



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ
ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Διαχείριση Υδατικών Αποθεμάτων ταμιευτήρων σε Συνθήκες Κλιματικής Αλλαγής

Εφαρμογή στους ταμιευτήρες Πλαστήρα και Σμοκόβου Θεσσαλίας

Διπλωματική Εργασία



Επιβλέπων:
Ναλμπάντης Ι.
Επίκουρος Καθηγητής
Ε.Μ.Π.

Μαλλιαρός Αναστάσιος

ΑΘΗΝΑ 2010

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

Περίληψη	vii
Abstract	ix
1 Εισαγωγή	7
1.1 Γενική τοποθέτηση του προβλήματος	7
1.2 Η κλιματική αλλαγή σε παγκόσμια κλίμακα	7
1.3 Η κλιματική αλλαγή στην ευρύτερη περιοχή μελέτης	7
1.4 Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας	8
2 Κλιματική Αλλαγή	11
2.1 Γενικά	11
2.2 Κύρια αίτια του φαινομένου	11
2.3 Συνέπειες της Κλιματικής Αλλαγής	11
2.3.1 Κλίμα	11
2.3.2 Θάλασσες	12
2.3.3 Υγεία	12
2.3.4 Ενδεχόμενες Θετικές Συνέπειες	12
2.4 Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC)	12
2.5 Τρίτη Έκθεση αξιολόγησης της IPCC (2001)	13
2.6 Τέταρτη Έκθεση αξιολόγησης της IPCC (2007)	14
2.6.1 Πρώτη Ομάδα Εργασίας (WGI): Επιστημονική Βάση Κλιματικών Δεδομένων	14
2.6.2 Δεύτερη Ομάδα Εργασίας (WGII): Επιπτώσεις-Πρόληψη-Προσαρμογή	16
2.6.3 Τρίτη Ομάδα Εργασίας (WGIII): Μέτρα για την Αντιμετώπιση της Κλιματικής Αλλαγής	16
3 Η περιοχή μελέτης	19
3.1 Γενικά για το Υδατικό Διαμέρισμα της Θεσσαλίας	19
3.2 Υδρολογικά χαρακτηριστικά του υδατικού διαμερίσματος	19
3.3 Γεωμορφολογία-Φυσιογραφικά χαρακτηριστικά του υδατικού διαμερίσματος	21
3.4 Γεωλογικά χαρακτηριστικά του υδατικού διαμερίσματος	22
3.5 Ο Νομός Καρδίτσας	22
3.5.1 Γενικά	22
3.5.2 Κλιματικές συνθήκες	23
3.5.3 Πληθυσμιακά δεδομένα	24
3.5.4 Αναπτυξιακά δεδομένα	26
3.5.5 Επιφανειακοί υδατικοί πόροι	29
3.5.6 Υπόγειοι υδατικοί πόροι	29

3.5.7	Χρήσεις νερού.....	30
3.6	Η Λίμνη Πλαστήρα και ο ταμιευτήρας Σμοκόβου.....	34
3.7	Οι λεκάνες ανάντη των φραγμάτων Λίμνης Πλαστήρα και Σμοκόβου.....	35
4	Μεθοδολογία εκτίμησης επιφανειακού υδατικού δυναμικού λεκάνης απορροής	36
4.1	Εκτίμηση Εκμεταλλεύσιμου Επιφανειακού Υδατικού Δυναμικού (ΕΕΥΔ) λεκάνης απορροής.....	36
4.1.1	Εισαγωγή.....	36
4.1.2	Προσομοίωση λειτουργίας ταμιευτήρα.....	37
4.2	Το λογισμικό «Υδρογνώμων».....	38
4.3	Εκτίμηση απορροής με μοντέλα βροχόπτωσης – απορροής.....	39
4.3.1	Γενικά.....	39
4.3.2	Το μοντέλο υδατικού ισοζυγίου «Ζυγός».....	39
4.4	Παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών υδρολογικού μεγέθους.....	42
4.4.1	Εισαγωγή.....	42
4.4.2	Υποσύστημα «Κασταλία».....	43
4.4.3	Μοντέλο συμμετρικών κινούμενων μέσων όρων (SMA).....	43
5	Μεθοδολογία πρόβλεψης της βροχόπτωσης	50
5.1	Μοντέλα γενικής κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας (GCM).....	50
5.1.1	Εισαγωγή.....	50
5.1.2	Ειδική Έκθεση σχετική με τα Σενάρια Εκπομπών (Special Report on Emissions Scenarios).....	50
5.2	Προβλέψεις του Καναδικού Κέντρου Κλιματικής Αλλαγής (CCCMA).....	51
5.2.1	Γενικά.....	51
5.2.2	Παγκόσμιο Κλιματικό Μοντέλο 3 ^{ης} γενιάς (CGCM3).....	52
5.3	Μετεωρολογικές παράμετροι.....	53
5.3.1	Μέση θερμοκρασία του αέρα (mean air temperature, tmp).....	53
5.3.2	Μέση ατμοσφαιρική πίεση στο επίπεδο της μέσης στάθμης της θάλασσας (mean sea level pressure, mslp).....	54
5.3.3	Μέση ταχύτητα ανέμου (mean wind speed swa).....	56
5.3.4	Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (precipitation flux, P_f).....	59
5.3.5	Γεωδυναμικό ύψος στα 500 hPa (geopotential height, gz500).....	60
5.3.6	Γεωδυναμικό πάχος μεταξύ 500 και 1000 hPa (geopotential thickness, gz500_1000).....	61
5.4	Υπολογιστική διαδικασία για την πρόβλεψη της βροχόπτωσης.....	62
6	Αποτελέσματα	64
6.1	Περίοδος 1960-1990.....	64
6.1.1	Παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών απορροής.....	64
6.1.2	Εκτίμηση ΕΕΥΔ.....	66
6.1.3	Κατάρτιση μοντέλου υδατικού ισοζυγίου «Ζυγός».....	67

6.1.4	Κατάρτιση σχέσης για πρόβλεψη της βροχόπτωσης με βάση μετεωρολογικές μεταβλητές	68
6.2	Περίοδος 2020-2100	68
6.2.1	Πρόβλεψη της βροχόπτωσης με βάση μετεωρολογικές μεταβλητές	68
6.2.2	Παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών απορροής	68
6.2.3	Εκτίμηση ΕΕΥΔ.....	69
6.3	Σύγκριση αποτελεσμάτων των δύο περιόδων	70
7	Σύνοψη - Συμπεράσματα	72
7.1	Σύνοψη	72
7.2	Συμπεράσματα.....	73
	Αναφορές	76
	Στην ελληνική γλώσσα	76
	Ξενόγλωσσες	77
	Διαδίκτυο	77
	Παράρτημα Α: Πίνακες	78
	Παράρτημα Β: Σχήματα	92

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο μελέτης την διαχείριση των υδατικών αποθεμάτων των ταμιευτήρων που δημιουργούνται ανάντη των φραγμάτων Πλαστήρα και Σμοκόβου σε συνθήκες κλιματικής αλλαγής οι οποίες προβλέπεται ότι θα υπάρξουν κατά τη διάρκεια του αιώνα τον οποίο διανύουμε.

Για το σκοπό αυτό, συγκεντρώθηκαν στην αρχή δεδομένα βροχόπτωσης, εξατμισοδιαπνοής και απορροής για την 30-ετία 1960-1990. Με δεδομένες τις ιστορικές χρονοσειρές βροχόπτωσης και εξατμισοδιαπνοής και μετρημένης απορροής πραγματοποιήθηκε βαθμονόμηση και, στη συνέχεια, επαλήθευση του μοντέλου βροχής απορροής «Ζυγός» (τύπου υδατικού ισοζυγίου).

Για την περίοδο 1960-1990 εκτιμήθηκε η ετήσια ζήτηση για νερό η οποία αντιστοιχεί σε αξιοπιστία ταμιευτήρα 0.99. Αυτή θεωρήθηκε ότι αντιπροσωπεύει το εκμεταλλεύσιμο επιφανειακό δυναμικό (ΕΕΥΔ) της λεκάνης. Για τις ανάγκες της εκτίμησης του ΕΕΥΔ παρήχθη συνθετική χρονοσειρά απορροής μήκους 2000 ετών με τη βοήθεια του μοντέλου SMA (Symmetric Moving Average) του υποσυστήματος «Κασταλία». Αυτή αποτέλεσε τη βάση για πολλές δοκιμαστικές προσομοιώσεις της λειτουργίας του κάθε ταμιευτήρα οι οποίες επέτρεψαν την εκτίμηση.

Για την περίοδο με υποτιθέμενη κλιματική αλλαγή που εξετάστηκε (2020-2100) έγινε πρόβλεψη των τιμών της μηνιαίας χωρικά μέσης βροχόπτωσης στην εκάστοτε λεκάνη απορροής με βάση διαθέσιμες προβλέψεις έξι μετεωρολογικών μεταβλητών για τον ελληνικό χώρο. Με βάση τις προβλέψεις αυτές εκτιμήθηκε η αντίστοιχη χρονοσειρά μηνιαίας απορροής με τη βοήθεια του ήδη βαθμονομημένου (στην περίοδο 1960-90) μοντέλου «Ζυγός». Στη συνέχεια, ακολουθώντας την ίδια διαδικασία με την περίοδο 1960-90, εκτιμήθηκε το ΕΕΥΔ των δύο λεκανών.

Για την εκτίμηση της πρόβλεψης της βροχόπτωσης για τα έτη 2020-2100 καταρτίστηκε κατάλληλη μαθηματική σχέση που συσχετίζει την μηνιαία χωρικά μέση βροχόπτωση με τις μηνιαίες τιμές κατάλληλων μετεωρολογικών μεταβλητών. Αυτές είναι η μέση θερμοκρασία αέρα, η μέση ατμοσφαιρική πίεση στο επίπεδο της μέσης στάθμης της θάλασσας, η μέση ταχύτητα ανέμου, η βροχόπτωση, το γεωδυναμικό ύψος στα 500 hPa και το γεωδυναμικό πάχος μεταξύ 500 και 1000 hPa. Τα σχετικά δεδομένα λήφθηκαν από το Καναδικό Κέντρο Κλιματικής Αλλαγής χρησιμοποιώντας το Παγκόσμιο Κλιματικό Μοντέλο 3^{ης} γενιάς και το δυσμενές οικολογικό σενάριο A2 (διπλασιασμός των εκπομπών CO₂). Για την κατάρτιση της σχέσης που αναφέρθηκε πιο πάνω πραγματοποιήθηκε πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση με ανεξάρτητες τις παραπάνω 6 μεταβλητές και εξαρτημένη αυτή της μηνιαίας χωρικά μέσης βροχόπτωσης τα έτη 1960-1990. Με γνωστές, πλέον, τις παραμέτρους της εν λόγω σχέσης και τις τιμές των έξι ανεξάρτητων μεταβλητών για την χρονική περίοδο 2020-2100 υπολογίζουμε την τιμή της βροχόπτωσης για κάθε μήνα του τρέχοντος αιώνα.

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν με βάση τα δεδομένα της περιόδου 1960-90 και εκείνων που λαμβάνουν υπόψη την υποτιθέμενη κλιματική αλλαγή έχουμε μία καθαρή εικόνα για την ποσοτική επίδραση της κλιματικής αλλαγής στους Θεσσαλικούς ταμιευτήρες για την περίοδο 2020-2100.

Abstract

This report is intended to study the management of water storage in reservoirs created upstream of Plastiras and Smokovo dams in conditions of climate change which are expected during the 21st century.

To this end, we collected rainfall, evapotranspiration and runoff data for the 30 years 1960-1990. Given the historical time series of rainfall and evapotranspiration and with the help of the rainfall-runoff model «Zygos» we calculated the runoff. The comparison of measured and calculated runoff allowed us to calibrate the model.

For the period 1960-1990 the annual water demand was estimated which accounts for reservoir reliability equal to 0.99. This was exploited so as to represent the exploitable surface water potential (ESWP) of each basin. For the purpose of assessing ESWP synthetic basin-averaged rainfall time series were generated with a length of 2000 years using the SMA (Symmetric Moving Average) model of the subsystem "Castalia" of the system "Hydrognomon". This was the basis for many test simulations of the operation of each reservoir which allowed the above assessment.

For the period alleged (2020-2100) climate change was examined by anticipating monthly spatial average rainfall in each basin based on long-term weather predictions available for six variables regarding the Greek area. Based on these projections we estimated the corresponding monthly runoff time series through using the already calibrated (for the 1960-90 period) water balance model. Then following the same procedure for the period 1960-90 we estimated ESWP of the two basins.

To obtain predictions of rainfall for years 2020-2100 we prepared a suitable mathematical relationship that relates the spatial averaged monthly rainfall with monthly values of some appropriate meteorological variables. These are the average air temperature, mean atmospheric pressure at the mean sea level, the average wind speed, rainfall, the Geopotential height at 500 hPa, and the Geopotential thickness between 500 and 1000 hPa. The relevant data were obtained from the Canadian Centre for Climate Change using the Global Climatic Model 3G and the unfavorable ecological scenario A2 (doubling of greenhouse CO₂). To establish the relationship mentioned above multiple linear regression was used with the above six variables as independent variables and the spatial average monthly rainfall as the dependent variables as these were observed in the years 1960-1990. With known parameters of that relationship and the values of six independent variables for the future period 2020-2100 we calculated rainfall and runoff for each month of the current century. This allowed for estimating ESWP both before and after climate change.

1 Εισαγωγή

1.1 Γενική τοποθέτηση του προβλήματος

Η διπλωματική εργασία αυτή σχετίζεται με την πρόβλεψη των μελλοντικά διαθέσιμων προς χρήση ποσοτήτων νερού στην περιοχή της Θεσσαλίας και, πιο συγκεκριμένα, στους ταμιευτήρες ανάντη των φραγμάτων Πλαστήρα και Σμοκόβου. Η πρόβλεψη αυτή πραγματοποιείται με βάση προβλέψεις από το Παγκόσμιο Κλιματικό Μοντέλο 3^{ης} γενιάς το οποίο χρησιμοποιείται από το Καναδικό Κέντρο Κλιματικής Αλλαγής. Με βάση τα δεδομένα, εκείνα λοιπόν, θα γίνει εκτίμηση των απορροών των αντίστοιχων στα παραπάνω φράγματα λεκανών για την περίοδο 2020-2100 και θα υπολογιστεί εκείνη η ζήτηση νερού η οποία ικανοποιείται σε ποσοστό 99% των ετών. Αυτή θα θεωρηθεί και η τιμή του Εκμεταλλεύσιμου Επιφανειακού Υδατικού Δυναμικού ή, σε συντομογραφία, ΕΕΥΔ (Ναλμπάντης, 2007).

1.2 Η κλιματική αλλαγή σε παγκόσμια κλίμακα

Σήμερα, η ανθρωπογενής αλλαγή του κλίματος συνοδευόμενη από τις κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις της αποτελεί την αιτία για έντονη ανησυχία στην ανθρωπότητα. Η μέση παγκόσμια επιφανειακή θερμοκρασία έχει αυξηθεί σημαντικά κατά τη διάρκεια του περασμένου αιώνα και θα συνεχίσει να αυξάνεται εάν οι εκπομπές των αερίων θερμοκηπίου δεν μειωθούν δραστικά. Οι επιπτώσεις της αλλαγής του κλίματος είναι πολλές και ποικίλλουν τόσο ανά την υφήλιο όσο και σε τοπικό επίπεδο, σε ένταση, διάρκεια και έκταση. Ωστόσο, οι επικείμενες καταστροφικές συνέπειες για τους ανθρώπους και τις περιουσίες τους δεν οφείλονται προφανώς στις σταδιακές αλλαγές της θερμοκρασίας και των βροχοπτώσεων, αλλά κυρίως από τα λεγόμενα ακραία φαινόμενα όπως οι πλημμύρες και οι ξηρασίες. Η συχνότητα και η ένταση των ακραίων αυτών καιρικών φαινομένων μπορούν να αναλυθούν με τη χρήση μακρών ιστορικών χρονοσειρών διαφόρων παραμέτρων που, όμως, δεν είναι πάντα διαθέσιμες σε όλα τα μέρη του κόσμου. Για το λόγο αυτό, έχουν αναπτυχθεί ποικίλα μοντέλα γενικής κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας και των ωκεανών από παγκόσμια κέντρα υπεύθυνα για την παρακολούθηση της εξέλιξης της κλιματικής αλλαγής στον πλανήτη μας. Τα παραπάνω μοντέλα αποτελούν κατάλληλα εργαλεία για την προσομοίωση ακραίων φαινομένων, δεδομένου ότι είναι σε θέση να παράγουν μακρές χρονοσειρές οι οποίες με τη σειρά τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση των πιθανών μελλοντικών αλλαγών στα ακραία καιρικά φαινόμενα (<http://www.minenv.gr/>)..

1.3 Η κλιματική αλλαγή στην ευρύτερη περιοχή μελέτης

Η Ελλάδα, και ειδικότερα η περιοχή της Θεσσαλίας, έχουν αντιμετωπίσει σοβαρές, ακραίες και επίμονες ξηρασίες κατά τις περιόδους από τα μέσα προς τα τέλη της δεκαετίας του 1970, από τα τέλη της δεκαετίας του 1980 μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1990 και τα πρώτα χρόνια της δεκαετίας του 2000. Αυτές οι τρεις περιόδους ξηρασίας ήταν ιδιαίτερα σημαντικές και επηρέασαν ευρύτερες περιοχές της Γηραιάς Ηπείρου. Το πρώτο επεισόδιο ξηρασίας (1976 - 1977) επηρέασε κυρίως τη νότια και δυτική Ευρώπη, το δεύτερο επεισόδιο ξηρασίας (1988-1994) ολόκληρη τη Μεσόγειο με εκτιμώμενο οικονομικό κόστος μεγαλύτερο των 2.1 δισεκατομμυρίων ευρώ, ενώ, το τρίτο επεισόδιο ξηρασίας (2000 - 2001) επηρέασε την Κεντρική Ευρώπη και τα Βαλκάνια με συνολική ζημία της τάξης του 0.5 δισ. ευρώ (<http://www.eea.europa.eu/>). Κατά τη διάρκεια των τριών αυτών χρονικών περιόδων, τα μηνιαία και ετήσια ύψη βροχόπτωσης ήταν σημαντικά πιο κάτω από το κανονικό στη Θεσσαλία. Η

παρατεταμένη και σημαντική αυτή μείωση των μηνιαίων και ετήσιων υψών βροχόπτωσης είχε δραματικές επιπτώσεις στην φυσική βλάστηση, τη γεωργική παραγωγή και τους υδατικούς πόρους της περιοχής.

1.4 Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα εργασία απαρτίζεται από 8 κεφάλαια. Παρακάτω αναπτύσσεται διεξοδικά το περιεχόμενο του κάθε κεφαλαίου. Γίνεται, παράλληλα προσπάθεια να αναλυθεί το σκεπτικό με το οποίο διαρθρώθηκε και οργανώθηκε το παρόν σύγγραμμα.

Κεφάλαιο 1

Παρουσιάζεται ο γενικότερος σκοπός για τον οποίο εκπονήθηκε η εργασία αναλύοντας παράλληλα το φαινόμενο της Κλιματικής αλλαγής, κατ' αρχήν σε παγκόσμιο επίπεδο, και έπειτα στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλίας που αποτελεί και την περιοχή μελέτης μας.

Κεφάλαιο 2

Μελετάται το φαινόμενο της Κλιματικής αλλαγής παρουσιάζοντας τα επικρατέστερα αίτια που το προκαλούν, αλλά και τις συνέπειες αυτού στο φυσικό και το ανθρωπογενές περιβάλλον. Στη συνέχεια, δίνονται πληροφορίες για τον Διεθνή Οργανισμό της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος (International Panel for Climate Change, IPCC) παρουσιάζοντας αναλυτικά το σκοπό της λειτουργίας του και το πιο πρόσφατο έργο αυτού (3^η και 4^η έκθεση αξιολόγησης).

Κεφάλαιο 3

Το 3^ο κεφάλαιο έχει ως σκοπό τη γνωριμία με την ευρύτερη περιοχή μελέτης την οποία αποτελεί το γεωγραφικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας. Δίνονται, μεταξύ άλλων, στοιχεία, για τη γεωλογία, τη γεωμορφολογία και την υδρολογία της περιοχής, στοιχεία τα οποία συλλέχτηκαν από προγενέστερες μελέτες οι οποίες έχουν διεκπεραιωθεί για το γεωγραφικό αυτό διαμέρισμα.

Επίσης, στο κεφάλαιο αυτό γίνεται εκτενής αναφορά στα πληθυσμιακά, αναπτυξιακά και υδρολογικά δεδομένα του Νομού Καρδίτσας. Και αυτό, διότι ο συγκεκριμένος Νομός είναι αυτός που εξυπηρετείται υδρευτικά και αρδευτικά περισσότερο από τους υπόλοιπους τρεις νομούς της Θεσσαλίας από τα υδατικά αποθέματα των ταμιευτήρων Πλαστήρα και Σμοκόβου. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν από υπάρχουσες μελέτες οι οποίες έχουν πραγματοποιηθεί κυρίως από το Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων σε συνεργασία με τον Τομέα Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Τέλος, στο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα δεδομένα των δύο ταμιευτήρων και των αντίστοιχων λεκανών απορροής που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

Κεφάλαιο 4

Στο κεφάλαιο 4 περιγράφεται η μεθοδολογία για την εκτίμηση του Εκμεταλλεύσιμου Επιφανειακού Υδατικού Δυναμικού (ΕΕΥΔ) των δύο λεκανών. Για την περίοδο 1960-1990 που θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει τις συνθήκες του παρελθόντος εκτιμάται το ΕΕΥΔ με τη βοήθεια μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας ταμιευτήρα το οποίο και περιγράφεται. Ακόμη, γίνεται παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών απορροής με βάση το μοντέλο SMA που είναι ενσωματωμένο στο λογισμικό «Υδρογνώμων» ως ένα μοντέλο του υποσυστήματος «Κασταλία». Για τις ανάγκες της πρόβλεψης της απορροής τα έτη 2020-2100, βαθμονομείται και το μοντέλο «Ζυγός» το οποίο επίσης περιγράφεται. Για την χρονική περίοδο 2020-2100,

συνδυάζονται οι προβλέψεις της μηνιαίας βροχόπτωσης μετά από κλιματική αλλαγή με τα παραπάνω μοντέλα και επανεκτιμάται το ΕΕΥΔ των υπό μελέτη λεκανών απορροής. Γι' αυτό απαιτείται πρόβλεψη της βροχόπτωσης με βάση προβλέψεις άλλων μεταβλητών μετά από κλιματική αλλαγή. Η σχετική μεθοδολογία περιγράφεται στο Κεφάλαιο 5.

Κεφάλαιο 5

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται στην εισαγωγή τα Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας της Ατμόσφαιρας. Στη συνέχεια, κάνουμε μία σύντομη περιγραφή των επικρατέστερων Σεναρίων Εκπομπών (διοξειδίου του άνθρακα) που χρησιμοποιούνται διεθνώς. Ακολούθως, περιγράφεται εν συντομία η λειτουργία και ο σκοπός του Καναδικού Κέντρου Κλιματικής Αλλαγής από το οποίο και συλλέξαμε δεδομένα σχετικά με τις μελλοντικές προβλέψεις διαφόρων κλιματικών μεταβλητών. Αναφέρεται, παράλληλα, και το Παγκόσμιο Κλιματικό Μοντέλο 3^{ης} γενιάς με βάση το οποίο το Καναδικό Κέντρο πραγματοποιεί προβλέψεις για τον τρέχοντα αιώνα.

Στο κεφάλαιο γίνεται, επίσης, παρουσίαση της κάθε μετεωρολογικής μεταβλητής που χρησιμοποιήθηκε για την πρόβλεψη της βροχόπτωσης για τη χρονική περίοδο της ερχόμενης 100-ετίας. Αυτό έχει σα σκοπό να εισάγει τον αναγνώστη της παρούσας εργασίας σε ορισμένες βασικές έννοιες του επιστημονικού κλάδου της Μετεωρολογίας.

Τέλος περιγράφονται η υπολογιστική διαδικασία για την κατάρτιση σχέσης της μηνιαίας χωρικά μέσης βροχόπτωσης στην θεωρούμενη κάθε φορά λεκάνη και των μηνιαίων τιμών για έξι μετεωρολογικές μεταβλητές όπως αυτές προβλέπονται από το Καναδικό Κέντρο Κλιματικής Αλλαγής.

Κεφάλαιο 6

Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας που εφαρμόστηκε για τις δύο περιόδους χωριστά (1960-90 και 2020-2100) και συγκρίνονται τα αποτελέσματα των δύο περιόδων. Συγκεκριμένα, συγκρίνονται οι τιμές του ΕΕΥΔ των δύο λεκανών.

Κεφάλαιο 7

Στο τελευταίο κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας δίνεται μια σύνοψη των επιμέρους εργασιών και παρουσιάζονται τα τελικά συμπεράσματα, οι πιθανές επιπτώσεις από την μεταβολή της βροχόπτωσης λόγω κλιματικής αλλαγής και οι αναπόφευκτες επιπτώσεις του γεγονότος αυτού στις περιοχές που υδρεύονται από τους ταμιευτήρες των φραγμάτων Πλαστήρα και Σμοκόβου.

2 Κλιματική Αλλαγή

2.1 Γενικά

Με τον όρο «κλιματική αλλαγή» αναφερόμαστε στη μεταβολή του παγκόσμιου κλίματος και ειδικότερα, σε μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών που εκτείνονται σε μεγάλη χρονική κλίμακα. Τέτοιου τύπου μεταβολές περιλαμβάνουν στατιστικά σημαντικές διακυμάνσεις ως προς τη μέση κατάσταση του κλίματος ή τη μεταβλητότητά του, που εκτείνονται σε βάθος χρόνου δεκαετιών ή περισσότερων, ακόμα, ετών. Οι κλιματικές αλλαγές οφείλονται σε φυσικές διεργασίες, καθώς και σε ανθρώπινες δραστηριότητες με επιπτώσεις στο κλίμα, όπως η τροποποίηση της σύνθεσης της ατμόσφαιρας. Στη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις Κλιματικές Μεταβολές (United Nations For Climate Change), η κλιματική αλλαγή ορίζεται ως η μεταβολή στο κλίμα που οφείλεται άμεσα ή έμμεσα, σε ανθρώπινες δραστηριότητες, διακρίνοντας, έτσι, τον όρο από την κλιματική μεταβλητότητα η οποία έχει φυσικά αίτια.

2.2 Κύρια αίτια του φαινομένου

Οι κλιματολογικές παράμετροι μεταβάλλονται τόσο μέσα από φυσικές "εσωτερικές" διεργασίες, όσο και από εξωτερικές παρεμβάσεις, ανθρώπινες ή μη (όπως η ηλιακή δραστηριότητα ή, η έκλυση αερίων από εκρήξεις ηφαιστειών).

Τη σπουδαιότερη αιτία της κλιματικής αλλαγής του πλανήτη μας αποτελεί ο εμπλουτισμός της ατμόσφαιρας με αέρια όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το μεθάνιο (CH₄), οξείδια του αζώτου (N₂O) αλλά και χλωροφθοράνθρακες (μία ομάδα αερίων τα οποία περιέχουν κυρίως φθόριο, χλώριο ή βρώμιο). Τα παραπάνω αέρια είναι ευρέως γνωστά και ως αέρια θερμοκηπίου. Η μεγάλη συγκέντρωσή τους στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας οφείλεται, κυρίως, σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Εκλύονται σε μεγάλο βαθμό από εργοστάσια του τομέα της βαριάς βιομηχανίας.

2.3 Συνέπειες της Κλιματικής Αλλαγής

Οι προβλεπόμενες συνέπειες της κλιματικής αλλαγής ποικίλλουν και αφορούν σαφώς το περιβάλλον, καθώς και την ίδια την ανθρώπινη ζωή. Στις κυριότερες από αυτές συγκαταλέγονται η αύξηση της στάθμης των θαλασσών, καθώς και διάφορα ακραία καιρικά φαινόμενα όπως ξηρασία, χαμηλές ή έντονες βροχοπτώσεις, ισχυροί άνεμοι κ.ά..

2.3.1 Κλίμα

Επιστήμονες ανά τον κόσμο προβλέπουν μετακίνηση των ζωνών βροχόπτωσης από τον Ισημερινό προς τον Βορρά με άμεσο αποτέλεσμα την ερημοποίηση του κάτω τμήματος της εύκρατης ζώνης. Αυτό συνεπάγεται αλλαγές στους διάφορους τύπους βλάστησης, τόσο στις γεωργικές, όσο και στις δασικές εκτάσεις. Αναμένονται, επιπλέον, συχνότερα ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως κύματα θερμότητας και ξηρασίες ή έντονες βροχοπτώσεις ανάλογα με την περιοχή (Christensen et al., 2007).

2.3.2 Θάλασσες

Εάν δεν ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα από το σύνολο των παγκόσμιων κυβερνήσεων, θα οδηγηθούμε σε άνοδο της στάθμης των θαλασσών, μέσω της θερμικής διαστολής των υδάτων και την τήξη των πάγων. Μία αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1.5 έως 4.5°C εκτιμάται πως μπορεί να οδηγήσει σε άνοδο της στάθμης κατά 15 έως 95 cm (Bernstein et al. 2007). Η άνοδος αυτή, μπορεί να έχει καταστρεπτικές συνέπειες, προκαλώντας πλημμύρες σε περιοχές που βρίσκονται σε χαμηλό υψόμετρο και κοντά στο επίπεδο της θάλασσας. Από το 1900 μέχρι το 2001, έχει υπολογιστεί μία ετήσια άνοδος 1-2 mm, ενώ σύμφωνα με μετρήσεις του δορυφόρου TOPEX/Poseidon, από το 1992 μέχρι σήμερα, ο ρυθμός ανόδου της στάθμης των ωκεανών υπολογίζεται σε 3 περίπου mm ετησίως.

Πολύ πιθανός εκτιμάται, επίσης, ο δυσμενής επηρεασμός της παγκόσμιας ωκεάνιας κυκλοφορίας. Ειδικότερα, αναμένεται επιβράδυνση του θερμού ρεύματος του Κόλπου του Μεξικού, γνωστό διεθνώς ως Golf Stream, ωθώντας το προς τα Νότια και προκαλώντας πτώση τις θερμοκρασίας στις περιοχές από τις οποίες διέρχεται, όπως η Δυτική Ευρώπη και η Βόρεια Αμερική. Επιπλέον, λόγω της αύξησης της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα, οι ωκεανοί της Γης απορροφούν μεγαλύτερο ποσοστό του αερίου αυτού, γεγονός που οδηγεί στην μείωση του pH των υδάτων με καταστροφικές, με τη σειρά, συνέπειες για τη βιωσιμότητα της θαλάσσιας χλωρίδας και πανίδας ανά την υφήλιο.

2.3.3 Υγεία

Η κλιματική αλλαγή και ειδικότερα η άνοδος της θερμοκρασίας εμφανίζει δύο αντικρουόμενα άμεσα αποτελέσματα σε σχέση με την ανθρώπινη θνησιμότητα: οδηγεί, από τη μία, σε αύξηση των θανάτων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, ενώ, από την άλλη, σε μείωση των θανάτων κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Μία άλλη παράμετρος της παγκόσμιας θέρμανσης αφορά στην ενδεχόμενη εξάπλωση και άνθιση επιδημιών του παρελθόντος, καθώς οι μεγάλες θερμοκρασίες και η υγρασία αποτελούν κατάλληλο υπόβαθρο για την ανάπτυξη πολλών μικροβίων.

2.3.4 Ενδεχόμενες Θετικές Συνέπειες

Το φαινόμενο της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής μπορεί να συνοδευτεί, πιθανώς, και από ορισμένες θετικές επιδράσεις:

- i. Η γεωργία στο μεγαλύτερο τμήμα της Ευρώπης και, ιδιαίτερα στα μέσα γεωγραφικά πλάτη και στη βόρεια Ευρώπη, θα μπορούσε ενδεχομένως να ωφεληθεί από μια συντηρητική άνοδο της θερμοκρασίας. Ωστόσο, περιοχές της νότιας Ευρώπης είναι πιθανό να απειληθούν από την έλλειψη νερού. Επιπλέον, η πιθανή εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων (έντονες καταιγίδες/ξηρασία), με μεγαλύτερη συχνότητα σε σχέση με το παρελθόν, μπορεί να οδηγήσει σε περισσότερες κακές σοδειές. Σημαντική παράμετρο αποτελεί, γενικά, η ικανότητα της γεωργίας να προσαρμοστεί σε μελλοντικές κλιματικές μεταβολές.
- ii. Η παγκόσμια θέρμανση θα οδηγήσει σε αύξηση του αριθμού των ημερών που θεωρούνται ιδανικές για την ανάπτυξη των φυτών.

2.4 Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC)

Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) ιδρύθηκε το 1988 από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (World Meteorological Organization - WMO) και το Πρόγραμμα Περιβάλλοντος (United Nations Environment Program - UNEP) του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών. Ο σκοπός της

επιτροπής είναι η αξιολόγηση της επιστημονικής γνωστικής βάσης και των ερευνών που διεξάγονται για τη μελέτη των κλιματικών αλλαγών. Η επιτροπή αξιολογεί, επίσης, τις συνέπειες των κλιματικών μεταβολών που προέρχονται από ανθρώπινη δραστηριότητα, μελετώντας πιθανές πολιτικές και δράσεις για την αντιμετώπιση των ενδεχόμενων κινδύνων. Συντονίζει επιστήμονες από ολόκληρο τον κόσμο και μέχρι το 2007 είχε δημοσιεύσει τέσσερις εκθέσεις (1990, 1995, 2001 και 2007) σχετικά με τις κλιματικές αλλαγές που παρατηρούνται και τις πιθανές επιπτώσεις τους. Οι εκθέσεις της IPCC αποτελούν σημείο αναφοράς για τα ζητήματα που άπτονται της παγκόσμιας θέρμανσης και βασίζονται σε επιστημονικές δημοσιεύσεις ειδικών ερευνητών.

Η επιτροπή είναι ένα διακυβερνητικό σώμα, ανοιχτό σε όλες τις χώρες μέλη της Παγκόσμιας Μετεωρολογικής Οργάνωσης και του Προγράμματος για το Περιβάλλον του ΟΗΕ. Συνέρχεται μία φορά ετησίως, προκειμένου να καθοριστούν η εσωτερική λειτουργία, οι αρχές και το πρόγραμμα εργασίας της, ή να εγκριθούν οι εκθέσεις της. Περιλαμβάνει τρεις ομάδες εργασίας για την αξιολόγηση των επιστημονικών παραμέτρων των κλιματικών μεταβολών, των κοινωνικών και οικονομικών επιπτώσεών τους, και των πιθανών πολιτικών που μπορούν να εφαρμοστούν για την αντιμετώπισή τους αντίστοιχα. Οι δραστηριότητες της επιτροπής χρηματοδοτούνται από εθελοντικές συνεισφορές των κυβερνήσεων, ενώ πρόσθετη οικονομική στήριξη παρέχουν η Παγκόσμια Μετεωρολογική Οργάνωση και το Πρόγραμμα Περιβάλλοντος του ΟΗΕ.

Οι εκθέσεις της επιτροπής γράφονται από ομάδες ανθρώπων, προερχόμενων από πανεπιστήμια, ερευνητικά κέντρα ή άλλους περιβαλλοντικούς και οικονομικούς οργανισμούς, η συμμετοχή των οποίων γίνεται στον ειδικό τομέα εξειδίκευσής τους. Για τη διασφάλιση της εγκυρότητας και της αξιοπιστίας τους, οι εκθέσεις περνούν από πολλαπλό επιστημονικό και κυβερνητικό έλεγχο. Η επιτροπή έχει δημοσιεύσει, μέχρι σήμερα, τέσσερις εκθέσεις, το 1990, 1995, 2001 και 2007 αντίστοιχα. Η επιτροπή δεν πραγματοποιεί έρευνα, ούτε συλλέγει παρατηρησιακά δεδομένα, αλλά συνθέτει και αξιολογεί την ήδη υπάρχουσα επιστημονική γνώση για τα ζητήματα των κλιματικών αλλαγών. (<http://el.wikipedia.org>)

2.5 Τρίτη Έκθεση αξιολόγησης της IPCC (2001)

Κρίθηκε αναγκαίο να παρουσιάσουμε, σε αυτό το σημείο, τα αποτελέσματα της 3^{ης} έκθεσης αξιολόγησης του οργανισμού έτσι ώστε να έχουμε μία σαφή άποψη για το κλιματικό υπόβαθρο της αρχικής περιόδου της δεκαετίας που φεύγει.

Η έκθεση του 2001, κατέληγε στα εξής βασικά συμπεράσματα:

- Ένας αυξανόμενος αριθμός παρατηρήσεων επιβεβαιώνουν μία παγκόσμια θέρμανση καθώς και άλλες μεταβολές στο κλίμα. Η μέση επιφανειακή θερμοκρασία της Γης έχει αυξηθεί περίπου κατά 0.6°C στον 20^ο αιώνα, η κάλυψη των πάγων έχει μειωθεί, ενώ η μέση στάθμη της θάλασσας έχει αυξηθεί. Ορισμένοι σημαντικοί κλιματικοί παράγοντες, όπως η συχνότητα ανεμοστρόβιλων ή χαλαζόπτωσης και η θερμοκρασία περιοχών του βόρειου ημισφαιρίου και της Ανταρκτικής, δεν έχουν σημειώσει αξιοσημείωτες μεταβολές.
- Η εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου από ανθρωπογενείς δραστηριότητες μεταβάλλει την ατμόσφαιρα της Γης, με τέτοιο τρόπο ώστε να αναμένονται αλλαγές στο κλίμα.
- Η αξιοπιστία των κλιματικών μοντέλων και των προβλέψεών τους έχει αυξηθεί.
- Υπάρχουν ολοένα ισχυρότερες ενδείξεις πως η παγκόσμια θέρμανση των τελευταίων πενήντα ετών οφείλεται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

- Η ανθρώπινη παρέμβαση θα συνεχίσει να μεταβάλλει τη σύνθεση της ατμόσφαιρας στη διάρκεια του 21^{ου} αιώνα.
- Η παγκόσμια μέση θερμοκρασία και στάθμη της θάλασσας αναμένεται να αυξηθούν στο μέλλον. Η πρόβλεψη αυτή είναι κοινή για διαφορετικές εκδοχές που εξετάστηκαν αναφορικά με την μελλοντική οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη των χωρών.

2.6 Τέταρτη Έκθεση αξιολόγησης της IPCC (2007)

Η τέταρτη έκθεση της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος (Fourth Assessment Report, AR4) είναι η τελευταία αξιολόγηση της επιτροπής για την κλιματική αλλαγή. Ολοκληρώθηκε το 2007 (<http://www.ipcc.ch/>). Αποτελείται από τρεις τόμους που περιλαμβάνουν τα πορίσματα ισάριθμων ομάδων εργασίας, καθώς και από μία αναφορά που συνθέτει τα συμπεράσματα των αξιολογητικών εκθέσεων:

- Πρώτη Ομάδα εργασίας (WGI): Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Περιέχει τα επιστημονικά δεδομένα της κλιματικής αλλαγής και σύνδεσή της με ανθρώπινες δραστηριότητες.
- Δεύτερη Ομάδα Εργασίας (WGII): Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Περιγράφει τις επιπτώσεις που αναμένεται να σημειωθούν στο φυσικό περιβάλλον και τις ανθρώπινες κοινωνίες, εκτιμώντας, επίσης, σε ποιο βαθμό τα μέτρα πρόληψης και προσαρμογής θα καταφέρουν να τις μειώσουν.
- Τρίτη Ομάδα Εργασίας (WGIII): Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change. Εξετάζεται η δυνατότητα πρόληψης καταστροφών και μετριασμού του φαινομένου της υπερθέρμανσης, με εκτίμηση του σχετικού οικονομικού κόστους τους.

2.6.1 Πρώτη Ομάδα Εργασίας (WGI): Επιστημονική Βάση Κλιματικών Δεδομένων

Η πρώτη ομάδα εργασίας δημοσίευσε τη σύνοψη της έκθεσης αξιολόγησής της στις 2 Φεβρουαρίου 2007. Ακολούθησε μία αναθεωρημένη έκδοσή της στις 5 Φεβρουαρίου, ενώ η πλήρης έκθεση δημοσιεύτηκε το Μάρτιο του 2007. Περιέχει μία εκτεταμένη αξιολόγηση των επιστημονικών δεδομένων σχετικά με τις παρατηρούμενες αλλαγές στο κλίμα, την απόδοσή τους σε συγκεκριμένα αίτια - φυσικά ή ανθρωπογενή - καθώς και εκτιμήσεις για μελλοντικές αλλαγές. Η έκθεση, για την ολοκλήρωση της οποίας συμμετείχαν 600 συγγραφείς από 40 χώρες, υποβλήθηκε σε έλεγχο από περισσότερους από 620 ειδικούς και κυβερνήσεις.

Ατμοσφαιρική σύνθεση

Η τέταρτη έκθεση της ομάδας επισήμανε αρκετές παρατηρούμενες αλλαγές στις κλιματικές συνθήκες της Γης, μεταξύ των οποίων αλλαγές στη σύνθεση της ατμόσφαιρας, στη μέση παγκόσμια θερμοκρασία και στις συνθήκες των ωκεανών. Σύμφωνα με τις κυριότερες διαπιστώσεις της:

- Το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο και το οξείδιο του αζώτου έχουν αυξηθεί σημαντικά από το 1750, ως αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας.
- Το ποσοστό διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα το 2005 (379 ppm) υπερβαίνει κατά πολύ τα φυσικά όρια των τελευταίων 650000 ετών (180 - 300 ppm).
- Το ποσοστό του μεθανίου στην ατμόσφαιρα το 2005 (1774 ppb) υπερβαίνει κατά πολύ το φυσικό όριο των τελευταίων 650000 ετών (320 - 790 ppb).

- iv. Η κυριότερη πηγή αύξησης του διοξειδίου του άνθρακα είναι η χρήση ορυκτών καυσίμων.
- v. Η κυριότερη πηγή αύξησης του μεθανίου είναι πιθανότατα ο συνδυασμός των ανθρώπινων γεωργικών δραστηριοτήτων με τη χρήση ορυκτών καυσίμων.
- vi. Η συγκέντρωση του οξειδίου του αζώτου αυξήθηκε από την τιμή των 270 ppb κατά την προβιομηχανική εποχή στην τιμή των 319 ppb το 2005. Ποσοστό μεγαλύτερο του ενός τρίτου της αύξησης οφείλεται στην ανθρώπινη δραστηριότητα και κυρίως στη γεωργία.

Θέρμανση

Σύμφωνα με την έκθεση της ομάδας εργασίας, τα τελευταία πενήντα χρόνια έχουν παρατηρηθεί εκτεταμένες αλλαγές στις ακραίες θερμοκρασίες, με πιο συχνές θερμές νύχτες και ημέρες ή φαινόμενα καύσωνα και σπανιότερα κύματα ψύχους. Ειδικότερα:

- i. Κατά την περίοδο 1995-2006 καταγράφηκαν έντεκα από τα δώδεκα θερμότερα έτη από το 1850. Στο διάστημα 1906-2005, υπολογίζεται μία αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας κατά 0.74°C.
- ii. Παρατηρήσεις από το 1961 υποδεικνύουν ότι οι ωκεανοί απορροφούν ποσοστό μεγαλύτερο από 80% της θερμότητας που προστίθεται στο κλιματικό σύστημα και πως οι θερμοκρασίες τους έχουν αυξηθεί σε βάθος τουλάχιστον 3000 μέτρων, παράγοντες που συνεισφέρουν στην αύξηση της στάθμης της θάλασσας.
- iii. Οι μέσες θερμοκρασίες της Αρκτικής έχουν αυξηθεί περίπου δύο φορές περισσότερο σε σύγκριση με τον παγκόσμιο μέσο ρυθμό αύξησης των τελευταίων 100 ετών.
- iv. Κατά το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα, οι μέσες θερμοκρασίες στο βόρειο ημισφαίριο ήταν πιθανότατα μεγαλύτερες από οποιαδήποτε άλλη πενηνταετία των τελευταίων 500 χρόνων και πιθανώς οι μεγαλύτερες σε σύγκριση με εκείνες των τελευταίων 1300 ετών.
- v. Την περίοδο 1961-2003, η στάθμη της θάλασσας έχει αυξηθεί κατά μέσο όρο 1.8 mm/έτος (1.3-2.3 mm). Η αντίστοιχη αύξηση για το διάστημα 1993-2003 ήταν 3.1 mm/έτος, χωρίς να είναι σαφές αν πρόκειται για μακροχρόνια τάση ή φυσική διακύμανση.

Φαινόμενα θέρμανσης ή ψύξης του πλανήτη εξετάζονται στη βάση του ενεργειακού ισοζυγίου της Γης. Σύμφωνα με την έκθεση, συνυπολογίζοντας όλες τις ανθρώπινες δραστηριότητες, υπάρχει θετική συνεισφορά της τάξης των +1.6 watts/m². Αντίστοιχη θετική συνεισφορά από φυσικά αίτια, δηλαδή εξαιτίας της αύξησης της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας από το 1750, είναι +0.12 watts/m². Η θετική συνεισφορά από αέρια όπως το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο και το μονοξείδιο του αζώτου αυξάνει πιθανότατα (> 90%) με ταχύτερο ρυθμό στη νεότερη εποχή (1750-σήμερα) σε σύγκριση με οποιαδήποτε περίοδο των τελευταίων 10000 ετών.

Προβλέψεις για το Μέλλον

Προβλέψεις για μελλοντικές κλιματικές συνθήκες βασίζονται σε υπολογιστικά κλιματικά μοντέλα προσομοίωσης και την υιοθέτηση διαφορετικών εκτιμήσεων για το μέλλον, σε ό,τι αφορά τα επίπεδα εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου. Σύμφωνα με την έκθεση, προβλέπεται θέρμανση του πλανήτη κατά 0.2°C ανά δεκαετία, για ένα ευρύ φάσμα των διαφορετικών σεναρίων, ενώ υποθέτοντας πως τα επίπεδα συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου παραμένουν σε εκείνα του 2000, αναμένεται επίσης αύξηση, κατά 0.1°C ανά δεκαετία.

Προβλέπεται ότι η αύξηση της στάθμης της θάλασσας θα είναι σύμφωνα με την πλέον συντηρητική εκτίμηση 18-38 cm ή 26-59 cm σύμφωνα με το πλέον απαισιόδοξο σενάριο για τα μελλοντικά επίπεδα εκπομπής.

2.6.2 Δεύτερη Ομάδα Εργασίας (WGII): Επιπτώσεις-Πρόληψη-Προσαρμογή

Η σύνοψη της έκθεσης αξιολόγησης της δεύτερης ομάδας εργασίας της IPCC δημοσιεύτηκε στις 6 Απριλίου 2007, ενώ η πλήρης έκθεση εκδόθηκε τον ίδιο χρόνο, στις 18 Σεπτεμβρίου.

Περιγράφει τις επιπτώσεις που αναμένεται ότι θα σημειωθούν στο φυσικό περιβάλλον και τις ανθρώπινες κοινωνίες εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής, εκτιμώντας ότι σύμφωνα με «ενδείξεις από όλες τις ηπείρους και τους περισσότερους ωκεανούς της Γης, πολλά οικοσυστήματα επηρεάζονται από τοπικές κλιματικές μεταβολές και ειδικότερα από την αύξηση της θερμοκρασίας.

Συμπεράσματα και Προβλέψεις

Σύμφωνα με τα πορίσματα της δεύτερης ομάδας εργασίας, η πρόσφατη αλλαγή του κλίματος έχει ήδη ισχυρές επιδράσεις σε παγκόσμιο επίπεδο, στα οικοσυστήματα, στους υδατικούς πόρους και στις παράκτιες περιοχές. Με βάση δεδομένα παρατηρήσεων από το 1970, θεωρείται πιθανό πως η ανθρωπογενής θέρμανση έχει, μέχρι σήμερα, αισθητή επίδραση σε πολλά φυσικά και βιολογικά συστήματα.

Εκτιμάται με υψηλό επίπεδο εμπιστοσύνης (> 80%) ότι, μέχρι τα μέσα του 21^{ου} αιώνα, η μέση ετήσια απορροή των ποταμών και η διαθεσιμότητα νερού θα αυξηθεί κατά 10-40% στα υψηλότερα υψόμετρα και σε ορισμένες τροπικές περιοχές, ενώ θα μειωθεί κατά 10-30% σε ξηρές περιοχές σε μέσο υψόμετρο. Ο αριθμός των άνυδρων περιοχών αναμένεται να αυξηθεί, όπως και ο κίνδυνος πλημμυρών. Η δυνατότητα προσαρμογής πολλών οικοσυστημάτων ενδέχεται να ξεπεραστεί στη διάρκεια του 21^{ου} αιώνα, εξαιτίας του συνδυασμού της κλιματικής αλλαγής και άλλων σχετικών φαινομένων (πλημμύρες, ξηρασίες, κ.λπ.). Περίπου 20-30% της γνωστής χλωρίδας και πανίδας είναι πιθανό να γνωρίσει αυξημένο κίνδυνο εξαφάνισης.

Οι παράκτιες περιοχές αναμένεται να αντιμετωπίσουν αυξημένο κίνδυνο εξαιτίας της ανόδου της στάθμης της θάλασσας, ενώ αρκετά εκατομμύρια ανθρώπων εκτιμάται πως θα έρθουν αντιμέτωποι με πλημμύρες μέχρι το 2080 (<http://global-warming.verticalnews.com>).

2.6.3 Τρίτη Ομάδα Εργασίας (WGIII): Μέτρα για την Αντιμετώπιση της Κλιματικής Αλλαγής

Η έκθεση της τρίτης ομάδας εργασίας αναλύει τις δυνατότητες λήψης μέτρων περιορισμού της κλιματικής αλλαγής, προτείνοντας παράλληλα μελλοντικές βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες στρατηγικές για το μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Η σύνοψη της έκθεσης εκδόθηκε στις 4 Μαΐου 2007 κατά την 26^η διάσκεψη της επιτροπής, ενώ η πλήρης έκθεση δημοσιεύτηκε το Σεπτέμβριο του 2007. Το προσχέδιό της μελετήθηκε με τη συμμετοχή περισσότερων από 400 επιστημόνων και ειδικών από περίπου 120 χώρες. Για την έγκριση της τελικής πλήρους έκθεσης συμμετείχαν περισσότεροι από 2000 εκπρόσωποι. Κεντρικό σημείο διαφωνιών υπήρξε μία πρόταση περιορισμού των συγκεντρώσεων των αερίων θερμοκηπίου σε 445-650 ppm για την αποφυγή «επικίνδυνης κλιματικής αλλαγής», ενώ αναπτυσσόμενες χώρες επιθυμούσαν την αύξηση του κατώτερου προτεινόμενου ορίου. Σύμφωνα με τα συμπεράσματα της ομάδας εργασίας, η σταθεροποίηση της συγκέντρωσης των αερίων θερμοκηπίου είναι δυνατή και εύλογου οικονομικού κόστους, καθώς η σταθεροποίησή τους στα επίπεδα των 445-535 ppm κοστίζει λιγότερο από το 3% του παγκόσμιου ΑΕΠ.

Δυνατότητες Μετριασμού της Κλιματικής Αλλαγής

Σύμφωνα με τη σύνοψη της έκθεσης, υπάρχει ευρεία συμφωνία και αρκετές ενδείξεις πως υπάρχουν οικονομικές προοπτικές για το μετριασμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τις επόμενες δεκαετίες, έτσι ώστε να μετριαστεί η αυξητική τους πορεία ή ακόμα και να μειωθούν κάτω από τα επίπεδα στα οποία κυμαίνονταν το 2007, λαμβάνοντας υπόψη οικονομικά και κοινωνικά πλεονεκτήματα.

Στον τομέα της ενέργειας, η Διακυβερνητική Επιτροπή εκτιμά ότι οι ανανεώσιμες πηγές έχουν γενικά θετική συνεισφορά στην ενεργειακή ασφάλεια, στην απασχόληση και στην ποιότητα του αέρα. Μπορούν να παράσχουν το 30-35% της παραγωγής ενέργειας μέχρι το 2030 (σε σύγκριση με το ποσοστό του 18% το 2005), ενώ η πυρηνική ενέργεια μπορεί να ανέλθει από το 16% στο 18%.

Ευρεία συμφωνία και ισχυρές ενδείξεις υπάρχουν, ακόμα, για τη δυνατότητα σταθεροποίησης της εκπομπής των αερίων του θερμοκηπίου, η οποία, σύμφωνα με την επιτροπή, μπορεί να επιτευχθεί μέχρι το 2050, με τη χρήση σύγχρονων τεχνολογιών και με την προϋπόθεση ότι θα δοθούν αποτελεσματικά κίνητρα για τη χρήση και ανάπτυξή τους. Τονίζεται ότι η κυβερνητική χρηματοδότηση για την έρευνα στον τομέα της ενέργειας υπήρξε στάσιμη ή πτωτική από το 1987 μέχρι το 2007. Εκτιμάται ότι καθυστερήσεις στη μείωση της εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου είναι ικανές να οδηγήσουν στην αύξηση του κινδύνου σοβαρών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, καθώς θα αυξάνει η χρήση των τεχνολογιών υψηλής εκπομπής των αερίων (<http://climatechange.gr.wordpress.com/>).

3 Η περιοχή μελέτης

3.1 Γενικά για το Υδατικό Διαμέρισμα της Θεσσαλίας.

Την ευρύτερη περιοχή μελέτης της διπλωματικής αυτής εργασίας αποτελεί το Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας. Η περιοχή αυτή παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον διότι αποτελεί τη μεγαλύτερη πεδινή έκταση της χώρας και συγκεντρώνει όλα τα είδη των υδατικών καταναλώσεων, δηλαδή, άρδευση, ύδρευση και βιομηχανική χρήση. Αποτελεί μία περιοχή όπου οι ασχολίες του μεγαλύτερου μέρους του πληθυσμού σχετίζονται με τον πρωτογενή τομέα, ο οποίος περιορίζεται, σχεδόν κατ' αποκλειστικότητα, στη γεωργία. Για το λόγο αυτό, οι αρδευτικές ανάγκες παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στα τεκταινόμενα της περιοχής, τόσο από οικονομική άποψη, όσο και από κοινωνικοπολιτική. Κατά συνέπεια, η μελέτη των υδατικών πόρων της περιοχής αποτελεί ένα εξαιρετικά ενδιαφέρον και κρίσιμο αντικείμενο.

Από γεωγραφική άποψη, η Θεσσαλία ανήκει στο κεντρικό τμήμα της χώρας με εξαιρετικά πλούσια φυσιογραφία, διαθέτοντας τόσο πεδινές όσο ορεινές και παραλιακές εκτάσεις. Το υδατικό διαμέρισμα συμπίπτει σχεδόν με το αντίστοιχο γεωγραφικό με μικρά μόνο τμήματά του, κυρίως προς τα νότια και νοτιοδυτικά, να ανήκουν σε άλλες διοικητικές ενότητες (Πέππας, 2001).

3.2 Υδρολογικά χαρακτηριστικά του υδατικού διαμερίσματος

Η κύρια υδρολογική λεκάνη της Θεσσαλίας είναι αυτή του Πηνειού με έκταση περί τα 9500 km². Κυριότεροι παραπόταμοι του Πηνειού είναι: στο νότιο μέρος της λεκάνης ο Ενιπέας, ο Φαρσαλιώτης, ο Σοφαδίτης και ο Καλέντζης, στο δυτικό και νοτιοδυτικό μέρος ο Πλιούρης (ή Πάμισος), ο Πορταϊκός και το Μουργκάνι και στο βόρειο μέρος, ο Ληθαίος, ο Νεοχωρίτης και ο Τιταρήσιος. Ο τελευταίος περιλαμβάνει διάφορους κλάδους, από τους οποίους αναφέρονται ο Σαραντάπορος και ο Ελασσονίτικος (ELECTROWATT, 1970).

Η σημαντικότερη χρήση νερού στη Θεσσαλία είναι η αρδευτική. Σε ό,τι αφορά τα έργα επιφανειακής ταμείωσης, μέχρι σήμερα έχουν κατασκευαστεί και τεθεί σε λειτουργία μόνον οι ταμιευτήρες Πλαστήρα και Σμοκόβου. Μέσω του πρώτου εκτρέπονται τα νερά του Ταυρωπού (Μέγδοβα) από τη λεκάνη του Αχελώου προς τη Θεσσαλία. Οι υπόλοιπες υπολεκάνες στις οποίες έχουν μελετηθεί ή προγραμματιστεί σημαντικά έργα για την εκμετάλλευση των υδατικών πόρων είναι οι ακόλουθες:

Στη νότια περιοχή της λεκάνης Πηνειού

Υπολεκάνη Ενιπέα ανάντη της θέσης φράγματος Παλιοδερλί, με έκταση 427.6 km².

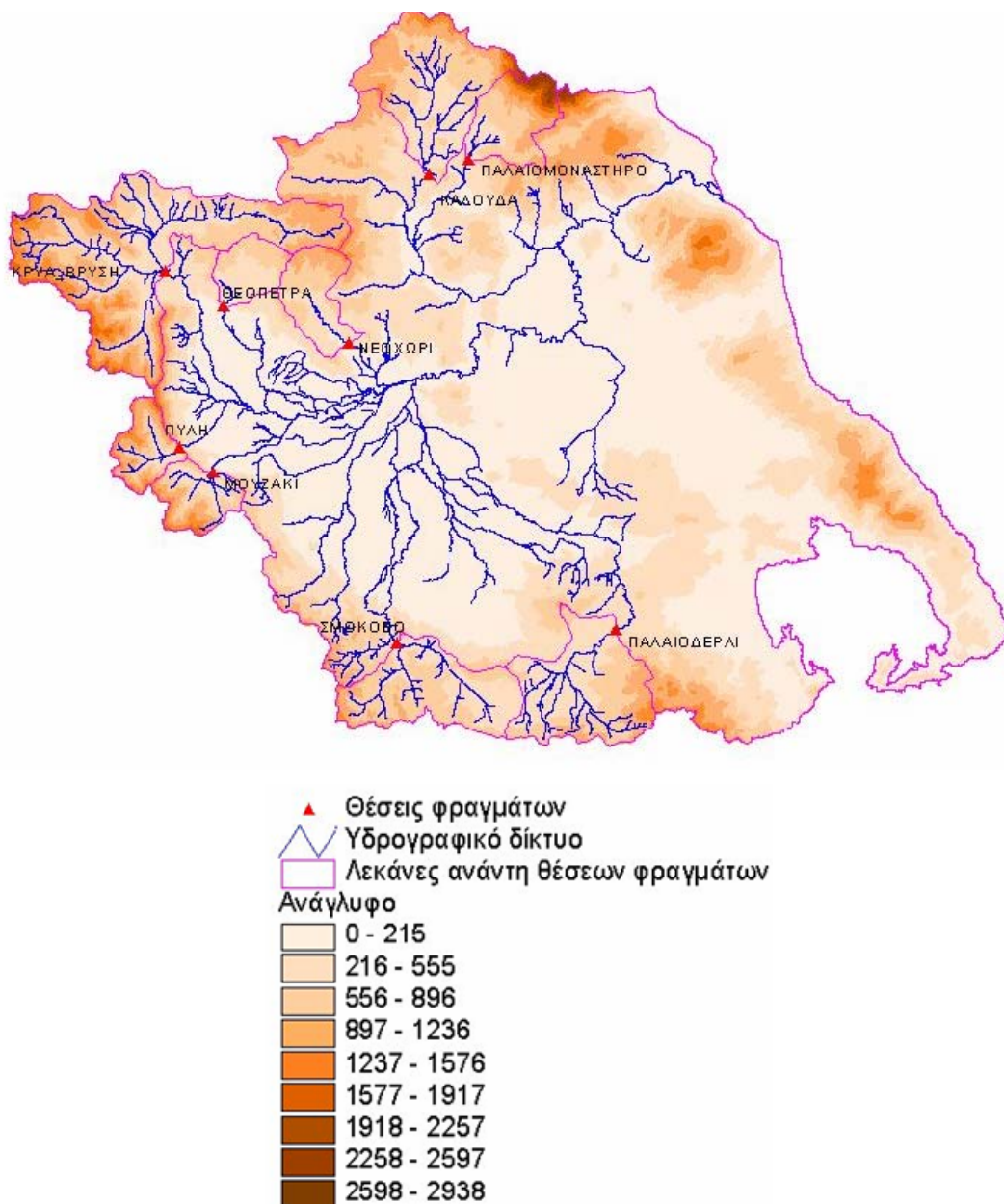
Στη δυτική περιοχή της λεκάνης Πηνειού

- i. Υπολεκάνη Πλιούρη (Παμίσου), ανάντη της θέσης φράγματος Μουζακίου, με έκταση 146.8 km².
- ii. Υπολεκάνη Πορταϊκού ανάντη της θέσης φράγματος Πύλης, με έκταση 133.8 km².
- iii. Υπολεκάνη Πηνειού ανάντη της θέσης φράγματος Κρύας Βρύσης, με έκταση 952.7 km².

Στη βόρεια περιοχή της λεκάνης Πηνειού

- i. Υπολεκάνη Ληθαίου ανάντη της θέσης φράγματος Θεόπετρας, με έκταση 127.8 km².
- ii. Υπολεκάνη Νεοχωρίτη ανάντη της θέσης φράγματος Νεοχωρίου, με έκταση 170.7 km².
- iii. Υπολεκάνη Τιταρήσιου ανάντη της θέσης φράγματος Καλούδας, με έκταση 466.5 km².
- iv. Υπολεκάνη Ελασσονίτικου ανάντη της θέσης φράγματος Παλιομονάστηρου, με έκταση 209.8 km².

Στο Σχήμα 3.1 παρουσιάζεται το Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας μαζί με πληροφορία σχετικά με το ανάγλυφο του εδάφους, το υδρογραφικό δίκτυο και τις θέσεις υφιστάμενων και προταθέντων φραγμάτων.



Σχήμα 3.1: Λεκάνη Πηνειού, θέσεις φραγμάτων και αντίστοιχες υπολεκάνες (Σχέδιο διαχείρισης των υδατικών πόρων περιοχής Καρδίτσας, Αθήνα, 2006)

3.3 Γεωμορφολογία-Φυσιογραφικά χαρακτηριστικά του υδατικού διαμερίσματος

Η γενικότερη γεωμορφολογία και φυσιογραφία της περιοχής μπορεί να περιγραφεί ως εξής: Η πεδινή περιοχή της Θεσσαλίας χωρίζεται από τα χαμηλά Χαλκοδόνια όρη σε δύο μεγάλα τμήματα ίσης περίπου έκτασης, το ανατολικό και το δυτικό, ενώ, περιφερειακά των πεδινών αυτών εκτάσεων, βρίσκονται οι ορεινοί όγκοι. Το μέσο υψόμετρο του διαμερίσματος είναι 285 m (ΥΔΡΟΜΕΤ – ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ – ΤΕΤΡΑΚΤΥΣ, 1983).

Ανατολικό τμήμα

Το ανατολικό τμήμα της Θεσσαλικής πεδιάδας έχει τα εξής γεωγραφικά όρια: βόρεια τον Κάτω Όλυμπο και την Όσσα, ανατολικά το Μαυροβούνι και το βόρειο Πήλιο, νότια και νοτιοδυτικά τα Χαλκηδόνια και βορειοδυτικά το Ζάрко. Το νότιο και νοτιοανατολικό μέρος αποτελεί μια κλειστή λεκάνη, την αποξηραθείσα λίμνη Κάρλα, της οποίας, όμως, το χαμηλότερο τμήμα προς το Βόλο προβλέπεται να επανέλθει στη φυσική του κατάσταση. Στην ανατολική Θεσσαλία εντάσσονται και οι ορεινές, αλλά με αξιόλογη έκταση, καλλιεργούμενες εκτάσεις της Ελασσόνας και του Δαμασιού. Στην περιοχή αυτή διέρχεται ο Τιταρήσιος, ο οποίος διαθέτει αρκετή παροχή, παρότι κατά τους καλοκαιρινούς μήνες αυτή μπορεί να περιοριστεί εξαιρετικά. Εκτός αυτού, μεγάλο μέρος των υδάτων του Τιταρήσιου τροφοδοτούν τον υπόγειο υδροφόρο. Στις υπόλοιπες περιοχές της Ανατολικής Θεσσαλίας έως και το δυτικό όριο των Χαλκηδονίων ορέων, δεν παρατηρούνται επιφανειακά νερά, ενώ επίσης έντονη είναι η πτώση του δυναμικού του υπογείου υδροφόρου. Όλες σχεδόν οι καλλιεργούμενες εκτάσεις που αρδεύονται από επιφανειακά νερά βρίσκονται στην περιφέρεια της πεδιάδας κοντά στις ορεινές εκτάσεις και δεν απέχουν παρά μερικές εκατοντάδες μέτρα από την κοίτη του πλησιέστερου ποταμού. Ακόμα, απολήψεις πραγματοποιούνται στις περιοχές απ' όπου περνάει ο ποταμός Πηνειός, οι οποίες διαθέτουν οργανωμένα δίκτυα από τους Τοπικούς Οργανισμούς Εγγείων Βελτιώσεων της περιοχής. Στην ανατολική Θεσσαλία, εκτός του Τιταρήσιου και του Πηνειού, δεν υπάρχουν άλλοι ιδιαίτερα αξιόλογοι ποταμοί. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι η Ανατολική Θεσσαλία έχει το μεγαλύτερο αστικό κέντρο του υδατικού διαμερίσματος, τη Λάρισα καθώς και μερικούς άλλους αξιόλογους οικισμούς.

Δυτικό τμήμα

Το δυτικό τμήμα της Θεσσαλικής πεδιάδας ορίζεται γεωγραφικά ως εξής: ανατολικά από τα Χαλκηδόνια όρη, βορειοανατολικά από το Ζάрко, βόρεια από τα Χάσια και τα Αντιχάσια όρη, δυτικά από το Κερκέτιον όρος (Κόζιακας) και νότια από το Ναθράκιο, τους πρόποδες του όρους Τυμφρηστός και την αποξηραθείσα λίμνη Ξυνιά. Η δυτική Θεσσαλία διαθέτει αρκετούς παραποτάμους του Πηνειού οι οποίοι, ακόμα και το θέρος, διαθέτουν έστω και μικρές ποσότητες ύδατος. Η δυτική Θεσσαλία έχει δύο μεγάλα αστικά κέντρα (Τρίκαλα, Καρδίτσα), μερικά μικρότερα αλλά αξιόλογα όπως η Καλαμπάκα, οι Σοφάδες, τα Φάρσαλα και ο Παλαμάς καθώς και πλήθος μικρών χωριών. Εκτός των δύο μεγάλων κέντρων, ο υπόλοιπος πληθυσμός ασχολείται, έμμεσα ή άμεσα, με τη γεωργία. Όλες σχεδόν οι εκτάσεις αρδεύονται, ενώ, κατά τόπους, παρατηρούνται οργανωμένα δίκτυα άρδευσης. Προς τα βόρεια, οι καλλιέργειες σταματάνε στο όριο της πεδιάδας (από Φυλλήιο μέχρι Χαλκηδόνα), οι καλλιέργειες φθάνουν σε μεγάλο σχετικά υψόμετρο, έως και 500 m, λόγω των εξαιρετικά ομαλών κλίσεων των βουνών. Οι κυριότεροι ποταμοί που διατρέχουν τη δυτική πλευρά είναι οι εξής: Ενιππέας, Φαρσαλιώτης, Σοφαδίτικος, Καλέτζης, Πλιούρης (Πάμισος), Ληθαίος και Ντολερίτης.

3.4 Γεωλογικά χαρακτηριστικά του υδατικού διαμερίσματος

Το Υδατικό Διαμέρισμα της Θεσσαλίας παρουσιάζει απλή γεωμορφολογική εικόνα, με τα ορεινά τμήματά του στις περιφερειακές περιοχές και τα πεδινά στις κεντρικές περιοχές. Υπάρχουν πέντε ορεινοί όγκοι, μεταξύ των οποίων ο Όλυμπος, με υψόμετρο 2917 μέτρα, το υψηλότερο στην Ελλάδα. Το πεδινό τμήμα χωρίζεται από τα χαμηλά Χαλκηδόνια όρη σχηματίζοντας δύο μεγάλες πεδινές ενότητες: την ανατολική και τη δυτική. Οι δύο αυτές ενότητες είναι ανεξάρτητες από υδρογεωλογική άποψη.

Το Θεσσαλικό πεδίο είναι ένα τεκτονικό βύθισμα που περιβάλλεται από τις οροσειρές Ολύμπου-Καμβουνίων στα βόρεια, Πίνδου στα δυτικά, Όθρυος στα νότια και Πηλίου-Όσσας στα ανατολικά (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2006).

Στο υδατικό διαμέρισμα αναπτύσσονται από τα ανατολικά προς τα δυτικά οι ακόλουθες γεωτεκτονικές ζώνες και ενότητες:

- i. Ενότητα Όσσας, που συναντάται στο ομώνυμο βουνό και στον Όλυμπο. Περιλαμβάνει φυλλίτες, μάρμαρα και δολομίτες.
- ii. Πελαγονική Ζώνη, που συναντάται στο ανατολικό τμήμα του διαμερίσματος, το οποίο περιλαμβάνει κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους και μάρμαρα, όπως επίσης και σε μεγάλο βαθμό γνεύσιους, σχιστόλιθους και αμφιλοβίτες.
- iii. Υποπελαγονική Ζώνη, που συναντάται στην κεντρική Θεσσαλία, με κύριο χαρακτηριστικό την εκτεταμένη ανάπτυξη των οφιολιθικών υπερβασικών πετρωμάτων του φλύσχη και των σχιστοκερατολίθων.
- iv. Ζώνη της Πίνδου, που αναπτύσσεται στα δυτικά όρια της πεδιάδας προς την οροσειρά της Πίνδου και αποτελείται από λεπτοπλακάδες ασβεστόλιθους σε εναλλαγές με σχιστοκερατόλιθους, όπως επίσης και φλύσχη.
- v. Στο δυτικό τμήμα της Θεσσαλικής πεδιάδας αναπτύσσονται τα μολασσικά ιζήματα της μεσοελληνικής αύλακας, που αποτελούνται κυρίως στο από μεγάλο πάχους συνεκτικά κροκαλοπαγή.

Το πεδινό τμήμα του διαμερίσματος, όπως επίσης και τους λόφους που παρεμβάλλονται μεταξύ δυτικής και ανατολικής Θεσσαλίας, καλύπτουν σύγχρονα τεταρτογενή και νεογενή ιζήματα.

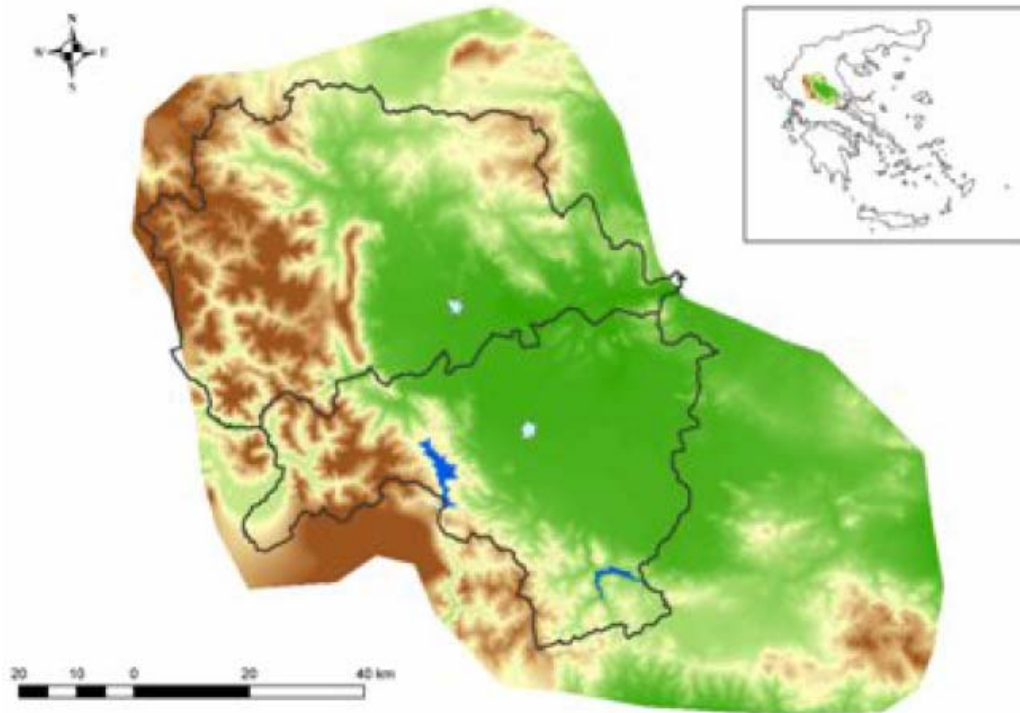
Το νότιο τμήμα του διαμερίσματος, που στο παρελθόν ήταν λίμνη ενώ στις μέρες μας καταλαμβάνεται από καλλιεργούμενες εκτάσεις, έχει περιορισμένες βροχοπτώσεις οι οποίες ακόμα και με τη συμβολή των βορειοδυτικών απορροών του Πηλίου και του Μαυροβουνίου δεν επαρκούν για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών της περιοχής. Συνέπεια αυτού είναι η άντληση των υπογείων αποθεμάτων της περιοχής, με αποτέλεσμα την σταθερή μείωση του δυναμικού τους σε τέτοιο βαθμό ώστε να έχουν εμφανιστεί έντονα φαινόμενα υφαλμύρισης.

3.5 Ο Νομός Καρδίτσας

3.5.1 Γενικά

Ο Νομός Καρδίτσας βρίσκεται στην Κεντρική Ελλάδα και συγκεκριμένα στο νοτιοδυτικό τμήμα του γεωγραφικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας. Ο Νομός καταλαμβάνει έκταση 2636 km² και εκτείνεται σε δύο υδατικά διαμερίσματα, της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας και της Θεσσαλίας. Το δυτικό τμήμα του, που ανήκει στη λεκάνη απορροής του Αχελώου, είναι ορεινό, με λίγες αρδευτικές εκτάσεις και ιδιαίτερα σημαντικό υδατικό πλούτο, αφού εκεί

βρίσκεται και ο ταμιευτήρας Πλαστήρα. Το ανατολικό τμήμα του Νομού ανήκει στη λεκάνη απορροής του Πηνειού, και αποτελεί κομμάτι του Θεσσαλικού κάμπου, με σημαντικές αρδευτικές εκτάσεις. Στο νοτιοανατολικό τμήμα έχει πρόσφατα κατασκευαστεί ο ταμιευτήρας Σμοκόβου, που προβλέπεται να εξυπηρετεί μια αρδευτική περιοχή 252000 στρεμμάτων (Ευστρατιάδης κ.ά., 2008). Η περιοχή των δύο λεκανών ανάντη φράγματος Λίμνης Πλαστήρα και Σμοκόβου φαίνονται στο Σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.2: Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της Δυτικής Θεσσαλίας όπου απεικονίζονται τα όρια των νομών Τρικάλων και Καρδίτσας και οι ταμιευτήρες Πλαστήρα και Σμοκόβου (Ευστρατιάδης, 2000).

3.5.2 Κλιματικές συνθήκες

Στην περιοχή μελέτης διακρίνονται δύο τύποι κλίματος:

- i. ηπειρωτικό κλίμα στην πεδινή περιοχή
- ii. ορεινό κλίμα στη δυτική ορεινή περιοχή.

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

Το ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων είναι μεγάλο στο Νομό Καρδίτσας σε σύγκριση με του Νομούς Λάρισας και Βόλου και κυρίως στα δυτικά ορεινά του Νομού. Ενδεικτικές τιμές μέσης ετήσιας βροχόπτωσης είναι 550 mm στο σταθμό του Τυρνάβου και 1142 mm στο σταθμό του Μουζακίου. Οι πιο βροχεροί μήνες είναι από τον Οκτώβριο μέχρι τον Ιανουάριο, ενώ οι πιο ξηροί ο Ιούλιος και ο Αύγουστος. Οι χιονοπτώσεις είναι συνηθισμένες στα ορεινά του Νομού. Η μέση ετήσια νέφωση κυμαίνεται από 4 έως 5 βαθμίδες, ενώ η μέση σχετική υγρασία κυμαίνεται από 67 έως 72%.

3.5.3 Πληθυσμιακά δεδομένα

Ο Νομός Καρδίτσας είναι ο μικρότερος πληθυσμιακά νομός της Θεσσαλίας με 129000 κατοίκους, βάσει της απογραφής του 2001. Κατά τη δεκαετία 1991-2001, ο πληθυσμός παρουσίασε πολύ μικρό ποσοστό αύξησης, της τάξης του 2.3%. Ο Νόμος Καρδίτσας περιλαμβάνει είκοσι Δήμους στα διοικητικά του όρια, με το Δήμο Καρδίτσας να είναι η πρωτεύουσα του Νομού, με πληθυσμό περίπου 37000 κατοίκους. Οι Δήμοι Παλαμά, Σοφάδων και Μουζακίου συγκεντρώνουν ένα ακόμη σημαντικό ποσοστό του πληθυσμού του Νομού. Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζεται ο πληθυσμός όλων των δήμων, με βάση τις απογραφές του 1991 και του 2001.

Πίνακας 3.1: Πληθυσμός Νομού Καρδίτσας ανά Δήμο (Κουτσογιάννης, 2002)

Δήμος	Κοινότητες	Πληθυσμός		Διαφορ ά (2001- 1991)
		1991	2001	
ΑΡΓΙΘΕΑΣ	Αργιθέα - Ελληνικό - Θερινό - Καληκώμη -Καρυά - Μεσοβούνι - Πετρωτό	1 583	2 618	+ 65.4
ΑΡΝΗΣ	Ερμήτσι - Κυψέλη - Πύργος Κιερίου	3 689	3 295	- 10.7
ΑΧΕΛΩΟΥ	Αργυρό - Καταφύλλι - Μάραθος	1 212	1 695	40.0
ΙΘΩΜΗΣ	Άγιος Ακάκιος - Ελληνόπυργος - Καππά - Κανάλια - Λοξάδα - Πύργος Ιθώμης - Χάρμα	3 636	3 125	-14.0
ΙΤΑΜΟΥ	Αμάραντος - Αμπελικό - Καροπλέσι - Καστανιά - Καταφύγι - Νεράιδα - Ραχούλα	4 198	4 728	+ 12.6
ΚΑΛΛΙΦΩΝΙΟΥ	Απιδιά - Δαφνοσπηλιά - Ζαΐμι - Μολόχα - Παλιούρι	3 469	3 257	-6.0
ΚΑΜΠΟΥ	Άγιος Θεόδωρος - Μακρυχώρι - Μέλισσα - Μυρίνη - Πρόδρομος - Πτελοπούλα	5 591	5 471	- 2.1
ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Αγιοπηγή - Αρτεσιανό - Ρούσσο - Παλαιοκκλήσι - Καρδιτσομαγούλα- Καρδίτσα	36 168	37 707	+ 4.2
ΜΕΝΕΛΑΪΔΟΣ	Αηδονοχώρι - Βαθύλακκος - Θραψίμι - Λουτροπηγή - Λουτρό- Κέδρος	3 067	2 687	-10.0
ΜΗΤΡΟΠΟΛΗΣ	Άγιος Γεώργιος - Γεωργικό - Κρύα βρύση - Ξυνονέρι - Πορτίτσα - Φράγκο- Μητρόπολη	4 573	4 755	4.0
ΜΟΥΖΑΚΙΟΥ	Αμυγδαλή - Ανθοχώρι - Βατσουνιά - Γελάνθη - Δρακότρυπα - Ελληνόκαστρο - Κρυοπηγή - Λαζαρίνα -Μαγουλίτσα - Μαυρομμάτι - Οξύα - Πευκόφυτο - Πορτή- Μουζάκι	10 299	10 149	- 1.4
ΝΕΒΡΟΠΟΛΗΣ	Καρβασσαρά - Καρίτσα Δολόπων - Κρυονέρι - Μπελοκομύτης - Νεοχώρι - Φυλακτή- Πεζούλα	3 287	3 615	10.0
ΠΑΛΑΜΑ	Άγιος Δημήτριος - Βλοχός - Κοσκινά - Γοροβίτες - Μάρκος - Μεταμόρφωση- Παλαμά	10 01	10 024	0.0

Πίνακας 3.1: Πληθυσμός Νομού Καρδίτσας ανά Δήμο (Κουτσογιάννης, 2002) (συνέχεια)

ΠΑΜΙΣΟΥ	Κρασιά - Μαγούλα - Παλαιοχώρι - Ριζοβούνι- Αγναντερό	4 995	4 643	- 7.0
ΠΛΑΣΤΗΡΑ	Κερασιά - Λαμπερό - Μεσενικόλας - Μοσχάτο- Μορφοβούνι	2 717	3 916	+ 44.2
ΡΕΝΤΙΝΑΣ	Ρεντίνας	573	757	+ 32.1
ΣΕΛΛΑΝΩΝ	Αγία Τριάδα - Καλογριανά - Μαραθέα - Πεδινό-Προάστιο	5 704	5 078	-11.0
ΣΟΦΑΔΩΝ	Αγία Παρασκευή - Άγιος Βησσάριος - Άμπελος - Ανώγειο - Γεφύρια - Δασοχώρι - Καππαδοκικό - Καρποχώρι - Μοσχολούρι - Μαυραχάδες - Μελισσοχώρι - Πασχαλίτσα - Φίλια- Σοφάδων	12 407	12 169	- 1.9
ΤΑΜΑΣΙΟΥ	Ανάβρα - Ασημοχώρι - Αχλαδιά - Γραμματικό - Κτημένη-Λεονταρίου	4 529	4 05	- 10.6
ΦΥΛΛΟΥ	Αστρίτσα - Λεύκη - Ορφανά - Πέτρινο - Συκεώνα - Φύλλο- Ιτέα	4 181	4 038	- 3.4

3.5.4 Αναπτυξιακά δεδομένα

Η ανάπτυξη του Νομού Καρδίτσας βασίζεται κυρίως στην αγροτική οικονομία, η οποία αποτελεί την οικονομική βάση όλης της περιοχής μελέτης. Ο νομός συγκεντρώνει ποσοστό 1.2% του πληθυσμού της χώρας και 0.9% του Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος. Όπως μπορούμε να διακρίνουμε και στον Πίνακα 3.2, περίπου ο μισός οικονομικά ενεργός πληθυσμός απασχολείται στη γεωργία, ενώ το συγκεκριμένο ποσοστό είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο ποσοστό της Περιφέρειας Θεσσαλίας.

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

Ο κλάδος των μεταποιητικών επιχειρήσεων αποτελεί το κύριο αντικείμενο δραστηριότητας των επιχειρήσεων του δευτερογενούς τομέα. Στον κλάδο των μεταποιητικών επιχειρήσεων εργάζεται το 9.7% των απασχολούμενων του Δήμου Καρδίτσας, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό στο Νομό Καρδίτσας φθάνει το 6.35% και στην Περιφέρεια Θεσσαλίας το 13.28%.

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

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

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

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

Πίνακας 3.2: Ποσοστά απασχόλησης κατά τομέα οικονομικής δραστηριότητας σε σχέση με το σύνολο της Περιφέρειας Θεσσαλίας και το σύνολο του Νομού Καρδίτσας (Κουστογιάννης, 2002)

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

Αγροτική παραγωγή

Το σύνολο των καλλιεργούμενων εκτάσεων του Νομού Καρδίτσας για τα έτη 1996-2001 και οι ποσότητες των αγροτικών προϊόντων, δίνονται στους Πίνακες 3.3 και 3.4, αντίστοιχα. Από τα συγκεντρωτικά στοιχεία προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

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

Πίνακας 3.3: Συνολικές καλλιεργούμενες και αρδευθείσες εκτάσεις Νομού Καρδίτσας (στρέμματα) (Ναλμπάντης, 1999)

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

Πίνακας 3.4: Αγροτική παραγωγή Νομού Καρδίτσας (τόνοι) (Ναλμπάντης, 1999)

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

Έργα υποδομής

Τα έργα υποδομής της περιοχής μελέτης αφορούν χρηματοδοτήσεις από τα κοινοτικά πλαίσια στήριξης καθώς και από τα Επιχειρησιακά προγράμματα της Περιφέρειας Θεσσαλίας. Στην μελέτη του ΥΠΕΧΩΔΕ (2006) είναι διαθέσιμος κατάλογος ενταγμένων έργων στο Περιφερειακό Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Θεσσαλίας, καθώς και στο επιχειρησιακό πρόγραμμα Περιβάλλον της Περιφέρειας. Με βάση την απόδοση των κονδυλίων συμπεραίνεται ότι η βασική χρηματοδοτική στήριξη δόθηκε στις υποδομές του Νομού. Συγκεκριμένα, διατέθηκαν πόροι για την κατασκευή δρόμων, για την συντήρηση και κατασκευή σχολικών μονάδων στην Καρδίτσα και άλλους Δήμους, καθώς και του κτηρίου του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Επεξεργασίας Ξύλου.

Όσον αφορά στα έργα που σχετίζονται με την διαχείριση του υδροδοτικού συστήματος της περιοχής μελέτης, ολοκληρώθηκαν οι επεκτάσεις του δικτύου ύδρευσης-αποχέτευσης για όλο το δήμο Καρδίτσας με χρηματοδότηση από το Ταμείο Συνοχής, παραδόθηκε η επέκταση του βιολογικού καθαρισμού του Δήμου Καρδίτσας και χρηματοδοτήθηκε η ύδρευση του Δήμου Σοφάδων από το Περιφερειακό Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Θεσσαλίας. Ακόμη, κατασκευάστηκαν μικρότερης κλίμακας αντιπλημμυρικά έργα σε δημοτικά διαμερίσματα του Νομού.

Μελλοντικά, προβλέπεται να πραγματοποιηθεί η εκτροπή μέρους του υδατικού δυναμικού του Άνω Αχελώου ($600 \times 10^6 \text{ m}^3$ ετησίως), μέσω του ταμιευτήρα Συκιάς και της σήραγγας εκτροπής Αχελώου. Το έργο είναι πολλαπλής σκοπιμότητας και θα εξυπηρετήσει την περιβαλλοντική προστασία της Θεσσαλίας, την παραγωγή ενέργειας και την άρδευση. Επιπλέον, προβλέπεται η κατασκευή αρκετών φραγμάτων στις υπώρειες των περιμετρικών ορεινών όγκων, για την καλύτερη αξιοποίηση των τοπικών υδατικών πόρων (Κουτσογιάννης κ.ά., 1999). Το μείζον αυτό σύμπλεγμα έργων αναμένεται να επηρεάσει καθοριστικά την οικονομία της περιοχής.

Τουρισμός

Η ανάπτυξη της τουριστικής οικονομίας είναι πολύ σημαντικός παράγοντας, με δεδομένη την μείωση που εμφανίζεται την τελευταία δεκαετία στην απασχόληση στον πρωτογενή τομέα. Οι τουριστικοί πόλοι του νομού είναι τα παραλίμνια χωριά της λίμνης Πλαστήρα, η πόλη της Καρδίτσας και μελλοντικά η αναμενόμενη τουριστική ανάπτυξη της λίμνης Σμοκόβου. Από

στατιστικά στοιχεία όσον αφορά στην τουριστική κίνηση του Νομού για την περίοδο 1993-1999 μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα:

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

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

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

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

3.5.5 Επιφανειακοί υδατικοί πόροι

Το επιφανειακό υδατικό δυναμικό της περιοχής περιλαμβάνει δύο συνιστώσες:

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

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

3.5.6 Υπόγειοι υδατικοί πόροι

Στο Νομό Καρδίτσας αναπτύσσονται οι παρακάτω υδροφορείς:

- i. οι κώνοι Πορταϊκού-Παμίσου-Πηνειού, στο βορειοδυτικό τμήμα του νομού, με υψηλό δυναμικό φρεάτιο υδροφορέα, που τροφοδοτείται από τις διηθήσεις των τριών ποταμών αλλά και από την κατείδυση της βροχής.
- ii. ο κώνος του Σοφαδίτη, με υψηλό δυναμικό φρεάτιο υδροφορέα, που μεταπίπτει σε υπό πίεση και τροφοδοτείται από τις διηθήσεις του ποταμού.

iii. το υπόλοιπο της πεδιάδας, με πολλούς επάλληλους υπό πίεση υδροφορείς που τροφοδοτούνται κυρίως από τους κώνους των παραποτάμων του Πηνειού, με βραδύτατο όμως ρυθμό, πράγμα που δυσχεραίνει την επαναπλήρωση των ποσοτήτων νερού που αντλούνται.

Γενικά, ελλείπει άλλων έργων επιφανειακής ταμίευσης πλην των έργων Πλαστήρα και Σμοκόβου, παρατηρείται έντονη εκμετάλλευση των υπόγειων υδατικών πόρων για την κάλυψη των αρδευτικών, κυρίως, αναγκών, γεγονός που έχει συμβάλει στην έντονη ταπείνωση της στάθμης του υδροφορέα, ειδικά στην περιοχή των Σοφάδων.

3.5.7 Χρήσεις νερού

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

Ύδρευση

Η κύρια πηγή υδρευτικού νερού στο Νομό Καρδίτσας είναι ο ταμιευτήρας Πλαστήρα. Οι εκροές του ταμιευτήρα, μετά την αναρρυθμιστική λίμνη, διοχετεύονται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας του Συνδέσμου Ύδρευσης και στη συνέχεια διανέμονται στο δίκτυο ύδρευσης.

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

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

Το δίκτυο του Συνδέσμου χωρίζεται σε τρεις βασικούς κλάδους:

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

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

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

- στην αλόγιστη χρήση νερού για αρδευτικούς σκοπούς κατά τη θερινή περίοδο
- σημαντικές διαρροές στα εσωτερικά δίκτυα των Δημοτικών Διαμερισμάτων
- στις απώλειες του κυρίου κλάδου
- στην κακή εκπλήρωση των οικονομικών υποχρεώσεων των δήμων απέναντι στο Σύνδεσμο.

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

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι στη συντριπτική πλειοψηφία των Δημοτικών Διαμερισμάτων του ανατολικού και βόρειου κλάδου παρατηρούνται μέσες καταναλώσεις μεγαλύτερες από την κανονική.

Οι μελλοντικές παρεμβάσεις στο υδροδοτικό δίκτυο του νομού αφορούν:

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

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

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

Σήμερα, οι Δήμοι Ταμασίου, Μενελαΐδος, Σοφάδων, Άρνης, Παλαμά και Φύλλου, υδροδοτούνται είτε από γεωτρήσεις είτε από πηγές. Σε πολλές περιπτώσεις, στον υπόγειο υδροφορέα παρουσιάζονται υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών και φυτοφαρμάκων. Μελλοντικά, οι περιοχές αυτές θα υδρεύονται από τον ταμιευτήρα Σμοκόβου. Το δίκτυο που θα κατασκευαστεί προβλέπεται να εξυπηρετεί 55 οικισμούς.

Σε επίπεδο προμελέτης έχουν προταθεί τρεις εναλλακτικές λύσεις για την κατασκευή του υδρευτικού δικτύου. Από οικονομική άποψη, προτιμητέα θεωρείται η λύση κατά την οποία το κεντρικό υδραγωγείο ξεκινά δίπλα από τη σήραγγα Λεονταρίου. Στην περίπτωση αυτή προβλέπεται η λειτουργία δύο μόνο συλλογικών δεξαμενών, ενώ η χάραξη των αγωγών ακολουθεί την μέγιστη δυνατή ευθυγραμμία. Βάση της προμελέτης προβλέπονται τρεις κεντρικοί κλάδοι: Ο ανατολικός κλάδος θα εξυπηρετεί τους οικισμούς Γραμματικό, Νέο Ικόνιο, Πασχαλίτσα, Γεφύρια, , Λεύκη, Ορφανά, Φύλλο, Άμπελο, Ιτέα, Συκεώνα, Πέτρινο και Άγιο Δημήτριο. Ο κεντρικός κλάδος θα τροφοδοτεί τους οικισμούς Καππαδοκικό, Άγιο Βησσάριο, Κυψέλη, Ματαράγκα, Ερμήτσι, Μάρκο, Γοργοβίτες, Καλυβάκια, Κοσκινά, Ψαθοχώρι, Μεταμόρφωση, Παλαμά, Μοσχολούρι και Σοφάδες. Τέλος, ο δυτικός κλάδος τροφοδοτεί τα χωριά Ασημοχώρι, Λεοντάρι, Ανάβρα, Κέδρος, Λουτρό, Παλιούρι, Δαφνοσπηλιά, Ζαίμι, Φίλια, Μαυραχάδες, Ανώγειο, Άμπελο, Αγία Παρασκευή και Καρποχώρι.

Άρδευση

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

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

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

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

Παραγωγή ενέργειας

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

Το υδροηλεκτρικό έργο Πλαστήρα, που είναι το μοναδικό αξιόλογο σε όλη τη Θεσσαλία, αποτελείται από τρεις υπαίθριες μονάδες Pelton, συνολικής εγκαταστημένης ισχύος 129.9 MW, και παράγει ενέργεια 220 GWh ετησίως. Η προσαγωγή από τον ταμιευτήρα γίνεται μέσω σήραγγας μήκους 2625 m και διαμέτρου 3.5 m. Το μέγιστο ύψος πτώσης ανέρχεται σε 577 m και συγκαταλέγεται στα μεγαλύτερα που υπάρχουν στον ελληνικό χώρο. Μετά την έξοδο από τους στροβίλους, το νερό αποθηκεύεται στην αναρρυθμιστική λίμνη συνολικού όγκου 600 000 m³ και, στη συνέχεια, είτε διατίθεται για άρδευση, είτε για περαιτέρω επεξεργασία για υδρευτικούς σκοπούς.

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

Ο υδροηλεκτρικός σταθμός Λεονταρίου, που λειτουργεί υπό την εποπτεία της ΔΕΗ, βρίσκεται στην έξοδο της ομώνυμης σήραγγας. Ο σταθμός περιλαμβάνει τρεις στροβίλους τύπου Francis με παροχές λειτουργίας από 2 έως 5 m³/s, από 5 έως 10 m³/s και από 10 έως 25 m³/s αντίστοιχα. Με αυτό τον τρόπο καλύπτεται όλο το φάσμα των διερχόμενων παροχών που κυμαίνονται από 2 έως 25 m³/s. Η καθαρή υψομετρική διαφορά μεταξύ της στάθμης του ταμιευτήρα και της στάθμης εξόδου κυμαίνεται από 28 έως 88 m. Η γραμμή μεταφοράς ενέργειας είναι μέσης τάσης 15 KW και συνδέεται με τον υποσταθμό Λεονταρίου.

Περιβαλλοντικοί περιορισμοί

Το σημαντικότερο περιβαλλοντικό μέτρο της περιοχής μελέτης αφορά στη λειτουργία του ταμιευτήρα Σμοκόβου, και αναφέρεται στην διατήρηση μιας ελάχιστης ροής κατάντη του φράγματος, που θα διοχετεύεται μέσω της σήραγγας του εκκενωτή. Με βάση την Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων του έργου η οικολογική εκροή που θα διοχετεύεται την περίοδο Απριλίου-Σεπτεμβρίου, φτάνοντας αθροιστικά τα 10.0×10⁶ m³, προβλέπεται να ακολουθεί την κατανομή του Πίνακα 3.5 (διαφορετική είναι η κατανομή που προτείνει η Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων Καρδίτσας, η οποία επίσης παρατίθεται στον πίνακα). Με τον τρόπο αυτό, θα

εξασφαλίζεται μια ελάχιστη θερινή παροχή στον κώνο του Σοφαδίτη, που θα κυμαίνεται από 0.7 έως 1.1 m³/s.

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

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

Μετά από διερεύνηση όλων των συνιστωσών που διέπουν τη βιώσιμη διαχείριση του ταμιευτήρα (ποσοτικών, ποιοτικών και περιβαλλοντικών), προτάθηκε η θεσμοθέτηση ενός ελάχιστου ορίου απολήψεων, που αντιστοιχεί στη στάθμη των +782 m, έναντι των +776 m που είναι το φυσικό όριο υδροληψίας. Η τήρηση του εν λόγω περιορισμού, με σταθεροποίηση των ετήσιων απολήψεων στα επίπεδα των 134×10⁶ m³, αναμένεται να εξασφαλίσει υψηλή (90%) αξιοπιστία στην εξυπηρέτηση των αρδευτικών και υδρευτικών χρήσεων, προστασία της ποιότητας του νερού της λίμνης και ανάδειξη του περιβάλλοντος τοπίου (λόγω μείωσης της διακύμανσης της στάθμης), που αποτελεί πόλο έλξης για τον τουρισμό.

Πίνακας 3.5: Προτεινόμενα σενάρια μηνιαίας κατανομής της περιβαλλοντικής εκροής κατάντη του φράγματος Σμοκόβου (όγκοι νερού σε 10⁶ m³) (Κουκουβίνος, 2006).

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

3.6 Η Λίμνη Πλαστήρα και ο ταμιευτήρας Σμοκόβου

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

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

και τον εμπλουτισμό του υδροφόρου ορίζοντα, καταργώντας παράλληλα το μεγάλο πλήθος των αρδευτικών γεωτρήσεων της περιοχής.

Πίνακας 3.6: Χαρακτηριστικά ταμιευτήρων Πλαστήρα και Σμοκόβου (Ευστρατιάδης, κ.ά., 2008)

	Πλαστήρας	Σμοκόβο
Στάθμη υδροληψίας (m)	776.0	331.0
Στάθμη υπερχειλίσης (m)	792.0	375.0
Νεκρός όγκος (10^6 m^3)	75.5	38.4
Μικτή χωρητικότητα (10^6 m^3)	361.8	237.6
Ωφέλιμη χωρητικότητα (10^6 m^3)	286.3	209.2
Παροχευτικότητα σήραγγας προσαγωγής (m^3/s)	20.8	25.0
Εγκατεστημένη ισχύς (MW)	129.9	15.0
Έκταση υπολεκάνης απορροής (km^2)	161.3	376.5

3.7 Οι λεκάνες ανάντη των φραγμάτων Λίμνης Πλαστήρα και Σμοκόβου

Η λεκάνη απορροής ανάντη του φράγματος Πλαστήρα έχει έκταση 161.3 km^2 . Ο δυτικός υδροκρίτης της ορίζεται από την οροσειρά των Αγράφων, από όπου πηγάζουν τα κύρια υδατορεύματα της περιοχής, το Μεγάλο Ποτάμι και ο Καρυτσιώτης. Το πρώτο πηγάζει από τα βορειοδυτικά και εκβάλλει στην περιοχή του οικισμού Καλύβια. Το δεύτερο πηγάζει από τα νοτιοδυτικά και εκβάλλει νότια του οικισμού Μπελοκομύτη. Η στάθμη υδροληψίας του ταμιευτήρα βρίσκεται σε απόλυτο υψόμετρο $+776 \text{ m}$, ενώ η στάθμη υπερχειλίσης βρίσκεται στα $+792 \text{ m}$. Η μικτή χωρητικότητα του ταμιευτήρα ανέρχεται σε $361.8 \times 10^6 \text{ m}^3$, ενώ ο νεκρός του όγκος φτάνει τα $75.5 \times 10^6 \text{ m}^3$. Κατά συνέπεια, η ωφέλιμη χωρητικότητα του ταμιευτήρα εκτιμάται σε $286.3 \times 10^6 \text{ m}^3$. Το σχήμα της λίμνης είναι επίμηκες, με κατεύθυνση βορρά-νότου. Ο ταμιευτήρας έχει μέγιστο μήκος 14 km , μέγιστο πλάτος 4 km και μέγιστο βάθος περί τα 60 m , ενώ το μήκος της ακτογραμμής του ξεπερνά τα 70 km .

Η λεκάνη απορροής ανάντη του φράγματος Σμοκόβου έχει έκταση 376.5 km^2 . Ο υδροκρίτης της ορίζεται από την οροσειρά των Αγράφων, την οροσειρά του Τυμφρηστού στα νοτιοδυτικά, τον όρο Όθρυς στα Νότια, την αποξηραμένη λίμνη της Ξυνιάδας στα ανατολικά και τα όρη Ξεροβούνι, Κούμαρος, Πλατειά Ράχη, Παλιομονάστηρο, Κρανόραχη και Κατάχλωμο στα βόρεια. Η ανώτατη στάθμη λειτουργίας η οποία ταυτίζεται με τη στάθμη υπερχειλίσης του ταμιευτήρα είναι στα $+375 \text{ m}$, ενώ η κατώτερη (στάθμη υδροληψίας) στα $+331 \text{ m}$. Το μέγιστο απόθεμά του ανέρχεται στα $237.6 \times 10^6 \text{ m}^3$ και ο νεκρός του όγκος στα $38.4 \times 10^6 \text{ m}^3$. Η ωφέλιμη χωρητικότητα του ταμιευτήρα είναι $209.2 \times 10^6 \text{ m}^3$. Τέλος, η έκταση της λίμνης στην ανώτατη στάθμη της ανέρχεται σε 8.4 km^2 .

4 Μεθοδολογία εκτίμησης επιφανειακού υδατικού δυναμικού λεκάνης απορροής

4.1 Εκτίμηση Εκμεταλλεύσιμου Επιφανειακού Υδατικού Δυναμικού (ΕΕΥΔ) λεκάνης απορροής

4.1.1 Εισαγωγή

Η υλοποίηση μέτρων προστασίας και αξιοποίησης των υδατικών πόρων μιας περιοχής προϋποθέτει τη γνώση των ποσοτήτων νερού που διακινούνται, στα πλαίσια του υδρολογικού κύκλου, στην περιοχή μελέτης (Ναλμπάντης, 2007). Οι ποσότητες αυτές αναφέρονται με τον όρο διαθέσιμοι υδατικοί πόροι και παρουσιάζουν μεγάλη αβεβαιότητα σε όλες τις χωρικές και χρονικές κλίμακες. Αυτό οφείλεται, κυρίως, σε φυσικές διεργασίες, αλλά και σε ανθρωπογενείς επεμβάσεις στο περιβάλλον οι οποίες διαφοροποιούν τη χωροχρονική κατανομή του νερού και την ποιοτική κατάστασή του. Για να εκτιμηθούν, ποσοτικά, οι διαθέσιμοι υδατικοί πόροι απαιτούνται οι ακόλουθες πληροφορίες:

- i. Η χρονική κλίμακα μελέτης (μηνιαία)
- ii. Η χωρική κλίμακα μελέτης (έκταση λεκάνης απορροής ταμιευτήρων)
- iii. Ένα υδρολογικό μέγεθος που να εκφράζει τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους
- iv. Ένα μέγεθος που να εκφράζει την αβεβαιότητα για τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους

Το μέγεθος που εκφράζει τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους σε μια λεκάνη απορροής είναι ο ρυθμός ροής δια μέσου της λεκάνης, είτε επιφανειακά, είτε υπεδαφίως ή ακόμη και υπόγεια. Ο ρυθμός αυτός, εκφρασμένος ως όγκος νερού στη χρονική κλίμακα μελέτης, αναφέρεται ως Συνολικό Θεωρητικό Υδατικό Δυναμικό (ΣΘΥΔ) της λεκάνης απορροής..

Στις περιπτώσεις που η ροή του υπόγειου νερού είναι δυνατό να αγνοηθεί (Ναλμπάντης και Τσακίρης, 2006), γίνεται λόγος για το Θεωρητικό Επιφανειακό Υδατικό Δυναμικό (ΘΕΥΔ) της εξεταζόμενης λεκάνης απορροής. Το ΘΕΥΔ εκφράζεται από την απορροή του κύριου υδατορεύματος της λεκάνης στο στόμιο εξόδου της. Δεν αποτελεί μια πραγματικά απολήψιμη ποσότητα νερού. Γι' αυτό, ορίζεται και το Εκμεταλλεύσιμο Επιφανειακό Υδατικό Δυναμικό (ΕΕΥΔ) ως το τμήμα του ΘΕΥΔ που είναι απολήψιμο για χρήσεις νερού, όταν ληφθούν υπόψη όλα τα έργα αξιοποίησης υδατικών πόρων (π.χ., έργα εκτροπής, ταμιευτήρες) που υφίστανται ή έχουν μελετηθεί στην εξεταζόμενη λεκάνη απορροής. Τα έργα αυτά εισάγουν περιορισμούς στην απολήψιμη ποσότητα νερού. Περιορισμοί ποιότητας νερού δεν λαμβάνονται, συνήθως, υπόψη για την εκτίμηση του ΕΕΥΔ.

Για την εκτίμηση του ΕΕΥΔ λεκάνης απορροής με ταμιευτήρα στην έξοδό της πραγματοποιούνται δοκιμαστικές προσομοιώσεις της λειτουργίας του ταμιευτήρα για μεγάλη χρονική περίοδο (π.χ., 2000 ετών) και εκτιμάται εκείνη η τιμή της ετήσιας ζήτησης νερού που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη υψηλή αξιοπιστία του ταμιευτήρα (π.χ., 90%, 95% ή 99%). Η προσομοίωση λειτουργίας του ταμιευτήρα περιγράφεται στο επόμενο εδάφιο.

4.1.2 Προσομοίωση λειτουργίας ταμιευτήρα

Θεωρούμε τους δυο ταμιευτήρες απομονωμένους, να δέχονται δηλαδή εισροές μόνο από τις αντίστοιχες λεκάνες απορροής. Για λόγους απλότητας, θεωρούμε ότι οι ταμιευτήρες εξυπηρετούν μόνο δύο χρήσεις νερού : (α) την ύδρευση και (β) την περιβαλλοντική διατήρηση. Η πρώτη χαρακτηρίζεται από την ετήσια ζήτηση νερού D . Η δεύτερη εκφράζεται ως απαίτηση για διατήρηση μιας ελάχιστης παροχής νερού, γνωστής ως οικολογικής παροχής. Η οικολογική παροχή θεωρείται γνωστός μηνιαίος όγκος νερού που μεταβάλλεται από μήνα σε μήνα, αλλά όχι από το ένα υδρολογικό έτος στο άλλο. Θεωρείται επίσης η γνωστή ωφέλιμη χωρητικότητα του ταμιευτήρα K (όγκος από τη στάθμη υδροληψίας, που ταυτίζεται με την Κατώτατη Στάθμη, μέχρι την ανώτατη στάθμη λειτουργίας θεωρούμενη συνήθως στην στάθμη υπερχειλίσσης). Παρακάτω παρουσιάζονται οι εξισώσεις που συγκροτούν το μοντέλο προσομοίωσης της λειτουργίας του ταμιευτήρα. Ως χρονική κλίμακα χρησιμοποιείται ο μήνας.

Μοντέλο προσομοίωσης λειτουργίας του ταμιευτήρα

Ο χρόνος σε όλα τα υδρολογικά μεγέθη παριστάνεται με δύο δείκτες: i , για το υδρολογικό έτος, και j για το μήνα. Στο υδατικό ισοζύγιο του ταμιευτήρα συμβάλλουν τα παρακάτω μεγέθη (Ναλμπάντης, 2007):

Εισροές

- i. Συνολική απορροή υδατορευμάτων $Q_{i,j}$ το μήνα (i,j) σε όρους όγκου νερού
- ii. Βροχόπτωση πάνω στην επιφάνεια του ταμιευτήρα $P_{i,j}$ το μήνα (i,j) σε όρους ύψους νερού

Εκροές

- i. Εξάτμιση από την επιφάνεια του ταμιευτήρα $E_{i,j}$ το μήνα (i,j) σε όρους ύψους νερού
- ii. Υπόγεια διαφυγή $L_{i,j}$ το μήνα (i,j) σε όρους όγκου νερού
- iii. Απόληψη για περιβαλλοντική διατήρηση $RE_{i,j}$ το μήνα (i,j) σε όρους όγκου νερού
- iv. Απόληψη για ύδρευση $R_{i,j}$ το μήνα (i,j) σε όρους όγκου νερού
- v. Υπερχειλίσση $SP_{i,j}$ το μήνα (i,j) σε όρους όγκου νερού

Ωφέλιμο απόθεμα νερού: (ίσο με 0.0 στην κατώτατη και K στην ανώτατη στάθμη λειτουργίας)

- Στην αρχή του μήνα (i,j) , $S_{i,j}$
- Στο τέλος του μήνα (i,j) , $S_{i,j+1}$

Κατά την προσομοίωση των 2 ταμιευτήρων αγνοούμε την υπόγεια διαφυγή $L_{i,j}$

Πρώτα θεωρείται ότι εισρέει το νερό της απορροής και της βροχόπτωσης και ύστερα πραγματοποιείται η εξάτμιση. Έτσι, το προσωρινά διαθέσιμο νερό (για κάθε χρήση) το μήνα (i,j) είναι

$$SA_{i,j} = S_{i,j} + Q_{i,j} + \gamma P_{i,j} A_{i,j} - \gamma E_{i,j} A_{i,j} \quad (4.1)$$

Όπου γ είναι συντελεστής μετατροπής των μονάδων και $A_{i,j}$ είναι το εμβαδόν της επιφάνειας του καθρέφτη του ταμιευτήρα στην αρχή του μήνα (i,j) . Η τιμή του $A_{i,j}$ υπολογίζεται συνήθως ως συνάρτηση του ωφέλιμου όγκου του ταμιευτήρα στην αρχή του μήνα (i,j) . Ο τύπος της συνάρτησης αυτής υπολογίζεται από το διάγραμμα Επιφάνειας – Όγκου της περιοχής του ταμιευτήρα με την προσαρμογή πολυωνυμικής συνάρτησης στην φυσική καμπύλη.

Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η απόληψη για περιβαλλοντική διατήρηση σύμφωνα με ορισμένο κανόνα που λέγεται «κανόνας λειτουργίας». Ο κανόνας γράφεται ως εξής:

$$RE_{i,j} = \min(SA_{i,j}, q_j) \quad (4.2)$$

Στη συνέχεια από το διαθέσιμο νερό που απομένει ($SA_{i,j} - RE_{i,j}$), πραγματοποιείται απόληψη για ύδρευση σύμφωνα με τον ίδιο κανόνα, ως εξής:

$$R_{i,j} = \min(SA_{i,j} - RE_{i,j}, D_j) \quad (4.3)$$

Με βάση το νερό που απομένει ($SA_{i,j} - RE_{i,j} - R_{i,j}$), γίνεται έλεγχος της ενδεχόμενης υπερχειλίσης. Αν $SA_{i,j} - RE_{i,j} - R_{i,j} > K$, η ποσότητα που υπερβαίνει την χωρητικότητα K υπερχειλίζει. Αλλιώς, η υπερχειλίση είναι μηδενική. Σε αναλυτική μορφή:

$$SP_{i,j} = \max(SA_{i,j} - RE_{i,j} - R_{i,j}, 0) \quad (4.4)$$

Αν υπάρχει υπερχειλίση, αυτή μπορεί να καλύψει μέρος, ή το σύνολο, της οικολογικής παροχής.

Η εξίσωση συνέχειας (ή υδατικού ισοζυγίου) γράφεται ως εξής:

$$S_{i,j+1} = SA_{i,j} - RE_{i,j} - R_{i,j} - SP_{i,j} \quad (4.5)$$

Οι προηγούμενες 5 εξισώσεις 4.1 έως 4.5 έχουν πέντε άγνωστα μεγέθη ($SA_{i,j}$, $RE_{i,j}$, $R_{i,j}$, $SP_{i,j}$ και $S_{i,j+1}$) και η διαδοχική εφαρμογή τους αρκεί για τον υπολογισμό των αγνώστων.

Τα δεδομένα που απαιτούνται είναι:

1. Q_{ij} : Μηνιαία απορροή το μήνα (i,j)
2. P_{ij} : Επιφανειακό ύψος βροχής ανηγμένο στη μέση στάθμη του ταμιευτήρα το μήνα (i,j)
3. E_{ij} : Εξάτμιση το μήνα (i,j)
4. q_j : απαιτούμενος όγκος νερού για περιβαλλοντική διατήρηση (οικολογική παροχή) το μήνα j
5. λ_j : συντελεστής ανισοκατανομής της ζήτησης το μήνα j .
6. D_j : απαιτούμενος όγκος νερού για καταναλωτική χρήση (ύδρευση) τον μήνα j . Ισχύει ο τύπος:

$$D_j = \lambda_j D \quad (4.6)$$

όπου D είναι η ετήσια ζήτηση νερού

7. $A_{i,j}$: το εμβαδόν της επιφάνειας (καθρέφτη) του ταμιευτήρα στην αρχή του μήνα (i,j). Η τιμή του υπολογίζεται ως συνάρτηση του $S_{i,j}$ ($A_{i,j} = f(S_{i,j})$).

Έχοντας, πλέον, τα δεδομένα αυτά εκτελούμε προσομοίωση λειτουργίας των 2 ταμιευτήρων.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζονται στους πίνακες A10 και A11 του Παραρτήματος.

4.2 Το λογισμικό «Υδρογνώμων»

Το λογισμικό «Υδρογνώμων» είναι μέρος της ομάδας προγραμμάτων που κατασκευάστηκαν στα πλαίσια του έργου «Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών

πόρων ύδρευσης της Αθήνας» από τον Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Το λογισμικό εκτελεί τις παρακάτω λειτουργίες (<http://www.itia.ntua.gr>):

- Διαχείριση της υδρολογικής πληροφορίας (υδρομετεωρολογικά δεδομένα – ιδιότητες γεωγραφικών αντικειμένων) σε συνεργασία με την κεντρική βάση δεδομένων. Ουσιαστικά το λογισμικό «Υδρογνώμων» είναι το περιβάλλον χρήστη της βάσης δεδομένων.
- Επεξεργασία υδρολογικών δεδομένων, που αφορά στις επεξεργασίες χρονοσειρών μέσω των κατάλληλων μεθοδολογιών και αλγορίθμων.

Μπορεί να διαχειριστεί:

- Χρονοσειρές όπως βροχόπτωση, εξάτμιση, θερμοκρασία, σχετική υγρασία, στάθμη ταμιευτήρα, απορροή λεκάνης, παροχή υδατορεύματος κ.ά.
- Γεωγραφικά δεδομένα/«γεωγραφικές οντότητες» όπως πόλεις (cities), ταμιευτήρες (reservoirs), φράγματα (dams), μετεωρολογικούς σταθμούς (stations) κ.ά.
- Σταθερές υπολογισμών που συσχετίζονται με οντότητες του πραγματικού κόσμου όπως καμπύλες στάθμης - παροχής υδατορεύματος, καμπύλες στάθμης - αποθέματος ταμιευτήρα κ.ά.

Επιπλέον, το λογισμικό «Υδρογνώμων» έχει την δυνατότητα εκτέλεσης απλών επεξεργασιών όπως στατιστική συσχέτιση χρονοσειρών (γραμμική παλινδρόμηση), συνάθροιση χρονοσειρών, υπολογισμός παροχής από στάθμη, υπολογισμός ύψους εξάτμισης, ισοζύγια ταμιευτήρων κ.ά. (Ευστρατιάδης, 2000).

Αποτελείται από τρία κύρια συστήματα:

- Το σύστημα επικοινωνίας με την βάση δεδομένων
- Το σύστημα επεξεργασίας των δεδομένων
- Το γραφικό περιβάλλον επικοινωνίας με τον χρήστη

4.3 Εκτίμηση απορροής με μοντέλα βροχόπτωσης – απορροής

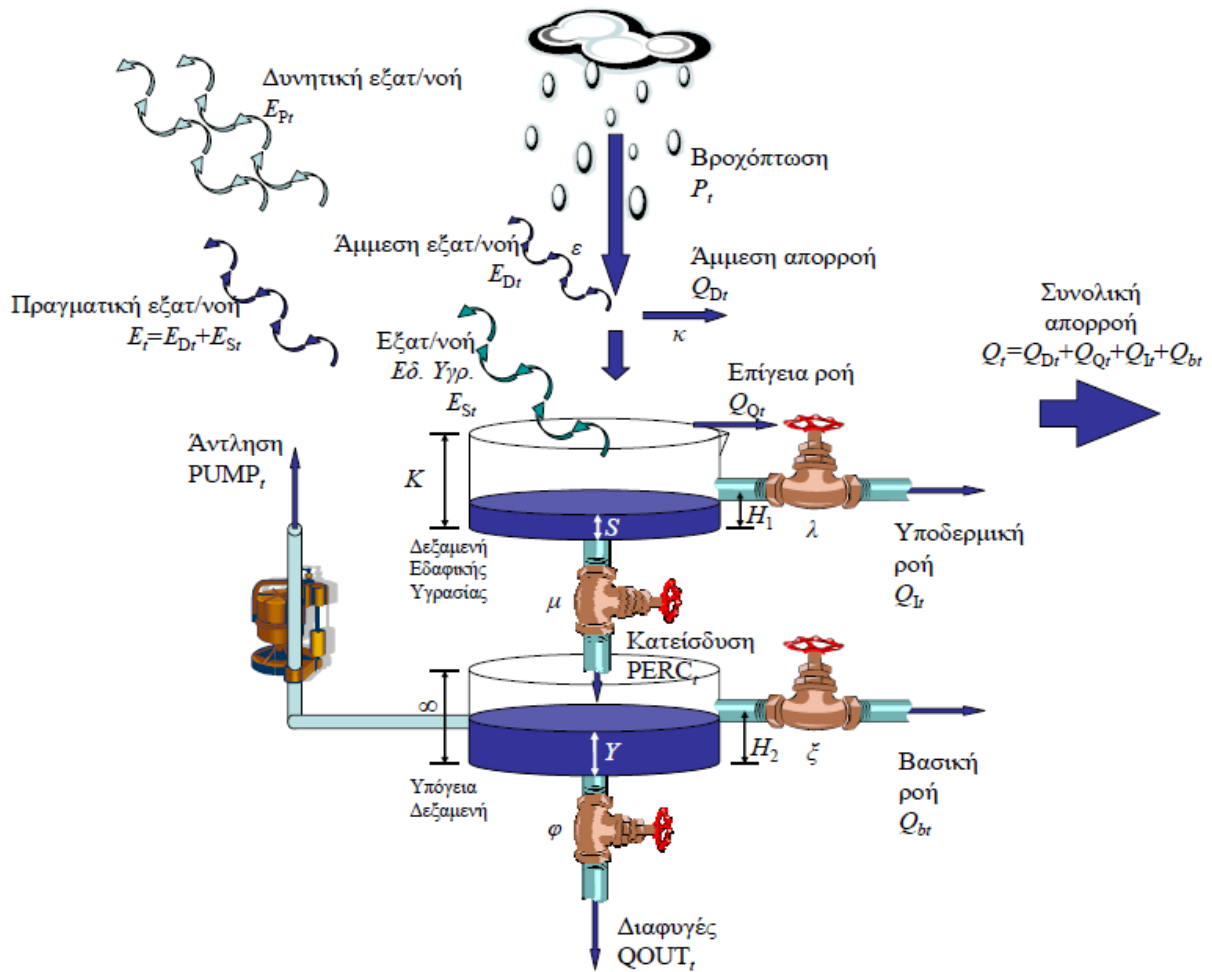
4.3.1 Γενικά

Οι συνθετικές χρονοσειρές απορροής παράγονται με τη βοήθεια των μοντέλων βροχόπτωσης-απορροής. Ως μοντέλο βροχόπτωσης-απορροής ορίζεται ένα σύνολο μαθηματικών σχέσεων, είτε αλγεβρικών είτε διαφορικών εξισώσεων ή λογικών σχέσεων, που συσχετίζουν την βροχόπτωση με την απορροή.

4.3.2 Το μοντέλο υδατικού ισοζυγίου «Ζυγός»

Το μοντέλο «Ζυγός» είναι ένα υποσύστημα του λογισμικού «Υδρογνώμων» το οποίο βασίζεται σε μοντέλο υδατικού ισοζυγίου για τον υπολογισμό απορροής με κύρια στοιχεία εισόδου δεδομένα βροχής.

Στο ακόλουθο σχήμα περιγράφεται σχηματικά η λειτουργία του μοντέλου ενώ, στη συνέχεια, γίνεται αναλυτική παρουσίαση και επεξήγηση των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται.



Σχήμα 4.1: Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας του μοντέλου «Ζυγός» (Χριστοφίδης, 2004)

Ουσιαστικά, το μοντέλο «Ζυγός» αποτελείται από δύο μεγάλες δεξαμενές εκ των οποίων η πρώτη η «Δεξαμενή Εδαφικής Υγρασίας» έχει 7 μεταβλητές ελέγχου – παραμέτρους. Οι παράμετροι αυτές είναι:

ε : Ποσοστό βροχόπτωσης που διατίθεται για την ικανοποίηση της άμεσης εξατμισοδιαπνοής

κ : Ποσοστό του περισσέυματος βροχόπτωσης που εμφανίζεται ως άμεση απορροή (ταυτίζεται με το ποσοστό άμεσης απορροής (Q_D) που οφείλεται στην ύπαρξη αδιαπέρατων σχηματισμών, μέσω των οποίων το περίσσειμα βροχής μετατρέπεται άμεσα σε απορροή). Ουσιαστικά είναι το ποσοστό της αδιαπέρατης επιφάνειας και εκφράζει το ποσοστό που απορρέει άμεσα χωρίς να διεισδύσει στο έδαφος

K : Η χωρητικότητα της Δεξαμενής Εδαφικής Υγρασίας που εκφράζει την μέγιστη αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους (mm)

S_0 : Αρχικό απόθεμα της δεξαμενής Εδαφικής Υγρασίας (mm)

λ : Ρυθμός εκφόρτισης Δεξαμενής Εδαφικής Υγρασίας για παραγωγή υποδερμικής ροής (εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του εδάφους)

H_1 : Κατώφλι αποθέματος Δεξαμενής Εδαφικής Υγρασίας για παραγωγή υποδερμικής ροής (mm). Επίσης εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του εδάφους

μ : Ρυθμός εκφόρτισης Δεξαμενής Εδαφικής Υγρασίας για παραγωγή κατεΐσδυσης, δηλαδή ο ρυθμός που το νερό ρέει από την ακόρεστη προς την κορεσμένη ζώνη του εδάφους.

Η δεύτερη δεξαμενή, η «Υπόγεια Δεξαμενή» υπόκειται της πρώτης δεξαμενής και αναπαριστά έναν ιδανικό υπόγειο υδροφορέα άπειρης χωρητικότητας. Η δεξαμενή αυτή έχει 4 μεταβλητές ελέγχου (παραμέτρους), οι οποίες είναι:

Y_0 : Αρχικό απόθεμα υπόγειας δεξαμενής (mm)

ξ : Ρυθμός εκφόρτισης Δεξαμενής Υπόγειου Νερού για την παραγωγή βασικής ροής που εξαρτάται από τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα

H_2 : Κατώφλι αποθέματος Δεξαμενής Υπόγειου Νερού για παραγωγή βασικής ροής (mm)

φ : Ρυθμός εκφόρτισης Δεξαμενής Υπόγειου Νερού για παραγωγή υπόγειας διαφυγής

Αρχικά από το μοντέλο εκτιμάται η άμεση εξατμισοδιαπνοή από την σχέση:

$$E_{Dt} = \min(\varepsilon P_t, E_{Pt}) \quad (4.7)$$

Στη συνέχεια το περίσσειμα βροχόπτωσης μετά την κάλυψη της άμεσης εξατμισοδιαπνοής μετατρέπεται κατά ένα ποσοστό σε άμεση απορροή

$$Q_{Dt} = \kappa(P_t - E_{Dt}) \quad (4.8)$$

Η παράμετρος κ που εκφράζει το ποσοστό της αδιαπέρατης επιφάνειας δεν θα πρέπει να υπεισέρχεται στην εδαφική δεξαμενή, αλλά θα πρέπει να είναι ανεξάρτητη από αυτή. Η άμεση απορροή που προέρχεται από τους αδιαπέρατους σχηματισμούς είναι μια διαδικασία που προηγείται χρονικά της διήθησης στο έδαφος (Ευστρατιάδης κ.ά., 2000).

Στη συνέχεια, η διαθέσιμη εδαφική υγρασία που είναι ίση με το άθροισμα της αποθηκευμένης εδαφικής υγρασίας και της περίσσειας της βροχόπτωσης όταν ξεπεράσει την χωρητικότητα της δεξαμενής εδαφικής υγρασίας K θα απορρεύσει ως επίγεια ροή Q_{Qt} :

$$Q_{Qt} = \max(0, S_{\text{init}} - K) \quad (4.9)$$

Μετά και την πραγματοποίηση της εδαφικής εξατμισοδιαπνοής, ακολουθεί η πραγματοποίηση της υποδερμικής ροής

$$Q_{It} = \max(0, \lambda (S_{\text{init}} - H_1)) \quad (4.10)$$

και η κατεΐσδυση στον υπόγειο υδροφορέα

$$\text{PERC}_t = \max(0, \mu, S_{\text{init}}) \quad (4.11)$$

Όσον αφορά τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στην Υπόγεια Δεξαμενή: η δεξαμενή αυτή δέχεται ένα ποσοστό νερού από την κατεΐσδυση, ενώ άλλο ένα ποσοστό αφαιρείται μέσω των αντλήσεων. Συνεπώς, το νερό που πλέον είναι διαθέσιμο για άλλες διεργασίες είναι ίσο με:

$$Y_{\text{init}} = Y_t - 1 + \text{PERC}_t - \text{PUMP}_t \quad (4.12)$$

Η βασική ροή Q_{bt} δημιουργείται όταν το διαθέσιμο απόθεμα νερού υπερβεί το κατώφλι H_2

$$Q_{bt} = \max(0, \xi(Y_{\text{init}} - H_2)) \quad (4.13)$$

Τελευταία διεργασία αποτελούν οι διαφυγές εκτός της λεκάνης:

$$\text{QOUT}_t = \varphi Y_{\text{init}} \quad (4.14)$$

Κάθε δεξαμενή αναπαριστά μια στοιχειώδη φυσική διεργασία που πραγματοποιείται κατά τη διαδρομή του νερού μέσα στη λεκάνη απορροής. Στη δεξαμενή εδαφικής υγρασίας εισέρχεται

η ποσότητα του νερού από την βροχόπτωση που διηθείται στο έδαφος. Η δεξαμενή έχει ως εξόδους την πραγματική εξατμισοδιαπνοή, την άμεση απορροή, την υποδερμική ροή και την τροφοδοσία της δεξαμενής υπόγειου νερού. Η πλημμυρική απορροή συμβαίνει όταν υπερχειλίζει η εδαφική δεξαμενή, δηλαδή όταν η καθαρή εισροή ξεπεράσει τη χωρητικότητά της. Η δεξαμενή υπόγειου νερού περιέχει την ποσότητα του νερού που διηθείται από την υπερκείμενη δεξαμενή εδαφικής υγρασίας και έχει ως εξόδους τη βασική απορροή που απορρέει στο υδατόρευμα και τις διαφυγές. Με τον όρο «διαφυγές» νοείται η ποσότητα του νερού που τροφοδοτεί κατάντη υδροφόρα στρώματα και, στη συνέχεια, είτε διατηρείται εκεί, είτε καταλήγει σε πηγές και στη θάλασσα.

Εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου «Ζυγός»

Χρειάζονται ορισμένες διαδικασίες έτσι ώστε το μοντέλο «Ζυγός» να προσαρμοστεί όσο το δυνατόν καλύτερα στα δεδομένα των λεκανών απορροής ανάντη των δύο φραγμάτων. Με σκοπό αυτό, εισάγουμε τα δεδομένα της επιφανειακής βροχόπτωσης, της εξατμισοδιαπνοής και των μετρημένων απορροών στο μοντέλο και με την κατάλληλη εντολή του προγράμματος ζητάμε να υπολογίσει την απορροή καθώς και να βαθμονομήσει το μοντέλο συγκρίνοντας την μετρημένη με την υπολογισμένη από το μοντέλο απορροή. Στη συνέχεια, εκτελούμε δοκιμές στις οποίες επιλέγουμε ποιες παραμέτρους θα κρατήσουμε έτσι ώστε το μοντέλο να αποδίδει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τις φυσικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα (Rozos et al., 2004).

Κριτήριο για την επιλογή του βέλτιστου μοντέλου ήταν η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού R^2 ή, όπως αναφέρεται στην φόρμα του μοντέλου, “objective function”, ο οποίος και επιδιώκεται να είναι όσο το δυνατό πλησιέστερα στη μονάδα που αποτελεί και τη βέλτιστη τιμή. Συντελεστής ίσος με τη μονάδα θα σήμαινε ότι το επιλεγμένο μοντέλο αναπαριστά ακριβώς τις φυσικές διεργασίες παραγωγής απορροής από τις επιφανειακές βροχοπτώσεις.

Αφού έχει γίνει η επιλογή των παραμέτρων στο τελικό μοντέλο, σειρά έχει η βελτιστοποίηση των παραμέτρων αυτών ώστε το μοντέλο να ανταποκρίνεται ακόμη καλύτερα στην πραγματικότητα. Κριτήριο για την επιλογή των βέλτιστων τιμών των παραμέτρων είναι η τιμή του παραπάνω συντελεστή R^2 .

Για την επίτευξη του βέλτιστου αποτελέσματος, κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης διατηρούνται κάποιες από τις διαθέσιμες μετρήσεις της απορροής εκτός της βαθμονόμησης. Οι τιμές αυτές χρησιμοποιούνται, μετά την βαθμονόμηση, για έλεγχο της αξιοπιστίας του μοντέλου και εκτίμηση του συντελεστή προσαρμογής με βάση την προσαρμογή του βαθμονομημένου μοντέλου στις τιμές αυτές. Είναι η διαδικασία της επαλήθευσης.

4.4 Παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών υδρολογικού μεγέθους

4.4.1 Εισαγωγή

Για να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα σχετικά με την συμπεριφορά των μελετώμενων λεκανών είναι αναγκαία η πρόβλεψη της εξέλιξης των φαινομένων που συμβαίνουν σε αυτήν στο μέλλον. Οι εκτιμήσεις του ΕΕΥΔ απαιτούν εκτιμήσεις της αξιοπιστίας του ταμιευτήρα οι οποίες, με τη σειρά τους, απαιτούν τη σύνθεση χρονοσειρών αρκετά μεγάλης διάρκειας (1000 ή 2000 ετών). Για να πραγματοποιηθεί μία τέτοια σύνθεση χρησιμοποιείται η στοχαστική προσομοίωση. Η προσομοίωση αυτή πραγματοποιείται με τη βοήθεια μοντέλων χρονοσειρών.

Ως μοντέλο χρονοσειρών ορίζεται «ένα σύνολο μαθηματικών εξισώσεων που περιγράφουν την εξέλιξη στο χρόνο των υπό μελέτη μεγεθών, με τρόπο που να διατηρούνται ορισμένα στατιστικά χαρακτηριστικά τους» (Ναλμπάντης, 2007). Για την κατάρτιση και εφαρμογή ενός

τέτοιου μοντέλου ακολουθούνται 7 βήματα. Τα κυριότερα από αυτά, τα οποία θα ακολουθήσουμε στην παρούσα εργασία, είναι η επιλογή του μοντέλου, προσαρμογή (ή, αλλιώς βαθμονόμηση) του μοντέλου με βάση ιστορικές χρονοσειρές, και εφαρμογή του μοντέλου για χρονοσειρές εισόδου διαφορετικές από εκείνες της βαθμονόμησης.

4.4.2 Υποσύστημα «Κασταλία»

Για τη σύνθεση χρονοσειρών έγινε χρήση του λογισμικού «Υδρογνώμων» και συγκεκριμένα του υποσυστήματος «Κασταλία». Το εργαλείο αυτό επιτρέπει την παραγωγή χρονοσειρών με βάση μιας ιστορική χρονοσειρά και ένα μοντέλο που προεπιλέγεται. Τα τυπικά μοντέλα που μπορούμε να επιλέξουμε είναι δυο ειδών:

- i. Μοντέλο αυτοσυσχέτισης (AR)
- ii. Μοντέλο συμμετρικών κινούμενων μέσων όρων (SMA)

Ως μοντέλο χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο SMA το οποίο παρουσιάζεται συνοπτικά παρακάτω.

4.4.3 Μοντέλο συμμετρικών κινούμενων μέσων όρων (SMA)

Έχει αποδειχθεί ότι το μοντέλο που αποδίδει τα καλύτερα αποτελέσματα σε μια τέτοιου είδους μελέτη είναι ένα μοντέλο συμμετρικών κινούμενων μέσων όρων (SMA).

Το φαινόμενο της εμμονής

Η μακροπρόθεσμη εμμονή (persistence) των υδρολογικών χρονοσειρών ανακαλύφθηκε από τον Hurst (1951), στα πλαίσια μελέτης του φράγματος του Ασουάν. Ο Hurst, αναλύοντας τις χρονοσειρές του ποταμού Νείλου καθώς και άλλες υδρολογικές και γεωφυσικές χρονοσειρές που ήταν διαθέσιμες για αρκετές εκατοντάδες έτη, διαπίστωσε την ιδιότητα των υγρών και ξηρών ετών να εμφανίζονται κατά ομάδες, σχηματίζοντας μακρές περιόδους υψηλής και χαμηλής υδροφορίας, αντίστοιχα. Έκτοτε, η μακροπρόθεσμη εμμονή των φυσικών χρονοσειρών έλαβε την ονομασία φαινόμενο Hurst, ενώ αργότερα εισήχθη από τον γνωστό μαθηματικό Mandelbrot η έκφραση φαινόμενο Ιωσήφ. Το φαινόμενο εντοπίζεται σε πλήθος γεωφυσικών και κλιματολογικών μεταβλητών, όπως η ένταση ανέμων, η μέση παγκόσμια θερμοκρασία και το πάχος δακτυλίων δέντρων. Η μακροπρόθεσμη εμμονή των χρονοσειρών που περιγράφουν φυσικές διεργασίες εμφανίζεται με την μορφή υψηλών θετικών τιμών των συντελεστών αυτοσυσχέτισης, ακόμη και για μεγάλη χρονική υστέρηση, της τάξης των δεκάδων ή και εκατοντάδων ετών. Σχετικά με τους μηχανισμούς γέννησης του φαινομένου της μακροπρόθεσμης εμμονής, μπορεί να ειπωθεί ότι οφείλει την ύπαρξή του στην ταυτόχρονη εμφάνιση πολλών τυχαίων διαταραχών στα μέσα στατιστικά χαρακτηριστικά των υδρομετεωρολογικών μεταβλητών, σε διάφορες χρονικές κλίμακες. Η αναπαραγωγή της εμμονής θεωρείται κρίσιμος παράγοντας όσον αφορά τον ορθολογικό σχεδιασμό και διαχείριση συστημάτων υδραυλικών έργων. Πράγματι, το φαινόμενο της εμμονής φαίνεται ότι σχετίζεται άμεσα με την εμφάνιση παρατεταμένων ξηρασιών (όπως αυτή που έπληξε την Ελλάδα κατά την εξαετία 1988-94) καθώς και την εμφάνιση υδροκλιματικών αλλαγών. Τόσο η φυσική ερμηνεία του φαινομένου όσο και η μαθηματική περιγραφή του έχουν αποτελέσει αντικείμενο ιδιαίτερου ερευνητικού ενδιαφέροντος (Κουκουβίνος και Ευστρατιάδης, 2006).

Συνοπτική περιγραφή της διαδικασίας γέννησης συνθετικών χρονοσειρών

Για την γέννηση συνθετικών χρονοσειρών υιοθετείται ένα στοχαστικό σχήμα πολλών μεταβλητών, το οποίο υλοποιείται σε δύο χρονικά επίπεδα. Κάθε μεταβλητή αναφέρεται σε συγκεκριμένη υδρολογική διεργασία, που λαμβάνει χώρα σε συγκεκριμένη γεωγραφική θέση. Το πρώτο επίπεδο (υψηλό επίπεδο) αναφέρεται σε χρονοσειρές αραιής χρονικής κλίμακας, η

ισοδιάσταση της οποίας θα καλείται εφεξής περίοδος, ενώ το δεύτερο επίπεδο (χαμηλό επίπεδο) αναφέρεται σε πυκνότερη χρονική κλίμακα, που θα καλείται υποπερίοδος. Ως υψηλή χρονική κλίμακα επιλέγεται η ετήσια, για την οποία οι στοχαστικές ανελίξεις θεωρούνται στάσιμες, ενώ ως χαμηλή χρονική κλίμακα επιλέγεται η μηνιαία, που είναι η συνήθης κλίμακα στην διαχείριση συστημάτων υδατικών πόρων .



Σχήμα 4.2 : Διάγραμμα ροής σχήματος γέννησης συνθετικών χρονοσειρών για την στοχαστική προσομοίωση συστημάτων υδατικών πόρων σε μηνιαία χρονική κλίμακα, για n συνολικά έτη. (Ευστρατιάδης, 2000).

Είσοδος του μοντέλου είναι τα μηνιαία ιστορικά δείγματα των μεταβλητών, βάσει των οποίων προκύπτουν τα αντίστοιχα ετήσια. Πρώτα υπολογίζονται τα δειγματικά στατιστικά χαρακτηριστικά, τόσο σε μηνιαία όσο και σε ετήσια βάση. Στην συνέχεια, για κάθε ετήσια μεταβλητή ορίζεται μια θεωρητική συνάρτηση αυτοσυσχέτισης, η οποία περιγράφει την μακροπρόθεσμη εμμονή της αντίστοιχης υδρολογικής διεργασίας. Η δομή της αυτοσυσχέτισης αναπαράγεται μέσω ενός στάσιμου μοντέλου συμμετρικά κινούμενων μέσων όρων (μοντέλο SMA), οι παράμετροι του οποίου εκτιμώνται συναρτήσει των στατιστικών χαρακτηριστικών των ετήσιων ιστορικών χρονοσειρών. Το μοντέλο SMA, που είναι γενικευμένο ώστε να προσαρμόζεται σε πολυμεταβλητά σχήματα προσομοίωσης, χρησιμοποιείται για την γέννηση συνθετικών χρονοσειρών σε όλες τις θέσεις και για όλον τον χρονικό ορίζοντα της προσομοίωσης.

Για τη στοχαστική προσομοίωση των μηνιαίων μεταβλητών χρησιμοποιείται ως βάση ένα περιοδικό μοντέλο αυτοπαλινδρόμησης πρώτης τάξης, το PAR(1), διατυπωμένο ως πολυμεταβλητό. Οι παράμετροι του μοντέλου εκτιμώνται συναρτήσει των στατιστικών χαρακτηριστικών των μηνιαίων ιστορικών χρονοσειρών. Η γέννηση των μηνιαίων συνθετικών χρονοσειρών, η οποία προϋποθέτει να έχει ολοκληρωθεί η παραγωγή των ετήσιων συνθετικών τιμών, γίνεται σε στάδια. Αρχικά, για κάθε ένα έτος ξεχωριστά, γεννώνται 12 μηνιαίες τιμές μέσω του μοντέλου PAR(1), οι οποίες προφανώς δεν είναι συνεπείς με τις αντίστοιχες ετήσιες. Για την αποκατάσταση της συνέπειας, εφαρμόζεται μια διαδικασία γραμμικής αναγωγής (μοντέλο επιμερισμού), μέσω της οποίας οι μηνιαίες συνθετικές τιμές διορθώνονται, ώστε συναθροιζόμενες να ισούνται με την αντίστοιχη ετήσια. Η διαδικασία γέννησης μηνιαίων τιμών επαναλαμβάνεται για όλα τα έτη, οπότε προκύπτει ένα τελικό συνθετικό δείγμα μηνιαίων τιμών που είναι συνεπές με το ετήσιο, το οποίο έχει προκύψει με εφαρμογή του μοντέλου SMA, αναπαράγοντας κατ' αυτόν τον τρόπο το ιδιαίτερα κρίσιμο φαινόμενο της εμμονής.

Μεθοδολογία αναπαραγωγής της εμμονής

Η αναπαραγωγή του φαινομένου της εμμονής, που όπως αναφέρθηκε αποτελεί γενικό χαρακτηριστικό των περισσότερων γεωφυσικών διεργασιών, θεωρείται ιδιαίτερα κρίσιμη, δεδομένου ότι με αυτή σχετίζεται η εμφάνιση των μακροχρόνιων ξηρασιών, που επηρεάζουν άμεσα την λειτουργία και διαχείριση των υδροσυστημάτων.

Για την αναπαραγωγή των ξηρασιών ακολουθούνται διεθνώς δύο ειδών προσεγγίσεις. Η απλούστερη προσέγγιση είναι η εμπειρική, η οποία δεν απαιτεί ειδική μοντελοποίηση. Βάσει αυτής, υιοθετείται ένα σύνθετο σχήμα γέννησης συνθετικών χρονοσειρών (π.χ. ένα μοντέλο τύπου ARMA), οι παράμετροι του οποίου δεν εκτιμώνται συναρτήσει των στατιστικών χαρακτηριστικών του ιστορικού δείγματος αλλά βάσει τροποποιημένων τιμών αυτών. Η επέμβαση γίνεται συνήθως μόνο στις δύο πρώτες ροπές του δείγματος, δηλαδή την μέση τιμή και την διασπορά. Για παράδειγμα, με μείωση της τιμής της μέσης ετήσιας απορροής και αύξησης της διασποράς, μπορούν να παραχθούν συνθετικά δείγματα εισροών που είναι σαφώς πιο δυσμενή σε σχέση με τα αντίστοιχα ιστορικά. Κατά κανόνα, οι τροποποιημένες τιμές δεν ορίζονται εντελώς αυθαίρετα αλλά προκύπτουν μετά από διερεύνηση υποθετικών σεναρίων κλιματικής αλλαγής, για τα οποία έχουν αναπτυχθεί μοντέλα προσομοίωσης που βασίζονται στις φυσικές διεργασίες του υδρολογικού κύκλου. Ωστόσο, παρά την απλότητά της και την λογικοφανή ερμηνεία της, η εμπειρική προσέγγιση δεν κρίνεται αξιόπιστη, όχι μόνο επειδή βασίζεται σε αυθαίρετες υποθέσεις αλλά και εξαιτίας του χαμηλού βαθμού επαλήθευσης των κλιματικών μοντέλων.

Η δεύτερη προσέγγιση συνίσταται στη μαθηματική περιγραφή της εμμονής, και την αναπαραγωγή της μέσω εξειδικευμένων στοχαστικών σχημάτων, όπως τα μοντέλα τύπου FGN. Στα παραπάνω μοντέλα επιχειρείται η ποσοτικοποίηση της εμμονής και η εισαγωγή της ως παραμέτρου, της οποίας ωστόσο ο ορισμός και ο τρόπος εκτίμησης είναι ιδιαίτερα πολύπλοκος. Ένα άλλο σοβαρό μειονέκτημα είναι η αδυναμία διατύπωσης των μοντέλων ως πολυμεταβλητών, κάτι που ωστόσο θεωρείται αναγκαίο για τη στοχαστική προσομοίωση των υδρολογικών μεταβλητών σύνθετων υδροσυστημάτων. Για τον λόγο αυτό, υιοθετήθηκε μια γενικευμένη προσέγγιση που, αν και πολύ απλή στην εφαρμογή της, είναι πλήρως τεκμηριωμένη μαθηματικά. Η προσέγγιση αυτή περιγράφεται λεπτομερώς στο εγχειρίδιο χρήσης του υποσυστήματος Κασταλία. Ωστόσο, αποφεύγουμε να το παρουσιάσουμε στο παρόν σύγγραμμα λόγω της μεγάλης έκτασής του (Καββαδίας, 1995).

Το σύστημα «Κασταλία» επιτρέπει την επιλογή των τιμών των παραμέτρων βάσει των οποίων θα δημιουργηθεί η χρονοσειρά. Οι παράμετροι παρουσιάζονται κατηγοριοποιημένες στους ακόλουθους πίνακες:

Πίνακας 4.1: Παράμετροι που αναφέρονται στη διαδικασία διάσπασης των μητρώων συνδιασπορών (Ευστρατιάδης και Κουτσογιάννης, 2000).

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ - ΣΧΟΛΙΑ
Μέγιστο επιτρεπόμενο τετραγωνικό σφάλμα	Για την αποσύνθεση των μητρώων συνδιασπορών \mathbf{c} σε πολυμεταβλητά στοχαστικά σχήματα, ήτοι την επίλυση μιας μητρωικής εξίσωσης της μορφής $\mathbf{b} \mathbf{b}^T = \mathbf{c}$, εφαρμόζεται μια τεχνική βελτιστοποίησης. Η εν λόγω παράμετρος εκφράζει την μέγιστη αποδεκτή τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης (τυπικά όρια 0.001 – 0.1).
Μέγιστος αριθμός εκκινήσεων από διαφορετικές (τυχαίες) τιμές	Για την προσέγγιση της ολικά βέλτιστης λύσης, ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης επαναλαμβάνεται για καθορισμένο πλήθος αρχικών τιμών (1 - 100), ώστε να εξασφαλιστεί καλύτερη προσέγγιση της ολικά βέλτιστης λύσης. Η διαδικασία διακόπτεται μόλις επιτευχθεί η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή της συνάρτησης.
Κριτήριο σύγκλισης αλγορίθμου βελτιστοποίησης	Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης διακόπτεται μόλις η σχετική μεταβολή της τιμής της συνάρτησης γίνει μικρότερη από την τιμή της παραμέτρου (τυπικά όρια 0.0001 – 0.01).
Παράμετροι συνάρτησης στόχου ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, p$)	Η συνάρτηση στόχου περιλαμβάνει τρεις όρους: (1) απόκλιση ως προς τις ετεροσυσχετίσεις, (2) απόκλιση ως προς τις διασπορές, και (3) απόκλιση ως προς την ασυμμετρία του δείγματος. Τα $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ είναι οι αντίστοιχοι συντελεστές βάρους, με τυπικές τιμές $\lambda_1 = 1, \lambda_2 = 100, \lambda_3 = 0.001$, ενώ ο ακέραιος p εκφράζει την σχετική βαρύτητα του μέγιστου ως προς τον μέσο συντελεστή ασυμμετρίας (τυπική τιμή $p = 8$).
Ελάχιστη τιμή διαγώνιου στοιχείου (τριγωνοποίηση μητρώου \mathbf{b})	Σε πρώτη προσέγγιση, το ζητούμενο μητρώο \mathbf{b} υπολογίζεται με τη μέθοδο τριγωνοποίησης Cholesky. Αν το μητρώο δεν είναι θετικά ορισμένο, τίθεται μια μικρή, μη μηδενική τιμή ορισμού στα διαγώνια στοιχεία του (< 0.1).

Πίνακας 4.2 : Παράμετροι που αναφέρονται στην παραγωγή τυχαίων αριθμών (Ευστρατιάδης και Κουτσογιάννης, 2000).

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ - ΣΧΟΛΙΑ
Γεννήτρια αριθμών γάμα κατανομής	Μεταξύ των δύο γεννητριών, συνίσταται ο αλγόριθμος που βασίζεται στη μέθοδο της απόρριψης.
Αριθμός Seed	Αρχική τιμή ("σπόρος") της ακολουθίας των τυχαίων αριθμών ομοιόμορφης κατανομής, οι οποίοι χρησιμοποιούνται βοηθητικά κατά την παραγωγή τυχαίων αριθμών γάμα κατανομής και σε ορισμένες ρουτίνες βελτιστοποίησης. Αλλάζοντας την τιμή του αριθμού Seed, παράγονται χρονοσειρές με ίδια στατιστικά χαρακτηριστικά αλλά διαφορετική ακολουθία τιμών.

Πίνακας 4.3 : Παράμετροι που αναφέρονται στο στοχαστικό μοντέλο των ετήσιων μεταβλητών (Ευστρατιάδης και Κουτσογιάννης, 2000).

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ - ΣΧΟΛΙΑ
Επιλογή μοντέλου	AR(1): πρόκειται για μοντέλο βραχείας μνήμης. (SMA): το μοντέλο αναπαράγει το φαινόμενο της εμμονής.
Εκτίμηση συντελεστών α του μοντέλου SMA	Οι συντελεστές α του μοντέλου SMA συνδέονται με την ακολουθία των αυτοσυνδιασπορών μέσω ενός συστήματος μη γραμμικών εξισώσεων. Οι εξισώσεις έχουν αναλυτική λύση με εφαρμογή της μεθόδου FFT, που προϋποθέτει μήκος αυτοσυσχετογράμματος που είναι δύναμη του 2. Διαφορετικά, επιλέγεται είτε η αναλυτική επίλυση του ολοκληρώματος Fourier (σχετικά αργή σύγκλιση) είτε η αριθμητική εκτίμηση (πολύ αργή σύγκλιση).
Κριτήριο σύγκλισης αριθμητικής μεθόδου	Εφόσον η εκτίμηση των συντελεστών α γίνεται αριθμητικά, ορίζεται η συνάρτηση στόχου ενός προβλήματος βελτιστοποίησης. Η εν λόγω παράμετρος αποτελεί άνω όριο της σχετικής μεταβολής της τιμής της συνάρτησης στόχου (τυπικά όρια 0.0001 – 0.01).
Συντελεστής αντικειμενικής συνάρτησης	Συντελεστής βάρους του δεύτερου όρου της συνάρτησης στόχου, ο οποίος εκφράζει την τετραγωνική απόκλιση ως προς τις διασπορές (τυπική τιμή 100).
Μήκος αυτοσυσχετογράμματος	Συστήνεται ο ορισμός τιμής που είναι δύναμη του 2, έτσι ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί η ταχεία μέθοδος FFT.

Πίνακας 4.4 : Παράμετροι που αναφέρονται στη γέννηση των συνθετικών χρονοσειρών (Ευστρατιάδης και Κουτσογιάννης, 2000).

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ - ΣΧΟΛΙΑ
Πλήθος συνθετικών χρονοσειρών	Το μέγιστο πλήθος χρονοσειρών είναι ίσο με 1000, υπό την προϋπόθεση συνολικού πλήθους δεδομένων $\leq 100\ 000$.
Μήκος συνθετικών χρονοσειρών	Το μέγιστο μήκος κάθε χρονοσειράς είναι ίσο με 10 000 έτη, υπό την προϋπόθεση συνολικού πλήθους δεδομένων $\leq 100\ 000$.
Λειτουργία μοντέλου υπό μορφή πρόγνωσης	Το πρόγραμμα υποστηρίζει δύο τρόπους εφαρμογής του σχήματος γέννησης χρονοσειρών: (α) προσομοίωση μόνιμης κατάστασης, και (β) πρόγνωση με δεδομένες αρχικές συνθήκες. Στη δεύτερη περίπτωση, λαμβάνεται υπόψη η ακολουθία των παρελθουσών τιμών υπό μορφή μαθηματικής δέσμευσης.
Μέγιστη επιτρεπόμενη αρνητική τιμή	Εφόσον ο συντελεστής ασυμμετρίας είναι ιδιαίτερα υψηλός, μπορούν να παραχθούν αρνητικές τιμές. Η εν λόγω παράμετρος εκφράζει τη μέγιστη αποδεκτή αρνητική τιμή που στη συνέχεια τίθεται ίση με μηδέν.
Κριτήριο σύγκλισης αλγορίθμου γέννησης μηνιαίων χρονοσειρών	Για τη διατήρηση της ασυμμετρίας και των ετεροσυσχετίσεων των μηνιαίων συνθετικών χρονοσειρών ακολουθείται ένας επαναληπτικός αλγόριθμος. Η παράμετρος εκφράζει την ανοχή μεταξύ της ετήσιας και των επιμέρους μηνιαίων τιμών, ως ποσοστό της ετήσιας τυπικής απόκλισης (τυπικά όρια 0.05 – 0.5).
Μέγιστος αριθμός επαναλήψεων	Η παράμετρος εκφράζει το όριο επαναλήψεων του αλγορίθμου, ο οποίος διακόπτεται εφόσον επιτευχθεί το κριτήριο σύγκλισης (τυπικές τιμές 50 – 5 000).

Οι παράμετροι που τελικά επιλέχθηκαν για την δημιουργία της χρονοσειράς 2000 ετών βάσει της χρονοσειράς της μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης φαίνονται παρακάτω:

Μέγιστο επιτρεπόμενο τετραγωνικό σφάλμα: 0.05

Μέγιστος αριθμός εκκινήσεων από διαφορετικές (τυχαίες) τιμές: 50

Κριτήριο σύγκλισης αλγορίθμου βελτιστοποίησης: 10^{-5}

λ_1 : 1

λ_2 : 1000

λ_3 : 0.001

p : 8

Ελάχιστη τιμή διαγώνιου στοιχείου (τριγωνοποίηση μητρώου **b**): 0.0001

Γεννήτρια αριθμών γάμα κατανομής: 3 παράμετροι

Αριθμός Seed: 1

Κριτήριο σύγκλισης αριθμητικής μεθόδου: 0.0001

Κριτήριο σύγκλισης αριθμητικής μεθόδου: 100

Μήκος αυτοσυσχετογράμματος: 128

Πλήθος συνθετικών χρονοσειρών: 1

Μήκος συνθετικών χρονοσειρών: 2000

Μέγιστη επιτρεπόμενη αρνητική τιμή: -0.5

Κριτήριο σύγκλισης αλγορίθμου γέννησης μηνιαίων χρονοσειρών: 0.25

Μέγιστος αριθμός επαναλήψεων: 100

Επίσης ως μεταβλητή του συστήματος, όπως αναφέρεται και παραπάνω τέθηκε η χρονοσειρά της απορροής, μια φορά για τα έτη 1960-1990 και μια δεύτερη φορά για τα έτη 2020-2100.

5 Μεθοδολογία πρόβλεψης της βροχόπτωσης

5.1 Μοντέλα γενικής κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας (GCM)

5.1.1 Εισαγωγή

Τα Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (General Circulation Model, σε συντομογραφία GCM) είναι μαθηματικά μοντέλα που περιγράφουν τη γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας ή των ωκεανών. Βασίζονται στις εξισώσεις Navier-Stokes για την περιστρεφόμενη σφαίρα, σε συνδυασμό με θερμοδυναμικά μεγέθη για διάφορες πηγές ενέργειας (π.χ. ακτινοβολία, λανθάνουσα θερμότητα). Οι εξισώσεις αυτές αποτελούν τη βάση για πολύπλοκα προγράμματα ηλεκτρονικών υπολογιστών που χρησιμοποιούνται, συνήθως, για την προσομοίωση της ατμόσφαιρας ή των ωκεανών της Γης. Τα ατμοσφαιρικά και ωκεάνια μοντέλα γενικής κυκλοφορίας συνοδευόμενα από δεδομένα για τους θαλάσσιους όγκους πάγου και την γήινη επιφάνεια αποτελούν βασικά στοιχεία των Παγκόσμιων Κλιματικών Μοντέλων (Global Climate Models). Τα Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας και τα Παγκόσμια Κλιματικά Μοντέλα εφαρμόζονται ευρέως για την πρόγνωση του καιρού, την κατανόηση του κλίματος, και την προβολή της αλλαγής του κλίματος σε μεταγενέστερα χρόνια. Οι Syukuro Manabe και Kirk Bryan ανέπτυξαν πρώτοι ένα τέτοιο μοντέλο με χρονικό ορίζοντα τη δεκαετία αλλά και τον αιώνα στο Γεωφυσικό Εργαστήριο Δυναμικής των Ρευστών στο Πανεπιστήμιο του Princeton στο New Jersey της Αμερικής (<http://en.wikipedia.org>).

Ένα Ατμοσφαιρικό και ένα Ωκεάνιο Μοντέλο Γενικής Κυκλοφορίας μπορούν να συνδυαστούν και να σχηματίσουν ένα ατμοσφαιρο-ωκεάνιο Μοντέλο Γενικής Κυκλοφορίας. Ένα τέτοιο μοντέλο εφαρμόσαμε και στην παρούσα εργασία.

Τα ατμοσφαιρο-ωκεάνια Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας πραγματοποιούν περιοδικές προσομοιώσεις του κλίματος. Τα αποτελέσματα από αυτές τις προσομοιώσεις τα χρησιμοποιούν για να προβλέψουν τις μελλοντικές αλλαγές της θερμοκρασίας σύμφωνα με διάφορα σενάρια. Αυτά, με τη σειρά τους, μπορεί να είναι είτε εξειδικευμένα σενάρια (αύξηση εκπομπών CO₂ κατά 1%/έτος) ή πιο ρεαλιστικά (σενάρια SRES).

5.1.2 Ειδική Έκθεση σχετική με τα Σενάρια Εκπομπών (Special Report on Emissions Scenarios)

Η ειδική έκθεση σχετικά με τα Σενάρια Εκπομπών (SRES) ήταν μια έκθεση που εκπονήθηκε από τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC) για την τρίτη έκθεση αξιολόγησης (Third Assessment Report) του 2001, σχετικά με σενάρια μελλοντικών εκπομπών τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για να οδηγήσουν τα παγκόσμια μοντέλα κυκλοφορίας στην ανάπτυξη σεναρίων για την κλιματική αλλαγή. Τα σενάρια της SRES χρησιμοποιήθηκαν, επίσης, για την τέταρτη έκθεση αξιολόγησης (Assessment Report 4, AR4) το 2007, και έχουν αποτελέσει αντικείμενο συζήτησης σχετικά με το αν η παρατηρηθείσα αύξηση των εκπομπών από το 2000 καθιστά αυτά τα σενάρια παρωχημένα. Και αυτό διότι ο ρυθμός αύξησης των παγκόσμιων εκπομπών μετά το 2000 ήταν περίπου 3%, ενώ οι ρυθμοί ανάπτυξης στο πλαίσιο αυτών των σεναρίων εκπομπών είναι μεταξύ 1.4% και 3.4%. Το γεγονός αυτό έχει προσελκύσει την προσοχή και θα μπορούσε να αποδείξει ότι αυτά τα σενάρια είναι πολύ συντηρητικά. Ωστόσο, επειδή αυτά τα σενάρια εκπομπών αποτελούν μία σειρά μακροπρόθεσμων προβλέψεων, είναι πολύ πιθανό αυτή η πρόσφατη παρατηρηθείσα αύξηση εκπομπών να είναι μια παροδική τάση η οποία δεν θα συνεχιστεί κατά τη διάρκεια των επόμενων δεκαετιών (<http://hk-climate.org/el/models.html>).

Στο εδάφιο αυτό δίνεται μία σύντομη αναφορά για τις συνθήκες που χαρακτηρίζουν το κάθε σενάριο

A1

- Ταχεία οικονομική ανάπτυξη
- Παγκόσμιος πληθυσμός που φτάνει τα 9 δισεκατομμύρια το 2050 και στη συνέχεια μειώνεται σταδιακά.
- Γρήγορη εξάπλωση των νέων και αποτελεσματικών τεχνολογιών
- Εκτεταμένες κοινωνικές και πολιτιστικές αλληλεπιδράσεις σε όλο τον κόσμο

A2

- Ένας κόσμος όπου λειτουργεί ανεξάρτητα και αυτοδύναμα το κάθε έθνος
- Συνεχώς αυξανόμενος πληθυσμός σε παγκόσμια κλίμακα
- Οικονομική ανάπτυξη προσανατολισμένη σε περιφερειακό επίπεδο
- Βραδύτερες τεχνολογικές αλλαγές και βελτιώσεις στο παγκόσμιο κατά κεφαλήν εισόδημα

B1

- Ταχεία οικονομική ανάπτυξη όπως και στο σενάριο A1, αλλά με ταχείες αλλαγές προς μία οικονομία υπηρεσιών και πληροφοριών
- Παγκόσμιος πληθυσμός που φτάνει τα 9 δισεκατομμύρια το 2050 και στη συνέχεια μειώνεται σταδιακά.
- Εισαγωγή καθαρών και ενεργειακά αποτελεσματικών τεχνολογιών
- Έμφαση σε παγκόσμιες λύσεις για την οικονομική, κοινωνική και περιβαλλοντική σταθερότητα

B2

- Συνεχώς αυξανόμενος πληθυσμός, αλλά με πιο αργό ρυθμό από ό,τι στο σενάριο A2
- Έμφαση στις τοπικές και όχι στις παγκόσμιες λύσεις για την οικονομική, κοινωνική και περιβαλλοντική σταθερότητα
- Ενδιάμεσα επίπεδα οικονομικής ανάπτυξης
- Λιγότερο γρήγορη και πιο κατακερματισμένη τεχνολογική αλλαγή σε σχέση με τα σενάρια A1 και B1

Δυσμενέστερο θεωρείται το σενάριο A2 και, σύμφωνα με αυτό, είναι τα δεδομένα τα οποία θα αντλήσουμε από το Καναδικό Κέντρο.

5.2 Προβλέψεις του Καναδικού Κέντρου Κλιματικής Αλλαγής (CCCMA)

5.2.1 Γενικά

Το Καναδικό Κέντρο για την Κλιματική Μοντελοποίηση και Ανάλυση (CCCMA) είναι ένα τμήμα της Επιτροπής Κλιματικής Έρευνας της Μετεωρολογικής Υπηρεσίας του Καναδά. Έχει την έδρα του λίγο έξω από το Πανεπιστήμιο της Victoria στον Καναδά. Σκοπός του ερευνητικού αυτού κέντρου είναι να συμβάλλει στην έρευνα για τη μοντελοποίηση του κλίματος αλλά και την παρατηρούμενη αλλαγή του.

Από το 2000, το Καναδικό Κέντρο έχει αναπτύξει τρία ατμοσφαιρικά και τρία ωκεανο-ατμοσφαιρικά Παγκόσμια Κλιματικά Μοντέλα (<http://www.cccma.ec.gc.ca/>).

Κατά τη διαδικασία της μοντελοποίησης η ερευνητική ομάδα

- i. Αναπτύσσει υπολογιστικά μοντέλα για την προσομοίωση του κλίματος σε παγκόσμια και τοπική-υπερτοπική κλίμακα. Επίσης, πραγματοποιείται εντατική έρευνα για την ανάπτυξη μοντέλων που θα προσομοιώνουν την κλιματική αλλαγή.
- ii. Διαθέτει σε κυβερνητικές και μη κυβερνητικές οργανώσεις δεδομένα παρατηρήσεων σχετικών με την κλιματική αλλαγή
- iii. Πραγματοποιεί εποχικές/περιοδικές και μακροπρόθεσμες προβλέψεις για τις κλιματικές διακυμάνσεις

Στα πλαίσια της Ανάλυσης, το Καναδικό Κέντρο για την Κλιματική Αλλαγή (CCCMA)

- i. Μελετά τις παρελθούσες και τις προβλέψιμες για το μέλλον κλιματικές διαφοροποιήσεις για να αποκτήσει μία πιο εμπειριστατωμένη κατανόηση του παγκόσμιου κλιματικού συστήματος
- ii. Παρέχει μία μεγάλη ποικιλία επιστημονικά τεκμηριωμένων δεδομένων στην Καναδική αλλά και τη Διεθνή Κοινότητα.
- iii. Συντονίζει μελέτες σχετικές με πειραματικά κλιματικά μοντέλα που διεκπεραιώνονται από το Παγκόσμιο Πρόγραμμα Κλιματικών Ερευνών (World Climate Research Programme, WCRP).
- iv. Συνεισφέρει με δεδομένα και μελέτες στη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change)

5.2.2 Παγκόσμιο Κλιματικό Μοντέλο 3^{ης} γενιάς (CGCM3)

Το Καναδικό Κέντρο Κλιματικής Αλλαγής έχει, κατά καιρούς, εφαρμόσει διάφορα κλιματικά μοντέλα για την πρόβλεψη των κλιματικών συνθηκών ανά την υφήλιο. Για την εξυπηρέτηση των σκοπών της παρούσας εργασίας, χρησιμοποιούμε το πιο πρόσφατο. Έτσι, λαμβάνουμε δεδομένα μέσω της φόρμας επικοινωνίας του Παγκόσμιου Κλιματικού Ωκεανο-Ατμοσφαιρικού Μοντέλου 3^{ης} γενιάς.

Το περιεχόμενο και η ανάλυση των παραμέτρων του μοντέλου κρίθηκαν πολύ εξειδικευμένα για τα πλαίσια της δεδομένης εργασίας. Εκτός αυτού, χρειαζόταν και η παρουσίαση όλων των προηγούμενων μοντέλων του Καναδικού Κέντρου μιας και το 3^{ης} γενιάς μοντέλο στηρίζεται σε δεσμεύσεις και υποθέσεις ποικίλων προηγούμενων ωκεάνιων και ατμοσφαιρικών μοντέλων. Ο αναγνώστης παραπέμπεται, για περισσότερες σχετικές πληροφορίες, στις αντίστοιχες ιστοσελίδες του Καναδικού Κέντρου.

Από το Καναδικό Κέντρο λάβαμε δεδομένα για τις τιμές έξι μετεωρολογικών παραμέτρων τόσο για τα έτη 1960-1990 όσο και για τα έτη 2020-2100. Τα χαρακτηριστικά και η ανάλυση των παραμέτρων αυτών από τη μεριά της Μετεωρολογίας παρουσιάζεται στο ακόλουθο κεφάλαιο.

5.3 Μετεωρολογικές παράμετροι

5.3.1 Μέση θερμοκρασία του αέρα (mean air temperature, tmp)

Όταν γίνεται αναφορά στη θερμοκρασία αέρα, νοείται κυρίως η θερμοκρασία αυτού υπό σκιά (Τσακίρης, 1995α). Η μέτρηση αυτής γίνεται με τα θερμομέτρα και τους θερμογράφους που τοποθετούνται εντός μετεωρολογικού κλωβού όπου ο αέρας κυκλοφορεί ελεύθερα και τα όργανα προστατεύονται από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία.

Από την ανάγνωση των οργάνων του κλωβού μπορούν να ληφθούν ή να υπολογιστούν οι παρακάτω παράμετροι της θερμοκρασίας:

- i. Η απόλυτη μέγιστη (T_{max}) και ελάχιστη (T_{min}) τιμή της θερμοκρασίας που παρατηρούνται κατά τη διάρκεια μιας ορισμένης χρονικής περιόδου.
- ii. Η μέση ημερήσια θερμοκρασία
- iii. Η μέση μηνιαία θερμοκρασία
- iv. Η μέση ετήσια θερμοκρασία
- v. Το ημερήσιο θερμομετρικό εύρος, δηλαδή η διαφορά ανάμεσα στην μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία της ημέρας
- vi. Το ετήσιο θερμομετρικό εύρος, δηλαδή η διαφορά της μέσης θερμοκρασίας του ψυχρότερου μήνα από τη μέση του θερμότερου μήνα του έτους

Οι κυριότεροι παράγοντες που διαμορφώνουν τις θερμοκρασιακές συνθήκες πάνω από έναν τόπο είναι:

- i. Το ισοζύγιο ακτινοβολιών στο σύστημα γης-ατμόσφαιρας που υπάρχει στον τόπο αυτό
- ii. Η δυνατότητα και η συχνότητα μεταφοράς στον τόπο αυτό ποσοτήτων θερμότητας με οριζόντιες και κατακόρυφες κινήσεις (θερμές ή ψυχρές αέριες μάζες)
- iii. Τα ποσά θερμότητας που εκλύονται ή προσλαμβάνονται κατά τους μηχανισμούς της συμπύκνωσης των υδρατμών ή της εξάτμισης του νερού
- iv. Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας του εδάφους που συνδέονται και με την ανακλαστικότητα του εδάφους και τη φυτοκάλυψή του
- v. Τα θαλάσσια ρεύματα που τυχόν διέρχονται από τον τόπο

Ο ατμοσφαιρικός αέρας απορροφά πολύ μικρά ποσά θερμότητας από την ηλιακή ακτινοβολία που διέρχεται από αυτόν και, έτσι, η επιφάνεια του εδάφους θερμαίνεται πολύ περισσότερο. Τα επιφανειακά στρώματα του αέρα, επομένως, θερμαίνονται ισχυρότερα από τα ανώτερα τους. Γίνονται, έτσι, ελαφρότερα και ανέρχονται μεταφέροντας θερμότητα στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Έχουμε, δηλαδή ανάμιξη, θερμών και ψυχρών αέριων μαζών. Ανάμιξη θερμών και αέριων μαζών και, γενικά, μεταβολές θερμότητας δημιουργούνται και από την ανομοιόμορφη και άνιση θέρμανση της γήινης επιφάνειας εξαιτίας των οποίων προκαλούνται οριζόντιες και κατακόρυφες κινήσεις του αέρα.

Η θερμοκρασία του αέρα μεταβάλλεται αυξανόμενου του ύψους της ατμόσφαιρας. Από υδρολογική, ωστόσο, άποψη, ενδιαφέρει η μεταβολή της θερμοκρασίας στην τροπόσφαιρα. Στην τροπόσφαιρα παρατηρείται μείωση της θερμοκρασίας όταν το υψόμετρο αυξάνεται. Η μείωση αυτή οφείλεται:

- i. Στην αραίωση του αέρα που έχει ως φυσικό αποτέλεσμα να ελαττώνεται, κατά πολύ, η δυνατότητα απορρόφησης της ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα.
- ii. Στην, κατά κύριο λόγο, θέρμανση της ατμόσφαιρας από την επιφάνεια της γης και όχι άμεσα από τον ήλιο
- iii. Στην ελάττωση των υδρατμών με την αύξηση του ύψους
- iv. Στην ελάττωση της θερμοκρασίας του ανερχόμενου αέρα εξαιτίας της διαστολής του, γιατί, ως γνωστό, για την εκτόνωση απαιτείται να δαπανηθεί ενέργεια

Η τιμή της μεταβολής της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας σε σχέση με τη μονάδα του ύψους, λέγεται θερμοκρασιακή βαθμίδα ή κατακόρυφη θερμοβαθμίδα και δίνεται από τη σχέση:

$$\gamma = -\frac{\partial T}{\partial Z} \quad (5.1)$$

όπου T η θερμοκρασία και Z το υψόμετρο

Το αρνητικό πρόσημο υποδηλώνει ότι με την αύξηση του ύψους μειώνεται η θερμοκρασία. Ως μονάδα του ύψους συνήθως λαμβάνονται τα 100 m, επομένως η θερμοβαθμίδα εκφράζεται σε $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$. Η τιμή της μεταβάλλεται και, κοντά στην επιφάνεια του εδάφους η οποία μπορεί να γίνει πολύ θερμή την ημέρα και να ψυχθεί την νύχτα, μπορεί να λαμβάνει μεγαλύτερη τιμή την ημέρα και μικρότερη την νύχτα. Κατά μέσο όρο, η τιμή της κατακόρυφης θερμοβαθμίδας στην τροπόσφαιρα είναι:

$$\gamma = 0.6^{\circ}\text{C}/100\text{m} \quad \text{ή} \quad \gamma = 6^{\circ}\text{C}/1\text{km} \quad (5.2)$$

Ο κανόνας μείωσης της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας με το ύψος μέσα στην τροπόσφαιρα δεν ακολουθείται πάντοτε. Έτσι, είναι πιθανόν η θερμοκρασία να αυξάνει αυξανόμενου του υψομέτρου. Τα στρώματα αυτά λέγονται στρώματα θερμοκρασιακής αναστροφής και το φαινόμενο παρατηρείται κυρίως στην κατώτερη ατμόσφαιρα υπό την επίδραση ειδικών καιρικών συνθηκών. Το πάχος του στρώματος του αέρα που γίνεται η αναστροφή λέγεται βάθος αναστροφής και το ύψος της βάσης αυτού από την επιφάνεια του εδάφους χαρακτηρίζεται ως ύψος αναστροφής. Τα στρώματα αναστροφής της θερμοκρασίας είναι ευσταθή και εμποδίζουν έτσι τις ανοδικές κινήσεις με αποτέλεσμα την αύξηση της ρύπανσης των κατώτερων στρωμάτων της ατμόσφαιρας.

5.3.2 Μέση ατμοσφαιρική πίεση στο επίπεδο της μέσης στάθμης της θάλασσας (mean sea level pressure, mslp)

Είναι γνωστό ότι η ατμόσφαιρα είναι ένα στρώμα αερίων με ύψος > 1000 km που πιέζει τόσο τα σώματα που βρίσκονται μέσα σε αυτό, όσο και τις ίδιες του ατμοσφαιρικές στοιβάδες. Με άλλα λόγια, κάθε επιφάνεια που βρίσκεται στο έδαφος ή, σε κάποιο ύψος από αυτό, δέχεται την επίδραση του βάρους της υπερκείμενης αέριας στήλης, με αποτέλεσμα να ασκείται στη μονάδα επιφάνειας μια δύναμη, που ονομάζεται ατμοσφαιρική πίεση ή, συνηθέστερα, βαρομετρική πίεση. Στην περίπτωση που η ατμόσφαιρα βρίσκεται σε ηρεμία, η παραπάνω πίεση είναι ισοδύναμη μόνον με το βάρος της αέριας στήλης πάνω από το σημείο μέτρησής της και ονομάζεται στατική πίεση.

Αν, μέσα στην ατμόσφαιρα εκδηλώνονται έντονες κινήσεις αερίων μαζών (ισχυροί άνεμοι), τότε στην παραπάνω στατική πίεση προστίθεται και η λεγόμενη δυναμική πίεση, που μόνο σε ορισμένα, πολύ ειδικά, προβλήματα λαμβάνεται υπόψη.

Η ατμοσφαιρική πίεση αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές κλιματικές παραμέτρους, γιατί συνδέεται, αφενός, με τη θερμοκρασία που είναι το αίτιο των μεταβολών της και, αφετέρου, με τους ανέμους που είναι το αποτέλεσμα των διαφορών της ανάμεσα σε δύο τόπους. Γενικά, το πεδίο της ατμοσφαιρικής πίεσης είναι το πιο περιγραφικό και απεικονιστικό μέγεθος για τα καιρικά συστήματα ή τις ατμοσφαιρικές διαταραχές. Οι διάφορες μονάδες που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της ατμοσφαιρικής πίεσης είναι:

α) Η χιλιοβαρίδα (mb) που έχει καθιερωθεί διεθνώς για τη Μετεωρολογία-Κλιματολογία και ορίζεται: $1 \text{ mb} = 10^{-3} \text{ Bar} = 10^3 \text{ dyn}\cdot\text{cm}^{-2} = 10^2 \text{ Nt}\cdot\text{m}^{-2} = 0.75 \text{ mmHg}$ ($1 \text{ mmHg} = 1.333 \text{ mb}$, $1 \text{ inch}\cdot\text{Hg} = 25.4 \text{ mmHg} = 33.86 \text{ mb}$)

β) $1 \text{ At} = 760 \text{ mmHg} = 1013.25 \text{ mb}$

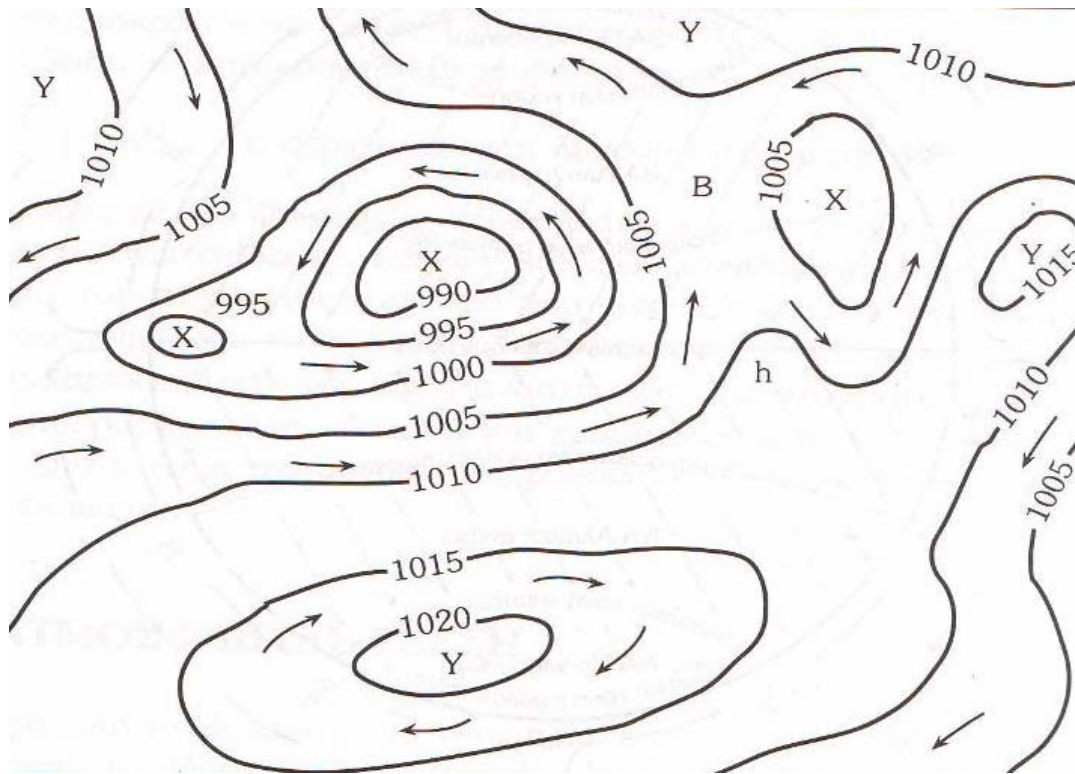
γ) Το Pa (Πασκάλ): $1 \text{ Pa} = 1 \text{ Nt}\cdot\text{m}^{-2}$

Η τελευταία αυτή μονάδα άρχισε να χρησιμοποιείται από πολλές Ευρωπαϊκές χώρες

Ισοβαρείς καμπύλες και κύριες μορφές τους

Ισοβαρείς (isobars) καμπύλες λέγονται οι γραμμές που ενώνουν τους τόπους που έχουν την ίδια τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης κατά την ίδια στιγμή ή περίοδο. Πάνω από τους χάρτες καιρού οι ισοβαρείς καμπύλες απεικονίζουν με τον καλύτερο τρόπο τις καιρικές καταστάσεις που επικρατούν, σε δεδομένη χρονική στιγμή, πάνω από τις διάφορες περιοχές. Αυτές αποτελούν το θεμέλιο όλης της εργασίας που γίνεται για την ανάλυση και την πρόγνωση του καιρού. Οι ισοβαρείς καμπύλες χαράσσονται όχι μόνο στην επιφάνεια της γης, αλλά και σε διάφορες στάθμες της ατμόσφαιρας. Αυτές παρουσιάζουν διάφορες μορφές, οι σπουδαιότερες από τις οποίες είναι (βλ. και Σχήμα 5.1):

- i. Αντικυκλώνας (Anticyclone ή High): Κλειστές ισοβαρείς καμπύλες, με μορφή περίπου κυκλική ή ελλειπτική, στις οποίες η πίεση αυξάνει από την περιφέρεια προς το κέντρο
- ii. Δευτερεύουσα Ύφεση (Secondary depression): Κλειστές ισοβαρείς καμπύλες που περιέχονται στις ισοβαρείς καμπύλες μεγαλύτερης ύφεσης. Συνήθως αυτή παρατηρείται στα ΝΔ (για το Βόρειο Ημισφαίριο) της κύριας ύφεσης. Οι ισοβαρείς του τύπου αυτού μπορεί να παρουσιάζουν κάμψη με συγκεκριμένο ή όχι κέντρο
- iii. Βαρομετρικός λαιμός (Col): Περιοχή που βρίσκεται ανάμεσα σε δύο υφέσεις και δύο αντικυκλώνες που έχουν διαταχθεί σταυρωτά
- iv. Σφήνα υψηλών πιέσεων ή Βαρομετρική σφήνα (Ridge): Αντικυκλωνική προεξοχή, που εισχωρεί συνήθως ανάμεσα σε δύο υφέσεις
- v. Βαρομετρικός θύλακας ή σκάφη χαμηλών πιέσεων (Trough): Ισοβαρείς σε σχήμα V, που εισχωρούν συνήθως ανάμεσα σε δύο περιοχές υψηλών πιέσεων. Η γραμμή, που ενώνει τις κορυφές των καμπύλων αυτών, λέγεται γραμμή σέλλης
- vi. Ευθύγραμμες ισοβαρείς: Ισοβαρείς παράλληλες, συνήθως, μεταξύ τους. Αυτό συμβαίνει, όταν οι περιοχές υψηλής ή χαμηλής πίεσης είναι απαλλαγμένες από καιρικές διαταράξεις



Σχήμα 5.1: Ισοβαρείς καμπύλες και συστήματα χαμηλών (X) και υψηλών (Y) πιέσεων (Φλόκας, 1997).

Βαροβαθμίδα

Ως μέτρο των μεταβολών της ατμοσφαιρικής πίεσης χρησιμοποιείται η βαροβαθμίδα. Αυτή εκφράζει τη μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης σε διεύθυνση κάθετη πάνω στις ισοβαρείς, στη μονάδα μήκους. Πάνω σε ένα χάρτη ισοβαρών, η βαροβαθμίδα υπολογίζεται από το πηλίκο της διαίρεσης της διαφοράς πίεσης μεταξύ δύο διαδοχικών ισοβαρών δια της απόστασης αυτών. Συνεπώς, όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση μεταξύ δύο ισοβαρών, τόσο μικρότερη είναι η τιμή της βαροβαθμίδας (Μιχαλοπούλου, 1988).

Γενικότερα, αν ονομάσουμε με G την τιμή της βαροβαθμίδας, με Δh την απόσταση ανάμεσα σε δύο ισοβαρείς και με ΔP τη μεταβολή της πίεσης ανάμεσα στις ισοβαρείς που έχουν απόσταση Δh , τότε η βαροβαθμίδα θα είναι:

$$G = -\frac{\partial P}{\partial h} \quad (5.3)$$

Το αρνητικό πρόσημο τίθεται για να δηλώσουμε ότι η φορά του διανύσματος της βαροβαθμίδας είναι προς τη διεύθυνση των χαμηλών πιέσεων. Δηλαδή, η βαροβαθμίδα παριστάνεται με ένα διάνυσμα κάθετο πάνω στις ισοβαρείς και με κατεύθυνση προς τις χαμηλές πιέσεις.

5.3.3 Μέση ταχύτητα ανέμου (mean wind speed swa)

Ο ατμοσφαιρικός αέρας που περιβάλλει τη γη βρίσκεται σε συνεχή κίνηση. Οι παράγοντες που δημιουργούν και διαμορφώνουν όλες αυτές τις κινήσεις είναι:

- Η ηλιακή ενέργεια που προσλαμβάνει, τόσο η ατμόσφαιρα, όσο και η επιφάνεια του εδάφους
- Η ανομοιογένεια του ανάγλυφου του εδάφους
- Η περιστροφική κίνηση της γης περί τον άξονά της

Οι κινήσεις του ατμοσφαιρικού αέρα παρουσιάζουν διάφορες κατευθύνσεις και διαφορετικό τρόπο δημιουργίας τους. Από τις κινήσεις αυτές του ατμοσφαιρικού αέρα, εκείνες που παρουσιάζουν ιδιαίτερη σημασία είναι οι οριζόντιες μετακινήσεις του. Τις μετακινήσεις αυτές του αέρα, κατά την οριζόντια έννοια, ονομάζουμε ανέμους. Δηλαδή, με τον όρο «άνεμος» νοούμε κάθε ρεύμα ατμοσφαιρικού αέρα που έχει κάποια σχετική κίνηση ως προς το έδαφος. Επειδή στις ατμοσφαιρικές κινήσεις η κάθετη συνιστώσα, σε σύγκριση με την οριζόντια, είναι πολύ μικρή, κυρίως κοντά στο έδαφος, γι αυτό με τον όρο άνεμος νοείται μόνον η οριζόντια συνιστώσα της κίνησης (Ζιακόπουλος, 2008).

Ο άνεμος αποτελεί ένα πολύ βασικό μετεωρολογικό και κλιματικό στοιχείο. Αρκεί να αναφερθεί ότι, σε ορισμένες περιπτώσεις, το στοιχείο του ανέμου δημιουργεί και χαρακτηριστικό τύπο κλίματος, όπως, για παράδειγμα, το κλίμα μουσώνων και το κλίμα ετησίων.

Ο άνεμος προσδιορίζεται από δύο στοιχεία: Τη διεύθυνση και την ένταση ή ταχύτητά του. Ως διεύθυνση του ανέμου σε έναν τόπο ορίζεται το σημείο του ορίζοντα, από το οποίο πνέει ο άνεμος. Η ένταση του ανέμου εκφράζεται με την ταχύτητά του ή με την πίεση που ασκεί ο άνεμος πάνω στην επιφάνεια των διαφόρων σωμάτων. Η πίεση P και η ταχύτητα του ανέμου V συνδέονται με τη σχέση:

$$P = k \cdot V^2 \quad (5.4)$$

όπου k μια σταθερά που εξαρτάται από την πυκνότητα του ανέμου, καθώς και από το σχήμα της επιφάνειας, αν αυτή δεν είναι επίπεδη. Δηλαδή, η πίεση είναι ανάλογη του τετραγώνου της ταχύτητάς του.

Εκτός από τις οριζόντιες κινήσεις του αέρα, υπάρχουν και κινήσεις αυτού προς τα πάνω ή κάτω. Οι κινήσεις του ανέμου προς τα πάνω λέγονται ανοδικές ή ανοδικοί άνεμοι, ενώ οι κινήσεις προς τα κάτω καθοδικές ή καθοδικοί άνεμοι.

Οι σπουδαιότερες δυνάμεις δημιουργίας των ανέμων είναι:

- i. Η δύναμη της βαροβαθμίδας
- ii. Η οριζόντια εκτροπική δύναμη, που οφείλεται στην περιστρεφόμενη κίνηση της γης
- iii. Η κυκλοστροφική δύναμη που εμφανίζεται στην περίπτωση που ο άνεμος στρέφεται γύρω από ένα κέντρο χαμηλής ή υψηλής πίεσης
- iv. Η δύναμη τριβής

Ο προσδιορισμός της ταχύτητας του ανέμου γίνεται εμπειρικά ή με όργανα τα οποία λέγονται ανεμόμετρα. Η υποκειμενική εκτίμηση της ταχύτητας βασίζεται στα αποτελέσματα του ανέμου ή στον κυματισμό που προκαλεί στη θάλασσα, ή και μόνον στην πίεση που ασκεί ο άνεμος στο σώμα του ανθρώπου. Η εκτίμηση αυτή γίνεται με τη βοήθεια που παρέχουν διάφορες κλίμακες, από τις οποίες έχει γίνει παραδεκτή διεθνώς η ανεμολογική κλίμακα Beaufort. Η κλίμακα αυτή έχει 18 βαθμίδες, από τις οποίες χρησιμοποιούνται μόνον οι 13 πρώτες Πίνακας 5.1. Στο Σχήμα 5.2 φαίνεται το ανεμολόγιο με τις 16 βασικές διευθύνσεις των ανέμων.

Ανάλογα με τις εφαρμογές, για την ταχύτητα του ανέμου χρησιμοποιούνται οι μονάδες:

α) m/s

β) km/h

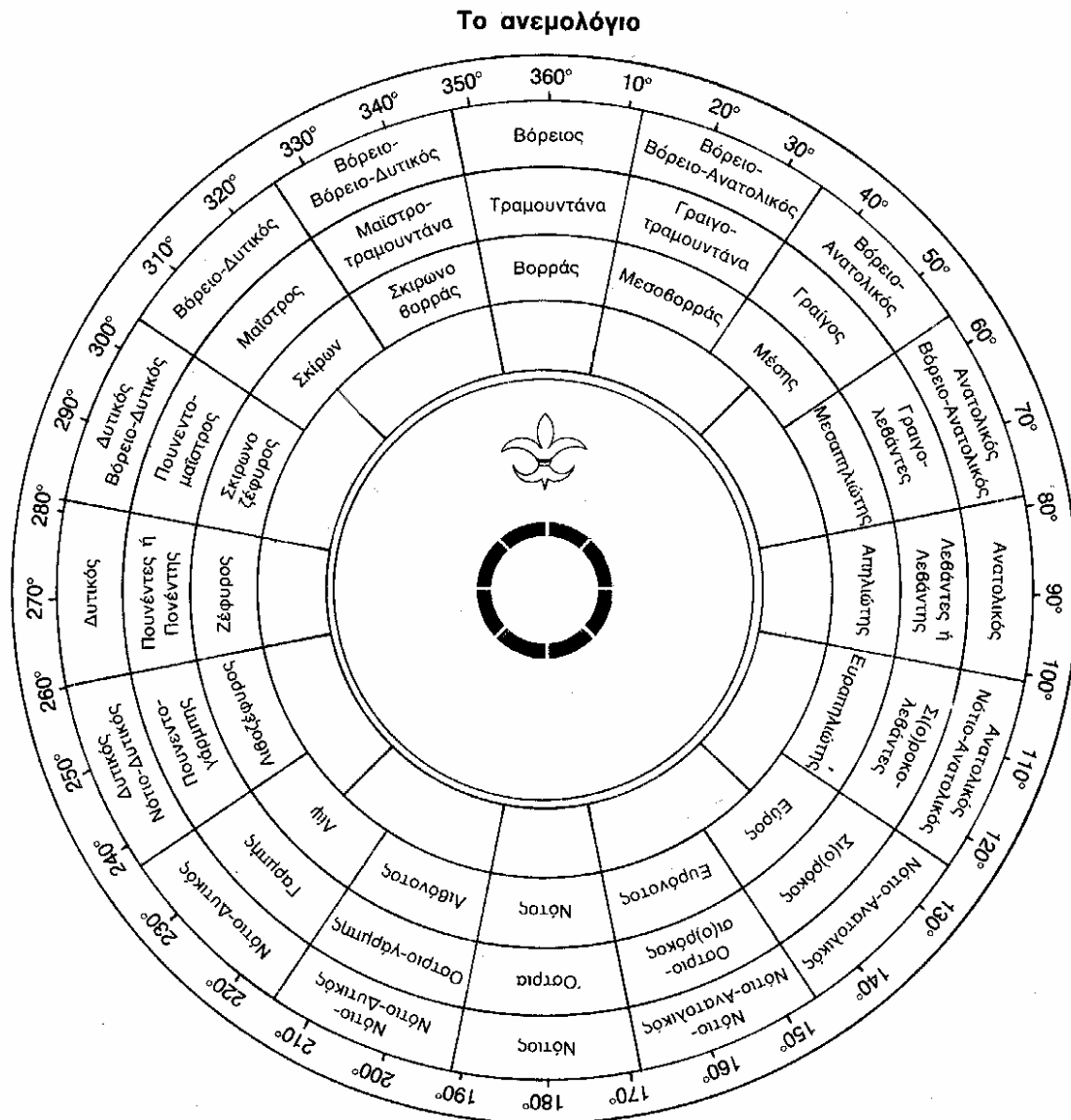
γ) κόμβοι (knots) δηλαδή 1853 m/h

δ) Μίλια ανά ώρα (m.p.h.)

1 m/s = 3.6 km/h = 1943 κόμβοι = 2237 mph

Πίνακας 5.1: Ανεμολογική κλίμακα Beaufort, με τους προσδιορισμούς και τις ισοδύναμες ταχύτητες κατά προσέγγιση (Φλόκας, 1997)

Βαθμοί Beaufort	Γενική περιγραφή	Προσδιορισμός	Ταχύτητα ανέμου 2m πάνω από το έδαφος			
			m/s	km/h	mph	knots
0	Νηνεμία	Καπνός ανέρχεται κατακόρυφα (άπνοια)	< 0.6	< 1	< 1	< 1
1	Υποπνέων	Η διεύθυνση προσδιορίζεται από τον καπνό, αλλά όχι από τους ανεμοδείκτες	0.6-1.7	1-6	1-3	1-3
2	Ασθενής	Αισθητός στο πρόσωπο. Θρόισμα φύλλων. Κινεί συνήθη ανεμοδείκτη	1.8-3.3	7-12	4-7	4-6
3	Λεπτός	Φύλλα και κλώνοι σε συνεχή κίνηση. Εκτείνει λεπτή σημαία	3.4-5.2	13-18	8-11	7-10
4	Μέτριος	Εγείρεται κονιορτός και φύλλα χαρτιού. Μικροί κλάδοι δέντρων κινούνται	5.3-7.4	19-26	12-16	10-14
5	Λαμπρός	Μικρά δέντρα με φύλλα λυγίζουν. Κυματίδια σε μεσόγεια νερά	7.5-9.8	27-35	17-22	15-19
6	Ισχυρός	Μεγάλοι κλάδοι δέντρων κινούνται. Συριγμοί στα τηλεγραφικά σύρματα. Δύσκολη η χρήση ομπρέλας	9.9-12.4	36-44	23-27	19-24
7	Σφοδρός	Κινεί ολόκληρα δέντρα. Βάδισμα αντίθετα προς τον άνεμο με δυσχέρεια	12.5-15.2	45-55	28-34	24-30
8	Ορμητικός	Θραύει κλώνους δέντρων και το βάδισμα γενικά εμποδίζεται	15.3-18.2	56-66	35-41	30-35
9	Θύελλα	Ελαφρές ζημιές στις οικοδομές. Πήλινες καπνοδόχοι αναρπάζονται	18.3-21.5	67-77	42-48	36-42
10	Ισχυρή θύελλα	Ξεριζώνονται δέντρα και προκαλούνται σημαντικές ζημιές στις οικοδομές	21.6-25.4	78-90	49-56	42-49
11	Σφοδρή θύελλα	Σπανιότατα σημειώνεται στην ξηρά και προκαλεί εκτεταμένες ζημιές	25.5-29	91-104	57-67	49-56
12	Τυφώνας	Εξαιρετικά σοβαρές καταστροφές	> 29	> 104	> 67	> 56



Σχήμα 5.2: Το ανεμολόγιο με τις 16 βασικές διευθύνσεις των ανέμων (Φλόκας, 1997).

5.3.4 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (precipitation flux, P_f)

Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα καλούνται τα διάφορα μερίδια νερού, τα οποία, μετά την δημιουργία τους στην ατμόσφαιρα, τη συμπύκνωση των υδρατμών και μεγέθυνση των σταγονιδίων ή των κρυστάλλων πάγου, έρχονται στην επιφάνεια της γης υπό μορφή βροχής, χιονιού ή χαλάζης (Φλόκας 1997).

Τα κατακρημνίσματα δημιουργούνται κυρίως από την εξάτμιση του νερού των ωκεανών. Πιο συγκεκριμένα, το 90% αυτών δημιουργούνται από την εξάτμιση των ωκεανών και μόνον το 10% από την εξάτμιση των υγρών επιφανειών της ξηράς και τη διαπνοή των φυτών (Linsley et al., 1982). Οι διεργασίες από την ύπαρξη υδρατμών στην ατμόσφαιρα μέχρι τη δημιουργία νεφών και, στη συνέχεια, κατακρημνισμάτων είναι πολύπλοκες. Οι διεργασίες αυτές αποτελούν αντικείμενο μελέτης κυρίως της μετεωρολογίας, ενώ η υδρολογία ασχολείται με τα κατακρημνίσματα μετά την επάνοδό τους στην επιφάνεια του εδάφους.

Από την εξάτμιση του νερού των ωκεανών, των υγρών επιφανειών της ξηράς και τη διαπνοή των φυτών, συσσωρεύονται στην ατμόσφαιρα τεράστιες ποσότητες υδρατμών. Από τη συσσώρευση υδρατμών μέχρι τη δημιουργία σταγόνων κατακρημνίσιμου μεγέθους και την επάνοδό τους στην επιφάνεια της γης, είναι απαραίτητες οι ακόλουθες διεργασίες:

- i. Πτώση της θερμοκρασίας της αέριας μάζας που περιέχει τους υδρατμούς μέχρι εκείνης του σημείου δρόσου.

Η αέρια μάζα είναι δυνατόν να ψυχθεί είτε δια ακτινοβολίας, είτε με τη μεταφορά της από θερμότερη σε ψυχρότερη περιοχή, ή ακόμη και αδιαβατικά, χωρίς δηλαδή την ανταλλαγή θερμότητας. Η τελευταία αυτή περίπτωση είναι και η πιο σημαντική και μπορεί να οφείλεται στην ανύψωση της αέριας μάζας εξαιτίας παρεμβολής στην πορεία της φυσικών εμποδίων (π.χ. οροσειρών), στην υπερθέρμανση του εδάφους, στην κίνηση θερμού αέρα επάνω από ψυχρές μετωπικές επιφάνειες κλπ. Έτσι, καθώς η αέρια μάζα ανέρχεται, υφίσταται εκτόνωση, ελάττωση της πίεσης και μείωση της θερμοκρασίας της, χωρίς καμία μεταβίβαση θερμότητας.

- ii. Δημιουργία μικροσκοπικών σταγονιδίων ή κρυστάλλων πάγου και, στη συνέχεια, δημιουργία νεφών.

Η ύπαρξη στην ατμόσφαιρα κορεσμένων αερίων μαζών με θερμοκρασία ίση ή κάτω εκείνης του σημείου δρόσου, καθώς και μικροσκοπικών πυρήνων συμπύκνωσης, συντελεί στην υγροποίηση των υδρατμών, τη δημιουργία σταγονιδίων και κρυστάλλων πάγου και, έτσι, στη δημιουργία νεφών.

Από τα διάφορα είδη ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων εκείνο που ενδιαφέρει περισσότερο την Υδρολογία είναι η βροχόπτωση. Η βροχόπτωση είναι ένα μέγεθος ιδιαίτερα μεταβλητό που δύσκολα μπορεί να αποτυπωθεί και να αναλυθεί. Έχει πολλά χαρακτηριστικά, η ανάλυση των οποίων γίνεται για διαφορετικούς, κάθε φορά, σκοπούς. Από ένα γεγονός βροχόπτωσης που καταγράφεται σε ένα βροχομετρικό σταθμό μπορεί να ενδιαφέρει:

- i. Το συνολικό ύψος βροχής
- ii. Η διάρκειά της
- iii. Η μέση έντασή της
- iv. Η μέγιστη έντασή της και η αντίστοιχη διάρκεια
- v. Η ομοιομορφία κατανομής στο χρόνο κ.ά.

5.3.5 Γεωδυναμικό ύψος στα 500 hPa (geopotential height, gz500)

Γεωδυναμικό καλούμε το έργο που παράγεται από τη μονάδα μάζας ($m = 1 \text{ kg}$) κατά την ανύψωσή της από τη μέση στάθμη της θάλασσας ($z = 0$) στο ύψος z . Συμβολίζεται με το ελληνικό γράμμα Φ και δίνεται από τη σχέση:

$$\Phi = \int_0^z g dz \quad (5.4)$$

Την ποσότητα, τώρα, $\Phi(z) / g_0 = H$ ονομάζουμε γεωδυναμικό ύψος (geopotential height)

Οπότε

$$H = \Phi(z) / g_0 = \frac{1}{g_0} \cdot \int_0^z g \cdot dz \quad (5.5)$$

όπου g_0 είναι η μέση τιμή της επιτάχυνσης της βαρύτητας στην επιφάνεια της γης (9.8 m/s^2) (Μιχαλοπούλου, 1988).

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι, διαιρώντας με g_0 το γεωδυναμικό κάποιου σημείου ύψους z μέσα στην ατμόσφαιρα, μετρούμε το ύψος z αυτού του σημείου (από τη Μέση Στάθμη της Θάλασσας) εκφρασμένο όχι σε γεωμετρικά μέτρα, αλλά σε μία άλλη μονάδα (όχι μονάδα μήκους) η οποία ορίζεται σαν γεωδυναμικό μέτρο (gpm)

$$1 \text{ gpm} = 9.8 \text{ Joule} / \text{kg} \quad (5.6)$$

Αποδεικνύεται ότι 1 gpm αντιστοιχεί σε διαφορά ύψους 1.02 m περίπου. Αυτό σημαίνει ότι ο αριθμός που εκφράζει το ύψος μιας ισοβαρικής επιφάνειας σε gpm αποδίδει και το ύψος αυτής της επιφάνειας σε γεωμετρικά μέτρα περίπου.

Η πρακτική αξία της μέτρησης του ύψους σε gpm έγκειται στο γεγονός ότι όλα τα σημεία (ανεξάρτητα γεωγραφικού πλάτους) που εκφράζονται με το ίδιο γεωδυναμικό ύψος, βρίσκονται πάνω στην ίδια ισογεωδυναμική επιφάνεια.

Τέλος, στη μελέτη δυναμικών προβλημάτων ισορροπίας και κίνησης της ατμόσφαιρας, θεωρούμε, συνήθως, ισοδυναμικές επιφάνειες και αυτό διότι η κίνηση ενός σώματος πάνω σε μία τέτοια επιφάνεια είναι ανεξάρτητη της βαρύτητας.

Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήσαμε τιμές του γεωδυναμικού ύψους για πίεση 500 hPa για τα στρώματα της ατμόσφαιρας άνω της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλίας όπου βρίσκονται οι προς μελέτη ταμιευτήρες Πλαστήρα και Σμοκόβου.

5.3.6 Γεωδυναμικό πάχος μεταξύ 500 και 1000 hPa (geopotential thickness, gz500_1000)

Ως γεωδυναμικό πάχος (geopotential thickness) ορίζεται η διαφορά του γεωδυναμικού ύψους (geopotential height) μεταξύ δύο ισοβαρών επιφανειών (Ζιακόπουλος, 2008). Το γεωδυναμικό πάχος είναι μέγεθος ανάλογο της μέσης θερμοκρασίας του αέρα μεταξύ των δύο ισοβαρών επιφανειών.

Δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta\varphi = -R \int_{P_1}^{P_2} T \cdot \frac{dp}{p} = R \cdot T_m \cdot \ln \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \quad (5.7)$$

Όπου $\Delta\varphi$ το γεωδυναμικό πάχος

R η σταθερά Boltzmann

P_1 και P_2 η ατμοσφαιρική πίεση στην κατώτερη και ανώτερη αντίστοιχα ισοβαρική επιφάνεια

T η θερμοκρασία σε βαθμούς Kelvin

και T_m η μέση θερμοκρασία σε βαθμούς Kelvin μεταξύ των δύο ισοβαρών επιφανειών

Επεξεργαστήκαμε δεδομένα για το γεωδυναμικό πάχος μεταξύ των ισοβαρών επιφανειών των 500 και 1000 hPa εκφρασμένο σε μέτρα για την περιοχή του παγκόσμιου γεωγραφικού καννάβου άνω της Θεσσαλικής πεδιάδας την οποία και εξετάζουμε στο παρόν τεύχος.

5.4 Υπολογιστική διαδικασία για την πρόβλεψη της βροχόπτωσης

Από το Καναδικό Κέντρο Κλιματικής Αλλαγής χρησιμοποιώντας το Παγκόσμιο Κλιματικό Μοντέλο 3^{ης} γενιάς και το δυσμενές οικολογικό σενάριο A2 (διπλασιασμός των εκπομπών CO₂) παίρνουμε τα ιστορικά δεδομένα του μοντέλου (1960-1990) για τις μετεωρολογικές μεταβλητές της μέσης θερμοκρασίας του αέρα, της μέσης ατμοσφαιρικής πίεσης στο επίπεδο της μέσης στάθμης της θάλασσας, της μέσης ταχύτητας του ανέμου, της βροχόπτωσης, του γεωδυναμικού ύψους στα 500 hPa και του γεωδυναμικού πάχους μεταξύ 500 και 1000 hPa. Με τη βοήθεια λογισμικού και της μεθόδου της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης βαθμονομείται μια σχέση της μορφής

$$\ln P = a_0 + \sum_{i=1}^{12} a_i D_i + a_{13} \text{mslp} + a_{14} \text{swa} + a_{15} \text{tmp} + a_{16} \text{gz500} + a_{17} \text{gz500_1000} + a_{18} P_f \quad (5.7)$$

όπου P είναι η μηνιαία τιμή της χωρικά μέσης βροχόπτωσης στη θεωρούμενη λεκάνη και οι υπόλοιπες μεταβλητές έχουν εξηγηθεί στα προηγούμενα εδάφια. Στη σχέση υπεισέρχονται και οι βοηθητικές μεταβλητές D_i ώστε να ληφθεί υπόψη η διακύμανση της βροχόπτωσης από μήνα σε μήνα. Αν, για παράδειγμα πρόκειται για μηνιαία τιμή του Οκτωβρίου τότε $D_1 = 1$ και όλες οι άλλες τιμές είναι 0 (Loukas et al., 2008).

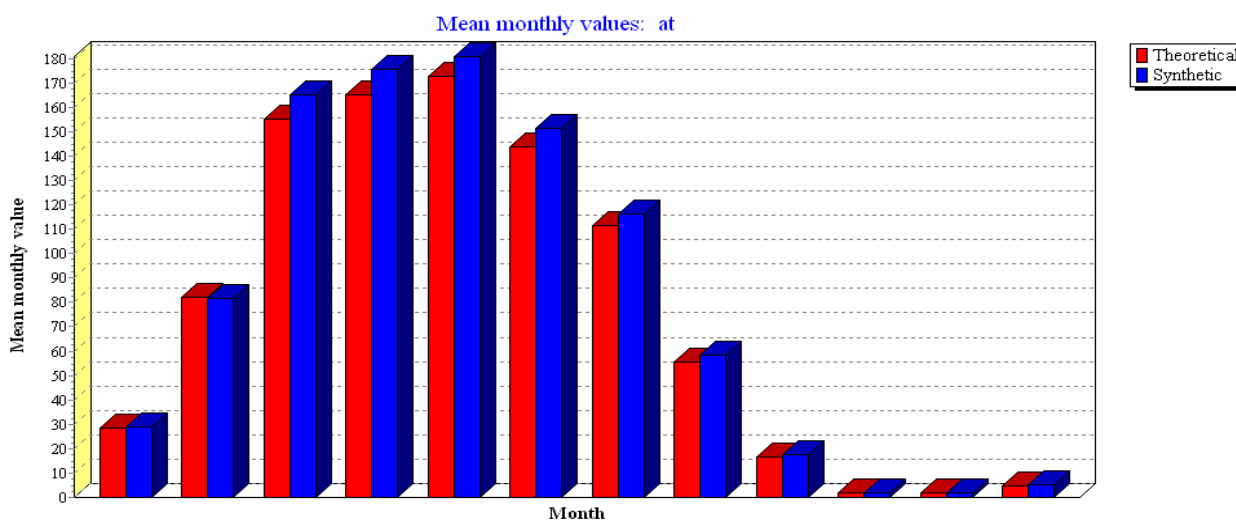
Η βαθμονόμηση της παραπάνω σχέσης πραγματοποιήθηκε για τα έτη 1960-90 και η σχέση εφαρμόστηκε, στη συνέχεια, για την περίοδο 2020-2100.

6 Αποτελέσματα

6.1 Περίοδος 1960-1990

6.1.1 Παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών απορροής

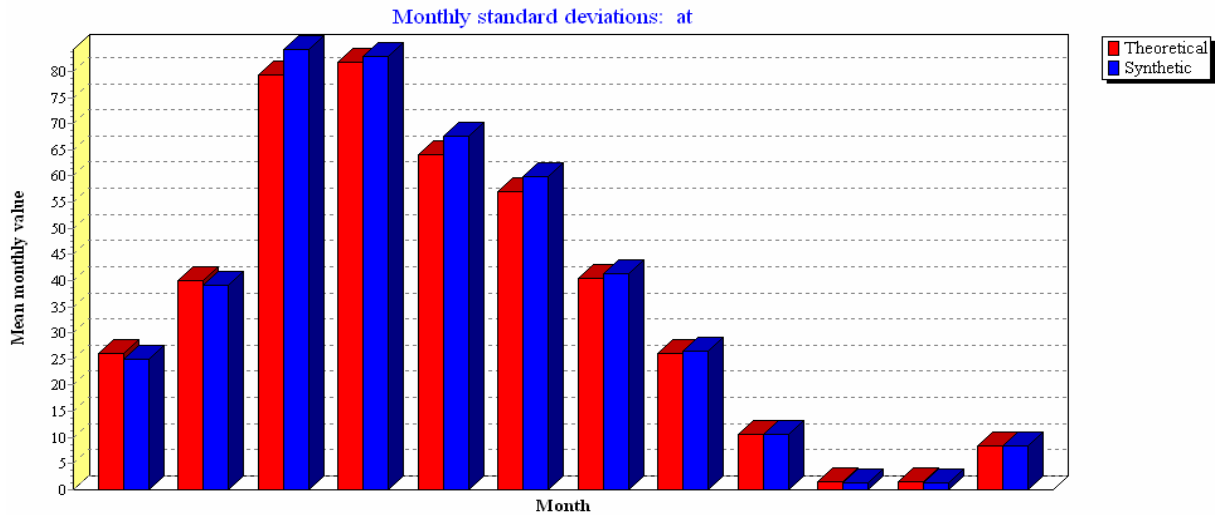
Με βάση τις απορροές για τα έτη 1960-1990 ανάντη των λεκανών απορροής Πλαστήρα και Σμοκόβου οι οποίες υπολογίστηκαν από το βαθμονομημένο μοντέλο «Ζυγός» και με τη βοήθεια του υποσυστήματος «Κασταλία» παράγουμε συνθετική χρονοσειρά απορροών μήκους 2000 ετών. Οι χρονοσειρές που δημιουργήθηκαν παρουσιάζουν τα παρακάτω στατιστικά χαρακτηριστικά.



Σχήμα 6.1: Μέσες μηνιαίες τιμές απορροής της συνθετικής χρονοσειράς (μπλε) και της ιστορικής χρονοσειράς (κόκκινο) ανάντη του φράγματος Πλαστήρα. Παρουσιάζεται το υδρολογικό έτος (Οκτ. – Σεπ.)

Πίνακας 6.1: Μέσες μηνιαίες τιμές απορροής ανάντη του φράγματος Πλαστήρα

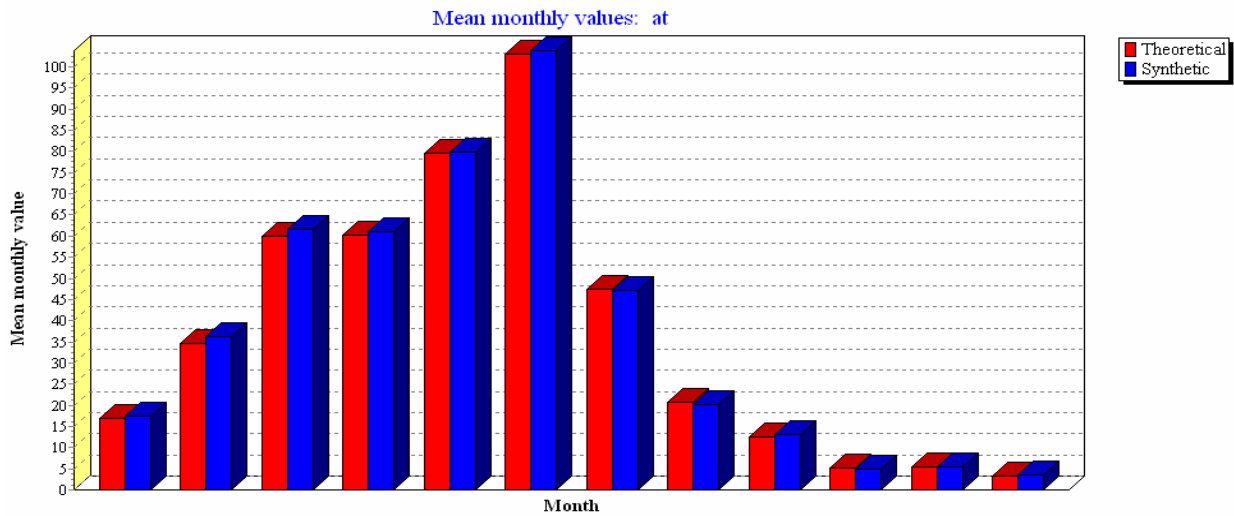
	Οκτ	Νοέ	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μάρ	Απρ	Μάι	Ιούν	Ιούλ	Αύγ	Σεπ	Ετήσιο
Ιστορική	28.24	81.92	155.34	165.1	172.9	143	111	55.4	16.45	1.79	1.71	4.75	939.23
Συνθετική	29.09	81.43	165.25	175.47	180.7	151	116	58.2	17.7	1.86	1.7	5.4	984.7



Σχήμα 6.2: Τυπικές αποκλίσεις μηνιαίων τιμών απορροής της συνθετικής χρονοσειράς (μπλε) και της ιστορικής χρονοσειράς (κόκκινο) ανάτη του φράγματος Πλαστήρα. Παρουσιάζεται το υδρολογικό έτος (Οκτ. – Σεπ.)

Πίνακας 6.2: Τυπική απόκλιση μηνιαίων τιμών απορροής ανάτη του φράγματος Πλαστήρα

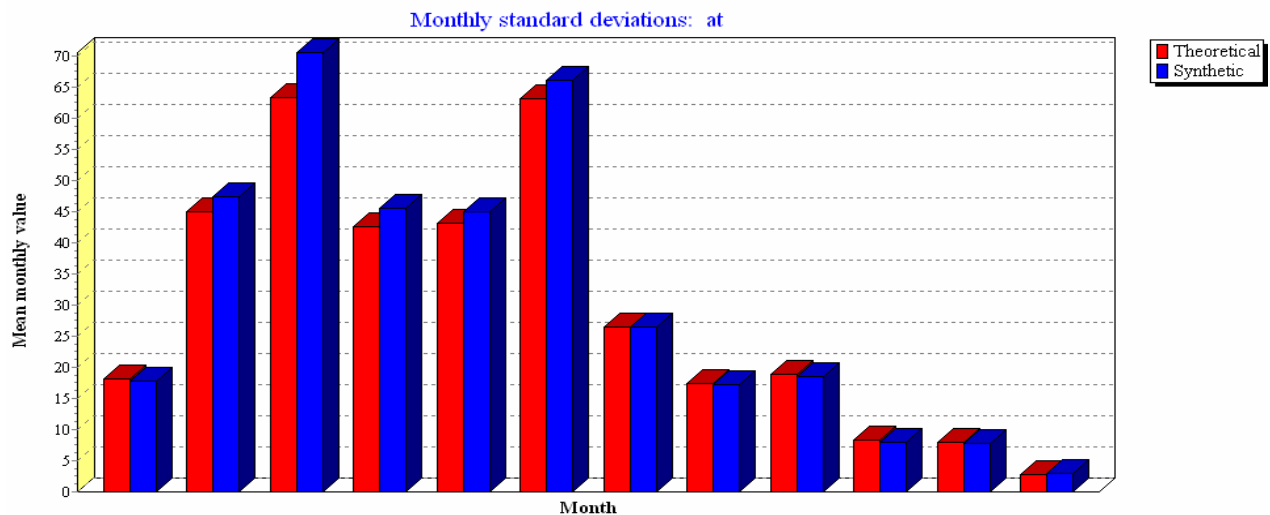
	Οκτ	Νοέ	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μάρ	Απρ	Μάι	Ιούν	Ιούλ	Αύγ	Σεπ	Ετήσιο
Ιστορική	26.1	40.1	79.3	81.7	64.1	57.1	40.3	26.1	10.5	1.5	1.5	8.4	269.5
Συνθετική	25.2	39.2	84.2	82.8	67.5	59.9	41.3	26.5	10.6	1.4	1.4	8.3	276.0



Σχήμα 6.3: Μέσες μηνιαίες τιμές απορροής της συνθετικής χρονοσειράς (μπλε) και της ιστορικής χρονοσειράς (κόκκινο) ανάτη του φράγματος Σμοκόβου. Παρουσιάζεται το υδρολογικό έτος (Οκτ. – Σεπ.)

Πίνακας 6.3: Μέσες μηνιαίες τιμές απορροής ανάτη του φράγματος Σμοκόβου

	Οκτ	Νοέ	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μάρ	Απρ	Μάι	Ιούν	Ιούλ	Αύγ	Σεπ	Ετήσιο
Ιστορική	16.8	34.6	59.8	60.3	79.7	103.1	47.4	20.6	12.5	5.1	5.3	3.3	448.6
Συνθετική	17.3	36.3	61.6	61.0	79.8	103.8	47.1	20.3	13.2	5.0	5.4	3.4	454.1



Σχήμα 6.4: Τυπικές αποκλίσεις μηνιαίων τιμών απορροής της συνθετικής χρονοσειράς (μπλε) και της ιστορικής χρονοσειράς (κόκκινο) ανάντη του φράγματος Σμοκόβου. Παρουσιάζεται το υδρολογικό έτος (Οκτ. – Σεπ.)

Πίνακας 6.4: Τυπική απόκλιση μηνιαίων τιμών απορροής ανάντη του φράγματος Σμοκόβου

	Οκτ	Νοέ	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μάρ	Απρ	Μάι	Ιούν	Ιούλ	Αύγ	Σεπ	Ετήσιο
Ιστορική	18.2	45.1	63.4	42.6	43.16	63.2	26.5	17.4	18.9	8.3	8.1	2.8	205.05
Συνθετική	17.8	47.4	70.6	45.6	45.07	66.2	26.6	17.2	18.6	8.0	7.9	3.1	209.08

6.1.2 Εκτίμηση ΕΕΥΔ

Με βάση μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης και εξάτμισης από τους 2 ταμιευτήρες και με τις 2000×12 τιμές της απορροής που έχουμε δημιουργήσει παραπάνω, προσομοιώνουμε τις φυσικές διεργασίες οι οποίες συντελούνται στους 2 ταμιευτήρες ενώ παράλληλα με δοκιμές αναζητούμε εκείνη την τιμή της ετήσιας ζήτησης για νερό για την οποία οι ετήσιες απολήψιμες ποσότητες από τους ταμιευτήρες ικανοποιούνται σε ποσοστό 99%.

Τα αποτελέσματα τα οποία βρήκαμε για τη δεδομένη αξιοπιστία (99%) είναι:

Για τον Πλαστήρα $129 \times 10^6 \text{ m}^3$

και για το Σμόκοβο $144.5 \times 10^6 \text{ m}^3$

Οι δοκιμές παρουσιάζονται ακολούθως

Πίνακας 6.5: Δοκιμές για τον ταμιευτήρα του Πλαστήρα

Ετήσια ζήτηση νερού (10^6 m^3)	Αξιοπιστία (%)
140	97.2
130	98.85
129	99

Πίνακας 6.6: Δοκιμές για τον ταμιευτήρα του Σμοκόβου

Ετήσια ζήτηση νερού (10^6m^3)	Αξιοπιστία (%)
100	100
150	98
145	98.85
144	99.15
144.5	99

6.1.3 Κατάρτιση μοντέλου υδατικού ισοζυγίου «Ζυγός»

Έχοντας τις επιφανειακές βροχοπτώσεις, τις εξατμισοδιαπνοές, και τις μετρημένες απορροές ανάντη των λεκανών απορροής πραγματοποιούμε βαθμονόμηση του μοντέλου. Ζητάμε δηλαδή εκείνες τις παραμέτρους έτσι ώστε οι μετρημένες και οι υπολογισμένες από το μοντέλο απορροές να έχουν όσο το δυνατό μικρότερη απόκλιση.

Πίνακας 6.7: Ενδεικτικές δοκιμές για βέλτιστη βαθμονόμηση του μοντέλου Ζυγός

Δοκιμή	1	2	3	4	5	6
K	0.147	0.01	0.139	0.226	0.071	0.197
M	0.083	0.236	0.167	0.101	0.113	0.271
E	147.858	0.01	0	115.538	576	0.01
H_1	0.99	83.188	576	0.871	129.132	454.757
H_2	300	116.47	294.2	294.6	0.206	348.88
λ	0.99	0.974	0.299	162.5	600	0.99
Ξ	0.329	0.282	0.161	0.186	0.169	0.206
Φ	0.673	0	0.814	0	0.561	0
K	369.3	600	162.5	250	259.4	599.99
S_0	174.679	190.8	16.2	148.75	71.211	46.963
Y_0	191.14	41.2	16.78	5.41	0	67.78
R^2	0.729	0.712	0.684	0.673	0.725	0.709

Κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης χρησιμοποιήσαμε τις τιμές για τα πρώτα 15 έτη 1960-1975. Κατά τη διαδικασία της επαλήθευσης χρησιμοποιήθηκε το δεύτερο μισό της χρονικής περιόδου για την οποία διαθέτουμε υδρολογικά δεδομένα 1975-1990. Ο μέγιστος και συγχρόνως πιο κοντινός στη μονάδα συντελεστής προσδιορισμού που καταφέραμε να επιτύχουμε κατά τη διάρκεια των δοκιμών ήταν 0.743 για τον Πλαστήρα και 0.733 για το Σμόκοβο.

Πίνακας 6.8: Τελικές τιμές παραμέτρων του μοντέλου Ζυγός για τον ταμιευτήρα Πλαστήρα

κ	μ	ε	H_1	H_2	λ	ξ	Φ	K	S_0	Y_0
0	0.32	0	52.26	162.65	0.256	0.526	0	180	4.16	7.15

Πίνακας 6.9: Τελικές τιμές παραμέτρων του μοντέλου Ζυγός για τον ταμιευτήρα Σμοκόβου

κ	μ	ε	H_1	H_2	λ	ξ	Φ	K	S_0	Y_0
0	0.13	0	63.51	140.28	0.391	0.822	0	177	18.1	15.6

6.1.4 Κατάρτιση σχέσης για πρόβλεψη της βροχόπτωσης με βάση μετεωρολογικές μεταβλητές

Χρειαζόμαστε μία σχέση η οποία θα εκτιμά την επιφανειακή βροχόπτωση ανάντη των δύο λεκανών απορροής για τη μελλοντική χρονική περίοδο 2020-2100. Η διαδικασία με την οποία την καταρτίσαμε περιγράφεται παρακάτω. Κατ αρχήν έχουμε ως δεδομένα την μετρημένη επιφανειακή βροχόπτωση για τα έτη 1960-1990 η οποία και θα αποτελέσει την εξαρτημένη μεταβλητή στην παλινδρόμηση την οποία θα εκτελέσουμε. Ως ανεξάρτητες μεταβλητές θα χρησιμοποιηθούν οι έξι μετεωρολογικές παράμετροι που έχουν περιγραφεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Τις μηνιαίες τιμές αυτών των παραμέτρων για τα έτη 1960-1990 τις λάβαμε από το Παγκόσμιο Κλιματικό Μοντέλο του Καναδικού Κέντρου για την Κλιματική Αλλαγή. Εκτελούμε, λοιπόν, μία πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση και παίρνουμε ως αποτέλεσμα τις τιμές των παραμέτρων που συνδέουν αυτές τις μεταβλητές μεταξύ τους. Οι σχέσεις που προέκυψαν για τους ταμιευτήρες Πλαστήρα και Σμοκόβου αντίστοιχα είναι:

$$\ln P_{measured} = 42 + 0.816a_1 + 1.17a_2 + 1.04a_3 + 0.449a_4 + 0.715a_5 + 0.409a_6 + 0.370a_7 + 0.043a_8 - 0.349a_9 - 0.942a_{10} - 0.417a_{11} - 0.00052mslp - 0.004swa + 0.0025gz500 + 0.0008gz(500 - 1000) - 0.158surftmpr - 0.00298P_{calculated} \quad (6.1)$$

$$\ln P_{measured} = -390 + 1.33b_1 + 1.53b_2 + 1.45b_3 + 1.20b_4 + 1.20b_5 + 1.09b_6 + 0.707b_7 + 0.518b_8 - 0.271b_9 - 0.774b_{10} - 0.303b_{11} + 0.00371mslp + 0.144swa - 0.0470gz500 + 0.0511gz(500 - 1000) - 0.0656surftmpr - 0.00232P_{calculated} \quad (6.2)$$

6.2 Περίοδος 2020-2100

6.2.1 Πρόβλεψη της βροχόπτωσης με βάση μετεωρολογικές μεταβλητές

Με βάση τις δύο εξισώσεις που έχουμε καταρτίσει παραπάνω για την εκτίμηση της βροχόπτωσης σε συνδυασμό με τις εκτιμήσεις του Καναδικού Κέντρου Κλιματικής Αλλαγής για τις τιμές των μετεωρολογικών μεταβλητών κατά τα έτη 2020-2100 υπολογίζουμε τις μηνιαίες τιμές της βροχόπτωσης για τα μελλοντικά έτη για τους 2 ταμιευτήρες.

6.2.2 Παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών απορροής

Η μέθοδος παραγωγής συνθετικής χρονοσειράς απορροής για τη μελλοντική περίοδο 2020-2100 διαφέρει σε σχέση με την αντίστοιχη μέθοδο η οποία ακολουθήθηκε για την ιστορική χρονική περίοδο 1960-1990. Διαθέτοντας τις εκτιμημένες επιφανειακές βροχοπτώσεις για κάθε μήνα των ετών 2020-2100 για τις δύο λεκάνες απορροής παράγουμε μέσω του υποσυστήματος της Κασταλίας συνθετική χρονοσειρά μήκους 2000 ετών. Στη συνέχεια, διατηρούμε μία μέση τιμή εξαμνησποδιαπνοής για κάθε μήνα του έτους (12 μέσες τιμές εξαμνησποδιαπνοής) θεωρώντας με αυτό τον τρόπο ότι το μέγεθος της εξαμνησποδιαπνοής παραμένει σταθερό κατά τη διάρκεια των μελλοντικών ετών. Κατόπιν, εισάγουμε τις χρονοσειρές της επιφανειακής βροχόπτωσης και της εξαμνησποδιαπνοής μήκους 2000 ετών καθώς και τις παραμέτρους του βαθμονομημένου μοντέλου βροχής-απορροής Ζυγός για την εκάστοτε λεκάνη απορροής και παίρνουμε σαν αποτέλεσμα 2000×12 τιμές απορροής.

Οι μέσες τιμές εξαμνησποδιαπνοής από τους δύο ταμιευτήρες οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή των συνθετικών χρονοσειρών απορροής παρουσιάζονται παρακάτω.

Πίνακας 6.10: Μέση μηνιαία εξατμισοδιαπνοή που χρησιμοποιήθηκε για την σύνθεση χρονοσειράς απορροής του ταμιευτήρα Πλαστήρα (mm) από Διερεύνηση σεναρίων διαχείρισης ταμιευτήρα Σμοκόβου, Ιούλιος 2008.

Μήνας	Οκτ	Νοέ	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μάρ	Απρ	Μάι	Ιούν	Ιούλ	Αύγ	Σεπ
Μέση εξατμισοδιαπνοή	48.63	28.64	18.74	29.64	35.81	52.46	75.26	106.82	138.26	155.32	145.83	99.01

Πίνακας 6.11: Μέση μηνιαία εξατμισοδιαπνοή που χρησιμοποιήθηκε για την σύνθεση χρονοσειράς απορροής του ταμιευτήρα Σμοκόβου (mm)

Μήνας	Οκτ	Νοέ	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μάρ	Απρ	Μάι	Ιούν	Ιούλ	Αύγ	Σεπ
Μέση εξατμισοδιαπνοή	52.12	32.12	21.26	28.50	32.86	50.04	72.43	104.76	140.82	152.54	142.87	98.29

Οι πιο πάνω τιμές συλλέχθηκαν από τις μελέτες:: Σχέδιο διαχείρισης των υδατικών πόρων της περιοχής Καρδίτσας και Διερεύνηση σεναρίων διαχείρισης του ταμιευτήρα Σμοκόβου αντίστοιχα.

6.2.3 Εκτίμηση ΕΕΥΔ

Την ίδια διαδικασία που ακολουθήσαμε για την εκτίμηση του Εκμεταλλεύσιμου Επιφανειακού Υδατικού Δυναμικού για τα ιστορικά έτη ακολουθούμε και για τη μελλοντική περίοδο. Οπότε, όμοια αναζητούμε εκείνη την τιμή της ετήσιας ζήτησης για νερό για την οποία οι ετήσιες απολήψιμες ποσότητες από τους ταμιευτήρες ικανοποιούνται σε ποσοστό 99%.

Τα αποτελέσματα τα οποία βρήκαμε για τη δεδομένη αξιοπιστία (99%) είναι :

Για τον Πλαστήρα $100.4 \times 10^6 \text{ m}^3$

και για το Σμόκοβο $119.5 \times 10^6 \text{ m}^3$

Οι δοκιμές παρουσιάζονται ακολούθως.

Πίνακας 6.10 : Δοκιμές για τον ταμιευτήρα του Πλαστήρα

Ετήσια ζήτηση νερού (10^6 m^3)	Αξιοπιστία (%)
120	16.6
100	99.7
105	81.2
100.2	99.4
100.3	99.1
100.5	98.8
100.4	98.95

Πίνακας 6.11 : Δοκιμές για τον ταμιευτήρα του Σμοκόβου

Ετήσια ζήτηση νερού (10^6m^3)	Αξιοπιστία (%)
130	35.88
120	97.80
118	99.50
119	99.30
119.4	98.85

6.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων των δύο περιόδων

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα που λάβαμε κατά την ολοκλήρωση των εργασιών για κάθε μία από τις δύο περιόδους συμπεραίνουμε τα παρακάτω.

Κατ αρχήν για την λεκάνη απορροής ανάντη του φράγματος του Πλαστήρα η μέση ετήσια επιφανειακή βροχόπτωση μειώθηκε από 1756 mm σε 1293 mm στη μελλοντική περίοδο. Δηλαδή ελαττώθηκε κατά ποσοστό 26.7%. Αντίστοιχα, η ποσότητα του Εκμεταλλεύσιμου Επιφανειακού Υδατικού Δυναμικού μειώθηκε από $129 \times 10^6 \text{ m}^3$ σε $100.4 \times 10^6 \text{ m}^3$, μείωση δηλαδή της τάξης του 22.17%.

Παρόμοια για τη λεκάνη απορροής ανάντη του φράγματος του Σμοκόβου η μέση ετήσια επιφανειακή βροχόπτωση P μειώθηκε από 761 mm σε 634 mm για τη μελλοντική χρονική περίοδο, ελάττωση, δηλαδή, της τάξης του 15.9%. Στην περίπτωση του Εκμεταλλεύσιμου Επιφανειακού Υδατικού Δυναμικού (ESWP) από τον ταμιευτήρα του Σμοκόβου η τιμή ελαττώθηκε από $144.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ σε $119.4 \times 10^6 \text{ m}^3$, μείωση δηλαδή της τάξης του 17.37%.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6.12 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τους ταμιευτήρες Πλαστήρα και Σμοκόβου

	Πλαστήρας			Σμοκόβο		
	Ιστορικά έτη	Μελλοντικά έτη	Ποσοστό Μείωσης (%)	Ιστορικά έτη	Μελλοντικά έτη	Ποσοστό Μείωσης (%)
<i>P</i> (mm)	1756	1293	26.7	761	634	15.9
ESWP (10 ⁶ m ³)	129	100.4	22.17	144.5	119.4	17.37

7 Σύνοψη - Συμπεράσματα

7.1 Σύνοψη

Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η διερεύνηση της ποσοστιαίας μεταβολής του εκμεταλλεύσιμου υδατικού δυναμικού των ταμιευτήρων Πλαστήρα και Σμοκόβου σε συνθήκες κλιματικής αλλαγής. Στα πλαίσια αυτά, λοιπόν, εξετάσαμε τα υδρολογικά χαρακτηριστικά των δύο λεκανών απορροής ανάντη των φραγμάτων. Συλλέξαμε υδρολογικά δεδομένα από υπάρχουσες μελέτες που αφορούν την επιφανειακή βροχόπτωση, την εξατμισοδιαπνοή αλλά και τις απορροές από τις δύο λεκάνες για τα έτη 1960-1990. Τα δεδομένα αυτά συλλέχθηκαν σε συνεργασία με διάφορες δημόσιες υπηρεσίες από προηγούμενες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί για τις συγκεκριμένες περιοχές.

Έγινε χρήση του λογισμικού «Υδρογνώμων» το οποίο έχει σχεδιαστεί από ομάδα ερευνητών της Σχολής των Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Από το λογισμικό αυτό χρησιμοποιήσαμε το μοντέλο βροχής-απορροής «Ζυγός». Μετά την εισαγωγή στο λογισμικό των ιστορικών χρονοσειρών των υδρολογικών μεγεθών επιδιώξαμε τη βαθμονόμηση του μοντέλου επιλέγοντας τις κατάλληλες τιμές των παραμέτρων αυτού.

Με βαθμονομημένο, πλέον, το μοντέλο «Ζυγός» ελήφθησαν οι υπολογισμένες από το μοντέλο απορροές. Με βάση αυτές και με τη βοήθεια του υποσυστήματος «Κασταλία» του λογισμικού «Υδρογνώμων» έγινε παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών μήκους 2000 ετών της μεταβλητής της απορροής. Κατόπιν, πραγματοποιούμε προσομοίωση των λειτουργιών του ταμιευτήρα για τα 2000 αυτά έτη. Αυτό μας επέτρεψε να εκτιμήσουμε το Εκμεταλλεύσιμο Επιφανειακό Υδατικό Δυναμικό των λεκανών απορροής των δύο ταμιευτήρων. Υπολογίσαμε εκείνη την τιμή της ετήσιας ζήτησης για νερό για την οποία κατά το 99% από τα 2000 έτη υπάρχει ικανοποίηση της ζήτησης νερού από τις απολήψεις των ταμιευτήρων. Όλα τα παραπάνω πραγματοποιήθηκαν για την ιστορική χρονική περίοδο 1960-1990.

Για τη μελλοντική χρονική περίοδο 2020-2100 επιδιώξαμε κατ' αρχήν να προβλέψουμε την επιφανειακή βροχόπτωση στις λεκάνες απορροής ανάντη των φραγμάτων. Από το Καναδικό Κέντρο για την Κλιματική Αλλαγή συλλέξαμε δεδομένα για έξι μετεωρολογικές μεταβλητές οι οποίες σχετίζονται στενά με το ύψος της βροχόπτωσης. Τα δεδομένα αφορούν τα έτη 1960-1990. Με πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση υπολογίσαμε τις αριθμητικές παραμέτρους οι οποίες συνδέουν τις εν λόγω έξι μεταβλητές με την επιφανειακή βροχόπτωση των ετών 1960-1990. Λαμβάνοντας τις εκτιμημένες από το Καναδικό Κέντρο τιμές των έξι μετεωρολογικών μεταβλητών για τη χρονική περίοδο 2020-2100 και εισάγοντας τις τιμές αυτές στις δύο εξισώσεις που έχουμε καταρτίσει λάβαμε μία αρκετά καλή εκτίμηση των επιφανειακών βροχοπτώσεων για το μέλλον.

Από το υποσύστημα «Κασταλία» με βάση τις εκτιμημένες μελλοντικές βροχοπτώσεις έγινε παραγωγή συνθετικής χρονοσειράς μηνιαίας χωρικά μέσης βροχόπτωσης μήκους 2000 ετών. Διατηρώντας την εξατμισοδιαπνοή για κάθε μήνα ίση με την ιστορική μέση μηνιαία τιμή της και τη χρήση του βαθμονομημένου μοντέλου «Ζυγός» παρήχθησαν οι εκτιμημένες συνθετικές απορροές από τις λεκάνες απορροής για τα μελλοντικά έτη. Τέλος, αντίστοιχα με προηγούμενα, προσομοιώσαμε τη λειτουργία των δύο ταμιευτήρων αυτή τη φορά για τις μελλοντικές

συνθήκες. Αυτό μας επέτρεψε να εκτιμήσουμε το Εκμεταλλεύσιμο Επιφανειακό Υδατικό Δυναμικό για την χρονική περίοδο που ακολουθεί την κλιματική αλλαγή.

7.2 Συμπεράσματα

Κατά τη διεκπεραίωση της παρούσας εργασίας υπήρξαν διάφορα προβλήματα με τα οποία βρεθήκαμε αντιμέτωποι. Κατ' αρχήν αφιερώθηκε αρκετός χρόνος για να συλλεχθούν τα υδρολογικά δεδομένα τα οποία ήταν απαραίτητα για τη μελέτη των δύο ταμιευτήρων. Τα δεδομένα τελικά συγκεντρώθηκαν έπειτα από συνεργασία με διάφορες δημόσιες υπηρεσίες. Ακόμη, ανατρέξαμε σε πολλές ηλεκτρονικές πηγές αλλά και παλαιότερες μελέτες και εργασίες σχετικές με τις υπό έρευνα περιοχές.

Ένα άλλο σημείο στο οποίο η εργασία συνάντησε προβλήματα ήταν η δύσκολη διαδικασία παροχής πληροφοριών από το Καναδικό Κέντρο Κλιματικής Αλλαγής. Αφού εκτελέστηκαν οι ενέργειες για την εγγραφή στο αντίστοιχο δικτυακό τόπο, επιλέχθηκε εκείνο το ωκεανο-ατμοσφαιρικό μοντέλο που ήταν κατάλληλο για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας. Ωστόσο, η μορφή των πληροφοριών δεν ήταν τέτοια που να επιτρέπει την εύκολη επεξεργασία τους από τον μελετητή. Καταβλήθηκαν μακροχρόνιες και επίπονες προσπάθειες έτσι ώστε τα δεδομένα να εισαχθούν και να έχουν μία επεξεργάσιμη μορφή στο πρόγραμμα επεξεργασίας λογιστικών φύλλων (Microsoft Office Excel).

Αρκετός χρόνος, επίσης, αφιερώθηκε κατά τη διαδικασία βαθμονόμησης του μοντέλου βροχής-απορροής. Χρειάστηκαν πολλές δοκιμές και συνάμα περίσσεια υπομονής έτσι ώστε να επιλέξουμε τις καταλληλότερες τιμές των παραμέτρων του μοντέλου που να απεικονίζουν με τον πιο δόκιμο τρόπο τη διαδικασία παραγωγής της απορροής μέσω της βροχόπτωσης.

Μία ακόμη τροχοπέδη που η εργασία όφειλε να υπερσκελίσει ήταν η διαδικασία παραγωγής των δύο εξισώσεων που δίνουν την εκτιμημένη μελλοντική βροχόπτωση για τα έτη 2020-2100. Η μέθοδος η οποία ακολουθήθηκε ήταν μεν γνωστή (πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση) αλλά οι παράμετροι και οι μεταβλητές οι οποίες συμμετείχαν στη διαδικασία ήταν περισσότερες από αυτές που μπορούσε να διαχειριστεί το υπολογιστικό λειτουργικό της Microsoft (Excel). Για το λόγο αυτό, αναζητήθηκαν ολοκληρωμένα και ειδικά στατιστικά προγράμματα που να επιλύουν το πολυπαραμετρικό πρόβλημα της εργασίας μας.

Τέλος, δυσκολίες αντιμετωπίστηκαν και κατά τη διαδικασία προσομοίωσης των υδάτινων λειτουργιών των δύο ταμιευτήρων. Ειδικά στην περίπτωση που έπρεπε να διαχειριστούμε τις συνθετικές χρονοσειρές των υδρολογικών μεγεθών οι οποίες είχαν μήκος 2000 ετών. Πολύπλοκη, επίσης, ήταν και η μεθοδολογία για την εύρεση εκείνης της τιμής της ετήσιας ζήτησης για νερό η οποία να ικανοποιείται από απολήψεις από τους ταμιευτήρες.

Από τα αποτελέσματα τα οποία εξήχθησαν από την εργασία συμπεραίνεται ότι είναι πιθανή μία σημαντική μείωση των ετήσιων απολήψιμων ποσοτήτων νερού από τους ταμιευτήρες που εξετάστηκαν. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι το Εκμεταλλεύσιμο Επιφανειακό Υδατικό Δυναμικό για αξιοπιστία 99% μειώνεται σε ποσοστό 22% για την περίπτωση του ταμιευτήρα Πλαστήρα και 17% για την περίπτωση του ταμιευτήρα Σμοκόβου. Τα παραπάνω στοιχεία σχετίζονται με την περίοδο μετά την κλιματική αλλαγή. Καταδεικνύεται, λοιπόν, ότι θα υπάρξει σημαντική μείωση των εκμεταλλεύσιμων υδατικών αποθεμάτων των δύο ταμιευτήρων. Από την παραπάνω εκτίμηση εύκολα συμπεραίνεται ότι ο ευρύτερος Θεσσαλικός κάμπος πρόκειται να αντιμετωπίσει σημαντικά προβλήματα λειψυδρίας στο μέλλον. Παράλληλα, φαντάζει πολύ πιθανή μία αύξηση του πληθυσμού του νομού Καρδίτσας αλλά και γενικότερα του γεωγραφικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας. Από όλα αυτά, εκτιμάται ότι θα υπάρξει

αδυναμία κάλυψης τόσο των αρδευτικών όσο και των υδρευτικών αναγκών της περιοχής από τους δύο ταμιευτήρες κατά τα μελλοντικά έτη.

Επιτακτική, ακόμη, χαρακτηρίζεται η ανάλυση πιθανών αστοχιών και ενδεχόμενων αβεβαιοτήτων που υπάρχουν στα δεδομένα και τις μεθοδολογίες οι οποίες ακολουθήθηκαν κατά τη μελέτη. Κατ' αρχήν, ως επιφανειακή βροχόπτωση για τη λεκάνη απορροής ανάντη του φράγματος Πλαστήρα χρησιμοποιήθηκε σειρά δεδομένων της επιφανειακής βροχής της λεκάνης του Μέγδοβα (Πλαστήρα) ανάντη της γέφυρας Βίνιανης. Κατά δεύτερον, το μοντέλο βροχής-απορροής «Ζυγός» βαθμονομήθηκε για τις δύο λεκάνες με τελική αποδεκτή τιμή για τον συντελεστή προσδιορισμού (objective function) της τάξης του 0.700-0.740. Η τιμή αυτή θεωρήθηκε αποδεκτή για τα δεδομένα της παρούσας μελέτης. Κατά συνέπεια, στα πλαίσια μίας περαιτέρω έρευνας είναι δυνατή η εξαγωγή λεπτομερέστερων και ακριβέστερων αποτελεσμάτων. Επιπλέον, κατά τη διαδικασία της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης ο συντελεστής προσδιορισμού, για τα πλαίσια της εργασίας, είχε τιμή της τάξης του 0.60-0.65. Εκτός αυτών, κατά τη διαδικασία εκτίμησης των μελλοντικών απορροών μέσω του βαθμονομημένου μοντέλου βροχής-απορροής θεωρήσαμε την εξαμισοδιαπονή ίση με τη μέση μηνιαία τιμή από το ιστορικό δείγμα. Κάτι τέτοιο προφανώς και γνωρίζουμε ότι δε μπορεί να είναι ακριβές, ωστόσο δεν κατέστη δυνατή μία πιο επιστημονικά τεκμηριωμένη μεθοδολογία για την εκτίμηση των μελλοντικών τιμών του μεγέθους αυτού. Λαμβάνοντας υπ όψη το σύνολο των παραπάνω απλουστεύσεων και παραδοχών τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας χαρακτηρίζονται ως επισφαλή για άκριτη αποδοχή.

Η μείωση αυτή, λοιπόν, των υδατικών αποθεμάτων των ταμιευτήρων η οποία προβλέπεται για το μέλλον οφείλει να αποτελέσει κύριο μέλημα τόσο της τοπικής αυτοδιοίκησης όσο και της ελληνικής πολιτείας ως σύνολο. Για το λόγο αυτό κρίνεται αναγκαίο να ληφθούν τα κατάλληλα προληπτικά μέτρα για την ομαλότερη μετάβασή μας σε ξηρότερες περιόδους με μειωμένα διαθέσιμα νερού. Οι αρμόδιες αρχές οφείλουν να ενημερώσουν το κοινό και να προτείνουν σε αυτό τρόπους εξοικονόμησης του νερού. Πρέπει να γίνει κατανοητή από όλους τόσο η σπουδαιότητα όσο και τα περιορισμένα αποθέματα του πόσιμου νερού. Τέλος, θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί μελέτη για την κατασκευή και άλλων υδραυλικών έργων ή φραγμάτων στην περιοχή καθώς και αναβάθμιση του υπάρχοντος δικτύου διανομής νερού με σκοπό να περιοριστούν όσο το δυνατόν οι απώλειες του πολύτιμου αυτού αγαθού που είναι το νερό.

Αναφορές

Στην ελληνική γλώσσα

ELECTROWATT, *Αξιοποίηση πεδιάδος Θεσσαλίας, Προμελέτη φράγματος Σμοκόβου*, ΥΠΔΕ, 1970.

Ευστρατιάδης, Α., Τέγος, Α., Καραβοκυρός, Γ., Κυριαζοπούλου, Ι., Βαζίμας Ι., *Σχέδιο διαχείρισης των υδατικών πόρων περιοχής Καρδίτσας*, Πρόγραμμα «Ολοκληρωμένη Διαχείριση υδατικών συστημάτων σε σύζευξη με το εξελιγμένο υπολογιστικό σύστημα - Οδυσσεύς», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Δεκέμβριος 2006.

Ευστρατιάδης, Α., Κουκουβίνος, Α., Μαμάσης Ν., Κουτσογιάννης, Δ., *Διερεύνηση σεναρίων διαχείρισης του ταμιευτήρα Σμοκόβου*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ιούλιος 2008.

Ευστρατιάδης, Α., Κουτσογιάννης, Δ., *Κασταλία: Σύστημα στοχαστικής προσομοίωσης υδρολογικών μεταβλητών*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Δεκέμβριος 2000.

Καββαδίας, Γ., *Ανάλυση της Υδρολογικής Πληροφορίας, Β Μέρος: Στοιχεία στοχαστικής ανάλυσης*, Κεφάλαιο 2 στο Γ. Τσακίρης (υπεύθυνος έκδοσης), *Υδατικοί πόροι, Ι. Τεχνική Υδρολογία*, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, 1995.

Κουκουβίνος, Α., Α. Ευστρατιάδης, Λ. Λαζαρίδης, και Ν. Μαμάσης, *Έκθεση δεδομένων, Διερεύνηση σεναρίων διαχείρισης του ταμιευτήρα Σμοκόβου*, Τεύχος 1, 66 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ιανουάριος 2006.

Κουτσογιάννης, Δ., Χατζημπίρος, Κ., *Διερεύνηση των δυνατοτήτων διαχείρισης και προστασίας της ποιότητας της Λίμνης Πλαστήρα*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Μάρτιος 2002.

Μιχαλοπούλου Χ., *Σημειώσεις Μετεωρολογίας*, Τμήμα Φυσικού, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα, 1988.

Ναλμπάντης, Ι., *Προστασία και Διαχείριση Υδατικών Πόρων*, Εκπαιδευτικές σημειώσεις, Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2007.

Ναλμπάντης, Ι., *Εκτίμηση και διαχείριση των υδατικών πόρων της Στερεάς Ελλάδας*, Φάση Γ, Τεύχος 35, Υδατικοί πόροι, ΕΜΠ, ΤΥΠΥΘΕ, Αθήνα, 1999.

Τσακίρης, Γ., *Ανάλυση της Υδρολογικής Πληροφορίας, Α Μέρος: Στατιστική Ανάλυση*, Κεφάλαιο 2 στο Γ. Τσακίρης (υπεύθυνος έκδοσης), *Υδατικοί πόροι, Ι. Τεχνική Υδρολογία*, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, 1995α.

ΥΔΡΟΜΕΤ – ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ – ΤΕΤΡΑΚΤΥΣ, *Οριστική μελέτη αρδευτικού έργου Σοφαδίτη (Σμοκόβου), Πρώτο τμήμα αρδευτικής περιμέτρου*, Υδρολογική μελέτη, ΥΠΔΕ, Απρίλιος 1983.

ΥΠΕΧΩΔΕ, Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων, *Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής των Ποταμών Αχελώου και Πηνειού Θεσσαλίας*, Αθήνα, 2006.

Πέππας, Α., *Προσομοίωση υδατικών πόρων και χρήσεων νερού στη Θεσσαλία*, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2001.

Φλόκας, Α., *Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 1997.

Χριστοφίδης, Α., Κοζάνης, Σ., *Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας*, Τεύχος 22: Υδρογνώμονας (έκδοση 1.0), Λογισμικό διαχείρισης δεδομένων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2004.

Ξενόγλωσσες

Loukas, A., Vasiliades, L., and Tzabiras, J., Climate change effects on drought severity, *D Adv. Geosci.*, 17, 23–29, 2008.

Rozos, E., Efstratiadis, A., Nalbantis, I., and Koutsoyiannis, D., Calibration of a semi-distributed model for conjunctive simulation of surface and groundwater flows, *Hydrological Sciences Journal*, 49(5), 819-842, 2004.

Bernstein, L., Bosch, P., Canziani, O. Chen, Z., An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate Change 2007, Synthesis Report*, Valencia, Spain, 12-17 November 2007.

Christensen, J.H., B. Hewitson, A. Busuioc, A. Chen, X. Gao, I. Held, R. Jones, R.K. Kolli, W.-T. Kwon, R. Laprise, V. Magaña Rueda, L. Mearns, C.G. Menéndez, J. Räisänen, A. Rinke, A. Sarr and P. Whetton, 2007: Regional Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Διαδίκτυο

<http://el.wikipedia.org>

<http://en.wikipedia.org>

<http://www.ipcc.ch/>

<http://www.itia.ntua.gr>

<http://climatechange.gr.wordpress.com/>

<http://global-warming.verticalnews.com>

<http://www.minenv.gr/>

<http://www.eea.europa.eu/>

<http://hk-climate.org/el/models.html>

<http://www.cccma.ec.gc.ca/>

Παράρτημα Α: Πίνακες

Πίνακας Α1: Σχέσεις στάθμης-επιφάνειας και στάθμης-αποθέματος ταμιευτήρα Πλαστήρα, (Ευστρατιάδης, 2006)

Στάθμη (m)	Επιφάνεια (km ²)	Απόθεμα (10 ⁶ m ³)
750	0.35	2.17
760	1.1	8.4
770	4.27	29.66
775	9.78	65.22
776	10.86	75.5
777	12.1	86.98
778	13.14	99.6
779	13.98	113.17
780	14.86	127.55
781	15.68	142.79
782	16.5	158.88
783	17.26	175.76
784	18.05	193.4
785	18.76	211.8
786	19.45	230.9
787	20.19	250.7
788	20.94	271.25
789	21.73	292.55
790	22.56	314.68

Πίνακας Α2 : Σχέσεις στάθμης-επιφάνειας και στάθμης-αποθέματος ταμιευτήρα Σμοκόβου (Κουκουβίνος, 2006)

Στάθμη (m)	Επιφάνεια (km ²)	Απόθεμα (10 ⁶ m ³)
285	0	0
295	0.2	1
305	0.4	4
315	0.7	9.5
325	1.3	19.3
335	2.2	36.6
345	3.5	64.8
355	4.9	106.6
365	6.5	163.4

Πίνακας Α3: Μέσες μηνιαίες επιφανειακές βροχοπτώσεις ανάντη φράγματος Πλαστήρα (mm)

Υδρ. Έτος	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.
1960-1961	200.80	141.00	146.70	93.90	125.90	131.70	73.30	53.90	27.50	12.70	4.50	136.80
1961-1962	102.80	184.10	177.00	59.90	111.10	62.70	47.00	19.40	123.80	80.00	14.50	26.00
1962-1963	271.50	264.20	218.50	230.90	199.70	110.80	113.80	88.60	37.20	18.10	41.20	17.10
1963-1964	246.00	111.00	165.30	86.60	82.20	168.50	71.10	101.80	46.80	20.90	13.10	97.40
1964-1965	68.20	181.90	194.70	107.10	105.10	111.90	125.00	85.40	66.30	13.20	6.30	16.60
1965-1966	78.70	140.10	134.00	98.60	69.70	97.80	95.90	45.40	62.00	14.20	17.90	46.70
1966-1967	107.80	167.20	167.20	53.90	74.10	65.50	91.90	62.10	13.20	47.40	17.60	44.80
1967-1968	54.00	82.50	120.10	55.40	77.40	72.30	75.10	62.20	66.20	11.10	7.40	63.70
1968-1969	163.60	139.30	237.50	81.60	138.30	143.50	65.30	45.00	19.30	17.20	21.80	69.50
1969-1970	30.30	94.10	180.80	114.40	111.00	89.40	67.30	72.70	42.20	40.00	8.10	16.60
1970-1971	27.40	81.00	154.50	73.60	161.30	198.20	72.20	43.10	27.80	12.80	10.80	48.20
1971-1972	91.00	189.00	98.00	134.00	101.00	100.00	214.00	73.00	20.00	45.00	39.00	42.00
1972-1973	226.00	30.00	50.00	97.30	154.60	153.80	17.70	42.70	26.30	29.40	22.90	41.50
1973-1974	268.40	103.50	182.40	70.90	270.20	149.10	240.90	70.90	61.70	2.00	2.00	75.00
1974-1975	207.60	196.40	48.00	18.10	123.30	84.00	99.50	64.80	129.20	8.00	40.60	0.00
1975-1976	92.50	212.10	161.60	124.00	175.90	123.70	156.80	47.80	25.90	17.00	25.00	14.00
1976-1977	139.60	172.20	303.80	45.80	53.50	16.10	54.50	24.40	31.00	0.00	7.00	94.90
1977-1978	47.10	199.80	189.90	114.20	177.00	75.30	142.40	29.00	23.00	0.00	6.00	142.00
1978-1979	115.60	104.40	240.90	193.40	224.90	60.50	185.50	160.30	17.00	15.00	11.00	35.00
1979-1980	365.40	170.80	202.90	174.10	50.90	94.60	85.00	68.00	35.00	0.00	6.00	34.90
1980-1981	346.60	110.70	171.00	115.50	161.70	43.70	110.40	84.60	3.50	9.00	39.50	107.00
1981-1982	108.90	47.90	243.70	42.90	176.00	182.00	126.00	157.00	7.00	13.00	14.50	68.00
1982-1983	102.80	184.10	177.00	59.90	111.10	62.70	47.00	19.40	123.80	80.00	14.50	26.00
1983-1984	69.00	173.00	143.30	158.00	145.80	128.20	244.00	61.20	11.00	17.50	102.50	51.50
1984-1985	92.50	212.10	161.60	124.00	175.90	123.70	156.80	47.80	25.90	17.00	25.00	14.00
1985-1986	27.40	81.00	154.50	73.60	161.30	198.20	72.20	43.10	27.80	12.80	10.80	48.20
1986-1987	207.60	196.40	48.00	18.10	123.30	84.00	99.50	64.80	129.20	8.00	40.60	0.00
1987-1988	139.60	172.20	303.80	45.80	53.50	16.10	54.50	24.40	31.00	0.00	7.00	94.90
1988-1989	91.00	189.00	98.00	134.00	101.00	100.00	214.00	73.00	20.00	45.00	39.00	42.00
1989-1990	92.50	212.10	161.60	124.00	175.90	123.70	156.80	47.80	25.90	17.00	25.00	14.00
1990-1991	30.30	94.10	180.80	114.40	111.00	89.40	67.30	72.70	42.20	40.00	8.10	16.60

Πίνακας Α4: Μέσες μηνιαίες επιφανειακές βροχοπτώσεις ανάντη φράγματος Σμοκόβου (mm)

Υδρ. Έτος	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.
1960-1961	31.5	40.6	163.8	94.6	45.4	107.2	57.6	33.5	34.1	21.7	8.6	11.4
1961-1962	131.7	100.3	121.3	31.1	100.4	77.5	21.2	30.5	23.3	8.9	5.8	141.2
1962-1963	130	163.8	212	114.3	130.3	74.4	59.9	77.4	17	24.9	17.6	12.7
1963-1964	178.4	56.6	95	88.8	48	131.7	31.3	85.9	35.4	18.6	10.6	8.6
1964-1965	53.8	80.1	85.5	63.8	89.9	84.9	50.7	58.1	27.9	22.5	5.2	2.4
1965-1966	38.1	103	72.9	189.3	31.3	75.1	34.9	45.4	42.5	3.9	17.2	26.1
1966-1967	28	199	65.3	104.7	44.7	35.5	36.7	75.3	4.2	37.8	10.7	44.5
1967-1968	29.6	55.6	145.5	168.2	66.2	53.3	21	58.3	21	3.3	21.3	19.7
1968-1969	107.5	93.9	232	85.2	86.1	126.3	21.2	14.4	6.4	5	7.8	58.1
1969-1970	19.8	52.7	171.1	85.1	64.8	81.4	13.6	33.2	13.4	41.9	22.2	18.5
1970-1971	49.8	52.9	70.3	141.3	123.9	180.8	54.6	16.5	6.4	19	21.1	38.4
1971-1972	69.1	58.8	53.2	124.3	101.5	57.2	103.4	41.7	15.1	48.2	47.9	31.5
1972-1973	152	74.2	31.1	111.8	92.1	111.1	38.7	19.4	19.5	14.4	42.6	23.8
1973-1974	89.5	63.8	136.5	72.6	152.2	65.5	102.4	46.9	33.3	0.1	4.5	24.8
1974-1975	54.7	90.4	56.6	27	110.9	38.8	42.8	45	151.5	4.7	43.8	7.9
1975-1976	36.4	106.9	120.5	94.8	179.5	58	80.3	40.6	16.1	28.1	31.1	3.5
1976-1977	75	91	60.5	27.2	31.9	25.5	67.9	15.9	28.8	3.2	2.5	47.1
1977-1978	14.4	74.9	173	228.4	84.1	55.8	56.4	15.9	5.1	1.6	7	115
1978-1979	83.8	47.8	116.3	101.5	82.2	21.3	73.2	82.4	16.2	24.2	10.5	23.5
1979-1980	186.4	153.5	110.1	107.3	82.5	162.7	53.4	48.9	25.3	3.7	13.3	9.1
1980-1981	175.9	96.4	106.7	258.9	53	34.9	71.6	17.3	24.2	16.6	22.2	59.4
1981-1982	82.7	121.3	113.4	50.2	142.4	208.1	126.3	114.9	11.7	10.6	14.9	24.6
1982-1983	103.2	142.1	66.5	36.2	72.4	33.6	22.3	12.6	92.6	47.7	25.5	22.8
1983-1984	62.8	104.6	196.5	56	102.4	71.3	151.3	49.8	13.1	14.1	86.8	13.9
1984-1985	14.9	83.9	94.8	170	58	99.2	53.4	33	3.5	8.5	0.3	3.9
1985-1986	83.3	187.6	41.6	49.8	119.9	84.4	24.2	93.1	61.2	23.2	17.1	20.3
1986-1987	173.2	56.9	69.6	119.9	73.1	232.5	99.7	39.1	16.8	3.8	23.9	4.6
1987-1988	91.6	98.6	49.5	65.8	75.3	57.6	45.6	32.7	8.6	0.9	6	6.4
1988-1989	33.2	186.3	84.4	9.9	47.6	114.8	24.9	41.5	17.9	52.5	11.2	18.4
1989-1990	75.8	66.4	62.3	10.7	46.4	25.4	42.6	66.9	11.3	3.5	62.1	13.6
1990-1991	41.5	153.1	212.3	167.1	95	88.2	153	80.4	4.3	42.4	19.3	8.7

Πίνακας Α5: Μηνιαίες εξαμυσοδιαπνοές ανάντη φράγματος Πλαστήρα (mm)

Υδρ. έτος	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.
1960-1961	66.9	34.5	13.4	6.5	8.0	27.9	78.9	116.4	157.4	183.1	171.2	115.6
1961-1962	64.2	49.7	13.4	10.3	0.4	21.3	56.4	128.6	148.5	192.4	184.1	123.9
1962-1963	67.3	49.5	12.8	16.6	11.2	15.5	51.6	76.2	128.3	173.1	183.4	126.0
1963-1964	71.9	55.1	27.5	1.8	9.5	34.6	52.7	104.1	151.4	170.8	151.8	108.7
1964-1965	75.1	40.6	20.6	13.9	0.0	26.6	44.0	95.2	153.1	194.3	155.4	124.3
1965-1966	59.6	38.4	27.8	4.0	34.3	16.9	65.4	96.4	151.3	184.4	182.8	108.2
1966-1967	87.9	41.5	17.4	3.5	8.2	30.7	51.8	118.4	135.2	166.5	178.7	102.1
1967-1968	79.2	34.8	12.2	0.0	16.5	17.0	69.6	144.1	140.0	194.5	151.0	112.6
1968-1969	62.0	34.1	7.7	3.8	15.2	19.3	43.0	143.1	177.1	168.1	176.7	121.3
1969-1970	56.1	49.4	12.6	16.2	10.4	33.7	67.7	96.4	152.0	183.4	201.6	111.1
1970-1971	61.9	39.7	13.5	12.1	3.7	11.1	52.5	147.2	171.6	170.2	188.1	100.8
1971-1972	44.3	22.7	15.2	6.0	5.9	26.6	65.7	112.2	176.4	176.3	172.6	101.5
1972-1973	51.2	40.5	4.5	0.0	5.0	0.2	44.6	131.8	151.7	206.8	154.8	121.6
1973-1974	74.7	30.8	18.8	4.0	15.3	26.2	43.7	101.2	155.0	181.9	168.0	115.1
1974-1975	75.2	31.7	13.1	7.3	3.4	33.1	67.1	118.2	144.0	174.9	151.6	127.9
1975-1976	73.0	32.9	9.5	8.8	1.3	21.9	63.4	108.0	143.8	170.0	143.2	110.5
1976-1977	71.1	27.5	9.0	9.7	32.7	36.4	53.8	124.1	157.5	199.5	168.4	104.3
1977-1978	61.6	50.6	0.0	1.4	19.3	31.6	50.7	106.2	157.9	183.5	156.9	101.3
1978-1979	60.9	15.6	24.0	6.7	16.5	41.6	52.2	108.2	161.9	175.2	164.8	118.1
1979-1980	67.7	39.3	22.4	0.0	5.0	24.5	49.7	102.3	150.4	186.9	170.7	119.6
1980-1981	72.0	45.6	10.1	0.0	7.4	42.0	58.8	92.1	179.3	180.2	159.2	119.6
1981-1982	88.0	20.3	21.3	9.9	0.5	20.3	65.4	91.7	163.3	186.2	179.3	131.9
1982-1983	77.1	23.0	21.0	8.6	9.8	32.8	93.0	134.8	146.1	166.6	146.8	106.7
1983-1984	73.4	30.4	15.2	18.2	13.5	20.4	46.2	110.5	145.8	171.3	142.3	115.2
1984-1985	74.7	30.8	18.8	4.0	15.3	26.2	43.7	101.2	155.0	181.9	168.0	115.1
1985-1986	64.2	49.7	13.4	10.3	0.4	21.3	56.4	128.6	148.5	192.4	184.1	123.9
1986-1987	67.3	49.5	12.8	16.6	11.2	15.5	51.6	76.2	128.3	173.1	183.4	126.0
1987-1988	75.1	40.6	20.6	13.9	0.0	26.6	44.0	95.2	153.1	194.3	155.4	124.3
1988-1989	73.0	32.9	9.5	8.8	1.3	21.9	63.4	108.0	143.8	170.0	143.2	110.5
1989-1990	87.9	41.5	17.4	3.5	8.2	30.7	51.8	118.4	135.2	166.5	178.7	102.1
1990-1991	68.4	36.6	15.1	7.1	10.5	25.5	57.8	112.8	154.1	180.8	166.8	114.5

Πίνακας Α6: Μηνιαίες εξαμυσοδιαπνοές ανάντη φράγματος Σμοκόβου (mm)

Υδρ. Έτος	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.
1960-1961	59.0	27.2	14.0	21.2	34.5	61.8	83.6	108.0	128.5	145.3	138.2	99.1
1961-1962	59.0	27.2	14.0	21.2	34.5	61.8	83.6	108.0	128.5	145.3	138.2	99.1
1962-1963	59.0	27.2	14.0	21.2	34.5	61.8	83.6	108.0	128.5	145.3	138.2	99.1
1963-1964	59.0	27.2	14.0	21.2	34.5	61.8	83.6	108.0	128.5	145.3	138.2	99.1
1964-1965	59.0	27.2	14.0	21.2	34.5	61.8	83.6	108.0	128.5	145.3	138.2	99.1
1965-1966	59.0	27.2	14.0	21.2	34.5	61.8	83.6	108.0	128.5	145.3	138.2	99.1
1966-1967	59.0	27.2	14.0	21.2	34.5	61.8	83.6	108.0	128.5	145.3	138.2	99.1
1967-1968	59.0	27.2	14.0	21.2	34.5	61.8	83.6	108.0	128.5	145.3	138.2	99.1
1968-1969	59.0	27.2	14.0	21.2	34.5	61.8	83.6	108.0	128.5	145.3	138.2	99.1
1969-1970	59.0	27.2	14.0	21.2	34.5	63.5	90.1	108.0	126.1	142.4	144.6	98.8
1970-1971	58.3	28.9	14.1	22.0	33.6	59.2	81.7	115.6	133.5	133.6	138.2	91.0
1971-1972	59.0	28.0	14.2	20.8	33.7	63.1	86.3	108.0	128.5	139.6	132.7	92.8
1972-1973	52.5	28.5	13.1	20.2	35.1	56.5	81.4	118.5	125.0	151.6	127.8	99.6
1973-1974	58.9	26.8	14.1	20.6	35.4	60.8	77.3	104.1	125.0	146.9	137.4	98.8
1974-1975	61.7	27.2	13.9	21.2	32.8	65.8	86.5	111.5	121.1	141.7	128.4	105.1
1975-1976	58.7	26.3	13.5	22.0	33.1	59.4	84.3	101.9	117.4	136.9	120.5	95.1
1976-1977	59.7	27.3	13.9	21.6	40.5	65.8	84.6	117.0	132.9	161.2	145.4	91.0
1977-1978	57.3	29.7	13.2	20.1	36.3	63.7	81.1	106.5	132.2	150.0	139.5	90.3
1978-1979	54.7	25.6	14.8	21.2	35.5	66.8	79.2	108.1	134.2	140.3	134.7	100.0
1979-1980	56.4	27.6	14.6	20.1	33.5	61.3	78.9	99.7	125.5	154.1	138.8	97.9
1980-1981	61.5	29.8	14.1	19.8	34.0	67.8	85.1	103.0	141.1	140.3	134.7	100.5
1981-1982	65.5	25.9	14.8	21.6	32.2	59.7	79.2	103.4	135.5	142.4	141.6	103.2
1982-1983	58.9	26.2	14.3	21.5	32.5	61.9	90.1	113.7	111.7	139.6	127.8	94.3
1983-1984	55.3	25.6	13.6	21.8	33.3	58.3	75.3	108.5	119.5	139.6	123.7	101.4
1984-1985	66.0	27.2	13.3	21.1	32.6	58.7	87.7	114.6	129.1	144.6	143.1	97.9
1985-1986	54.7	28.6	14.7	21.9	34.6	59.7	88.9	105.3	123.3	140.3	144.6	100.0
1986-1987	58.1	25.7	13.2	21.7	34.9	55.0	80.1	99.7	125.5	156.7	136.0	112.8
1987-1988	54.9	27.2	14.0	22.1	34.5	61.0	80.4	109.8	133.5	162.1	149.3	100.9
1988-1989	57.1	24.3	13.3	20.6	35.5	65.4	91.7	102.6	119.0	127.0	138.8	99.2
1989-1990	56.6	27.0	14.0	20.7	36.4	68.2	86.8	106.5	129.1	152.4	133.4	97.5
1990-1991	60.8	28.7	13.6	22.7	37.7	67.8	86.3	108.1	144.8	164.9	156.1	106.5

Πίνακας Α7: Μηνιαίες απορροές από το φράγμα Πλαστήρα (10⁶ m³)

Υδρ. έτος	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.
1960-1961	3.93	6.05	5.69	4	7.11	18.36	4.52	1.6	0.01	0	0	3.3
1961-1962	7.56	19.52	22.58	19.05	29.53	10.91	7.56	5.44	3.46	0	0	0
1962-1963	6	1.45	19.44	3.32	9.01	11.77	3.6	2.33	1.34	0	0	0
1963-1964	2.59	7.11	12.93	8.28	8.42	8.92	11.46	5.27	1.97	0.21	0.45	0.59
1964-1965	0	5.67	11.09	13.25	6.61	8.49	5.48	4.79	1.49	0	0	0.48
1965-1966	1.19	13.05	12.18	8.39	3.41	4.96	5.52	3.06	0.6	1.34	0	0.25
1966-1967	0.46	1.78	10.63	15.43	13.26	9.26	6	5.01	2.43	0	0	0.41
1967-1968	2.5	6.16	19.81	11.41	11.7	14.51	5.35	2.84	0	0	0	0.73
1968-1969	0	2.52	15.32	16.31	7.08	11.54	3.71	1.02	0	0	0	0
1969-1970	2.86	1.5	7.31	12.69	10.67	19.99	10.42	2.93	1.22	0.03	0	0
1970-1971	0.83	4.48	5.83	8.69	11.61	11.85	17.03	5.28	0	0	0	0
1971-1972	7.67	3.97	2.53	7.26	14.96	10.16	9.42	5.89	0.14	0.31	0.93	0.67
1972-1973	5.03	4.8	11.06	4.37	11.52	11.17	15.35	5.27	0.34	0	0	0
1973-1974	2.43	4.87	2.34	1.71	5.28	8.13	5.36	1.75	0.79	0	2.87	0
1974-1975	1.08	4.47	7.73	5.07	10.98	8.92	10.78	4.18	0	0	0	0
1975-1976	1.73	6.22	13.96	6.29	2.97	1.78	3.38	0.38	0	0	0	0.56
1976-1977	0.74	2.54	7.99	8.47	14.76	6.46	10.28	2.44	0	0	0	1.65
1977-1978	2.28	4.27	10.85	12.65	14.99	5.76	12.13	7.08	0.45	0	0	0
1978-1979	9.11	13.57	11.33	12.31	6.31	14.37	7.56	6.9	1.35	0	0	1.09
1979-1980	10.93	5.95	12.84	6.21	13.64	12.01	9.64	3.62	0	0	0	0.31
1980-1981	1.72	1.75	12.86	3	5.28	16.59	16.96	7.98	0.06	0	0	0.83
1981-1982	1.45	7.27	10.94	2.1	6.68	7.23	4.25	0.74	1.97	1.93	1.09	0
1982-1983	1.02	4.91	10.25	8.13	8.84	10.96	16.35	8.03	0	0	0	0
1983-1984	0.34	3.11	9.67	12.35	7.17	8.61	14.87	0	3.62	0	0.19	0
1984-1985	1.64	7.1	5.97	7.63	15.18	10.72	4.94	2.97	1.02	0	0	0
1985-1986	5.38	2.79	3.17	15.07	7.94	11.32	8.19	4.54	0.63	0.26	0.87	0
1986-1987	1.37	5.22	6.32	4.18	5.47	5.38	3.48	2.18	0.1	0.88	0	0
1987-1988	0.88	5.83	7.33	2.03	5.58	11.03	3.54	1.82	0.59	1.16	0	0
1988-1989	2.12	1.89	2.74	1.53	2.41	1.07	2.43	1.68	0.3	0	0.02	0
1989-1990	0.32	3.66	14.68	6.06	8.13	8.08	10.48	7.06	0.22	0	0.38	0
1990-1991	0.01	2.87	1.66	0.94	2.51	3.33	12.74	3.07	0.99	0.16	0.42	0.14

Πίνακας Α8: Μηνιαίες απορροές από το φράγμα Σμοκόβου (10⁶ m³)

Υδρ. Έτος	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.
1960-1961	0.71	8.25	7.70	19.25	5.49	17.97	8.70	6.99	6.78	0.00	0.29	1.03
1961-1962	0.57	0.59	6.99	6.13	10.11	14.12	2.06	0.86	1.47	0.29	0.14	0.15
1962-1963	4.56	1.33	8.13	2.00	9.00	12.55	3.09	0.86	0.44	0.14	0.14	0.44
1963-1964	7.27	28.30	42.22	25.53	34.58	22.53	10.76	4.71	1.33	0.29	1.00	0.15
1964-1965	4.28	0.88	9.13	6.99	7.78	17.83	4.13	3.14	6.34	0.57	0.43	0.15
1965-1966	0.57	2.21	4.85	9.13	15.32	13.41	8.84	4.99	0.88	0.71	0.29	0.44
1966-1967	0.43	0.88	5.99	18.83	11.05	11.55	3.09	3.99	0.59	0.29	0.29	0.29
1967-1968	0.43	8.25	5.56	8.56	3.47	4.99	2.21	1.85	0.44	0.43	0.29	0.88
1968-1969	0.43	0.44	4.28	16.12	14.03	12.55	2.95	1.43	1.03	0.43	0.14	0.29
1969-1970	0.86	1.92	20.11	15.55	14.37	33.80	6.34	1.43	0.44	0.43	0.29	0.59
1970-1971	0.57	1.47	14.26	8.56	3.79	21.39	2.21	1.00	0.59	1.57	0.29	0.44
1971-1972	1.28	0.44	3.42	2.85	12.63	37.94	10.17	1.57	0.29	0.14	4.56	2.06
1972-1973	1.71	1.77	1.85	6.42	18.14	18.40	12.67	10.55	0.15	5.56	1.14	0.88
1973-1974	9.84	3.54	0.86	9.56	14.21	12.98	7.37	0.71	0.15	0.14	0.14	0.15
1974-1975	2.71	0.29	4.71	4.28	13.11	15.12	8.99	1.85	0.15	0.14	0.14	0.15
1975-1976	0.29	0.88	1.00	2.00	7.90	8.99	5.75	1.28	11.94	0.14	1.43	0.15
1976-1977	0.71	4.13	14.83	5.70	3.20	10.55	8.40	2.85	0.88	0.00	2.00	0.44
1977-1978	1.57	0.29	0.86	2.00	4.58	2.00	6.93	0.86	1.18	0.14	0.29	1.03
1978-1979	0.29	1.62	7.70	9.56	10.42	4.56	5.31	1.85	0.29	0.14	0.14	0.74
1979-1980	1.00	3.09	7.84	12.55	9.32	4.71	4.57	3.00	2.65	0.14	0.14	0.15
1980-1981	3.85	10.91	12.98	16.83	12.65	19.97	8.84	5.56	3.09	0.43	0.14	1.03
1981-1982	8.27	11.05	14.69	12.69	20.37	8.13	7.07	1.43	1.18	0.43	0.14	1.18
1982-1983	2.28	2.95	7.84	3.99	15.79	17.26	14.15	8.70	5.01	0.57	0.14	0.29
1983-1984	3.91	10.76	2.42	3.30	9.75	5.94	3.38	0.00	8.26	2.86	0.97	0.49
1984-1985	1.66	5.31	24.37	5.37	15.57	12.53	15.25	3.17	0.49	0.31	4.33	0.35
1985-1986	0.00	2.30	7.19	17.27	6.94	17.40	6.24	1.47	0.00	0.00	0.00	0.19
1986-1987	2.81	17.38	0.00	4.72	18.97	14.82	3.55	7.57	5.19	1.01	0.51	0.45
1987-1988	7.81	0.00	2.94	12.03	9.88	40.73	10.51	2.09	0.85	0.00	0.88	0.20
1988-1989	3.27	4.44	0.00	6.39	10.30	10.14	5.52	1.44	0.05	0.00	0.00	0.23
1989-1990	0.02	17.19	5.43	0.56	4.92	20.14	3.62	2.33	0.96	3.23	0.19	0.42
1990-1991	2.39	0.00	1.71	0.63	4.69	4.50	5.24	4.91	0.31	0.00	2.98	0.35

Πίνακας Α9: Συντελεστές ανισοκατανομής της ζήτησης λ_i

	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.
λ _i	0.015	0.011	0.025	0.012	0.011	0.012	0.017	0.088	0.166	0.321	0.292	0.03

Πίνακας Α10: Προσομοίωση λειτουργίας ταμειυτήρα Πλαστήρα για τα έτη 1960-1990

Υδρ. Έτος	Μήνας	$Q_{i,j}$ (10^6m^3)	$P_{i,j}$ (mm)	$E_{i,j}$ (mm)	$q_{i,j}$	λ_j	D_j	$S_{i,j}$ (10^6m^3)	$A_{i,j}$ (10^6m^3)	$SA_{i,j}$ (10^6m^3)	$RE_{i,j}$	$R_{i,j}$ (10^6m^3)	$SP_{i,j}$ (10^6m^3)	$\Sigma_j R_{i,j}$ (10^6m^3)
1960-1961	1	3.930	200.8	64.2	0	0.015	1.38E+06	0	0.8465	4.045632	0	1.38	0	
	2	6.050	141.0	49.7	0	0.011	1.01E+06	2.665632	1.21027	8.82613	0	1.012	0	
	3	5.690	146.7	13.4	0	0.025	2.30E+06	7.81413	1.904824	13.75804	0	2.3	0	
	4	4.000	93.9	10.3	0	0.012	1.10E+06	11.45804	2.389994	15.65785	0	1.104	0	
	5	7.110	125.9	0.4	0	0.011	1.01E+06	14.55385	2.798014	22.015	0	1.012	0	
	6	18.360	131.7	21.3	0	0.012	1.10E+06	21.003	3.635685	39.76438	0	1.104	0	
	7	4.520	73.3	56.4	0	0.017	1.56E+06	38.66038	5.844047	43.27914	0	1.564	0	
	8	1.600	53.9	128.6	0	0.088	8.10E+06	41.71514	6.213444	42.851	0	8.096	0	
	9	0.010	27.5	148.5	0	0.166	1.53E+07	34.755	5.366353	34.11567	0	15.272	0	
	10	0.000	12.7	192.4	0	0.321	2.95E+07	18.84367	3.357066	18.2404	0	18.2404	0	
	11	0.000	4.5	184.1	0	0.292	2.69E+07	0	0.8465	-0.15203	-0.15203	0	0	
	12	3.300	136.8	123.9	0	0.03	2.76E+06	0	0.8465	3.31092	0	2.76	0	53.8444

Πίνακας Α10: Προσομοίωση λειτουργίας ταμειυτήρα Πλαστήρα για τα έτη 1960-1990 (συνέχεια)

1978-1979	1	0.460	54.0	79.2	0	0.015	1.38E+6	0	0.8465	0.43866	0	0.43866	0	
	2	1.780	82.5	34.8	0	0.011	1.01E06	0	0.8465	1.82037	0	1.012	0	
	3	10.630	120.1	12.2	0	0.025	2.30E+0	0.80837	0.95711	11.5416	0	2.3	0	
	4	15.430	55.4	0.0	0	0.012	1.10E+6	9.24165	2.09552	24.7877	0	1.104	0	
	5	13.260	77.4	16.5	0	0.011	1.01E+0	23.6837	3.97898	37.1860	0	1.012	0	
	6	9.260	72.3	17.0	0	0.012	1.10E+0	36.1740	5.54063	45.7404	0	1.104	0	
	7	6.000	75.1	69.6	0	0.017	1.56E+0	44.6364	6.56321	50.6725	0	1.564	0	
	8	5.010	62.2	144.1	0	0.088	8.10E+0	49.1085	7.09204	53.5377	0	8.096	0	
	9	2.430	66.2	140.0	0	0.166	1.53E+0	45.4417	6.65902	47.3808	0	15.272	0	
	10	0.000	11.1	194.5	0	0.321	2.95E+0	32.1082	5.03914	31.1841	0	29.532	0	
	11	0.000	7.4	151.0	0	0.292	2.69E+0	1.65210	1.07229	1.49812	0	1.49812	0	
	12	0.410	63.7	112.6	0	0.03	2.76E+0	0	0.8465	0.36860	0	0.36860	0	63.3014

Πίνακας Α11: Προσομοίωση λειτουργίας ταμιευτήρα Σμοκόβου για τα έτη 1960-1990

Υδρ. Έτος	Μήνας	$Q_{i,j}(10^6\text{m}^3)$	$P_{i,j}(\text{mm})$	$E_{i,j}(\text{mm})$	$q_{i,j}$	λ_j	D_j	$Si,j(10^6\text{m}^3)$	$Ai,j(10^6\text{m}^3)$	$SA_{i,j}(10^6\text{m}^3)$	$RE_{i,j}$	$R_{i,j}(10^6\text{m}^3)$	$SP_{i,j}(10^6\text{m}^3)$	$\Sigma_j R_{i,j}(10^6\text{m}^3)$
1960-1961	1	0.570	31.5	59.0	0	0.049	2.35E+06	0	0.2611	0.5628315	0	0.5628315	0	
	2	0.590	40.6	27.2	0	0.025	1.20E+06	0	0.2611	0.5935034	0	0.5935034	0	
	3	6.990	163.8	14.0	0	0.019	9.12E+05	0	0.2611	7.0291227	0	0.912	0	
	4	6.130	94.6	21.2	0	0.023	1.10E+06	6.117123	0.5585939	12.288125	0	1.104	0	
	5	10.110	45.4	34.5	0	0.025	1.20E+06	11.18413	0.8016171	21.302846	0	1.2	0	
	6	14.120	107.2	61.8	0	0.033	1.58E+06	20.10285	1.221892	34.278347	0	1.584	0	
	7	2.060	57.6	83.6	0	0.033	1.58E+06	32.69435	1.7989878	34.707636	0	1.584	0	
	8	0.860	33.5	108.0	0	0.098	4.70E+06	33.12364	1.8183276	33.848088	0	4.704	0	
	9	1.470	34.1	128.5	0	0.172	8.26E+06	29.14409	1.6381976	30.45944	0	8.256	0	
	10	0.290	21.7	145.3	0	0.194	9.31E+06	22.20344	1.319489	22.33031	0	9.312	0	
	11	0.140	8.6	138.2	0	0.188	9.02E+06	13.01831	0.8888286	13.043151	0	9.024	0	
	12	0.150	11.4	99.1	0	0.141	6.77E+06	4.019151	0.4570692	4.1290696	0	4.1290696	0	42.965404

Πίνακας Α11: Προσομοίωση λειτουργίας ταμιευτήρα Σμοκόβου για τα έτη 1960-1990 (συνέχεια)

1986-1987	1	0.430	29.6	59.0	0	0.049	2.35E+06	147.6153	6.186832	147.8636	0	2.352	0	
	2	0.440	55.6	27.2	0	0.025	1.20E+06	145.5117	6.120752	146.1256	0	1.2	0	
	3	4.280	145.5	14.0	0	0.019	9.12E+05	144.9256	6.102248	150.0082	0	0.912	0	
	4	16.120	168.2	21.2	0	0.023	1.10E+06	149.0963	6.233035	166.1325	0	1.104	0	
	5	14.030	66.2	34.5	0	0.025	1.20E+06	165.0286	6.713433	179.2712	0	1.2	0	
	6	12.550	53.3	61.8	0	0.033	1.58E+06	178.0712	7.084028	190.5611	0	1.584	0	
	7	2.950	21.0	83.6	0	0.033	1.58E+06	188.9772	7.378239	191.4655	0	1.584	0	
	8	1.430	58.3	108.0	0	0.098	4.70E+06	189.8816	7.401995	190.9433	0	4.704	0	
	9	1.030	21.0	128.5	0	0.172	8.26E+06	186.2393	7.305722	186.4839	0	8.256	0	
	10	0.430	3.3	145.3	0	0.194	9.31E+06	178.228	7.088357	177.6512	0	9.312	0	
	11	0.140	21.3	138.2	0	0.188	9.02E+06	168.3392	6.809435	167.6834	0	9.024	0	
	12	0.290	19.7	99.1	0	0.141	6.77E+06	158.6594	6.525042	158.4313	0	6.768	0	48

Πίνακας Α12 : Συνθετική χρονοσειρά απορροής λεκάνης ανάντη φράγματος Πλαστήρα (mm). Έτος εκκίνησης 2009

Ετη	Ιαν	Φεβ	Μάρ	Απρ	Μάι	Ιούν	Ιούλ	Αύγ	Σεπ	Οκτ	Νοέ	Δεκ
2009										0	49.53	63.92
2010	38.16	68.35	71.02	48.78	2.51	0	0	0	0	52.5	80.37	61.02
2011	19.09	45.29	38.08	0	0	0	0	0	0	55.81	81.48	69.74
2012	41.66	57.41	111	108.84	0	0	0	0	0	46.61	69.98	78.42
2013	19.4	32.26	44.94	157.46	123.73	0	0	0	0	69.49	38.4	107.93
2014	32.46	51.26	40.93	20.69	0	0	0	0	0	60.13	68.85	139.6
2015	28.62	59.31	121.39	71.73	0	0	0	0	0	60.02	66.88	102.67
2016	30.85	86.61	83.17	45.83	33.5	0	0	0	0	39.06	62.94	123.55
2017	29.45	185.66	54.04	0	0	0	0	0	10.16	100.91	60.81	74.05
2018	46.57	137.66	118.8	142.08	10.15	0	0	0	0	2.47	0.67	48.26
2019	36.44	90.19	44.52	16.05	0	0	0	0	0	40.87	58.04	81.6
2020	45.67	89.91	40.17	49.75	0	0	0	0	0	135.85	85.58	56.58
2021	57.61	60.98	60.46	0	0	0	0	0	0	37.92	69.35	96.02
2022	56.1	102.26	35.52	92.42	0	0	0	0	0	46.65	73.2	17.26
2023	0.03	15.99	25.45	2.88	0	0	0	0	0	0	11.54	41.95
2024	9.9	87.73	19.89	4.13	0	0	0	0	0	0	48.71	36.64
2025	55.64	73.69	44.51	0	0	0	0	0	0	1.3	45.24	56.31
2026	81.63	78.67	38.93	98.61	0	0	0	0	0	0	48.25	94.97
2027	36.48	63.94	45.44	0	0	0	0	0	0	121.17	7.69	34.33
2028	45.17	68.51	64.32	79.3	0	0	0	0	0	0	25.78	75.18
2029	43.77	35.53	33.23	0	0	0	0	0	24.22	42.04	84.31	123.04
2030	130.12	186.74	146.42	330.11	0	0	0	0	0	0	1.77	100.47
2031	72.28	65.33	48.74	12.52	0	0	0	0	0	80.85	79.63	82.19
2032	14.86	99.74	40.06	34.71	0	0	0	0	0	0	107.26	70.33
2033	40.17	70.65	0	48.04	14.75	0	0	0	0	68.13	23	35.44
2034	79.58	51.1	27.44	0	0	0	0	0	0	123.6	51.93	74.21
2035	19.78	51.74	40.57	10.07	0	0	0	0	0	108.72	56.41	46.46
2036	13.28	40.76	13.92	0	0	0	0	0	0	63.13	53.04	90.62
2037	40.61	53.45	100.72	20.25	0	0	0	0	0	13.22	99.85	79.74
2038	18.48	22.18	47.76	102.1	0	0	0	0	0	108.38	52.55	129.17
2039	120.59	159.55	147.47	86.34	0	0	0	0	0	60.92	57.25	104.94
2040	16.8	48.21	33.5	51.74	0	0	0	0	0	31.94	97.9	105.65
2041	18.06	132.21	152.84	95.32	0	0	0	0	0	0	50.64	64.07
2042	29.48	50.71	73.04	0	0	45.52	0	0	0	24.33	63.32	77.54
2043	54.66	61.45	62.12	32.62	0	0	0	0	0	4.9	85.49	85.76
2044	31.5	52.33	34.76	59.13	23.39	0	0	0	0	141.42	14.46	75.78
2045	21.95	142.88	35.27	32.72	0	0	0	0	0	63.96	78.76	72.11
2046	94.48	80.53	62.42	10.72	0	0	0	0	2.83	74.1	124.97	81.99
2047	10.26	90.62	97.8	89.45	0	0	0	0	0	126.52	0	54.08
2048	118.47	55.05	56.93	19.63	0	0	0	0	0	12.68	35.31	123.95
2049	45.41	94.89	30.26	175.82	0	0	0	0	21.65	0	80.75	127.82
2050	80.61	40.64	29.34	0	0	0	0	0	0	97.33	27.81	89.87
2051	22.52	52.42	31.36	2.28	3.85	0	0	0	0	0	25.89	77.23

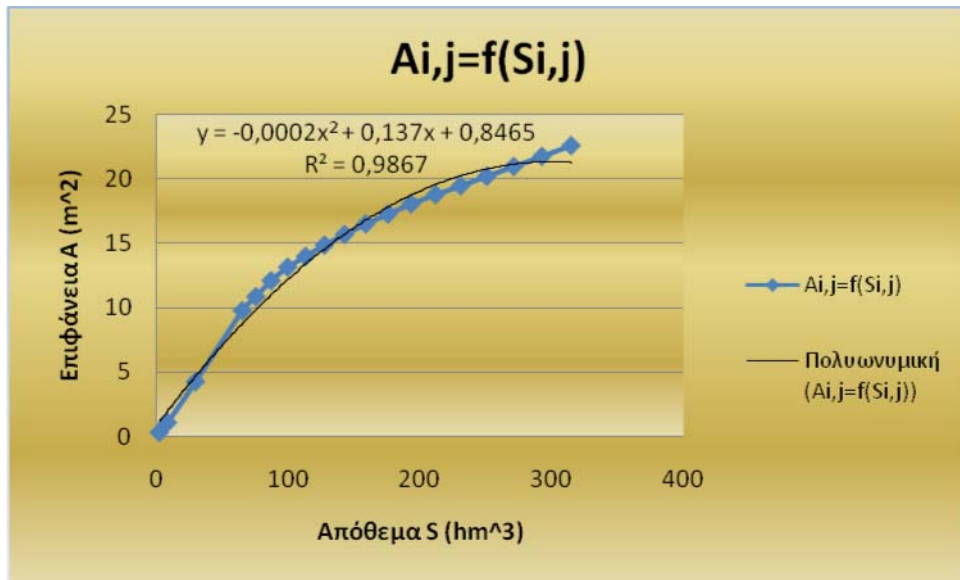
Πίνακας Α12 : Συνθετική χρονοσειρά απορροής λεκάνης ανάντη φράγματος Πλαστήρα (mm). Έτος εκκίνησης 2009 (συνέχεια)

2052	82.18	55.6	4.34	0	0	0	0	0	0	40.02	40.97	60.24
2053	18.29	116.55	65.92	11.27	0	0	0	0	0	34.97	61.7	100.6
2054	30.28	40.28	41.22	164.28	0	0	0	0	0.53	0	2.45	81.77
2055	21.55	43.38	17.14	3.52	0	0	0	0	4.39	81.66	74.5	121.33
2056	215.49	252.83	123.43	60.25	0	0	0	0	0	35.76	21.86	79.42
2057	16.41	65.64	32.49	44.85	0	0	0	0	16.76	106.47	74.61	52.44
2058	34.11	36.78	41.9	0	0	0	0	0	0	23.97	99.26	116.26
2059	30.35	143.29	42.01	153.2	0	0	0	0	0	27.02	21.62	76.72
2060	23.2	45.48	88.43	13.16	0	0	0	0	0	18.84	0	91.56
2061	47.32	24.94	30.05	0	0	0	0	0	0	37.43	14.57	46.24
2062	68.31	102	44.99	52.69	0	0	0	0	0	60.58	41.17	64.1
2063	32.43	20.6	12.93	109.34	60.55	0	0	0	0	0	79.07	78.46
2064	102.71	188.53	101.65	78.27	0	0	0	0	0	0	27.4	59.45
2065	57.09	132.29	24.4	7.95	0	0	0	0	0	0	66.39	81.49
2066	38.61	38.9	35.19	85.83	0	0	0	0	0	130.82	15.62	97.22
2067	23.03	104.9	128.82	45.94	0	0	0	0	0	0	56.53	73.4
2068	59.75	34.94	31.03	21.37	0	0	0	0	0	85.46	80.33	83.36
2069	13.15	77.95	58.7	33.47	0	0	0	0	0	25.98	72.13	63.55
2070	84.58	78.76	10.48	41.65	0	0	0	0	0	78.9	82.73	98.4
2071	24.69	15.56	0	0	0	0	0	0	0	121.63	9.75	61.2
2072	37.82	27.08	9.5	51.04	0	0	0	0	0	142.06	65.92	123.99
2073	126.93	98.94	86.16	193.2	0	0	0	0	0	54.25	55.8	120.39
2074	52.53	21.02	22.52	0	0	0	0	0	0	105.2	60.17	73.19
2075	62.88	48.94	92.04	55.64	0	0	0	0	0	4.06	47.29	80.08
2076	112.16	114.19	163.38	26.62	0	0	0	0	0	40.08	97.49	53.91
2077	37.35	51.44	167.47	44.95	0	0	0	0	0	3.32	67.1	85.6
2078	13.55	15.93	0	60.74	0	0	0	0	0	23.82	0	109.23
2079	25.87	37.78	23.38	86.55	0	0	0	0	0	72.65	68.39	79.05
2080	15.09	69.11	106.78	0	0	0	0	0	0	20.98	83.9	54.17
2081	28.34	45.93	33.35	0	0	0	0	0	0	35.16	33.99	126.49
2082	55.47	39.88	35.77	0	0	0	0	0	0	0	53.22	97.03
2083	87.4	77.1	109.32	25.59	0	0	0	0	0	67.34	69.93	97.61
2084	56.56	66.86	97.79	29.16	0	0	0	0	0	92.23	47.41	94.6
2085	16.97	40.35	85.8	55	0	0	0	0	0	69.88	27.67	69.32
2086	40.26	65.49	60.21	28.16	0	0	0	0	0	24.28	68.38	61.77

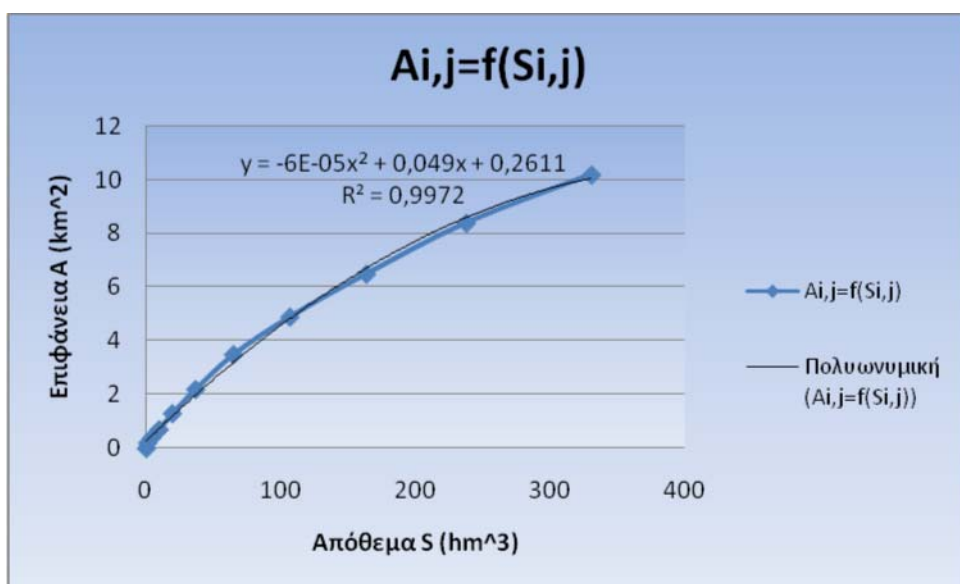
Πίνακας Α13 : Συνθετική χρονοσειρά απορροής Σμοκόβου (mm). Έτος εκκίνησης 2009

Έτη	Ιαν	Φεβ	Μάρ	Απρ	Μάι	Ιούν	Ιούλ	Αύγ	Σεπ	Οκτ	Νοέ	Δεκ
3980	69.57	15.08	0	0	0	0	0	0	0	0	50.24	15.82
3981	36.67	61.19	26.78	0	0	0	0	0	0	3.11	21.71	64.76
3982	63.83	6.91	18.21	0	0	0	0	0	0	6.29	38.71	65.61
3983	32.28	27.96	3.44	0	0	0	0	0	0	51.5	17.26	14.48
3984	31.17	12.57	7.17	8.57	0	0	0	0	0	0	52.01	40.74
3985	0	52.29	25.5	0	0	0	0	0	0	0	70.06	31.48
3986	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69.4	26.93
3987	67.11	4.02	0	0	0	0	0	0	0	2.28	19.36	54.73
3988	34.18	34.78	0	0	0	0	0	0	0	23.03	37.6	5.73
3989	0	18.01	0	0	0	0	0	0	0	29.98	32.85	73.92
3990	67.91	9.51	63.26	15.22	0	0	0	0	0	0	7.48	4.05
3991	7.34	16.44	0	0	0	0	0	0	0	0	17.63	34.94
3992	52.82	60.17	47.39	0	0	0	0	0	0	0	35.25	53.88
3993	5.61	36.84	0	0	0	0	0	0	0	0	29.14	55.56
3994	17.82	15.68	0	0	0	0	0	0	0	0	2.54	37.17
3995	63.42	19.09	26.64	0	0	0	0	0	0	10.05	45.38	12.86
3996	22.28	42.88	5.53	16.61	0	0	0	0	0	0	17.79	33.11
3997	30.01	50.18	0	3.49	0	0	0	0	0	0	52.27	1.21
3998	0	3.51	0	0	0	0	0	0	0	0	2.2	67.28
3999	62.91	27.9	0	0	0	0	0	0	0	8.03	50.78	185.25
4000	68.1	31.47	7.1	0	0	0	0	0	0	21.22	25.92	70
4001	0	20.02	22.92	0	0	0	0	0	0	68.68	77.25	36.86
4002	32.88	26.61	26.07	0	0	4.54	0	0	0	0	38.23	13.71
4003	33.42	0	13.64	0	0	0	0	18.58	0	0	12.69	43.51
4004	47.31	29.33	12.96	0	0	0	0	0	0	24.65	36.75	28.23
4005	1.2	26.71	0.67	0.35	0	0	0	0	0	0	35.42	47.4
4006	25.61	28.01	0	25.65	0	0	0	0	0	0	30.42	72.99
4007	48.56	32.14	0	42.69	0	0	0	0	0	57.6	42.89	30.98
4008	29.12	48.77	10.92	0	0	0	0	0	0	0	50.69	102.03
4009	107.53	20.73	29.11	0	0	0	0	0	0			

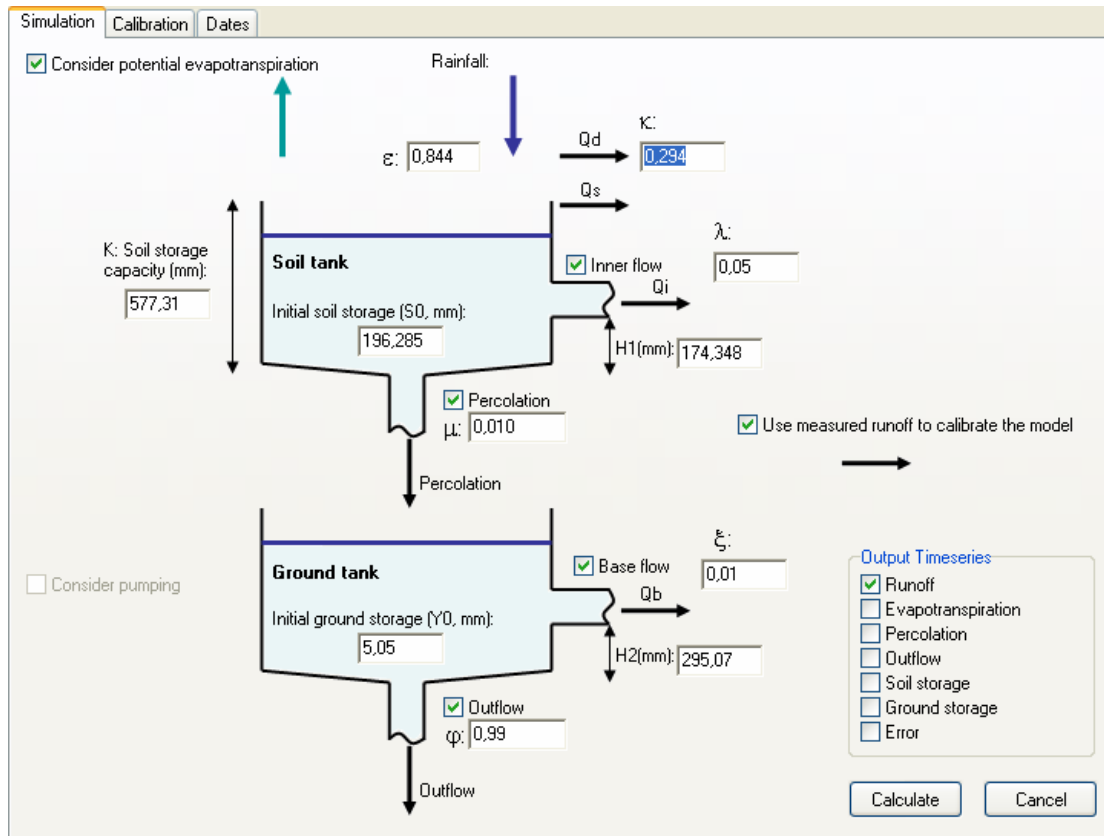
Παράρτημα Β: Σχήματα



Σχήμα Β1: Διάγραμμα στάθμης-επιφάνειας καθρέφτη ταμιευτήρα Πλαστήρα



Σχήμα Β2 : Διάγραμμα στάθμης-επιφάνειας καθρέφτη ταμιευτήρα Σμοκόβου



Σχήμα Β3 : Κύρια φόρμα του μοντέλου Ζυγός

COVARIANCE MATRICES DECOMPOSITION

Maximum allowed mean square error

Maximum number of departures from several initial (random) values

Convergence criterion - optimization routine

Objective function parameters

lambda1 = lambda3 =

lambda2 = ρ =

Matrix b triangulation

Minimum value for diagonal element

ANNUAL MODEL PARAMETERS

Model selection

- Mean values symmetric model SMA
 Autocorrelation model AR(1)

a-coefficients estimation - SMA Model

- Fast Fourier Transform (FFT)
 Fourier Integral Solution (DFT)
 Numerical evaluation

Numerical method convergence criterion

Objective function coefficient

Autocorrelogram length

RANDOM NUMBER GENERATION

Gamma distribution random numbers

- Rejection method (3 parameters)
 Whittaker method (2 parameters)

Random numbers sequence initial value

SYNTHETIC TIME SERIES

Synthetic time series count

Synthetic time series length (years)

Use model to forecast mode

Monthly time series generation iterative algorithm

Convergence criterion (percentage of annual mean std deviation)

Maximum number of iterations

Maximum allowed negative value

Define variables 

Σχήμα Β4 : Φόρμα η οποία επιτρέπει τον καθορισμό των παραμέτρων του μοντέλου SMA για την σύνθεση χρονοσειρών 2000 ετών



Σχήμα Β5 : Φόρμα βαθμονόμησης του μοντέλου «Ζυγός».



Français	Contact Us	Help	Search	Canada Site
Introduction	Overview	Models	Data	Plots & Animations
Publications	People	Graduate Study	Postdoctoral Positions	Links

CCCma

Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis

Introduction
Overview
Models
Data
CGCM3.1/T47:
20C3M
SRES A1B
SRES B1
SRES A2
COMMIT
PICNTRL
CGCM3.1/T63:
20C3M
SRES A1B
SRES B1
SRES A2
COMMIT
PICNTRL
Plots & Animations
Publications

CGCM3.1/T47 MODEL OUTPUT IPCC SRES A2 Experiment

Data available through our interactive web server	
Atmosphere/sea-ice model output:	Ocean model output:
<input type="button" value="Monthly"/> <input type="button" value="Daily"/>	<input type="button" value="Monthly"/>
Data available as global grid NetCDF files	
Atmosphere/sea-ice model output:	Ocean model output:
<input type="button" value="Monthly"/> <input type="button" value="Daily"/>	<input type="button" value="Monthly"/>
<input type="button" value="Subdaily on model levels"/>	
<u>Select another experiment</u>	

Σχήμα Β6 : Φόρμα συλλογής δεδομένων από την ηλεκτρονική σελίδα του Καναδικού Κέντρου Κλιματικής Αλλαγής

1 Select Area

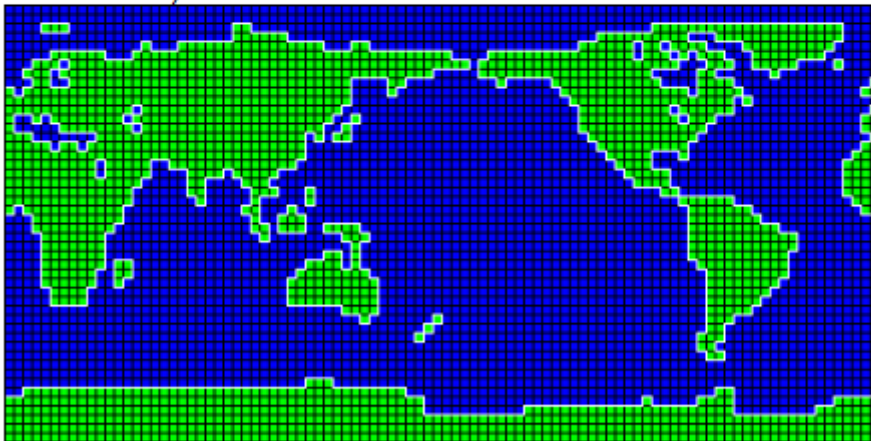
EITHER use the image map below...

Select the corner, click on the map and wait until the map is reloaded. The selected region is highlighted.

Mouse click on the map will change the coordinates of the...

- | | |
|---|--|
| <input checked="" type="radio"/> upper left corner
$I_1=1$ $J_2=48$ (0.00E 87.16N) | <input type="radio"/> upper right corner
$I_2=96$ $J_2=48$ (3.75W 87.16N) |
| <input type="radio"/> lower left corner
$I_1=1$ $J_1=1$ (0.00E 87.16S) | <input type="radio"/> lower right corner
$I_2=96$ $J_1=1$ (3.75W 87.16S) |

Grid resolution: 96 grid cells (lon.) by 48 grid cells (lat.) (approx. $3.75^\circ \times 3.75^\circ$)



- Latitudes are numerated from South to North.
- Longitudes are numerated eastwards from the Greenwich meridian.
- The selected region may overlap the Greenwich meridian.

Σχήμα Β7 : Παγκόσμιος γεωγραφικός κάρναβος με δυνατότητα επιλογής 4 τουλάχιστον φατνίων (pixels) για τον προσδιορισμό της μελετώμενης περιοχής

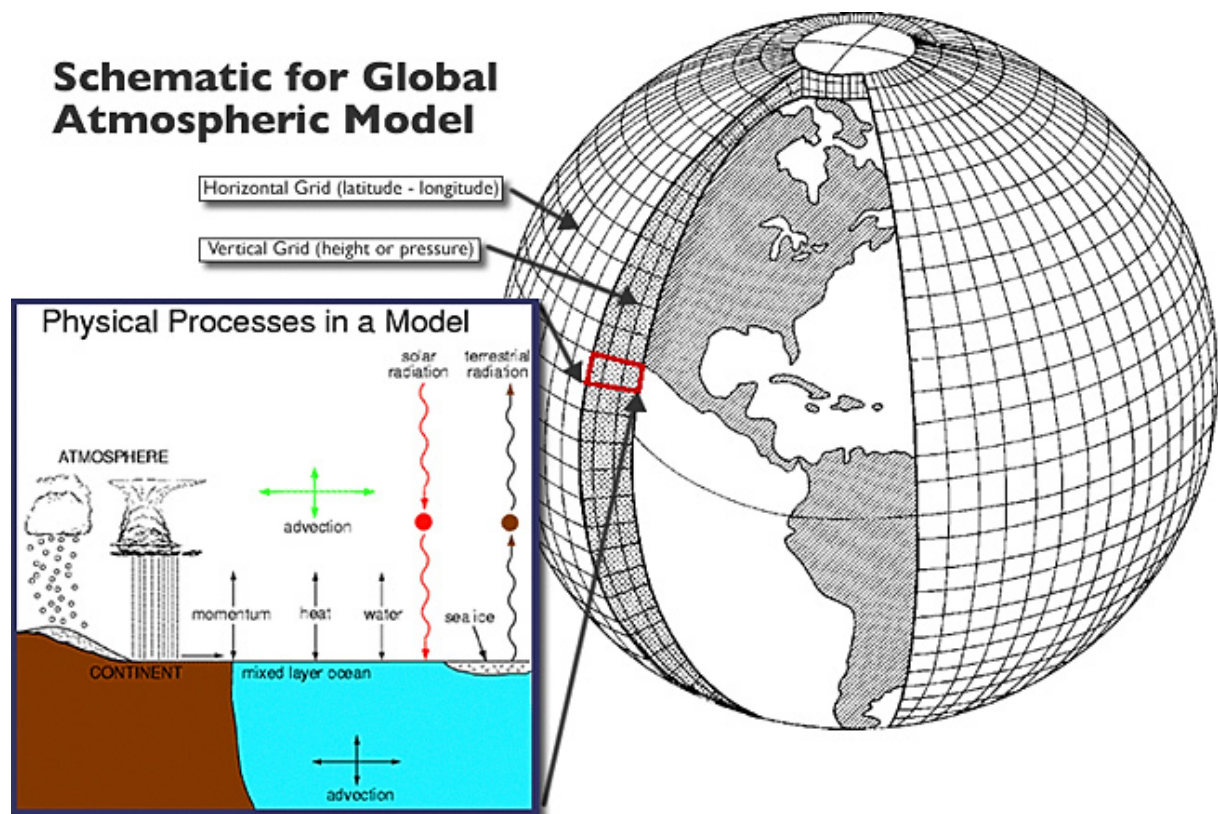
2 Select Variables & Duration

Choose from one of the predefined options or specify your own values.

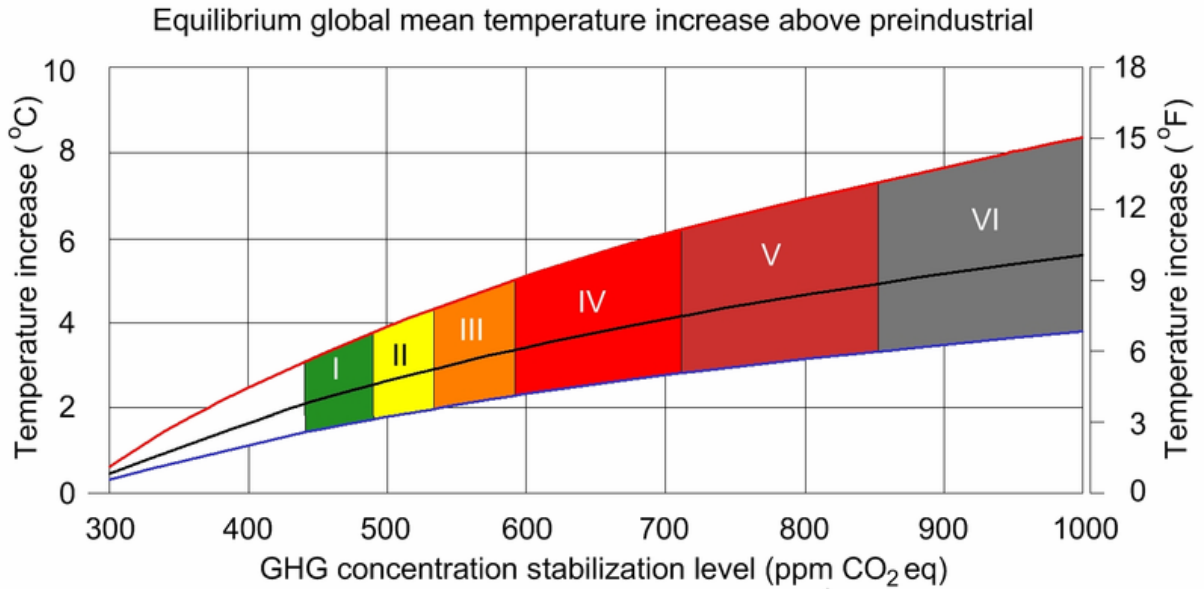
Variables		
psl, air pressure at sea level (Pa) ▾		
Runs	Years	Levels: 1-17
1: <input checked="" type="radio"/> 2: <input type="radio"/> 3: <input type="radio"/> 4: <input type="radio"/> 5: <input type="radio"/>	Year ₁ = 2001 Year ₂ = 2100	Level ₁ = 1 Level ₂ = 17

- Model output for 2-D variables is available for years 2001-2100.
- Model output for 3-D variables is available for years 2001-2100.
- Levels of 3-D variables are (hPa): 1= 10, 2= 20, 3= 30, 4= 50, 5= 70, 6= 100, 7= 150, 8= 200, 9= 250, 10= 300, 11= 400, 12= 500, 13= 600, 14= 700, 15= 850, 16= 925, 17=1000.

Σχήμα Β8 : Φόρμα επιλογής μετεωρολογικών παραμέτρων και χρονολογιών

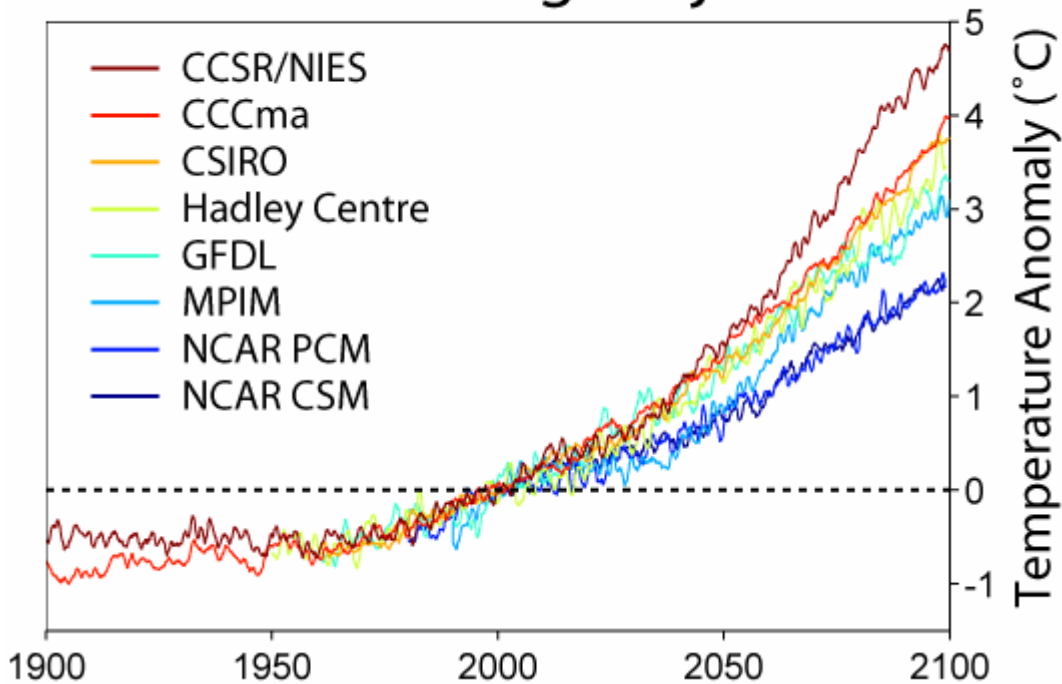


Σχήμα Β9 : Σχηματική αναπαράσταση παγκόσμιου ατμοσφαιρικού μοντέλου



Σχήμα Β10 : Προβλεπόμενη αύξηση της θερμοκρασίας για διαφορετικές εκτιμήσεις των μελλοντικών επιπέδων συγκέντρωσης αερίων του θερμοκηπίου (έγχρωμες ζώνες). Η καμπύλη μαύρου χρώματος αντιστοιχεί στην «καλύτερη» εκτίμηση.

Global Warming Projections



Σχήμα Β11: Μελλοντικές προβλέψεις της θερμοκρασιακής ανωμαλίας από διάφορα Παγκόσμια Κλιματικά Μοντέλα έχοντας σαν βάση το δυσμενές οικολογικό σενάριο Α2.