

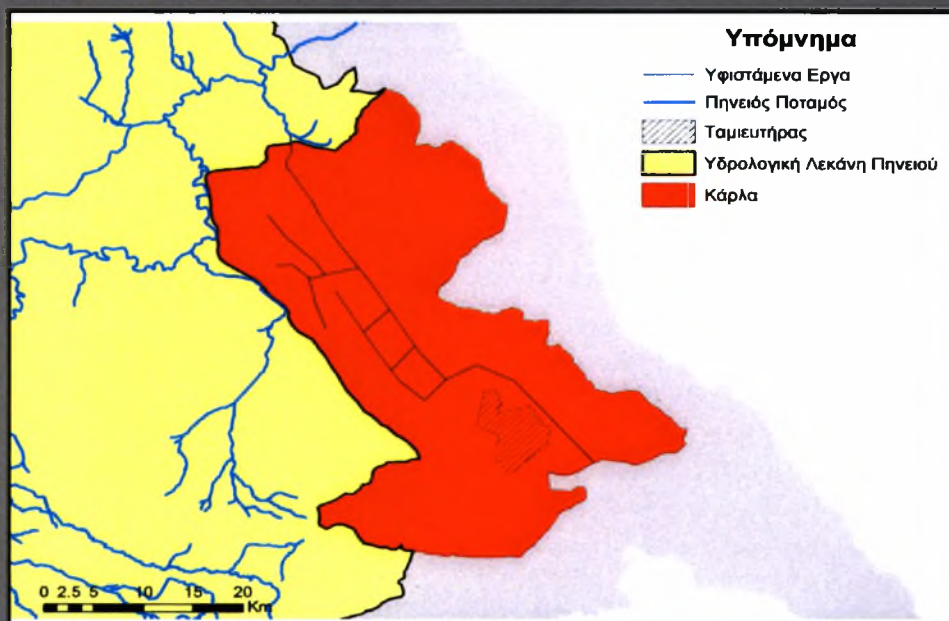
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΡΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ
ΤΕΧΝΙΚΗΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΕΝΑΡΙΩΝ
ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΚΑΙ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ
ΚΑΡΛΑΣ**



ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΠΑΤΣΩΝΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: αν. Καθηγητής ΛΟΥΚΑΣ
ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ**

ΒΟΛΟΣ 2008





**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 6738/1
Ημερ. Εισ.: 14-01-2009
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΠΜ
2008
ΠΑΤ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΡΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ

Επιπτώσεις Σεναρίων Κλιματικής Αλλαγής
και Στρατηγικών Διαχείρισης Υδατικών
Πόρων στη Λεκάνη Απορροής της Λίμνης
Κάρλας



Φοιτητής: Πατσώνας Γιώργος
Επιβλέπων Καθηγητής: Λουκάς Αθανάσιος

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή-Abstract.....	4
2	Κλιματική αλλαγή.....	5
3	Λεκάνη Κάρλας.....	10
	3.1 Γενικά	
	3.1.1 Γεωγραφική θέση	
	3.1.2 Η λίμνη Κάρλα	
	3.2 Γεωμορφολογία	
	3.2.1 Κλίμα	
	3.2.2 Γεωλογία	
	3.2.3 Περιγραφή της μορφολογίας της	
	Λεκάνης της Κάρλας	
	3.3 Χρήσεις γης	
	3.4 Δεδομένα	
	3.5 Διαχείριση Υδάτινων Πόρων	
	3.5.1 Η αποξήρανση της λίμνης	
	3.5.2 Υφιστάμενα έργα	
	3.5.3 Βιοτικό επίπεδο πληθυσμού- Συνθήκες	
	στεγάσεως και διαβίωσης	
	3.5.4 Μορφωτικό επίπεδο	
	3.5.5 Γεωργοτεχνική εκπαίδευση	
	3.5.6 Εργασιακή απασχόληση πληθυσμού	
4	Μεθοδολογία.....	42
	4.1 Υδρολογικά δεδομένα	
	4.2 Καταβιβασμός	
	4.3 Υδρολογική προσομοίωση	
	4.4 Μοντέλο προσομοίωσης ταμιευτήρα	
	4.5 Υπολογισμός υδάτινων απαιτήσεων	
	4.5.1 Παρούσα κατάσταση	
	4.5.2 Μελλοντικές υδατικές απαιτήσεις	
5	Διαχείριση Υδάτινων Πόρων.....	77
	5.1 Στρατηγικές Διαχείρισης	
6	Αποτελέσματα- Σχολιασμός.....	79
7	Συμπεράσματα.....	84
8	Βιβλιογραφία.....	86

1. Εισαγωγή

Τα σενάρια κλιματικής αλλαγής παρόλο που εμπεριέχουν αβεβαιότητες όσον αφορά τα ποσοτικά τους χαρακτηριστικά, είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα έχουν σημαντικές επιπτώσεις σε πολλές εκδηλώσεις της καθημερινότητας του ανθρώπου. Είτε με την μορφή περιβαλλοντικών καταστροφών, όπως πλυμμήρες ξηρασίες κ.τ.λ. είτε με την μορφή οικονομικών επιπτώσεων.

Με την παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρείται να διερευνηθεί το πρόβλημα της διαχείρισης και του μακροπρόθεσμου σχεδιασμού των υδατικών πόρων στην λεκάνη απορροής της Κάρλας.

Για την πρόβλεψη των μελλοντικών κλιματικών μεγεθών χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι στατιστικού καταβιβασμού κλίμακας σε συνεργασία με στοχαστικές μεθοδολογίες. Για την υδρολογική προσομοίωση της λεκάνης χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο υδατικού ισοζυγίου UTHBAL με δεδομένα βελτιστοποίησης από την περίοδο 1960-2002.

Για την προσομοίωση των υδατικών αναγκών χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Blanney- Criddle, και για την προσομοίωση του συστήματος του ταμιευτήρα το μοντέλο Model Reservoir.

Στα πλαίσια της διαχείρισης των υδατικών πόρων της περιοχής εκτός από τα 2 κλιματικά σενάρια (a2, b2) και τα 2 μελλοντικά σενάρια (2020-2050, 2070-2100) τρέξαμε 2 σενάρια διαχείρισης της ζήτησης. Το πρώτο σενάριο είναι η ζήτηση που προκύπτει από τις παρούσες χρήσεις γης και την τωρινή αποδοτικότητα άρδευσης. Το δεύτερο σενάριο υφίσταται στην αντικατάσταση της καλλιέργειας βαμβακιού από σίτο και βελτίωση των συστημάτων άρδευσης.

2.Κλιματική Αλλαγή

2.1 Γενικά

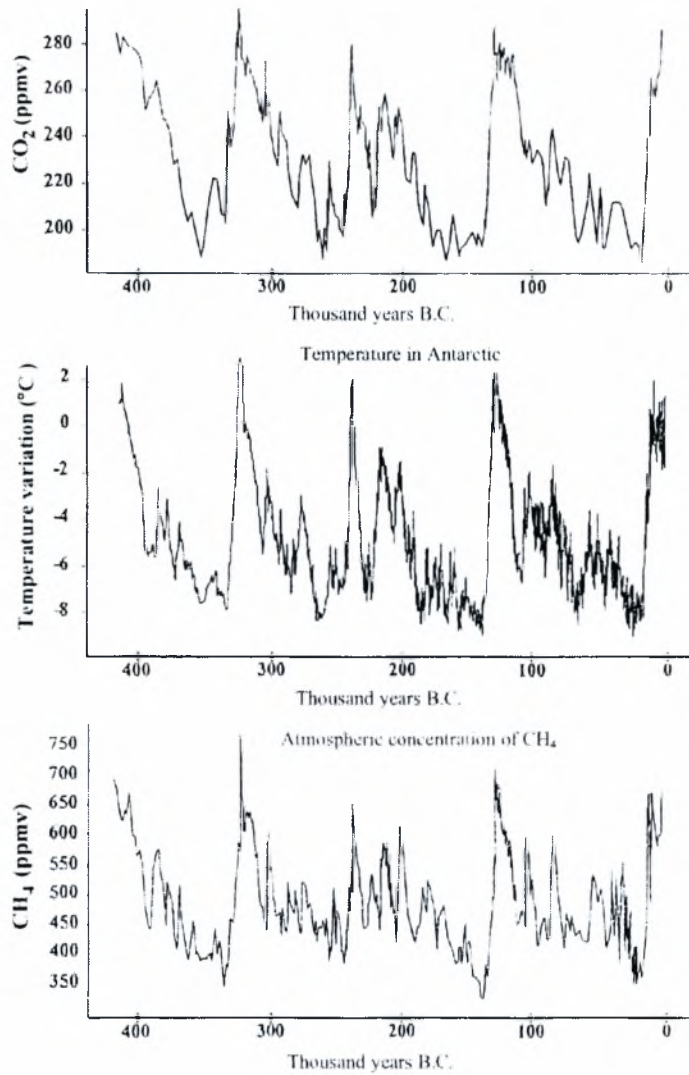
Τα τελευταία 420.000 χρόνια η γη πέρασε πάνω από τέσσερις κλιματικούς κύκλους. Η τελευταία περίοδος παγετώνων άρχισε πριν από 120.000 χρόνια και τελείωσε ακριβώς πριν από 16.000 χρόνια ακολουθούμενη από μια θερμή περίοδο που διαρκεί μέχρι σήμερα. Η ισχυρή σχέση ανάμεσα στα αέρια του θερμοκηπίου φυσικής προέλευσης, δηλαδή του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και του μεθανίου (CH₄), καθώς και στο Ανταρκτικό κλίμα, επιστημονικά τεκμηριωμένη στον τελευταίο κλιματικό κύκλο έχει επιβεβαιωθεί και με τους τέσσερις κλιματικούς κύκλους καλύπτοντας χρονικά 420.000 χρόνια (Σχήμα 2.1).

Με την βιομηχανική επανάσταση του 18^{ου} αιώνα, ο άνθρωπος προκάλεσε μια ραγδαία αύξηση αυτών των δύο αερίων του θερμοκηπίου, στα πρωτοφανή επίπεδα των ημερών μας. Η αύξηση συνοδεύτηκε από μια αντίστοιχη αύξηση των παγκόσμιων επιφανειακών θερμοκρασιών, που εκτείνεται από 0,4° C και 0,8° C από το 1860 (Σχήμα 2.2 και Σχήμα 2.3).

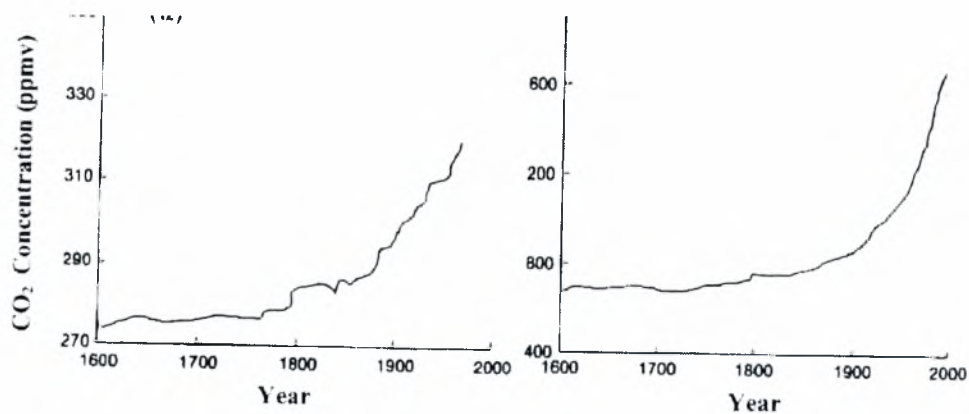
Το μεγαλύτερο μέρος της αύξησης έλαβε χώρα σε δύο διακριτές περιόδους, 1910-1945 και από το 1976 ως τις μέρες μας. Η αύξηση της θερμοκρασίας του 20^{ου} αιώνα φαίνεται να είχε μια φυσικά-εξαναγκασμένη συνιστώσα. Ωστόσο, ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας του 20^{ου} αιώνα φαίνεται να είναι πολύ μεγάλος ώστε να εξηγηθεί με φυσικές επιρροές μόνο. Η αύξηση από τα μέσα της δεκαετίας του 1970 έχει γίνει ιδιαίτερος ραγδαία με τα οκτώ θερμότερα έτη να λαμβάνουν χώρα μετά το 1983. Η δεκαετία του 1990 είναι πιθανότατα η θερμότερη δεκαετία της χιλιετίας στο Βόρειο Ημισφαίριο

με το 1998 να είναι το θερμότερο έτος. Πιο συγκεκριμένα, οι καλοκαιρινές θερμοκρασίες στο Βόρειο Ημισφαίριο είναι οι μεγαλύτερες σε τουλάχιστον έξι αιώνες. Η μέση θερμοκρασία κοντά στην επιφάνεια της γης το 1999 είναι η υψηλότερη μέχρι τώρα στο αρχείο, μεγαλύτερη κατά $0,33^{\circ}\text{C}$ από το μέσο της περιόδου 1961-1990. Η πτώση της θερμοκρασίας από το 1998 ως το 1999 προστέθηκε στην επιμονή του φαινομένου La Nina που αναπτύχθηκε στον τροπικό Ειρηνικό Ωκεανό το 1998. Το θερμότερο έτος στο αρχείο με ένα σημαντικό La Nina φαινόμενο ήταν το 1999. Όσον αφορά τη βροχόπτωση, αποδείχθηκε ότι η βροχόπτωση της επιφάνειας της γης βρίσκεται συνεχώς σε αύξηση στο μεγαλύτερο μέρος του Βορείου Ημισφαιρίου μεσαίων και υψηλών γ.π. αλλά το κλίμα σε πολλές τροπικές περιοχές έγινε ξηρότερο.

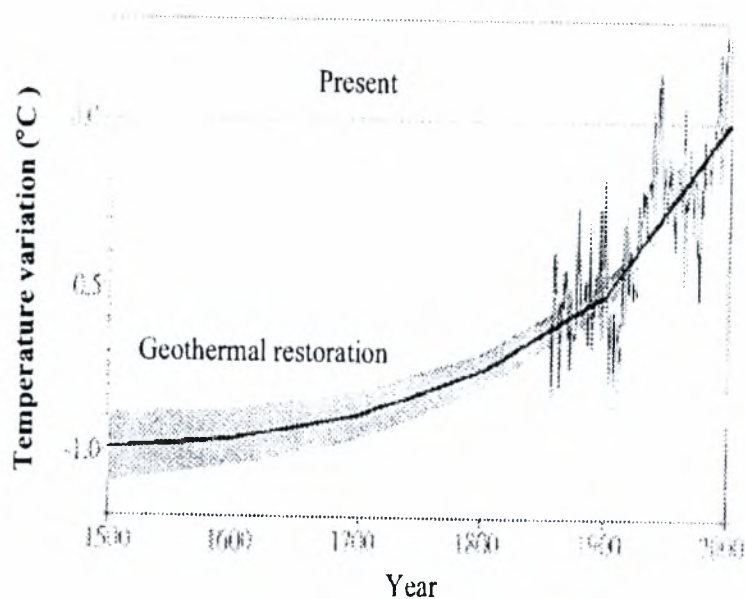
Σύμφωνα με τα σενάρια του Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC, 2001) η αξιοσημείωτη αύξηση των αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου θα οδηγήσει σε μια αύξηση της παγκόσμιας επιφανειακής θερμοκρασίας με εύρος $1,7$ ως $4,0^{\circ}\text{C}$ μέχρι το 2100 (Σχήμα 2.4) και σε μια αύξηση του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας από 22 ως 75 cm , ενώ τα χρονικά και χωρικά χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης θα μεταβληθούν (Climatic Changes in Mediterranean).



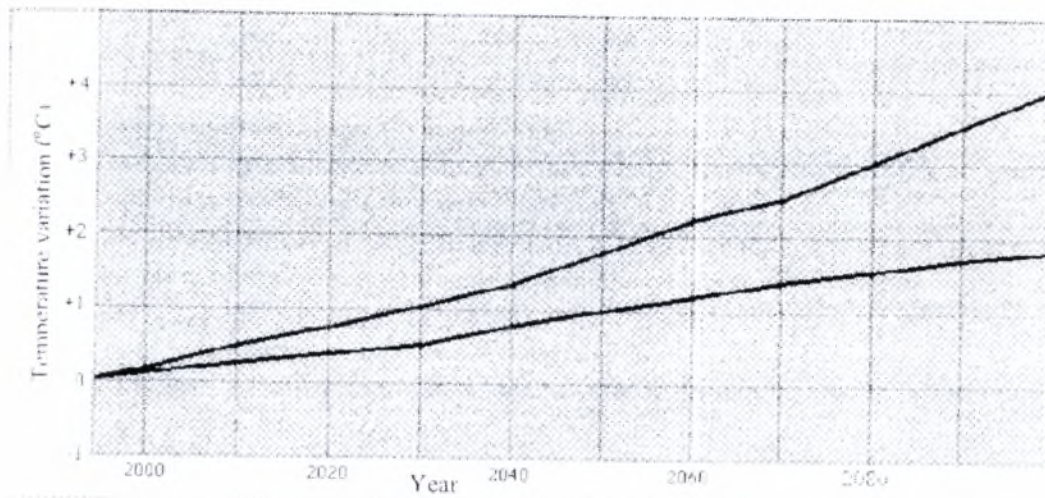
ΣΧΗΜΑ 2.1. Κλιματικές και ατμοσφαιρικές μεταβολές αρχείου κατά μήκος του Κεντρικού Ανατολικού παγωμένου πυρήνα της Ανταρκτικής για τα τελευταία 420000 χρόνια. (κατά σειρά το αρχείο του CO₂, το αρχείο της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας και το αρχείο του μεθανίου). (Climatic Changes in Mediterranean)



ΣΧΗΜΑ 2.2. Μεταβολή στη συγκέντρωση παρατήρησης του α) διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και β) μεθανίου (CH₄) από το 1600 ως το 1995. (Climatic Changes in Mediterranean)



ΣΧΗΜΑ 2.3. Ανακατασκευασμένη παγκόσμια επιφανειακή θερμοκρασία για τους περασμένους πέντε αιώνες σχετικά με την παρούσα. Οι σκιασμένες περιοχές απεικονίζουν τυπικό σφάλμα γύρω από τον ιστορικό μέσο (Climatic Changes in Mediterranean)



ΣΧΗΜΑ 2.4. Η παγκόσμια στρογγυλοποιημένη θερμοκρασιακή μεταβολή από το 1900 ως το 2100 σύμφωνα με τα σενάρια του IPCC. Ο ρυθμός της θερμοκρασιακής μεταβολής σκιαγραφείται από μια ζώνη που οριοθετείται από τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές που εξάγονται από τέσσερα διαφορετικά σενάρια (Climatic Changes in Mediterranean)

3. Λεκάνη Κάρλας

3.1 Γενικά



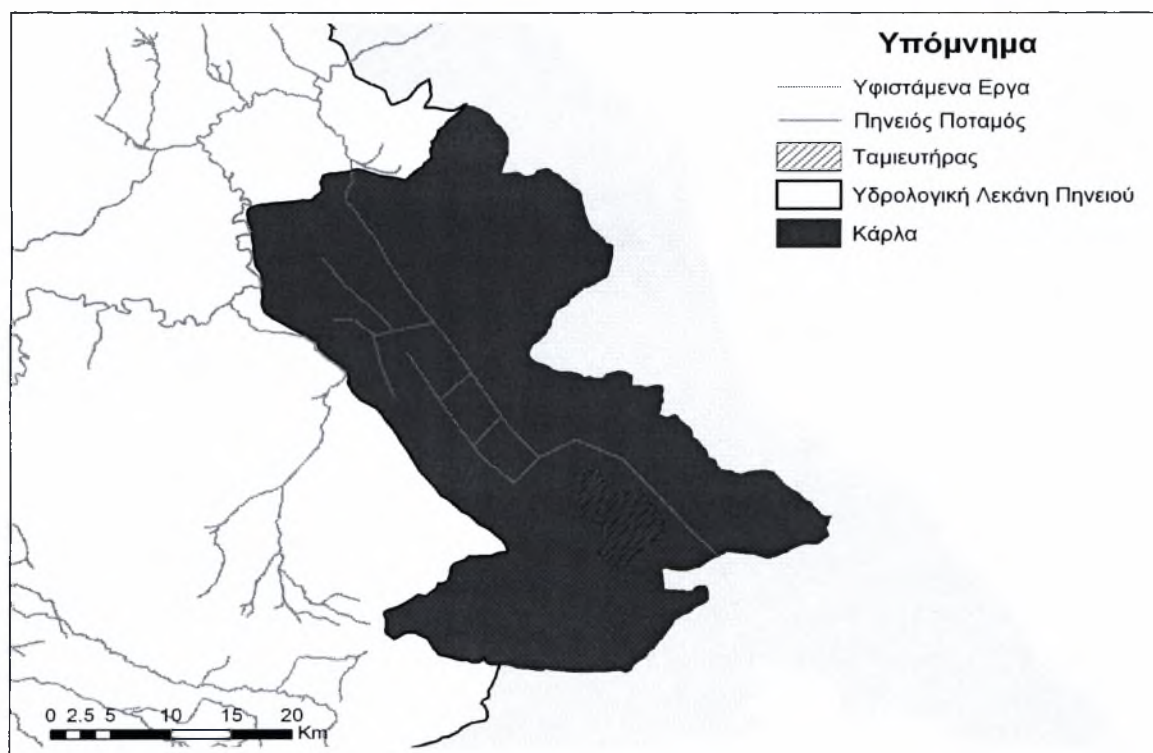
ΣΧΗΜΑ 3.1 Γεωμορφολογικός χάρτης της περιοχής μελέτης

3.1.1 Γεωγραφική θέση

Η λεκάνη της πρώην λίμνης Κάρλας βρίσκεται στο ΝΑ άκρο της πεδιάδας της Λάρισας. Παρουσιάζει μορφή κλειστής επιμήκους λεκάνης μήκους 35 χλμ. και πλάτους 9- 15 χλμ. Η λεκάνη έχει όρια στο Βορρά τον ποταμό Πηνειό και τον ορεινό όγκο της Όσσας, στην Ανατολή τους ορεινούς όγκους του Μαυροβούνιου και του Πηλίου, στο Νότο το Χαλκοδόνιο όρος και το Μεγαβούνι και στη Δύση το Φυλλήιον όρος (Σχήμα 3.1). Η φυσική λεκάνη της λίμνης Κάρλας έχει συνολική έκταση 1663 τ. χλμ. Στο μέσο της λεκάνης αυτής βρίσκεται το βαθύτερο τμήμα

της Θεσσαλικής πεδιάδας, τα χαμηλότερα τμήματα της οποίας μέχρι το 1961, καλυπτόταν από τα νερά της λίμνης, που αποτελούσε πριν από την εκτέλεση των έργων αποξήρανσης και τον κύριο αποδέκτη της. Διοικητικά η περιοχή υπάγεται στους νομούς Λαρίσης και Μαγνησίας.

Το μέγιστο βάθος της Κάρλας από 5,5 m που ήταν πριν από το Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, μειώθηκε στα 2 μέτρα το 1950-51. Οι διακυμάνσεις της στάθμης, η απόπλυση των εδαφών, το ιδιόμορφο ιδιοκτησιακό καθεστώς και η μείωση των αλιευμάτων συντέλεσαν στο να αποξηρανθεί εντελώς η Κάρλα, παρά τις σχετικές μελέτες που δεν προέβλεπαν κάτι τέτοιο.



ΣΧΗΜΑ 3.2 Η θέση της πρώην λίμνης Κάρλας.

3.1.2 Η λίμνη Κάρλα

Η λίμνη Κάρλα, ή αρχαία Βοϊβηίς καταλάμβανε μέχρι το 1962 το ΝΑ άκρο καθώς και το βαθύτερο σημείο της Θεσσαλικής πεδιάδας. Η λίμνη δεχόταν σημαντικές εισροές γλυκού νερού διότι, πέρα από τα νερά της λεκάνης απορροής της, ήταν αποδέκτης μέρους της πλημμυρικής παροχής του Πηνειού μέσω του ρεύματος Ασμάκι. Οι εκροές νερού από τη λίμνη οφείλονταν κυρίως στην εξάτμιση και τις απώλειες νερού από τον πυθμένα και τις όχθες τις. Η εισροή σημαντικών όγκων νερού, σε συνδυασμό με το μικρό βάθος της λίμνης, ευνοούσαν την ιχθυοπαραγωγή, την υδρόβια βλάστηση και τη φιλοξενία υδρόβιων πτηνών. Αν υπήρχε σήμερα η Κάρλα, θα ήταν ένας από τους πέντε σημαντικότερους υγροτόπους στην Ελλάδα.

Η μικρή κλίση του πυθμένα της λίμνης, είχε ως αποτέλεσμα, ανάλογα με τη σχέση εισροών-εκροών, το εμβαδόν της να κυμαίνεται μεταξύ 40 και 180 km² . Αυτό είχε ως επακόλουθο, η παγίδευση πλημμυρικών υδάτων στη λίμνη να συνοδεύεται από την κατάκλιση μεγάλων γεωργικών εκτάσεων γύρω από αυτή, ενώ παράλληλα προκαλούσε προβλήματα στράγγισης και αλατότητας στα εδάφη της γύρω περιοχής.

Η ανάγκη για την αντιπλημμυρική προστασία της περιοχής και την απόκτηση γεωργικών εκτάσεων, αποτέλεσαν την αιτία για την εκπόνηση διαφόρων μελετών που πραγματοποιήθηκαν μετά την απελευθέρωση της Θεσσαλίας, το 1881. Σύμφωνα με αυτές τις μελέτες, η αξιοποίηση της

περιοχής συνδεόταν με την κατασκευή αντιπλημμυρικών και αποστραγγιστικών έργων, την αποξήρανση της λίμνης μέσω σήραγγας προς τον Παγασητικό κόλπο, και την κατασκευή ενός ταμιευτήρα σε τμήμα της παλιάς λίμνης. Ο ταμιευτήρας αυτός θα χρησίμευε για την ανάσχεση πλημμυρών και την αποταμίευση μέρους της χειμερινής παροχής του Πηνειού για άρδευση.

Με την ολοκλήρωση των πρώτων έργων αντιπλημμυρικής προστασίας το 1949, που περιλάμβαναν τους ορεινούς συλλεκτήρες και τα αναχώματα του Πηνειού, περιορίσθηκε η λεκάνη απορροής της κατά το 1/3 και αποκόπηκε η τροφοδοσία της από τον ποταμό. Συνέπεια αυτού ήταν η μείωση των εισροών και η υποβάθμιση του υγροτόπου.

Η τελική αποστράγγιση της λίμνης το 1962, με την κατασκευή της σήραγγας αποστράγγισης και μέρους του αποστραγγιστικού δικτύου, δεν έλυσε πλήρως τα προβλήματα που προαναφέραμε διότι δεν κατασκευάσθηκαν ο προβλεπόμενος από τις μελέτες ταμιευτήρας και τα έργα που συνδέονταν με αυτόν. Ο ταμιευτήρας αυτός δεν κατασκευάσθηκε λόγω αντιρρήσεων όσον αφορά στη θέση εγκατάστασης, στην έκταση που θα καταλάμβανε και στο κατά πόσο πέραν από την αντιπλημμυρική προστασία θα χρησίμευε και για την αποθήκευση νερού για άρδευση. Τελικά, ύστερα από σειρά μελετών ο ταμιευτήρας αυτός βρίσκεται σήμερα στη φάση κατασκευής.

Η αναστολή των έργων κατασκευής του ταμιευτήρα δεν επέτρεψε να ολοκληρωθούν τα έργα αντιπλημμυρικής προστασίας και αποθήκευσης νερού, με αποτέλεσμα την εμφάνιση σημαντικών περιβαλλοντικών συνεπειών, όπως η εξάντληση του υπόγειου υδροφορέα, γεγονός που οδήγησε σε ανεπάρκεια αρδευτικού νερού. Η

απευθείας σύνδεση των γεωργικών εκτάσεων με τον Παγασητικό κόλπο μέσω των αποστραγγιστικών τάφρων συνέτεινε στην περαιτέρω επιβάρυνση του Παγασητικού με βιομηχανικούς και γεωργικούς ρύπους. Επίσης οι χαμηλότερες περιοχές παρουσίασαν προβλήματα στράγγισης. Με την αποξήρανση της λίμνης χάθηκε η πλούσια ιχθυοπαραγωγή, καταστράφηκε το ενδιαίτημα εκατοντάδων χιλιάδων υδρόβιων και παρυδάτιων πουλιών και αποκόπηκε ο σπουδαιότερος κρίκος μεταξύ των υγροτόπων της Βόρειας και Νότιας Ελλάδας. Επίσης, η περιοχή έχασε την οικολογική της ταυτότητα και την μοναδική πολιτιστική της κληρονομιά, η οποία συνδεόταν με το υγρό στοιχείο.

Μεγάλο μέρος των προβλημάτων που υφίστανται σήμερα στην περιοχή προήλθε από την απώλεια των πολύτιμων λειτουργιών του υγροτόπου. Οι λειτουργίες του υγροτόπου κάλυπταν μεγάλο εύρος. Ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων, η παγίδευση των πλημμυρικών νερών με ταυτόχρονη κατακράτηση των ιζημάτων και των θρεπτικών συστατικών τους. Ο υδάτινος όγκος της λίμνης με την μεγάλη θερμοχωρητικότητα συνέβαλλε στην αποθήκευση της ηλιακής ακτινοβολίας με αποτέλεσμα την βελτίωση του τοπικού κλίματος. Επίσης η στήριξη των τροφικών αλυσίδων υπήρξε ένα ακόμη απο τα οφέλη του υγρότοπου.

Με την επανίδρυση του υγροτόπου το επίπεδο διαβίωσης στη γύρω περιοχή θα αυξηθεί σημαντικά, καθώς εκτός απο την προφανή δυνατότητα αποθήκευσης νερού, τόσο η ποιότητα του νερού όσο και η βιολογική ποικιλότητα της περιοχής θα βελτιωθούν. Σαν έμμεσα αποτελέσματα επίσης θα πρέπει να αναφερθούν και οι περαιτέρω δυνατότητες εκμετάλλευσης του ταμιευτήρα, όπως η αλιεία, η θύρα και ο τουρισμός.

3.2 Γεωμορφολογία

3.2.1 Κλίμα

Το κλίμα στην περιοχή κατατάσσεται στο ηπειρωτικό ημίξηρο χαρακτηριζόμενο από θερμό και ξηρό καλοκαίρι και ψυχρό και υγρό χειμώνα. Η μέση θερμοκρασία είναι πάντα πάνω από το μηδέν, αλλά η χαμηλότερη θερμοκρασία που παρατηρήθηκε κατά το χειμώνα είναι $-21,6^{\circ}\text{C}$. Η μέγιστη θερμοκρασία που παρατηρήθηκε το καλοκαίρι ήταν $45,2^{\circ}\text{C}$. Επίσης, στην περιοχή παρατηρούνται παγετοί κατά την περίοδο Δεκεμβρίου-Μαρτίου και σπανιότερα κατά τους μήνες Νοέμβριο και Απρίλιο. Η μέση σχετική υγρασία στην περιοχή είναι 66%.

3.2.2 Γεωλογία

Η περιοχή της Κάρλας αποτελεί τεκτονικό βύθισμα που σχηματίστηκε κατά τους πρόσφατους γεωλογικούς χρόνους. Ακολούθησε πλήρωση με υλικά που μετέφερε ο Πηνειός και οι γύρω από αυτόν χείμαρροι από τις λεκάνες απορροής τους. Το κεντρικό τμήμα, στη μεγαλύτερη του έκταση αποτελείται από μεγάλο πάχους λεπτόκοκκες νεογενείς αποθέσεις, ενώ στην περιμετρική ζώνη επικρατούν μικρότερου πάχους στρώσεις αδρομερέστερων υλικών. Οι ορεινοί όγκοι που περιβάλλουν την πεδιάδα από ΒΑ αποτελούνται από κρυσταλλικά πετρώματα ταλκικών σχιστόλιθων και χλωριτικών γνεύσιων που φθάνουν μέχρι την περιοχή του Καλαμακίου και στη συνέχεια από καρστικοποιημένα μάρμαρα. Σχιστόλιθοι με ενστρώσεις μαρμάρων εμφανίζονται και στα βόρεια και νότια του χωριού Κανάλια, ενώ οι ίδιοι σχηματισμοί συνεχίζονται και στα ΝΑ. Στο ΝΔ τμήμα η πεδιάδα καλύπτεται από αργιλικές αποθέσεις της Πλειόκαινου.

3.2.3 Περιγραφή της μορφολογίας της λεκάνης της Κάρλας

Η μορφολογία της λεκάνης απορροής της Κάρλας μπορεί να περιγραφεί από τα παρακάτω στοιχεία.

- Το έδαφος είναι ομαλό με κλίσεις μικρότερες του 1%, ενώ στα άκρα συναντώνται κλίσεις μέχρι και 5%
- Στην περιοχή της πρώην λίμνης οι κλίσεις του εδάφους είναι πρακτικά ανύπαρκτες.
- Το χαμηλότερο υψόμετρο της περιοχής της Κάρλας είναι +44 που είναι το ελάχιστο υψόμετρο της Θεσσαλικής πεδιάδας.
- Τα μέγιστα υψόμετρα της περιοχής της Κάρλας φθάνουν στο +52 και κατά τόπους μέχρι +56 και +58.
- Ο πυθμένας της λίμνης παρουσιάζει καλή στεγανότητα, ενώ παρουσιάζονται διαρροές σε τμήματα της φυσικής περιμέτρου της λίμνης.
- Ο ταμιευτήρας των 38 km² χωροθετείται στο χαμηλότερο τμήμα της πρώην λίμνης Κάρλας κοντά στο χωριό Κανάλια.
- Ο ταμιευτήρας καταλαμβάνει σε μέγιστο ποσοστό εκτάσεις του Δημοσίου και έτσι δεν υπάρχει πρόβλημα απαλλοτριώσεων.

Τα εδάφη που θα κατακλύσει είναι υποβαθμισμένα και κατώτερης ποιότητας.

3.3 Χρήσεις Γης

Όπως είδαμε, οι απαιτήσεις σε νερό για να καλυφθούν οι ανάγκες της γεωργικής παραγωγής φτάνουν σε κάποιες περιπτώσεις λεκανών και το 90% των συνολικών υδατικών απαιτήσεων. Υπό αυτό το πρίσμα γίνεται αμέσως κατανοητός ο ρόλος και η σημασία της ακριβούς καταμέτρησης και της εις βάθος ανάλυσης των υφισταμένων καλλιεργειών, κυρίως, αλλά και των υπολοίπων χρήσεων γης.

Οι παρούσες υδατικές απαιτήσεις έχουν ήδη υπολογισθεί και δημοσιευτεί σε προηγούμενες μελέτες (Mylioroulos et al 2001). Εδώ περιγράφεται η διαδικασία υπολογισμού. Οι υδατικές ανάγκες διακρίνονται σε πέντε υποκατηγορίες, που αναφέρονται στις χρήσεις νερού:

- αστική χρήση
- γεωργική χρήση
- κτηνοτροφική χρήση
- βιομηχανική χρήση
- τουριστική χρήση

3.3.1 Αστική χρήση

Στην αστική κατανάλωση περιλαμβάνεται το νερό που καταναλώνεται για οικιακή χρήση και για δημόσιες χρήσεις. Προκειμένου να υπολογιστεί η κατανάλωση σε κάθε υδρολογική λεκάνη, απαραίτητο είναι να υπολογιστεί ο πληθυσμός σε κάθε υπολεκάνη ξεχωριστά.

Συνήθως από απογραφές της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας είναι διαθέσιμος ο πληθυσμός ανά δημοτικό διαμέρισμα για κάθε δημοτικό διαμέρισμα κάθε καποδιστριακού δήμου που εντάσσεται στη κάθε λεκάνη της περιοχής μελέτης. Η έκταση και τα όρια των δημοτικών διαμερισμάτων σε Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (ΓΣΠ).

Προκειμένου να υπολογιστούν οι αστικές ανάγκες σε νερό, είναι απαραίτητο να υπολογιστεί ο πληθυσμός της κάθε υδρολογικής υπολεκάνης. Με τη βοήθεια του ΓΣΠ καθορίζονται ποια δημοτικά διαμερίσματα ανήκουν σε κάθε υδρολογική λεκάνη, είτε εξ' ολοκλήρου, είτε κατά ένα μέρος τους. Μετά την εύρεση των δημοτικών διαμερισμάτων που ανήκουν σε κάθε υπολεκάνη, υπολογίζεται ο πληθυσμός της λεκάνης αθροίζοντας τον πληθυσμό των δημοτικών διαμερισμάτων.

Για τον υπολογισμό των αστικών υδατικών αναγκών χρησιμοποιείται η ειδική κατανάλωση νερού με συνυπολογισμό των υδατικών απωλειών. Αν υπάρχουν δεδομένα και μετρήσεις για την ειδική κατανάλωση και τις απώλειες, τότε χρησιμοποιούνται αυτές, διαφορετικά εκτιμώνται. Παρακάτω, παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό των αστικών υδατικών αναγκών στη λεκάνη του Πηνειού.

Από προηγούμενα στοιχεία αστικής κατανάλωσης για την υπό μελέτη περιοχή της Θεσσαλίας η ειδική κατανάλωση εκτιμήθηκε σε 330 lt/κάτοικο/day (Loukas and Myloroulos, 2004). Η τιμή αυτή προέκυψε από την ανάλυση δεδομένων της κατανάλωσης από επτά δήμους της Θεσσαλίας. Θεωρώντας 20% τις απώλειες νερού, η ειδική κατανάλωση

υπολογίσθηκε ίση με 400 lt/κάτοικο/day. Η ετήσια κατανάλωση υπολογίζεται με τον τύπο:

$$\text{ετήσια κατανάλωση}(lt)=\text{ειδική κατανάλωση}(lt/\text{κάτοικο}/\text{ημέρα}) * \text{κάτοικοι} * 365(\text{μέρες})$$

Επομένως η ετήσια κατανάλωση σε εκατομμύρια m^3 (ή hm^3) είναι

$$\text{ετήσια κατανάλωση}(hm^3)=\text{ετήσια κατανάλωση}(lt)/10^9$$

Στην λεκάνη της Κάρλας ο πληθυσμός είναι **29.358** κάτοικοι. Έτσι η ετήσια κατανάλωση υπολογίζεται τελικά σε **4,29 hm^3** .

Οι αστικές υδατικές ανάγκες, όμως, μεταβάλλονται από μήνα σε μήνα, παρουσιάζοντας τις μεγαλύτερες τιμές κατά τους θερινούς μήνες. Έτσι, προκειμένου να κατανεμηθεί η ετήσια κατανάλωση σε κάθε μήνα του έτους, έγινε χρήση συντελεστών, οι οποίοι είναι το ποσοστό επί της ετήσιας κατανάλωσης που αντιστοιχεί σε κάθε μήνα. Τα ποσοστά της μηνιαίας κατανάλωσης ως προς την ετήσια κατανάλωση ελήφθησαν από προηγούμενη μελέτη που αφορούσε στην περιοχή της πόλης του Βόλου (Μυλόπουλος και συνεργάτες, 2003).

Μηνιαία ποσοστά ετήσιας αστικής κατανάλωσης νερού

%	ΟΚΤ	ΝΟΕΜ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
	8	5	5	5	5	6	8	10	12	13	13	10

Τελικά, υπολογίσθηκαν για κάθε υπολεκάνη οι μέσες μηνιαίες υδατικές ανάγκες, σύμφωνα με τον τύπο

$$\text{μέσες υδατικές ανάγκες}(hm^3)=\text{ετήσια κατανάλ.}(hm^3) * \text{ποσοστό αντίστοιχου μήνα}/100$$

και τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα.

Μέσες υδατικές ανάγκες (hm³)

	ΟΚΤ	ΝΟΕΜ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
ΚΑΡΛΑ	0,343	0,214	0,214	0,214	0,214	0,257	0,343	0,429	0,514	0,557	0,557	0,429

3.3.2 Γεωργική χρήση

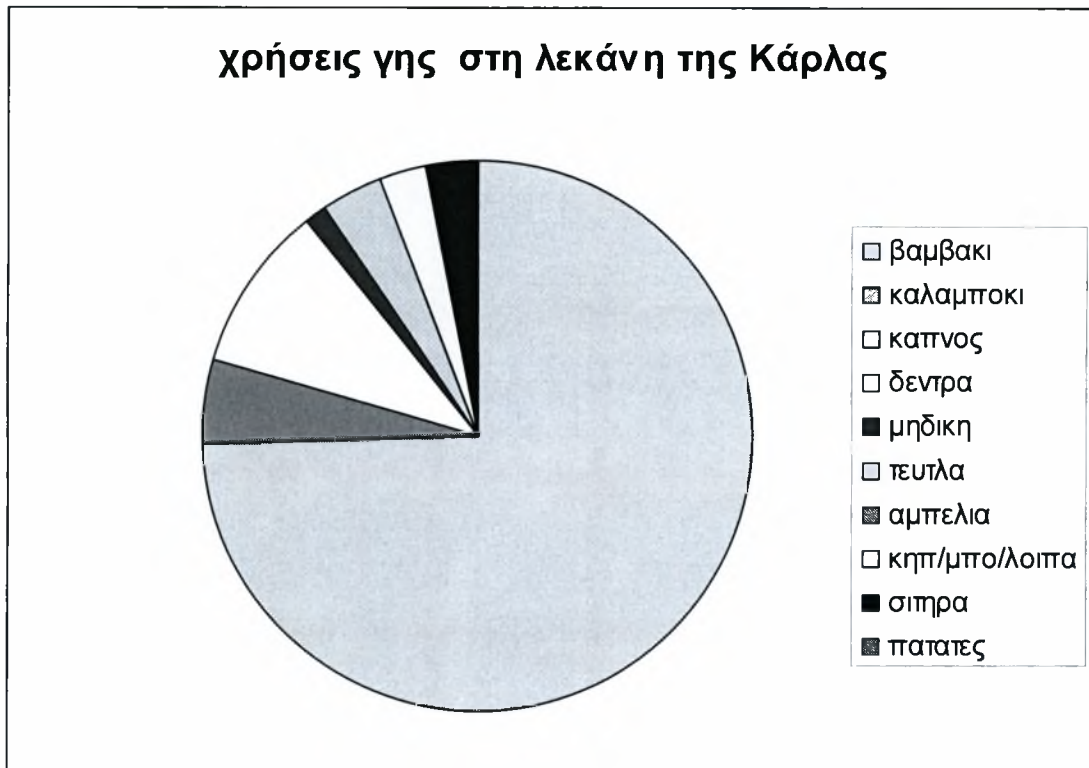
Οι αγροτικές υδατικές ανάγκες εξαρτώνται από τρεις παραμέτρους: το είδος καλλιεργειών, τον τρόπο άρδευσης και τον τρόπο μεταφοράς του νερού στις αρδευόμενες εκτάσεις. Οι υπολογισμοί παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω.

Στη λεκάνη απορροής της Κάρλας υπάρχουν 375.394 στρέμματα καλλιεργημένων εκτάσεων σύμφωνα με την γεωργική απογραφή των νομαρχιών της περιφέρειας Θεσσαλίας για το έτος 2002. Οι κυριότερες καλλιέργειες, σύμφωνα με στοιχεία των νομαρχείων Θεσσαλίας για το έτος 2002 και 1995, χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες, μόνιμες και ετήσιες. Οι μόνιμες καλλιέργειες είναι οι αμπελώνες και οι οπωρώνες. Οι ετήσιες καλλιέργειες είναι τα βαμβάκια, το καλαμπόκι, τα σιτηρά, η μηδική, τα τεύτλα, ο καπνός, οι πατάτες, τα κηπευτικά, τα μπιστοτανικά και τα λοιπά καλλιεργούμενα είδη.

Καλλιεργήσιμες εκτάσεις στη λεκάνη απορροής της Κάρλας(σε στρέμματα)

Μόνιμες καλλιέργειες	στρ.
αμπελώνες	440,8
οπωρώνες	35891,7
Ετήσιες καλλιέργειες	στρ.
βαμβάκια	279273,38
καλαμπόκια	19172,5
σιτηρά	11100,8
μηδική	5560,2
τεύτλα	13161,3
καπνός	276,87
πατάτες	0
κηπευτικά, μπιστοτανικά και λοιπά	10516,6

χρήσεις γης στη λεκάνη της Κάρλας



Σύγκριση εκτάσεων ανά είδος στην περιοχή μελέτης για το έτος 2002

Από τα στοιχεία παρατηρούμε την συντριπτική κυριαρχία της καλλιέργειας του βαμβακιού στην λεκάνη απορροής της Κάρλας. Λόγω έλλειψης διευκρινήσεων για το είδος των μποστανικών, κηπευτικών και αναφερόμενων ως λοιπών καλλιεργειών από τα δεδομένα των νομαρχιών θεωρήθηκαν ως μια ενιαία κατηγορία.

Οι συνολικές εκτάσεις της κάθε καλλιέργειας στις υπολεκάνες της λεκάνης Κάρλας υπολογίστηκαν με βάση τα δεδομένα των δημοτικών διαμερισμάτων, που βρίσκονται γεωγραφικά σε αυτές, όπως έγινε προηγουμένως για τις αστικές υδατικές ανάγκες και θα γίνει σε επόμενη παράγραφο για τις κτηνοτροφικές υδατικές ανάγκες, με τη βοήθεια του ΓΣΠ.

Τα δεδομένα που διατίθενται για κάθε νομό συμπεριλαμβάνουν τις συνολικές εκτάσεις και τον τρόπο άρδευσης ενώ τα δεδομένα για τα δημοτικά διαμερίσματα μόνο τις εκτάσεις των καλλιεργειών. Οι υπολογισμοί έγιναν με βάση τα δεδομένα του έτους 1995

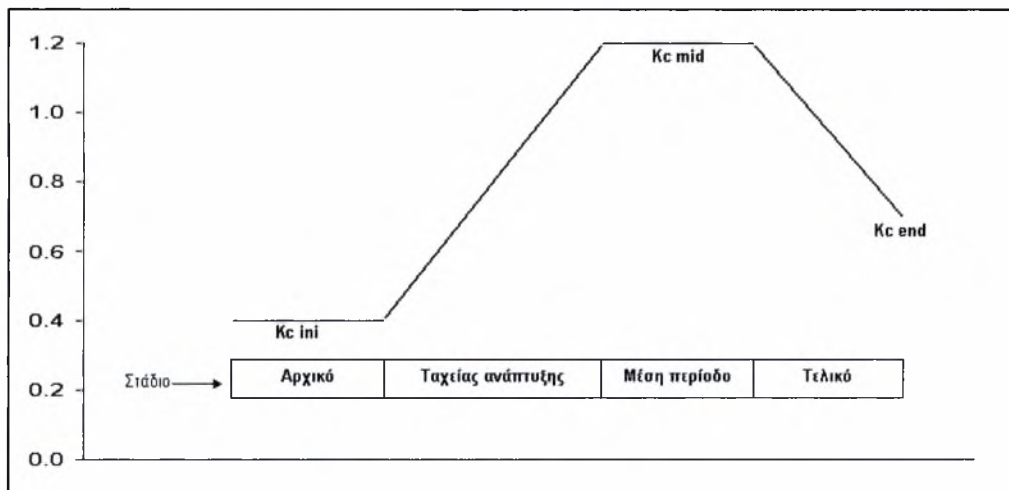
Τα όρια των δημοτικών διαμερισμάτων δεν συμπίπτουν με τα όρια των υδρολογικών λεκανών και πολλές φορές η έκταση ενός δημοτικού διαμερίσματος εφάπτονταν περισσότερων της μιας υδρολογικής λεκάνης. Για τον λόγο αυτό έγινε η παραδοχή ότι εάν το ποσοστό της έκτασης του δημοτικού διαμερίσματος, που ανήκει σε μια υδρολογική λεκάνη είναι μεγαλύτερο του 90% της συνολικής του έκτασης τότε όλες οι καλλιεργήσιμες του εκτάσεις ανήκουν σε αυτήν, ενώ όταν το ποσοστό είναι μικρότερο του 10% τότε δεν θα λαμβάνονταν υπόψη. Στην περίπτωση που το ποσοστό είναι μεγαλύτερο του 10% και μικρότερο του 90% τότε οι εκάστοτε εκτάσεις θεωρήθηκε ότι ανήκουν αναλογικά στην κάθε υδρολογική λεκάνη, δηλαδή ανάλογα με το ποσοστό. Τα δημοτικά διαμερίσματα έχουν κατανεμηθεί σε υπολεκάνες κατά τον υπολογισμό της αστικής ζήτησης οπότε και χρησιμοποιήθηκε αυτή η κατανομή.

Υπολογισμός γεωργικών υδατικών αναγκών

Ο υπολογισμός των αναγκών των καλλιεργειών έγινε με τον δείκτη Near Irrigation Requirement (NIR), (USDA, 1970). Με τον όρο βλαστική περίοδο εννοούμε την περίοδο από την σπορά έως την συγκομιδή της καλλιέργειας και για μόνιμες καλλιέργειες, όπως οπωρώνες την περίοδο από την ανάπτυξη του φυλλώματος έως την συγκομιδή, κατά την οποία οι καλλιέργειες απαιτούν για την σωστή ανάπτυξη τους νερό.

Ο K_c είναι ένας εμπειρικός εποχιακός συντελεστής που μας δίνει την σχέση μεταξύ των αναγκών της καλλιέργειας αναφοράς και των άλλων καλλιεργειών. Με τον όρο καλλιέργεια αναφοράς εννοείται μια μηδική καλλιέργεια με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά με βάση την οποία υπολογίζουμε τις ανάγκες όλων των υπόλοιπων καλλιεργειών.

Στην καλλιέργεια αναφοράς το K_c είναι ίσο με την τιμή 1 και οι τιμή του είναι διαφορετική για κάθε καλλιέργεια και ανάλογη με την βλαστική περίοδο στην οποία βρίσκεται αυτή (Σχήμα). Η βλαστική περίοδος όπως φαίνεται στο σχήμα χωρίζεται σε τέσσερα στάδια ανάπτυξης των φυτών. Η αναλυτική περιγραφή των σταδίων αυτών γίνεται παρακάτω.



Εξέλιξη του συντελεστή βλάστησης (K_c) της καλλιέργειας

- αρχικό στάδιο

Το στάδιο αυτό αρχίζει από την σπορά ή φύτευση της καλλιέργειας και φτάνει μέχρι την οριστική εγκατάσταση της. Στο διάστημα αυτό ο φυτικός συντελεστής Kc παραμένει σταθερός.

- ταχείας ανάπτυξης

Το στάδιο αυτό χαρακτηρίζεται από την έντονη ανάπτυξη των φυτών, ξεκινάει με το τέλος του αρχικού και τελειώνει με την πλήρη κάλυψη του εδάφους από την καλλιέργεια, δηλαδή όταν το ποσοστό φυτοκάλυψης υπερβαίνει το 70% . Το Kc παρουσιάζει μια συνεχή αύξηση.

- στάδιο μέσης περιόδου

Το στάδιο αυτό ξεκινάει με την πλήρη κάλυψη του εδάφους, όπως ορίστηκε στο προηγούμενο στάδιο, και περιλαμβάνει την περίοδο της ανθοφορίας και του σχηματισμού των καρπών με την τιμή του Kc να παραμένει σταθερή.

- τελικό

Σε αυτό το στάδιο συντελείται η ωρίμανση των καρπών και τερματίζεται με την συγκομιδή. Στις διαδικασίες αυτές οι καλλιέργειες έχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις σε νερό. Κατά τη διάρκεια αυτού του σταδίου παρατηρείται μια συνεχή πτώση του Kc.

Ζήτηση καλλιεργειών-εξατμισοδιαπνοή

Για τον υπολογισμό των αναγκών των καλλιεργειών σε νερό ο αντικειμενικός σκοπός είναι να υπολογισθεί το απαραίτητο νερό για τον ανεφοδιασμό των καλλιεργειών, ώστε να εξασφαλιστεί η σωστή

ανάπτυξη και βελτιστοποίηση της απόδοσης τους σε συνδυασμό με την υψηλή ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων.

Για την ζήτηση αυτή πρέπει να υπολογιστεί η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας, δηλαδή η εξάτμιση από το έδαφος, το φυτό και το φύλλωμα. Η εξατμισοδιαπνοή εξαρτάται από την περίοδο ανάπτυξης, την πυκνότητα του φυλλώματος, την πυκνότητα του ριζικού συστήματος και τις αποστάσεις μεταξύ των φυτών μέσα στην καλλιέργεια (Παπαζαφειρίου 1999).

Στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκε η μέθοδος Blaney- Criddle. Η μέθοδος Blaney–Criddle προτιμήθηκε για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών λόγω των περιορισμένων μετεωρολογικών δεδομένων (θερμοκρασία, βροχόπτωση) που υπάρχουν για την περιοχή μελέτης και των καλών αποτελεσμάτων που μας δίνει με λίγα δεδομένα. Οι άλλες μέθοδοι που θα μπορούσαν να δώσουν μεγαλύτερη ακρίβεια αποτελεσμάτων, δεν μπορούν να εφαρμοστούν λόγω έλλειψης δεδομένων όπως ένταση και διεύθυνση ανέμων, ενώ σύμφωνα με διάφορες μελέτες η μέθοδος που επιλέχθηκε δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα εξατμισοδιαπνοής (Κουτσογιάννης, 2002; Loukas et al, 2004). Ο υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής στην μέθοδο Blaney – Criddle γίνεται με βάση τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς και τον φυτικό συντελεστή.

Αναλυτικά για τον υπολογισμό με την μέθοδο Blaney–Criddle της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας απαιτείται μόνο η μέση μηνιαία θερμοκρασία και το γεωγραφικό πλάτος της κάθε λεκάνης.

Ο τύπος της μεθόδου είναι που δίνει την τιμή f , δηλαδή την αναγκαία κατανάλωση της καλλιέργειας αναφοράς είναι ο εξής:

$$f = (0.46T + 8.13) \cdot p$$

όπου: T η μέση μηνιαία θερμοκρασία σε °C

p το μέσο μηνιαίο ποσοστό ωρών ημέρας (βάσει του γεωγραφικού πλάτους)

Οι τιμές του p για την λεκάνη της Κάρλας παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα. Στον ίδιο πίνακα φαίνονται και τα γεωγραφικά πλάτη.

p	ΟΚΤ	ΝΟΕΜ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
	7,79	6,76	6,57	6,78	6,75	8,31	8,91	9,97	10,04	10,26	9,53	8,40

Για τον υπολογισμό των μηνιαίων αναγκών της κάθε καλλιέργειας ξεχωριστά πρέπει να πολλαπλασιαστεί η τιμή της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς με των συντελεστή K_c

$$ET_o = (0.46T + 8.13) \cdot p \cdot K_c$$

Τα στοιχεία για τις τιμές των K_c προέρχονται από την οδηγία FAO 24 (Allen et al, 1998) και από τιμές που έχουν οριστεί από το υπουργείο Γεωργίας με βάση την οδηγία.

Στις περιπτώσεις στις οποίες δεν υπήρχαν τιμές για το K_c ανοιγμένες στους μήνες υπολογίστηκαν αυτές με βάση την αρχή και το τέλος των σταδίων ανάπτυξης των φυτών, την διάρκεια τους και τις τιμές K_{in} , K_{mid} και K_{end} οι οποίες υπήρχαν για κάθε καλλιέργεια.

Λόγω έλλειψης διευκρινήσεων για το είδος των μπιστανικών, των κηπευτικών και των αναφερόμενων ως λοιπών καλλιεργειών από τα δεδομένα των νομαρχιών, θεωρήθηκαν ως μια ενιαία κατηγορία με την τιμή του K_c και της βλαστικής περιόδου να αντιστοιχεί σε αυτήν της βιομηχανικής ντομάτας. Οι τιμές των K_c δίνονται αναλυτικά για κάθε καλλιέργεια στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.12 . Τιμές του K_c ανοιγμένες για κάθε μήνα και για κάθε καλλιέργεια

hc /days	βεμβρακι	κολομποκι	κοπρος	όεντρο	μηδικη	τευλιό	οριπέλιό	κηρ.-μηπο.-λοπη-ο	σηηρο	ποιοτες
Οκτ.	0.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0.98
Νοε.	0	0	0	0	0	0	0	0	0.31	0
Δεκ.	0	0	0	0	0	0	0	0	0.48	0
Ιαν.	0	0	0	0	0	0	0	0	0.71	0
Φεβ.	0	0	0	0	0	0	0	0	0.93	0
Μαρ.	0	0	0	0	0	0	0	0	1.12	0
Απρ.	0	0.058	0	0	1.05	0.36	0	0.34	1.13	0
Μάιος	0.3	0.37	0.35	0.6	1.14	0.64	0.4	0.66	0.68	0
Ιουν.	0.45	0.66	0.75	0.7	1.18	0.85	0.45	0.85	0	0
Ιουλ.	0.75	0.85	1.1	1	1.2	0.85	0.6	0.5	0	0.41
Αυγ.	0.9	0.85	0.95	0.85	1.18	0.27	0.6	0	0	0.79
Σεπ.	0.83	0.33	0	0.8	1.15	0	0.45	0	0	1.15

Ωφέλιμη (ενεργός) βροχόπτωση

Ένα ποσοστό της ζήτησης των καλλιεργειών ικανοποιείται από την βροχόπτωση που υπάρχει, το σύνολο της οποίας, όμως, δεν μπορεί να θεωρηθεί πως καταλήγει στο φυτό αφού υπάρχουν απώλειες από την εξατμισοδιαπνοή, την απορροή και την βαθιά διήθηση. Η ποσότητα της βροχόπτωσης που είναι εκμεταλλεύσιμη ονομάζεται ενεργός ή ωφέλιμη βροχόπτωση.

Γνωρίζοντας τις απαιτήσεις για κάθε μήνα του έτους υπολογίζουμε με βάση την ενεργό βροχόπτωση ποιες από τις ανάγκες μας μπορούν να ικανοποιηθούν από αυτήν και ποιες από πότισμα. Συνήθως τους χειμερινούς μήνες και κατά δεύτερο λόγω τους μήνες της άνοιξης και του φθινοπώρου, η βροχή ικανοποιεί ένα μεγάλο μέρος εάν όχι το σύνολο των απαιτήσεων.

Το πρώτο βήμα είναι ο υπολογισμός της ωφέλιμης υετόπτωσης P_{eff} , δηλαδή το ύψος του υετού μετά από την αφαίρεση των απωλειών που έχουμε από επιφανειακή απορροή και βαθιά διήθηση κάτω από το ριζόστρωμα.

Η P_{eff} υπολογίζεται με βάση το μηνιαίο ύψος της υετόπτωσης με τους παρακάτω τύπους της USDA Soil Conservation Service (USDA , 1970; Dastane, 1974)

$$P < 250mm \quad P_{eff} = \frac{P \cdot (125 - 0.2 \cdot P)}{125} \quad (4.6)$$

$$P > 250mm \quad P_{eff} = 125 + \frac{1}{10} P \quad (4.7)$$

όπου P η μηνιαία υετόπτωση.

επιλέγεται το P_{eff} με όριο τα 250mm μηνιαίας υετόπτωσης, αφού για τόσο υψηλή μηνιαία βροχόπτωση η απώλειες είναι μεγαλύτερες.

Η τιμή NIR είναι οι επιπλέον ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών που εκφράζεται σε ύψος νερού σε mm/m^2 και υπολογίζεται σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους

$$NIR = ET_0 - P_{eff} > 0 \quad NIR = ET_0 - P_{eff}$$

$$NIR = ET_0 - P_{eff} < 0 \quad NIR = 0$$

όπου ET_0 είναι η αναγκαία κατανάλωση και P_{eff} η ωφέλιμη (χρήσιμη) βροχόπτωση.

Οι τελικές μηνιαίες ανάγκες της κάθε καλλιέργειας σε νερό εκφράζονται από την τιμή Q σε hm^3

$$Q = \frac{NIR \cdot E}{1000}$$

όπου NIR η ανάγκη σε νερό σε mm/m^2 και E το συνολικό εμβαδόν της κάθε καλλιέργειας για την κάθε υπολεκάνη

Η συνολικές ανάγκες σε νερό μηνιαίος για την κάθε υπολεκάνη $\Sigma Q_{καλλ.}$ εκφράζεται σαν άθροισμα των επιμέρους αναγκών των καλλιεργειών και είναι

$$\Sigma Q_{καλλ.} = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_x$$

με Q_{1-x} η απαίτησης των επιμέρους καλλιεργειών.

Οι ανάγκες υπολογίστηκαν για κάθε μήνα, κάθε καλλιέργεια για το διάστημα από 1960/61-2001/2002. Οι ανάγκες για το 2002, σε νερό, για όλες τις υπολεκάνες ανά είδος και μήνα φαίνονται από τα Σχήματα 4.5 και 4.6, αντίστοιχα.

3.3.3 Λοιπές χρήσεις

Όπως είδαμε οι υδατικές απαιτήσεις για γεωργικές χρήσεις γης είναι πολλαπλάσιες των αντιστοίχων από αστική χρήση. Το ίδιο συμβαίνει και με τις υπόλοιπες χρήσεις (βιομηχανική, τουριστική, κτηνοτροφική) σε σημείο που το τελικό άθροισμα να μην αλλάζει σημαντικά. Έτσι δεν θα προχωρήσουμε σε περαιτέρω ανάπτυξη της διαδικασίας υπολογισμού των υδατικών απαιτήσεων για τις υπόλοιπες χρήσεις γης καθώς αυτό θα υπερέβαινε τους στόχους αυτής της διπλωματικής εργασίας.

3.4 Διαχείριση Πόρων

3.4.1 Η αποξήρανση της λίμνης

Το μέγιστο βάθος της Κάρλας από 5,5 m που ήταν πριν από το Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, μειώθηκε στα 2 μέτρα το 1950-51. Οι διακυμάνσεις της στάθμης, η απόπλυση των εδαφών, το ιδιόμορφο ιδιοκτησιακό καθεστώς και η μείωση των αλιευμάτων συνετέλεσαν στο να αποξηρανθεί εντελώς η Κάρλα, παρά τις σχετικές μελέτες που δεν προέβλεπαν κάτι τέτοιο.

Το 1954 ο μηχανικός Παπαδάκης παρουσιάζει μια μελέτη εγγειοβελτιωτικών έργων της Παρακάρλιου περιοχής που του είχε ανατεθεί από το Υπουργείο Γεωργίας. Η μελέτη αυτή αφορούσε στην αξιοποίηση του μεγαλύτερου τμήματος της Παρακάρλιου περιοχής που εκτείνεται μεταξύ της Ν.Δ. όχθης της λίμνης και της παλαιάς Εθνικής οδού Βόλου- Λάρισας, Β.Δ. μέχρι την οδό Λάρισας- Αγιάς και Ν.Α. ορίζεται από το κοινοτικό όριο του χωριού Ριζόμυλος. Η συνολική έκταση της περιοχής αυτής είναι 197 km².

Η μελέτη προέβλεπε την κατασκευή αρδευτικού και αποστραγγιστικού δικτύου αποτελούμενου από τάφρους και διώρυγες. Η λίμνη θα περιοριζόταν σε μια έκταση 64,7 km² στο Ν.Α. τμήμα της. Στο δυτικό όριο της λίμνης θα κατασκευαζόταν ανάχωμα για την προστασία της περιοχής από υπερχειλίσεις της λίμνης. Η λίμνη θα χρησιμοποιούνταν για άρδευση με δίκτυο από διώρυγες και αρδευτικά κανάλια και θα τροφοδοτούνταν από το υδρολογικό δίκτυο της απομένουσας λεκάνης απορροής. Προβλεπόταν ακόμη η δυνατότητα

τροφοδοσίας της λίμνης με νερά που θα αντλούνταν από τον Πηνειό. Το νερό της περιοχής που θα συλλεγόταν με δίκτυο αποστραγγιστικών τάφρων θα εκκενώνονταν στον Παγασητικό Κόλπο μέσω σήραγγας μήκους 11,5 km, παροχευτικής ικανότητας 8,5 m³/s. Υπήρχε ακόμη πρόβλεψη η υπερχείλιση της λίμνης να αποχετεύεται στη σήραγγα. Με την κατασκευή της σήραγγας, που άρχισε τον Ιανουάριο του 1957 και τέλειωσε τον Οκτώβριο του 1960, άρχισε η εκκένωση της λίμνης η οποία ολοκληρώθηκε το 1962.

Πρέπει να τονιστεί ότι στην παραπάνω μελέτη δεν προβλεπόταν η ολική αποξήρανση της Κάρλας, ενώ αντίθετα προβλεπόταν η κατασκευή ταμιευτήρα. Η κατασκευή του ταμιευτήρα σε τμήματα της τέως λίμνης θα έπρεπε να πραγματοποιηθεί μετά την αποξήρανση και την απομάκρυνση των επιβαρημένων με άλατα νερών της λίμνης. Τα μελετημένα, όμως, έργα για την Κάρλα δεν κατασκευάστηκαν στο σύνολό τους και οι προτάσεις της εγκεκριμένης μελέτης σχετικά με τη διαχείριση των έργων και το καθεστώς της περιοχής δεν υιοθετήθηκαν.

Βεβαίως, δεν είχε προηγηθεί μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η διεθνής εμπειρία από παρόμοια έργα, καθώς και το επίπεδο της επιστημονικής γνώσης στον τομέα αυτό τη δεκαετία 1950-60 ήταν σε εμβρυακό ακόμα στάδιο. Έτσι, στην αποξήρανση δεν υπήρξε αντίλογος ούτε από τους ενδιαφερόμενους πληθυσμούς, ούτε από επιστημονικούς ή άλλους φορείς. Ένα τέτοιο μεγάλο τεχνικό έργο που έγινε χωρίς πρακτικά να έχει μελετηθεί ή, θα λέγαμε, ενάντια στις προτάσεις των μελετητών, είχε σοβαρές περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις.

3.4.2 Υφιστάμενα έργα

Αναχώματα Πηνειού από Λάρισα μέχρι Γυρτώνη

Πρόκειται για αναχώματα εγκιβωτισμού του ποταμού Πηνειού τα οποία κατασκευάστηκαν με σκοπό την προστασία της πεδιάδας Λάρισας-Κάρλας από τα νερά του ποταμού που ξεχείλιζαν και κατέκλυζαν μεγάλες εκτάσεις. Η διαμόρφωση των αναχωμάτων αυτών στο τμήμα του ποταμού από Λάρισα μέχρι Γυρτώνη έχει γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε η δημιουργούμενη κοίτη να έχει παροχετευτική ικανότητα 2000 μ³/δλ. Τα αναχώματα αυτά λειτουργούν ικανοποιητικά από της κατασκευής τους μέχρι σήμερα και προστατεύουν την περιοχή από τις πλημμύρες του Πηνειού.

Συλλεκτήρας Σ1

Ο Συλλεκτήρας Σ1, συλλέγει τα νερά των περισσοτέρων ρευμάτων της Ν.Δ. λεκάνης και τα κατευθύνει στον ποταμό Πηνειό, στις βόρειες παρυφές της Λάρισας. Το συνολικό μήκος του Συλλεκτήρα αυτού είναι 37 χλμ περίπου. Στον Συλλεκτήρα Σ1 συμβάλλουν : α) ο Συλλεκτήρας Ι8 της ΒΟΟΤ και β) ο χειμάρρος Νέας Λεύκης, ο οποίος λίγο προ της συμβολής του στον Σ1, δέχεται τα νερά του χειμάρρου Νέας Καρυάς. Ο Συλλεκτήρας αυτός διευρύνθηκε από τη Χ.Θ. 0+200 έως την Χ.Θ. 11+925 με ενιαία κατά μήκος κλίση πυθμένα $J=0.06\%$ και πλάτος πυθμένα κυμαινόμενο από $b=30$ μ ως $b=35$ μ. Αλλά και η διευρυμένη διατομή του Συλλεκτήρα δε φαίνεται να εξασφαλίζει την πλήρη προστασία της περιοχής, κυρίως στο τελευταίο τμήμα του αμέσως

ανάντη της συμβολής του με τον ποταμό Πηνειό. Υπάρχει επομένως ανάγκη επανεξέτασης του στο τμήμα μεταξύ της διασταύρωσής του με τη Σιδηροδρομική Γραμμή μέχρι την εκβολή του στον ποταμό Πηνειό.

Τάφρος 1Τ

Η Τάφρος 1Τ ή Κύρια Τάφρος της Κάρλας συλλέγει τα νερά των χαμηλών εκτάσεων της πεδιάδας και τα κατευθύνει στην Σήραγγα της Κάρλας. Στο αρχικό τμήμα της Τάφρου συμβάλλουν οι Τάφροι 8Τ και 9Τ. Η Τάφρος αυτή κατασκευάστηκε μεταγενέστερα από τις Τάφρους 2Τ κ.λ.π. και οι διαστάσεις της κοίτης της αποδείχθηκαν επαρκείς για την εκπλήρωση των σκοπών της.

Τάφρος 2Τ

Η Τάφρος 2Τ ή Κύρια Τάφρος της Νίκης συλλέγει τα νερά των Ν.Δ. μεσαίων εκτάσεων της πεδιάδας και τα κατευθύνει στην Σήραγγα της Κάρλας. Στην Τάφρο αυτή συμβάλλουν οι Τάφροι 3Τ, 4Τ, 5Τ, 6Τ και 7Τ που συγκεντρώνουν τα νερά διάφορων τμημάτων όλης της έκτασης. Αργότερα οι διατομές των τάφρων διευρύνθηκαν, με αποτέλεσμα να έχουν σήμερα επαρκή αποχετευτική ικανότητα.

Σήραγγα Κάρλας

Η Σήραγγα της Κάρλας κατασκευάστηκε με βάση μελέτη της Υπηρεσίας Υδραυλικών Έργων του Υπουργείου Δημοσίων Έργων και αποτελεί την μοναδική διέξοδο για τα νερά της κλειστής λεκάνης της

πεδιάδας Λάρισας –Κάρλας, τα οποία κατευθύνει στον Παγασητικό Κόλπο.

Τα κύρια χαρακτηριστικά της σήραγγας που κατασκευάστηκε είναι:

- Μήκος: 10,12 m
- Επιφάνεια πεταλοειδούς διατομής: 4,35 m²
- Υψόμετρο εισόδου: 38,23 m
- Κλίση: 0,15%
- Παροχeyeυτική ικανότητα: 8,5 m³/s

Η παροχeyeυτική ικανότητα της Σήραγγας Κάρλας είναι τελείως ανεπαρκής για την απομάκρυνση όλων των υδάτων της λεκάνης απορροής της περιοχής Κάρλας που δεν μπορούν να κατευθυνθούν προς τον ποταμό Πηνειό και συγκεντρώνονται στις δύο κύριες Τάφρους 1Τ και 2Τ.

Αρδευτικά έργα

Στην ευρύτερη περιοχή της πεδιάδας Κάρλας δεν υπάρχουν συστηματικά αρδευτικά έργα, δηλαδή έργα που περιλαμβάνουν δίκτυα άρδευσης, αποχέτευσης-στράγγισης και αγροτικής οδοποιίας. Τα υπάρχοντα αρδευτικά έργα είναι απλά έργα (κινητά σωληνωτά δίκτυα, χάνδακες, μικρά αντλιοστάσια κ.λ.π.) που αποτελούν ατομικές ή ομαδικές προσπάθειες για άρδευση περιορισμένων εκτάσεων με τη χρησιμοποίηση νερού ιδιωτικών γεωτρήσεων ή γεωτρήσεων του Π.Α.Υ.Υ.Θ. ή του νερού των αποχeyeυτικών και αποστραγγιστικών τάφρων. Επίσης χρησιμοποιείται το νερό ορισμένων υδατοδεξαμενών

που έχουν κατασκευασθεί πρόσφατα. Οι υδατοδεξαμενές αυτές είναι οι εξής :

- Οι υδατοδεξαμενές Ελευθερίου και Δήμητρας που καλύπτουν έκταση $0,3 \text{ km}^2$ και έχουν ωφέλιμη χωρητικότητα $0,7 \text{ hm}^3$ η κάθε μία.
- Η υδατοδεξαμενή Πλατύκαμπου που καλύπτει έκταση $0,25 \text{ km}^2$ και έχει ωφέλιμη χωρητικότητα $1,95 \text{ hm}^3$.
- Η υδατοδεξαμενή Ναμάτων που καλύπτει έκταση $0,57 \text{ km}^2$ και έχει ωφέλιμη χωρητικότητα $1,5 \text{ hm}^3$.
- Η υδατοδεξαμενή Στεφανοβικείου που καλύπτει έκταση 4 km^2 και έχει ωφέλιμη χωρητικότητα 10 hm^3 .
- Η υδατοδεξαμενή Καλαμακίου που καλύπτει έκταση 2 km^2 και έχει ωφέλιμη χωρητικότητα 6 hm^3

3.4.3 Βιοτικό επίπεδο πληθυσμού - Συνθήκες στεγασεως και διαβίσεως

Οι οικιστικές συνθήκες της περιοχής βελτιώνονται σταθερά από πλευράς ανέσεως και ευκολιών των αγροτικών νοικοκυριών. Σε αυτό βοήθησε σοβαρά η ευχέρεια διαθέσεως στεγαστικών δανείων από την Αγροτική Τράπεζα. Οι κατοικίες είναι συγκεντρωμένες σε οργανωμένους οικισμούς με σχετικά καλό δίκτυο κοινοτικών και επαρχιακών δρόμων. Η αύξηση του αγροτικού εισοδήματος τα τελευταία χρόνια συνετέλεσε στην βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης του αγροτικού πληθυσμού, ιδιαίτερα από απόψεως διατροφής. ενδυμασίας

και υγιεινής περίθαλψης. Στον τομέα της ψυχαγωγίας η διάδοση της τηλεόρασης έπαιξε σημαντικό ρόλο. Όλες οι κοινότητες εξυπηρετούνται για την ύδρευση τους με κλειστά εσωτερικά δίκτυα διανομής νερού. Η ηλεκτροδότηση των κατοίκων σε όλους ανεξαιρέτων του οικισμούς έχει πραγματοποιηθεί από χρόνια μετά τη διασύνδεσή τους με το Εθνικό δίκτυο διανομής ηλεκτρικού ρεύματος (ΔΕΗ). Η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται κυρίως για φωτισμό των οικιών και των αγροτικών εγκαταστάσεων για τη λειτουργία των οικιακών συσκευών και τελευταία άρχισε με γοργά βήματα η χρησιμοποίησή της για τη λειτουργία αντλητικών συγκροτημάτων και άλλων γεωργικών μηχανημάτων

3.5.4 Μορφωτικό επίπεδο

Κατά τα τελευταία 20 χρόνια το μορφωτικό επίπεδο του πληθυσμού της περιοχής γενικότερα, και του αγροτικού πληθυσμού ειδικότερα, έχει βελτιωθεί σημαντικά και κυρίως των ατόμων νεώτερων ηλικιών. Το ποσοστό των αγραμμάτων είναι μικρό και περιορίζεται κυρίως σε άτομα μεγάλης ηλικίας και ιδιαίτερα στις γυναίκες. Η εκπαίδευση παρέχεται από τα σχολεία στοιχειώδους εκπαίδευσης, που λειτουργούν σ' όλους τους οικισμούς της περιοχής, τα Γυμνάσια και Λύκεια που υπάρχουν στις πόλεις της περιοχής και τα ανώτερα ή ανώτατα εκπαιδευτικά ιδρύματα που λειτουργούν στην ευρύτερη περιοχή.

3.5.5 Γεωργοτεχνική εκπαίδευση

Η γεωργοτεχνική εκπαίδευση και κατάρτιση του αγροτικού πληθυσμού της περιοχής συνεχώς βελτιώνεται κατά τα τελευταία χρόνια. Προς τούτο συνέβαλαν η γενίκευση της εκμηχάνισης των γεωργικών εργασιών η ανάπτυξη των συγκοινωνιών, η τηλεόραση, η άνοδος του μορφωτικού επιπέδου του πληθυσμού, η προσπάθεια και τα προγράμματα που εφαρμόζονται από τους Γεωπόνους Γεωργικής ανάπτυξης και ΑΤΕ και τέλος από την ασκούμενη γενικότερα από το κράτος Αγροτική Πολιτική. Η χρήση των λιπασμάτων και των βελτιωμένων σπόρων και φυτών, η εφαρμογή των βελτιωμένων μεθόδων άρδευσης, όπου αυτή είναι δυνατή, τεχνικά και οικονομικά, η καταπολέμηση των ασθενειών των καλλιεργειών και των ζιζανίων, καθώς επίσης και η καλύτερευση των συνθηκών διατροφής και σταυλισμού των ζώων έχει γίνει συνείδηση στους παραγωγούς και εφαρμόζεται σε μεγάλη κλίμακα. Θα ήταν παράλειψη να μην αναφερθεί η μεγάλη και θετική συμβολή στην γεωργοτεχνική κατάρτιση του αγροτικού πληθυσμού της περιοχής των ιδιωτών Γεωπόνων εμπόρων.

3.5.6 Εργασιακή απασχόληση πληθυσμού

Ο συνολικός αριθμός των ημερών εργασίας του αγροτικού πληθυσμού στην ύπαιθρο υπολογίζεται, μετά την αφαίρεση από το σύνολο, των ημερών βροχής, χιονιού, πολύ χαμηλών θερμοκρασιών, αργιών, Κυριακών, ασθενειών κλπ, σε 228 ημέρες. Ο αγροτικός πληθυσμός, μπορεί να απασχοληθεί σε εργασίες κάτω από στέγη μέχρι 65 ημέρες το χρόνο, οι οποίες μοιράζονται κυρίως κατά την διάρκεια των

φθινοπωρινών και χειμερινών μηνών. Με βάση τις ημέρες εργασίας υπαίθρου, την κατανομή του αγροτικού πληθυσμού κατά φύλλο και ομάδες ηλικιών και τη χρησιμοποίηση των συντελεστών μετατροπής των διαφόρων κατηγοριών ημερομισθίων σε ακέραιες εργασιακές μονάδες, υπολογίζεται το διαθέσιμο εργατικό δυναμικό του αγροτικού πληθυσμού της ευρύτερης περιοχής του έργου σε 4.889 ημερομίσθια για κάθε μία εργάσιμη ημέρα και 1.114.692 ημερομίσθια για όλο το χρόνο.

Λαμβανομένου υπόψη ότι στην περιοχή του έργου υπάρχουν 1.845 Γεωργικές εκμεταλλεύσεις, προκύπτει ότι σε κάθε αγροτική εκμετάλλευση αντιστοιχούν 604 ακέραιες εργασιακές μονάδες το χρόνο ή 2,65 ακέραιες εργασιακές μονάδες την ημέρα.. Με βάση τα στοιχεία και το συνολικά διαθέσιμο εργασιακό δυναμικό, προκύπτει ότι μόνο το 50,6% του εργασιακού δυναμικού της περιοχής απορροφάται.

4 Μεθοδολογία

4.2 Υδρολογικά και Θερμοκρασιακά Δεδομένα

Καθώς το αντικείμενο της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι η διαχείριση υδάτινων πόρων σε μελλοντικά σενάρια βροχόπτωσης και θερμοκρασίας, είναι προφανές ότι έπρεπε να αναπτυχθούν μεθοδολογίες για τον προσδιορισμό των χρονοσειρών βροχόπτωσης και θερμοκρασίας στο μέλλον και μάλιστα στις περιόδους 2020-2050 και 2070-2100. Μοναδικό εργαλείο που είχαμε στην διάθεση μας ήταν τα δεδομένα από GCM's (Global Circulation Models).

Τα μοντέλα αυτά έχουν μεγάλα πεδία ορισμού και παρέχουν κλιματικές πληροφορίες μεγάλης (πλανητικής) κλίμακας. Πρόκειται για μοντέλα που χρησιμοποιούνται από τα μεγαλύτερα εργαστήρια και βοηθούν στην αποθήκευση πληροφοριών κλιματικής αλλαγής οι οποίες έχουν υπολογιστεί από τα GCMs. Πιο συγκεκριμένα πρόκειται για εκτιμήσεις μελλοντικών ατμοσφαιρικών ή ωκεάνιων παραμέτρων σε συμφωνία πάντοτε με κάποιο από τα επιλεγμένα σενάρια SRES. Από θεωρητική άποψη το κύριο πλεονέκτημα της απόκτησης πληροφοριών από τα μοντέλα αυτά είναι ότι η ανάδραση προκύπτει από την κλιματική αλλαγή σε μια συγκεκριμένη περιοχή σε πλανητική κλιματική κλίμακα και το κλίμα άλλων περιοχών επιτρέπεται για διαφυσικές και δυναμικές διαδικασίες μέσα στο μοντέλο.

Βέβαια αρκετά σημαντικοί είναι και οι περιορισμοί που υπεισέρχονται κατά τη χρήση κλιματικών πληροφοριών που προκύπτουν από τα GCMs. Τα μοντέλα αυτά δεν μπορούν να παρέχουν άμεσες πληροφορίες σε κλίμακες μικρότερες του φατνίου ανάλυσης

τους (grid) που είναι της τάξης των δεκάδων τετραγωνικών χιλιομέτρων και επομένως δεν μπορούν να αιχμαλωτίσουν τις κλιματικές επιδράσεις σε κλίμακες μικρότερες του φατνίου. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα ότι ένα στενό πεδίο βουνού (κλίμακας μικρότερης του φατνίου) μπορεί να είναι η αιτία για τις επιδράσεις της βροχής σε μεγαλύτερη κλίμακα. Ακόμη αναλύσεις που έχουν διεξαχθεί κατά το παρελθόν έδειξαν ότι τα GCMs στη μικρότερη δυνατή κλίμακα που εντάσσεται στο πεδίο ανάλυσης τους έχουν ουσιαστικό πρόβλημα στο να παράγουν κλιματικά χαρακτηριστικά της παρούσας ημέρας.

Έτσι οι πληροφορίες που θα πάρουμε από το GCM πρέπει υποστούν την κατάλληλη επεξεργασία ώστε να είναι αντιπροσωπευτικές της περιοχής μελέτης μας. Το πρόβλημα που έχουμε να αντιμετωπίσουμε είναι πρόβλημα καταβίβασης κλίμακας, δηλαδή θα πρέπει να ‘καταβιβάσουμε’ τις πληροφορίες του GCM από την αρχική τους κλίμακα (που όπως αναφέραμε είναι της τάξης των δεκάδων μπορεί και εκατοντάδων τετραγωνικών χιλιομέτρων) στην κλίμακα της λεκάνης αναφοράς μας.

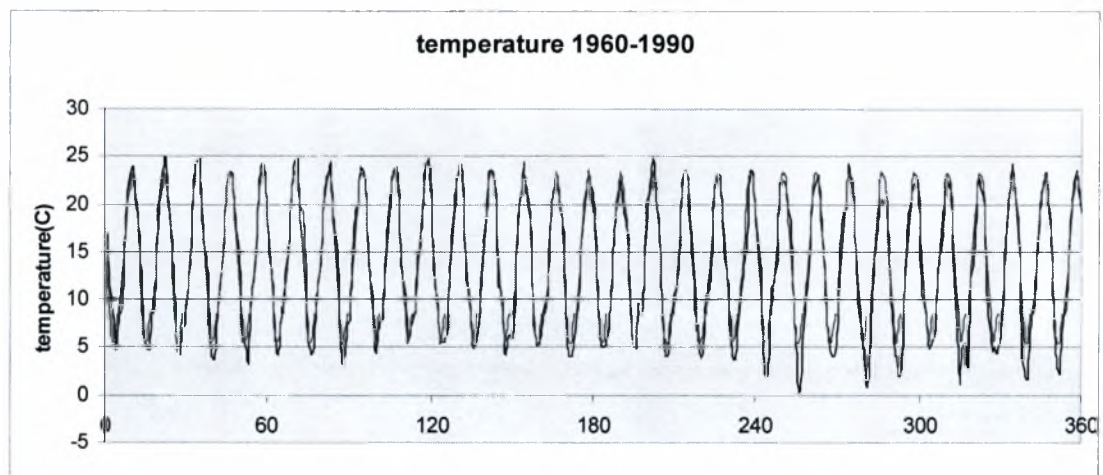
4.3 Καταβιβασμός

4.3.1 Θερμοκρασία

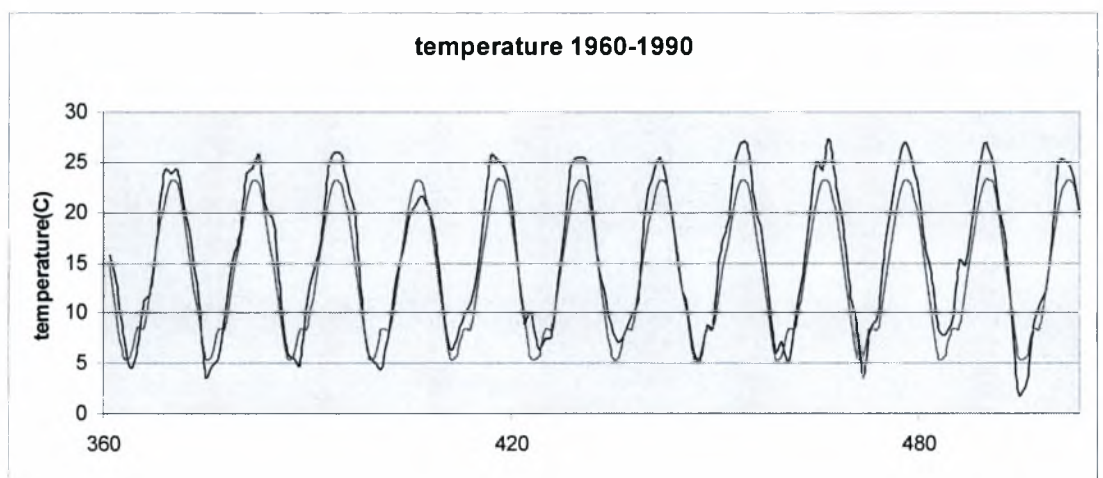
Στην περίπτωση της θερμοκρασίας σε προηγούμενη διπλωματική εργασία (Λουκάς, Τζαμπύρας) στις λεκάνες γύρω από την λεκάνη της Κάρλας αποδείχτηκε ότι η μελλοντική χρονοσειρά της θερμοκρασίας μπορεί να αναπαραχθεί με ικανοποιητικά αποτελέσματα με πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση χρησιμοποιώντας 14 παραμέτρους. Η ταυτότητα των παραμέτρων προσδιορίστηκε με παραμετρική ανάλυση. Η τιμή της θερμοκρασίας θα δίνεται από τον τύπο:

$$T = \sum a_i * b_i + a_{13} * gz(500-1000) + a_{14} * mslp, \quad i = 1, 2, 3, \dots, 12$$

Από το GCM χρησιμοποιήθηκαν δύο μεταβλητές και συγκεκριμένα οι μεταβλητές mslp (mean sea level pressure) και gz(500-1000) (). Οι υπόλοιπες 12 μεταβλητές (b1,b12) είναι ψευδομεταβλητές (dummies) και παίρνουν τις τιμές 0,1 και είναι στην ουσία μηνιαίες παράμετροι καθώς η τιμή τους είναι 1 για τον μήνα που αντιπροσωπεύουν και 0 για όλους τους υπόλοιπους. Οι συντελεστές (a1,a14) υπολογίστηκαν με την βοήθεια του excel και της εντολής linest. Συγκεκριμένα δουλέψαμε στην περίοδο βάσης (1960-90), θέσαμε ως known y's την χρονοσειρά της θερμοκρασίας για την περίοδο 1960-90 και known x's τις χρονοσειρές b1-b12, gz(500-1000), mslp για την ίδια περίοδο. Η μέθοδος πιστοποιήθηκε για την περίοδο 1990-2002 και τα αποτελέσματα ήταν απολύτως ικανοποιητικά.



Σχήμα 4.1 προσομοιωμένη και ιστορική θερμοκρασία για την περίοδο βάσης 1960-90



Σχήμα 4.2 προσομοιωμένη και ιστορική θερμοκρασία για την περίοδο πιστοποίησης 1990-2002

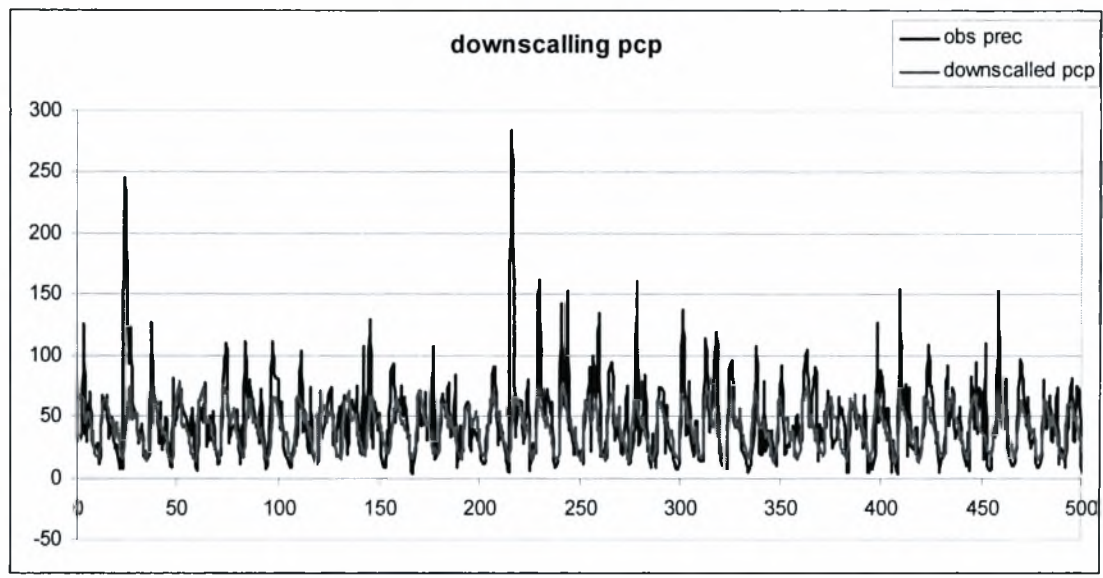
4.3.2 Βροχόπτωση

Στη περίπτωση της θερμοκρασίας τα αποτελέσματα που μας έδινε η απλή γραμμική σχέση των dummies και των παραμέτρων που επιλέχθηκαν μέσω παραμετρικής ανάλυσης, (Τζαμπύρας, Λουκάς) κρίθηκαν ικανοποιητικά. Στην περίπτωση της βροχόπτωσης τα αποτελέσματα ενός απλού γραμμικού μοντέλου παλινδρόμησης απείχαν αρκετά από το να θεωρηθούν επαρκής προσομοίωση. Μετά από έλεγχο εκθετικών μοντέλων και λογαριθμικών μοντέλων επιλέξαμε να προχωρήσουμε με ένα λογαριθμικό μοντέλο. Η σχέση που θα μας δίνει την τιμή της βροχόπτωσης σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση είναι:

$$\ln(pcr+1) = \sum a_i * b_i + a_{13} * mslp + a_{14} * swa + a_{15} * gz(500) + a_{16} * gz(500-1000) + \gamma$$

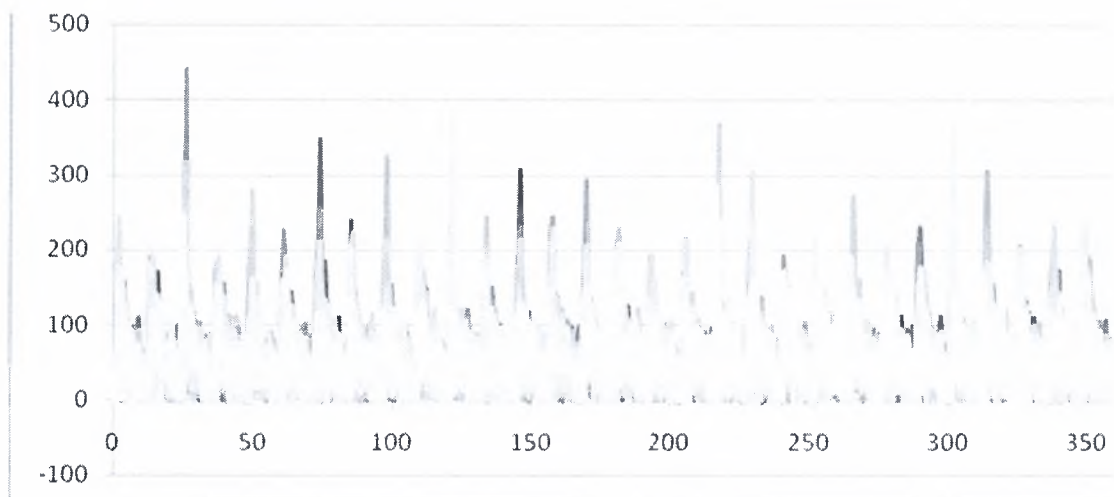
όπου b_1, b_2 ψευδομεταβλητές όπως και στην θερμοκρασία, $mslp$ mean sea level pressure, swa ταχύτητα του ανέμου στο επίπεδο της θάλασσας.

Η προσομοίωση όμως ακόμα και με το λογαριθμικό μοντέλο παρουσίαζε εμφανή προβλήματα, όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 4.3 Ιστορική βροχόπτωση σε αντιπαραβολή με την χρονοσειρά που μας δίνει το λογαριθμικό μοντέλο παλινδρόμησης

Επομένως τα αποτελέσματα δεν κρίθηκαν ικανά για να προσομοιώσουν την βροχόπτωση. Επιχειρήσαμε να λύσουμε το πρόβλημα με την υπόθεση ότι η χρονοσειρά των residuals της ιστορικής βροχόπτωσης (που προκύπτει από την ιστορική χρονοσειρά της βροχόπτωσης αφαιρώντας την χρονοσειρά που προέκυψε από το λογαριθμικό μοντέλο παλινδρόμησης και την παραμετρική ανάλυση) θα έχει τα ίδια στατιστικά χαρακτηριστικά και στο μέλλον. Όποτε αναπαράγοντας τυχαίες χρονοσειρές residuals με χρήση του προγράμματος SAMS διατηρώντας τον μέσο και την τυπική απόκλιση τις οποίες θα προσθέσουμε στην χρονοσειρά της παραμετρικής ανάλυσης των μελλοντικών περιόδων και θα έχουμε τυχαίες χρονοσειρές βροχόπτωσης στις μελλοντικές περιόδους. Είναι μια καθαρά στοχαστική μεθοδολογία η οποία λόγω των 100 λύσεων που μας προσφέρει (όσες και οι χρονοσειρές που αναπαράγαμε με το πρόγραμμα SAMS) στην ουσία μας δίνει ένα εύρος τιμών, ένα φάσμα επίλυσης.



Σχήμα 4.4 φάσμα επίλυσης των πιθανών βροχοπτώσεων για την περίοδο 1960-90

Τα στατιστικά χαρακτηριστικά των ιστορικών residuals δίνονται απο το SAMS.το στοχαστικό μοντέλο που χρησιμοποιήσαμε ήταν το PARMA(4,0), (Periodic Auto Reggressive with Moving Average) το οποίο στήσαμε για την περίοδο βάσης 1960-90 (base period) και πιστοποιήσαμε για την περίοδο πιστοποίησης 1990-2002 (validation period). Τα αποτελέσματα κρίθηκαν ικανοποιητικά καθώς τα στατιστικά στοιχεία (μέσος όρος, τυπική απόκλιση, μέγιστο και ελάχιστο) ήταν πολύ ικανοποιητικά, όπως φαίνεται και στην επόμενη σελίδα.

Stochastic Analysis, Modeling, and Simulation (SAMS)
Version 98.1

Model: Univariate PARMA, (Statistical Analysis of Generated Data)

Site Number: 1 Karla

Season	Historical (mm)	Generated (mm)
Mean		
1	18.1262	17.5905
2	15.8310	15.1550
3	16.2548	16.2155
4	2.6762	2.8828
5	-10.1381	-9.7244
6	-1.9452	-2.5335
7	-14.9190	-15.0741
8	-6.3667	-6.0519
9	-31.7143	-31.0486
10	-27.7119	-27.6698
11	-37.8262	-37.3032
12	-13.2548	-16.2840
Standard Deviation		
1	35.7475	35.7977
2	31.5495	31.2888
3	27.9559	28.1556
4	24.4763	24.7437
5	18.9421	21.9819
6	17.5463	16.5945
7	21.3825	20.1979
8	25.3447	24.6814
9	18.5307	19.9583
10	22.1723	23.5132
11	9.9813	12.6462
12	56.6112	45.3206
Skewness Coefficient		
1	0.7421	1.2853
2	1.1125	1.1433
3	0.8697	0.9537
4	1.4228	1.0718
5	0.3793	1.2676
6	1.2067	0.7944
7	1.0203	1.2424
8	1.3579	1.3160
9	2.4916	1.9881
10	1.6665	2.0967
11	1.1709	1.8819
12	2.9576	2.4957
Coef. Variation		
1	1.9721	2.2168
2	1.9929	2.2439
3	1.7199	1.9222
4	9.1460	5.5918
5	-1.8684	-2.9278
6	-9.0201	-5.0563
7	-1.4332	-1.4719
8	-3.9808	-4.5732
9	-0.5843	-0.6711
10	-0.8001	-0.9279
11	-0.2639	-0.3437
12	-4.2710	-3.5397

Όπως βλέπουμε λοιπόν αναλυτικά ανά μήνα το στοχαστικό μοντέλο που εφαρμόσαμε για να αναπαράγουμε χρονοσειρές residuals είναι ικανοποιητικό.

Προσθέτουμε λοιπόν την καταβιβασμένη βροχόπτωση της ιστορικής περιόδου σε κάθε μια από τις χρονοσειρές residuals για να πάρουμε 100 χρονοσειρές βροχόπτωσης για την ιστορική περίοδο 1960-1990. Το μοντέλο θα πιστοποιηθεί για την 12ετία 1990-2002. Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται οι συγκρίσεις των βροχομετρικών δεδομένων και η πιστοποίηση του μοντέλου.

Μέσες τιμές βροχόπτωσης (mm) για την περίοδο 1960-90

Average Month	Observed	Downscaled (MLR)	Stochastic Simulation Results			
			Average	SD	Min	Max
Oct	72,01	63,42	72,11	6,80	55,71	86,65
Nov	70,12	64,16	70,09	5,58	57,35	83,53
Dec	70,74	65,30	70,53	5,10	58,52	82,52
Jan	53,66	48,21	53,26	4,59	40,45	64,79
Feb	48,25	44,66	48,38	3,21	41,74	55,25
Mar	52,95	50,54	52,77	3,28	43,30	61,89
Apr	38,73	34,73	39,03	3,25	32,28	46,79
May	43,35	37,96	42,92	3,84	33,38	51,75
Jun	25,22	21,03	26,38	3,21	19,12	34,03
Jul	26,29	19,48	27,75	3,54	18,55	36,97
Aug	17,67	15,04	18,10	1,83	13,49	23,13
Sep	45,70	26,93	53,47	8,94	23,68	70,20

Τυπική απόκλιση 1960-90

SD

Month	Observed	Downscaled (MLR)	Stochastic Simulation Results			
			Average	SD	Min	Max
Oct	36,09	4,41	41,75	12,02	18,54	83,89
Nov	31,15	5,12	29,70	3,79	20,46	43,75
Dec	30,29	5,62	30,10	3,80	22,55	42,03
Jan	27,02	4,89	25,32	3,55	17,12	34,99
Feb	19,32	3,38	19,35	2,43	12,69	27,37
Mar	18,35	4,42	18,72	2,38	14,00	24,79
Apr	20,97	2,93	19,51	2,10	13,31	24,00
May	25,23	3,26	22,67	2,92	15,41	29,41
Jun	19,43	2,03	17,83	1,94	13,84	23,08
Jul	23,45	1,96	19,75	2,48	13,15	26,99
Aug	10,71	1,84	10,15	1,24	6,79	13,63
Sep	64,52	1,83	49,95	6,72	31,61	66,78

Μέσες τιμές για την περίοδο πιστοποίησης 1990-2002

Month	average		Stochastic Simulation Results			
	Observed	Downscaled (MLR)	Average	SD	Min	Max
Oct	64,29	63,02	74,52	15,51	41,01	126,35
Nov	72,10	61,08	70,70	12,83	47,14	110,25
Dec	72,10	63,01	71,06	12,38	50,11	101,57
Jan	54,42	49,09	54,41	6,42	42,44	71,25
Feb	47,98	43,75	48,03	6,51	35,58	66,01
Mar	54,11	47,48	49,75	5,10	38,69	59,97
Apr	46,44	31,77	36,05	5,24	24,74	49,55
May	50,49	36,08	40,50	5,83	30,47	55,58
Jun	16,97	21,76	24,40	4,21	13,35	34,78
Jul	25,28	18,76	25,17	5,42	14,17	39,90
Aug	16,51	15,55	17,73	2,67	11,38	22,96
Sep	31,09	26,29	41,85	11,78	22,83	74,77

Τυπική απόκλιση validation period 1990-2002

SD

Month	Observed	Downscaled (MLR)	Stochastic Simulation Results			
			Average	SD	Min	Max
Oct	37,57	4,56	42,61	21,21	13,87	129,80
Nov	35,64	4,94	43,42	20,79	12,48	141,86
Dec	23,69	5,54	37,79	16,14	16,48	79,25
Jan	19,43	3,51	24,73	6,94	13,73	40,26
Feb	19,35	3,60	20,95	7,33	10,08	45,33
Mar	16,95	5,37	18,11	3,94	9,33	27,04
Apr	23,28	2,54	17,62	5,53	7,94	35,40
May	27,40	3,15	21,49	6,45	11,91	40,22
Jun	15,95	2,28	14,49	4,04	7,75	30,95
Jul	21,20	2,12	18,72	5,23	10,17	31,00
Aug	9,29	1,94	9,47	2,66	5,91	19,40
Sep	32,96	2,62	36,39	12,14	12,15	65,05

Βλέπουμε ότι τα αποτελέσματα, τόσο για την περίοδο βάσης όσο και για την περίοδο πιστοποίησης είναι άκρως ικανοποιητικά. Κρίναμε αρκετό να δείξουμε τιμές για την μέση τιμή (average) και την τυπική απόκλιση (standard deviation) με ειδική αναφορά στο ελάχιστο και στο μέγιστο των χρονοσειρών. Εξίσου ενδιαφέροντα είναι πάντως και τα ευρήματα όσον αφορά και στην κατανομή των τιμών αυτών που όμως δεν θα αναφέρουμε εδώ για λόγους οικονομίας του χώρου μιας διπλωματικής εργασίας. Εδώ πρέπει να επισημάνουμε ότι το πρόβλημα της προσομοίωσης της βροχόπτωσης του Σεπτεμβρίου που φαίνεται και στα αποτελέσματα για την περίοδο βάσης οφείλεται σε κάποια χαρακτηριστικά των δεδομένων για την βροχόπτωση για τον μήνα αυτό. Υπάρχουν αρκετοί μήνες που δεν παρατηρήθηκε βροχόπτωση, αλλά και μήνες με ακραία γεγονότα βροχής. Έτσι το σήμα που μας έδινε ο καταβιβασμό και οι χρονοσειρά των residuals , έδινε πολλές αρνητικές τιμές. Αυτές οι αρνητικές τιμές θεωρήθηκε ότι έχουν τιμή 0,1 και έτσι άλλαξε η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της βροχόπτωσης του Σεπτεμβρίου.

Έτσι μπορούμε να συνεχίσουμε την μεθοδολογία μας και για τις μελλοντικές χρονικές περιόδους (2020-50 και 2070-100) και για τα κλιματολογικά σενάρια (a2, b2) με την πεποίθηση ότι τα αποτελέσματα που θα μας δίνει η πρόσθεση των χρονοσειρών residuals στην χρονοσειρά του καταβιβασμού θα είναι μια καλή πρόβλεψη της μελλοντικής χρονοσειράς βροχόπτωσης για την περιοχή μελέτης μας.

Το επόμενο βήμα είναι να υπολογίσουμε για κάθε μελλοντικό σενάριο την χρονοσειρά του λογαριθμικού μοντέλου για τον καταβιβασμό κλίμακας και έπειτα να προσθέσουμε τις χρονοσειρές των residuals που αναπαραγάγουμε με την βοήθεια του SAMS. Στην ουσία λοιπόν αποδομούμε την ιστορική χρονοσειρά και μεταφέρουμε το noise της στα καινούρια δεδομένα για την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση που προκύπτουν από τον καταβιβασμό.

Τα στατιστικά αποτελέσματα των μελλοντικών χρονοσειρών βροχόπτωσης δείχνουν, αναμενόμενα, ότι με την αλλαγή των κλιματικών συνθηκών παρατηρείται μείωση γενικά των βροχοπτώσεων και μάλιστα όχι σε γεγονότα μεμονομένης βροχής- τα οποία μπορεί να αποδειχθούν και ποιο έντονα- αλλά όταν εξεταστούν συνολικά.

Ακολουθεί η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων. Θεωρήσαμε ενδιαφέρον να αφήσουμε τις μέσες τιμές της παρατηρημένης βροχόπτωσης στους πίνακες για να υπάρχει μέσο σύγκρισης.

Μέσες τιμές για το σενάριο A2 για την περίοδο 2020-50

Average Month	Observed	Downscaled (MLR)	Stochastic Simulation Results			
			Average	SD	Min	Max
Oct	72,01	58,97	67,66	6,80	51,26	82,20
Nov	70,12	59,04	65,05	5,55	52,18	78,41
Dec	70,74	60,90	66,17	5,08	54,11	78,12
Jan	53,66	47,32	52,41	4,58	39,58	63,91
Feb	48,25	41,89	45,64	3,20	38,98	52,48
Mar	52,95	47,98	50,21	3,26	40,89	59,32
Apr	38,73	31,57	35,99	3,22	29,32	43,63
May	43,35	35,50	40,57	3,85	31,20	49,29
Jun	25,22	19,39	24,95	3,19	18,17	32,49
Jul	26,29	17,23	25,81	3,46	16,73	35,13
Aug	17,67	13,54	16,69	1,80	12,20	21,64
Sep	45,70	25,19	52,14	8,82	22,74	68,68

Μέσες τιμές για το σενάριο B2 για την περίοδο 2020-50

Average Month	Observed	Downscaled (MLR)	Stochastic Simulation Results			
			Average	SD	Min	Max
Oct	72,01	61,11	69,80	6,80	53,40	84,34
Nov	70,12	57,02	63,06	5,54	50,56	76,39
Dec	70,74	60,78	66,06	5,09	54,00	78,00
Jan	53,66	47,49	52,57	4,58	39,73	64,08
Feb	48,25	42,64	46,39	3,20	39,81	53,23
Mar	52,95	47,98	50,23	3,26	41,44	59,33
Apr	38,73	32,60	36,96	3,22	30,07	44,66
May	43,35	35,68	40,74	3,81	31,90	49,47
Jun	25,22	19,79	25,29	3,16	18,55	32,95
Jul	26,29	16,75	25,37	3,45	16,31	34,50
Aug	17,67	13,64	16,77	1,79	12,34	21,73
Sep	45,70	25,38	52,31	8,84	22,55	69,17

Μέσες τιμές για το σενάριο A2 για την περίοδο 2070-2100

Average Month	Observed	Downscaled (MLR)	Stochastic Simulation Results			
			Average	SD	Min	Max
Oct	72,01	53,20	61,89	6,80	45,49	76,43
Nov	70,12	52,11	58,26	5,51	45,47	71,48
Dec	70,74	53,49	58,94	5,04	46,71	70,91
Jan	53,66	42,16	47,39	4,52	34,69	58,91
Feb	48,25	36,93	40,75	3,18	34,29	47,52
Mar	52,95	40,90	43,20	3,24	34,49	52,25
Apr	38,73	28,68	33,20	3,18	26,54	40,74
May	43,35	30,63	36,01	3,76	26,75	44,42
Jun	25,22	15,38	21,46	3,04	15,05	28,86
Jul	26,29	14,14	23,19	3,35	14,21	32,28
Aug	17,67	11,87	15,12	1,75	10,90	19,96
Sep	45,70	22,04	49,82	8,64	21,24	66,51

Μέσες τιμές για το σενάριο B2 για την περίοδο 2070-100

Average Month	Observed	Downscaled (MLR)	Stochastic Simulation Results			
			Average	SD	Min	Max
Oct	72,01	57,37	66,05	6,80	49,65	80,60
Nov	70,12	55,35	61,42	5,52	48,72	74,72
Dec	70,74	58,08	63,38	5,07	51,30	75,31
Jan	53,66	45,13	50,27	4,57	37,51	61,76
Feb	48,25	39,47	43,27	3,17	36,73	50,16
Mar	52,95	43,28	45,55	3,24	37,02	54,63
Apr	38,73	29,56	34,04	3,19	27,07	41,62
May	43,35	33,01	38,26	3,79	28,96	46,81
Jun	25,22	17,82	23,56	3,13	16,93	31,21
Jul	26,29	15,47	24,29	3,39	15,25	33,31
Aug	17,67	12,46	15,68	1,76	11,32	20,56
Sep	45,70	23,99	51,28	8,79	22,40	68,10

Παρατηρούμε ότι στην περίοδο 2020-50 οι μέσες τιμές σε κάθε μήνα εμφανίζουν μια πτώση σε σχέση με τις μέσες τιμές της βροχόπτωσης της ιστορικής περιόδου 1960-90. το σενάριο A2 εμφανίζει πιο έντονη μεταβολή σε σχέση με το σενάριο B2 όπως και ήταν αναμενόμενο καθώς βασίζεται σε πιο ακραία σενάρια εκπομπής CO₂ και οδηγεί σε πιο έντονη αύξηση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Οι διαφορές πάντως παραμένουν μικρές. Στην περίοδο 2070-2100 βλέπουμε ότι οι μειώσεις της 30ετίας 20-50 γίνονται ακόμα πιο έντονες.

4.4 Υδρολογική Προσομοίωση

Απώτερος σκοπός των υδρολογικών μοντέλων υδατικού ισοζυγίου είναι να εκτιμήσουν την απορροή από βροχομετρικά δεδομένα χρησιμοποιώντας την εξίσωση της συνέχειας που δίνεται από την εξίσωση:

$$R = P - L \quad (15)$$

όπου, R η συνολική απορροή σε mm, P η βροχόπτωση σε mm, και L οι υδρολογικές απώλειες σε mm.

Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο υδατικού ισοζυγίου UTHBAL που περιγράφεται στις επόμενες παραγράφους.

4.3.1 το μοντέλο υδατικού ισοζυγίου UTHBAL

Σε πολλές ορεινές λεκάνες η απορροή από την τήξη του χιονιού είναι σημαντική. Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκε μια υπορουτίνα υπολογισμού για τη διάκριση της υετόπτωσης σε βροχή και χιόνι καθώς και για τη συσσώρευση του χιονιού αλλά και την τήξη του χιονιού.

Αρχικό βήμα στη κατάστρωση του μοντέλου προσομοίωσης της απορροής, είναι ο διαχωρισμός της υετόπτωσης σε βροχή και χιόνι. Ο διαχωρισμός αυτός καθορίζεται, κυρίως από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Ορίστηκε ένα όριο θερμοκρασίας κάτω από το οποίο όλη η υετόπτωση είναι χιόνι και κάποιο άλλο, πάνω από το οποίο είναι

βροχή. Έτσι, για μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 12.22° C θεωρήθηκε ότι όλο το ποσοστό της υετόπτωσης είναι βροχή, ενώ για μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες μικρότερες από -10° C, όλο το ποσοστό της συνολικής υετόπτωσης είναι χιόνι. Για θερμοκρασίες μεταξύ των δύο αυτών τιμών το χιόνι υπολογίζεται ως ποσοστό της υετόπτωσης που παρατηρήθηκε.

Αρχικά χρησιμοποιήθηκε γραμμική σχέση ως προς τη θερμοκρασία (Semadeni – Davies, A., 1997):

$$\%S = -4.5 \cdot T + 55 \quad \text{για } -10^{\circ}\text{C} \leq T \leq 12.22^{\circ}\text{C} \quad (\text{Εξ. 1})$$

Δοκιμάζοντας τη σχέση αυτή διαπιστώθηκε ότι για τιμές θερμοκρασίας κοντά στο μηδέν, η συνολική απορροή είχε αποκλίσεις από τις παρατηρούμενες τιμές κάτι που πιθανόν οφειλόταν στη γραμμική σχέση μεταξύ θερμοκρασίας-ποσοστού χιονιού. Δοκιμάστηκε και διαπιστώθηκε ότι βελτιώνονται τα αποτελέσματα όταν χρησιμοποιηθεί αντί για γραμμική, λογιστική (logistic) σχέση. Λογιστική σχέση έχει χρησιμοποιηθεί σε αντίστοιχο μοντέλο σε μελέτη για τη βόρεια λεκάνη απορροής του Στρυμόνα με σχετικά παρόμοια κλιματολογικά χαρακτηριστικά και έδωσε επίσης καλύτερα αποτελέσματα (Knight et al, 2001). Σύμφωνα λοιπόν με τη λογιστική σχέση, το ποσοστό της υετόπτωσης που είναι χιόνι δίνεται από τη παρακάτω έκφραση:

$$\%S = 0 \quad \text{για } T \geq 12.22^{\circ}\text{C}$$

$$\%S = \frac{100}{1.35^T \cdot 1.61 + 1} \quad \text{για } -10^{\circ}\text{C} \leq T \leq 12.22^{\circ}\text{C} \quad (\text{Εξ. 2})$$

$$\%S = 100 \quad \text{για } T \leq -10^{\circ}\text{C}$$

όπου T η μέση μηνιαία θερμοκρασία.

Έχοντας, λοιπόν, ως δεδομένα, από μετεωρολογικούς σταθμούς, τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες και τη μηνιαία υετόπτωση, υπολογίστηκε η μηνιαία χιονόπτωση.

Ο επόμενος υπολογισμός αφορά τη δυνητική μηνιαία τήξη χιονιού εκφρασμένη σε mm/μήνα. Η τήξη χιονιού επηρεάζεται από μια σειρά παραμέτρων, όπως, η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η ηλιακή ακτινοβολία, η ατμοσφαιρική πίεση, η ταχύτητα του ανέμου και κυρίως η φυτοκάλυψη. Οι παραπάνω παράμετροι είναι δύσκολο να υπολογιστούν καθώς δεν υπάρχουν ανάλογα δεδομένα. Γνωρίζοντας την ημερήσια θερμοκρασία περιβάλλοντος, μπορεί να υπολογιστεί η τήξη χιονιού από τη σχέση (degree-day method) (Semadeni – Davies, A., 1997):

$$M = C_m \cdot T \cdot N \quad (\text{Εξ. 3})$$

όπου C_m είναι παράμετρος με μονάδες mm/ $^{\circ}\text{C}$ /ημέρα, T ημερήσια θερμοκρασία, N ο αριθμός των ημερών σε κάθε μήνα. Στη συγκεκριμένη μελέτη όπου τα θερμοκρασιακά δεδομένα ήταν μηνιαία, η παραπάνω σχέση μετατράπηκε ως εξής:

$$M = C_m \cdot T_{\text{μηνιαία}} \quad (\text{Εξ. 4})$$

όπου πλέον η παράμετρος C_m έχει μονάδες $\text{mm}/^{\circ}\text{C}/\mu\eta\text{να}$ και σύμφωνα με αυτήν δίνεται η δυναμική μηνιαία τήξη χιονιού.

Η παράμετρος C_m αλλάζει ανάλογα με την εξεταζόμενη κάθε φορά λεκάνη αφού εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τη φυτοκάλυψη, τη μορφολογία και κλιματολογία της περιοχής (πεδινή, ορεινή). Έτσι, για κάθε λεκάνη η τιμή της παραμέτρου πρέπει να ρυθμιστεί κατά τη διαδικασία ρύθμισης των παραμέτρων (calibration) και αποτελεί μια επιπλέον παράμετρο των υδρολογικών μοντέλων. Διαπιστώθηκε ότι υπάρχει σχέση μεταξύ της παραμέτρου C_m και του μέσου υψομέτρου της λεκάνης καθώς και ότι οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ $5 - 10 \text{ mm}/^{\circ}\text{C}/\mu\eta\text{να}$.

Το UTHBAL μοντέλο διακρίνει την συνολική απορροή σε τρεις συνιστώσες απορροής, δηλαδή, την επιφανειακή απορροή, την ενδιάμεση ή επιδερμική απορροή, και την βασική απορροή ή απορροή που προέρχεται από την εκροή του υδροφορέα. Σύμφωνα με το μοντέλο πρώτη προτεραιότητα στο υδατικό ισοζύγιο πριν τη δημιουργία απορροής αποτελεί η ικανοποίηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής. Η μηνιαία πραγματική εξατμισοδιαπνοή E_a του μήνα J εξαρτάται από τη διαθέσιμη εδαφική υγρασία του μήνα J , και την μέση επιφανειακή δυναμική εξατμισοδιαπνοή E_p του μήνα J . Η μηνιαία πραγματική εξατμισοδιαπνοή υπολογίζεται από τη σχέση που πρότειναν οι Vandewiele και Win (Vandewiele and Win, 1998):

$$E_a(J) = \min\{E_p(J) * (1 - \alpha^{S_{moist}(J)/E_p(J)}), S_{moist}(J)\} \quad (16)$$

όπου $S_{moist}(J)$ η διαθέσιμη εδαφική εργασία του μήνα J για πλήρωση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής, α ένας συντελεστής πραγματικής

εξατμισοδιαπνοής ($0 \leq \alpha \leq 1$), και $E_p(J)$ η δυνητική εξατμισοδιαπνοή του μήνα J.

Η επιφανειακή απορροή, SR, του μήνα J υπολογίζεται ως:

$$SR(J) = (1 - K) * (AS_{moist}(J) - S_{max}) \text{ εάν } AS_{moist}(J) > S_{max} \quad (17)$$

ή

$$SR(J) = 0 \text{ εάν } AS_{moist}(J) \leq S_{max} \quad (18)$$

όπου, $AS_{moist}(J) = S_{moist}(J) - E_a(J)$, η υπολειπόμενη εδαφική υγρασία του μήνα J μετά την ικανοποίηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής, $S_{max} = \frac{25400}{CN} - 254$, η μέγιστη εδαφική υγρασία, CN το Curve Number της Soil Conservation Method (SCS, 1972) ($0 \leq CN \leq 100$), και K ο συντελεστής κατεΐσδυσης ($0 \leq K \leq 1$).

Η διήθηση προς τον υπόγειο υδροφορέα, D , του μήνα J υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$D(J) = K * (AS_{\text{moist}}(J) - S_{\text{max}}) \text{ εάν } AS_{\text{moist}}(J) > S_{\text{max}} \quad (19)$$

ή

$$D(J) = 0 \text{ εάν } AS_{\text{moist}}(J) \leq S_{\text{max}} \quad (20)$$

Η διαθέσιμη εδαφική εργασία του μήνα J , N_{moist} , υπολογίζεται από τη σχέση:

$$N_{\text{moist}}(J) = AS_{\text{moist}}(J) - SR(J) - D(J) \quad (21)$$

Η ενδιάμεση απορροή από την εδαφική υγρασία, MR , του μήνα J υπολογίζεται ως:

$$MR(J) = \beta * [N_{\text{moist}}(J-1) + N_{\text{moist}}(J)] \quad (22)$$

όπου, β ο συντελεστής ενδιάμεσης απορροής ($0 \leq \beta \leq 1$)

Η υπολειπόμενη υγρασία στο τέλος του μήνα J , NS_{moist} , υπολογίζεται από τη σχέση:

$$NS_{\text{moist}}(J) = N_{\text{moist}}(J) - MR(J) \quad (23)$$

Η διαθέσιμη εδαφική εργασία για πλήρωση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής του επόμενου μήνα J+1 είναι:

$$S_{\text{moist}}(J+1) = P(J+1) + NS_{\text{moist}}(J) \quad (24)$$

Η βασική απορροή ή απορροή από την εκροή του υδροφορέα, Q_g , του μήνα J υπολογίζεται από τη διήθηση, D, του προηγούμενου μήνα J-1, από τη σχέση:

$$Q_g(J) = \gamma * D(J-1) \quad (25)$$

όπου, γ ο συντελεστής βασικής απορροής ή συντελεστής εκροής του υδροφορέα ($0 \leq \gamma \leq 1$).

Τέλος, η συνολική απορροή, Q_c , υπολογίζεται ως άθροισμα των επιμέρους συνιστωσών της απορροής, δηλαδή της επιφανειακής απορροής, ενδιάμεσης απορροής και βασικής απορροής:

$$Q_c(J) = SR(J) + MR(J) + Q_g(J) \quad (26)$$

Το προτεινόμενο μοντέλο υδρολογικού ισοζυγίου είναι ένα μοντέλο πέντε παραμέτρων. Είναι όμως δυνατόν δύο από τους παραμέτρους του μοντέλου, το CN και ο συντελεστής κατείσδυσης, K, να εκτιμηθούν άμεσα από εδαφολογικούς και γεωλογικούς αναλογικούς ή ψηφιακούς χάρτες, και χάρτες χρήσεων γης, περιορίζοντας έτσι σημαντικά τον αριθμό των παραμέτρων που πρέπει να προσδιορισθούν με τη βοήθεια μεθόδων βελτιστοποίησης.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε η βελτιστοποίηση των παραμέτρων του UTHBAL για την λεκάνη της Κάρλας για την ιστορική περίοδο 1960-90. Για την πιστοποίηση του μοντέλου επιλέχθηκε και πάλι όπως και στις περιπτώσεις της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης, η 12ετία 1990-2002. Η αποδοτικότητα του μοντέλου (Model efficiency) παρέμεινε, όπως θα δούμε και στον παρακάτω πίνακα, σε χαμηλά επίπεδα. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στα απορροϊκά δεδομένα της ιστορικής περιόδου, τα οποία είχαν κενά για μεγάλες χρονικές περιόδους.

	model efficiency	DV(%)	R2
period	0,55	10,58	0,56
calibration	0,65		

Οι συντελεστές του μοντέλου βελτιστοποιήθηκαν και κατέληξαν στις παρακάτω τιμές. Ειδικότερα οι τιμές των δυνιτικά άμεσα εκτιμώμενων συντελεστών Cn, K πήραν αναμενόμενες τιμές για αυτό δεν προχωρήσαμε σε άμεση εκτίμηση τους και διατηρήσαμε την βελτιστοποιημένη τιμή που προέκυψε από το μοντέλο. Οι τιμές όλων των συντελεστών φαίνονται παρακάτω.

Cn	Cm	K	Aaet	conmr	congroud
30,00	6,000	0,78	0,86	0,003	0,240

Με τους συντελεστές του μοντέλου μας βελτιστοποιημένους και με μοντέλα προσομοίωσης των χρονοσειρών βροχόπτωσης και θερμοκρασίας μπορούμε πλέον να υπολογίσουμε και την δυνητική εξατμισοδιαπνοή σύμφωνα με την μέθοδο Thonthwaite. Με την προσθήκη της χρονοσειράς της PET στις χρονοσειρές της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας ολοκληρώνουμε την διαδικασία εύρεσης και υπολογισμού των δεδομένων εισόδου του υδρολογικού μοντέλου.

Σημειώνουμε ότι η χρονοσειρά της PET είναι αλληλένδετη της χρονοσειράς της θερμοκρασίας και έτσι σε περίπτωση αλλαγής της θερμοκρασίας θα πρέπει να αλλάξει και η δυνητική εξατμισοδιαπνοή. Στην συγκεκριμένη όμως στιγμή η χρονοσειρά της θερμοκρασίας δεν μεταβάλλεται και έτσι και η χρονοσειρά της PET θα παραμένει αμετάβλητη.

Δεν συμβαίνει όμως το ίδιο και για την βροχόπτωση για την οποία είδαμε ότι έχουμε ένα φάσμα επίλυσης. Οι 100 χρονοσειρές της βροχόπτωσης θα οδηγήσουν λοιπόν σε 100 χρονοσειρές απορροής με άμεση σχέση μεταξύ τους. Όταν λοιπόν αργότερα θα χρησιμοποιήσουμε τις χρονοσειρές βροχόπτωσης και απορροής, θα πρέπει να φροντίσουμε ώστε αυτό να γίνει σε ζεύγη συμβατά μεταξύ τους καθώς έχουν σχέση αιτίου- αιτιατού.

Ακολουθεί η στατιστική απεικόνιση των 100 χρονοσειρών απορροής ανά μήνα.

Μέσες τιμές απορροής για την περίοδο βάσης 1960-90

Stochastic-Average	okt	nov	dec	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep
observed	3,27	3,67	5,68	9,14	10,88	11,12	8,50	5,35	3,76	2,90	2,67	2,80
downscaled	2,35	2,54	2,82	3,11	3,94	6,52	5,63	3,34	3,14	2,88	2,62	2,43
average	3,28	4,29	6,60	9,99	11,56	11,55	8,21	4,65	3,50	2,95	2,72	2,61
stdev	0,86	1,15	1,21	1,57	1,42	1,08	0,81	0,45	0,22	0,04	0,05	0,05
min	2,42	2,73	3,43	6,83	8,48	9,04	6,15	3,77	3,15	2,85	2,60	2,47
max	7,31	8,74	9,96	14,63	15,23	13,85	10,19	6,15	4,33	3,07	2,84	2,75
median	3,00	3,93	6,77	9,93	11,64	11,68	8,23	4,55	3,46	2,95	2,71	2,61
percentile 25	2,66	3,54	5,72	8,91	10,53	10,81	7,61	4,32	3,33	2,92	2,69	2,58
percentile 75	3,52	4,84	7,41	10,90	12,55	12,44	8,79	4,97	3,62	2,97	2,74	2,64

Μέσες τιμές τυπικής απόκλισης των χρονοσειρών απορροής για την περίοδο βάσης (1960-90)

Stochastic-SD	okt	nov	dec	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep
observed	4,36	3,65	6,57	10,54	8,73	7,72	7,04	5,11	2,60	0,38	0,37	1,60
downscaled	0,49	0,47	0,46	0,49	1,69	3,74	2,53	0,40	0,36	0,33	0,30	0,27
average	3,12	5,18	6,98	8,95	8,03	6,80	4,90	2,51	1,15	0,35	0,34	0,35
stdev	3,12	3,27	1,63	1,26	0,77	0,55	0,64	0,61	0,47	0,05	0,05	0,15
min	0,47	0,45	1,60	5,63	6,35	5,39	3,45	1,25	0,35	0,24	0,24	0,22
max	17,95	18,42	10,80	12,41	9,86	7,99	6,37	4,58	2,71	0,46	0,45	1,21
median	1,95	4,45	7,16	8,87	8,00	6,85	4,89	2,48	1,09	0,35	0,33	0,32
percentile 25	0,67	2,65	6,05	8,00	7,50	6,42	4,48	2,04	0,77	0,31	0,30	0,29
percentile 75	4,28	7,16	8,10	9,93	8,56	7,19	5,33	2,91	1,46	0,38	0,37	0,36

Παρατηρούμε ότι η στατιστική ανάλυση της προσομοιωμένης απορροής μας δίνει εξαιρετικά αποτελέσματα. Τονίζουμε ιδιαίτερα το γεγονός ότι η τυπική απόκλιση της χρονοσειράς απορροής που μας δίνει η downscaled βροχόπτωση είναι πολύ χαμηλή κάτι που ήταν αναμενόμενο αφού όπως είδαμε και στην βροχόπτωση η downscaled

χρονοσειρά δεν είναι τίποτα άλλο από μια γραμμή τάσης. Επίσης πρέπει να σημειώσουμε ότι τα αποτελέσματα ειδικά για τον μήνα Σεπτέμβριο δεν είναι ικανοποιητικά. Το πρόβλημα της προσομοίωσης της απορροής τον Σεπτέμβριο είναι δύσκολο καθώς όπως είδαμε είναι δύσκολη η προσομοίωση του γεγονότος βροχής τον μήνα αυτό.

Με την κάλυψη της ιστορικής περιόδου και τα εξαιρετικά στατιστικά αποτελέσματα που μας έδωσε για την απορροή, μπορούμε να προχωρήσουμε στον υπολογισμό της απορροής για τις μελλοντικές περιόδους και για τα διαφορετικά κλιματικά σενάρια.

Τώρα η θερμοκρασία θα αλλάξει για κάθε σενάριο και κάθε περίοδο και έτσι πρέπει να επανακαθορίσουμε και τις χρονοσειρές PET. Η θερμοκρασία και η δυνητική εξατμισοδιαπνοή έχουν σχέση αιτίου – αιτιατού σύμφωνα με την μέθοδο Thornthwaite, οπότε πρέπει να λαμβάνονται σε ζεύγη όπως είπαμε και πριν για την βροχόπτωση και την απορροή.

Για κάθε περίοδο και σενάριο έχουμε 100 χρονοσειρές βροχόπτωσης έτσι, όπως έγινε και για την περίοδο βάσης, θα έχουμε 100 χρονοσειρές απορροής. Η τελική στατιστική ανάλυση των λύσεων για όλα τα σενάρια (A2, B2) και για τις 2 μελλοντικές περιόδους 2020-2050, 2070-2100 ακολουθεί στους παρακάτω πίνακες.

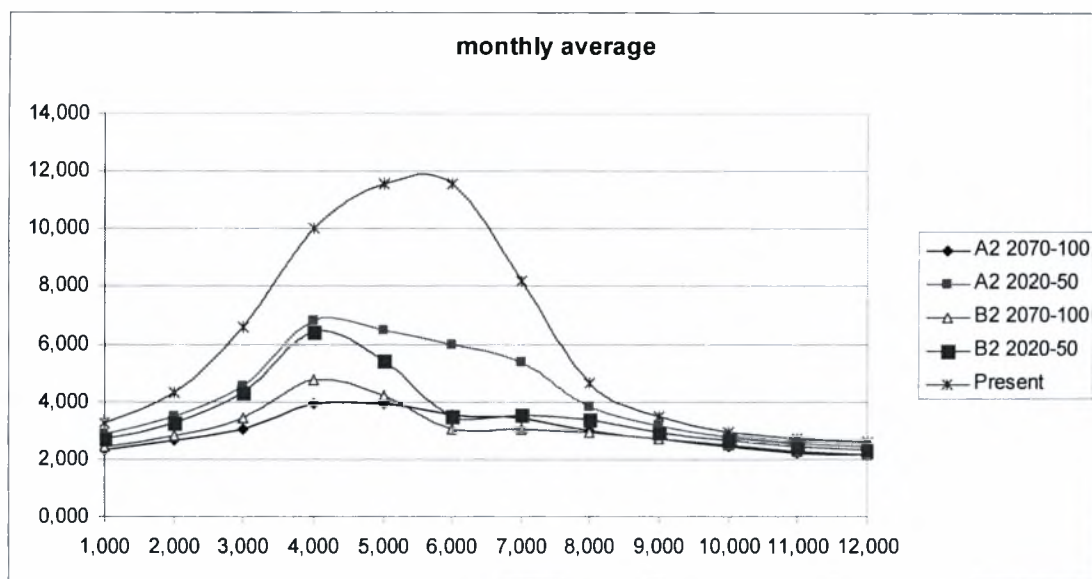
AVERAGES

A2		2020-50										
Stochastic	okt	nov	dec	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep
average	2,854	3,460	4,562	6,793	6,494	5,964	5,354	3,827	3,163	2,786	2,554	2,439
stdev	0,703	0,881	0,876	1,389	1,077	0,788	0,651	0,337	0,170	0,070	0,069	0,073
min	2,169	2,529	2,796	3,492	4,026	4,153	3,685	3,017	2,827	2,572	2,345	2,213
max	6,528	6,803	7,050	11,439	9,250	7,794	6,807	4,757	3,767	2,919	2,697	2,599
median	2,538	3,164	4,585	6,839	6,479	5,955	5,337	3,782	3,146	2,783	2,553	2,454
percentile 25	2,440	2,708	3,911	5,791	5,764	5,447	4,862	3,624	3,040	2,743	2,512	2,390
percentile 75	3,086	3,932	5,094	7,565	7,094	6,449	5,805	4,059	3,252	2,843	2,604	2,490

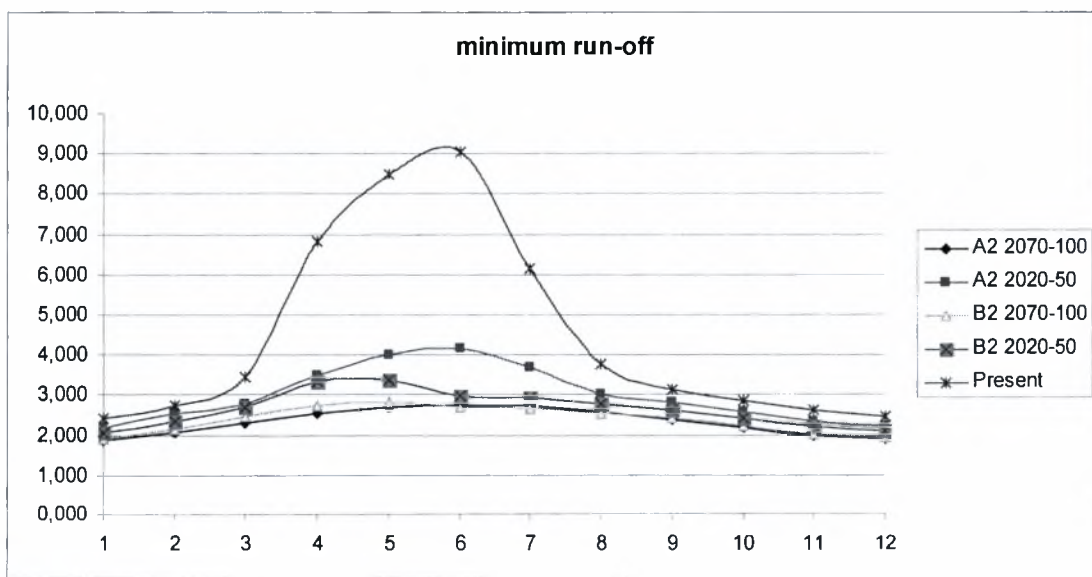
B2		2020-50										
Stochastic	okt	nov	dec	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep
average	2,730	3,287	4,289	6,429	5,405	3,463	3,561	3,397	2,954	2,659	2,439	2,337
stdev	0,667	0,837	0,821	1,395	0,913	0,279	0,349	0,295	0,161	0,083	0,080	0,083
min	2,081	2,328	2,711	3,320	3,353	2,962	2,938	2,790	2,635	2,434	2,222	2,104
max	6,485	6,857	6,970	11,508	7,987	4,195	4,697	4,403	3,522	2,822	2,617	2,513
median	2,448	3,023	4,247	6,522	5,381	3,457	3,509	3,407	2,928	2,661	2,448	2,358
percentile 25	2,338	2,616	3,730	5,576	4,843	3,263	3,311	3,149	2,840	2,599	2,385	2,281
percentile 75	2,986	3,667	4,795	7,195	5,905	3,630	3,771	3,575	3,057	2,715	2,495	2,396

A2		2070-100										
Stochastic	okt	nov	dec	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep
average	2,343	2,657	3,040	3,948	3,902	3,549	3,410	2,989	2,686	2,445	2,232	2,132
stdev	0,500	0,597	0,514	0,851	0,686	0,465	0,404	0,225	0,133	0,102	0,095	0,098
min	1,870	2,044	2,282	2,559	2,698	2,720	2,733	2,561	2,367	2,181	1,983	1,901
max	5,498	5,729	4,409	7,063	6,088	5,389	4,832	3,694	3,029	2,649	2,444	2,323
median	2,191	2,439	2,968	3,856	3,875	3,518	3,372	2,959	2,676	2,446	2,236	2,142
percentile 25	2,086	2,279	2,597	3,230	3,309	3,204	3,111	2,835	2,583	2,365	2,158	2,059
percentile 75	2,380	2,897	3,356	4,501	4,265	3,822	3,693	3,122	2,771	2,529	2,305	2,204

B2		2070-100										
Stochastic	okt	nov	dec	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep
average	2,423	2,842	3,450	4,766	4,225	3,043	3,047	2,954	2,697	2,465	2,257	2,165
stdev	0,546	0,680	0,648	1,045	0,717	0,191	0,247	0,227	0,132	0,095	0,089	0,094
min	1,915	2,140	2,447	2,751	2,822	2,705	2,655	2,555	2,404	2,226	2,030	1,935
max	5,663	6,134	5,626	8,301	6,184	3,634	4,107	3,731	3,030	2,661	2,457	2,346
median	2,237	2,572	3,393	4,649	4,174	3,044	3,005	2,926	2,685	2,472	2,265	2,181
percentile 25	2,134	2,360	2,990	4,022	3,729	2,890	2,890	2,789	2,596	2,390	2,189	2,086
percentile 75	2,472	3,146	3,811	5,393	4,669	3,142	3,139	3,048	2,789	2,542	2,325	2,229



ΣΧΗΜΑ 4.6 Μηνιαίες μέσες τιμές απορροής για όλα τα πιθανά σενάρια



ΣΧΗΜΑ 4.7 Μέσες ελάχιστες τιμές ανά μήνα για όλα τα πιθανά σενάρια

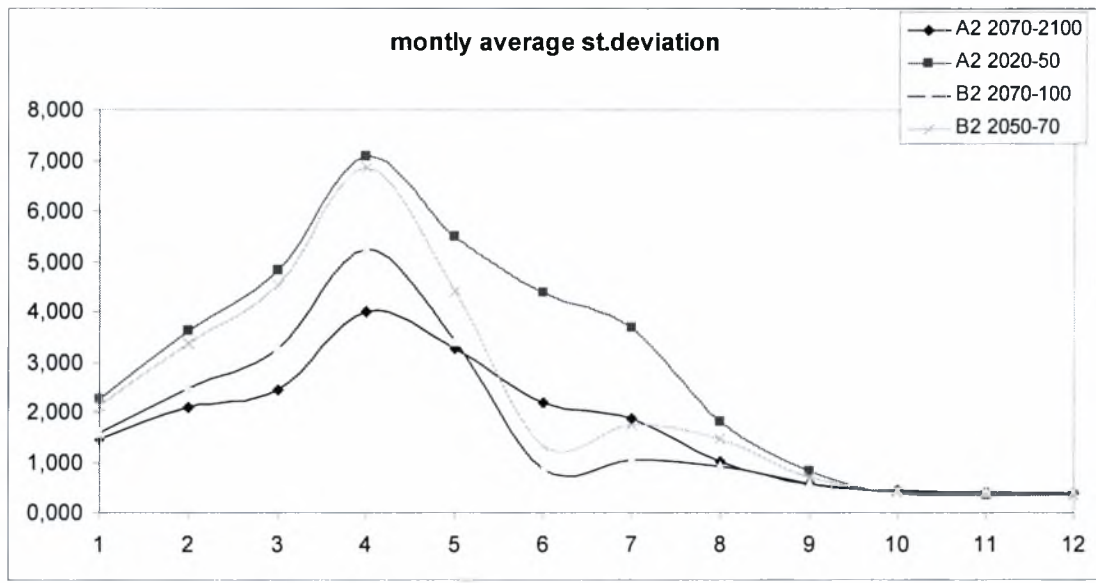
STANDARD DEVIATION

A2		2020-50										
Stochastic	okt	nov	dec	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep
average	2,257	3,632	4,821	7,067	5,487	4,374	3,674	1,815	0,840	0,369	0,351	0,338
stdev	2,719	3,038	1,760	1,658	0,967	0,745	0,753	0,583	0,393	0,051	0,047	0,083
min	0,455	0,394	0,404	1,637	2,534	2,548	1,741	0,435	0,320	0,259	0,251	0,227
max	15,867	16,365	9,033	11,394	7,632	5,908	5,698	3,910	2,141	0,505	0,470	0,962
median	0,689	2,681	4,924	7,030	5,606	4,380	3,675	1,759	0,768	0,370	0,349	0,331
percentile 25	0,570	0,894	3,833	6,212	4,817	3,827	3,164	1,433	0,516	0,329	0,319	0,299
percentile 75	2,999	5,237	6,007	8,135	6,145	4,873	4,135	2,193	1,109	0,403	0,381	0,360

B2		2020-50										
Stochastic	okt	nov	dec	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep
average	2,128	3,359	4,525	6,862	4,425	1,346	1,753	1,466	0,694	0,407	0,385	0,363
stdev	2,630	2,972	1,736	1,634	0,944	0,563	0,796	0,629	0,347	0,051	0,047	0,058
min	0,447	0,390	0,403	1,181	1,044	0,430	0,433	0,409	0,346	0,276	0,266	0,244
max	16,166	16,933	8,652	11,085	6,505	2,828	4,608	3,290	2,034	0,546	0,506	0,559
median	0,666	2,492	4,551	6,841	4,415	1,266	1,674	1,397	0,548	0,409	0,385	0,360
percentile 25	0,570	0,846	3,407	5,812	3,919	1,002	1,156	0,972	0,447	0,373	0,353	0,326
percentile 75	3,008	5,210	5,757	7,819	4,978	1,727	2,165	1,790	0,877	0,438	0,414	0,392

A2		2070-100										
Stochastic	okt	nov	dec	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep
average	1,452	2,106	2,455	4,013	3,278	2,192	1,879	1,020	0,574	0,440	0,408	0,379
stdev	1,991	2,294	1,595	1,868	1,307	0,875	0,818	0,512	0,208	0,053	0,049	0,056
min	0,417	0,366	0,392	0,412	0,412	0,425	0,409	0,396	0,365	0,319	0,302	0,259
max	13,538	13,836	6,778	9,245	5,966	4,639	4,633	3,128	1,362	0,585	0,535	0,574
median	0,578	0,710	2,279	3,971	3,446	2,086	1,848	0,964	0,512	0,444	0,414	0,371
percentile 25	0,535	0,564	0,742	2,785	2,440	1,586	1,335	0,592	0,452	0,399	0,375	0,343
percentile 75	1,606	3,254	3,660	5,089	4,041	2,826	2,412	1,258	0,595	0,475	0,442	0,414

B2		2070-100										
Stochastic	okt	nov	dec	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep
average	1,575	2,481	3,276	5,223	3,443	0,862	1,037	0,933	0,561	0,426	0,398	0,374
stdev	2,147	2,542	1,778	1,820	1,121	0,428	0,662	0,595	0,231	0,049	0,045	0,066
min	0,430	0,377	0,390	0,402	0,454	0,386	0,381	0,377	0,360	0,321	0,290	0,256
max	13,662	14,869	7,886	9,912	5,884	2,061	3,719	4,032	1,728	0,545	0,498	0,785
median	0,587	1,264	3,191	5,256	3,413	0,765	0,824	0,792	0,485	0,421	0,399	0,365
percentile 25	0,542	0,577	1,975	4,125	2,717	0,523	0,514	0,504	0,438	0,390	0,371	0,339
percentile 75	1,662	3,719	4,702	6,393	4,226	1,049	1,353	1,178	0,582	0,460	0,425	0,402



ΣΧΗΜΑ 4.7 Μέσες τιμές τυπικής απόκλισης ανά μήνα για όλα τα πιθανά σενάρια

4.5 Μοντέλο Προσομοίωσης Ταμιευτήρα

Το μοντέλο προσομοίωσης ταμιευτήρα είναι ένα μοντέλο που χρησιμοποιεί απλές μαθηματικές πράξεις για να μετατρέψει τα δεδομένα εισόδου του σε δεδομένα εξόδου. Πιο συγκεκριμένα δεδομένα εισόδου του είναι οι χρονοσειρές βροχόπτωσης και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής στη λεκάνη και η απορροή της λεκάνης. Είδαμε ότι η βροχόπτωση και η απορροή είναι αλληλένδετες χρονοσειρές και έτσι πρέπει να μπαίνουν σε ζεύγη ανάλογα με την σχέση αιτίου- αιτιατού. Επίσης επειδή μας ενδιαφέρει η εξάτμιση και η βροχόπτωση στην επιφάνεια του ταμιευτήρα το μοντέλο μας χρησιμοποιεί την μέθοδο της βαθμίδας για τον καταβιβασμό των χρονοσειρών αυτών από το μέσο υψόμετρο της λεκάνης στο υψόμετρο του ταμιευτήρα μας.

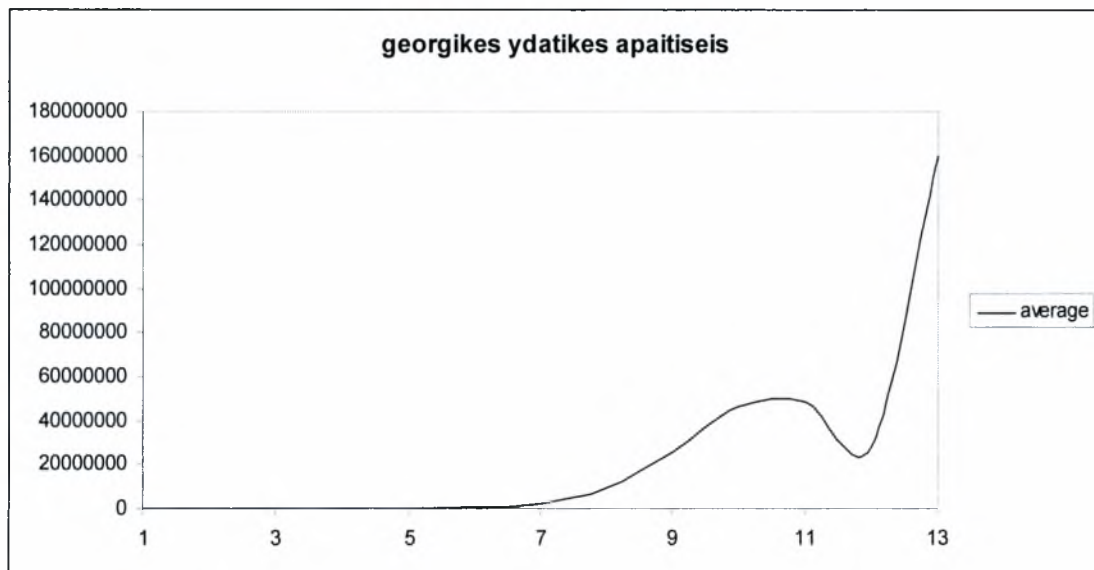
Χρησιμοποιώντας βασικές σχέσεις όπως η αρχή διατήρησης της μάζας του νερού και στην λογική της εισόδου εξόδου από και προς τον ταμιευτήρα, υπολογίζει με μηνιαίο βήμα, χρονοσειρές της επιφάνειας και του όγκου του ταμιευτήρα.

Βασική στην επίλυση του συστήματος του ταμιευτήρα είναι η χρονική μεταβολή της ζήτησης. Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία έγιναν υπολογισμοί για την εύρεση της χρονοσειράς της ζήτησης όπως θα αναλύσουμε διεξοδικά στο επόμενο κεφάλαιο.

4.6 Υπολογισμός Υδατικών Απαιτήσεων

4.6.1 Παρούσα κατάσταση

Είδαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο πως η υδάτινες απαιτήσεις για γεωργική χρήση πλησιάζουν το 90% των συνολικών υδατικών αναγκών στην περιοχή. Έτσι θεωρήσαμε, για διευκόλυνση στους υπολογισμούς, ότι οι συνολικές απαιτήσεις τελικώς είναι μόνον οι γεωργικές. Η τελική προσέγγιση κρίθηκε ικανοποιητική. Η ιστορική χρονοσειρά της ζήτησης παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα. Για διευκόλυνση του αναγνώστη θα παρουσιάσουμε τις μέσες τιμές ανά μήνα και έτος.

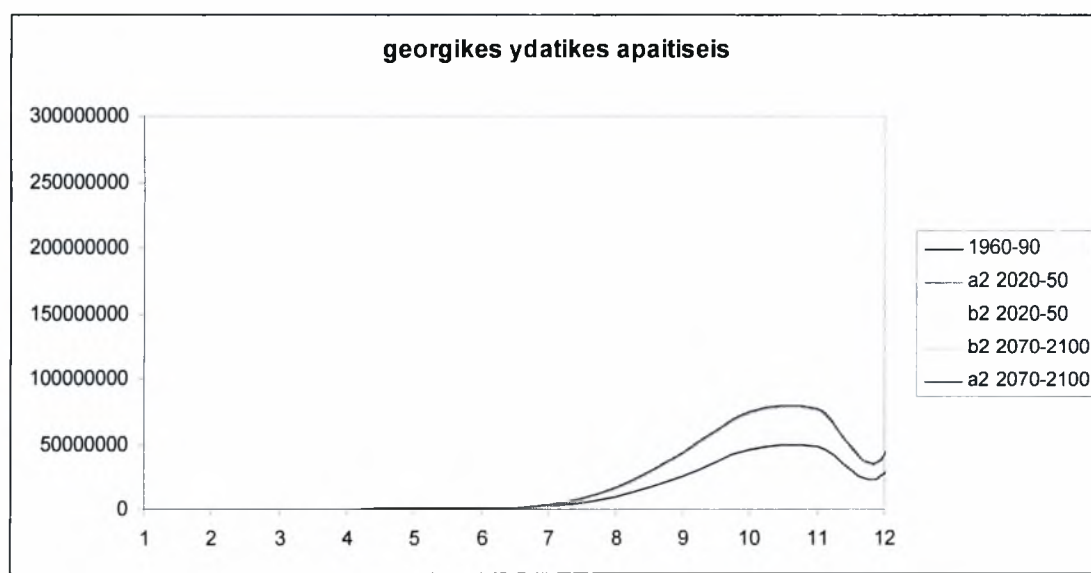


ΣΧΗΜΑ 4.8 Γεωργικές υδατικές απαιτήσεις για την περίοδο βάσης

4.6.2 Μελλοντικές υδατικές απαιτήσεις

Όπως και για την παρούσα κατάσταση, θεωρήθηκε ικανοποιητική προσέγγιση η χρήση μόνο των μελλοντικών απαιτήσεων σε υδάτινους πόρους λόγω γεωργικής χρήσης της γης. Έτσι για κάθε μελλοντικό σενάριο υδρολογικών συνθηκών προέκυψε μια καινούρια χρονοσειρά ζήτησης. Αυτό γίνεται εύκολα αντιληπτό, αρκεί να λάβουμε υπ' όψιν ότι, οι γεωργικές απαιτήσεις είναι άμεση συνάρτηση των συνθηκών θερμοκρασίας και βροχόπτωσης, όπως δείξαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Οι χρονοσειρές της ζήτησης για τις μελλοντικές περιόδους υπολογίστηκαν με τον ίδιο τρόπο όπως και για την υπάρχουσα κατάσταση. Ακολουθεί σχηματοποιημένα η διακύμανση των μέσων μηνιαίων τιμών για τα μελλοντικά σενάρια.



4.6.3 Παροχή από τον Πηνειό

Κατά την περίοδο πλήρωσης του ταμιευτήρα στην υφιστάμενη απορροή από την λεκάνη μελέτης μας, προστέθηκε και μια παροχή από τον Πηνειό ποταμό. Αυτή η παροχή, αν και μικρή, είναι αρκετά σημαντική. Θεωρήσαμε, λοιπόν, ότι θα συνεχίσει να ενισχύει των ταμιευτήρα και στις μελλοντικές περιόδους.

Βέβαια, η υπερεκμετάλλευση του Πηνειού ποταμού οδηγεί στην αναπόφευκτη επιβολή περιορισμών και ορίων ως προς την παροχή αυτή. Έτσι η παροχή αυτή είναι μόνο διαθέσιμη για τις περιόδους που η παροχή του Πηνειού στην θέση της υδροληψίας δεν υποχωρεί κάτω από τα $30 \text{ m}^3/\text{sec}$. Συνακόλουθα έπρεπε να γίνει έλεγχος αν για τις περιόδους που δεχόμαστε ότι στο σύστημα μας εισέρχεται η παροχή από τον Πηνειό, αν αυτή η παροχή είναι πραγματικά διαθέσιμη. Έγινε έλεγχος για την επιρροή των κλιματικών αλλαγών στην απορροή του Πηνειού. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι αλλαγές στην απορροή του Πηνειού δεν επηρεάζουν σημαντικά τις απολήψεις από αυτόν. Για να είμαστε όμως σίγουροι για την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων, οσον αφορά στο μοντέλο του ταμιευτήρα μας, ελέγξαμε μηνιαία την ικανοποίηση του κριτηρίου ελάχιστης παροχής του Πηνειού και στις περιπτώσεις που παρατηρήσαμε μη πλήρωση των απαιτήσεων, θεωρήσαμε ότι η απόληψη από τον Πηνειό για τον μήνα αυτό είναι μηδενική.

5 Διαχείριση Υδάτινων Πόρων

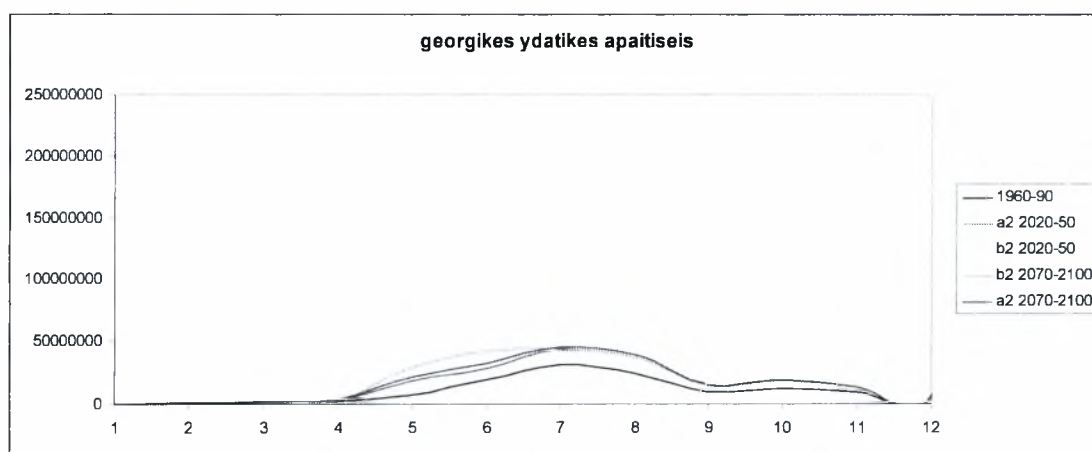
5.1 Στρατηγικές Διαχείρισης

Η σύγχρονη θεώρηση του προβλήματος της διαχείρισης των υδάτινων πόρων μίας περιοχής βασίζεται στην παραδοχή ότι, εφόσον το νερό είναι αγαθό σε ανεπάρκεια, δεν αρκεί μόνο μια διαχείριση της παροχής του νερού σε μια περιοχή ώστε να καλυφθεί η ζήτηση σε υδάτινο πόρο μακροπρόθεσμα. Ένα τέτοιο σκεπτικό, λαμβάνοντας υπόψη και τα παγκόσμια δεδομένα υπερθέρμανσης του πλανήτη που οδηγεί σε μείωση των παγκόσμιων αποθεμάτων σε νερό (όπως εξηγούμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο), θα κατέληγε σε εξάντληση των μη-ανανεώσιμων υδατικών πόρων (υπόγειοι υδροφόροι ορίζοντες, επιφανειακοί μη-ανανεώσιμοι υδροφορείς) καθώς το επιφανειακό ανανεώσιμο υδατικό δυναμικό της περιοχής δεν θα επαρκούσε να καλύψει την ολοένα αυξανόμενη ζήτηση. Επιβάλλεται λοιπόν να διαμορφωθεί στρατηγική διαχείρισης και της ζήτησης. Στην παρούσα εργασία θεωρήσαμε δύο(2) διαχειριστικά σενάρια.

Το πρώτο έγκειται στην παραδοχή ότι οι χρήσεις γης θα μείνουν αναλλοίωτες και στο μέλλον και συνακόλουθα η αλλαγή στη ζήτηση νερού θα επέλθει μόνο από την διαφορά στις κλιματολογικές συνθήκες και μάλιστα μόνο από την αλλαγή στην θερμοκρασία και την βροχόπτωση.

Το δεύτερο σενάριο λαμβάνει υπ' όψη του τις επιταγές της σύγχρονης Δ.Υ.Π. και επιβάλλει την αλλαγή στην πιο υδροβόρα χρήση γης, την καλλιέργεια βαμβακιού που επικρατεί σήμερα στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλίας, με αντικατάστασή της με την καλλιέργεια σιτηρών που είναι πιο «φιλική» ως προς την κατανάλωση νερού. Επίσης επιβάλλει την βελτίωση και τον εκσυγχρονισμό των μεθόδων μεταφοράς και άρδευσης με σκοπό την αύξηση της απόδοσης των συστημάτων αυτών και την μείωση των απωλειών που παρατηρούνται σήμερα.

Με την αλλαγή των χρήσεων γης και των συνθηκών μεταφοράς του νερού και τον εκσυγχρονισμό των μεθόδων άρδευσης είναι προφανές ότι θα αλλάξουν οι χρονοσειρές ζήτησης νερού. Ακολουθεί σχηματοποιημένα και πάλι η διακύμανση των μέσων μηνιαίων τιμών των ζητήσεων. Σημειώνουμε για καλύτερη κατανόηση του σχήματος ότι η βελτίωση της αποδοτικότητας της άρδευσης συνίσταται στην μείωση του συντελεστή απωλειών από 1,49 σε 1,38.



ΣΧΗΜΑ 5.1 Γεωργικές υδατικές απαιτήσεις για το δεύτερο διαχειριστικό σενάριο

6 Αποτελέσματα- Σχολιασμός

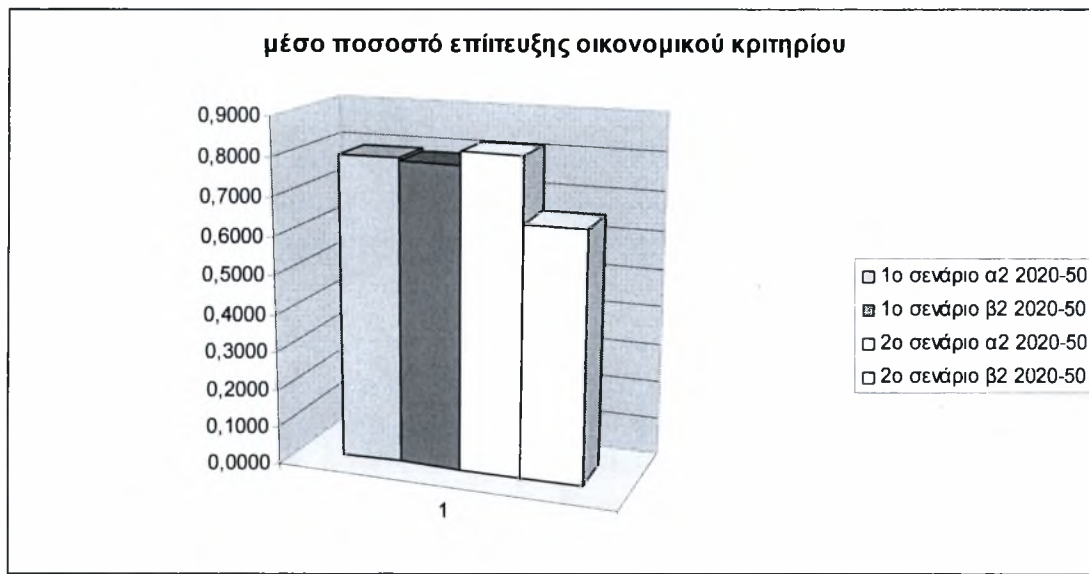
Κάθε απόπειρα προσομοίωσης κάποιου πραγματικού προβλήματος αντιστοιχεί σε κάποια αποτελέσματα. Στην παρούσα διπλωματική εργασία το πρόβλημα μας ήταν η ανάλυση των επιπτώσεων των κλιματικών αλλαγών στην λεκάνη της Κάρλας. Άμεσα εμφανίζεται το πρόβλημα της ποσοτικοποίησης ενός ή περισσότερων κριτηρίων για τον καθορισμό της επίτευξης ή μη των αντικειμενικών στόχων του εγχειρήματος. Καθώς στην περιοχή της μελέτης μας γίνεται προσπάθεια για την επαναλειτουργία της λίμνης της Κάρλας, επόμενο είναι να χρησιμοποιήσουμε σαν τέτοια κριτήρια που ψάχνουμε δείκτες οικονομικούς και περιβαλλοντικούς που θα αναφέρονται στον ταμιευτήρα της Κάρλας.

Έτσι σαν οικονομικό κριτήριο θα χρησιμοποιήσουμε σε πρώτη φάση την κάλυψη η την μη κάλυψη των υδατικών μας απαιτήσεων. Ο όρος οικονομικό κριτήριο πιθανώς να είναι κάπως αυθαίρετος αλλά χρησιμοποιείτε μόνο ως ένδειξη του περιεχομένου του.

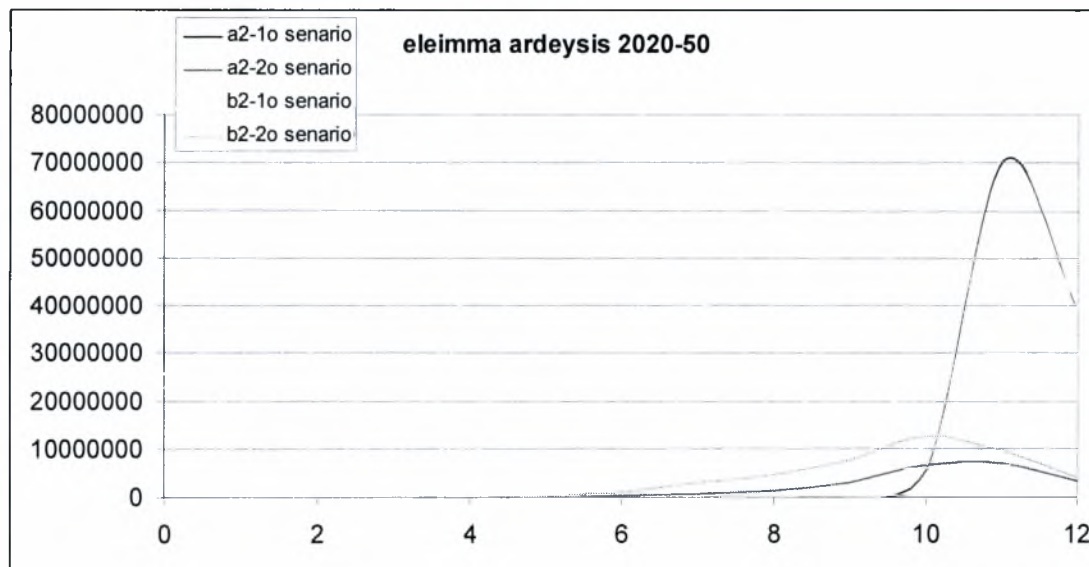
Σαν περιβαλλοντικό κριτήριο θα χρησιμοποιήσουμε την αστοχία της κατώτατης στάθμης του ταμιευτήρα. Και εδώ ο όρος περιβαλλοντικός χρησιμοποιείτε για λόγους εποπτικούς καθώς μας βοηθάει- σε συνεργασία με τον «οικονομικό» κριτήριο –να αντιληφθούμε ότι οι επιπτώσεις της λειτουργίας του ταμιευτήρα στην Κάρλα θα είναι τόσο οικονομικές όσο και περιβαλλοντικές.

Σε περιπτώσεις που δεν μπορούμε να αποφανθούμε ξεκάθαρα σχετικά με την επιλογή της βέλτιστης λύσης, θα πρέπει να ανατρέξουμε στην κατανομή αυτών των 2 κριτηρίων στον χρόνο

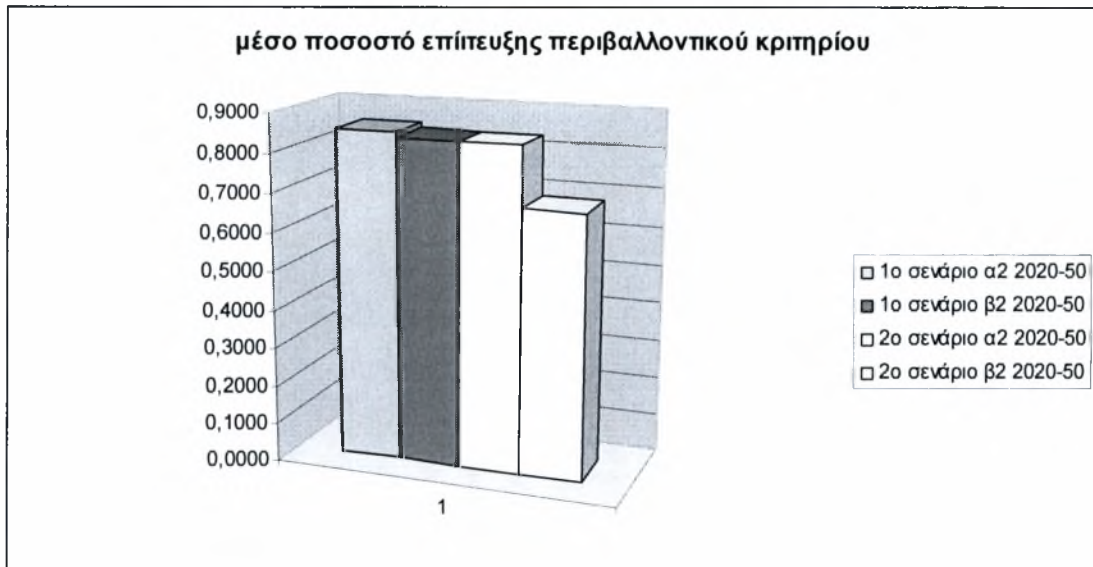
καθώς και στο εύρος αυτών των αστοχιών. Επίσης σε ενδιαφέροντα συμπεράσματα μας οδηγεί και η μηνιαία ανάλυση των 2 κριτηρίων μας για τα διάφορα σενάρια στις 2 περιόδους αλλά και στην ιστορική περίοδο 1960-1990.



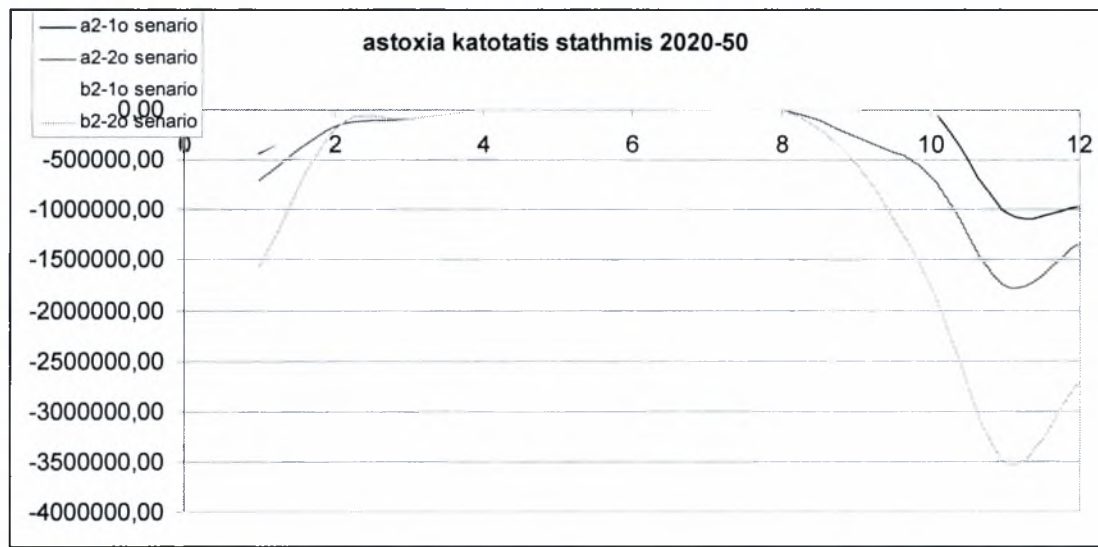
ΣΧΗΜΑ 6.1 ποσοστό επίτευξης κριτηρίου ελλείμματος άρδευσης για την περίοδο 2020-2050



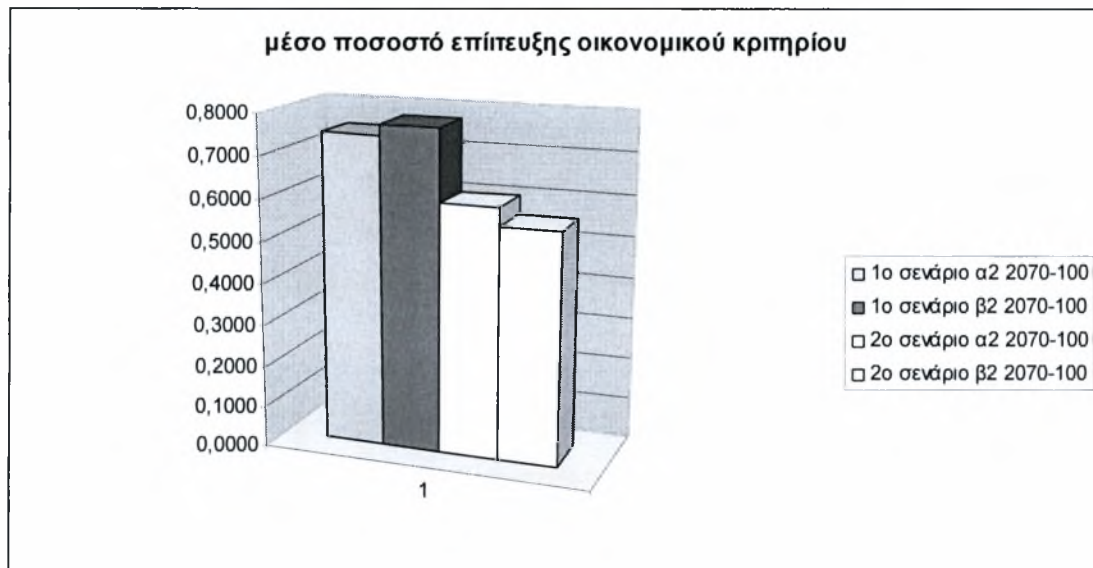
ΣΧΗΜΑ 6.2 κατανομή ελλείμματος άρδευσης στο μέσο έτος για την περίοδο 2020-2050



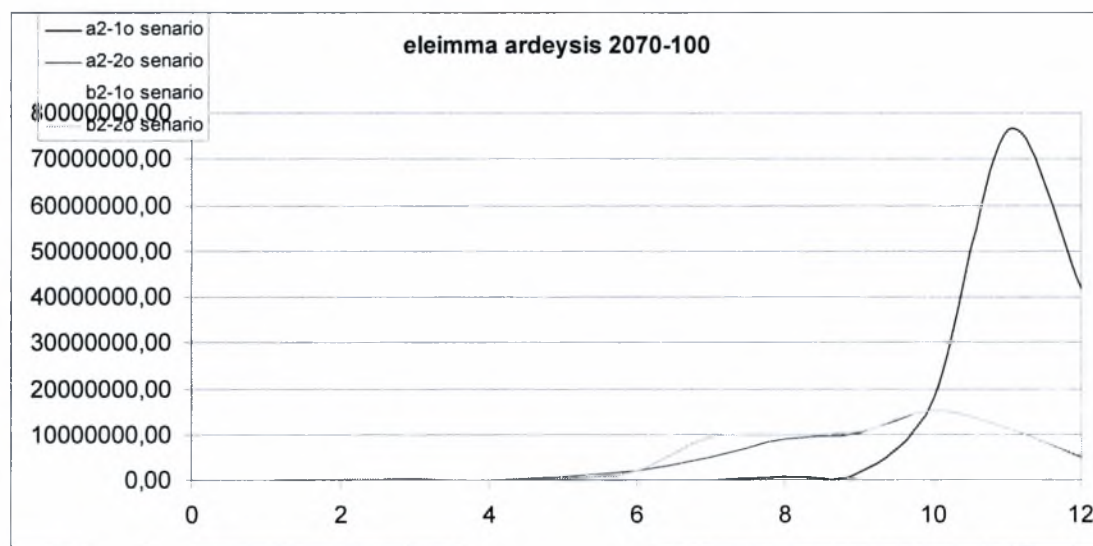
ΣΧΗΜΑ 6.3 ποσοστό επίτευξης κριτηρίου κατώτατης στάθμης για την περίοδο 2020-2050



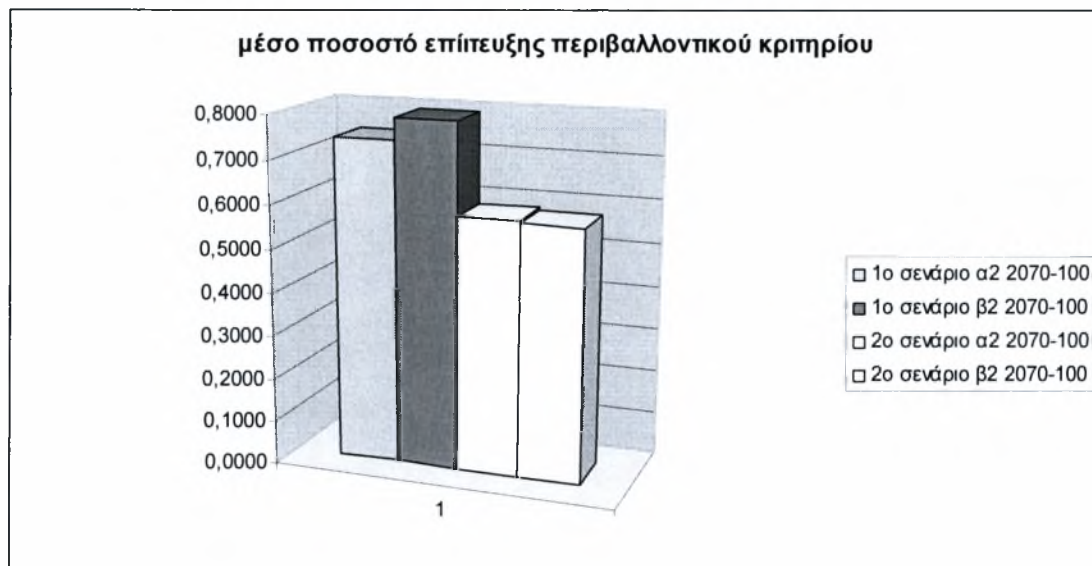
ΣΧΗΜΑ 6.4 κατανομή του κριτηρίου κατώτατης στάθμης για την περίοδο 2020-2050



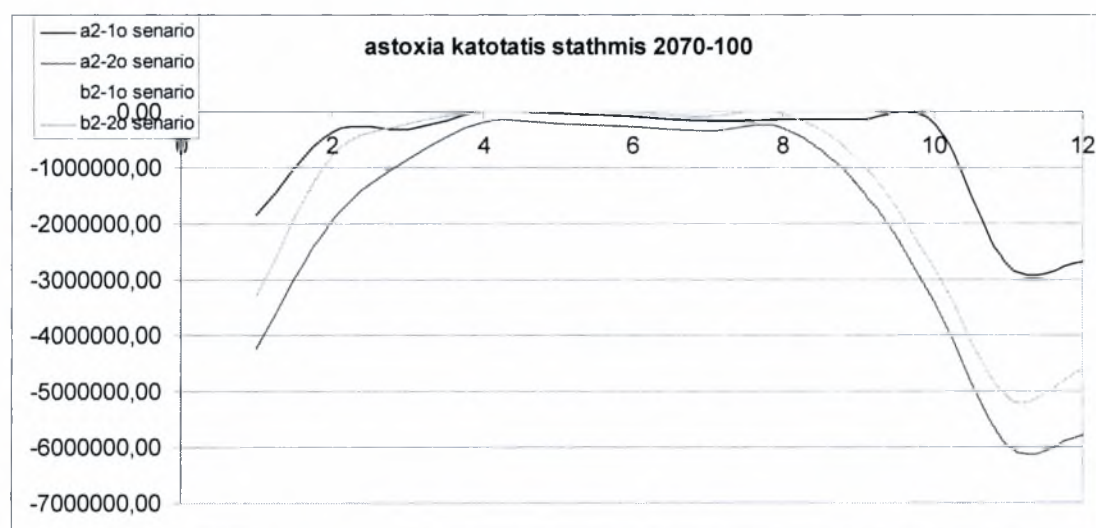
ΣΧΗΜΑ 6.5 ποσοστό επίτευξης κριτηρίου ελλείμματος άρδευσης για την περίοδο 2070-2100



ΣΧΗΜΑ 6.6 κατανομή ελλείμματος άρδευσης στο μέσο έτος για την περίοδο 2070-2100



ΣΧΗΜΑ 6.7 ποσοστό επίτευξης κριτηρίου κατώτατης στάθμης για την περίοδο 2070-2100



ΣΧΗΜΑ 6.8 κατανομή του κριτηρίου κατώτατης στάθμης για την περίοδο 2070-2100

Πίνακας 6.1 Επίτευξη οικονομικού και περιβαλλοντικού κριτηρίου για την περίοδο βάσης

1960-90	1ο σενάριο	2ο σενάριο	1ο σενάριο	2ο σενάριο
	Οικον. Κριτήριο	Οικον. Κριτήριο	Περ. Κριτήριο	Περ. Κριτήριο
average	0,8971	0,9851	0,9577	0,9833
st dev	0,0044	0,0047	0,0103	0,0060
max	0,9083	0,9944	0,9806	0,9972
min	0,8889	0,9722	0,9278	0,9667

Βλέπουμε ότι χωρίς να υπολογίσουμε την κλιματική αλλαγή, δηλαδή όταν αναφερόμαστε στην περίοδο βάσης 1960-90, το δεύτερο σενάριο διαχείρισης της ζήτησης που προτείναμε οδηγεί σε σαφή βελτίωση του ποσοστού επίτευξης των κριτηρίων μας. Ειδικά ως προς την κάλυψη των υδατικών απαιτήσεων από 90% περίπου καταλήγει στο εντυπωσιακό 98,5% και μάλιστα με ελάχιστη τιμή 97% περίπου. Τα αποτελέσματα αυτά ήταν σαφώς αναμενόμενα καθώς το δεύτερο σενάριο που δεν περιλαμβάνει την επιλογή βαμβακιού για καλλιέργεια είναι λιγότερο υδροβόρο και η κατανομή των αναγκών του σίτου στον χρόνο είναι πιο ομαλά κατανεμημένες και μάλιστα κυρίως κατά τους χειμερινούς μήνες. Το πολύ υψηλό ποσοστό επίτευξης των 2 κριτηρίων μας μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι πλυμμηρικές απορροές από τον Πηνειό και οι φυσικές απορροές της λεκάνης μας υπερκαλύπτουν την ζήτηση μας.

Όταν αρχίζει όμως να λαμβάνει χώρα η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην λεκάνη μας, που στην παρούσα εργασία φαίνεται στο στάδιο των υπολογισμών για τα μελλοντικά σενάρια, η κατάσταση μπερδεύεται και δεν μπορούμε να αποφανθούμε με σαφήνεια και χωρίς κάποια σκέψη ως προς τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας μας. Περαιτέρω ανάλυση επιχειρείτε στο επόμενο κεφάλαιο.

7 Συμπεράσματα

Όπως είδαμε τα αποτελέσματά μας ήταν εν μέρει αναμενόμενα αν και σε μια πρώτη ανάγνωση θα μπορούσαν να μας προβληματίσουν. Αυτό γίνεται πιο κατανοητό αν σκεφτούμε ότι ο λόγος που χρησιμοποιήσαμε ένα εναλλακτικό σενάριο ζήτησης για την λεκάνη απορροής ήταν για να μειώσουμε την πιθανότητα να έχουμε τόσο οικονομικές αστοχίες- όπως είναι τα ελλείμματα αρδευσης- όσο και περιβαλλοντικές αστοχίες- όπως τις αστοχίες κατώτατης στάθμης.

Το σιτάρι χρειάζεται λιγότερο νερό από το βαμβάκι και όμως βλέπουμε ότι τα μέσα ποσοστά επίτευξης των οικονομικών και περιβαλλοντικών κριτηρίων μας πέφτουν έντονα όταν μιλάμε για το δεύτερο σενάριο ζήτησης. Το παράδοξο του γεγονότος αυτού όμως παύει να υφίσταται όταν δούμε την ετήσια κατανομή και το εύρος αυτών των αστοχιών.

Στο πρώτο σενάριο παρατηρούνταν μια έντονη αστοχία του κριτηρίου ελλείμματος άρδευσης κατά τους θερινούς μήνες και μάλιστα όσον αφορά την 30ετία 2070-100 πλησίαζε τα 80 εκατομμύρια m³ και την 30ετία 2020-50 τα 72 εκατομμύρια m³. Με το 2^ο σενάριο αυτή η έντονη αστοχία μετριάζεται αρκετά. Στους θερινούς μήνες το έλλειμμα δεν ξεπερνά τα 15 και 12 εκατομμύρια m³ αντιστοίχως. Με άλλα λόγια μπορεί ο ταμιευτήρας μελέτης να αστοχεί πιο συχνά αλλά το συνολικό μας έλλειμμα μειώνεται δραστικά, γιατί αστοχεί κατά πολύ λιγότερο σαν ποσότητα.

Αντίθετα όσον αφορά στο περιβαλλοντικό κριτήριο ενώ όπως είδαμε τα ελλείμματα μας μειώνονται δραστικά, εν τούτοις το κριτήριο κατώτατης στάθμης μας οδηγεί στο αναπόφευκτο συμπέρασμα ότι όσο παράλογο και να ακούγεται αυτό, όσον αφορά στην ρύθμιση της λίμνης και μάλιστα της στάθμης της όσο και στην τελική πιθανότητα δημιουργίας ενός βιώσιμου οικοσυστήματος και του υγρότοπου που προβλέπει η αρχική μελέτη, η καλλιέργεια του υδροβόρου βαμβακιού οδηγεί σε πιο επιθυμητά αποτελέσματα.

Αυτό βέβαια δεν είναι ακριβές με την έννοια ότι μπορεί η λίμνη να λειτουργεί καλύτερα αλλά το έλλειμμα στο οποίο θα οδηγήσει η συνέχιση της καλλιέργειας του βαμβακιού συνεχίζουν να είναι τεράστια και οποιαδήποτε προσπάθεια κάλυψης τους από τον υδροφόρο ορίζοντα θα είναι συνώνυμη με την καταλήστευση του υπόγειου υδροφορέα. Αν επίσης λάβουμε υπόψη ότι οι στόχοι της δημιουργίας του ταμιευτήρα αφορούσαν την καλύτερη κάλυψη των υδατικών αναγκών της περιοχής με ταυτόχρονη πρόθεση την τόνωση του υδροφόρου ορίζοντα της περιοχής είναι προφανές ότι η αποτυχία και στους 2 τομείς επιτείνεται αν δεν αλλάξει η καλλιέργεια βαμβακιού.

Το τελικό μας συμπέρασμα λοιπόν θα μπορούσε να συνοψιστεί στην πρόταση ότι δυστυχώς η επίδραση των κλιματικών αλλαγών στην λεκάνη της λίμνης Κάρλας είναι τόσο έντονη που η κάλυψη των υδατικών αναγκών σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα στα πλαίσια μίας αειφορικής διαχείρισης των υδατικών πόρων φαντάζει από δύσκολη έως και εξαιρετικά απίθανη. Θα πρέπει μια τέτοια προσπάθεια να βασιστεί σε 2 επιμέρους κατευθύνσεις.

Η πρώτη κατεύθυνση συνίσταται στην προσπάθεια ανεύρεσης περισσότερων υδατικών πόρων και η δεύτερη στην περαιτέρω μείωση των υδατικών απαιτήσεων της περιοχής με βελτίωση της αποδοτικότητας των αρδεύσεων καθώς και επιλογή καλλιεργειών με καλύτερη κατανομή στον χρόνο.

8 Βιβλιογραφία

Buishand, T.A., Shabalova, M.V., and Brandsma, T.: On the choice of the temporal aggregation level for statistical downscaling of precipitation, *J. Climate*, 17, 1816-1827, 2004.

Burger, G.: Expanded downscaling for generating local weather scenarios, *Clim. Res.*, 7, 111-128, 1996.

Dehn, M., and Buma, J.: Modelling future landslide activity based on general circulation models, *Geomorphology*, 30, 175-187, 1999.

Diaz-Nieto, J., and Wilby, R.L.: A comparison of statistical downscaling and climate change factor methods: Impacts on low flows in the River Thames, United Kingdom, *Clim. Change*, 69, 245-268, 2005.

European Environmental Agency, (EEA): Mapping the impacts of recent natural disasters and technological accidents in Europe, Environmental issue report No. 35, European Environment Agency, Copenhagen, 2004.

Evans, J., and Schreider, S.: Hydrologic impacts of climate change on inflows to Perth, Australia, *Clim. Change*, 55, 361-393, 2002.

Flato, G.M. and Boer, G.J.: Warming asymmetry in climate change simulations, *Geoph. Res. Lett.*, 28, 195-198, 2001

Fowler, H.J., Blenkinsop, S., and Tebaldi, C.: Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modeling, *Int. J. Climatol.*, 27(12), 1547-1578, 2007.

Gibson, J.K., Kallberg, P., Uppala, S., Hernandez, A., Nomura, A., and Serrano, E.: ERA description, Technical Report Re-analysis Project Report Series 1, ECMWF, Reading, UK, 1997.

Giorgi, F., Hewitson, B., Christensen, J., Fu, C., Jones, R., Hulme, M., Mearns, L., Von Storch, H., and Whetton, P.: Regional climate information - evaluation and projections, in *Climate Change 2001: The scientific basis*, J.T. Houghton et al., Eds., Cambridge University Press, 2001.

Hipel, K., and McLeod, A.I.: *Time Series Modeling of Water Resources and Environmental Systems*, Elsevier, Amsterdam, 1013 pages, 1994.

Houssos, E.E., and Bartzokas, A.: Extreme precipitation events in NW Greece, *Adv. Geosci.*, 7, 91-96, 2006.

Huth, R.: Statistical downscaling in central Europe: Evaluation of methods and potential predictors, *Clim. Res.*, 13, 91-101, 1999.

Intergovernmental Panel on Climate Change, (IPCC): *Climate Change 2001 - The Scientific Basis*, Cambridge University Press, Cambridge, 2001.

Intergovernmental Panel on Climate Change, (IPCC): *Climate Change 2007: Synthesis Report of the Fourth Assessment Report*, IPCC, 2007.

Johns, T.C., Carnell, R.E., Crossley, J.C., Gregory, J.M., Mitchell, F.B., Senior, C.A., Tett, S.F.B., Woods, R.A.: The second Hadley Centre coupled ocean-atmosphere GCM: Model description, spinup and validation, *Clim. Dyn.*, 13, 103-134, 1997.

Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, D., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woolen, J., Zhu, Y., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K. C., Kopelewski, C., Wang, J., Leetmaa, A., Reynolds, R., Jeene, R. and Joseph, D.: The NCEP/NCAR 40-years Reanalysis Project, *B. Am. Meteorol. Soc.*, 77(3), 437–471, 1996.

Karl, T.R., Wang, W.C., Schlesinger, M.E., Knight, R.W., and Portman, D.: A method of relating general circulation model simulated climate to observed local climate. Part I: Seasonal statistics, *J. Climate*, 3, 1053-1079, 1990.

Loukas, A., Mylopoulos, N., and Vasiliades, L.: A modeling system for the evaluation of water resources management strategies in Thessaly, Greece, *Water Resources Management*, 21(10), 1673-1702, 2007a.

Loukas, A., Vasiliades, L., and Lachanas, G.: Climate change impacts on the components of hydrological cycle in Thessaly, *Protection and Restoration of the Environment VIII*, 2006

Loukas, A., Vasiliades, L., and Tzabiras, J.: Evaluation of climate change on drought impulses in Thessaly, Greece, *European Water Journal*, 17-18(1), 2007b.

McCabe G.J., and Wolock D.M.: General-Circulation-Model simulations of future snowpack in the western United States, *J. Am. Water Resour. Assoc.*, 35(6), 1473-1484, 1999.

Mearns, L.O., Giorgi, F., Whetton, P., Pabon, D., Hulme, M., and Lal, M.: Guidelines for use of climate scenarios developed from regional climate model experiments, Tech. rep., Data Distribution Centre of the IPCC, 2004.

Morata, A., Luna, M.Y., Martin, M.L., Sotillo, M.G., and Valero, F.: Iberian autumnal precipitation characterization through observed, simulated and reanalysed data, *Adv. Geosci.*, 16, 49-54, 2008.

National Observatory of Athens: Climatic Changes in Mediterranean, Scientific Report, National Observatory of Athens, Athens, Greece, 2001.

Salas, J.D., Delleur, J.W., Yevjevich, V., Lane, W.L.: *Applied Modeling of Hydrologic Time Series*, WWP, Littleton, Colorado, 1980.

Salas, J.D.: Analysis and Modeling of Hydrologic Time Series, in *Handbook of Hydrology*, edited by D. R. Maidment, McGraw-Hill, Inc., New York, Chap. 19, pp. 19.1-19.72, 1993.

Schoof J.T. and Pryor, S.C.: Downscaling temperature and precipitation: a comparison of regression-based methods and artificial neural networks, *Int. J. Climatol.*, 21, 773-790, 2001.

Smakhtin, V.U.: Low flow hydrology: A review, *J. Hydrol.*, 240, 147-186, 2001.

Sotillo, M.G., Ratsimandresy, A.W., Carretero, J.C., Bentamy, A., Valero, F., and Gonzalez-Rouco, J.F.: A high-resolution 44-year atmospheric hindcast for the Mediterranean Basin: Contribution to the regional improvement of global reanalysis, *Clim. Dyn.*, 25, 219-236, 2005.

Tatli, H., Dalfes, H.N., and Mentés, S.S.: A statistical downscaling method for monthly total precipitation over Turkey, *Int. J. Climatol.*, 24, 161-180, 2004.

Varis O., Kajander, T., and Lemmela, R.: Climate and water: From climate models to water resources management and vice versa, *Clim. Change*, 66, 321-344, 2004.

Von Storch, H.: On the use of “inflation” in statistical downscaling, *J. Climate*, 12, 3505-3506, 1999.

Wilby, R.L, Dawson, C.W., and Barrow, E.M.: SDSM - a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Envir. Model. Soft.*, 17(2), 145-157, 2002.

Wilby, R.L., and Wigley, T.M.L.: Downscaling General Circulation Model output: a review of methods and limitations, *Prog. Phys. Geogr.*, 21, 530-548, 1997.

Wilby, R.L., Charles, S.P., Zorita, E., Timbal, B., Whetton, P., and Mearns, L.O.: Guidelines for use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods, Tech. rep., Data Distribution Centre of the IPCC, 2004.

Xoplaki, E. Luterbacher, J. Buckard, R., Patrikas, I. and Maheras, P.: Connection between the large-scale 500 hPa geopotential height fields and precipitation over Greece during wintertime, *Clim. Res.*, 14, 129-146, 2000.

Xu C.-Y., Widen E., and Halldin S.: Modelling hydrological consequences of climate change - progress and challenges, *Adv. Atmos. Sci.*, 22(6), 789-797, 2005.

Xu C.-Y.: From GCMs to river flow: A review of downscaling techniques and hydrologic modeling approaches, *Prog. Phys. Geogr.*, 23, 229-249, 1999.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000091703

