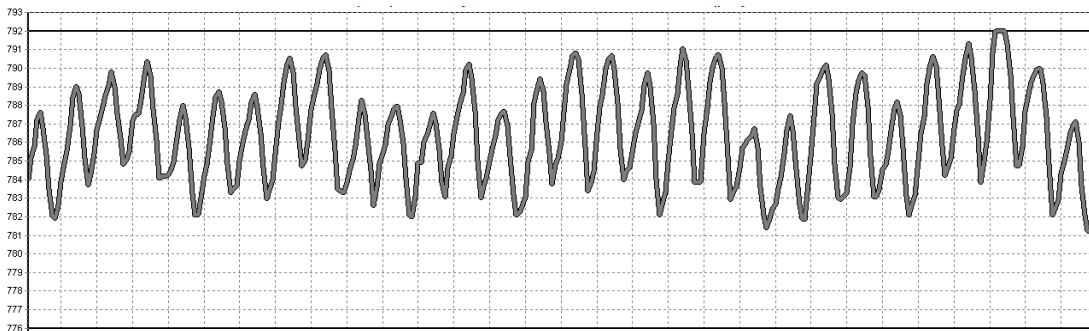
Στο Σχήμα 6.4 διακρίνονται οι μέσες και μέγιστες ετήσιες αστοχίες και τα ετήσια ελλείμματα των στόχων και λειτουργικών περιορισμών που έχουν τεθεί. Επισημαίνεται ότι στον ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ, ως αστοχία σε ετήσια βάση ορίζεται η αδυναμία κάλυψης του 100% του στόχου/περιορισμού έστω και σε ένα χρονικό βήμα (μήνα) του έτους.

Από τα στοιχεία του πίνακα διαπιστώνεται ότι δεν υφίσταται αστοχία κάλυψης αρδευτικών αναγκών σε αρδευτικούς κόμβους του υδροσυστήματος συνδεδεμένους με γεώτρηση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ενδεχόμενο έλλειμμα σε επιφανειακούς υδατικούς πόρους καλύπτεται πλήρως από τους υπόγειους υδατικούς πόρους.

Στα αποτελέσματα του μοντέλου, εμφανίζεται μια μικρή πιθανότητα αστοχίας στην ύδρευση της Ανατολικής Καρδίτσας (5.4%), η οποία οφείλεται στην έλλειψη εναλλακτικών υδατικών πόρων πέραν του ταμιευτήρα του Σμοκόβου και στην κατά προτεραιότητα εξυπηρέτηση της οικολογικής παροχής του Σοφαδίτικου.

Target	Mean annual failure	Max. annual failure	Failed time steps	Mean annual deficit	Max. annual deficit
1) Καρδίτσα - Water supply	0.000	0.000	0	0.000	0.000
2) Σοφραδίτικος - Min. flow	0.014	1.000	16	0.008	-
3) Αρδ. Πλαστήρα - Irrigation	0.000	0.000	0	0.000	0.000
4) Κοινότητες Ανατ. Καρδίτσας - W	0.058	1.000	83	0.033	1.643
5) Πλαστήρα - Min. volume	0.304	1.000	775	8.197	-
6) Ευωνέρι - Irrigation	0.000	0.000	0	0.000	0.000
7) Αγιοπηγή - Irrigation	0.000	0.000	0	0.000	0.000
8) Μεσσηνικόλας - Irrigation	0.000	0.000	0	0.000	0.000
9) Παλαμάς - Irrigation	0.000	0.000	0	0.000	0.000
10) Σοφράδες - Irrigation	0.000	0.000	0	0.000	0.000
11) Σέλιανα - Irrigation	0.000	0.000	0	0.000	0.000
12) Τρίκαλα - Irrigation	0.000	0.000	0	0.000	0.000
13) Αρδ. Σμοκόβου - Irrigation	0.134	1.000	202	2.189	57.230

Σχήμα 6.4: Μέσες και μέγιστες ετήσιες αστοχίες και ετήσια ελλείμματα των στόχων και λειτουργικών περιορισμών, στο γραφικό περιβάλλον του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ.



Σχήμα 6.5: Παράδειγμα διακύμανσης της στάθμης του ταμιευτήρα Πλαστήρα (30 έτη προσομοίωσης), στο γραφικό περιβάλλον του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ.

Αντίθετα, παρατηρείται αρκετά υψηλή πιθανότητα αστοχίας, της τάξης του 30.4%, για τον στόχο ελάχιστου αποθέματος του Πλαστήρα, δίχως όμως σημαντική ταπείνωση της στάθμης κάτω από το όριο των +782 m, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.5. Η αστοχία αυτή οφείλεται, κατά κύριο λόγο, στον στόχο ύδρευσης της περιοχής Καρδίτσας, ο οποίος εξυπηρετείται από τον ταμιευτήρα με υψηλή προτεραιότητα. Το γεγονός ότι ο απαιτούμενος όγκος για ύδρευση είναι σχετικά μικρός, εξηγεί τις συχνές αλλά μικρές και πρόσκαιρες παραβιάσεις του στόχου ελάχιστου αποθέματος. Η μέση στάθμη για όλη την περίοδο της προσομοίωσης είναι 786.4 m και η τυπική απόκλιση 3.0 m, ενώ το μέσο ετήσιο έλλειμμα σε σχέση με το στόχο των 160 hm<sup>3</sup> είναι μόλις 8.2 hm<sup>3</sup>.

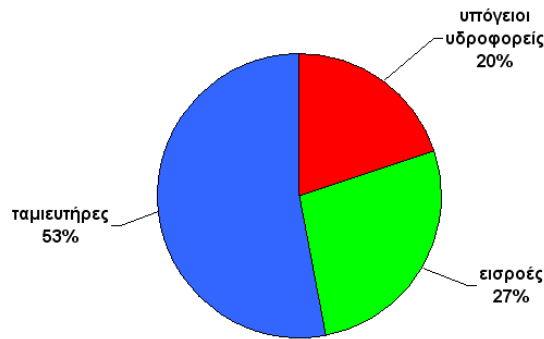
Τέλος, παρατηρούνται αρκετές αστοχίες (13.4%) στην κάλυψη της ζήτησης του αρδευτικού δικτύου του Σμοκόβου. Συνεπώς, για τη ζήτηση που τέθηκε, θα ήταν απαραίτητη η λειτουργία γεωτρήσεων και στο αρδευτικό δίκτυο του Σμοκόβου, για την πλήρη κάλυψη των εν λόγω αναγκών.

### 6.6.2 Χαρακτηριστικά μεγέθη υδατικού ισοζυγίου

Στο Σχήμα 6.6 απεικονίζεται η μέση ετήσια κατανομή για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών της περιοχής μελέτης, ανά κατηγορία υδατικών πόρων. Το 53% της ζήτησης καλύπτεται κατά



από τα νερά που συγκεντρώνονται στους δύο ταμιευτήρες, ενώ το 27% των αναγκών καλύπτεται από απευθείας απολήψεις από τα υδατορεύματα. Η συνεισφορά των υπόγειων νερών ανέρχεται σε 72.6 hm<sup>3</sup> ετησίως, που αντιστοιχεί στο 20% των αρδευτικών αναγκών. Ειδικότερα, οι αρδευτικοί κόμβοι των Σελάνων, του Παλαμά, των Σοφάδων και του Ξυνονερίου απαιτούν σημαντική συνεισφορά των γεωτρήσεων για την κάλυψη της ζήτησής τους. Όπως προέκυψε και κατά στην προσομοίωση της περιοχής με το μοντέλο ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ, η υπερεκμετάλλευση αυτή έχει ως συνέπεια τη σημαντική ταπείνωση της στάθμης του υπόγειου υδροφόρου.



Σχήμα 6.6: Μέση ετήσια συνεισφορά των διαθέσιμων υδατικών πόρων για την κάλυψη αρδευτικών αναγκών της περιοχής Καρδίτσας.

Πίνακας 6.4: Στατιστικά χαρακτηριστικά μηνιαίων εκροών από τον ΥΗΣ Πλαστήρα (hm<sup>3</sup>).

	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.
Μέση τιμή	1.50	1.50	1.50	1.62	2.25	3.43	4.61	3.57	17.13	35.95	42.24	32.06
Τυπ. απόκ.	0.00	0.00	0.00	1.82	4.75	7.42	8.50	5.13	2.64	4.71	10.99	14.22

Πίνακας 6.5: Μέσες μηνιαίες παροχές στην έξοδο του υδροσυστήματος της περιοχής Καρδίτσας. Οι τιμές δίνονται σε hm<sup>3</sup> και σε παρένθεση δίνεται η τυπική απόκλιση

Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος
28.64 (23.82)	9.45 (7.68)	4.62 (5.81)	3.22 (7.35)

Στον Πίνακα 6.4 δίνονται οι μέσες μηνιαίες εκροές από τον ΥΗΣ Πλαστήρα. Υπενθυμίζεται ότι οι τιμές αυτές προέκυψαν χωρίς να τεθεί ρητά στόχος παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας, και αναφέρονται στην κάλυψη άλλων αναγκών, κυρίως αρδευτικών. Οι μέσες μηνιαίες παροχές στην έξοδο του υδροσυστήματος, που μπορούν να αξιοποιηθούν για την ενίσχυση των κατάντη εκτάσεων της Λάρισας κατά την αρδευτική περίοδο, δίνονται στον Πίνακα 6.5. Τέλος, στα Σχήματα 6.7 και 6.8 απεικονίζονται τα υδατικά ισοζύγια των ταμιευτήρων και κόμβων του υδροσυστήματος, αντίστοιχα.

	Πίσαστήρας	Σμόκοβο	TOTAL
Subcatchment runoff	11.77 (11.45)	6.12 (5.04)	17.88
Rainfall	2.15 (1.70)	0.39 (0.34)	2.54
Aqueduct inflow			0.00
River inflow			0.00
Aquifer inflow			0.00
External inflow			0.00
Returned water			0.00
Leakage			0.00
Evaporation	1.62 (1.34)	0.45 (0.40)	2.07
Aqueduct outflow	12.28 (16.28)	6.04 (7.52)	18.32
River outflow			0.00
Water supply			0.00
Irrigation			0.00
Spill	0.00 (0.20)	0.02 (0.36)	0.03
System loss			0.00
Storage usage	0.01 (26.04)	0.00 (11.84)	0.01
Verification	-0.00	-0.00	-0.00
Mean level [m]	786.37 (3.02)	357.29 (11.25)	
Mean storage [hm <sup>3</sup> ]	241.54 (60.28)	127.67 (56.02)	

Σχήμα 6.7: Υδατικό ισοζύγιο ταμιευτήρων, στο γραφικό περιβάλλον του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ. Όλα τα μεγέθη αφορούν μέσες μηνιαίες τιμές σε hm<sup>3</sup>, εκτός της στάθμης που είναι σε m. Σε παρένθεση παρατίθενται οι τυπικές αποκλίσεις.

	Aqueduct inflow	River inflow	Aquifer inflow	External inflow	Returned water	Aqueduct outflow	River outflow	Water supply	Irrigation	System loss
Αναρ. Πίσαστήρα	12.28 (16.28)					12.28 (16.28)				
Ευωνέρι	0.09 (0.16)		0.03 (0.10)						0.12 (0.17)	
Αγιοπηγή	3.73 (6.93)		0.18 (0.85)			2.58 (5.40)			1.33 (1.94)	
Παλιμάς	3.84 (6.97)		2.06 (5.82)						5.90 (8.70)	
Αρδ. Πίσαστήρα	5.10 (7.57)		0.20 (1.04)						5.30 (7.85)	
Μεσενιώλας	0.06 (0.10)		0.01 (0.04)						0.07 (0.10)	
Σέλινα	3.19 (5.34)		0.19 (1.12)		1.59 (2.35)	0.81 (4.08)			4.17 (6.13)	
Τρικάλα	3.94 (5.75)		1.84 (3.50)						5.77 (8.41)	
Λεοντάρι	5.03 (6.93)					5.03 (6.93)				
Σοφάδες	0.72 (1.53)		1.54 (2.83)						2.26 (3.31)	
Καρδίτσα	1.50 (0.00)							1.50 (0.00)		
Κιανότιτες Ανατ. Καρδίτσα	0.44 (0.11)							0.44 (0.11)		
Αρδ. Σμοκόβου	4.59 (6.86)								4.59 (6.86)	
ΥΗΣ	12.28 (16.28)					12.28 (16.28)				
Μουζάκι				7.03 (4.05)			7.03 (4.05)			
Μακρυχώρι		15.51 (12.39)		2.74 (2.72)		1.15 (1.98)	17.11 (16.09)			
Συμβολή Παμισού	0.81 (4.08)	43.75 (35.44)		41.47 (35.88)		3.94 (5.75)	82.09 (74.98)			
Αλή Εφέντη	10.46 (18.88)	82.09 (74.98)		1.77 (1.45)			94.32 (92.33)			
Έξοδος Ιεράκης	13.74 (11.31)	94.32 (92.33)		2.30 (2.84)						110.36 (104.4)
Σαρακίνα				26.64 (20.39)			26.64 (20.39)			
Συμβολή Σοφάδιτη	1.00 (1.58)	5.86 (6.33)		6.54 (8.60)		0.72 (1.53)	12.71 (14.98)			
Συμβολή Φαρσαλιώτη		19.51 (20.39)		5.95 (6.89)		1.26 (2.05)	24.20 (27.28)			
Έξοδος Ενιπέα		24.20 (27.28)				24.20 (27.28)				
Αμπελιά				6.81 (6.84)			6.81 (6.84)			
Φαρσαλιώτης				5.86 (6.33)			5.86 (6.33)			
Καλέντζης				8.73 (8.50)		0.25 (0.82)	8.48 (8.69)			
<b>TOTAL</b>	<b>82.80</b>	<b>285.25</b>	<b>6.05</b>	<b>115.84</b>	<b>1.59</b>	<b>64.49</b>	<b>285.25</b>	<b>1.94</b>	<b>29.51</b>	<b>110.36</b>

Σχήμα 6.8: Υδατικό ισοζύγιο κόμβων, στο γραφικό περιβάλλον του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ. Όλα τα μεγέθη αφορούν μέσες μηνιαίες τιμές σε hm<sup>3</sup>. Σε παρένθεση παρατίθενται οι τυπικές αποκλίσεις.

### 6.6.3 Σενάριο ελάχιστης στάθμης ταμιευτήρα Σμοκόβου

Σε σχέση με το προηγούμενο σενάριο, εξετάστηκε ένα εναλλακτικό στο οποίο προστέθηκε, σε μεγάλη προτεραιότητα, ένας στόχος ελάχιστης στάθμης στον ταμιευτήρα Σμοκόβου, ίσης με +346 m. Η τιμή αυτή προτείνεται στην εργασία του Ρόπη (2005). Κατόπιν, πραγματοποιήθηκε βελτιστοποίηση των παραμέτρων του υδροσυστήματος, από την οποία προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- Η πιθανότητα αστοχίας του περιορισμού ελάχιστης στάθμης του ταμιευτήρα Πλαστήρα αυξάνεται οριακά στα 33.7%, εξαιτίας του συναφή περιορισμού που τίθεται στον ταμιευτήρα Σμοκόβου και συνεπάγεται μικρή μείωση των εκροών του.
- Η πιθανότητα αστοχίας του περιορισμού ελάχιστης στάθμης του Σμοκόβου είναι αρκετά μικρή, της τάξης του 6.3% (μάλιστα η ταπείνωση της στάθμης κάτω από το όριο των +346 m δεν είναι ξεπερνά το 1 m), γεγονός που οφείλεται στην οικολογική παροχή στον Σοφαδίτικο, ο οποίος εξυπηρετείται με μεγαλύτερη προτεραιότητα.
- Παρατηρούνται αυξημένες αστοχίες στο αρδευτικό κόμβο του Σμοκόβου (17.6%), το οποίο εξυπηρετείται αποκλειστικά από τους υδατικούς; Πόρους του ταμιευτήρα.

## 7 Προσομοίωση ποιοτικών παραμέτρων – Εφαρμογή λογισμικών ΡΥΠΟΣ και ΛΕΡΝΗ

---

### 7.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο επιχειρείται η αξιολόγηση της ποιοτικής κατάστασης του ταμιευτήρα Πλαστήρα, στη βάση των διαχειριστικών σεναρίων που παρήχθησαν από τον ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ. Η εκτίμηση των εισερχόμενων ρυπαντικών φορτίων γίνεται με το λογισμικό ΡΥΠΟΣ, ενώ για τη μελέτη της δίαιτάς τους στον ταμιευτήρα χρησιμοποιείται το λογισμικό ΛΕΡΝΗ.

Το μοντέλο ΡΥΠΟΣ εκτιμά δύο συνιστώσες των ρυπαντικών φορτίων: (α) σημειακές αστικές και βιομηχανικές πηγές, και (β) μη σημειακές πηγές. Τα αποτελέσματα χρησιμοποιούνται ως στοιχεία εισόδου από το εξειδικευμένο μοντέλο δίαιτας ρύπων σε λίμνες (μοντέλο ΛΕΡΝΗ).

Η εκτίμηση των ρυπαντικών φορτίων, στη συνιστώσα που αφορά στις σημειακές πηγές ρύπανσης, βασίσθηκε σε μια εκτεταμένη βάση δεδομένων. Η βάση δεδομένων των ρυπαντικών φορτίων από σημειακές πηγές καλύπτει πρακτικά όλες τις κατηγορίες βιομηχανικής δραστηριότητας, παρέχοντας έτσι τη δυνατότητα εκτίμησης των φορτίων ενός μεγάλου εύρους ρυπαντών. Όσον αφορά στην εκτίμηση των ρυπαντικών φορτίων από αστικές πηγές, και ιδιαίτερα στις περιπτώσεις των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων, κρίθηκε σκόπιμο να κατασκευαστούν διάφορα επίπεδα ανάλυσης, που θα επιλέγονται με βάση τις διαθέσιμες πληροφορίες. Τέλος, στην εκτίμηση των ρυπαντικών φορτίων από μη σημειακές πηγές, χρησιμοποιείται ένα εμπειρικό μοντέλο με κατάλληλους συντελεστές εξαγωγής που λαμβάνουν υπόψη μια σειρά χαρακτηριστικών μεγεθών όπως γεωμορφολογικές συνθήκες, χρήσεις γης, αγροτικές δραστηριότητες, κλπ.

Η ΛΕΡΝΗ, αποτελεί τη συνιστώσα εκτίμησης της δίαιτας ρύπων σε λίμνες. Η λίμνη εξετάζεται ως ένα στοιχείο πλήρους μίξης, έτσι ώστε να μην είναι απαραίτητη η ανάπτυξη υδροδυναμικού μοντέλου, αλλά και να αποφευχθεί η αναλυτική περιγραφή των στερεών ορίων της λίμνης που θα απαιτούνταν σε αυτή την περίπτωση και που θα καθιστούσε εξαιρετικά δύσκολή τη διαδικασία συλλογής των δεδομένων εισόδου του μοντέλου.

Οι ρύποι οι οποίοι προσομοιώνονται είναι το φυτοπλαγκτόν, ο οργανικός φώσφορος, ο ανόργανος φώσφορος, το αμμωνιακό άζωτο, το οξειδωμένο άζωτο, ο οργανικός άνθρακας, το διαλυμένο οξυγόνο, τα περιττωματικά κολοβακτηρίδια και ένας συντηρητικός ΡΥΠΟΣ. Όσον αφορά τις βιολογικές, χημικές και φυσικές διεργασίες που εκτελούνται στην υγρή στήλη, το μοντέλο εξετάζει την ανάπτυξη, την ενδογενή αναπνοή και το θάνατο του φυτοπλαγκτόν, την κατανάλωση των θρεπτικών αζώτου και φωσφόρου, τη νιτροποίηση, την απονιτροποίηση, την ανταλλαγή οξυγόνου με την ατμόσφαιρα, το θάνατο των περιττωματικών κολοβακτηριδίων.

Για την εφαρμογή του λογισμικού ΛΕΡΝΗ προσεγγίστηκαν τα ακόλουθα βασικά δεδομένα προσομοίωσης:

- α) οι εισερχόμενες και εξερχόμενες παροχές
- β) τα ρυπαντικά φορτία (εφαρμογή λογισμικού ΡΥΠΟΣ)
- γ) η θερμοκρασία
- δ) η ηλιοφάνεια και η φωτοπερίοδος

## 7.1 Εισερχόμενες και εξερχόμενες παροχές

### 7.1.1 Εισερχόμενες παροχές

Ως εισερχόμενες απορροές στη λίμνη Πλαστήρα χρησιμοποιούνται:

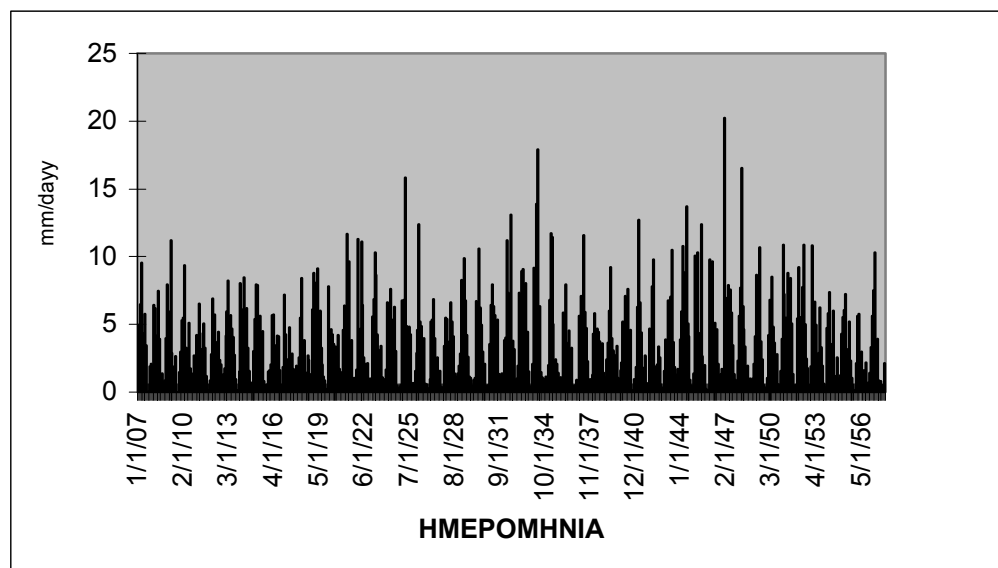
- Οι βροχοπτώσεις
- Οι απορροές της λεκάνης ανάντη του φράγματος

Με βάση τα ιστορικά δείγματα του Πίνακα 5.8 (βροχόπτωση και απορροή ταμιευτήρα Πλαστήρα) και με τη χρήση του λογισμικού ΚΑΣΤΑΛΙΑ, εφαρμόστηκε το σχήμα γέννησης συνθετικών χρονοσειρών, μήκους 50 ετών (2007 – 2056).

Οι συνθετικές χρονοσειρές βροχόπτωσης και απορροής είναι στατιστικά συνεπείς με τα ιστορικά δείγματα, των οποίων αναπαράγουν τα ουσιώδη στατιστικά χαρακτηριστικά, τόσο στη μηνιαία όσο και στην ετήσια χρονική κλίμακα. Συγκεκριμένα:

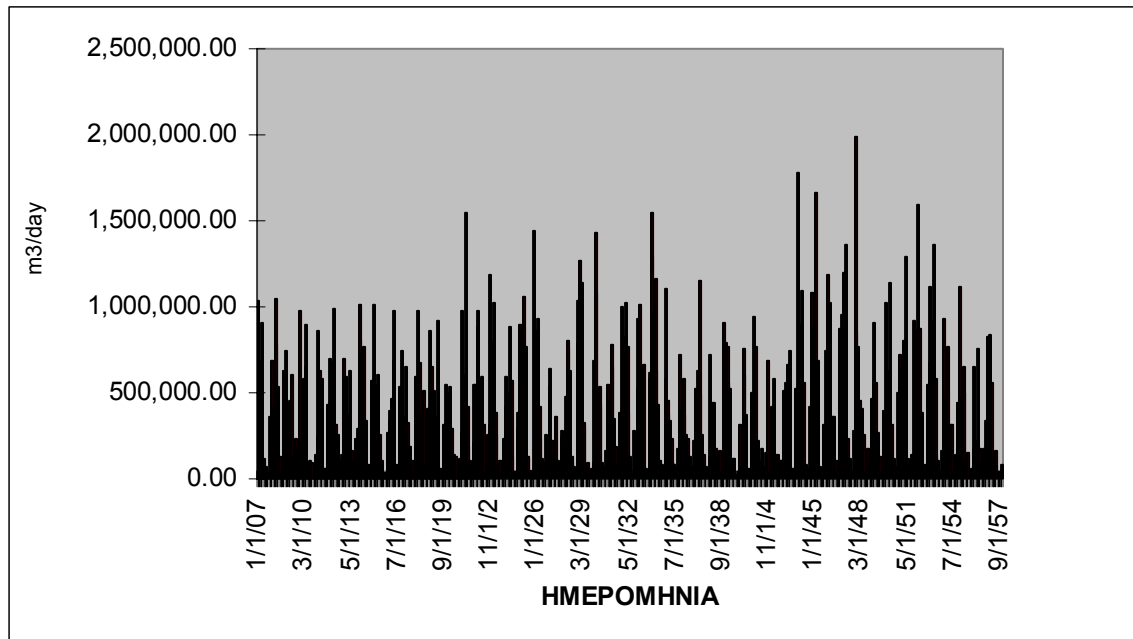
- μέσες τιμές·
- τυπικές αποκλίσεις·
- συντελεστές ασυμμετρίας·
- αυτοσυσχετίσεις πρώτης τάξης·
- ετεροσυσχετίσεις μηδενικής τάξης.

Στο Σχήμα 7.1 που ακολουθεί, απεικονίζεται η συνθετική χρονοσειρά 50ετίας επιφανειακής βροχόπτωσης στον ταμιευτήρα Πλαστήρα, σε mm/day.



Σχήμα 7.1: Απεικόνιση συνθετικής χρονοσειράς ετήσιας βροχόπτωσης 50 ετών στον ταμιευτήρα Πλαστήρα.

Ομοίως, στο Σχήμα 7.2 απεικονίζεται η συνθετική χρονοσειρά 50ετίας απορροών που εισέρχονται στον ταμιευτήρα Πλαστήρα, σε  $m^3/day$ .



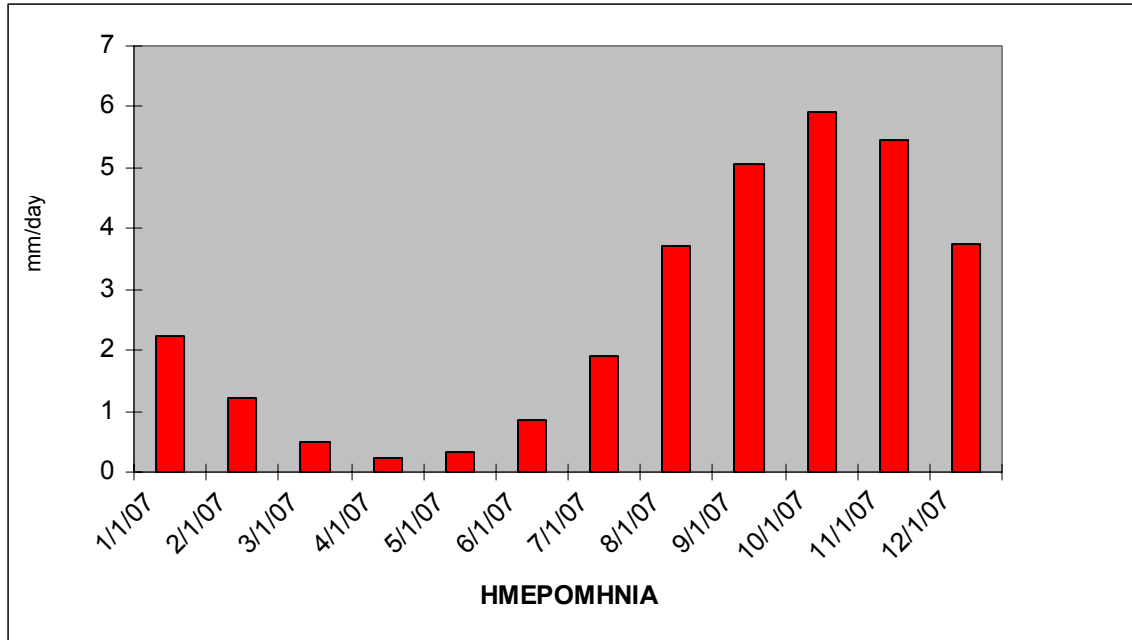
Σχήμα 7.2: Απεικόνιση συνθετικής χρονοσειράς απορροής 50 ετών στον ταμιευτήρα Πλαστήρα.

### 7.1.2 Εξερχόμενες παροχές

Ως εξερχόμενες παροχές θεωρούνται:

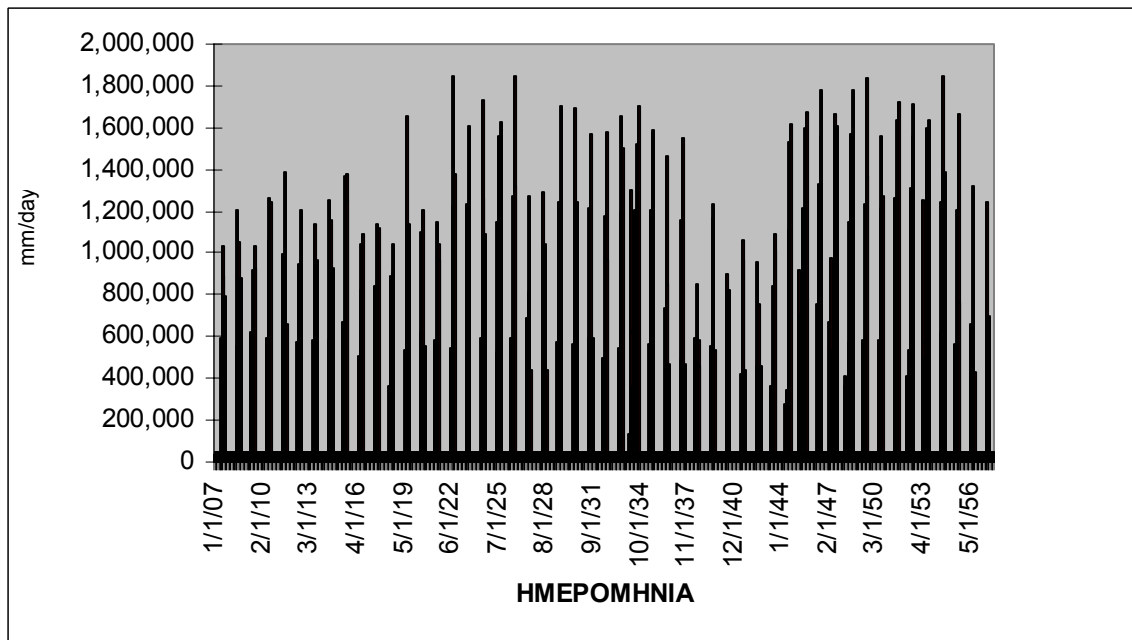
- Η εξάτμιση από την επιφάνεια της λίμνης
- Η απολήψεις (ενεργειακές και αρδευτικές-υδρευτικές) από αυτήν

Για την εξάτμιση χρησιμοποιείται η εποχιακή διακύμανση της σε ετήσια βάση σε  $mm/day$ , όπως αυτή παρουσιάζεται στο Σχήμα 7.3 που ακολουθεί.



Σχήμα 7.3: Απεικόνιση εποχιακής διακύμανσης της εξάτμισης από την επιφάνεια της λίμνης Πλαστήρα.

Για τις απολήψεις χρησιμοποιήθηκε η συνθετική χρονοσειρά 50ετίας (2007-2057) σε  $m^3/day$ , η οποία παρουσιάζεται στο Σχήμα 7.4 που ακολουθεί και η οποία προέκυψε από την προηγούμενη εφαρμογή του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ.



Σχήμα 7.4: Απεικόνιση συνθετικής χρονοσειράς απόληψης 50 ετών στον ταμιευτήρα Πλαστήρα.

## 7.2 Φορτία οργανικών - Εφαρμογή λογισμικού ΡΥΠΟΣ

Για την εκτίμηση των φορτίων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ΡΥΠΟΣ.

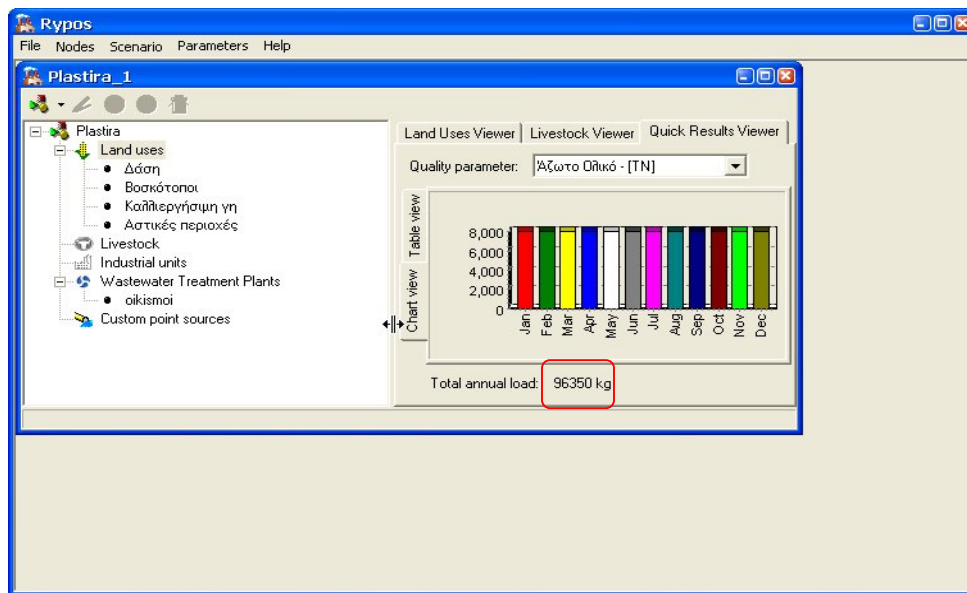
Θεωρήθηκαν οι ακόλουθες επιφανειακές πηγές ρύπανσης σύμφωνα με τις καταγεγραμμένες χρήσεις γης εντός της λεκάνης απορροής της λίμνης:

- Αστικές περιοχές 2.000 στρέμματα
- Καλλιέργειες 12.500 στρέμματα
- Βοσκότοποι 40.000 στρέμματα
- Δάση 84.500 στρέμματα

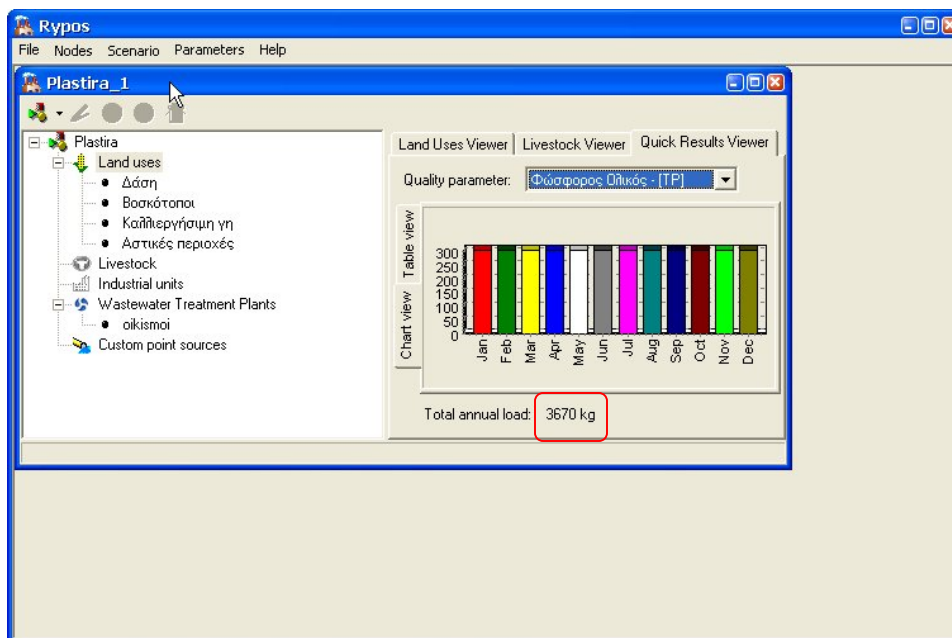
Τα παραπάνω μεγέθη έκτασης χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου στο λογισμικό ΡΥΠΟΣ και έδωσαν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

- 3.670 kg TP / έτος και
- 96.350 kg TN / έτος

θεωρώντας εποχιακή διακύμανση των προερχόμενων από καλλιέργειες ρύπων (70% του συνολικού ρυπαντικού φορτίου στους μήνες Οκτώβριο και Μάιο ενώ το υπόλοιπο μοιράζεται τους υπόλοιπους μήνες)







Αναλυτικότερα, τα φορτία ανά χρήση είναι:

	TN		TP	
	kg/έτος	Kg/μήνα	kg/έτος	Kg/μήνα
<b>Δάση</b>	25.350	2.113	845	70
<b>Βοσκότοποι</b>	20.000	1.667	2.000	167
<b>Καλλιέργειες</b>	50.000	1.500 kg/μήνα (εκτός από το μήνα Μάιο και Οκτώβριο οπότε θεωρείται 17.500 kg/μήνα)	625	18,75 kg/μήνα (εκτός από το μήνα Μάιο και Οκτώβριο οπότε θεωρείται 218,75 kg/μήνα)
<b>Αστικές περιοχές</b>	1.000	83	200	17
<b>Σύνολο</b>	96.350		3.670	

Για τις ανάγκες της προσομοίωσης γίνονται στην συνέχεια οι ακόλουθες παραδοχές:

- Στην περίπτωση των δασωδών εκτάσεων και των αστικών περιοχών, το φορτίο του συνολικού αζώτου επιμερίζεται κατά 90% σε οξειδωμένο άζωτο (NOx-N) και κατά 10 % σε αμμωνιακό άζωτο (NH4-N).
- Αντίστοιχα για τις καλλιέργειες το 20% του συνολικού φορτίου του αζώτου αποδόθηκε στο αμμωνιακό άζωτο και το 80% στις οξειδωμένες μορφές του αζώτου.
- Επιπρόσθετα, το σύνολο του φορτίου του αζώτου από βοσκότοπους αποδόθηκε στο αμμωνιακό άζωτο.

Συνεπώς ως προς τα οργανικά φορτία επιφανειακής προέλευσης θεωρούνται τα ακόλουθα:

	NO <sub>x</sub> - N		NH <sub>4</sub>	
	Kg/έτος	Kg/μήνα	Kg/έτος	Kg/μήνα
<b>Λάση</b>	22.815	1.901	2.535	211
<b>Βοσκότοποι</b>		0	20.000	1.667
<b>Καλλιέργειες</b>	10.000	300 kg/μήνα (εκτός από το μήνα Μάιο και Οκτώβριο οπότε θεωρείται 3500 kg/μήνα	40.000	1.200 kg/μήνα (εκτός από το μήνα Μάιο και Οκτώβριο οπότε θεωρείται 14.000 kg/μήνα
<b>Αστικές περιοχές</b>	900	75	100	8

Τα ανεπεξέργαστα λύματα των οικισμών θεωρήθηκαν ως σημειακά φορτία ρύπων. Ως τουριστικοί μήνες θεωρούνται οι Δεκέμβριος, Απρίλιος, Ιούλιος και Αύγουστος. Για το σύνολο των οικισμών της λεκάνης της λίμνης θεωρήθηκε η ακόλουθη εποχιακή διακύμανση του πληθυσμού:

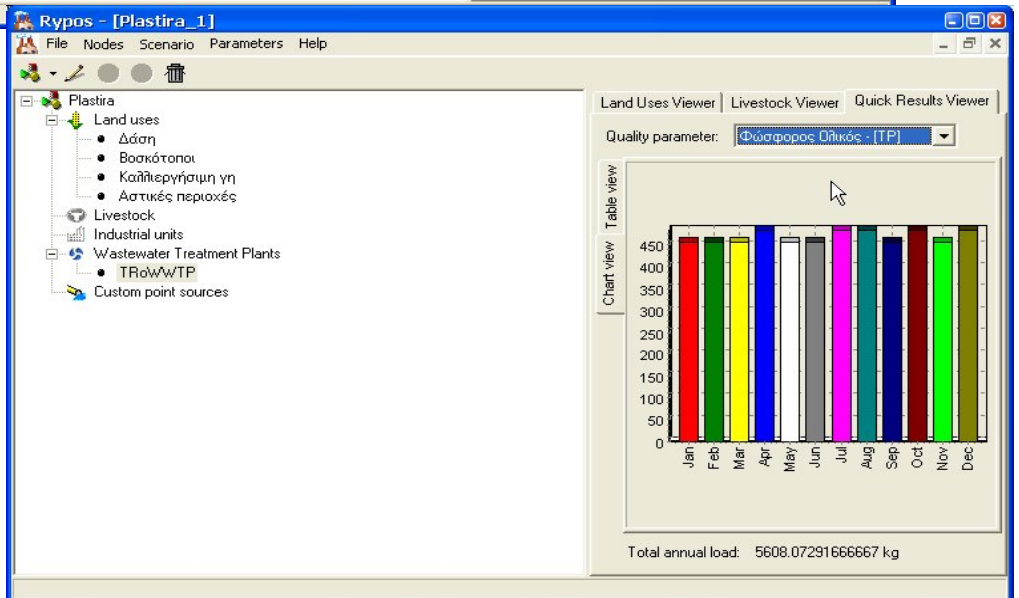
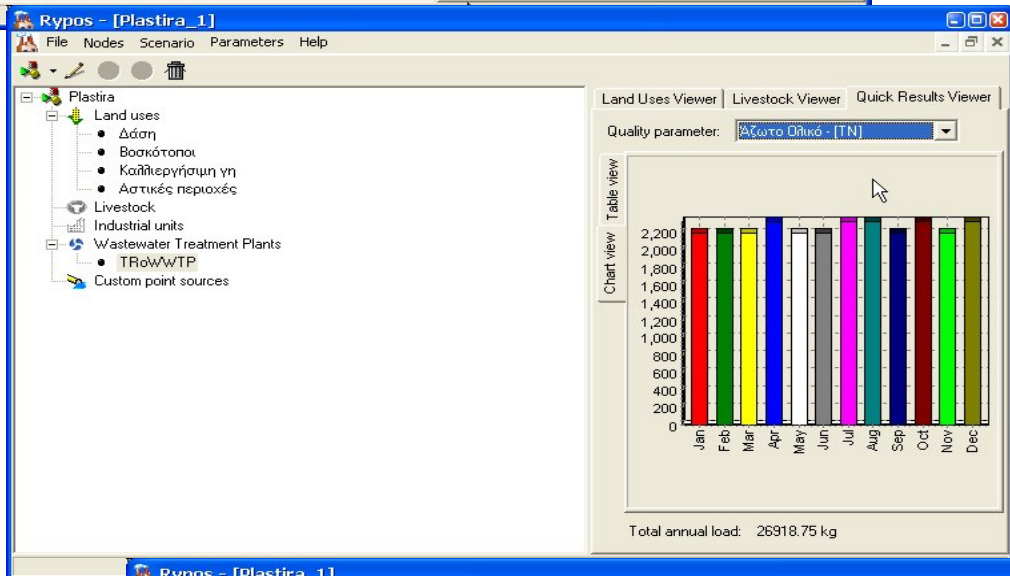
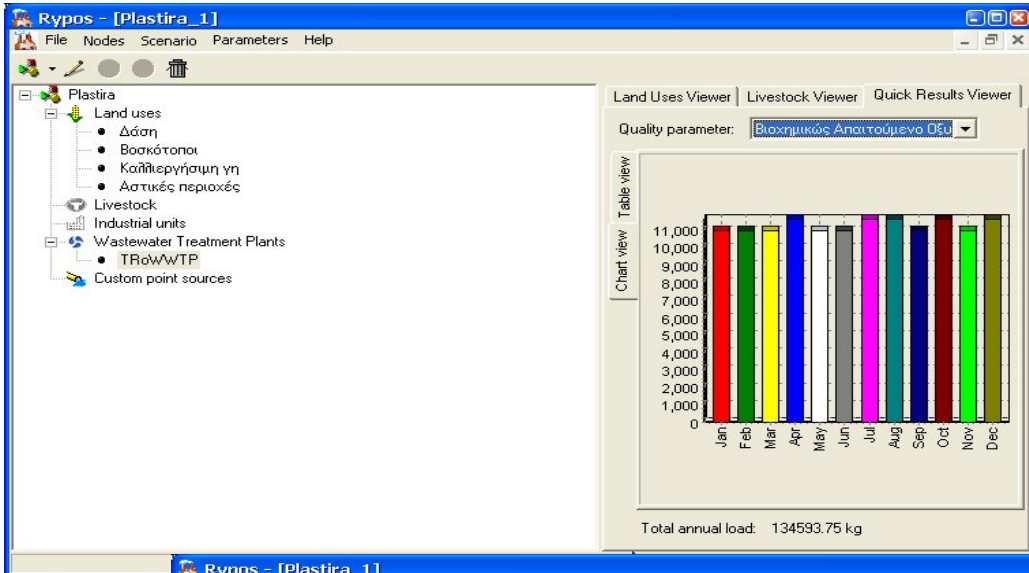
- Μήνες Ιανουάριος, Φεβρουάριος, Μάρτιος, Μάιος, Ιούνιος, Σεπτέμβριος, Νοέμβριος: 6.000 κάτοικοι
- Μήνες Απρίλιος, Ιούλιος, Αύγουστος και Οκτώβριος: 6.350 κάτοικοι

Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω δεδομένα στο λογισμικό ΡΥΠΟΣ, εκτιμήθηκαν τα ακόλουθα σημειακά φορτία:

- BOD: 135.000 kg/έτος
- TN: 26.929 kg/έτος
- TP 5.610 kg/έτος

Τα ανωτέρω φορτία παρουσιάζουν την ακόλουθη εποχιακή διακύμανση:

	BOD kg/μήνα	TN kg/μήνα	TP kg/μήνα
<b>Ιανουάριος</b>	10950.00	2190.00	456.25
<b>Φεβρουάριος</b>	10950.00	2190.00	456.25
<b>Μάρτιος</b>	10950.00	2190.00	456.25
<b>Απρίλιος</b>	11588.75	2317.75	482.86
<b>Μάιος</b>	10950.00	2190.00	456.25
<b>Ιούνιος</b>	10950.00	2190.00	456.25
<b>Ιούλιος</b>	11588.75	2317.75	482.86
<b>Αύγουστος</b>	11588.75	2317.75	482.86
<b>Σεπτέμβριος</b>	10950.00	2190.00	456.25
<b>Οκτώβριος</b>	11588.75	2317.75	482.86
<b>Νοέμβριος</b>	10950.00	2190.00	456.25
<b>Δεκέμβριος</b>	11588.75	2317.75	482.86



Το συνολικό φορτίο του αζώτου των σημειακών πηγών για την τουριστική και μη-τουριστική περίοδο ισοκατανέμεται στους αντίστοιχους μήνες με την παραδοχή ότι το 80% αφορά στο αμμωνιακό άζωτο και το 20% στο οξειδωμένο άζωτο:

	<b>TN kg/μήνα</b>	<b>NH4 kg/μήνα</b>	<b>NOx-N kg/μήνα</b>
<b>Ιανουάριος</b>	2190.00	1752.00	438.00
<b>Φεβρουάριος</b>	2190.00	1752.00	438.00
<b>Μάρτιος</b>	2190.00	1752.00	438.00
<b>Απρίλιος</b>	2317.75	1854.20	463.55
<b>Μάιος</b>	2190.00	1752.00	438.00
<b>Ιούνιος</b>	2190.00	1752.00	438.00
<b>Ιούλιος</b>	2317.75	1854.20	463.55
<b>Αύγουστος</b>	2317.75	1854.20	463.55
<b>Σεπτέμβριος</b>	2190.00	1752.00	438.00
<b>Οκτώβριος</b>	2317.75	1854.20	463.55
<b>Νοέμβριος</b>	2190.00	1752.00	438.00
<b>Δεκέμβριος</b>	2317.75	1854.20	463.55

Τέλος, η εποχιακή διακύμανση των συνολικών ρυπαντικών φορτίων που χρησιμοποιήθηκαν για την ποιοτική προσομοίωση της λίμνης Πλαστήρα παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

	<b>BOD kg/μήνα</b>	<b>NH4 kg/μήνα</b>	<b>NOx-N kg/μήνα</b>	<b>IP kg/μήνα*</b>
<b>Ιανουάριος</b>	10950.00	4838.00	2714.00	218.70
<b>Φεβρουάριος</b>	10950.00	4838.00	2714.00	218.70
<b>Μάρτιος</b>	10950.00	4838.00	2714.00	218.70
<b>Απρίλιος</b>	11588.75	4940.20	2739.55	226.68
<b>Μάιος</b>	10950.00	17638.00	5914.00	278.70
<b>Ιούνιος</b>	10950.00	4838.00	2714.00	218.70
<b>Ιούλιος</b>	11588.75	4940.20	2739.55	226.68
<b>Αύγουστος</b>	11588.75	4940.20	2739.55	226.68
<b>Σεπτέμβριος</b>	10950.00	4838.00	2714.00	218.70
<b>Οκτώβριος</b>	11588.75	17740.20	5939.55	286.68
<b>Νοέμβριος</b>	10950.00	4838.00	2714.00	218.70
<b>Δεκέμβριος</b>	11588.75	4940.20	2739.55	226.68
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>134593.75</b>	<b>84167.00</b>	<b>39095.75</b>	<b>2784.30</b>
<b>ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΤΙΜΗ</b>	<b>368.75</b>	<b>230.59</b>	<b>107.11</b>	<b>7.63</b>

*Το 30% του TP θεωρείται σε ανόργανη μορφή*

### 7.3 Θερμοκρασία

Για την εποχιακή διακύμανση της θερμοκρασίας των νερών της λίμνης Πλαστήρα χρησιμοποιήθηκε η ακόλουθη εξίσωση :

$$T = 3.8 + 10 \times \left( 1 - \cos \frac{(t - 21) \cdot 360}{365} \right) \times 3.14 / 180$$

όπου T, η θερμοκρασία και t ο χρόνος σε ημέρες με αρχή την 1η Ιανουαρίου.

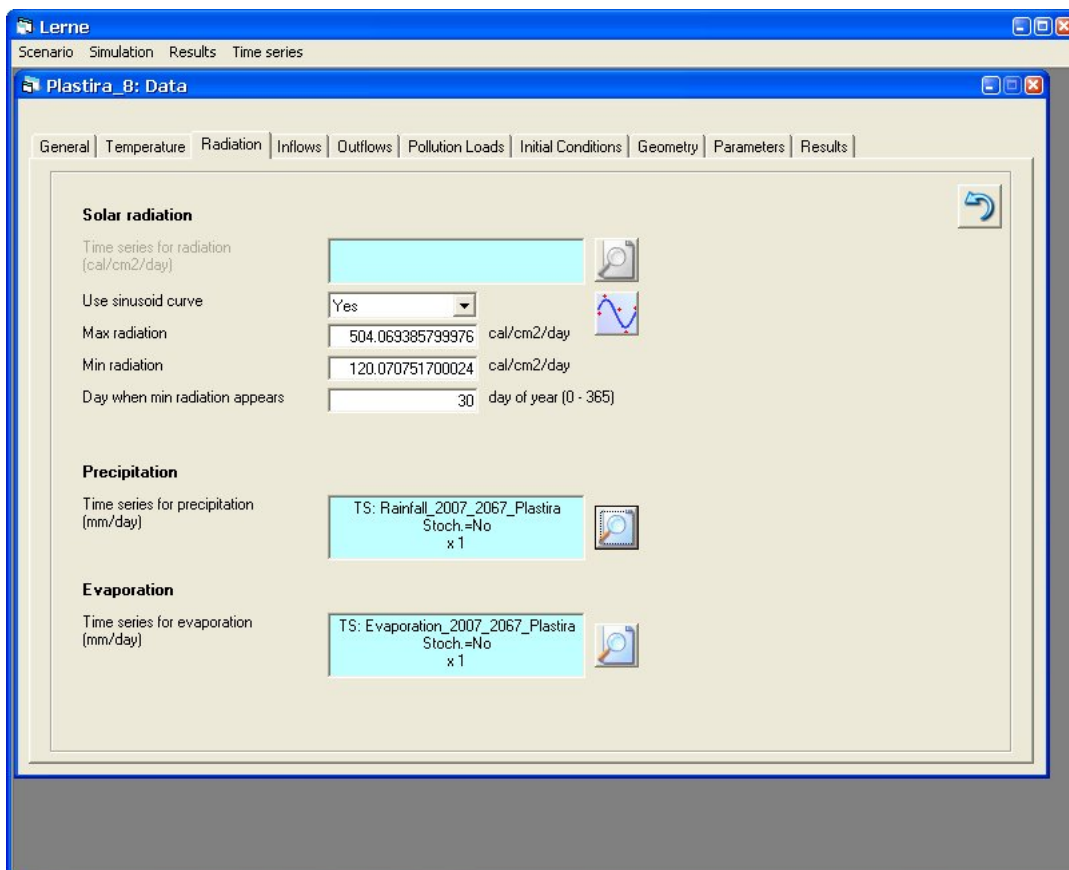
### 7.4 Ηλιοφάνεια και Φωτοπερίοδος

Για την εποχιακή διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας χρησιμοποιήθηκε η ακόλουθη εξίσωση :

$$F = 0.320 + 0.200 \left( 1 - \cos \frac{(t - 30)360}{365} \right)$$

όπου : ο η μέση ημερήσια τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας σε cal/cm<sup>2</sup>

t = ο χρόνος σε ημέρες με αρχή την 1η Ιανουαρίου.



## 7.5 Λοιπές παραδοχές

Ως αρχική στάθμη για την προσομοίωση θεωρήθηκε η στάθμη 782 m και χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες σχέσεις στάθμης – όγκου – επιφάνειας για τον ταμιευτήρα:

	Top layer	Bottom layer
Chlorophyll-a (Chl-a)	0.005 mg/l	0 mg/l
Inorganic Phosphorus (IP)	0.003 mg/l	0 mg/l
Organic Phosphorus (OP)	0 mg/l	0 mg/l
Ammoniacal Nitrogen (NH-N)	0.02 mg/l	0 mg/l
Oxidized Nitrogen (NO-N)	0.1 mg/l	0 mg/l
Dissolved Oxygen (DO)	9 mg/l	0 mg/l
Organic Carbon (OC)	0 mg/l	0 mg/l
Faecal Coliforms (FC)	0 #/100ml	0 #/100ml
User Substance	0 mg/l	0 mg/l

Ως αρχικές συνθήκες θεωρήθηκε μια μέση τιμή προηγούμενων μετρήσεων

- Χλωροφύλλη-α (μg/l): 5 μg/l
- Αμμωνιακό άζωτο (μg/l): 20 μg/l
- Νιτρικό άζωτο (μg/l): 100 μg/l
- Ανόργανος φώσφορος: 3.0 μg/l
- Διαλυμένο οξυγόνο: 9.0 mg/l

Οι παραδοχές ως προς τις παραμέτρους προσομοίωσης παρουσιάζονται στις σελίδες που ακολουθούν. Οι παραδοχές βασίζονται σε προηγούμενη ερευνητική εργασία των **Α. Στάμου, Α. Βαλασόπουλου, Ι. Κατσίρη και Μ. Καπετανάκη: Εφαρμογή του Μοντέλου MERES στη λίμνη Πλαστήρα, ΕΜΠ, Τομέας ΥΠΥΘΕ, Διερεύνηση των δυνατοτήτων διαχείρισης και προστασίας της Ποιότητας Α. Πλαστήρα - Τεύχος 3: Μελέτη Ποιότητας Νερού, Αθήνα Μάρτιος 2002**

Lerne Scenario Simulation Results Time series

Plastira\_8: Data

General Temperature Radiation Inflows Outflows Pollution Loads Initial Conditions Geometry Parameters Results

Parameter set:  Save set with different name Save current set as default Delete current set

Default values  Edit Parameter Edit set description Restore default set

	Symbol	Value	Units	Stochastic	Description
1	Mmax20	2.25	1/day	No	Max. phytoplankton growth rate at 20 oC
2	A1	1.06	-	No	Temperature coefficient for Mmax
3	Kw	0.075	1/m	No	Light extinction due to water
4	Ka	100	l/mgA/m	No	Light extinction due to chlorophyll
5	Is	300	cal/cm2/day	No	Critical sunlight intensity for phytoplankton growth
6	KN0	0.05	mgN/l	No	Monod kinetic constant for N at 0 oC
7	A4	1.0415	-	No	Temperature coefficient for KN
8	KP	0.005	mgP/l	No	Monod kinetic constant for P
9	Kda20	0.1	1/day	No	Phytoplankton death rate at 20 oC
10	A3	1.06	-	No	Temperature coefficient for Kda
11	VAmx	0.4	m/day	No	Max. phytoplankton sedimentation velocity
12	B	12.5	m	No	Depth where sedimentation velocity equals VAmx/2
13	RA0	0	1/day	No	Phytoplankton endogenous respiration rate at 0 oC
14	A2	0.0042	1/day/oC	No	Temperature coefficient for RA
15	Y1	0.8	mgP/mgA	No	Chlorophyll P content
16	RP0	0.02	1/day	No	Conversion rate of organic P into inorganic at 0 oC
17	A5	0.005	1/day/oC	No	Temperature coefficient for RP
18	VPmax	0.2	m/day	No	Max. phosphorus sedimentation velocity
19	KRP	0.7	mgP/m2/day	No	Phosphorus benthic supply

Lerne Scenario Simulation Results Time series

Plastira\_8: Data

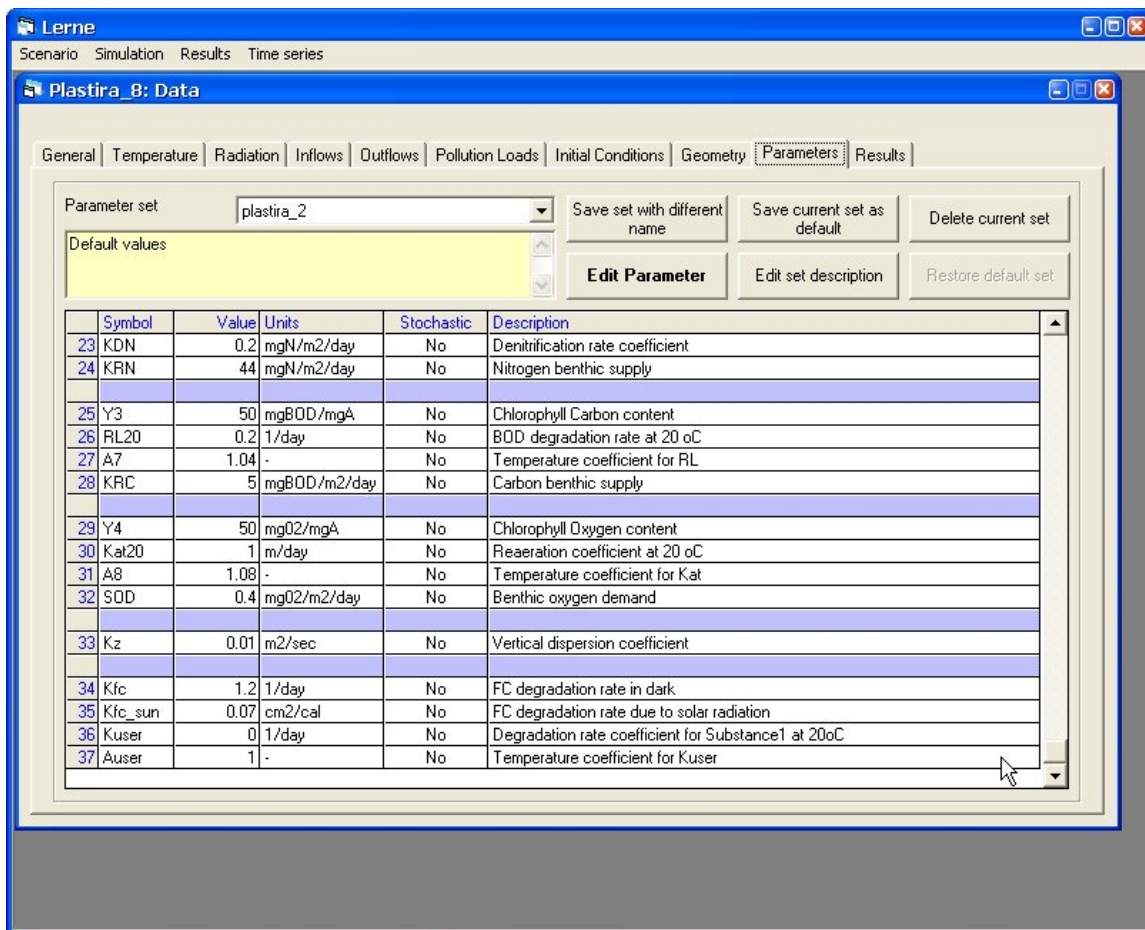
General Temperature Radiation Inflows Outflows Pollution Loads Initial Conditions Geometry Parameters Results

Parameter set:  Save set with different name Save current set as default Delete current set

Default values  Edit Parameter Edit set description Restore default set

	Symbol	Value	Units	Stochastic	Description
19	KRP	0.7	mgP/m2/day	No	Phosphorus benthic supply
20	Y2	10	mgN/mgA	No	Chlorophyll N content
21	RN20	0.3	1/day	No	Nitrification rate coefficient at 20 oC
22	A6	1.188	-	No	Temperature coefficient for RN
23	KDN	0.2	mgN/m2/day	No	Denitrification rate coefficient
24	KRN	44	mgN/m2/day	No	Nitrogen benthic supply
25	Y3	50	mgBOD/mgA	No	Chlorophyll Carbon content
26	RL20	0.2	1/day	No	BOD degradation rate at 20 oC
27	A7	1.04	-	No	Temperature coefficient for RL
28	KRC	5	mgBOD/m2/day	No	Carbon benthic supply
29	Y4	50	mgO2/mgA	No	Chlorophyll Oxygen content
30	Kat20	1	m/day	No	Reaeration coefficient at 20 oC
31	A8	1.08	-	No	Temperature coefficient for Kat
32	SOD	0.4	mgO2/m2/day	No	Benthic oxygen demand
33	Kz	0.01	m2/sec	No	Vertical dispersion coefficient





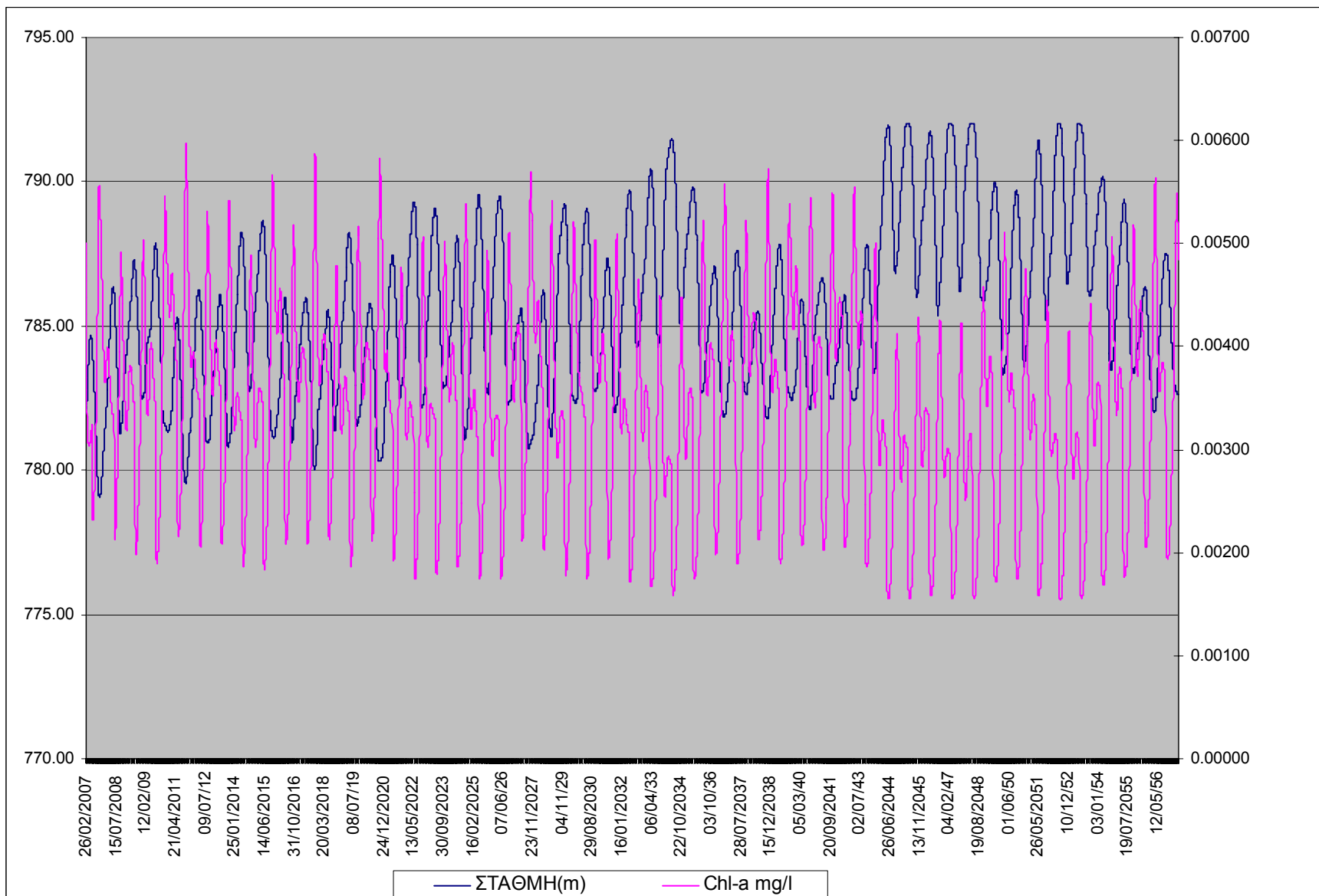
## 7.6 Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τη ζητούμενη περίοδο 2007 –2057 δίνονται με τη μορφή γραφημάτων στις σελίδες που ακολουθούν. Εξετάστηκαν δύο εναλλακτικά σενάρια:

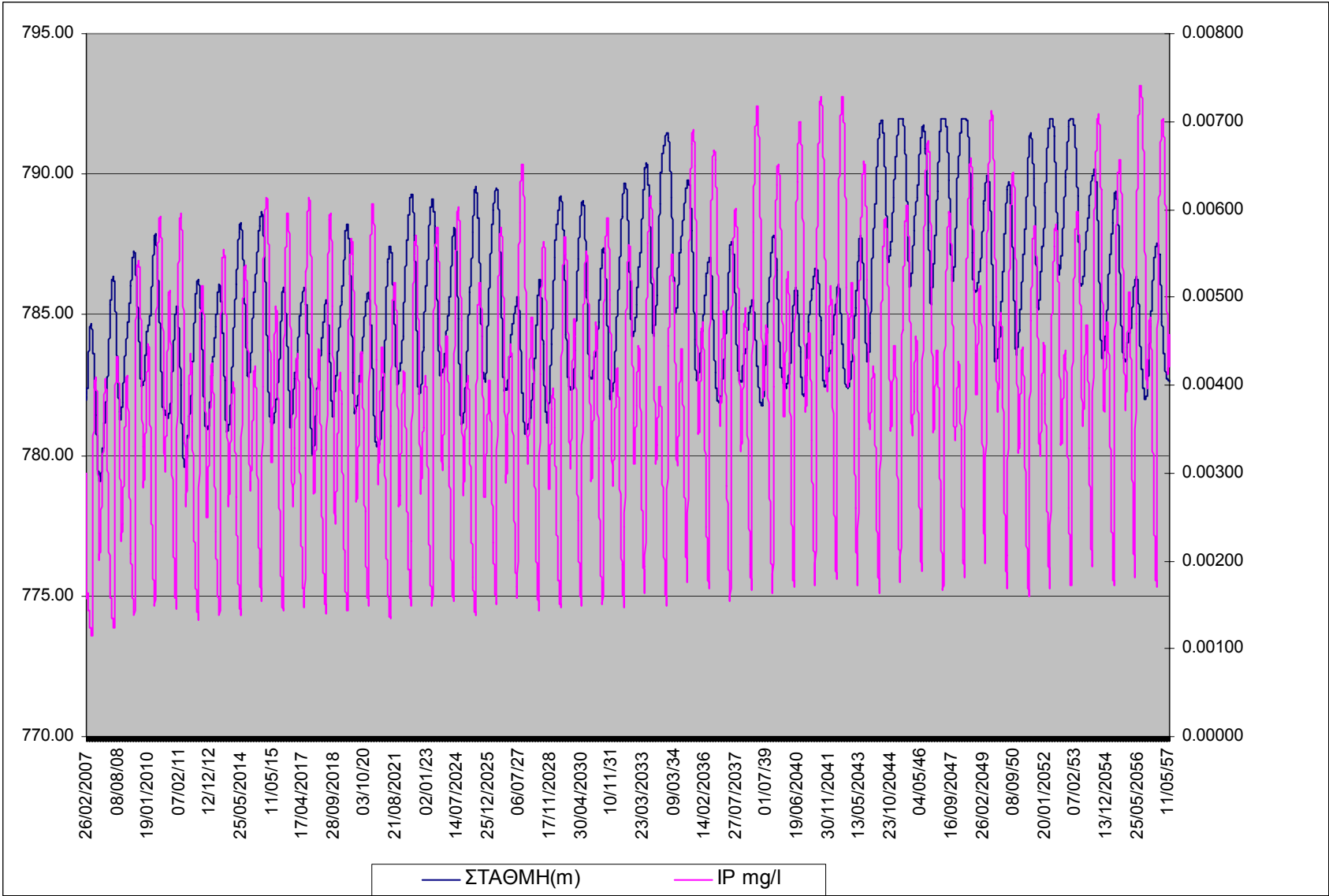
- **1ο Σενάριο:** Θεωρούνται μέσες μηνιαίες τιμές των εισερχόμενων ρυπαντικών φορτίων
- **2ο Σενάριο:** Θεωρήθηκαν χρονοσειρές φορτίων 50 ετίας.

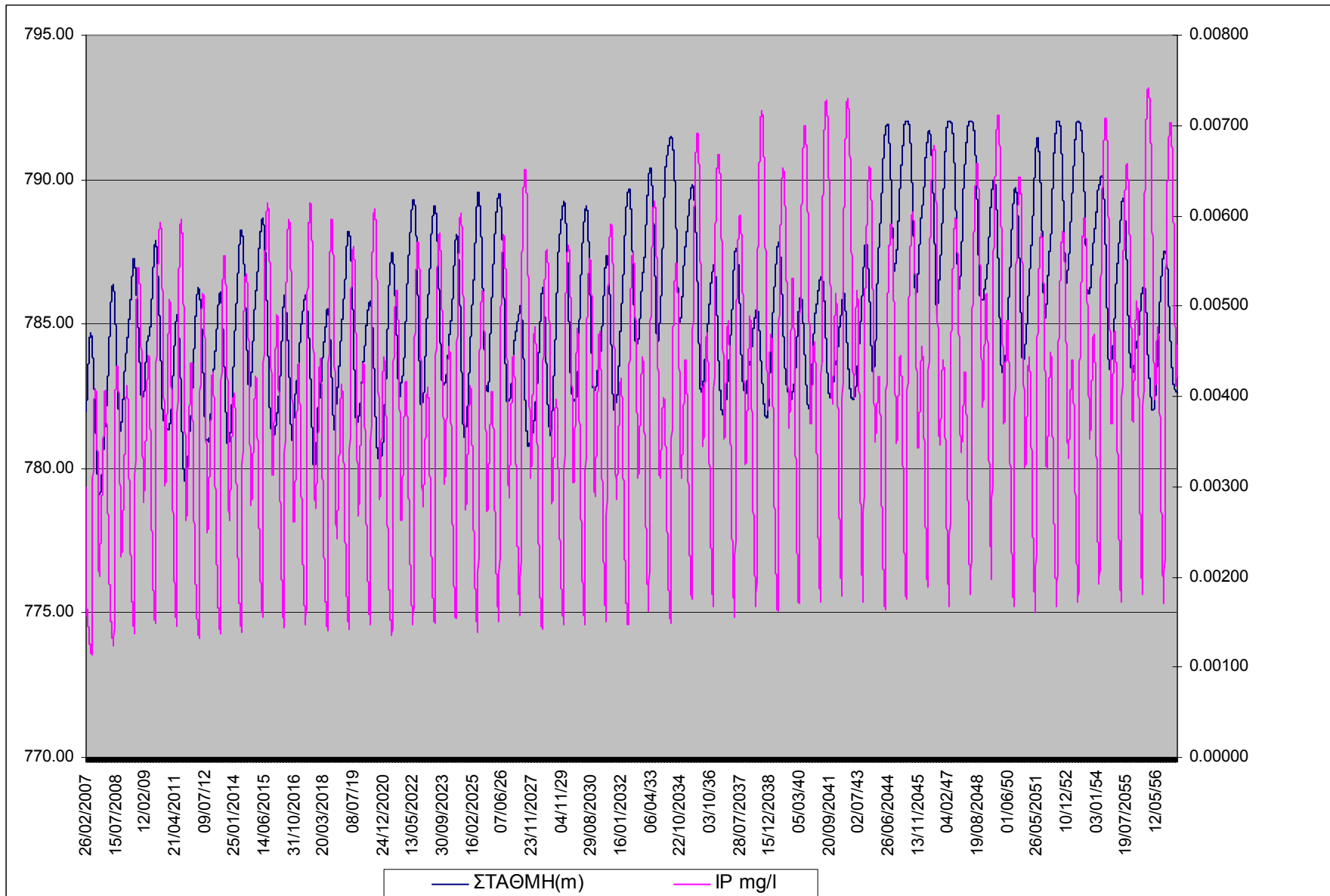


**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: ΣΕΝΑΡΙΟ 1<sup>ο</sup>**

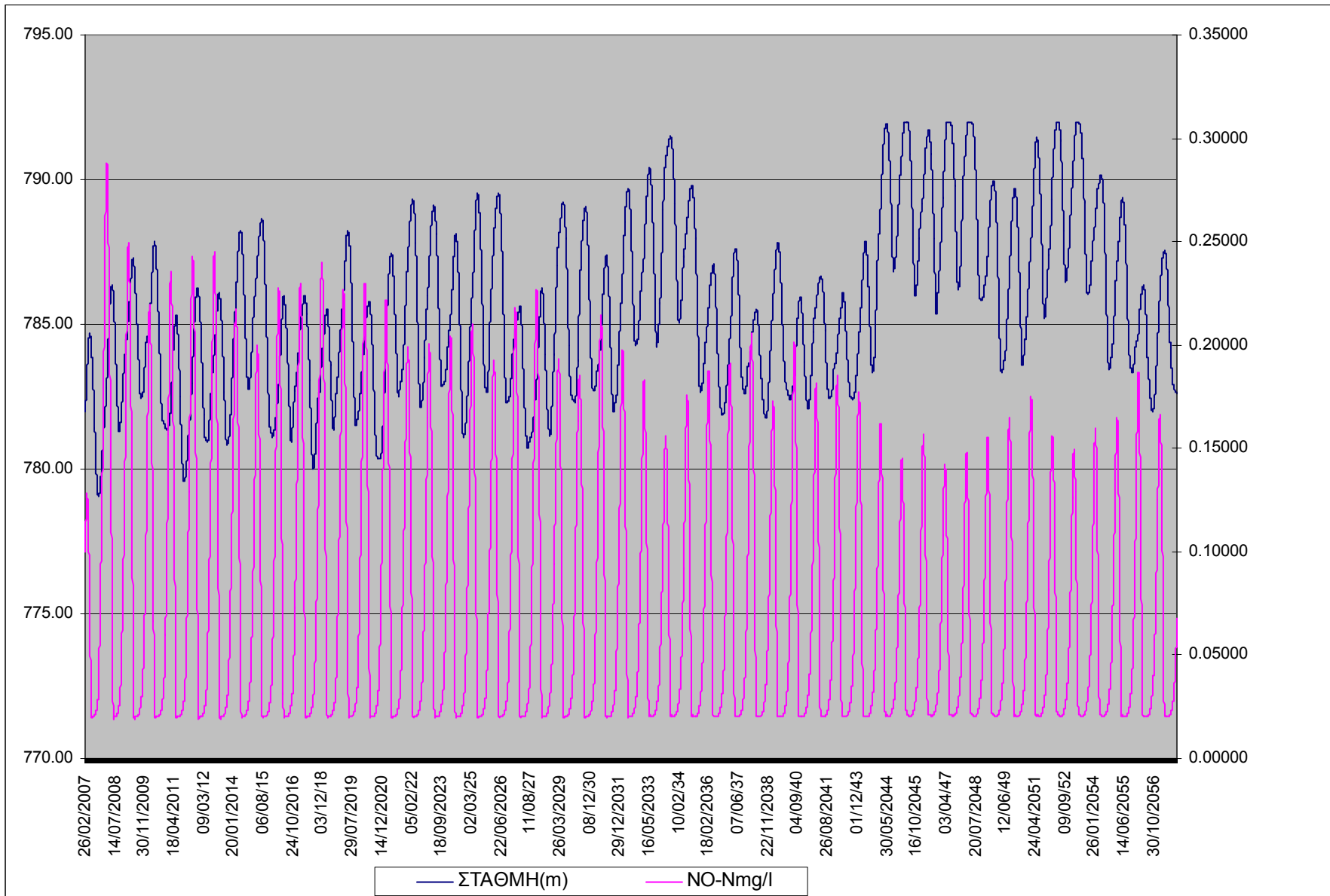


**Χρονοσειρά 2007-2057 στάθμης ταμειυτήρα, συγκέντρωσης Chl-a**

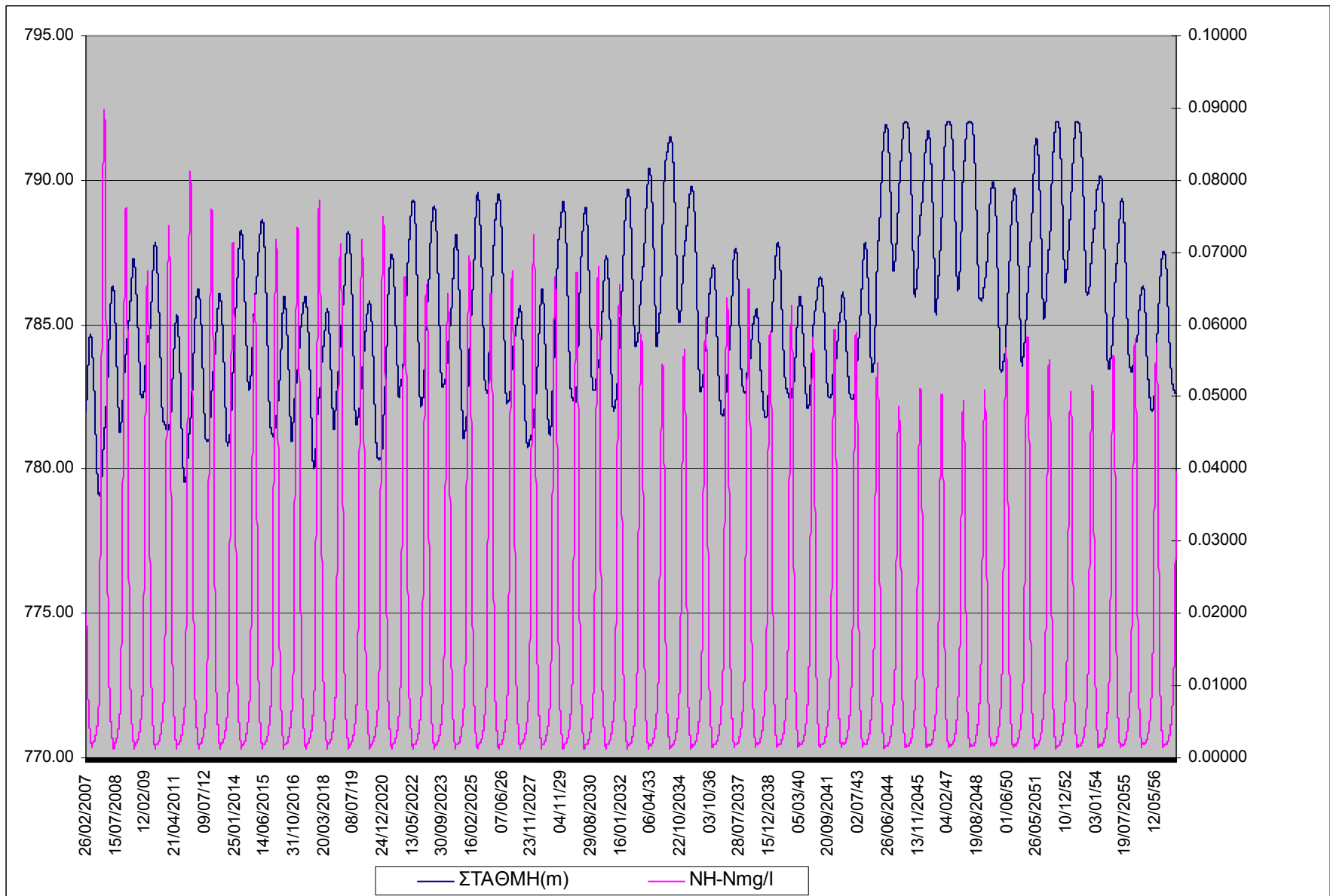




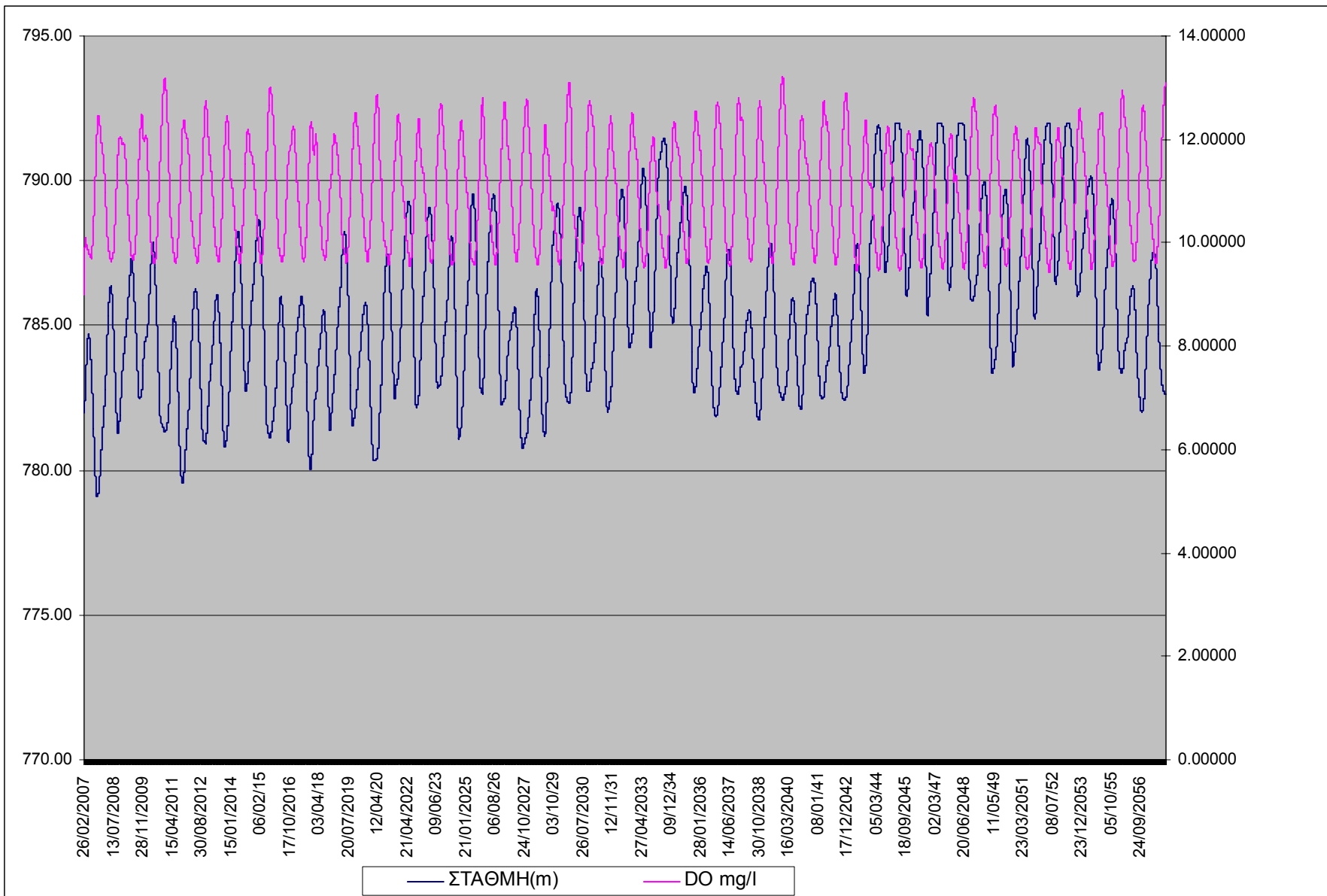
**Χρονοσειρά 2007-2057 στάθμης ταμειυτήρα, συγκέντρωσης IP**



Χρονοσειρά 2007-2057 στάθμης ταμιευτήρα, συγκέντρωσης NO-N



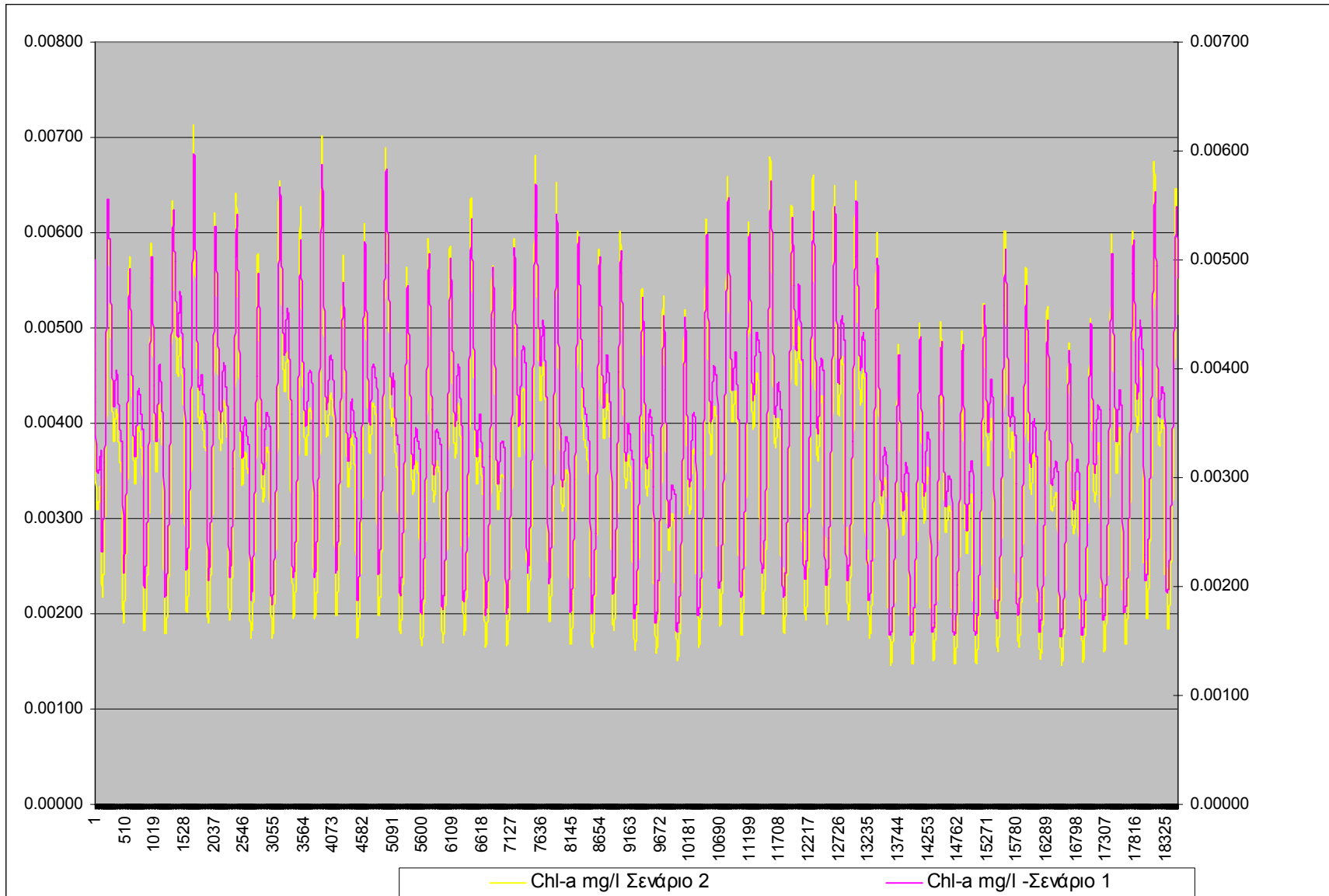
**Χρονοσειρά 2007-2057 στάθμης ταμειυτήρα, συγκέντρωσης NH\_N**



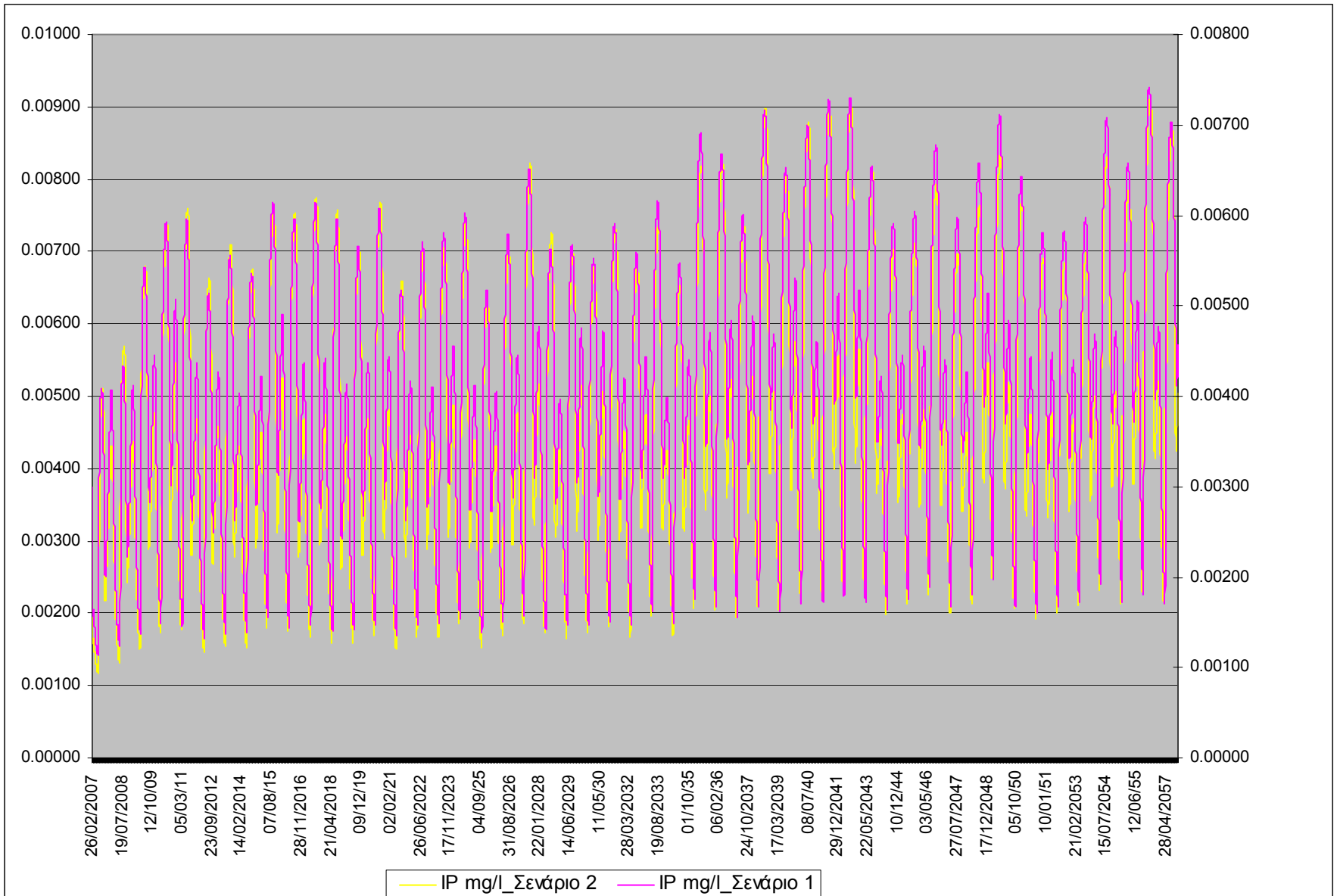
**Χρονοσειρά 2007-2057 στάθμης ταμιευτήρα, συγκέντρωσης DO**

**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: ΣΕΝΑΡΙΟ 2<sup>ο</sup>**

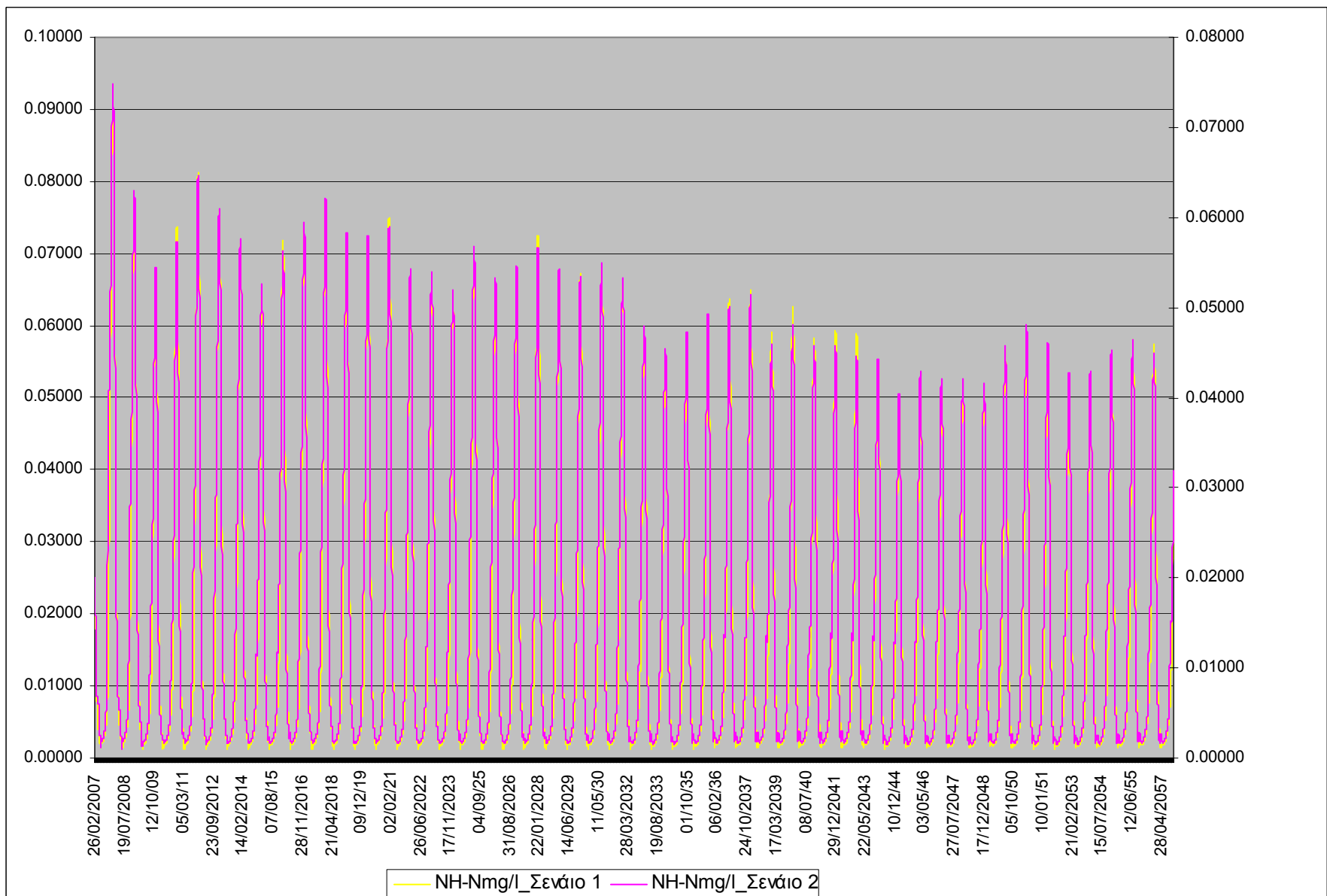




Χρονοσειρά 2007-2057 συγκέντρωσης Chl-a



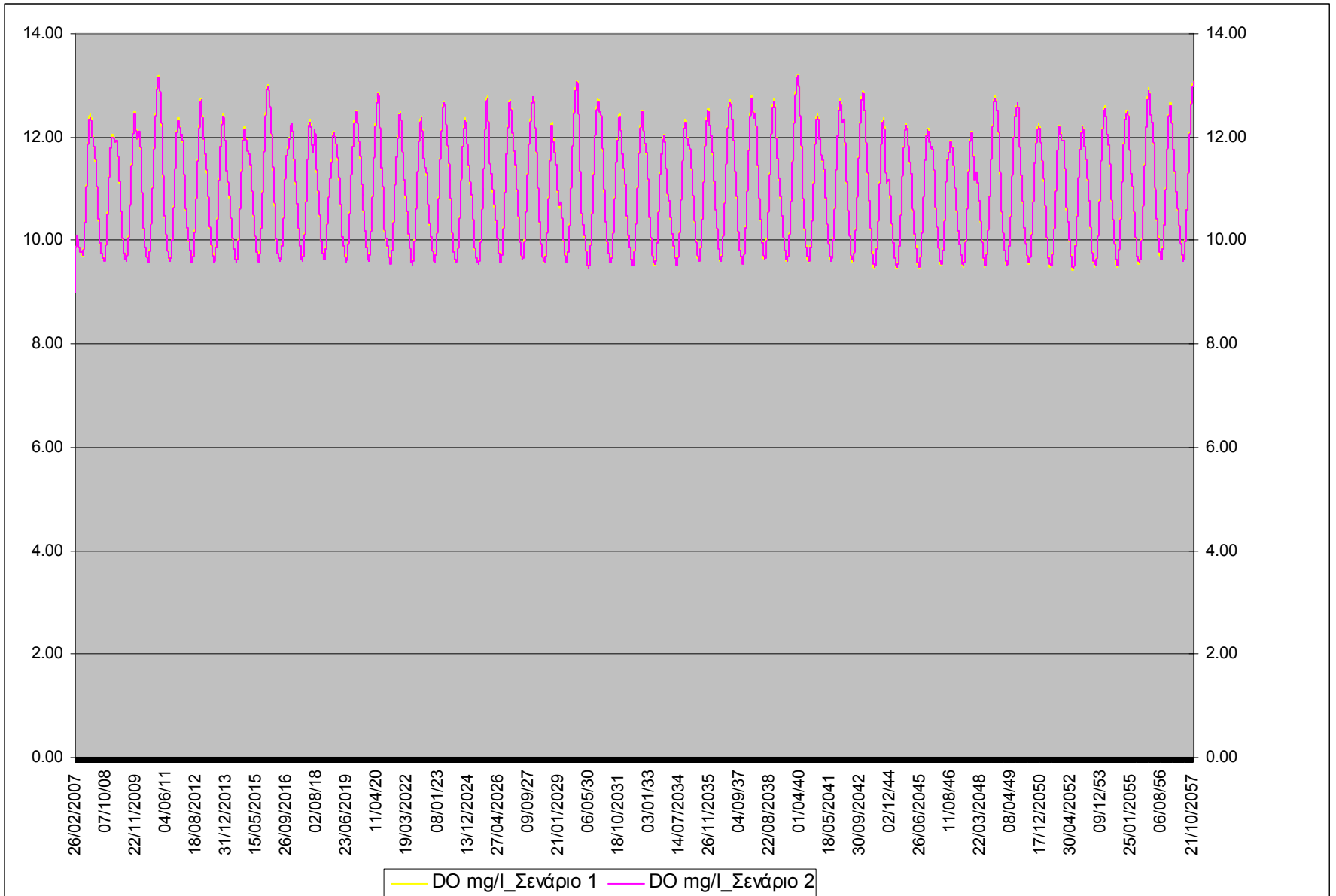
**Χρονοσειρά 2007-2057 συγκέντρωσης IP**



**Χρονοσειρά 2007-2057 συγκέντρωσης NH<sub>N</sub>**



**Χρονοσειρά 2007-2057 συγκέντρωσης NO-N**



**Χρονοσειρά 2007-2057 συγκέντρωσης DO**

## 7.7 Συμπεράσματα

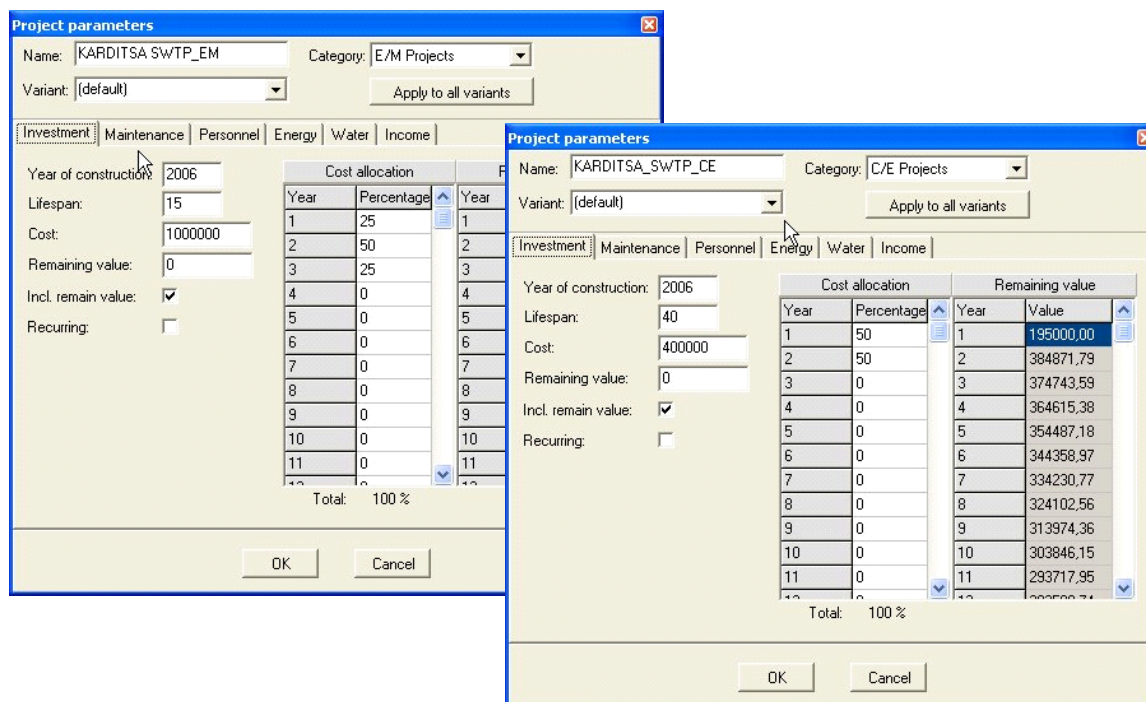
- Τα αποτελέσματα του Σεναρίου 1 προσεγγίζουν ιδιαίτερα ικανοποιητικά αυτά του Σεναρίου 2
- Οι συγκεντρώσεις της Chl-a στο 2<sup>ο</sup> Σενάριο κυμαίνονται από 1.5 έως 7.1 µg/l με μέση τιμή 3.4 µg/l (μετρήσεις: 0.8 – 4 µg/l)
- Οι συγκεντρώσεις του IP στο 2<sup>ο</sup> Σενάριο κυμαίνονται από 1.2 έως 9.0 µg/l με μέση τιμή 4.1 µg/l (μετρήσεις: 1 – 6 µg/l)
- Οι συγκεντρώσεις του NH-N στο 2<sup>ο</sup> Σενάριο κυμαίνονται από 1.1 έως 74 µg/l με μέση τιμή 15 µg/l (μετρήσεις: 4 –43 µg/l)
- Οι συγκεντρώσεις του NO-N στο 2<sup>ο</sup> Σενάριο κυμαίνονται από 18 έως 259 µg/l με μέση τιμή 17 µg/l (μετρήσεις: 4 –211 µg/l)
- Οι συγκεντρώσεις του DO στο 2<sup>ο</sup> Σενάριο κυμαίνονται από 9.4 έως 13.2 µg/l με μέση τιμή 11 µg/l (μετρήσεις: 9.9 –12.1 µg/l)
- Η διατήρηση της στάθμης λειτουργίας της λίμνης σε επίπεδο ανώτερα του +782 m φαίνεται να εξασφαλίζει μια καλή διαχρονική ποιότητας υδάτων μια και οι χαμηλότερες τιμές συγκέντρωσης της χλωροφύλλης, νιτρικών και αμμωνίας εξασφαλίζονται στις υψηλότερες στάθμες.
- Το επόμενο στάδιο ανάπτυξης του μοντέλου θα είναι η ενσωμάτωση αλγορίθμου βαθμονόμησης.

## 8 Χρηματοοικονομική ανάλυση – Εφαρμογή λογισμικού ΕΡΜΗΣ

### 8.1 Εξεταζόμενο έργο

Το εξεταζόμενο έργο αφορά στην κατασκευή των έργων επέκτασης της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ) Καρδίτσας, έτσι ώστε να εξυπηρετεί 14 000 Ισοδύναμο Πληθυσμού (ΙΠ) επιπλέον. Η μελέτη του έγινε με το λογισμικό ΕΡΜΗΣ, χαρακτηριστικές φόρμες του οποίου φαίνονται στο Σχήμα 8.1.

Τα θεωρούμενα χρηματοδοτικά σχήματα του έργου είναι δύο: (α) χωρίς κοινοτική χρηματοδότηση και (β) με κοινοτική χρηματοδότηση 50%. Τα βασικά οικονομικά τους μεγέθη δίνονται στους Πίνακες 8.1 και 8.2, αντίστοιχα. Η έναρξη λειτουργίας του έργου τοποθετείται το 2008.



Σχήμα 8.1: Φόρμες κόστους επένδυσης στην περίπτωση κοινοτικής συνδρομής, από το γραφικό περιβάλλον του λογισμικού ΕΡΜΗΣ.

Πίνακας 8.1: Προϋπολογισμός έργου χωρίς κοινοτική χρηματοδότηση.

A/A	Τίτλος υποέργου	2006	2007	2008	Προϋπολογισμός
1.1.	Έργα ΗΜ	■	■	■	
		<b>25%</b>	<b>50%</b>	<b>25%</b>	<b>2 000 000</b>
1.2	Έργα ΠΜ 1	■			
		<b>100%</b>			<b>800 000</b>

Πίνακας 8.2: Προϋπολογισμός έργου με κοινοτική χρηματοδότηση 50%.

A/A	Τίτλος υποέργου	2006	2007	2008	Προϋπολογισμός
1.1.	Έργα ΗΜ				
		<b>25%</b>	<b>50%</b>	<b>25%</b>	<b>1 000 000</b>
1.2	Έργα ΠΜ 1				
		<b>100%</b>			<b>400 000</b>

## 8.2 Μεγέθη σχεδιασμού

### 8.2.1 Εκτίμηση ωφελούμενου πληθυσμού

Σύμφωνα με το σχεδιασμό του, το εξεταζόμενο έργο θα εξυπηρετήσει 14 000 ΠΠ. Για τις ανάγκες της παρούσας αξιολόγησης θεωρείται η ακόλουθη κλιμάκωση μέσα στη 15ετία:

- 2009: 1 000 ΠΠ.
- 2021: 14 000 ΠΠ.
- Ετήσια αύξηση εξυπηρετούμενου πληθυσμού: 1 000 ΠΠ.

### 8.2.2 Εκτίμηση παροχών ακαθάρτων

Για τις ανάγκες υπολογισμού των εσόδων από τη χρήση υπονόμων, εκτιμάται η κατανάλωση ύδατος σε 120 L/κατ./ημέρα. Τα αναλυτικά στοιχεία, που αφορούν σε όλη για την περίοδο αξιολόγησης, δίνονται στον Πίνακα 8.3. Η εισαγωγή των δεδομένων στο περιβάλλον του λογισμικού ΕΡΜΗΣ φαίνεται στο Σχήμα 8.2.

Πίνακας 8.3: Πρόβλεψη διαχρονικής εξέλιξης του ετήσιου όγκου κατανάλωσης.

Έτος	Ετήσιος όγκος ύδατος (m <sup>3</sup> )
2006	0
2007	0
2008	43 800
2009	87 600
2010	131 400
2011	175 200
2012	219 000
2013	262 800
2014	306 600
2015	350 400
2015	394 200
2017	438 000
2018	481 800
2019	525 600
2020	569 400
2021	613 200



The screenshot shows the 'Project parameters' dialog box with the 'Water' tab selected. The 'Annual values' table shows cumulative units over 12 years, and the 'Monthly distribution' table shows coefficients for each month. The 'Billing plan' is set to 'New water billing plan (sale)'.

Annual values		Monthly distribution	
Year	Units	Month	Coefficient
1	0	1	5
2	0	2	5
3	43800	3	5
4	87600	4	5
5	131400	5	10
6	175200	6	10
7	219000	7	15
8	262800	8	20
9	306600	9	10
10	350400	10	5
11	394200	11	5
12	438000	12	5

Σχήμα 8.2: Καταναλισκόμενο νερό κατά την περίοδο αξιολόγησης, στο γραφικό περιβάλλον του λογισμικού ΕΡΜΗΣ.

### 8.3 Εκτίμηση εσόδων

Τα μελλοντικά έσοδα του φορέα υλοποίησης θα προέρχονται από τα τέλη χρήσης αποχέτευσης. Λαμβάνοντας υπόψη την τιμολογιακή πολιτική της επιχείρησης αποχέτευσης που λειτουργεί στην ευρύτερη περιοχή (ΔΕΥΑ Καρδίτσας) θεωρούνται τα ακόλουθα:

- τα τέλη χρήσης αποχέτευσης αποτελούν το 70% των τελών κατανάλωσης νερού, για τα οποία θεωρείται μια μέση τιμή 1.0 €/ m<sup>3</sup>.
- τα έξοδα λειτουργίας και συντήρησης της ΕΕΛ αφορούν στο 50% του τιμολογίου αποχέτευσης.

### 8.4 Εκτίμηση εξόδων

Τα έξοδα λειτουργίας και συντήρησης του έργου διαχωρίζονται σε:

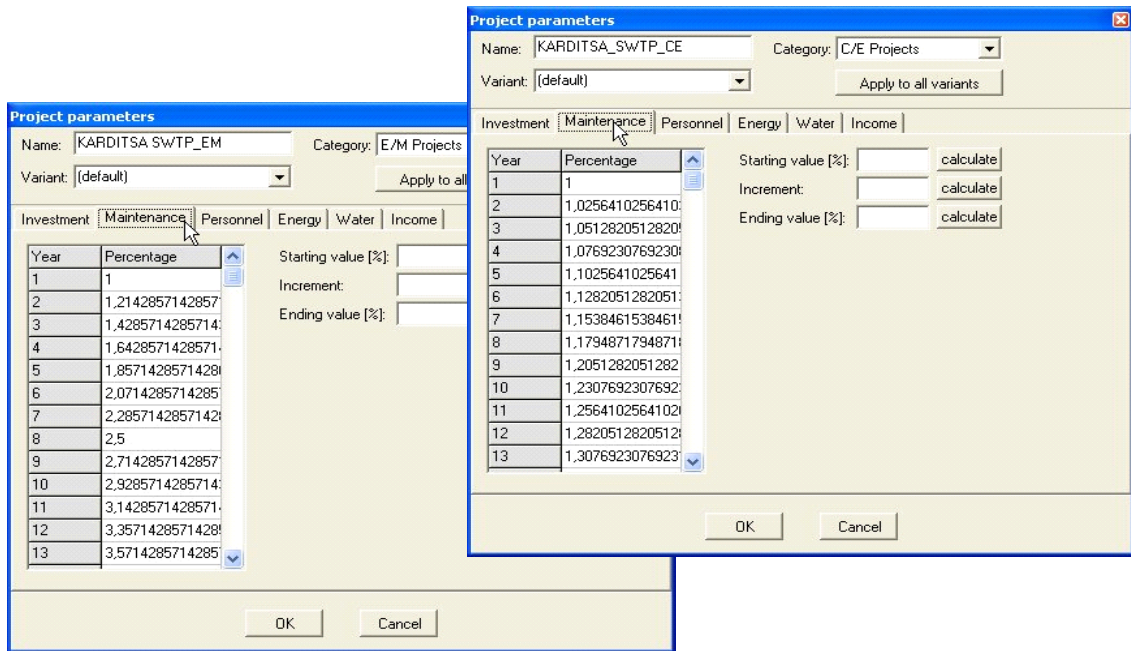
- κόστος συντήρησης έργων Η/Μ·
- κόστος συντήρησης έργων Π/Μ·
- κόστος προσωπικού·
- ενεργειακό κόστος

#### 8.4.1 Κόστος συντήρησης έργων

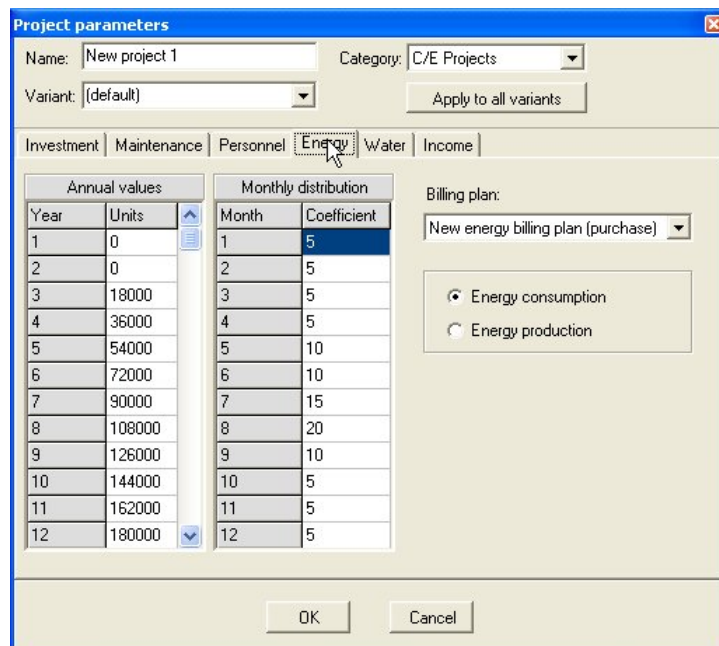
Το ετήσιο κόστος συντήρησης των έργων, όπως κλιμακώνεται από το πρώτο έως το τελευταίο έτος της θεώρησης, εκτιμάται ως εξής:

- ποσοστό 1% έως 2% επί του προϋπολογισμού των Π/Μ εργασιών·
- ποσοστό από 1% έως 4% επί του προϋπολογισμού των Η/Μ εργασιών.

Η εισαγωγή των δεδομένων στη σχετική φόρμα του λογισμικού ΕΡΜΗΣ φαίνεται στο Σχήμα 8.3.



Σχήμα 8.3: Φόρμες εισαγωγής δεδομένων συντήρησης έργου, στο γραφικό περιβάλλον του λογισμικού ΕΡΜΗΣ.



Σχήμα 8.4: Φόρμα εισαγωγής δεδομένων κατανάλωσης ενέργειας, στο γραφικό περιβάλλον του λογισμικού ΕΡΜΗΣ.

#### 8.4.2 Κόστος προσωπικού

Για τη διοίκηση και λειτουργία των έργων, θεωρείται ότι απαιτούνται 2 άτομα πλήρους απασχόλησης. Με ετήσιο εργοδοτικό κόστος 25 000 €, προκύπτει το κόστος προσωπικού, για κάθε έτος λειτουργίας, ίσο με:  $2 \times 25\ 000 = 50\ 000$  €.

### 8.4.3 Κόστος λειτουργίας

Λαμβάνοντας υπόψη το εφαρμοζόμενο σύστημα επεξεργασίας λυμάτων στην ΕΕΛ Καρδίτσας, θεωρείται μια ετήσια κατανάλωση 18 kWh/ΠΠ. Η κλιμάκωση της κατανάλωσης ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας είναι:

- 2009: 18 000 ΠΠ·
- 2021: 252 000 ΠΠ·
- Ετήσια αύξηση εξυπηρετούμενου πληθυσμού: 18 000 ΠΠ.

Το κόστος του ηλεκτρικού ρεύματος λαμβάνεται ίσο με 0.06 €/KWh.

Η εισαγωγή των ενεργειακών δεδομένων στη σχετική φόρμα του λογισμικού EPMHS φαίνεται στο Σχήμα 8.4.

### 8.5 Αποτελέσματα χρηματοοικονομικής ανάλυσης

Με βάση τις παραπάνω υποθέσεις, εφαρμόστηκε το μοντέλο EPMHS για την αποτίμηση των δύο προαναφερθέντων σεναρίων, δηλαδή χωρίς και με κοινοτική χρηματοδότηση του έργου. Τα αναλυτικά αποτελέσματα ανά έτος δίνονται στα Σχήματα 8.5 και 8.6, αντίστοιχα, ενώ οι βασικοί δείκτες (παρούσα αξία, λόγος οφέλους-κόστους, εσωτερικός συντελεστής απόδοσης) συνοψίζονται στον Πίνακα 8.4. Από την ανάλυση προκύπτει ότι το έργο, ως κατ' εξοχήν περιβαλλοντικό, παρουσιάζει βιώσιμους χρηματοοικονομικούς δείκτες μόνο στην περίπτωση κοινοτικής συνδρομής.

Πίνακας 8.4: Σύνοψη βασικών χρηματοοικονομικών δεικτών.

	Χωρίς κοινοτική συνδρομή	Με κοινοτική συνδρομή
Παρούσα αξία δαπανών επένδυσης, NPV	-1.194.290 €	305.447 €
Λόγος οφέλους-κόστους, B/C	2.76	3.57
Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης, IRR (%)	0.28	8.30

Year	Income	Investments	Running costs	Cashflow	Accum. CF	Cashflow NPV	Accum. CF NPV
2006	0,00	900000,00	28000,00	-928000,00	-928000,00	-928000,00	-928000,00
2007	0,00	1400000,00	32490,84	-1432490,84	-2360490,84	-1351406,46	-2279406,46
2008	44150,40	500000,00	88061,68	-543911,28	-2904402,13	-484079,11	-2763485,56
2009	88300,80	0,00	93632,53	-5331,73	-2909733,86	-4476,62	-2767962,18
2010	132451,20	0,00	99203,37	33247,83	-2876486,02	26335,40	-2741626,79
2011	176601,60	0,00	104774,21	71827,39	-2804658,64	53673,60	-2687953,19
2012	220752,00	0,00	110345,05	110406,95	-2694251,69	77832,54	-2610120,65
2013	264902,40	0,00	115915,90	148986,50	-2545265,19	99084,53	-2511036,11
2014	309052,80	0,00	121486,74	187566,06	-2357699,13	117681,27	-2393354,85
2015	353203,20	0,00	127057,58	226145,62	-2131553,51	133855,24	-2259499,60
2016	397353,60	0,00	132628,42	264725,18	-1866828,34	147821,16	-2111678,45
2017	441504,00	0,00	138199,27	303304,73	-1563523,60	159777,15	-1951901,30
2018	485654,40	0,00	143770,11	341884,29	-1221639,31	169906,02	-1781995,28
2019	529804,80	0,00	149340,95	380463,85	-841175,47	178376,30	-1603618,98
2020	1080365,46	0,00	154911,79	925453,66	84278,19	409329,05	-1194289,93

NPV: -1194289,93    Income to Expenses ratio: 2,759    IRR: 0,275%

Σχήμα 8.5: Αποτελέσματα χρηματοοικονομικής ανάλυσης χωρίς κοινοτική συνδρομή, στο γραφικό περιβάλλον του λογισμικού EPMHS.

Analysis for financial plan Karditsa, variant: (default)

Investment plan | Inv. plan yearly analysis | NPV

Year	Income	Investments	Running costs	Cashflow	Accum. CF	Cashflow NPV	Accum. CF NPV
2006	0,00	450000,00	14000,00	-464000,00	-464000,00	-464000,00	-464000,00
2007	0,00	700000,00	16245,42	-716245,42	-1180245,42	-675703,23	-1139703,23
2008	44150,40	250000,00	69570,84	-275420,44	-1455665,86	-245123,21	-1384826,44
2009	88300,80	0,00	72896,26	15404,54	-1440261,33	12933,95	-1371892,50
2010	132451,20	0,00	76221,68	56229,52	-1384031,81	44539,04	-1327353,45
2011	176601,60	0,00	79547,11	97054,49	-1286977,32	72524,76	-1254828,69
2012	220752,00	0,00	82872,53	137879,47	-1149097,85	97199,59	-1157629,10
2013	264902,40	0,00	86197,95	178704,45	-970393,39	118848,67	-1038780,43
2014	309052,80	0,00	89523,37	219529,43	-750863,96	137735,48	-901044,95
2015	353203,20	0,00	92848,79	260354,41	-490509,56	154103,37	-746941,58
2016	397353,60	0,00	96174,21	301179,39	-189330,17	168177,00	-578764,58
2017	441504,00	0,00	99499,63	342004,37	152674,20	180163,63	-398600,95
2018	485654,40	0,00	102825,05	382829,35	535503,54	190254,46	-208346,49
2019	529804,80	0,00	106150,48	423654,32	959157,87	198625,68	-9720,81
2020	827160,33	0,00	109475,90	717684,43	1676842,30	317432,52	307711,70

NPV: **307711,70**    Income to Expenses ratio: **3,577**    IRR: **8,292%**

Σχήμα 8.6: Αποτελέσματα χρηματοοικονομικής ανάλυσης με κοινοτική συνδρομή, στο γραφικό περιβάλλον του λογισμικού EPMHS.

## 9 Συμπεράσματα και προτάσεις

---

### 9.1 Συμπεράσματα

Στα πλαίσια της πιλοτικής εφαρμογής επιχειρήθηκε για πρώτη φορά μια ολιστική θεώρηση των προβλημάτων που αφορούν στη διαχείριση των υδατικών πόρων της περιοχής της Καρδίτσας, με τη χρήση των εξελιγμένων εργαλείων του συστήματος ΥΔΡΟΓΑΙΑ και ζητούμενο την εκπόνηση του παρόντος Διαχειριστικού Σχεδίου.

Αν και ο κύριος στόχος ήταν η αξιολόγηση των εν λόγω εργαλείων, αφενός ως προς το μεθοδολογικό τους υπόβαθρο και αφετέρου ως προς τη λειτουργικότητα του λογισμικού, από την εφαρμογή τους προέκυψαν σημαντικά συμπεράσματα, που μπορούν να συμβάλλουν στην κατεύθυνση της βιώσιμης διαχείρισης των υδατικών πόρων.

Στη συνέχεια αναλύονται τα συμπεράσματα που αφορούν στην περιοχή μελέτης και γίνεται μια συνοπτική αξιολόγηση των μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν.

#### 9.1.1 Συμπεράσματα που αφορούν στην περιοχή μελέτης

Τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης, με έμφαση στα προβλήματα που αφορούν στη διαχείριση των υδατικών πόρων, συνοψίζονται στα εξής:

- Στην περιοχή μελέτης αναπτύσσεται ένα ιδιαίτερα σύνθετο υδροσύστημα, που περιλαμβάνει επιφανειακούς και υπόγειους υδατικούς πόρους, υδραυλικά έργα κάθε κλίμακας (φράγματα, αρδευτικά και υδρευτικά υδραγωγεία, κρατικές και ιδιωτικές γεωτρήσεις) και πολλαπλούς χρήστες, με ανταγωνιστικά συμφέροντα.
- Το υδατικό δυναμικό της περιοχής, το οποίο μάλιστα ενισχύεται με νερά που εκτρέπονται από τον παραπόταμο του Αχελώου Ταυρωπό, μέσω του ταμιευτήρα Πλαστήρα, μπορεί να χαρακτηριστεί σχετικά πλούσιο. Ωστόσο, η ανεπάρκεια των έργων επιφανειακής ταμίευσης, σε συνδυασμό με τη μη ορθολογική διαχείριση των υφιστάμενων αλλά και τις σημαντικές απώλειες κατά μήκος των αρδευτικών υδραγωγείων (χωμάτων τάφρων, κατά κανόνα), αναγκάζει σε υπερεκμετάλλευση των υπόγειων νερών, με συνέπεια την ταπείνωση της στάθμης του υδροφορέα και την ποιοτική υποβάθμισή του.
- Η κύρια χρήση νερού παραμένει η αρδευτική, ωστόσο το γεωργικό εισόδημα φθίνει σταθερά, με συνέπεια μεγάλο μέρος του πληθυσμού να στέφεται πλέον προς άλλες δραστηριότητες.
- Τα τελευταία έτη, η ανταγωνιστικότητα των χρήσεων έχει ενταθεί, δεδομένου ότι εκτός των παραδοσιακών προορισμών του νερού (ύδρευση, άρδευση, παραγωγή ενέργειας) έχουν προκύψει νέες απαιτήσεις, που αφορούν στην προστασία της ποιότητας των υδάτινων σωμάτων και του περιβάλλοντος, προς όφελος και της τουριστικής ανάπτυξης της περιοχής.
- Αν και η πρόσφατη ένταξη του ταμιευτήρα Σμοκόβου στο υδροσύστημα αποτελεί μια ιδιαίτερα θετική προοπτική για το υδροσύστημα, οι εξαιρετικά χαμηλοί ρυθμοί ολοκλήρωσης του κατάντη αρδευτικού δικτύου, το οποίο θα αποτελείται από σωληνωτούς αγωγούς υψηλής αξιοπιστίας και θα αρδεύει μια συνολική έκταση 252 000 στεμμάτων, δεν επιτρέπει παρά μια περιορισμένη, προς το παρόν, αξιοποίηση των δυνατοτήτων του έργου.
- Το μετρητικό δίκτυο της περιοχής, που αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την εποπτεία και διαχείριση των υδατικών πόρων, λειτουργεί πλημμελώς, δεδομένου ότι πολλοί υδρομετρικοί

σταθμοί έχουν εγκαταλειφθεί, ενώ αρκετοί από τους υφιστάμενους παρουσιάζουν σημαντικά προβλήματα λειτουργικότητας.

- Ακόμα χειρότερη είναι η εικόνα όσον αφορά στα υπόγεια νερά, με την ανεξέλεγκτη χρήση των, σε πολλές περιπτώσεις, παράνομων γεωτρήσεων, σε συνδυασμό με την απουσία συστηματικών πιεζομετρικών παρατηρήσεων.
- Οι δράσεις που αφορούν στον έλεγχο και την προστασία της ποιότητας των υδάτινων σωμάτων, που αποτελεί κεντρικό στόχο της Οδηγίας-Πλαίσιο 2000/60 της Ε.Ε., περιορίζονται στην τακτική παρακολούθηση των ποιοτικών παραμέτρων των δύο ταμιευτήρων (Πλαστήρα και Σμοκόβου), ενώ δεν έχουν ληφθεί παρά ελάχιστα μέτρα για την προστασία κυρίως του Πηνηιού (αλλά και των παραποτάμων του), σε αρκετά σημεία του οποίου παρατηρούνται πολύ υψηλές συγκεντρώσεις ρυπαντικών φορτίων.
- Στη διαχείριση των υδατικών πόρων της περιοχής εμπλέκονται πολλοί φορείς, που συνήθως όχι μόνο δεν συντονίζονται μεταξύ τους αλλά λειτουργούν ανταγωνιστικά.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω επιχειρήθηκε, σε πρώτη προσέγγιση, μια ολοκληρωμένη μοντελοποίηση του υδροσυστήματος, με αξιοποίηση του συνόλου σχεδόν των εργαλείων που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια του έργου, είτε μεμονωμένα είτε συνδυαστικά. Σταχυολογώντας τα πλέον ενδιαφέροντα σημεία των αναλύσεων, καταλήγουμε στα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Από τη συλλογή ενός μεγάλου πλήθους στοιχείων που αφορούν στις καλλιεργούμενες εκτάσεις, και την επεξεργασία τους με το λογισμικό ΔΙΨΟΣ, προκύπτει ότι από τις αρχές της δεκαετίας του 1970 μέχρι και τις αρχές της δεκαετίας του 1990 οι αρδευτικές ανάγκες του υδροσυστήματος αυξήθηκαν σημαντικά, χωρίς αντίστοιχη πρόοδο των αναγκαίων έργων υποδομής.
- Από την προσαρμογή του μοντέλου γεω-υδρολογικής προσομοίωσης ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ στα δεδομένα της περιόδου 1972-1993 προκύπτει ότι το μέσο ετήσιο ύψος βροχής στο τμήμα που περιλαμβάνει την υπολεκάνη του Πηνηιού ανάντη του υδρομετρικού σταθμού Αλή Εφέντη ανέρχεται σε 842 mm, από τα οποία το 56.5% εξατμίζονται και το 32.7% απορρέουν επιφανειακά.
- Η διερεύνηση της δίαιτας των υπόγειων νερών καταδεικνύει ότι η διαχρονική εξέλιξη της επανατροφοδοσίας του υδροφορέα από την κατείδουση είναι πολύ μικρότερη σε σύγκριση με την εξέλιξη της αρδευτικής ζήτησης, γεγονός που αιτιολογεί τη σημαντική ταπείνωση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, ιδιαίτερα στα ΝΑ πεδινές περιοχές της λεκάνης (περιοχή Σοφάδων).
- Με εφαρμογή του λογισμικού ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ, αναζητήθηκε η πλέον πρόσφορη πολιτική διαχείρισης του υδροσυστήματος, βελτιστοποιώντας τις παραμέτρους λειτουργίας των κύριων έργων αξιοποίησης (ταμιευτήρες, γεωτρήσεις) ως προς δύο κριτήρια, την αξιοπιστία της κάλυψης των υδρευτικών και αρδευτικών στόχων και την καταναλισκόμενη ενέργεια στα αντλιοστάσια.
- Από την ανάλυση του μέσου ετήσιου υδατικού ισοζυγίου της περιοχής μελέτης προκύπτει ότι το 53% της ζήτησης προέρχεται από τις εκροές των ταμιευτήρων Πλαστήρα και Σμοκόβου, το 27% καλύπτεται με απευθείας απολήψεις από υδατορεύματα, ενώ το 20% από γεωτρήσεις. Τα μεγέθη αυτά βασίζονται στις παραδοχές διατήρησης της στάθμης του ταμιευτήρα Πλαστήρα πάνω από το όριο των +782 m, το οποίο έχει προταθεί σε πρόσφατη μελέτη του ΕΜΠ (2002), και μερικής ολοκλήρωσης του αρδευτικού δικτύου Σμοκόβου.
- Η μεγαλύτερη συνεισφορά των γεωτρήσεων εντοπίζεται στις αρδευόμενες περιοχές των Σελάνων, Παλαμά, Σοφάδων και Ξυνονερίου, και εντείνεται σε περιόδους χαμηλής υδροφορίας, οπότε περιορίζεται η διαθεσιμότητα των επιφανειακών νερών.
- Η θέσπιση μιας ελάχιστης στάθμης για την πραγματοποίηση απολήψεων από τους ταμιευτήρες Πλαστήρα και Σμοκόβου, σε συνδυασμό με τη διατήρηση της οικολογικής παροχής στο τμήμα του Σοφαδίτη κατάντη του φράγματος Σμοκόβου, είναι στόχοι που μπορούν να επιτευχθούν με υψηλή αξιοπιστία, εξασφαλίζοντας καλή ποιότητα των νερών των δύο λιμνών και προστασία του περιβάλλοντος.

- Με εφαρμογή της προτεινόμενης διαχειριστικής πολιτικής, κατά την αρδευτική περίοδο (Μάιος-Σεπτέμβριος) θα διοχετεύονται, κατά μέσο όρο, 45.9 hm<sup>3</sup> (9.5 hm<sup>3</sup> τον Ιούλιο) για την κάλυψη των αναγκών της κατάντης περιοχής (Λάρισα).
- Από την εφαρμογή των λογισμικών ΡΥΠΟΣ και ΛΕΡΝΗ, με βάση τις προσομοιωμένες εισροές και εκροές του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ αξιολογήθηκε η ποιοτική κατάσταση του ταμιευτήρα Πλαστήρα, στη βάση των διαχειριστικών σεναρίων που παρήχθησαν από τον ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ. Η εκτίμηση των εισερχόμενων ρυπαντικών φορτίων έγινε με το λογισμικό ΡΥΠΟΣ, ενώ για τη μελέτη της διαίτησής τους στον ταμιευτήρα χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ΛΕΡΝΗ.

### 9.1.2 Αξιολόγηση μαθηματικών μοντέλων και λογισμικών

Για την κατάρτιση του Σχεδίου Διαχείρισης, χρησιμοποιήθηκαν οκτώ λογισμικά του υπολογιστικού συστήματος ΥΔΡΟΓΑΙΑ, τα οποία ανταποκρίθηκαν με ιδιαίτερη επιτυχία σε ένα πρόβλημα ιδιαίτερα υψηλών απαιτήσεων, που δεν είχε έως τώρα αντιμετωπιστεί παρά μόνο αποσπασματικά. Τα κύρια συμπεράσματα από τη χρήση κάθε λογισμικού είναι τα εξής:

- Ο ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ χειρίστηκε με επιτυχία ένα μεγάλο αριθμό δεδομένων, οργανώνοντάς τα σε μια κεντρική βάση δεδομένων. Με την πληθώρα γραφικών εργαλείων που διαθέτει, συνέβαλε στη γρήγορη πραγματοποίηση των απαιτούμενων τυπικών υδρολογικών επεξεργασιών (συναθροίσεις, γραμμικές συσχετίσεις, εξαγωγή στατιστικών μεγεθών, κλπ.), τον οπτικοποίηση των δεδομένων (γραφήματα, διαγράμματα), καθώς και σε πιο εξειδικευμένες εργασίες, όπως η εκτίμηση της εξάτμισης.
- Η ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ εφαρμόστηκε σε δύο στάδια, για τη συνδυαστική αναπαράσταση των φυσικών και ανθρωπογενών διεργασιών της λεκάνης απορροής και του υδροφορέα της περιοχής της Δυτικής Θεσσαλίας. Η παραγωγή των απαιτούμενων θεματικών επιπέδων (υδρογραφικό δίκτυο, υπολεκάνες, μονάδες υδρολογικής απόκρισης, κύτταρα υδροφορέα, υδραγωγεία, γεωτρήσεις) έγινε με χρήση των ενσωματωμένων εργαλείων του συστήματος γεωγραφικής πληροφορίας. Σε πρώτο στάδιο, αξιοποιήθηκαν πλήρως οι καινοτόμες δυνατότητες του προγράμματος, που αναφέρονται στη χρήση πολλαπλών κριτηρίων προσαρμογής και εξελικτικών αλγορίθμων, για την εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου. Με τα εν λόγω εργαλεία αντιμετωπίστηκε ένα εξαιρετικά σύνθετο πρόβλημα πολυκριτηριακής βαθμονόμησης, επιτυγχάνοντας μια πολύ ικανοποιητική προσαρμογή του μοντέλου στα παρατηρημένα υδρολογικά δείγματα της περιόδου 1972-1993 (υδρογραφήματα, πιεζομετρικές παρατηρήσεις). Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στη φυσική συνέπεια των παραμέτρων, που εγγυάται καλή προγνωστική ικανότητα του μοντέλου. Οι εν λόγω τιμές χρησιμοποιήθηκαν, σε δεύτερο στάδιο, για τη στοχαστική πρόγνωση των εισροών του υδροσυστήματος (απορροές υπολεκανών), με είσοδο τις συνθετικές χρονοσειρές επιφανειακής βροχόπτωσης που παρήγαγε το λογισμικό ΚΑΣΤΑΛΙΑ.
- Η ΚΑΣΤΑΛΙΑ χρησιμοποιήθηκε για τη γέννηση συνθετικών υδρολογικών χρονοσειρών μήκους 1000 ετών (εισροές ταμιευτήρα Πλαστήρα, βροχόπτωση υπολεκανών). Οι εν λόγω χρονοσειρές είναι στατιστικά συνεπείς με τα ιστορικά δείγματα, καθώς αναπαράγουν τα περιθώρια και από κοινού στατιστικά χαρακτηριστικά τους (συσχετίσεις στο χώρο και το χρόνο), σε μηνιαία και ετήσια κλίμακα. Ακόμη, αναπαράγουν το φαινόμενο της υδρολογικής εμμονής, που σχετίζεται με τις μακροχρόνιες ξηρασίες και τη φερόμενες ως κλιματικές αλλαγές, και είναι εξαιρετικά κρίσιμο για τη μελέτη ενός υδροσυστήματος.
- Ο ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ, ως κεντρικό διαχειριστικό εργαλείο, χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση και βελτιστοποίηση του υδροσυστήματος. Το λογισμικό παρέχει πολύ καλή εποπτεία στο χρήστη, παρέχοντάς του πληθώρα εργαλείων για τη σχηματοποίηση του δικτύου και επιτρέποντάς του να παρακολουθήσει την προσομοίωση βήμα προς βήμα, ώστε να εντοπίσει τυχόν σφάλματα ή παραλείψεις στο δεδομένα και τις παραδοχές. Το μαθηματικό μοντέλο αναπαρέστησε με επιτυχία τη λειτουργία ενός τόσο πολύπλοκου υδροσυστήματος, λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά



των τεχνικών έργων (ταμιευτήρων, γεωτρήσεων, υδραγωγείων), την πληθώρα των στόχων και περιορισμών καθώς και οικονομικά δεδομένα. Στο υδροσύστημα ορίστηκαν μεταβλητές ελέγχου, οι οποίες αναφέρονται στη διαχείριση των ταμιευτήρων και των γεωτρήσεων, και κριτήρια που αφορούν σε διαφορετικές πτυχές του διαχειριστικού προβλήματος της περιοχής (αξιοπιστία, κόστος). Με τον τρόπο αυτό, διαμορφώθηκε ένα σύνθετο πρόβλημα βελτιστοποίησης, από την επίλυση του οποίου προέκυψε η πλέον πρόσφορη πολιτική λειτουργίας του συστήματος. Το μοντέλο, παρέχοντας μια πληθώρα αποτελεσμάτων, όλων εκφρασμένων με πιθανοτικούς όρους, επέτρεψε την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων σχετικά με τα ασφαλή διαχειριστικά μεγέθη του υδροσυστήματος.

- Ο ΡΥΠΟΣ χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση δύο συνιστωσών των ρυπαντικών φορτίων: (α) σημειακές αστικές και βιομηχανικές πηγές, και (β) μη σημειακές πηγές. Τα αποτελέσματα του χρησιμοποιήθηκαν ως στοιχεία εισόδου από τα πιο εξειδικευμένο μοντέλο δίαιτας ρύπων σε λίμνες (μοντέλο ΛΕΡΝΗ).
- Η ΛΕΡΝΗ χρησιμοποιήθηκε για την μελέτη της δίαιτας των ρύπων και την αξιολόγηση της ποιοτικής κατάστασης του ταμιευτήρα Πλαστήρα, στη βάση των διαχειριστικών σεναρίων που παρήχθησαν από τον ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ.
- Ο ΕΡΜΗΣ χρησιμοποιήθηκε για την οικονομική αποτίμηση ενός σημαντικού περιβαλλοντικού έργου της περιοχής μελέτης (ΕΕΛ Καρδίτσας). Παρέχοντας ένα φιλικό περιβάλλον εργασίας, στο οποίο ελήφθησαν υπόψη οι τυπικές παράμετροι μιας χρηματοοικονομικής ανάλυσης, το μοντέλο εξέτασε δύο σενάρια χρηματοδότησης του έργου (με και χωρίς κοινοτική συνδρομή), ενώ η τελική αξιολόγησή του βασίστηκε σε τρεις τυπικούς δείκτες, που έδωσαν μια συνοπτική πλην όμως ολοκληρωμένη εικόνα της βιωσιμότητας του έργου.

Μια καθοριστική παράμετρος επιτυχίας του όλου εγχειρήματος ήταν το πλαίσιο συνεργασίας των παραπάνω λογισμικών, που έχει ήδη περιγραφεί στην εισαγωγή (Σχήμα 1.1). Η συνεργασία αυτή βασίστηκε στην ανταλλαγή δεδομένων εισόδου και εξόδου, κυρίως με τη μορφή χρονοσειρών, όπου αναδείχθηκαν τα πλεονεκτήματα του κεντρικού σχεδιασμού των συστημάτων του έργου, με κοινό κόμβο επικοινωνίας τους τη βάση δεδομένων. Από τις πλέον ενδιαφέρουσες πτυχές ήταν η σειριακή χρήση των λογισμικών ΚΑΣΤΑΛΙΑ, για τη γέννηση των συνθετικών χρονοσειρών επιφανειακής βροχόπτωσης στις υπολεκάνες, ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ, για την πρόγνωση της απορροής των υπολεκάνων, με βάση τις εν λόγω βροχοπτώσεις και ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ, για τον εντοπισμό της βέλτιστης διαχειριστικής πολιτικής λειτουργίας του υδροσυστήματος, με βάση τις εν λόγω απορροές. Εξίσου σημαντική ήταν η σειριακή χρήση του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ και του λογισμικού ΛΕΡΝΗ, το οποίο χρησιμοποίησε ως είσοδο τις προσομοιωμένες χρονοσειρές του υδατικού ισοζυγίου του ταμιευτήρα Πλαστήρα.

## 9.2 Προτάσεις

Η πιλοτική εφαρμογή είχε πειραματικό χαρακτήρα, καθώς επικεντρώθηκε περισσότερο στον έλεγχο των μοντέλων και λογισμικών. Παρά την αδρομερή προσέγγιση στη σχηματοποίηση του δικτύου και τις χονδροειδείς παραδοχές ορισμένων πτυχών του (π.χ. όπως η κατανομή των αρδευτικών αναγκών στους κόμβους), έχει τεθεί ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο για την κατάρτιση σχεδίων διαχείρισης των υδατικών πόρων της ευρύτερης περιοχής μελέτης. Το εν λόγω πλαίσιο μπορεί να συμβάλει στην εξαγωγή ορθολογικών, αποδοτικών και βιώσιμων πολιτικών λειτουργίας του υδροσυστήματος, με στόχο την ποσοτικά αξιόπιστη, ποιοτικά και περιβαλλοντικά ασφαλή, και οικονομικά πρόσφορη κάλυψη των διαφόρων χρήσεων νερού.

Με την ολοκλήρωση του έργου, η Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Καρδίτσας, καθώς και άλλοι κρατικοί και διοικητικοί φορείς του νομού, έχουν στη διάθεσή τους μια πλούσια υποδομή σε δεδομένα, μετρητικά όργανα και μαθηματικά εργαλεία, καθώς και την εμπειρία από την



πρώτη αυτή προσέγγιση, ώστε να προχωρήσουν στην κατάρτιση επιχειρησιακών, πλέον, διαχειριστικών σχεδίων και την ανάληψη των αναγκαίων δράσεων για τη βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων της περιοχής.

Δεδομένης της μεταβλητότητας όχι μόνο των υδρολογικών μεγεθών αλλά και άλλων συνιστωσών του υδροσυστήματος (υδατικές ανάγκες, χαρακτηριστικά τεχνικών έργων, οικονομικά δεδομένα, κλπ.), ο χαρακτήρας ενός τέτοιου σχεδίου διαχείρισης δεν μπορεί παρά να είναι δυναμικός. Κατά συνέπεια, κρίνεται αναγκαία η αναθεώρησή του σε τακτική βάση, τουλάχιστον μία φορά κάθε έτος, κατά προτίμηση ένα εύλογο διάστημα πριν από την έναρξη της αρδευτικής περιόδου, ώστε να μπορεί να υλοποιηθεί ο γεωργικός προγραμματισμός.

Τα σημεία όπου πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη βαρύτητα, με ζητούμενο την πλέον πρόσφορη αξιοποίηση των υποδομών που αποκτήθηκαν στα πλαίσια του έργου, είναι τα εξής:

- Αναγκαία δράση για την κατάρτιση ενός επιχειρησιακού διαχειριστικού σχεδίου είναι η τακτική επικαιροποίηση των δεδομένων εισόδου των μοντέλων. Ειδικότερα, όσον αφορά στην εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών, που αποτελούν τη μείζονα χρήση νερού στο υδροσύστημα, πριν από τη θερινή περίοδο απαιτείται η έγκαιρη συλλογή των εκτάσεων που πρόκειται να αρδευτούν, από τις αρμόδιες υπηρεσίες της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης και του Υπουργείου Γεωργίας.
- Η εγκατάσταση του νέου υδρομετρικού σταθμού στην έξοδο του Ενιπέα (όπου ελέγχεται η απορροή αποκλειστικά του Νομού Καρδίτσας), η χρηματοδότηση του οποίου έγινε από πόρους του ερευνητικού έργου, καθώς και η συλλογή των δεδομένων υδατικού ισοζυγίου του ταμιευτήρα Σμοκόβου, θα συμβάλλουν στη βελτίωση όχι μόνο της ποσότητας αλλά και της ποιότητας της παροχομετρικής πληροφορίας της περιοχής. Εξίσου σημαντικός κρίνεται ο ρόλος του αυτόματου (τηλεμετρικού) μετεωρολογικού σταθμού που τοποθετήθηκε στα πλαίσια του έργου. Θεωρείται αναγκαία η καλή συντήρηση των νέων αυτών υποδομών και η αξιοποίησή τους (ιδιαίτερα του υδρομετρικού σταθμού), που προϋποθέτει τη διενέργεια τακτικών υδρομετρήσεων, τον έλεγχο της ορθής λειτουργίας τους και την οργάνωση των μετρήσεων, με τη βοήθεια των εργαλείων που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια του έργου (βάση δεδομένων, λογικό ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ).
- Ειδικότερα, με τη βελτίωση της παροχομετρικής πληροφορίας θα είναι εφικτή η τροφοδοσία του μοντέλου ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ με τα πλέον επίκαιρα δεδομένα, που σε συνδυασμό με τα προηγούμενα θα αποτελέσουν ένα διευρυμένο δείγμα για την πιο αξιόπιστη βαθμονόμηση του. Στα πλαίσια αυτά, προτείνεται να διερευνηθούν εναλλακτικές σχηματοποιήσεις και παραμετροποιήσεις του συστήματος, ώστε να βελτιωθεί η ποιότητα της προσαρμογής στις διάφορες θέσεις ελέγχου.
- Η κατάρτιση των διαχειριστικών σεναρίων του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ πρέπει να αποτελέσει αντικείμενο διευρυμένης συνεργασίας των φορέων της περιοχής, και ιδιαίτερα του επιστημονικού δυναμικού της ΔΕΥΑΚ και της ΔΕΒ.
- Στα σεναρία προσομοίωσης, πρέπει να διερευνηθεί η δυνατότητα συνδυασμένης διαχείρισης των ταμιευτήρων Πλαστήρα και Σμοκόβου, και ειδικότερα η θέσπιση εναλλακτικών τιμών ελάχιστης στάθμης πραγματοποίησης των απολήψεων. Για παράδειγμα, πρέπει να εξεταστεί η διατήρηση του υψηλού ορίου στάθμης του ταμιευτήρα Πλαστήρα που έχει προτείνει το ΕΜΠ (+786 m) και να συγκριθούν οι επιπτώσεις του ως προς το ασφαλές απολήψιμο δυναμικό για την κάλυψη των αρδευτικών στόχων του υδροσυστήματος.
- Άλλες παράμετροι που στο παρόν σχέδιο εξετάστηκαν ακροθιγώς, όπως τα οικονομικά μεγέθη του υδροσυστήματος, οφείλουν επίσης να αποτελέσουν αντικείμενο καλύτερης διερεύνησης, έτσι ώστε η βέλτιστη λύση που παράγεται να ανταποκρίνεται στην πραγματική του κατάσταση.
- Με τη σταδιακή ένταξη των έργων του Σμοκόβου στο υδροσύστημα, και την ολοκλήρωση άλλων έργων μικρότερης κλίμακας (φράγμα Γυρτώνης), προκύπτουν νέες προοπτικές, η διερεύνηση των οποίων αποτελεί πρόσφορο έδαφος εφαρμογής των μοντέλων της ΥΔΡΟΓΑΙΑΣ, και ιδιαίτερα του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ. Το εν λόγω λογισμικό αποτελεί το πλέον πρόσφορο εργαλείο για τη μελέτη των

μεγάλης κλίμακας έργων που έχουν προταθεί στα πλαίσια των σεναρίων εκτροπής του Αχελώου (ταμιευτήρες Μουζακίου και Πύλης).

- Τα αποτελέσματα των αναλύσεων πρέπει να αποκρυσταλλώνονται σε ένα πλαίσιο προτάσεων για τη διαχείριση του υδροσυστήματος. Η τελική λήψη των αποφάσεων, που αφορά στην βέλτιστη κατανομή των απολήψεων από τους υδατικούς πόρους (ταμιευτήρες, ποτάμια, γεωτρήσεις) προς τους χρήστες, πρέπει να αποτελεί αντικείμενο δημόσιας διαβούλευσης και να γίνεται έγκαιρα, ώστε να υπάρχει αναγκαίος χρόνος για τον προγραμματισμό της αγροτικής παραγωγής.

## Αναφορές

---

- Ανδρεαδάκης, Α., Α. Κατσίρη, Α. Στάμου, Α. Βαλασσόπουλος, Ε. Γαβαλάκη, Μ. Καπετανάκη, Ι. Κατσίρης, και Κ. Νουτσόπουλος, Μελέτη ποιότητας νερού, *Διερεύνηση των δυνατοτήτων διαχείρισης και προστασίας της ποιότητας της Λίμνης Πλαστήρα*, Τεύχος 3, 133 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Μάρτιος 2002.
- Βαβίτζος, 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 Εγχειοβελτιωτικών Έργων (Δ7), Αθήνα, 1995.
- 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, Ε. Ρόζος, Α. Τέγος, και Ι. Ναλμπάντης, Θεωρητική τεκμηρίωση μοντέλου προσομοίωσης υδρολογικών-υδρογεωλογικών διεργασιών λεκάνης απορροής «Υδρόγειος», *Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Συστημάτων σε Σύζευξη με Εξελιγμένο Υπολογιστικό Σύστημα (ΟΔΥΣΣΕΥΣ)*, Ανάδοχος: ΝΑΜΑ, Τεύχος 4α, 103 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Δεκέμβριος 2006.
- Ευστρατιάδης, Α., Γ. Καραβοκυρός, και Δ. Κουτσογιάννης, Θεωρητική τεκμηρίωση μοντέλου προσομοίωσης και βελτιστοποίησης της διαχείρισης υδατικών συστημάτων «ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ», *Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Συστημάτων σε Σύζευξη με Εξελιγμένο Υπολογιστικό Σύστημα (ΟΔΥΣΣΕΥΣ)*, Ανάδοχος: ΝΑΜΑ, Τεύχος 9, 91 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ιανουάριος 2007.
- Ευστρατιάδης, Α., Δ. Κουτσογιάννης, και Σ. Κοζάνης, Θεωρητική τεκμηρίωση μοντέλου στοχαστικής προσομοίωσης υδρολογικών μεταβλητών «Κασταλία», *Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Συστημάτων σε Σύζευξη με Εξελιγμένο Υπολογιστικό Σύστημα (ΟΔΥΣΣΕΥΣ)*, Ανάδοχος: ΝΑΜΑ, Τεύχος 3, 61 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2005.
- Κοζάνης, Σ., Α. Χριστοφίδης, και Α. Ευστρατιάδης, Περιγραφή συστήματος διαχείρισης και επεξεργασίας δεδομένων "Υδρογνώμων", *Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Συστημάτων σε Σύζευξη με Εξελιγμένο Υπολογιστικό Σύστημα (ΟΔΥΣΣΕΥΣ)*, Ανάδοχος: ΝΑΜΑ, Τεύχος 2, 141 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2005.
- Κουκουβίνος, Α., Α. Ευστρατιάδης, Α. Λαζαρίδης, και Ν. Μαμάσης, Έκθεση δεδομένων, *Διερεύνηση σεναρίων διαχείρισης του ταμιεντήρα Σμοκόβου*, Τεύχος 1, 66 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ιανουάριος 2006.
- 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., Σ. Ρώτη, Ι. Τζεράνης, και Θ. Ξανθόπουλος, Τελική Έκθεση, *Υδρολογική Διερεύνηση Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας*, Τεύχος 7, 105 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ιούνιος 1988.
- Μαμάσης, Ν., Ρ. Μαυροδήμου, Α. Ευστρατιάδης, Μ. Χαϊνταρλής, Α. Τέγος, Α. Κουκουβίνος, Π. Λαζαρίδου, Μ. Μαγαλιού, και Δ. Κουτσογιάννης, Διερεύνηση εναλλακτικών τρόπων οργάνωσης και λειτουργίας Φορέα Διαχείρισης έργων Σμοκόβου, *Διερεύνηση σεναρίων διαχείρισης του ταμειυτήρα Σμοκόβου*, Τεύχος 2, 73 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ιούνιος 2006.
- Μπουλούγουρης, Β., και Α. Τσίτσης, *Υδρευση ανατολικής πλευράς Νομού Καρδίτσας, Προκαταρκτική μελέτη*, Ανάδοχος: Ροϊκός Α.Ε. Σύμβουλοι Μηχανικοί, Δεκέμβριος 2002.
- Ομάδα ερευνητικού έργου Πλαστήρα 2002, Συνοπτική έκθεση, *Διερεύνηση των δυνατοτήτων διαχείρισης και προστασίας της ποιότητας της λίμνης Πλαστήρα*, Τεύχος 1, 23 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Μάρτιος 2002.
- Ρόζος, Ε., Θεωρητική τεκμηρίωση μοντέλου εκτίμησης υδατικών αναγκών, *Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Συστημάτων σε Σύζευξη με Εξελεγμένο Υπολογιστικό Σύστημα (ΟΔΥΣΣΕΥΣ)*, Ανάδοχος: ΝΑΜΑ, Τεύχος 5, 21 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2005.
- Ρόπης, Κ., *Διερεύνηση της ποιότητας των υδάτων της λίμνης Σμοκόβου*, Μεταπτυχιακή εργασία, 94 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2005.
- SOGREAH, *Έργο αναπτύξεως υπογείων υδάτων Θεσσαλίας, Μαθηματικά ομοιώματα*, Υπουργείο Γεωργίας, 1979.
- Τέγος, Α., *Συνδυασμένη προσομοίωση υδρολογικών-υδρογεωλογικών διεργασιών και λειτουργίας υδροσυστήματος Δυτικής Θεσσαλίας*, Διπλωματική εργασία, 132 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2005.
- ΥΠΑΝ, ΕΜΠ, ΙΓΜΕ, και ΚΕΠΕ, *Σχέδιο προγράμματος διαχείρισης των υδατικών πόρων της χώρας, Συμπλήρωση της ταξινόμησης ποσοτικών και ποιοτικών παραμέτρων των υδατικών πόρων στα υδατικά διαμερίσματα της χώρας*, Ανάδοχος: Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 549 σελίδες, Υπουργείο Ανάπτυξης, Αθήνα, Ιανουάριος 2003.