



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**«Εκτίμηση υδατικού δυναμικού της ανατολικής
Κρήτης σε σενάρια κλιματικής αλλαγής με χρήση
του λογισμικού ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ»**



Διπλωματική Εργασία

Ρέτσα Άννα

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Καθηγητής Τσάνης Κ. Ιωάννης (Επιβλέπων)

Καθηγητής Χρυσικόπουλος Κωνσταντίνος

Δρ. Ταπόγλου Ευδοκία

ΧΑΝΙΑ 2016

Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια των σπουδών μου στο προπτυχιακό πρόγραμμα της Σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Καταρχήν, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Ιωάννη Τσάνη για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος και τις χρήσιμες συμβουλές και παρατηρήσεις.

Στην συνέχεια, τον Καθηγητή Κωνσταντίνο Χρυσικόπουλο που συμμετείχε στην εξεταστική επιτροπή της εργασίας αυτής.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στη Δρ. Ευδοκία Ταπόγλου για την πολύτιμη καθοδήγηση και αμέριστη υποστήριξη καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, καθώς επίσης στον Δρ. Εμμανουήλ Γρυλλάκη για την καθοριστική βοήθειά του στην διεκπεραίωσή της.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την στήριξή τους, και κυρίως την αδερφή μου Αντιγόνη για την βοήθεια της αλλά και γιατί με ρώτησε γιατί δεν γίνεται και γινόταν.

Τέλος, ευχαριστώ τους φίλους μου, για τον σημαντικό ρόλο που έπαιξαν καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, εκτιμάται το υδατικό δυναμικό της ανατολικής Κρήτης για σενάρια κλιματικής αλλαγής με χρήση του λογισμικού ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ. Από την πληθώρα κλιματικών μοντέλων και σεναρίων για το μέλλον που έχει αναπτυχθεί για την κατανόηση και αξιολόγηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στις μετεωρολογικές και υδρολογικές παραμέτρους, στην παρούσα εργασία έχουν χρησιμοποιηθεί 4 Περιοχικά Κλιματικά Μοντέλα (RCMs), σε δύο διαφορετικά αντιπροσωπευτικά μονοπάτια συγκέντρωσης (RCP 4.5 και RCP 8.5).

Ως περιοχή μελέτης ορίζεται η περιοχή της ανατολικής Κρήτης, η οποία χαρακτηρίζεται ως περιοχή ευαίσθητη στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Οι πιέσεις είναι τόσο φυσικές, σχετιζόμενες με τις μειωμένες βροχοπτώσεις και τους λιγότερους υδάτινους πόρους που διαθέτει σε σχέση με τη δυτική Κρήτη, όσο και ανθρωπογενείς, με υψηλές ανάγκες άρδευσης και αυξημένες ανάγκες ύδρευσης καθώς περιλαμβάνει το μεγάλο αστικό κέντρο του Ηρακλείου.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται διακρίνεται σε επιμέρους βήματα. Αρχικά γίνεται η σχηματοποίηση του υδροσυστήματος, δηλαδή ο μετασχηματισμός των συνιστωσών του πραγματικού συστήματος της περιοχής μελέτης σε συνιστώσες του μοντέλου «ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ» που αναπαριστά το εν λόγω σύστημα. Η σχηματοποίηση βασίζεται στο διαχειριστικό ομοίωμα της Κρήτης που αναπτύχθηκε από την Περιφέρεια Κρήτης στο διαχειριστικό μοντέλο RIBASIM (River Basin Simulation Model). Ακολουθεί η εισαγωγή των δεδομένων εισόδου του συστήματος: τα χαρακτηριστικά των συνιστωσών και οι χρονοσειρές εισροών νερού στο δίκτυο αλλά και εισροών και απωλειών των ταμιευτήρων. Ο καθορισμός των στόχων και λειτουργικών προσδιορισμών ολοκληρώνει την ανάπτυξη του μοντέλου. Οι στόχοι αφορούν τις απαιτήσεις σε νερό (ύδρευση και άρδευση) και τη διασφάλιση μιας ελάχιστης παροχής σε υδατορεύματα (οικολογική παροχή).

Η προσομοίωση λειτουργίας του συστήματος γίνεται αρχικά για την ιστορική περίοδο (1978-1996) με δεδομένα παρατήρησης και κατόπιν έγινε η σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την προσομοίωση με δεδομένα των τεσσάρων κλιματικών μοντέλων για την ίδια περίοδο. Η καλή συσχέτιση μεταξύ των αποτελεσμάτων, που προέκυψε, επέτρεψε την ασφαλή συνέχεια στα επόμενα βήματα χωρίς να απαιτείται η προσαρμογή των κλιματικών δεδομένων των μοντέλων. Επομένως, ακολούθησε η προσαρμογή στην μελλοντική κατάσταση συγκεκριμένων δεδομένων του συστήματος (εισροές στο δίκτυο και

απαιτήσεις νερού) και τέλος, η προσομοίωση λειτουργίας του συστήματος για τα δύο σενάρια κλιματικής αλλαγής που εξετάζονται: RCP4.5 @ +2°C SSP3 για την περίοδο 2037-2066 και RCP8.5 @ +2°C SSP3 για την περίοδο 2026-2055.

Στα τελικά αποτελέσματα της διερεύνησης των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στον σύστημα παρουσιάζονται οι συγκρίσεις τόσο μεταξύ των σεναρίων κλιματικής αλλαγής όσο και με την ιστορική περίοδο. Κύρια συμπεράσματα είναι τα προκύπτοντα υψηλά ελλείμματα νερού και οι αυξημένες αστοχίες στο σύστημα υπό καθεστώς κλιματικής αλλαγής. Με βάση τα συμπεράσματα της μελέτης διατυπώνονται προτάσεις ορθής διαχείρισης των υδάτων για τον περιορισμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής όπως επίσης και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Abstract

Title: “Evaluation of water dynamic of eastern Crete in climate change scenarios using the HYDRONOMEAS software”.

The present thesis assesses the potential of the water resources system for eastern Crete, for various scenarios of climate change, using the HYDRONOMEAS software. Of the plethora of climate models and future scenarios developed for understanding and evaluating the impact of climate change on the meteorological and hydrological parameters, the present study uses 4 Regional Climatic Models (RCMs), at 2 different Representative Concentration Pathways (RCP 4.5 and RCP 8.5).

Eastern Crete has been considered as the study area, being an area sensitive to the impacts of climate change. Impacts are both natural, concerning the lower rainfalls and the less water resources compared to western Crete, and anthropogenic, concerning the high irrigation needs and the high public water supply needs as this area includes the city of Heraklion.

The study methodology has the following steps: First, schematization of the hydrosystem was done, i.e., the transformation of the components of the original system to the component of the HYDRONOMEAS model that represents the original system. Schematization is based on the water management prototype of Crete developed by Region of Crete in the water management model RIBASIM (River Basin Simulation Model). This step is followed by entry of input data: the features of the components and the time series of water inflows in the network as well as inflows and spills of the reservoirs. The development of the model is concluded by the definition of the targets and operational determinations. Targets concern the water demands (irrigation and public water supply) and the assurance of a minimum river flow during droughts (ecological supply).

The simulation of the original system operation is first conducted for the historical period (1978-1996) with observation data · then the results were compared to the results deriving from the simulation conducted with the data of the four climate models for the same period. The good correlation found between the results, allowed the safe continuation to the following steps without the need to adjust the climate data of the models. Consequently, adjustment to the future state of specific system data was made (inflows in the network and water needs) and, at the end, simulation of the system operation was made for the two scenarios of climate

change contemplated in this study: RCP4.5 @ +2°C SSP3 for period 2037-2066 and RCP8.5 @ +2°C SSP3 for period 2026-2055.

The results of the study of climate change impacts on the system show comparisons both between the climate change scenarios and the historical period. The main conclusions include the resulting high water deficit and the increased system failure. Based on the conclusions of this study, suggestions are made pertaining to the correct water management to reduce the impacts of climate change as well as suggestions for further research.

Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες.....	2
Περίληψη.....	3
Abstract	5
Πίνακας περιεχομένων.....	7
Περιεχόμενα εικόνων.....	10
Περιεχόμενα πινάκων	11
1. Εισαγωγή	12
1.1 Σκοπός της εργασίας	12
1.2 Διάρθρωση της εργασίας	12
2. Κλιματική Αλλαγή.....	14
2.1 Εισαγωγή	14
2.2 Κλιματικά μοντέλα	15
2.2.1 Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας – General Circulation Models (GCMs)	17
2.2.2 Περιοχικά Κλιματικά Μοντέλα – Regional Climate Models (RCMs)	18
2.3 Κλιματικά Σενάρια.....	20
2.3.1 Αντιπροσωπευτικές Πορείες Συγκέντρωσης (Representative Concentration Pathways – RCPs)	21
2.3.2 Κοινές Κοινωνικο-οικονομικές Πορείες (Shared Socioeconomic Pathways – SSPs)	23
3. Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (ΣΥΑ) στη Διαχείριση Υδατικών Πόρων.....	24
3.1 Η έννοια των Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων	24
3.2 Εφαρμογή των ΣΥΑ στη διαχείριση συστημάτων υδατικών πόρων	26
3.3 Μοντέλο RIBASIM.....	27
3.4 Μοντέλο ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ	29
4. Υφιστάμενη κατάσταση περιοχής μελέτης.....	34
4.1 Υδατικό διαμέρισμα Κρήτης.....	34
4.1.1 Υδρολογικά χαρακτηριστικά	34
4.1.2 Υδατικό Δυναμικό.....	35
4.2 Περιοχή μελέτης.....	36
4.2.1 Μορφολογικά Χαρακτηριστικά.....	36
4.2.2 Κλιματικά χαρακτηριστικά	37
4.2.3 Ερημοποίηση.....	40

4.2.4	Ξηρασία	41
4.2.5	Υπόγειος Υδροφορέας.....	42
4.2.6	Ανθρωπογενές Περιβάλλον.....	42
4.2.7	Ταμιευτήρες στην περιοχή μελέτης	44
5.	Σχηματοποίηση υδροσυστήματος	48
5.1	Γενικά.....	48
5.2	Συνιστώσες Υδροσυστήματος στο μοντέλο RIBASIM	48
5.2.1	Σχηματοποίηση συστήματος περιοχής μελέτης στο μοντέλο RIBASIM	49
5.3	Αντιστοιχία συνιστωσών RIBASIM – ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ.....	51
5.4	Συνιστώσες Υδροσυστήματος στο μοντέλο ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ.....	52
5.4.1	Γεώτρηση – Borehole	52
5.4.2	Εισροή στο δίκτυο – Inflow	54
5.4.3	Κόμβος – Junction	55
5.4.4	Ταμιευτήρας – Reservoir	56
5.4.5	Στόχος – Target.....	58
5.4.6	Υδραγωγείο – Aqueduct.....	61
5.5	Σχηματοποίηση συστήματος περιοχής μελέτης στο μοντέλο ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ.....	63
5.6	Προσομοίωση συστήματος	65
5.6.1	Ιστορική περίοδος	65
5.6.2	Σενάρια κλιματικής αλλαγής.....	66
5.7	Αποτελέσματα προσομοίωσης συστήματος.....	68
6.	Ανάλυση αποτελεσμάτων	70
6.1	Αποτελέσματα προσομοίωσης ιστορικής περιόδου	70
6.1.1	Συσχέτιση αποτελεσμάτων προσομοίωσης ιστορικής περιόδου με δεδομένα παρατήρησης και δεδομένα κλιματικών μοντέλων	72
6.2	Αποτελέσματα προσομοίωσης υπό καθεστώς κλιματικής αλλαγής	75
6.2.1	Αποτελέσματα σεναρίου RCP4.5 @+2°C SSP3.....	75
6.2.2	Αποτελέσματα σεναρίου RCP8.5 @+2°C SSP3.....	75
6.3	Σύγκριση αποτελεσμάτων προσομοίωσης υπό κλιματική αλλαγή (Σενάρια RCP4.5 @+2°C SSP3 και RCP8.5 @+2°C SSP3) και ιστορική περίοδο	76
7.	Συμπεράσματα - Προτάσεις	82
7.1	Συμπεράσματα	82
7.2	Προτάσεις διαχείρισης επιπτώσεων κλιματικής αλλαγής στο υδροσύστημα	83
7.3	Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	84

Βιβλιογραφία	87
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	90
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α – Πίνακες Αποτελεσμάτων	90
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β – Απεικόνιση σχηματοποίησης δικτύου στα μοντέλα RIBASIM και ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ	98

Περιεχόμενα εικόνων

Εικόνα 1: Αιτίες πρόκλησης της αύξησης της θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης για την περίοδο 1951-2010 (Πηγή: IPCC – A5).....	15
Εικόνα 2: Χωρική ανάλυση των Περιφερειακών Κλιματικών Μοντέλων - RCMs (Πηγή: World Meteorological Organization)	19
Εικόνα 3: Προβλέψεις για την αύξηση της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας (a) και της μέσης στάθμης θάλασσας (b) για τα διάφορα RCPs με χρήση μοντέλων CMIP5 (Πηγή: IPCC – A5)	22
Εικόνα 4: Ανάπτυξη Κοινών Κοινωνικο-οικονομικών Πορειών (SSPs) σε δύο άξονες.....	23
Εικόνα 5: Περιβάλλον μοντέλου RIBASIM - Περιοχή μελέτης	28
Εικόνα 6: Μοντέλο ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ (Πηγή: ΕΜΠ)	30
Εικόνα 7: Μαθηματικό υπόβαθρο ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ (Πηγή: www.odysseusproject.gr)	31
Εικόνα 8: Μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης για 130 λεκάνες της Κρήτης (Βροχίδου, 2009)	40
Εικόνα 9: Χάρτης δυνητικού κινδύνου ερημοποίησης της Ελλάδας (Γιάσογλου et al., 2001).....	41
Εικόνα 10: Χρονική κατανομή των λεκανών με τάση προς ακραία ξηρασία 48 μηνών (Βροχίδου, 2009)	41
Εικόνα 11: Θέση λεκανών απορροής και ταμιευτήρων στην περιοχή μελέτης	47
Εικόνα 12: Σχηματοποίηση υδροσυστήματος ανατολικής Κρήτης στο μοντέλο RIBASIM.....	50
Εικόνα 13: Φόρμα δεδομένων γεώτρησης - βασικό φύλλο γεώτρησης	53
Εικόνα 14: Φύλλο δεδομένων εισροής στο δίκτυο	54
Εικόνα 15: Φύλλο δεδομένων ταμιευτήρα - Βασικό φύλλο.....	57
Εικόνα 16: Φύλλο δεδομένων ταμιευτήρα – φύλλο καμπύλων στάθμης-όγκου-επιφάνειας.....	58
Εικόνα 17: Παράδειγμα σχηματοποίησης κάθε κατηγορίας στόχου (Υδρευση - Άρδευση - Οικολογική παροχή).....	59
Εικόνα 18:Φόρμα δεδομένων στόχου ύδρευσης - βασικό φύλλο δεδομένων	60
Εικόνα 19: Φόρμα δεδομένων στόχου ύδρευσης - φύλλο δεδομένων	61
Εικόνα 20: Φόρμα δεδομένων υδραγωγείου - βασικό φύλλο δεδομένων.....	63
Εικόνα 21: Σχηματοποίηση υδροσυστήματος ανατολικής Κρήτης στο μοντέλο ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ	64
Εικόνα 22: Γράφημα χρονικής κατανομής ελλείμματος ύδρευσης δήμου Τυμπακίου για την ιστορική περίοδο προσομοίωσης	71
Εικόνα 23:Διάγραμμα ποσοστιαίας αστοχίας στόχων υδροσυστήματος Ηρακλείου - Αγίου Νικολάου για την ιστορική περίοδο	74
Εικόνα 24: Διάγραμμα μέσου ετήσιου ελλείμματος στόχων υδροσυστήματος Ηρακλείου - Αγίου Νικολάου για την ιστορική περίοδο	74
Εικόνα 25: Διάγραμμα μεταβολής μέσου ετήσιου ελλείμματος για κάθε στόχο του συστήματος για την ιστορική περίοδο και τα σενάρια κλιματικής αλλαγής.....	77
Εικόνα 26: Διάγραμμα μεταβολής ποσοστιαίας αστοχίας για κάθε στόχο άρδευσης για την ιστορική περίοδο και τα σενάρια κλιματικής αλλαγής.....	79
Εικόνα 27: Διάγραμμα μεταβολής μέσου ετήσιου ελλείμματος για κάθε στόχο άρδευσης για την ιστορική περίοδο και τα σενάρια κλιματικής αλλαγής	79

Εικόνα 28: Διάγραμμα μεταβολής μέσου ετήσιου ελλείμματος για κάθε στόχο του δικτύου ύδρευσης Ηρακλείου για την ιστορική περίοδο και τα σενάρια κλιματικής αλλαγής (δίνεται εύρος τιμών ανάλογα με τα αποτελέσματα κάθε μοντέλου).....	80
Εικόνα 29: Σχηματοποίηση δικτύου περιοχής μελέτης στο μοντέλο RIBASIM - εμφάνιση συνιστωσών χωρίς χάρτη.....	98
Εικόνα 30: Σχηματοποίηση δικτύου περιοχής μελέτης στο μοντέλο RIBASIM - Περιοχή Α (Νομός Ηρακλείου)	99
Εικόνα 31:Σχηματοποίηση δικτύου περιοχής μελέτης στο μοντέλο ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ – Περιοχή Β (Νομός Ηρακλείου – Νομός Λασιθίου).....	100
Εικόνα 32:Σχηματοποίηση δικτύου περιοχής μελέτης στο μοντέλο ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ – Περιοχή Γ (Νομός Λασιθίου)	100

Περιεχόμενα πινάκων

Πίνακας 1: Κλιματικά μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία	20
Πίνακας 2: Εκτίμηση Συνολικών Ετήσιων Αναγκών για όλες τις χρήσεις (2001).....	36
Πίνακας 3: Ετήσιο υδατικό ισοζύγιο Κρήτης.....	39
Πίνακας 4: Έκταση και πληθυσμός στο ΥΔ Κρήτης (ΕΛ.ΣΤΑΤ.2011)	43
Πίνακας 5: Αρδευτική ζήτηση κατά Περιφερειακή Ενότητα (Μm3/έτος)	44
Πίνακας 6: Έκταση και συντεταγμένες τοποθεσίας ταμιευτήρων περιοχής μελέτης καθώς και λεκάνες απορροής στις οποίες ανήκουν	45
Πίνακας 7: Αντιστοιχία συνιστωσών RIBASIM και ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ κατά την μεταφορά του υδροσυστήματος και σχηματοποίηση του στον ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ	51
Πίνακας 8: Αναφορά στις κατηγορίες στόχων που χρησιμοποιούνται, τις συνιστώσες του δικτύου στις οποίες συνδέονται και τις μονάδες μέτρησης.....	59
Πίνακας 9: Μεταβολές της διαθεσιμότητας υδάτων και της απαίτησης νερού για διάφορα αντιπροσωπευτικά μονοπάτια (RCPs) και κοινωνικο-οικονομικά σενάρια (SSPs) (Koutroulis et al., 2016).....	67
Πίνακας Α-1: Αποτελέσματα προσομοίωσης ιστορικής περιόδου με δεδομένα παρατήρησης	90
Πίνακας Α-2:Αποτελέσματα προσομοίωσης ιστορικής περιόδου με δεδομένα κλιματικών μοντέλων	92
Πίνακας Α-3: Αποτελέσματα προσομοίωσης σεναρίου RCP4.5 @ +2°C SSP3 και σύγκριση με ιστορική περίοδο.....	94
Πίνακας Α-4: Αποτελέσματα προσομοίωσης σεναρίου RCP8.5 @ +2°C SSP3 και σύγκριση με ιστορική περίοδο.....	96

1. Εισαγωγή

1.1 Σκοπός της εργασίας

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα πόλο συγκέντρωσης ολοένα και περισσότερου ενδιαφέροντος από την ερευνητική κοινότητα και όχι μόνο. Το φαινόμενο και κυρίως οι επιπτώσεις του γίνονται αντιληπτά μέσα από την αύξηση των θερμοκρασιών, την αλλαγή της κατανομής των βροχοπτώσεων, την αύξηση των ακραίων φαινομένων, την τήξη των παγετώνων του πλανήτη και επακόλουθα την αύξηση της παγκόσμιας μέσης στάθμης της θάλασσας. Σημαντικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής παρατηρούνται και στη διαθεσιμότητα των υδάτινων πόρων. Για την κατανόηση της έννοιας της κλιματικής αλλαγής αλλά και των επιπτώσεων της στις υδρομετεωρολογικές παραμέτρους έχουν αναπτυχθεί πολυάριθμα κλιματικά μοντέλα, γενικής κυκλοφορίας και περιοχικά, τα οποία αναγάγουν τις τιμές των παραμέτρων σε χρονικό ορίζοντα 150 ετών εφαρμόζοντας δυνητικές μελλοντικές εικόνες-σενάρια.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εκτίμηση του υδατικού δυναμικού της ανατολικής Κρήτης για διάφορα σενάρια κλιματικής αλλαγής. Για τον σκοπό αυτό γίνεται η σχηματοποίηση του συστήματος στο λογισμικό ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ και η προσομοίωση της λειτουργίας του για την ιστορική περίοδο και για τα διάφορα σενάρια κλιματικής αλλαγής. Τα σενάρια που εξετάζονται είναι τα RCP4.5 @ +2°C SSP3 για την περίοδο 2037-2066 και RCP8.5 @ +2°C SSP3 για την περίοδο 2026-2055 ενώ χρησιμοποιούνται κλιματικά δεδομένα και δεδομένα προσομοίωσης απορροής από 4 περιοχικά μοντέλα.

1.2 Διάρθρωση της εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από 7 κεφάλαια στα οποία περιγράφεται, τόσο η θεωρητική βάση στην οποία βασίζεται η εφαρμογή για τη διερεύνηση του υδατικού δυναμικού, όσο και το πρακτικό μέρος με τα στάδια που ακολουθήθηκαν έτσι ώστε να προκύψουν τα συμπεράσματα. Στην συνέχεια, περιγράφονται συνοπτικά τα κεφάλαια και το περιεχόμενό τους.

Κεφάλαιο 1^ο

Τοποθετείται το θέμα της παρούσας εργασίας και ο σκοπός της, και δίνεται η διάρθρωση της εργασίας.

Κεφάλαιο 2^ο

Γίνεται μία εισαγωγή στην κλιματική αλλαγή και στην επίδραση των ανθρώπων σε αυτήν. Επισημαίνονται τα «εργαλεία» παρατήρησης της κλιματικής αλλαγής Γενικά Μοντέλα Κυκλοφορίας και Περιοχικά Κλιματικά Μοντέλα, ενώ παρουσιάζονται τα σενάρια εκπομπών RCPs και SPPs σύμφωνα με την 5^η Έκθεση Αξιολόγησης της IPCC.

Κεφάλαιο 3^ο

Παρουσιάζεται η έννοια των Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων και η εφαρμογή του στον τομέα της διαχείρισης υδατικών πόρων. Επίσης γίνεται αναφορά στο λογισμικό ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία.

Κεφάλαιο 4^ο

Γίνεται μία περιγραφή της υφιστάμενης κατάστασης στην περιοχή της Κρήτης και ειδικότερα στην ανατολική Κρήτη που αποτελεί την περιοχή μελέτης. Ιδιαίτερη σημασία δίνεται στο υδατικό ισοζύγιο, τα κλιματικά χαρακτηριστικά, τις χρήσεις γης, της απαιτήσεις σε νερό και το ανθρωπογενές περιβάλλον με πίνακες και χάρτες της περιοχής. Τέλος παρουσιάζονται οι ταμειευτήρες του υπό εξέταση συστήματος και οι λεκάνες απορροής στους οποίους ανήκουν.

Κεφάλαιο 5^ο

Παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία. Αρχικά αναλύεται η διαδικασία σχηματοποίησης του συστήματος στο λογισμικό ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ και η εισαγωγή των απαραίτητων δεδομένων για την προσομοίωση. Ακολουθούν οι συνθήκες προσομοίωσης για την ιστορική περίοδο και για τα σενάρια κλιματικής αλλαγής που θα εξεταστούν.

Κεφάλαιο 6^ο

Γίνεται μία παρουσίαση και ανάλυση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης. Κατασκευάζονται γραφήματα για την καλύτερη οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων και γίνεται σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων για την ιστορική περίοδο και τα σενάρια κλιματικής αλλαγής.

Κεφάλαιο 7^ο

Η εργασία ολοκληρώνεται με την παράθεση των συμπερασμάτων που προκύπτουν από την ανάλυση των αποτελεσμάτων, κάποιες προτάσεις με βάση τα συμπεράσματα για την ορθή διαχείριση των υδατικών πόρων στην περιοχή μελέτης και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

2. Κλιματική Αλλαγή

2.1 Εισαγωγή

Το κλιματικό σύστημα εξελίσσεται κάτω από την επίδραση της εσωτερικής του δυναμικής και εξαιτίας αλλαγών σε διάφορους εξωτερικούς παράγοντες που επηρεάζουν το κλίμα (IPCC, 2007). Ως κλιματική αλλαγή ορίζεται μια αλλαγή στην κατάσταση του κλίματος που μπορεί να προσδιοριστεί (π.χ. χρησιμοποιώντας στατιστικές δοκιμές) από τις αλλαγές στο μέσο όρο ή/και τη μεταβλητότητα των ιδιοτήτων του, και που υπάρχει για μια εκτεταμένη περίοδο, συνήθως δεκαετίες ή περισσότερο. Αναφέρεται σε οποιαδήποτε αλλαγή στο κλίμα με την πάροδο του χρόνου, που οφείλεται είτε στη φυσική μεταβλητότητα είτε στις δραστηριότητες του ανθρώπου. (IPCC, 2007)

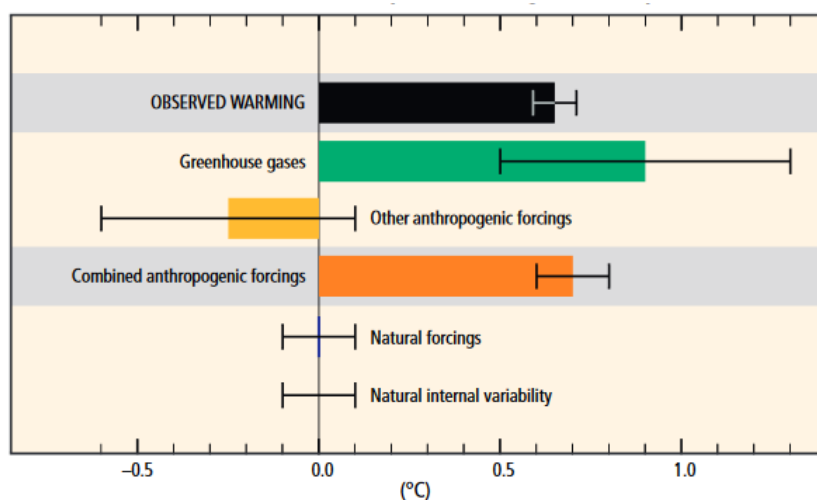
Οι εγκυρότερες και πιο αξιόπιστες εκθέσεις για την κλιματική αλλαγή έχουν δημοσιευτεί από τη διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC), η οποία ιδρύθηκε το 1988 από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (World Meteorological Organization - WMO) και το Πρόγραμμα Περιβάλλοντος (United Nations Environment Programme - UNEP) του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών. Ο σκοπός της επιτροπής είναι η αξιολόγηση της ήδη υπάρχουσας επιστημονικής γνώσης για τη μελέτη των κλιματικών αλλαγών, καθώς και η αξιολόγηση των συνεπειών των κλιματικών μεταβολών που προέρχονται από ανθρώπινη δραστηριότητα, μελετώντας πιθανές πολιτικές και δράσεις για την αντιμετώπιση των ενδεχόμενων κινδύνων.

Το κλίμα επηρεάζεται από έναν αριθμό τόσο φυσικών όσο και ανθρωπογενών παραγόντων με αποτέλεσμα την αλλαγή στην κατάστασή του. Στις φυσικές πιέσεις συγκαταλέγονται οι διακυμάνσεις στους αστρονομικούς κύκλους, οι ηλιακές δραστηριότητες όπως η πλανητική σκίαση και οι αλλαγές στις ωκεάνιες κυκλοφορίες. Οι ανθρωπογενείς πιέσεις στο κλίμα αφορούν την αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου, την μείωση του όζοντος στην στρατόσφαιρα και διάφορες αλλαγές στην επιφάνεια της γης, όπως η αποψίλωση των δασών και η αλλαγή στην ανακλαστικότητα της επιφάνειας (Παναγέα, 2013).

Το 2007 η τέταρτη Έκθεση της IPCC κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το μεγαλύτερο μέρος της αύξησης στις μέσες παγκόσμιες θερμοκρασίες από το μέσον του 20ου αιώνα οφείλεται πιθανώς στην αύξηση των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου από τις δραστηριότητες του ανθρώπου, και ως εκ τούτου είναι σημαντικό να αναλυθούν οι επιπτώσεις τόσο της φυσικής όσο και της

ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής και ο τρόπος που θα επηρεαστούν τα υπάρχοντα κλιματικά πρότυπα σε τοπική κλίμακα. (IPCC, 2007).

Σύμφωνα με την πέμπτη και πιο πρόσφατη Έκθεση της IPCC, οι αποδείξεις για την επίδραση της ανθρωπίνης δραστηριότητας στην κλιματική αλλαγή έχουν ενισχυθεί σε σχέση με την τέταρτη Έκθεση του 2007. Είναι εξαιρετικά πιθανό ότι περισσότερο από το ήμισυ της παρατηρούμενης αύξησης της θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης που παρατηρείται από το 1951 έως το 2010, έχει προκληθεί από την ανθρωπογενή αύξηση των συγκεντρώσεων των αερίων θερμοκηπίου σε συνδυασμό με άλλες ανθρωπογενείς πιέσεις. Η καλύτερη εκτίμηση της συνεισφοράς του ανθρώπου στην αύξηση της θερμοκρασίας είναι παρόμοια με την παρατηρούμενη αύξηση της θερμοκρασίας κατά την περίοδο αυτή (Εικόνα 1). Οι ανθρωπογενείς παράγοντες έχουν συμβάλει σημαντικά στην αύξηση της θερμοκρασίας από τα μέσα του 20ου αιώνα πάνω από κάθε ηπειρωτική χώρα εκτός από την Ανταρκτική. Επίσης, ανθρωπογενείς επιδράσεις έχουν πιθανώς επηρεάσει τον παγκόσμιο κύκλο από το 1960 (IPCC, 2014).



Εικόνα 1: Αιτίες πρόκλησης της αύξησης της θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης για την περίοδο 1951-2010 (Πηγή: IPCC – A5)

2.2 Κλιματικά μοντέλα

Τα κλιματικά μοντέλα αποτελούν πλέον τα χρησιμότερα εργαλεία για την παρακολούθηση του παγκόσμιου κλίματος, τη διερεύνηση παλαιότερων εποχών και μελλοντικές εκτιμήσεις για τις κλιματικές συνθήκες διαβίωσης στον πλανήτη μας τις επόμενες εκατονταετίες. Ένα κλιματικό μοντέλο χρησιμοποιεί αριθμητικές μεθόδους για να προσομοιώσει τις αλληλεπιδράσεις της ατμόσφαιρας με τους ωκεανούς, την επιφάνεια της γης, και τις πολικές περιοχές. Χρησιμοποιούνται για ποικίλους σκοπούς, ξεκινώντας από τη μελέτη των δυναμικών φαινομένων του

κλιματικού μηχανισμού, μέχρι και για εκτιμήσεις για το μελλοντικό κλίμα. Η πιο διαδεδομένη χρήση των κλιματικών μοντέλων τα τελευταία χρόνια είναι η εκτίμηση της πορείας της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου (κλιματική αλλαγή).

Σε γενικές γραμμές ένα κλιματικό μοντέλο είναι η προσομοίωση του κλιματικού συστήματος, βασισμένη σε φυσικές, βιολογικές και χημικές διεργασίες. Οι εξισώσεις που προκύπτουν από τις παραπάνω αρχές είναι τόσο πολύπλοκες που πρέπει να λυθούν αριθμητικά. Ως αποτέλεσμα τα μοντέλα παρέχουν δεδομένα τα οποία είναι διακριτά στο χώρο και στο χρόνο, δηλαδή τα αποτελέσματα αντιπροσωπεύουν μέσες τιμές ανά περιοχή, η οποία εξαρτάται από τη χωρική ανάλυση του μοντέλου για δεδομένες χρονικές περιόδους. Το χρονικό βήμα μπορεί να είναι της τάξης των μερικών λεπτών μέχρι και μερικών ετών, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε έρευνας.

Ακόμη και για τα μοντέλα με ικανοποιητική ανάλυση, το μέγεθος του πλέγματος είναι τόσο μεγάλο, ώστε δεν μπορούν να προσομοιωθούν διεργασίες μικρής κλίμακας όπως οι τυρβώδεις ροές του οριακού στρώματος της ατμόσφαιρας ή των ωκεανών, οι αλληλεπιδράσεις μικρής κλίμακας με τα χαρακτηριστικά της τοπογραφίας, οι καταιγίδες, οι μικροφυσικές διεργασίες των νεφών κ.α.. Επιπλέον, κάποιες διεργασίες δεν είναι απολύτως γνωστές, ώστε να συμπεριληφθούν οι λεπτομερείς επιδράσεις τους στο μοντέλο. Κατά συνέπεια, είναι επιτακτική η ανάγκη για την παραμετροποίηση τέτοιων διεργασιών, βασισμένη σε εμπειρικούς ή και αριθμητικούς κανόνες. Καθώς όμως η παραμετροποίηση αναπαράγει μόνο τις άμεσες επιδράσεις αυτών των φαινομένων, είναι συχνά μια μεγάλης κλίμακας, πηγή αβεβαιότητας.

Σε συνδυασμό με τις βασικές αρχές της φυσικής, της βιολογίας και της χημείας, τα κλιματικά μοντέλα απαιτούν κάποια δεδομένα εισόδου από παρατηρήσεις – μετρήσεις μεγεθών, ή αποτελέσματα άλλων μοντέλων. Για ένα κλιματικό μοντέλο το οποίο περιγράφει σχεδόν όλες τις παραμέτρους ενός συστήματος, απαιτείται ένας σχετικά μικρός όγκος δεδομένων, όπως η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία, η ακτίνα και η περίοδος περιστροφής της γης, η τοπογραφία και η βαθυμετρία των ωκεανών, κάποιες ιδιότητες του εδάφους κ.α..

2.2.1 Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας – General Circulation Models (GCMs)

Με δεδομένη την ύπαρξη της κλιματικής αλλαγής έγιναν πολυάριθμες προσπάθειες μέσω επιστημονικής έρευνας τόσο να κατανοηθούν εκείνοι οι παράγοντες, οι μηχανισμοί και οι διαδικασίες που σχετίζονται με το περιβάλλον και την μεταβολή του, όσο και να μοντελοποιηθεί το κλίμα αναφερόμενο σε μια παγκόσμια κλίμακα. Η επίτευξη αυτών έγινε μέσα από τη δημιουργία των Μοντέλων Γενικής Κυκλοφορίας ή, κατά έναν πιο πρόσφατο όρο, των Παγκόσμιων Κλιματικών Μοντέλων.

Πρόκειται ουσιαστικά για εργαλεία που προσομοιώνουν την κλιματική πραγματικότητα και αλλαγή και περιγράφουν κάποιους από τους μηχανισμούς του κλίματος όπως είναι η λευκαύγεια του πάγου, οι κύκλοι κινήσεως των αερίων του θερμοκηπίου, η ωκεάνια κυκλοφορία, η ανάδραση του συστήματος ατμόσφαιρας – ωκεανών και εδάφους – ατμόσφαιρας. Κύριο χαρακτηριστικό των μοντέλων αυτών είναι η δυνατότητα να αναπαράγουν μεγάλης κλίμακας κατανομές των κλιματικών μεταβλητών, θερμοκρασίας, ατμοσφαιρικής πίεσης, βροχόπτωσης και των ροών θερμότητας στο σύστημα επιφάνειας και βάθος ωκεανού. (Κάσσιου, 2015)

Ως προς τον τρόπο απεικόνισης των εκτιμήσεων, τα Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας χρησιμοποιούν έναν παγκόσμιας κλίμακας τρισδιάστατο κάνναβο με οριζόντια ανάλυση που κυμαίνεται από 250 έως 600 χιλιόμετρα, με 10 έως 20 κάθετα επίπεδα για την ατμόσφαιρα και έως 30 για τον ωκεανό (IPCC, 2013).

Όπως αναφέρθηκε, τα Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας χρησιμοποιούν διάφορα στοιχεία του κλίματος για να πραγματοποιήσουν μελλοντικές προσομοιώσεις. Αναφορικά με αυτούς τους παράγοντες τα GCMs διαχωρίζονται σε δυο τύπους, τα Ατμοσφαιρικά Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (Atmospheric GCMs – AGCMs) και τα Ωκεάνια Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (Oceanic GCMs - OGCMs). Συχνά, αυτοί οι δυο τύποι μοντέλων συνδυάζονται και προκύπτουν τα Συζευγμένα Ατμοσφαιρικά – Ωκεάνια Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (Atmosphere – Ocean Coupled General Circulation Model - CGCM or AOGCM).

Τα τελευταία θεωρούνται ως τα πιο πλήρη μοντέλα που χρησιμοποιούνται για μελλοντικές προβλέψεις της κλιματικής αλλαγής, ενώ παράλληλα, με τη χρήση τιμών θαλάσσιου πάγου και εξατμισοδιαπνοής το αποτέλεσμα είναι ένα πλήρες κλιματικό μοντέλο.

Τα Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας δεν μπορούν να αποδώσουν λεπτομερή χαρακτηριστικά σε κλίμακα μικρότερη του ορισμένου κάνναβου, αλλά χονδρικό αποτέλεσμα 2° έως 3° , ενώ σε τοπική κλίμακα είναι αναγκαία η υψηλότερη

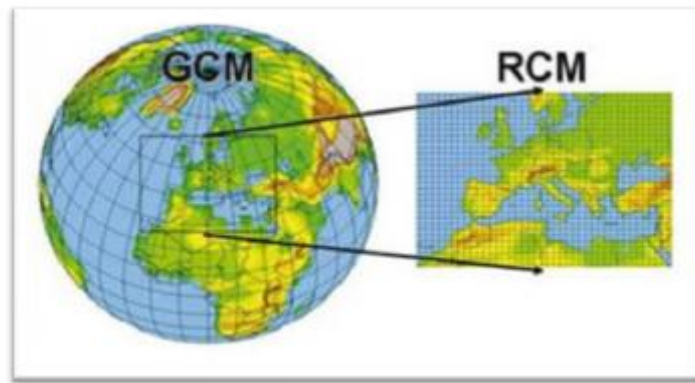
ανάλυση. Επίσης, λόγω της (χαμηλής) ανάλυσης αυτής αρκετές εκτιμήσεις και φυσικές διεργασίες που απαιτούν καλύτερη ανάλυση όπως η επίδραση των σύννεφων, των υδρατμών ή της ωκεάνια κυκλοφορίας είναι πολύ δύσκολο να μοντελοποιηθούν επαρκώς (IPCC, 2013).

2.2.2 Περιοχικά Κλιματικά Μοντέλα – Regional Climate Models (RCMs)

Μία συμπληρωματική στα παγκόσμια μοντέλα μέθοδος προσομοίωσης αποτελούν τα περιοχικά κλιματικά μοντέλα (Regional climate models – RCMs), τα οποία επιτρέπουν τη λεπτομερέστερη μελέτη των διαδικασιών προσομοίωσης των τοπικών συνθηκών.

Η τοπική αλλαγή του κλίματος επηρεάζεται πολύ από τοπικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα πως η ορεογραφία, τα οποία δεν προσομοιώνονται ικανοποιητικά στα παγκόσμια μοντέλα λόγω της μικρότερης χωρικής ανάλυσής τους. Χάρη στην εξέλιξη των μοντέλων και την καλύτερη κατανόηση των φυσικών διαδικασιών του κλιματικού συστήματος είναι πλέον δυνατή η εκτίμηση της τοπικής κλιματικής αλλαγής σε πολλές περιοχές του κόσμου (www.metoffice.gov.uk).

Χρησιμοποιώντας ως βάση τα Συζευγμένα Ατμοσφαιρικά-Ωκεάνια Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας, υπάρχουν διάφορες μέθοδοι υποβιβασμού κλίμακας για την απόκτηση πιο λεπτομερειακών δεδομένων. Οι μέθοδοι υποβιβασμού κλίμακας χωρίζονται σε δυναμικές, χρησιμοποιώντας τα Περιοχικά Κλιματικά Μοντέλα (RCMs), και σε στατιστικές-εμπειρικές μεθόδους, οι οποίες χρησιμοποιούν τις παρατηρούμενες σχέσεις ανάμεσα στη μεγάλη κλίμακας κυκλοφορία (ανεξάρτητες μεταβλητές) και στο τοπικό κλίμα (εξαρτημένες μεταβλητές). (Χατζηπαραδείση, 2008).



Εικόνα 2: Χωρική ανάλυση των Περιφερειακών Κλιματικών Μοντέλων - RCMs (Πηγή: World Meteorological Organization)

Βασικό πλεονέκτημα των RCMs είναι ότι περιγράφουν με μεγαλύτερη ακρίβεια τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας όπως την ορογραφία, την κατανομή ξηράς και θάλασσας και τη χρήση της γης, τα οποία δεν είναι δυνατό να παρασταθούν ακόμα στις προσομοιώσεις των GCMs επειδή οι διαστάσεις τους είναι μικρότερες από τις διαστάσεις του πλέγματος του GCM. Επιπροσθέτως η αυξημένη χωρική ανάλυση των RCMs επιτρέπει να αναλύονται φαινόμενα μικρότερης χωρικής κλίμακας που δεν αναλύονται από τα GCMs. Με αυτό τον τρόπο μπορούν να προσομοιώσουν τη λειτουργία μηχανισμών ανάδρασης που δρουν σε περιοχική κλίμακα. Το κυριότερο μειονέκτημά τους είναι ότι αν τα αποτελέσματα του GCM που παρέχει τις οριακές συνθήκες είναι εσφαλμένα το ίδιο θα ισχύσει και για τα αποτελέσματα του RCM. Αυτό το μειονέκτημα ισχύει για όλες τις τεχνικές υποκλιμάκωσης. Επίσης μειονέκτημα αποτελεί η έλλειψη της δυνατότητας αλληλεπίδρασης με το GCM. Η ανάγκη ρύθμισης τους, είναι ένα ακόμα μειονέκτημα διότι μπορεί να αποδειχτεί διαδικασία χρονοβόρα και επίπονη. (Παναγέα, 2013)

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η εκτίμηση των κλιματικών συνθηκών που θα επικρατήσουν στο μέλλον σε ένα τόπο εμπεριέχει πολλούς παράγοντες αβεβαιότητας οι σημαντικότεροι από τους οποίους είναι:

1. Η επιλογή του σεναρίου εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου βάσει του οποίου γίνεται η προσομοίωση του μελλοντικού κλίματος,
2. Η επιλογή του GCM με το οποίο θα διεξαχθούν οι κλιματικές προσομοιώσεις,
3. Η επιλογή του RCM στην περίπτωση που χρησιμοποιείται μεθοδολογία δυναμικής υποκλιμάκωσης και
4. Η επιλογή των αρχικών συνθηκών της κλιματικής προσομοίωσης του GCM, δεδομένα του οποίου χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου του RCM.

Μια συνήθης πρακτική, που χρησιμοποιείται προκειμένου να μειωθούν οι αβεβαιότητες που οφείλονται στις διαφορετικές παραμετροποιήσεις και τους

διαφορετικούς δυναμικούς κώδικες που χρησιμοποιούνται από τα διαφορετικά κλιματικά μοντέλα αλλά και στην αβεβαιότητα των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου στο μέλλον, είναι η ανάλυση των αποτελεσμάτων ενός συνόλου από προσομοιώσεις διαφορετικών κλιματικών μοντέλων και για διάφορα σενάρια εκπομπών (Παναγέα, 2013).

Στην παρούσα εργασία, για τη διερεύνηση του υδατικού δυναμικού υπό καθεστώς κλιματικής αλλαγής, χρησιμοποιούνται 4 διαφορετικά κλιματικά μοντέλα (Πίνακας 1).

Πίνακας 1: Κλιματικά μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία

GCM	RCM
EC-EARTH-r1	KNMI-RACMO22E
EC-EARTH-r12	SMHI-RCA4
HadGEM2-ES-r1	SMHI-RCA4
MPI-ESM-LR-r1	CSC-REMO

Δεν κρίνεται σκόπιμο να δοθεί μεγαλύτερη έκταση και λεπτομερής περιγραφή για κάθε μοντέλο ξεχωριστά λόγω του μεγάλου όγκου πληροφοριών που θα προέκυπτε. Ωστόσο υπάρχει λεπτομερέστατη διαθέσιμη βιβλιογραφία για κάθε μοντέλο (Vautard et al., 2014), με αναλυτική περιγραφή όλων των δεδομένων εισόδου και κάθε δραστηριότητας και σύζευξης του κάθε κλιματικού μοντέλου με όποια παράμετρο είναι απαραίτητη για τη διεξαγωγή αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων.

2.3 Κλιματικά Σενάρια

Τα σενάρια εκπομπών είναι ένα κεντρικό συστατικό οποιασδήποτε αξιολόγησης της αλλαγής κλίματος. Τα σενάρια διευκολύνουν την αξιολόγηση των μελλοντικών εξελίξεων στα πολυσύνθετα συστήματα που είναι είτε εγγενώς απρόβλεπτα είτε έχουν επιστημονικές αβεβαιότητες, και η αξιολόγηση των μελλοντικών εκπομπών είναι ένα ουσιαστικό συστατικό της γενικής αξιολόγησης της παγκόσμιας αλλαγής κλίματος από την IPCC.

Στα πλαίσια της μελέτης των προβλεπόμενων ανθρωπογενών κλιματικών αλλαγών, βασικός παράγοντας των προσομοιώσεων του μελλοντικού κλίματος είναι η εξέλιξη των συγκεντρώσεων στην ατμόσφαιρα των αερίων του θερμοκηπίου, (CO₂, CH₄, N₂O, PFCs, SF₆, HFCs, NO_x, CO, VOC, SO₂, BC, OC). Ο ρυθμός με τον οποίο θα εξελιχθούν στο μέλλον οι εκπομπές και κατά συνέπεια και οι συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου (GHGs) στην ατμόσφαιρα, δεν μπορεί να προσδιορισθεί επακριβώς.

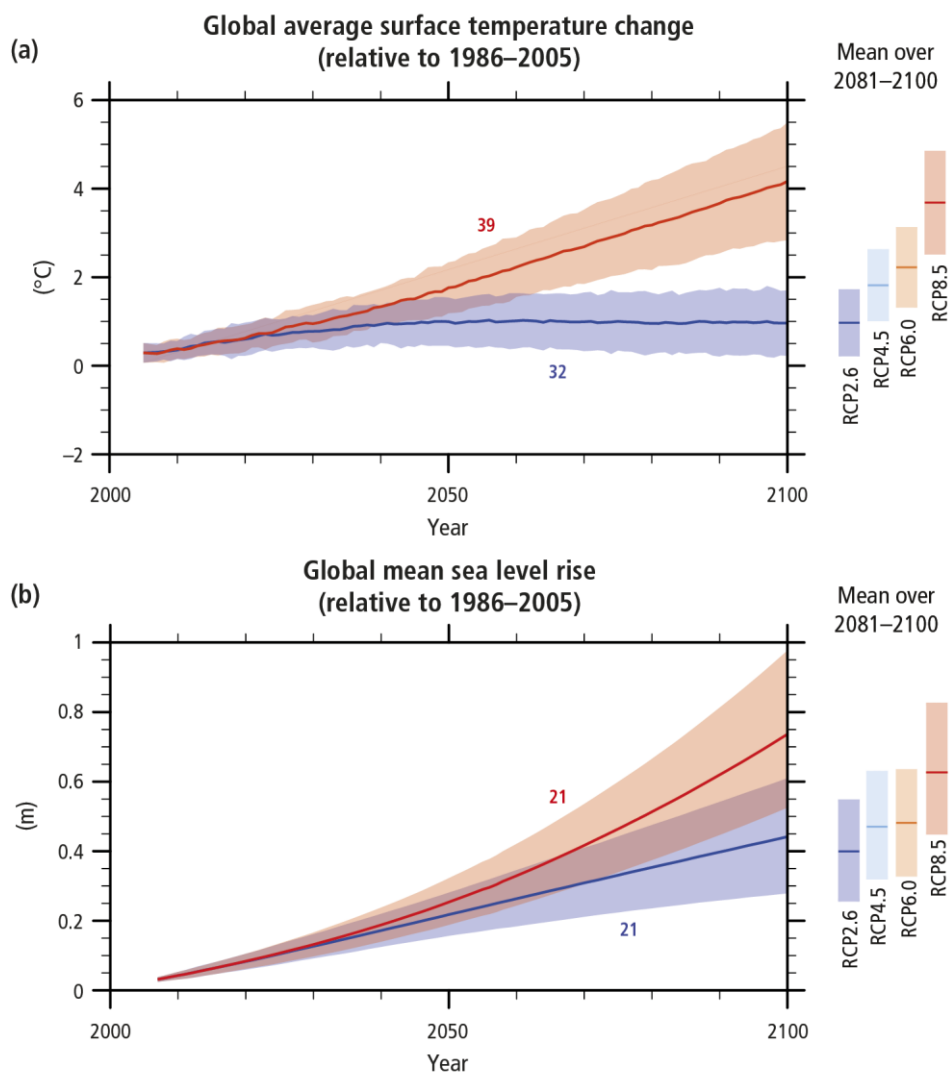
Στα πλαίσια της Τρίτης Έκθεσης (Third Assessment Report – TAR) του 2001, διαμορφώθηκε ένας μεγάλος αριθμός σεναρίων (40 σενάρια) σχετικών με τη μελλοντική εξέλιξη των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (Special Report on Emissions Scenarios, SRES) (Nakicenović et al., 2000) από τέσσερα ολοκληρωμένα μοντέλα εκτίμησης (Integrated Assessment Models – IAMs) με τα πλέον αντιπροσωπευτικά να είναι τα A1B, A1T, A1F1, A2, B1, B2 (IPCC, 2001).

Η διαμόρφωση των συγκεκριμένων σεναρίων στηρίχτηκε σε ορισμένους βασικούς άξονες που σχετίζονται με τα δημογραφικά στοιχεία, την κοινωνικο-οικονομική ανάπτυξη, τις πολιτικές που θα ακολουθηθούν γύρω από θέματα ενέργειας, τη μελλοντική τεχνολογική ανάπτυξη καθώς και το κατά πόσο οι αποφάσεις γύρω από οικονομικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά ζητήματα λαμβάνονται σε τοπικό ή διεθνές επίπεδο (Παναγέα, 2013).

Τα ίδια σενάρια υιοθετούνται και στην Τέταρτη Έκθεση (Assessment Report 4 – AR4).

2.3.1 Αντιπροσωπευτικές Πορείες Συγκέντρωσης (Representative Concentration Pathways – RCPs)

Στην τελευταία και πλέον σύγχρονη έκθεση, Πέμπτη Έκθεση (Assessment Report 5 – AR5) το 2014, έγιναν επιστημονικές προτάσεις που οδήγησαν στην κατασκευή νέων σεναρίων που ονομάζονται Αντιπροσωπευτικές Πορείες Συγκέντρωσης (Representative Concentration Pathways – RCPs) που χρησιμοποιούν αναβαθμισμένα ολοκληρωμένα μοντέλα εκτίμησης και στόχο έχουν να αποδώσουν μια ευέλικτη, διαδραστικό και επαναληπτική προσέγγιση των σεναρίων κλιματικής αλλαγής (Moss et al., 2010). Τα ονόματα των επιμέρους σεναρίων (RCP2.6, RCP4.5, RCP6, και RCP8.5) καθορίστηκαν από την πιθανή μεταβολή στην επιβαλλόμενη ακτινοβολία (radiative forcing) με τιμές αναφοράς τις τιμές του έτους 2100, σε σύγκριση με αυτές της προ- βιομηχανικής περιόδου (+2.6, +4.5, +6.0 και +8.5 W/m² αντίστοιχα).



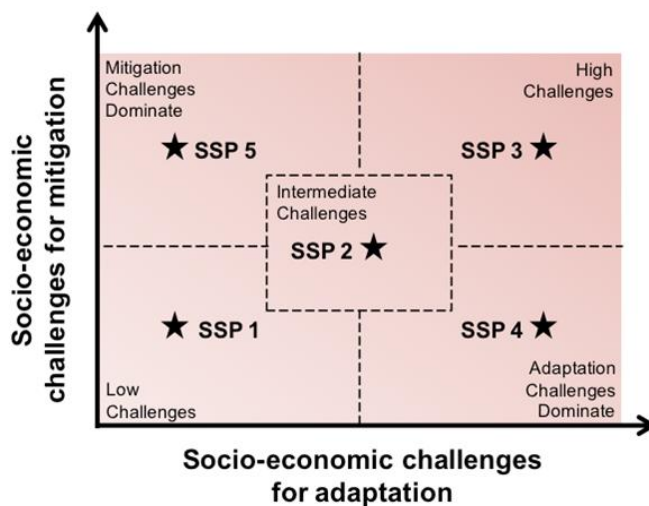
Εικόνα 3: Προβλέψεις για την αύξηση της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας (α) και της μέσης στάθμης θάλασσας (β) για τα διάφορα RCPs με χρήση μοντέλων CMIP5 (Πηγή: IPCC – A5)

Τα σενάρια αυτά συμπεριλαμβάνουν αρκετά αξιόπιστες προβλέψεις για τις μελλοντικές ανθρωπογενής εκπομπές των θερμοκηπιακών αερίων (Βάσκου, 2015) και περιλαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με μία σειρά από παράγοντες πέρα από τις συγκεντρώσεις και τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου, όπως τη χρήση γης, τις κοινωνικό-οικονομικές καταστάσεις και τις πολιτικές για το περιβάλλον που ακολουθούνται (Παναγέα, 2013).

Στην παρούσα εργασία, εξετάζονται δύο από αυτά τα σενάρια (RCP4.5 και RCP8.5) για την εκτίμηση του υδατικού δυναμικού της περιοχής της ανατολικής Κρήτης.

2.3.2 Κοινές Κοινωνικο-οικονομικές Πορείες (Shared Socioeconomic Pathways – SSPs)

Οι κοινές κοινωνικο-οικονομικές πορείες (SSPs) χρησιμοποιούνται παράλληλά με τις αντιπροσωπευτικές πορείες συγκέντρωσης (RCPs) για την ανάλυση της αλληλεπίδρασης της κλιματικής αλλαγής με κοινωνικούς και οικονομικούς παράγοντες, όπως είναι η αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, η οικονομική ανάπτυξη και η τεχνολογική πρόοδος. Τα SSPs καθορίζουν 5 πιθανές πορείες που θα ακολουθήσουν οι ανθρώπινες κοινωνίες τον επόμενο αιώνα. Οι πορείες αυτές αποτελούν μέρος ενός νέου ερευνητικού πλαισίου συνεργασίας που αναμένεται να βελτιώσει τη διεπιστημονική ανάλυση και αξιολόγηση της αλλαγής του κλίματος, τις επιπτώσεις της και τις επιλογές που έχουν οι κοινωνίες για μετριασμό και προσαρμογή. Πιο συγκεκριμένα, τα SSPs αναπτύσσονται σε δύο άξονες όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 4. Οι άξονες αυτοί αντιστοιχούν στην ένταση των πολιτικών για το κλίμα, είτε για να αποτρέψουν ένα ορισμένο επίπεδο της κλιματικής αλλαγής (mitigation – κάθετος άξονας), είτε για να αντιμετωπίσουν ένα ορισμένο επίπεδο της κλιματικής αλλαγής (adaptation – οριζόντιος άξονας). Στην παρούσα εργασία θα εξεταστούν τα σενάρια για SSP3.



Εικόνα 4: Ανάπτυξη Κοινών Κοινωνικο-οικονομικών Πορειών (SSPs) σε δύο άξονες
(Πηγή: www.climate4impact.eu)

3. Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (ΣΥΑ) στη Διαχείριση Υδατικών Πόρων

3.1 Η έννοια των Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων

Σύμφωνα με ένα γενικό ορισμό, τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (ΣΥΑ - Decision Support Systems, DSS) είναι εφαρμογές λογισμικού που υποστηρίζουν τη διαδικασία λήψης αποφάσεων, βοηθώντας τους αρμόδιους χρήστες να κατανοήσουν τις επιπτώσεις των δράσεών τους. Ο όρος «σύστημα υποστήριξης αποφάσεων» αντικατέστησε σχεδόν ολοκληρωτικά τις πρακτικά ισοδύναμες έννοιες «έμπειρο σύστημα» και «τεχνητή νοημοσύνη», οι οποίες ήταν ιδιαίτερα διαδεδομένες στην επιστήμη της πληροφορικής μέχρι πριν μια δεκαετία. Η διαφοροποίηση αυτή σηματοδοτεί σημαντική στροφή στην προτεραιότητα των στόχων ανάπτυξης των υπολογιστικών συστημάτων, δηλαδή από την υποκατάσταση, στην υποβοήθηση της κρίσης του χρήστη-εμπειρογνώμονα (Dreyfus and Dreyfus, 1986· Watkins and McKinney, 1995).

Τα ΣΥΑ διαθέτουν ευρύ πεδίο εφαρμογής, κυρίως στον έλεγχο και στη διαχείριση πολύπλοκων φυσικών ή τεχνητών συστημάτων. Κινούνται στην αιχμή της επιστήμης και τεχνολογίας, αξιοποιώντας αφενός τις ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις στο χώρο της πληροφορικής και αφετέρου την παραγωγή νέας γνώσης στο επιστημονικό πεδίο της μαθηματικής προσομοίωσης και ανάλυσης συστημάτων.

Σε ένα Σύστημα Υποστήριξης αποφάσεων διακρίνονται τα εξής χαρακτηριστικά (Κουτσογιάννης και Ευστρατιάδης, 2004):

- α) πρόκειται για ολοκληρωμένο σύστημα από υπολογιστικά εργαλεία, με διαδραστικό, κατά κανόνα, περιβάλλον λειτουργίας (δηλαδή προϋποθέτει επέμβαση του χρήστη, μέσω κατάλληλα σχεδιασμένου περιβάλλοντος),
- β) παρέχει δυνατότητες τυποποίησης, οργάνωσης, διαχείρισης και επεξεργασίας των πληροφοριών (μέσω βάσεων δεδομένων), καθώς και οπτικοποίησης αυτών (μέσω συστημάτων γεωγραφικής πληροφορίας),
- γ) περιέχει υπολογιστικά εργαλεία ανάλυσης συστημάτων, όπως μοντέλα προσομοίωσης, βελτιστοποίησης και ανάλυσης αποφάσεων και,
- δ) σχεδιάζεται με στόχο την υποβοήθηση του χρήστη στη λήψη αποφάσεων σε σχετικά πολύπλοκα και ασθενώς δομημένα προβλήματα (δηλαδή προβλήματα που δεν επιδέχονται άμεση διατύπωση εξισώσεων), μέσω της διατύπωσης και λεπτομερούς μελέτης σειράς εναλλακτικών επιλογών.

Πρέπει να σημειωθεί ότι ένα Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων δεν είναι δυνατό να υποκαταστήσουν τον άνθρωπο στο σύνολο των δραστηριοτήτων που σχετίζονται με ένα πρόβλημα λήψης αποφάσεων. Οι εν λόγω δραστηριότητες κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες: τη συλλογή πρωτογενών πληροφοριών, την επεξεργασία και οργάνωση δεδομένων, τη διατύπωση και διερεύνηση εναλλακτικών λύσεων, την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και τέλος η ανάληψη σχετικών δράσεων.

Η συλλογή των πρωτογενών δεδομένων γίνεται, τα τελευταία χρόνια, όλο και περισσότερο μέσω συστημάτων αυτοματισμού των μετρήσεων, τα οποία μπορούν να θεωρηθούν ως συνιστώσες ενός ΣΥΑ. Η κύρια λειτουργία των ΣΥΑ επικεντρώνεται στην επεξεργασία των δεδομένων και στη διατύπωση και διερεύνηση μιας σειράς εναλλακτικών λύσεων. Η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιείται μέσω εφαρμογών διαχείρισης και επεξεργασίας των πληροφοριών, οι οποίες μπορεί να είναι από απλά εργαλεία λογιστικών φύλλων μέχρι πιο σύνθετα εργαλεία σχεσιακών βάσεων δεδομένων και συστημάτων γεωγραφικής πληροφορίας. Από την άλλη πλευρά, η διατύπωση και διερεύνηση των εναλλακτικών λύσεων που αποτελεί την κεντρική συνιστώσα ενός ΣΥΑ, αναφέρεται στην εφαρμογή εξειδικευμένων μαθηματικών μοντέλων (από απλά εμπειρικά μοντέλα έως εξελιγμένα μοντέλα προσομοίωσης και βελτιστοποίησης), τα οποία αναπαριστούν τη δυναμική εξέλιξη του υπό μελέτη συστήματος, διερευνώντας τις επιπτώσεις εναλλακτικών δράσεων που σχετίζονται με τη λειτουργία και διαχείριση αυτού. Με τον τρόπο αυτό, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να αξιολογήσει αλλά και να ερμηνεύσει ένα ευρύ φάσμα τέτοιων δράσεων, εστιάζοντας όχι μόνο στις άμεσες επιπτώσεις (που μπορεί να είναι και προφανείς) αλλά και στις μελλοντικές. Κατ' αυτόν τον τρόπο, η λήψη της τελικής απόφασης και, συνεπακόλουθα, η ανάληψη των σχετικών δράσεων τεκμηριώνεται αντικειμενικά, και σε συνδυασμό με την εμπειρία και κρίση του αναλυτή, οδηγεί στην επιλογή της απόφασης με ορθολογικά κριτήρια. (Ευστρατιάδης κ.α., 2007)

Λόγω των ταχύτατων τεχνολογικών-μεθοδολογικών εξελίξεων, τα ΣΥΑ απαιτούν διαρκή προσαρμογή στις νέες απαιτήσεις. Η ανάγκη αυτή προκύπτει και λόγω της σύγχρονης τάσης για ολοκληρωμένη αντιμετώπιση των προβλημάτων, όπου εκτός από τις τεχνικές συνιστώσες λαμβάνονται υπόψη και οι ποικίλοι θεσμικοί, κοινωνικοί και οικονομικοί παράγοντες, γεγονός που καθιστά τη διαδικασία λήψης των αποφάσεων όλο και πιο πολύπλοκη.

3.2 Εφαρμογή των ΣΥΑ στη διαχείριση συστημάτων υδατικών πόρων

Λόγω της πολυπλοκότητας στη δομή και τη λειτουργία τους, της στοχαστικής φύσης των σχετιζόμενων φυσικών διεργασιών, της πληθώρας δεδομένων που απαιτεί η διαχείρισή τους, καθώς και της ύπαρξης κατά κανόνα αντικρουόμενων στόχων και περιορισμών, τα συστήματα υδατικών πόρων έχουν αποτελέσει προνομιακό πεδίο εφαρμογής των ΣΥΑ.

Μερικές από τις τυπικές εφαρμογές των ΣΥΑ στην ευρύτερη περιοχή των υδατικών πόρων είναι (Watkins and McKinney, 1995):

- Διαχείριση λιμνών και ταμιευτήρων (για την εξυπηρέτηση στόχων υδροδότησης, παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας, ελέγχου ρύπανσης)
- Έλεγχος πλημμυρών και διαχείριση πλημμυρικού κινδύνου (σε λεκάνες ποταμών αλλά και αστικές λεκάνες)
- Διαχείριση υδροφορέων - συνδυασμένη χρήση επιφανειακών και υπόγειων πόρων
- Διαχείριση συστημάτων διανομής νερού (δίκτυα ανοιχτών και κλειστών αγωγών, αντλιοστάσια, κλπ.)
- Έλεγχος βλαβών ή διαρροών σε δίκτυα ύδρευσης
- Έλεγχος ρύπανσης σε λεκάνες απορροής και δέλτα ποταμών
- Διαχείριση μη σημειακών πηγών ρύπανσης σε γεωργικές περιοχές.

Από τα παραπάνω, η έρευνα εστιάζεται στη διαχείριση υδροσυστημάτων μεγάλης κλίμακας, που περιλαμβάνουν μεγάλα υδραυλικά έργα συλλογής, αξιοποίησης και μεταφοράς νερού (ταμιευτήρες, υδροηλεκτρικοί σταθμοί, γεωτρήσεις, υδραγωγεία, αντλιοστάσια), τα οποία μπορούν να εκτείνονται σε περισσότερες από μία λεκάνες απορροής. Εκτός των τεχνικών έργων, στα εν λόγω υδροσυστήματα περιλαμβάνονται ακόμη το φυσικό περιβάλλον και τα σχετιζόμενα οικοσυστήματα (Αθανασάκης, 2008).

Για τη διαχείριση τέτοιων μεγάλης κλίμακας υδροσυστημάτων έχουν αναπτυχθεί υπολογιστικά πακέτα, τα οποία αποτελούν εμπορικά, συνήθως, προϊόντα και χρησιμοποιούνται ως ΣΥΑ μετά από προσαρμογή στο υπό μελέτη σύστημα υδατικών πόρων. Τα εν λόγω πακέτα έχουν αναπτυχθεί και συντηρούνται από εξειδικευμένα ερευνητικά κέντρα (όπως είναι στην Ευρώπη η Delft Hydraulics στην Ολλανδία, η Danish Hydraulic Institute στη Δανία και η HR Wallingford στη Μεγάλη Βρετανία). Σε πολλά από τα προϊόντα αυτά προτιμάται η χρήση απλουστευμένων μοντέλων που απευθύνονται σε μη καταρτισμένους χρήστες (π.χ. στελέχη των

τοπικών φορέων διαχείρισης). Από την άλλη πλευρά, στα πανεπιστήμια αναπτύσσονται πιο πλήρη, από πλευράς θεωρητικού υποβάθρου, μαθηματικά μοντέλα διαχείρισης υδατικών πόρων, η εφαρμογή των οποίων είναι συνήθως ακαδημαϊκού ή πιλοτικού χαρακτήρα, χωρίς να δίνεται έμφαση στο επιχειρησιακό σκέλος (γενικότητα, φιλικότητα περιβάλλοντος, συμβατότητα με άλλες εφαρμογές).

3.3 Μοντέλο RIBASIM

Το RIBASIM (River BASin Simulation Model) αποτελεί το κύριο διαχειριστικό πακέτο της DELFT HYDRAULICS για την προσομοίωση της διαχείρισης ενός συστήματος υδατικών πόρων συναρτήσει του χρόνου. Το μοντέλο αποτελεί ένα περιεκτικό και ευέλικτο εργαλείο, που συνδέει την προσφορά νερού από διάφορες περιοχές μιας υδρολογικής λεκάνης με τις διάφορες δραστηριότητες ζήτησης νερού στη λεκάνη και εκτιμά ένα πλήθος ενεργειών, που σχετίζονται με τις υποδομές, τη λειτουργία και τη διαχείριση. Το μοντέλο αυτό παρέχει αποτελεσματικό σχεδιασμό και ανάλυση του πλήθους δεδομένων, που σχετίζονται με τα πολύπλοκα συστήματα υδατικών πόρων.

Ο κύριος τομέας εφαρμογής του λογισμικού αυτού πακέτου είναι ο σχεδιασμός και η διερεύνηση της σκοπιμότητας ανάπτυξης ενός υδατικού συστήματος. Με δεδομένους τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους του συστήματος, καθώς και τις φυσικές τους διακυμάνσεις το πρόγραμμα προσδιορίζει τις δυνατότητες ανάπτυξης και αξιοποίησης του συστήματος, ώστε να διασφαλίζεται η συνεχής τροφοδοσία και κάλυψη των αναγκών των διαφόρων χρηστών.

Τη βάση για τις παραπάνω αναλύσεις αποτελεί η προσομοίωση του υδατικού ισοζυγίου για μια περιοχή ή μια υδρολογική λεκάνη. Το RIBASIM παρέχει τα μέσα για την προετοιμασία του ισοζυγίου αυτού με επαρκείς λεπτομέρειες, καθώς λαμβάνει υπόψη του την επαναχρησιμοποίηση του νερού, με τη δυνατότητα να διαφοροποιηθεί ο προσομοιωμένος σχηματισμός και να εξαχθούν αποτελέσματα.

Τα δεδομένα εισόδου του RIBASIM καλύπτουν τα παρακάτω αντικείμενα:

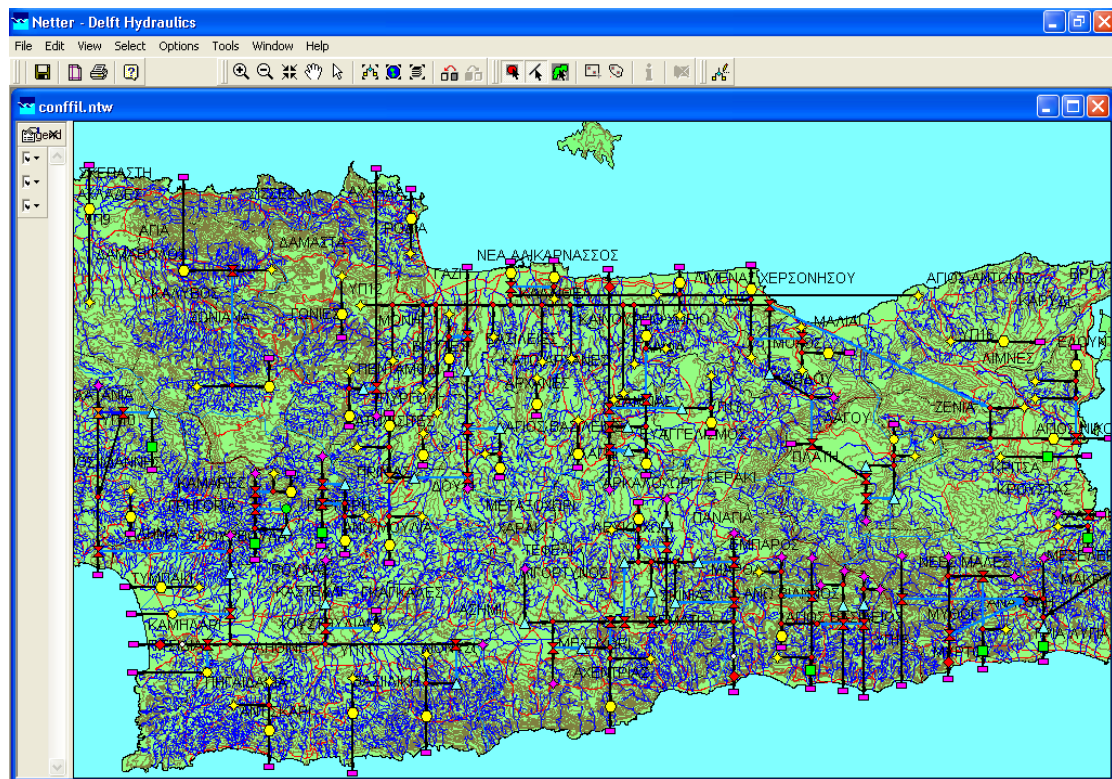
- Σχηματοποίηση του δικτύου της λεκάνης, όπου προσδιορίζεται η τοποθεσία των επιφανειακών ταμιευτήρων, των υπόγειων υδροφορέων, των αρδευόμενων περιοχών, των καναλιών κλπ.
- Δεδομένα που χαρακτηρίζουν κάθε κόμβο και κάθε σύνδεσμο της σχηματοποίησης.
- Προτεινόμενες πηγές ύδατος για τους διάφορους χρήστες της λεκάνης.

- Κανόνες διανομής ύδατος και κανόνες λειτουργίας για τους επιφανειακούς ταμιευτήρες, τους υδροφορείς και τους διαιρέτες.
- Υδρολογικά δεδομένα (διαθέσιμες χρονοσειρές).

Το RIBASIM είναι ουσιαστικά ένα μοντέλο υδατικού ισοζυγίου. Σε κάθε χρονικό βήμα υπολογίζεται το ισοζύγιο σε δύο στάδια:

1. Στο στάδιο της ζήτησης, όπου καθορίζονται όλες οι απαιτήσεις σε νερό και τίθενται στόχοι σχετικά με τη σύνδεση των επιφανειακών ταμιευτήρων και των υπόγειων υδροφορέων με τα συστήματα άντλησης και
2. Στο στάδιο της προσφοράς, όπου γίνεται καταμερισμός του ύδατος σε όλους τους χρήστες σύμφωνα με τους στόχους, τη διαθεσιμότητα και τους κανόνες διανομής. (Χατζηευαγγέλου, 2005)

Στην συγκεκριμένη εργασία, θα χρησιμοποιηθεί ως πρότυπο για τη σχηματοποίηση του υδατικού συστήματος της περιοχής μελέτης το διαχειριστικό ομοίωμα που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της μελέτης «ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΡΗΤΗΣ» από την Περιφέρεια Κρήτης, το οποίο δημιουργήθηκε στο RIBASIM. Στην Εικόνα 5 παρουσιάζεται το περιβάλλον του μοντέλου RIBASIM και μέρος του συστήματος της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 5: Περιβάλλον μοντέλου RIBASIM - Περιοχή μελέτης

3.4 Μοντέλο ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ

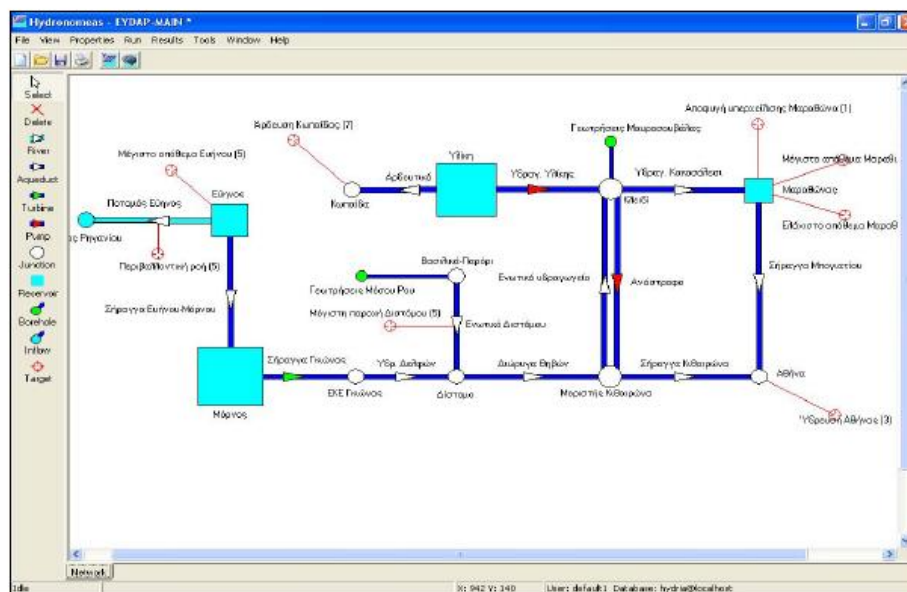
Ο ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ είναι ένα εξελιγμένο υπολογιστικό σύστημα (μοντέλο) προσομοίωσης και βελτιστοποίησης συστημάτων υδατικών πόρων που λειτουργεί ως ένα ολοκληρωμένο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων (Εικόνα 6). Το υπολογιστικό σύστημα αυτό αναπτύχθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού έργου με τίτλο «Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Συστημάτων σε Σύζευξη με Εξελιγμένο Υπολογιστικό Σύστημα (ΟΔΥΣΣΕΥΣ)». Το παραπάνω ερευνητικό έργο ανατέθηκε από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας (ΓΓΕΤ) στην εταιρεία NAMA Σύμβουλοι Μηχανικοί και Μελετητές σε συνεργασία με τον Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος του ΕΜΠ και τρεις ακόμη φορείς (Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Καρδίτσας, Αειφορική Δωδεκανήσου, Marathon Data Systems). Ο ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ αποτελεί μετεξέλιξη μιας σειράς εφαρμογών που έχουν αναπτυχθεί από τις αρχές της δεκαετίας του 1990 στον Τομέα Υδατικών Πόρων του ΕΜΠ, με σκοπό την αντιμετώπιση συγκεκριμένων διαχειριστικών προβλημάτων σε σύνθετα υδροσυστήματα του ελληνικού χώρου, όπως το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας και το σύστημα ταμιευτήρων Αχελώου- Θεσσαλίας.

Είναι κατάλληλο για ευρύ φάσμα υδρολογικών συστημάτων, ενσωματώνοντας ένα πλήθος φυσικών, λειτουργικών, διοικητικών και περιβαλλοντικών όψεων της ολοκληρωμένης διαχείρισης λεκανών απορροής. Λαμβάνει υπόψη τα χαρακτηριστικά του φυσικού συστήματος (υδρολογικές εισροές), τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά των υδραυλικών έργων και υδατικές ανάγκες και λειτουργικούς περιορισμούς και εντοπίζει την πλέον πρόσφορη πολιτική διαχείρισης, με τη μορφή κανόνων λειτουργίας των κύριων υδραυλικών έργων (Ρομπόκα, 2009).

Έτσι είναι σε θέση να δώσει απαντήσεις σε πλήθος ερωτημάτων που αφορούν τη διαχείριση υδατικών πόρων όπως:

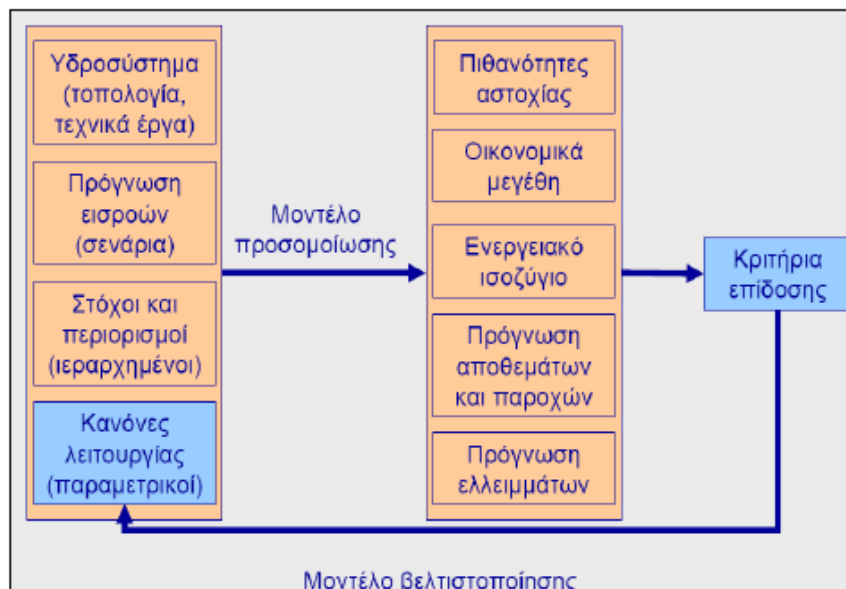
- Ποια είναι η μακροπρόθεσμη απόδοση ενός υδροδοτικού συστήματος για δεδομένο επίπεδο αξιοπιστίας;
- Με ποια ελάχιστη πιθανότητα αστοχίας μπορούν να επιτευχθούν οι στόχοι και περιορισμοί (ποσοτικοί, ποιοτικοί, ενεργειακοί, οικονομικοί, περιβαλλοντικοί) στη χρήση νερού που προβλέπει ένα διαχειριστικό σενάριο και με ποια μέτρα και τρόπους διαχείρισης;
- Ποιο είναι το ελάχιστο κόστος λειτουργίας του συστήματος με το οποίο εξασφαλίζεται η επίτευξη των στόχων με δεδομένο επίπεδο αξιοπιστίας; Με ποια μέτρα και τρόπους διαχείρισης επιτυγχάνεται αυτός ο στόχος;

- Ποιες είναι οι επιπτώσεις υδροκλιματικών αλλαγών στο υδросύστημα, κυρίως όσον αφορά τους στόχους χρήσης νερού που έχουν τεθεί καθώς και την οικονομική συνιστώσα;
- Ποιες θα είναι οι επιπτώσεις από την εφαρμογή μιας συγκεκριμένης διαχειριστικής πολιτικής στην ποιότητα νερού των φυσικών αποδεκτών και στα οικοσυστήματα;
- Ποιες θα είναι οι επιπτώσεις αλλαγών (π.χ., κατασκευή νέων έργων) ή έκτακτων περιστατικών (π.χ., βλάβες) στο υφιστάμενο δίκτυο διανομής υδατικών πόρων. (Ευστρατιάδης κ.ά., 2007)



Εικόνα 6: Μοντέλο ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ (Πηγή: ΕΜΠ)

Το μαθηματικό υπόβαθρο του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ (Εικόνα 7) ακολουθεί το σχήμα παραμετροποίηση-προσομοίωση-βελτιστοποίηση. Η προσομοίωση εφαρμόζεται για την πιστή αναπαράσταση της λειτουργίας του συστήματος, που εκφράζεται με τη μορφή παραμετρικών κανόνων διαχείρισης, ενώ η βελτιστοποίηση εφαρμόζεται για να εντοπίσει τη βέλτιστη διαχειριστική πολιτική, η οποία ελαχιστοποιεί ταυτόχρονα τη διακινδύνευση και το κόστος κατά τη λήψη αποφάσεων. Η θεμελιώδης αρχή του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ είναι ότι συνδυάζει τις τεχνικές προσομοίωσης και βελτιστοποίησης σε ένα ενιαίο πλαίσιο. (Ρομπόκα, 2009)



Εικόνα 7: Μαθηματικό υπόβαθρο ΥAPONOMEA (Πηγή: www.odysseusproject.gr)

Οι γενικές αρχές στις οποίες βασίστηκε η ανάπτυξη του μαθηματικού υποβάθρου του ΥAPONOMEA συνοψίζονται στις εξής:

- α) ευελιξία ως προς τη σχηματοποίηση, με δυνατότητα περιγραφής των τεχνικών έργων αλλά και των φυσικών συνιστωσών (υδατορεύματα), σε υδροσυστήματα κάθε κλίμακας,
- β) ρεαλιστική αναπαράσταση της λειτουργίας των υδροσυστημάτων, χωρίς υπερσύνθετη περιγραφή των διεργασιών, με υπερπληθείς και ασαφείς παραμέτρους και υπερβολικές απαιτήσεις σε δεδομένα,
- γ) ολιστική προσέγγιση, με ενσωμάτωση όλων των πτυχών της διαχείρισης των υδατικών πόρων (τεχνικών, οικονομικών, ενεργειακών, περιβαλλοντικών),
- δ) περιγραφή διαχειριστικών πολιτικών με χρήση πρακτικών κανόνων, που να είναι κατανοητοί από μη έμπειρους χρήστες και να έχουν μακροχρόνια ισχύ,
- ε) ποσοτικοποίηση της υδρολογικής αβεβαιότητας και του ρίσκου στη λήψη των αποφάσεων, με στοχαστική πρόγνωση υδρολογικών και διαχειριστικών μεγεθών,
- στ) βελτιστοποίηση της λειτουργίας του υδροσυστήματος ως προς ένα ευρύ φάσμα διαχειριστικών παραμέτρων του και έναντι πληθώρας κριτηρίων αξιολόγησης και
- ζ) περιορισμός του υπολογιστικού φόρτου κατά τη σύζευξη των σχημάτων στοχαστικής προσομοίωσης και βελτιστοποίησης, με την υιοθέτηση φειδωλής παραμετροποίησης και τη χρήση εξελιγμένων αλγορίθμων (Ευστρατιάδης κ.ά., 2007).

Ο ΥAPONOMEΑΣ αναπτύχθηκε ώστε να λειτουργεί στα πλαίσια ενός συστήματος υποστήριξης αποφάσεων, με γραφικό περιβάλλον εργασίας που επιτρέπει στο

χρήστη τη δημιουργία υδροσυστημάτων οποιασδήποτε διάταξης, τα οποία αποτελούνται από έργα προσφοράς και αποθήκευσης νερού (ταμιευτήρες, γεωτρήσεις), θέσεις ζήτησης νερού ή αλλαγής της γεωμετρίας του δικτύου (κόμβοι), μέσα μεταφοράς νερού (ποτάμια, υδραγωγεία) και διατάξεις κατανάλωσης και παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας (αντλιοστάσια, στρόβιλοι). Στα χαρακτηριστικά των έργων (φυσικοί περιορισμοί) εντάσσονται η ελάχιστη και μέγιστη στάθμη λειτουργίας, η σχέση στάθμης-αποθέματος-επιφάνειας, η σχέση στάθμης-διαφυγών, οι χρονοσειρές εισροών των ταμιευτήρων, η δυναμικότητα των γεωτρήσεων, η παροχетеυτικότητα και οι διαρροές των υδραγωγείων και η ειδική ενέργεια των αντλιοστασίων, ενώ η ζήτηση νερού για ύδρευση, άρδευση και περιβαλλοντική διατήρηση, η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, η αποφυγή της υπερχειλίσης ταμιευτήρων, ο έλεγχος της στάθμης ταμιευτήρων και της παροχής υδατορευμάτων ή υδραγωγείων και ο έλεγχος της ποιότητας νερού αποτελούν τους λειτουργικούς περιορισμούς της διαχείρισης του συστήματος (Ευστρατιάδης και Καραβοκυρός, 2007).

Ο ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ υποστηρίζει δύο μορφές προσομοίωσης: μόνιμης κατάστασης και καταληκτική. Η προσομοίωση μόνιμης κατάστασης επιλέγεται για τη διερεύνηση της λειτουργίας του υδροσυστήματος ανεξαρτήτως αρχικών συνθηκών, με χρήση συνθετικών χρονοσειρών μεγάλου μήκους. Αντίθετα, η καταληκτική προσομοίωση εφαρμόζεται εφόσον εξετάζεται η μελλοντική συμπεριφορά του υδροσυστήματος σε ορίζοντα λίγων ετών. Στην καταληκτική προσομοίωση παράγονται πολλές αλλά μικρού, κατά κανόνα, μήκους σειρές εισροών, με κατάλληλη προσαρμογή του στοχαστικού μοντέλου ώστε να λαμβάνει υπόψη όχι μόνο τα στατιστικά χαρακτηριστικά των ιστορικών δειγμάτων αλλά και την ακολουθία των ιστορικών τιμών, και ιδιαίτερα των πλέον πρόσφατων. Η λειτουργία αυτή του μοντέλου ονομάζεται στοχαστική πρόγνωση. Στη συνέχεια, επαναλαμβάνεται το μοντέλο λειτουργικής προσομοίωσης με διαφορετικό κάθε φορά σενάριο εισροών, αλλά με τις ίδιες αρχικές συνθήκες αποθεμάτων, τις ίδιες συνθήκες μεταβολής παραμέτρων (εφόσον το σύστημα χαρακτηρίζεται από μη στασιμότητα), και την ίδια συνθήκη τερματισμού (χρονικός ορίζοντας ελέγχου) (Ευστρατιάδης κ.ά., 2007).

Στα αποτελέσματα του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ, τα οποία παρουσιάζονται σε μορφή πινάκων, διαγραμμάτων και εκθέσεων περιλαμβάνονται ο βέλτιστος κανόνας λειτουργίας για όλους τους ταμιευτήρες του υδροσυστήματος, η πιθανότητα αστοχίας σε χρονική διάσταση για όλους τους στόχους που έθεσε ο χρήστης και η καμπύλη πρόγνωσης των συνολικών αποθεμάτων του συστήματος και του κάθε ταμιευτήρα ξεχωριστά. Αναλυτικά ισοζύγια ταμιευτήρων, κόμβων και παροχών των υδραγωγείων, ενεργειακά ισοζύγια και λειτουργικά οικονομικά στοιχεία συμπληρώνουν το φάσμα των αποτελεσμάτων (Καραβοκυρός, 2001).

Από το έτος 2000, ο «ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ» αποτελεί το κεντρικό υποστηρικτικό εργαλείο της Εταιρείας Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτεύουσας (ΕΥΔΑΠ). Πραγματοποιεί προσομοίωση και βελτιστοποίηση της λειτουργίας του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας προτείνοντας τον αποδοτικότερο κανόνα λειτουργίας των τεσσάρων ταμιευτήρων (Μαραθώνα, Ευήνου, Μόρνου και Υλίκης) και του τρόπου μεταφοράς του νερού στο δίκτυο. Η εφαρμογή του διαχειριστικού αυτού μοντέλου δίνει τη δυνατότητα στην ΕΥΔΑΠ να πραγματοποιεί ακριβέστερες προβλέψεις σχετικά με την επάρκεια των υδατικών πόρων και την αξιοπιστία των πολιτικών διαχείρισης και να επιλέγει βέλτιστους τρόπους διαχείρισης, εξοικονομώντας πολύτιμους υδατικούς και οικονομικούς πόρους (Νασίκας, 2003).

Στην παρούσα εργασία, το λογισμικό ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ θα χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του υδατικού δυναμικού της περιοχής της ανατολικής Κρήτης για διάφορα σενάρια κλιματικής αλλαγής μέσω των επιπτώσεων σε στόχους χρήσης νερού που έχουν τεθεί στο σύστημα.

4. Υφιστάμενη κατάσταση περιοχής μελέτης

Ως περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας επιλέγεται η περιοχή της ανατολικής Κρήτης για τη διερεύνηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στο υδατικό σύστημα της περιοχής.

4.1 Υδατικό διαμέρισμα Κρήτης

Η Κρήτη, το μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας και πέμπτο μεγαλύτερο στη Μεσόγειο, βρέχεται βόρεια από το Κρητικό και νότια από το Λιβυκό Πέλαγος, βρίσκεται 160 km νότια της Ελληνικής ηπειρωτικής χώρας, αποτελεί το νοτιότερο άκρο – σύνορο της Ευρωπαϊκής Ένωσης και περιβάλλεται από πλήθος μικρών νήσων (Γαύδος, Γαυδοπούλα, Χρυσή, Κουφονήσι, Ντία, Διονυσάσες, κ.α.), οι οποίες είναι ακατοίκητες, με εξαίρεση τη νήσο Γαύδο. Η συνολική έκταση του νησιού είναι 8.335 km², έχει μήκος 260 km, πλάτος από 12 μέχρι 57 km και ακτογραμμή 1.306 km (συμπεριλαμβανομένων των νησιών).

4.1.1 Υδρολογικά χαρακτηριστικά

Το έντονο ανάγλυφο του Υδατικού Διαμερίσματος, οι μεγάλες ποσότητες ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, η έκταση του νησιού και η πολύπλοκη γεωλογική δομή του δημιουργούν ποικιλία στη διακίνηση του νερού τόσο του επιφανειακού όσο και του υπόγειου. Ως αποτέλεσμα αυτών παρατηρείται η ανάπτυξη πολλών υδρολογικών λεκανών που η έκτασή τους δεν ξεπερνά τα 600 km². Το πυκνό υδρογραφικό δίκτυο, χειμαρρώδους χαρακτήρα, παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση των παροχών του. Λίγα είναι τα ρέματα που διατηρούν ροή σ' όλη τη διάρκεια του χρόνου και τροφοδοτούνται κυρίως από πηγαία νερά.

Η συνολική απορροή που διακινείται ετησίως επιφανειακά από τα κυριότερα υδατορεύματα του νησιού ανέρχεται σε 500×10^6 m³/έτος περίπου. Η απορροή αυτή περιλαμβάνει τόσο πηγαία νερά που εκφορτίζονται εντός των αντίστοιχων λεκανών απορροής όσο και την καθεαυτό επιφανειακή απορροή. Υπολογίζεται δε ότι μια επιπλέον ποσότητα 450×10^6 m³ διακινείται ετησίως μέσω των τριών μεγάλων καρστικών πηγών με υφάλμυρο νερό του νησιού (Αλμυρός Γεωργιούπολης, Αλμυρός Ηρακλείου και Αλμυρός Αγ. Νικολάου).

Οι δύο μεγαλύτερες υδρολογικές λεκάνες του νησιού, του Γεροπόταμου και του Αναποδάρη έκτασης 525 και 600,6 km² αντίστοιχα, βρίσκονται στο νότιο τμήμα του

νησιού στην περιοχή της Μεσσαράς. Οι δύο λεκάνες αναπτύσσονται κατά κύριο λόγο σε νεογενείς και σύγχρονες αποθέσεις.

Εκτός από τη βροχόπτωση και το ανάγλυφο, ένα άλλο σημαντικό στοιχείο που καθορίζει τα επιφανειακά νερά της Κρήτης, είναι και η σύσταση των πετρωμάτων της. Το 45-50% της έκτασης της Κρήτης καλύπτεται από ανθρακικά πετρώματα συγκεντρωμένα στους τέσσερις σημαντικότερους ορεινούς όγκους του νησιού, που αποτελούν και τους κύριους υδροσυλλέκτες του. Το γεγονός ότι τα ανθρακικά πετρώματα είναι υδροπερατά, σε συνδυασμό με τις τεκτονικές δομές που εμφανίζονται στην Κρήτη (ρήγματα, ασυνέχειες κ.ά.), οδηγούν στη μεγάλη κατείσδυση του νερού της βροχής προς τον υπόγειο υδροφόρα.

Πάνω στα ασβεστολιθικά πετρώματα, συναντούμε κυρίως ποτάμια με διαλείπουσα ροή (χειμάρρους), η οποία χαρακτηρίζεται από μια περιοδικότητα, που συμπίπτει με την περιοδικότητα των βροχοπτώσεων, δηλαδή εμφανίζεται πάντα τους χειμερινούς και για λίγο τους ανοιξιάτικους μήνες. Εκτός από τους χειμάρρους, συναντούμε και λίγα ποτάμια μόνιμης ροής, με ορισμένα από αυτά να παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον τόσο από την άποψη των φυσικοχημικών παραμέτρων τους όσο και γιατί φιλοξενούν ένα σημαντικό αριθμό ενδημικών ή σπάνιων ειδών.

Ένα άλλο γεωλογικό στοιχείο, που επηρεάζει τις κατηγορίες των επιφανειακών νερών της Κρήτης, είναι η συχνή εναλλαγή διαφορετικών πετρωμάτων στο επιφανειακό στρώμα, ακόμα και στα όρια μικρών περιοχών. Έτσι, π.χ. η ροή στην κοίτη ενός ποταμού, μπορεί να διακοπεί από την επιφάνεια για κάποια απόσταση και να γίνει υπόγεια, για να επανέλθει πιο κάτω και πάλι στην επιφάνεια.

Συνολικά στην Κρήτη διακινούνται υπογείως $2.233 \times 10^6 \text{ m}^3$ νερού κατ' έτος. Από τις καρστικές λεκάνες ένα τμήμα των ανωτέρω διακινούμενων υπογείως ποσοτήτων αναφέρεται σε υφάλμυρα νερά. Οι κύριες υφάλμυρες πηγές διακινούν ετησίως περί τα $450 \times 10^6 \text{ m}^3$ /έτος. Εκτιμάται ότι η συνολική ποσότητα υφάλμυρου νερού μαζί με τις υποθαλάσσιες εκφορτίσεις ανέρχεται σε $800 - 1.000 \times 10^6 \text{ m}^3$ /έτος.

4.1.2 Υδατικό Δυναμικό

Σύμφωνα με το «Σχέδιο διαχείρισης λεκανών απορροής ποταμών ΥΔ Κρήτης (GR13)», η Κρήτη, σαν νησιωτική περιοχή (σε αντίθεση με τις ηπειρωτικές περιοχές όπου υπάρχουν μεγάλα ποτάμια), επωφελείται μόνο από τα νερά που φτάνουν σε αυτήν με τη μορφή κατακρημνισμάτων (βροχή, χαλάζι, χιόνι). Η γεωγραφική της όμως θέση (νοτιότερο άκρο της Ευρώπης) και το γεωφυσικό της περιβάλλον, δεν

ευνοούν τη συγκέντρωση μεγάλου όγκου νερού. Εξάλλου, η γεωγραφική της τοποθέτηση στη διεύθυνση ανατολής-δύσης, καθώς και η ύπαρξη υψηλών οροσειρών καθορίζουν και το ύψος των νερών που δέχεται ετησίως.

Το νησί δέχεται κατά μέσο όρο περίπου 7,5 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα κατακρημνισμάτων το χρόνο, από τα οποία όμως τα 5 περίπου δισεκατομμύρια (67%) εξατμίζονται λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν όλη σχεδόν τη διάρκεια του έτους. Τα 2 περίπου δισεκατομμύρια, δηλαδή ~28%, καταλήγουν στο εσωτερικό της γης και εμπλουτίζουν τα υπόγεια στρώματα. Ο μεγαλύτερος όγκος (~1,8 δισεκατομμύρια κυβικά) κατεισδύει στις καρστικές υδρογεωλογικές ενότητες, κυρίως στους ορεινούς όγκους του Ψηλορείτη, των Λευκών Ορέων, της Δίκτης-Σελένας και δευτερευόντως στις καρστικές ενότητες της Σητείας, όπου εντοπίζονται μεγάλες σε έκταση ανθρακικές ενότητες. Τα υπόλοιπα (~0,4 δισεκατομμύρια κυβικά) κατεισδύουν στις νεογενείς και άλλες υδροφορίες. Περίπου 0,75 δισεκατομμύρια κυβικά κατακρημνισμάτων ρέουν επιφανειακά σχηματίζοντας μικρά ποτάμια διαλείπουσας ροής στις πεδινές περιοχές. Όμως, το συνολικό Υδατικό δυναμικό που δύναται να αξιοποιηθεί ανέρχεται σε 857 εκατομμύρια κυβικά περίπου (δεν περιλαμβάνονται οι τρεις μεγάλες υφάλμυρες καρστικές πηγές της Κρήτης), από τα οποία πάνω από το 60% δεν χρησιμοποιείται (χειμερινές παροχές πηγών και επιφανειακή απορροή). Αυτά, αποτελούν νερά καλής ποιότητας που είναι δυνατόν ο άνθρωπος να εκμεταλλευτεί με διάφορους τρόπους (γεωτρήσεις, φράγματα, υδρομαστεύσεις κ.α.)

Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται οι απαιτούμενες ποσότητες νερού για την Κρήτη, για όλες τις χρήσεις.

Πίνακας 2: Εκτίμηση Συνολικών Ετήσιων Αναγκών για όλες τις χρήσεις (2001)

Ύδρευση	Κτηνοτροφία	Άρδευση	Ελαιουργεία	Βιομηχανία	Σύνολο
m ³ / έτος					
65.338.000	6.173.000	439.618.000	930.000	3.176.000	515.237.000
12,68%	1,20%	85,32%	0,18%	0,62%	100,00%

4.2 Περιοχή μελέτης

4.2.1 Μορφολογικά Χαρακτηριστικά

Στο κέντρο του νησιού εκτείνεται το υψηλότερο ορεινό συγκρότημα του, ο Ψηλορείτης ή Ίδη, με υψηλότερη κορυφή τον Τίμιο Σταυρό (2.456 m) και στα βόρεια του, με μεγαλύτερες και απόκρημνες κλίσεις, σχηματίζεται η κοιλάδα του Μυλοπόταμου και ακόμη βορειότερα ο ορεινός όγκος του Κουλούκωνα (μέγιστο

υψόμετρο 1.083 m) που καταλήγει, με απότομες κλίσεις, στη βόρεια ακτή. Στα νότια και ανατολικά του, με ηπιότερες κλίσεις, σχηματίζονται η κοιλάδα της Μεσσαράς και αυτή του Ηρακλείου, που περικλείεται νοτιότερα, από τον επιμήκη ορεινό όγκο των Αστερουσίων (μέγιστο υψόμετρο 1.231 m), ο οποίος καταλήγει με λιγότερο απότομες κλίσεις στη νότια ακτή. Στο Ανατολικό τμήμα του νησιού βρίσκεται το όρος Δίκη με υψόμετρο 2.148 m, με το Οροπέδιο Λασιθίου στο βορειοδυτικό τμήμα της, να καταλαμβάνει όλο το εύρος του νησιού, με πιο απότομες κλίσεις στα νότια και ηπιότερες προς τις άλλες κατευθύνσεις, και, τέλος, ακόμη πιο ανατολικά εκτείνονται τα Λασιθιώτικα Όρη ή Όρη της Θρυπτής ή Όρη της Σητείας, με υψόμετρο 1.476 m. Τις μεγάλες οροσειρές πλαισιώνουν μικρότεροι ορεινοί όγκοι.

Νότια και ανατολικά από την Ίδη και δυτικά και βόρεια από τη Δίκη, αναπτύσσονται αντίστοιχα η πεδιάδα της Μεσσαράς η οποία είναι η μεγαλύτερη και πιο συμπαγής του νησιού και αυτή των Ηρακλείου – Μαλλίων, με επίσης πολλές λοφώδεις εξάρσεις στο εσωτερικό της. Βόρεια της Δίκης αναπτύσσεται η πεδιάδα Σισίου-Μαλλίων, νοτιοανατολικά αναπτύσσεται η κοιλάδα του Μύρτου και ανατολικότερα αυτής η πεδιάδα της Ιεράπετρας, ενώ ανατολικά η κοιλάδα Δρασίου και συνέχεια αυτής η πεδινή έκταση Νεάπολης – Λιμνών και ανατολικότερα των Μέσα-Εξω Λακωνίων και Αγίου Νικολάου. Ανατολικά από τα Λασιθιώτικα Όρη η πεδιάδα της Σητείας και του Παλαίκαστρου αντίστοιχα.

Οι μεγάλες ή και μικρότερες πεδιάδες, καθώς και οι μικρές κοιλάδες τροφοδοτούνται με νερό, από τους ορεινούς υδροσυλλέκτες και από πολλούς, μικρούς σχετικά ποταμούς, αλλά και πλήθος χειμάρρων και φαραγγιών. Λίμνες δεν υπάρχουν στην Κρήτη, εκτός από την μικρή λίμνη του Κουρνά και το πολύ μικρότερο τέναγος – λίμνη της Αγουιάς.

4.2.2 Κλιματικά χαρακτηριστικά

Ο τύπος κλίματος της Κρήτης, είναι ένας μεταβατικός ενδιάμεσος τύπος μεταξύ του χερσαίου Μεσογειακού και του ερημοειδούς Μεσογειακού, στο οποίο υπάγεται κυρίως η νοτιοανατολική Κρήτη. Το κύριο χαρακτηριστικό του κλίματος είναι η γλυκύτητα και η ηπιότητα. Η ψυχρή εποχή είναι ήπια και σε αυτό συντελεί η συχνή άφιξη στην περιοχή των θερμών και υγρών ΝΔ αέριων μαζών. Σύμφωνα με τα συνοπτικά για τον Ελληνικό χώρο κλιματολογικά χαρακτηριστικά, η Κρήτη καλύπτει ένα ευρύ φάσμα βιοκλιματικών ορόφων με σημαντικές διακυμάνσεις από τα ανατολικά προς τα δυτικά και από τα πεδινά προς τα ορεινά.

Ο νομός Λασιθίου υπάγεται κατά το μεγαλύτερο μέρος του στον ημίξηρο βιοκλιματικό όροφο με χειμώνα ήπιο ή θερμό. Οι ημιορεινές περιοχές ανήκουν στον

άφυγρο βιοκλιματικό όροφο με χειμώνα ψυχρό, ενώ οι ορεινές περιοχές (οροπέδιο Λασιθίου) ανήκουν στον υγρό βιοκλιματικό όροφο με χειμώνα ψυχρό.

Από τον Νομό Ηρακλείου, μόνο το βόρειο τμήμα του ανήκει στον ημίξηρο βιοκλιματικό όροφο με χειμώνα θερμό. Το υπόλοιπο του νομού ανήκει στον ύφυγρο βιοκλιματικό όροφο με χειμώνα ήπιο ή θερμό. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής στην ανατολική Κρήτη ανέρχεται σε λιγότερα από 500mm. Επομένως, παίρνοντας για κλιματικό στοιχείο το ετήσιο βροχομετρικό ύψος, η περιοχή της ανατολικής Κρήτης ανήκει στον ημίξηρο τύπο (ύψος βροχής 200-500mm) (Βροχίδου, 2009).

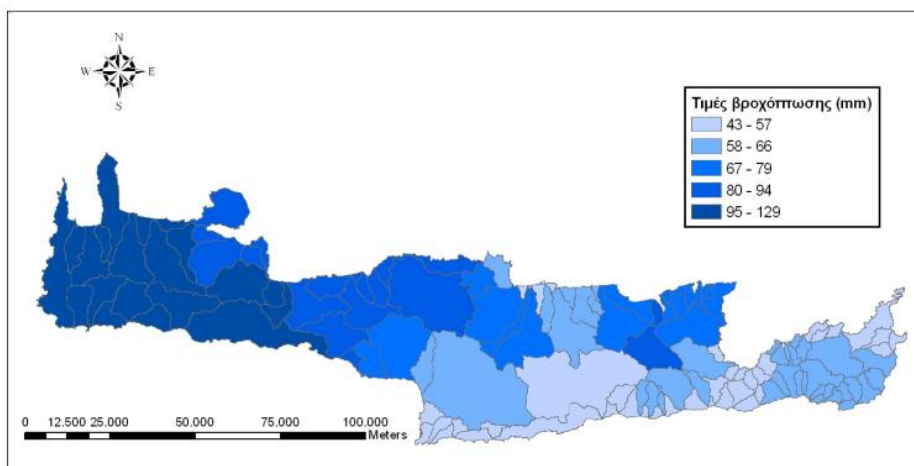
Σύμφωνα με στοιχεία της μελέτης «Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων Κρήτης (2001)», η Κρήτη γενικώς παρουσιάζει σημαντική ανισοκατανομή του ετήσιο όγκου βροχόπτωσης τόσο γεωγραφικά (από ανατολικά προς τα δυτικά και βόρεια προς νότια), όσο και φυσιογραφικά (πεδινές και ορεινές περιοχές). Επίσης, εμφανίζει βροχοβαθμίδα από τις μεγαλύτερες της Ελλάδας: 61mm/100m, η οποία προκύπτει από την γραμμική συσχέτιση όλων των βροχομετρικών σταθμών στην Κρήτη. Η μέση μηνιαία βροχόπτωση είναι μέγιστη τον Δεκέμβριο ή τον Ιανουάριο και ελάχιστη τον Ιούλιο και τον Αύγουστο οι οποίοι είναι σχεδόν άνομβροι σε ολόκληρη την πεδινή Κρήτη. Το 25% περίπου της ετήσιας βροχόπτωσης συμβαίνει στους περισσότερους σταθμούς της Κρήτης στη διάρκεια του βροχερότερου μήνα. Αντίστοιχα, ο μηνιαίος αριθμός ημερών βροχής κυμαίνεται μεταξύ 15 ημερών περίπου κατά τους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο και 0,3 ημέρες τον Ιούλιο και τον Αύγουστο. Ο αριθμός των ημερών βροχής δεν διαφέρει σημαντικά μεταξύ των ορεινών και των πεδινών περιοχών. Ο μέσος αριθμός ημερών βροχής στην Κρήτη ανέρχεται σε 90 περίπου ημέρες (25% του έτους).

Η γεωγραφική ανισοκατανομή της βροχόπτωσης έχει σαν αποτέλεσμα η μέση ετήσια βροχόπτωση στην ανατολική Κρήτη να είναι 22% μικρότερη σε σχέση με τη δυτική. Αναλυτικότερα, το ετήσιο υδατικό ισοζύγιο Κρήτης παρουσιάζεται στον Πίνακα 3 (Περλέρος et al., 2004).

Πίνακας 3: Ετήσιο υδατικό ισοζύγιο Κρήτης

ΕΤΗΣΙΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΚΡΗΤΗΣ (σε $10^9 \times m^3$)				
ΣΥΝΟΛΟ ΚΡΗΤΗΣ (έκταση 8,335 km²)				
ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ Ε/Δ	ΑΠΟΡΡΟΗ	ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ
Κανονικό Υ/Ε (f=50%, T=2 έτη)	7,69	4,83	0,74	2,12
Υγρό Υ/Ε (f=10%, T=10 έτη)	10,33	6,48	0,99	2,85
Ξηρό Υ/Ε (f=90%, T=1,11 έτη)	5,07	3,18	0,49	1,40
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΚΡΗΤΗ (έκταση 4,430 km²)				
ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ Ε/Δ	ΑΠΟΡΡΟΗ	ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ
Κανονικό Υ/Ε (f=50%, T=2 έτη)	3,61	2,27	0,35	1,00
Υγρό Υ/Ε (f=10%, T=10 έτη)	4,91	3,08	0,47	1,35
Ξηρό Υ/Ε (f=90%, T=1,11 έτη)	2,33	1,46	0,22	0,64
ΔΥΤΙΚΗ ΚΡΗΤΗ (έκταση 4,430 km²)				
ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ Ε/Δ	ΑΠΟΡΡΟΗ	ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ
Κανονικό Υ/Ε (f=50%, T=2 έτη)	4,07	2,55	0,39	1,12
Υγρό Υ/Ε (f=10%, T=10 έτη)	5,40	3,39	0,52	1,49
Ξηρό Υ/Ε (f=90%, T=1,11 έτη)	2,74	1,72	0,26	0,76

Οι μειωμένες κατακρημνίσεις στην ανατολική Κρήτη σε σχέση με τη δυτική (όπως παρατίθενται αναλυτικά στον Πίνακα 3) παρουσιάζονται και στην Εικόνα 8. Για την απεικόνιση αυτή χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα βροχόπτωσης από 57 βροχομετρικούς σταθμούς της Κρήτης, για την περίοδο 1/9/1973-1/8/2004. Μέσω της μεθόδου χωρικής μεταβολής IDW προκύπτουν οι μέσες μηνιαίες τιμές της βροχόπτωσης για τις λεκάνες που έχουν εμβαδό πάνω από 5 km² (130 λεκάνες).



Εικόνα 8: Μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης για 130 λεκάνες της Κρήτης (Βροχίδου, 2009)

ΥΓΡΑΣΙΑ

Η μέση ατμοσφαιρική σχετική υγρασία είναι σε ολόκληρη την βόρεια Κρήτη, ελάχιστη τον Ιούνιο και μέγιστη τον Δεκέμβριο ενώ στη νότια Κρήτη η ελάχιστη μέση μηνιαία σχετική υγρασία εμφανίζεται τον Ιούλιο. Στη βόρεια Κρήτη η μέση ελάχιστη σχετική υγρασία μειώνεται από τα δυτικά προς τα ανατολικά.

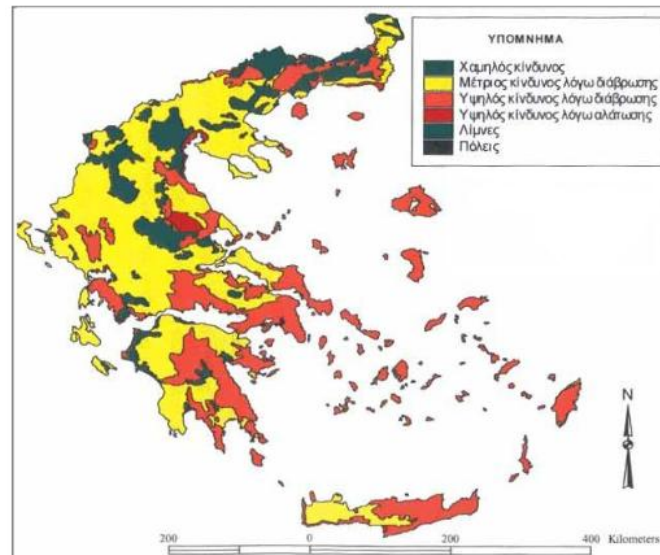
4.2.3 Ερημοποίηση

Η περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας, ανήκει στα πιο ευαίσθητα οικοσυστήματα με κίνδυνο ερημοποίησης.

Πιο αναλυτικά, η ερημοποίηση σύμφωνα με τα προγράμματα CORINE και MEDALUS απειλεί πάνω από το 30% της ελληνικής επικράτειας (Εικόνα 9). Είναι ο σημαντικότερος κίνδυνος υποβάθμισης γαιών στην Ελλάδα, αλλά και στην υπόλοιπη Μεσόγειο. Ο υψηλός κίνδυνος ερημοποίησης λόγω κλίματος βρίσκεται στην θερμο-μεσογειακή ζώνη και περιλαμβάνει τα νότια παράλια της κεντρικής και ανατολικής Κρήτης και άλλες περιοχές της Ελλάδας.

Τα πιο ευαίσθητα στη διάβρωση πετρώματα είναι τα ασβεστολιθικά που αποτελούνται από αβαθή εδάφη. Η Ελλάδα και ειδικά η Κρήτη είναι πλούσια σε ασβεστολιθικά πετρώματα με μεγάλη υδατοπερατότητα και ξηροθερμικό μικροκλίμα. Αν και η μάργα δίνει βαθύ έδαφος, στις περιόδους ξηρασίας έχουμε πολύ ξηροθερμικό περιβάλλον και γίνεται πολύ ευδιάβρωτη. Μάργα υπάρχει σε πολλές περιοχές της ανατολικής Κρήτης. Σύμφωνα με την Συνθήκη των Ηνωμένων

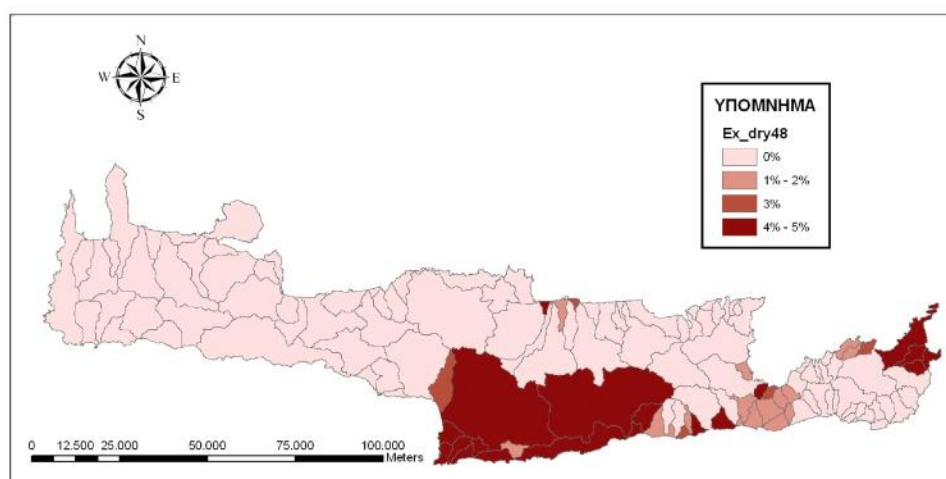
Εθνών για την Απερήμωση, του 1994/21, η οποία ήταν επόμενο της Συνόδου του Ρίο, η Κρήτη κατατάσσεται στα πιο ευαίσθητα οικοσυστήματα μαζί με την Αττική και μερικά άλλα νησιά (Βροχίδου, 2009).



Εικόνα 9: Χάρτης δυνητικού κινδύνου ερημοποίησης της Ελλάδας (Γιάσογλου et al., 2001)

4.2.4 Ξηρασία

Στην Εικόνα 10 παρουσιάζεται η χρονική κατανομή των λεκανών της Κρήτης με τάση προς ακραία ξηρασία 48 μηνών. Παρατηρείται ότι επικρατεί ακραία παρατεταμένη ξηρασία 48 μηνών για ποσοστό χρόνου 5% κατά την περίοδο 30 ετών στην κεντρική και ανατολική πλευρά της Κρήτης.



Εικόνα 10: Χρονική κατανομή των λεκανών με τάση προς ακραία ξηρασία 48 μηνών (Βροχίδου, 2009)

4.2.5 Υπόγειος Υδροφορέας

Στην περιοχή μελέτης έχουν ανορυχθεί και λειτουργούν πλήθος γεωτρήσεων οι οποίες είναι διάσπαρτες. Στις περιοχές των οργανωμένων συλλογικών δικτύων των ΤΟΕΒ Α, Β, και Γ ζώνης οι γεωτρήσεις έχουν διασυνδεθεί και τροφοδοτούν τα υπόγεια σωληνωτά δίκτυα. Οι γεωτρήσεις είναι εξοπλισμένες με τον απαραίτητο ηλεκτρομηχανικό εξοπλισμό που στεγάζεται σε οικίσκο. Η ευθύνη για την λειτουργία, παρακολούθηση και συντήρηση των γεωτρήσεων έχει ανατεθεί στους αντίστοιχους ΤΟΕΒ (Ντανάση, 2012).

Σε κάποιες περιοχές παρατηρείται διαχρονική πτώση στάθμης της υπόγειας υδροφορίας ως αποτέλεσμα των υπεραντλήσεων. Σε αρκετές λεκάνες μετά το 1995-96 η πτωτική τάση της πιεζομετρικής επιφάνειας έχει ανακοπεί λόγω των περιοριστικών μέτρων για τις γεωτρήσεις, που λήφθηκαν από την Περιφέρεια και της μείωσης των αντλούμενων ποσοτήτων. Σε κάποιες περιπτώσεις στην κεντρική και ανατολική Κρήτης (Νομοί Ρεθύμνου, Ηρακλείου και Λασιθίου) η πτώση στάθμης είναι συνεχείς χωρίς σημάδια ανάκαμψης. Αντίθετα, στον Νομό Χανίων δεν παρουσιάζονται ιδιαίτερα προβλήματα υπερεκμετάλλευσης των υπόγειων υδροφοριών (Σχέδιο διαχείρισης λεκανών απορροής ποταμών ΥΔ Κρήτης (GR13), 2015).

4.2.6 Ανθρωπογενές Περιβάλλον

Η επιλογή της ανατολικής Κρήτης ως περιοχή μελέτης στην παρούσα εργασία έγινε, εκτός της ιδιαιτερότητας που παρουσιάζει στα κλιματικά χαρακτηριστικά, λόγω των δημογραφικών στοιχείων και χρήσεων γης. Πιο συγκεκριμένα, στην περιοχή μελέτης περιλαμβάνονται οι νομοί Ηρακλείου και Λασιθίου. Το Ηράκλειο είναι η μεγαλύτερη πόλη της Κρήτης και 4^η πολυπληθέστερη στην Ελλάδα. Επίσης, εξετάζεται και η 4^η μεγαλύτερη πόλη της Κρήτης, ο Άγιος Νικόλαος και άλλες μεγάλες πόλεις του νομού Λασιθίου (Ιεράπετρα και Σητεία).

Στην περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας περιλαμβάνεται το 61 % του πληθυσμού της Κρήτης, γεγονός πολύ σημαντικό για την ανάλυση των αποτελεσμάτων όσων αφορά την ζήτηση νερού για ύδρευση.

Πίνακας 4: Έκταση και πληθυσμός στο ΥΔ Κρήτης (ΕΛ.ΣΤΑΤ.2011)

Περιφερειακή Ενότητα	Έκταση ΠΕ που ανήκει το ΥΔ (km ²)	Πληθυσμός ΠΕ που ανήκει στο ΥΔ (2011)	Ρυθμός μεταβολής του πληθυσμού (%) σε σχέση με 2001
Ηρακλείου	2.641	305490	4,44
Χανίων	2.376	156585	4,12
Ρεθύμνης	1.496	85609	4,48
Λασιθίου	1.823	75381	-1,23
Σύνολο	8.336	623065	3,65

Σύμφωνα με την εκτίμηση της Περιφέρειας Κρήτης, η ετήσια ζήτηση υδρευτικού νερού για μόνιμους κατοίκους και επισκέπτες ανέρχεται σε 65.4 Mm³ (Χανίων 17.5 Mm³, Ρεθύμνης 8.4 Mm³, Ηρακλείου 30.2 Mm³ και Λασιθίου 9.3 Mm³)

Επιπροσθέτως, σημαντική είναι και η συμμετοχή των περιοχών αυτών στον πρωτογενή τομέα καθώς περιλαμβάνονται η πεδιάδα της Μεσσαράς, η περιοχή της Ιεράπετρας και το οροπέδιο του Λασιθίου με σημαντική αγροτική παραγωγή.

Η Μεσσαρά είναι μεγάλη εσωτερική πεδιάδα της νότιας Κρήτης στον Νομό Ηρακλείου με μικρό θαλάσσιο μέτωπο στα δυτικά, από την οποία προέρχεται το μεγαλύτερο μέρος του ελαιόλαδου του νησιού. Καλλιεργούνται κυρίως ελαιώνες και λιγότερο αμπέλια και κηπευτικά. Το συνολικό μήκος της πεδιάδας είναι 55 περίπου χιλιόμετρα.

Σύμφωνα με το «Σχέδιο διαχείρισης λεκανών απορροής ποταμών ΥΔ Κρήτης (GR13)», η Κρήτη χαρακτηρίζεται από χωρική ανομοιογένεια της διαθεσιμότητας, αλλά κυρίως της δυνατότητας αξιοποίησης του νερού, με αποτέλεσμα η δυτική Κρήτη εμφανίζει κατά μέσο ετήσιο όρο 11,9% μεγαλύτερη προσφορά νερού απ' ότι η ανατολική, αλλά οι υδατικοί της πόροι είναι, για γεωλογικούς κυρίως λόγους, αξιοποιήσιμοι σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό. Το πρόβλημα διαθεσιμότητας νερού στην ανατολική Κρήτη είναι υψίστης σημασίας λόγω της έντονης αγροτικής δραστηριότητας, καθώς περιλαμβάνει περίπου το 70% της αρδευτικής έκτασης και ζήτησης νερού στην Κρήτη (Πίνακας 5: Αρδευτική ζήτηση κατά Περιφερειακή Ενότητα (Mm³/έτος)).

Πίνακας 5: Αρδευτική ζήτηση κατά Περιφερειακή Ενότητα (Mm³/έτος)

Περιφερειακή Ενότητα	Έκταση (στρ.)	Αρδευτικές ανάγκες (Mm ³ /έτος)
Χανίων	112.097 (21,31%)	65,8 (20,56%)
Ρεθύμνης	56.091 (10,66%)	34,1 (10,66%)
Ηρακλείου	220.542 (41,92%)	134,2 (41,94%)
Λασιθίου	137.367 (26,11%)	85,9 (26,84%)
Σύνολο	526.097 (100,00%)	320,0 (100,00%)

4.2.7 Ταμιευτήρες στην περιοχή μελέτης

Η μέχρι σήμερα ανθρώπινη δραστηριότητα, έχει μεταβάλει σε ορισμένα υδατικά συστήματα, τα αρχικά τους χαρακτηριστικά. Οι αλλαγές αυτές, ανεξάρτητα από το βάθος της αλλοίωσης που έχουν επιφέρει και από τους λόγους για τους οποίους έγιναν, καθιστούν τα συστήματα αυτά κατά μια έννοια ιδιαίτερα. Τέτοια συστήματα εξετάζονται με ξεχωριστό τρόπο από την Οδηγία 2000/60/ΕΚ και ονομάζονται Ιδιαίτερως Τροποποιημένα Υδατικά Συστήματα (ΙΤΥΣ). Αντίστοιχα, σε ορισμένες περιπτώσεις κατασκευάζονται με ανθρώπινη πρωτοβουλία έργα που δημιουργούν υδατικά συστήματα σε σημεία όπου προηγουμένως δεν υπήρχαν. Τέτοια συστήματα ονομάζονται Τεχνητά Υδατικά Συστήματα (ΤΥΣ). (Σχέδιο διαχείρισης Κρήτης, 2001).

Στο Υδατικό Διαμέρισμα Κρήτης, λόγω της έκτασης και των αυξημένων αναγκών της κυρίως για άρδευση, έχουν κατασκευαστεί αρκετές εξωποτάμιες λιμνοδεξαμενές και μικρά φράγματα που θα μπορούσαν να χαρακτηρισθούν τεχνητά υδατικά συστήματα (ΤΥΣ), όμως λόγω του εκατοκτικού ορίου της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ για τις λίμνες (>0,5 km²), δεν χαρακτηρίζονται.

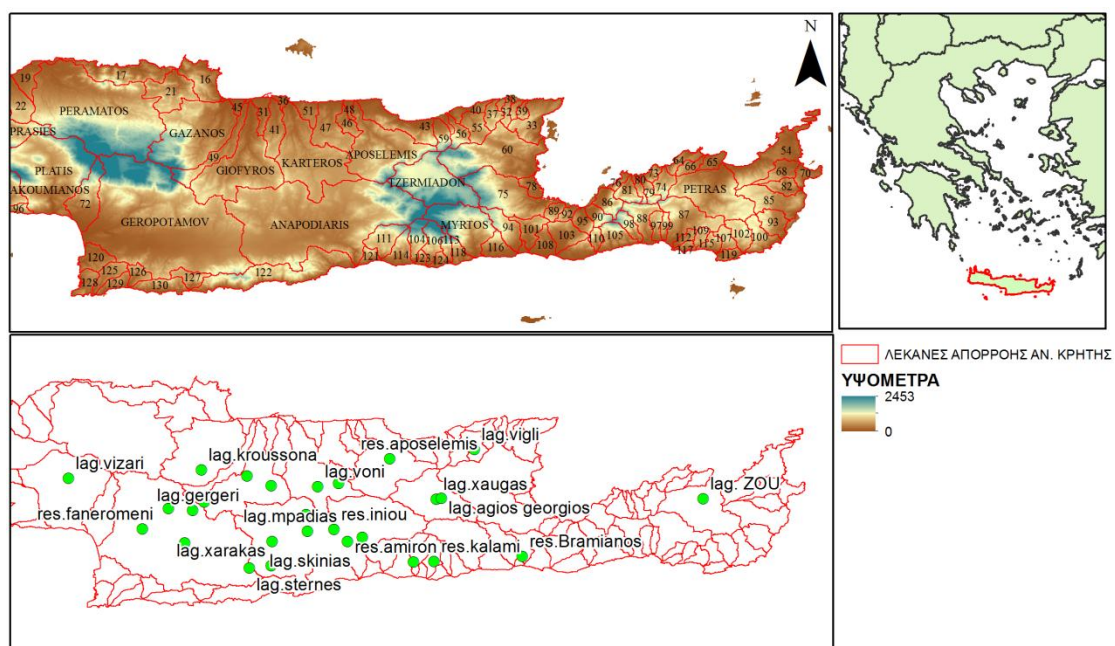
Στον Πίνακα 6: Έκταση και συντεταγμένες τοποθεσίας ταμιευτήρων περιοχής μελέτης καθώς και λεκάνες απορροής στις οποίες ανήκουν παρατίθενται οι ταμιευτήρες του υπό εξέταση υδροσυστήματος της ανατολικής Κρήτης. Παρουσιάζεται η λεκάνη απορροής στην οποία ανήκουν, τα γεωγραφικά μήκη και πλάτη της τοποθεσίας και η επιφάνεια απορροής κάθε ταμιευτήρα.

Πίνακας 6: Έκταση και συντεταγμένες τοποθεσίας ταμιευτήρων περιοχής μελέτης καθώς και λεκάνες απορροής στις οποίες ανήκουν

Λεκάνη Απορροής	Ταμιευτήρας		Γεωγραφικό Πλάτος	Γεωγραφικό Μήκος	Επιφάνεια Απορροής Ταμιευτήρα (km ²)
	Ελληνική Ονομασία	Ονομασία ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ			
Πλατύς	Βιζαρίου	lag. Vizari	35°12'40.64"B	24°41'40.14"A	61.22
Γιόφυρος	Ασιτών Πρινιά	lag. Asiton prinia	35° 9'29.37"B	24°59'41.45"A	0.162
	Χαλαβριανό	res. Xalavrianos	35° 11'40.34"B	25° 08'28.41"A	12.9
	Προφ. Ηλίας	lag. Prof. ilias	35°12'39.41"B	25° 6'24.37"A	111
	Κρουσσώνα	lag. Kroussona	35°13'51.35"B	24°59'0.10"A	37.6
Λιθαίος	Λιθαίος	res. Lithaios	35° 04'33.13"B	24° 55'55.02"A	41.6
Γεροπόταμος	Στερνών	lag. Sternes	35° 0'26.50"B	25° 5'14.45"A	6.3
	Ζαρού	tank. Fishp. Zaros	35° 8'24.13"B	24°54'39.60"A	3.3
	Γέργερης	lag. Gergeri	35° 8'8.21"B	24°57'52.38"A	6.9
	Φανερωμένης	res. Faneromeni	35° 6'2.56"B	24°51'23.86"A	123.8
Καρτερος	Βόνης	lag. Voni	35°11'42.73"B	25°14'48.37"A	7.3
	Λιβάδες	lag. Livades	35°11'48.51"B	25°17'11.85"A	36.9
Λεκάνη 104	Αμιρών	res. Amiron	35° 2'30.04"B	25°26'50.11"A	23
Λεκάνη 55	Βίγλι	lag. Vigli	35° 16'18.00"B	25° 35'09.50"A	11.5
Αναποδάρης	Πλακιώτισσας	res. Plakiotissa	35° 4'1.40"B	25° 8'38.57"A	78.5
	Χάρακα	lag.xarakas	35° 1'3.11"B	25° 7'44.31"A	3

	Παρτηρών	lag. Partira	35° 7'40.89"B	25°12'55.37"A	12.6
	Μπαδιά	lag. Mpadias	35° 5'36.76"B	25°13'10.10"A	2.5
	Ινιού	res. Iniou	35° 5'45.74"B	25°16'30.14"A	88.12
	Μάρθας-Καραβάδου	lag. Martha-karavado	35° 4'38.91"B	25°20'20.68"A	87
	Σκινιά	lag. skinias	35° 3'55.09"B	25°18'24.41"A	99
Λεκάνη 106	Καλαμίου	res. Kalami	35° 1'43.80"B	25°29'54.72"A	19.9
Αποσελέμης	Αποσελέμη	res. Aposelemis	35°14'28.89"B	25°24'41.02"A	143
Τζερμιάδο	Χαυγά	lag. Xaugas	35° 9'38.02"B	25°30'9.69"A	16
	Αγ. Γεωργίου	lag. Agios georgios	35° 9'46.14"B	25°30'48.51"A	41.6
Πετράς	Ζου	lag. Zou	35° 9'53.46"B	26° 5'21.63"A	70.6
Λεκάνη 101	Μπραμιανών	res. Bramianos	35° 2'05.37"B	25° 41'59.37"A	28.13

Οι λεκάνες απορροής που περιλαμβάνονται στην περιοχή μελέτης, καθώς και η θέση των ταμιευτήρων του υπό εξέταση υδροσυστήματος παρουσιάζονται στην Εικόνα 11.



Εικόνα 11: Θέση λεκανών απορροής και ταμιευτήρων στην περιοχή μελέτης

5. Σχηματοποίηση υδροσυστήματος

5.1 Γενικά

Σχηματοποίηση (schematization) είναι η διαδικασία μετασχηματισμού των συνιστωσών ενός φυσικού συστήματος σε συνιστώσες του μαθηματικού μοντέλου που αναπαριστά το εν λόγω σύστημα (Ευστρατιάδης κ.ά., 2007). Λόγω της δικτυακής δομής τους, η σχηματική διάταξη των συστημάτων υδατικών πόρων έχει συνήθως τη μορφή γράφου (graph), αποτελείται δηλαδή από κόμβους και κλάδους (υδραγωγεία, ανοιχτοί αγωγοί). Στην παρούσα εργασία, το φυσικό σύστημα που μετασχηματίστηκε είναι το υδατικό σύστημα της ανατολική Κρήτης (Νομός Ηρακλείου και Νομός Λασιθίου) και το μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε είναι ο «ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ». Το υπό εξέταση υδροσύστημα παρίσταται ως ένα δίκτυο, το οποίο αποτελείται από κόμβους και κλάδους. Οι κόμβοι του δικτύου αποτελούν σημεία προσφοράς (ταμιευτήρες, γεωτρήσεις) ή ζήτησης νερού, καθώς και σημεία αλλαγής των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του δικτύου, ενώ οι κλάδοι ορίζουν τις δυνατές διαδρομές του νερού (Ρομπόκα, 2009).

Σαν πρότυπο για τη σχηματοποίηση του υδατικού συστήματος χρησιμοποιήθηκε το διαχειριστικό ομοίωμα που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της μελέτης «ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΡΗΤΗΣ» από την Περιφέρεια Κρήτης. Το παραπάνω διαχειριστικό ομοίωμα δημιουργήθηκε στο διαχειριστικό μοντέλο RIBASIM (River Basin Simulation Model) και περιλαμβάνει το υδατικό σύστημα ολόκληρου του νησιού της Κρήτης, επομένως από αυτό απομονώθηκε σαν πρότυπο το τμήμα που αναφέρεται στην περιοχή της ανατολικής Κρήτης και πραγματοποιήθηκε η σχηματοποίησή του στον ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ.

5.2 Συνιστώσες Υδροσυστήματος στο μοντέλο RIBASIM

Αρχικά, γίνεται μια σύντομη αναφορά στους κόμβους του RIBASIM και στον τρόπο τον οποίο μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά τη σχηματοποίηση ενός δικτύου, (Χατζηευαγγέλου, 2005). Έτσι, θα γίνει πιο κατανοητή η μεταφορά του υδροσυστήματος στον μοντέλο ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ.

Fixed and variable inflow node: Αντιπροσωπεύουν τα «άνω» όρια του συστήματος και αποτελούν τα σημεία εισόδου νερού στο δίκτυο. Τα δεδομένα τους,

είναι για τον πρώτο μια σταθερή μηνιαία παροχή νερού, ενώ για τον δεύτερο ετήσιες χρονοσειρές.

Terminal node: Αντιπροσωπεύει τα «κάτω» όρια του συστήματος και αποτελούν τα σημεία εξόδου του νερού από το δίκτυο.

Confluence node: Αντιπροσωπεύει σημεία συμβολής ροής νερού (ένωση ποταμών, αγωγών, καναλιών)

Bifurcation node: Αντιπροσωπεύει σημεία διακλάδωσης της ανάντη ροής σε δύο ή περισσότερες κατάντη ροές.

Dummy node: Συμβολίζει τους σταθμούς μέτρησης απορροής μιας λεκάνης.

Fixed irrigation node: Αντιπροσωπεύει τις υδατικές ανάγκες άρδευσης χρησιμοποιώντας μηνιαίες τιμές.

Fishpond and brackish fish pond node: Οι κόμβοι αυτοί συμβολίζουν μονάδες ιχθυοκαλλιέργειας που χρησιμοποιούν μεγάλες ποσότητες νερού και αντιμετωπίζονται ως χρήστες νερού.

Public water supply node: Οι κόμβοι αυτοί αντιπροσωπεύουν τις αστικές ανάγκες. Σ' αυτές συμπεριλαμβάνονται πέρα από την οικιακή χρήση, οι δημοτικές και οι βιομηχανικές χρήσεις χρήσης νερού.

Low flow node: Οι κόμβοι αυτοί αντιπροσωπεύουν την ελάχιστη παροχή που απαιτείται ούτως ώστε να μην υπάρξει υποβάθμιση ενός οικοσυστήματος ή για τη διατήρηση ενός ελάχιστου βάθους ροής σε ένα υδατόρεμα.

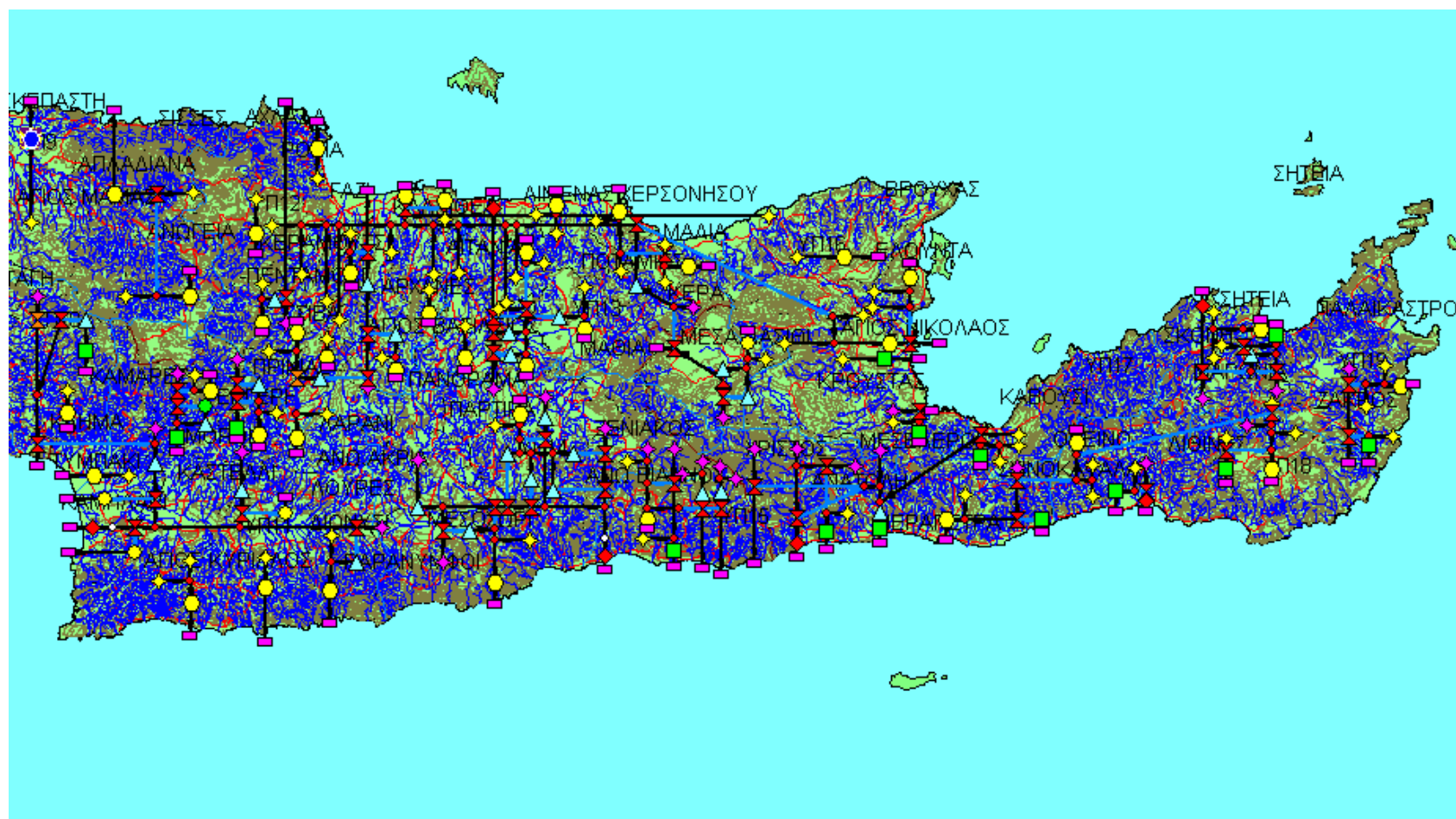
Groundwater district node: Συμβολίζει την υδρευτική, αρδευτική αλλά και την τοπική αποθηκευτική ικανότητα του υπόγειου νερού.

Diversion node: Οι κόμβοι αυτοί αντιπροσωπεύουν το σημείο όπου το νερό απολήπτεται από κάποιο υδατόρεμα ή κανάλι με σκοπό να ικανοποιήσει τις υδατικές ανάγκες των κατάντη κόμβων.

Surface water reservoir node: Οι κόμβοι αυτοί αντιπροσωπεύουν τη δραστηριότητα αποθήκευσης των επιφανειακών υδατικών πόρων, με σκοπό την ελεγχόμενη διαχείριση του υδατικού δυναμικού μέσα στο χρόνο. Συνήθως συμπεριλαμβάνουν και τη παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας.

Run-of-river node: Οι κόμβοι αυτοί αντιπροσωπεύουν τους σταθμούς παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας χωρίς να γίνεται αποθήκευση νερού.

5.2.1 Σχηματοποίηση συστήματος περιοχής μελέτης στο μοντέλο RIBASIM



Εικόνα 12: Σχηματοποίηση υδροσυστήματος ανατολικής Κρήτης στο μοντέλο RIBASIM

5.3 Αντιστοιχία συνιστωσών RIBASIM – ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ

Πρωταρχικό στάδιο της παρούσας εργασίας είναι η μεταφορά του συστήματος της περιοχής μελέτης από το μοντέλο RIBASIM στο μοντέλο ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ. Οι σχετικές αποκλίσεις που ενδέχεται να παρουσιάζουν στις δυνατότητες του συστήματος, στα δεδομένα εισόδου και στην προσομοίωση καθιστούν αναγκαία την πιστή μεταφορά του συστήματος. Η διαδικασία που ακολουθείται βασίζεται στις ακόλουθες αντιστοιχίες συνιστωσών (Πίνακας 7).

Πίνακας 7: Αντιστοιχία συνιστωσών RIBASIM και ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ κατά την μεταφορά του υδροσυστήματος και σηματοποίηση του στον ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ

RIBASIM	ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ	
Variable Inflow	Inflow	Εισροή στο δίκτυο
Fixed Inflow	Borehole	Γεώτρηση/Ομάδα γεωτρήσεων
Confluence	Junction	Κόμβος Υδραγωγείου/Υδατορεύματος
Terminal	Junction	Κόμβος Υδραγωγείου
Dummy	Junction	Κόμβος Υδραγωγείου
SW reservoir	Reservoir	Ταμιευτήρας
Diversion	Junction	Κόμβος Υδραγωγείου/Υδατορεύματος
Low Flow	Target	Στόχος
Public Water Supply	Target	Στόχος
Fixed Irrigation	Target	Στόχος
Fish Pond	Reservoir	Ταμιευτήρας
Bifurcation	Junction	Κόμβος Υδραγωγείου
Groundwater district	Borehole	Γεώτρηση/Ομάδα γεωτρήσεων
SW flow	Aqueduct	Υδραγωγείο
Diverted flow	Aqueduct	Υδραγωγείο με ένδειξη diverted

Σαν γενικές παρατηρήσεις κατά την μεταφορά του υδροσυστήματος από το μοντέλο RIBASIM στον ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ μπορούν να αναφερθούν οι ακόλουθες:

1. Το RIBASIM ορίζει 3 διαφορετικούς κλάδους: SW flow, Diverted flow και Bifurcated flow. Για την μεταφορά τους στο υδροσύστημα στον ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ χρησιμοποιείται μόνο ο κλάδος aqueduct (υδραγωγείο) και στην περίπτωση του diverted flow, επισημαίνεται με την ένδειξη «diverted» πάνω στον κλάδο.

2. Όλες οι ονομασίες των διάφορων κόμβων και κλάδων είναι σε πλήρη αντιστοιχία με τις ονομασίες στο σύστημα του προγράμματος RIBASIM.

5.4 Συνιστώσες Υδροσυστήματος στο μοντέλο ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ

Η σχηματοποίηση του υδροσυστήματος της περιοχής μελέτης στον ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ βασίζεται στο ομοίωμα του RIBASIM. Στην μεθοδολογία της σχηματοποίησης που παρουσιάζεται στην παράγραφο αυτή γίνεται αναφορά και στα δεδομένα εισόδου στο μοντέλο. Πρόκειται για δεδομένα της ιστορικής περιόδου 1978-1996, καθώς τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για την περίοδο αυτή θα συσχετιστούν με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της προσομοίωσης υπό καθεστώς κλιματικής αλλαγής.

5.4.1 Γεώτρηση – Borehole

Οι γεωτρήσεις συνδέουν έναν υπόγειο υδροφόρα με το επιφανειακό δίκτυο του υδροσυστήματος. Στο μοντέλο, γεώτρηση ονομάζεται μια οντότητα που στην πραγματικότητα μπορεί να αποτελείται από μια ομάδα γεωτρήσεων και έτσι, η γεώτρηση στο μοντέλο λαμβάνει τα αθροιστικά τους χαρακτηριστικά (Καραβοκυρός κ.ά., 2004).

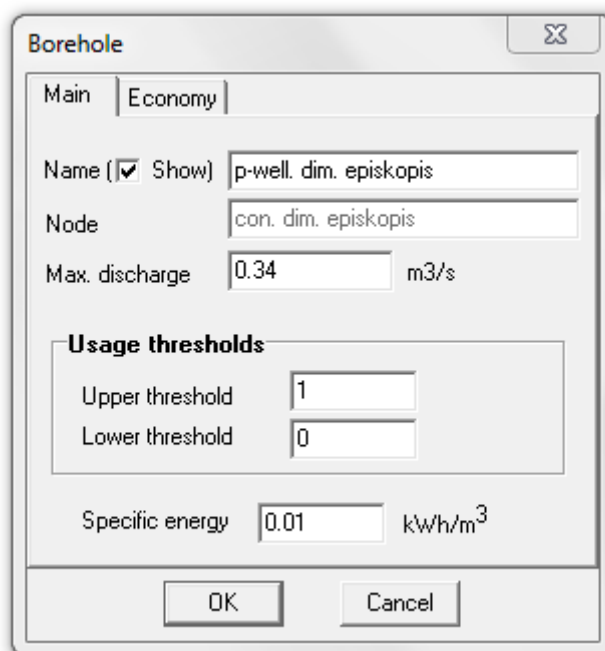
Μια γεώτρηση αποτελεί εξαρτημένη συνιστώσα του δικτύου και μπορεί να συνδεθεί σε αυτό μόνο μέσω μιας από τις ακόλουθες συνιστώσες: κόμβος υδραγωγείου (Junction), κόμβος υδατορεύματος (River node), ταμιευτήρας (Reservoir). Στο υπό εξέταση υδροσύστημα, όλες οι γεωτρήσεις συνδέονται σε κόμβους υδραγωγείου (junction).

Κατά τη σχηματοποίηση μιας γεώτρησης προσδιορίζονται η ονομασία της, η μέγιστη παροχή που μπορεί να αντληθεί από τον υπόγειο υδροφόρα (εφόσον πρόκειται για ομάδες γεωτρήσεων, στο πεδίο αναγράφεται η αθροιστική παροχευτική τους ικανότητα) (Max. Discharge σε m^3/sec) και η ειδική ενέργεια (Specific energy σε kWh/m^3), η οποία εκφράζει την κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται για την άντληση ενός κυβικού μέτρου νερού, από τον υπόγειο υδροφόρα.

Η μέγιστη παροχή του υδροφόρα προκύπτει ως η μέγιστη μηνιαία από τις τιμές εισροής για ένα έτος που δίνεται σε κάθε γεώτρηση στο μοντέλο RIBASIM, ενώ η

ειδική ενέργεια ορίζεται ως 0,01 kWh/m³ σε κάθε γεώτρηση. Η τιμή αυτή τέθηκε ενδεικτικά, λόγω έλλειψης στοιχείων ενέργειας και καθώς στην παρούσα εργασία δεν θα εξεταστούν παράμετροι ή σενάρια ενέργειας.

Ανά γεώτρηση, εισάγονται δύο παράμετροι τύπου κατωφλίου που εκφράζουν κρίσιμα όρια του ποσοστού πλήρωσης των ταμιευτήρων, των οποίων οι τιμές κυμαίνονται από 0 έως 1. Στην περίπτωση που το ποσοστό (=ολικό απόθεμα/ολική χωρητικότητα) υπερβαίνει το άνω όριο, απαγορεύεται η χρήση της συγκεκριμένης ομάδας και οι απολήψεις νερού πραγματοποιούνται αποκλειστικά από τους ταμιευτήρες, ενώ αν το ποσοστό είναι μικρότερο από το κάτω όριο, επιβάλλεται η χρήση της συγκεκριμένης ομάδας. (Ευστρατιάδης, 2008). Ορίζονται οι τιμές 1 για το άνω όριο και 0 για το κάτω, ώστε να εξασφαλιστεί η συνεχής λειτουργία της κάθε γεώτρησης.



Εικόνα 13: Φόρμα δεδομένων γεώτρησης - βασικό φύλλο γεώτρησης

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι στο μοντέλο RIBASIM ορίζεται η συνιστώσα Groundwater district η οποία συμβολίζει την υδρευτική, αρδευτική αλλά και την τοπική αποθηκευτική ικανότητα του υπόγειου νερού. Δεν υπάρχει αντίστοιχη συνιστώσα στον ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ, και αφού αφορά υπόγειο νερό, μεταφέρεται ως γεώτρηση. Εντοπίζονται 4 τέτοιες περιπτώσεις, 3 στην περιοχή της Μεσσαράς και μία στο οροπέδιο Λασιθίου. Η σχηματοποίηση της γεώτρησης γίνεται όπως περιγράφεται παραπάνω, με τη διαφοροποίηση ότι η μέγιστη παροχή που μπορεί να αντληθεί από τον υπόγειο υδροφόρα, προκύπτει από το πεδίο «Groundwater pumping capacity» σε m³/s του RIBASIM.

5.4.2 Εισροή στο δίκτυο - Inflow

Η εισροή στο δίκτυο αντιστοιχεί σε μια χρονοσειρά παροχής νερού στο υδροσύστημα. Στην πραγματικότητα μπορεί να αντιπροσωπεύει:

- μια πηγή με γνωστή μηνιαία παροχή.
- γνωστή απορροή από το ανάντη τμήμα του υδροσυστήματος που δεν χρειάζεται να μοντελοποιηθεί (Καραβοκυρός κ.ά., 2004).

Η εισροή αποτελεί εξαρτημένη συνιστώσα του δικτύου και μπορεί να συνδεθεί σε αυτό μόνο μέσω ενός ταμιευτήρα (Reservoir) ή κόμβου υδατορεύματος (River node). Στο υπό εξέταση σύστημα συνδέεται κατά κύριο λόγο σε κόμβους υδατορεύματος και σε ελάχιστες περιπτώσεις συνδέεται σε ταμιευτήρα. Πρέπει να σημειωθεί ότι, παρόλο που οι περιπτώσεις που συνδέεται σε ταμιευτήρα είναι μόνο 3, σε ορισμένες περιπτώσεις μεσολαβεί κόμβος confluence σε περίπτωση δύο εισροών στον ίδιο ταμιευτήρα ή κόμβος diversion στο πρόγραμμα RIBASIM, που στον ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ μεταφέρονται σαν απλοί κόμβοι (junction) οι οποίο μετατρέπονται αυτόματα σε κόμβους υδατορεύματος (River nodes) λόγω της σύνδεσής τους με την εισροή (Inflow).

Στην φόρμα δεδομένων κάθε εισροής συμπληρώνονται η ονομασία της και τα στοιχεία της χρονοσειράς που αντιπροσωπεύει η εισροή, δηλαδή ο κωδικός χρονοσειράς (Code), η ονομασία της χρονοσειράς (Name) και η ημερομηνία πρώτης εγγραφής της χρονοσειράς (Start date).

Code	Name	Start date
0		1/1/1978

Εικόνα 14: Φύλλο δεδομένων εισροής στο δίκτυο

Η χρονοσειρά παροχής νερού που εισάγεται στο σύστημα αφορά την μηνιαία παροχή για την περίοδο 1978-1996. Σαν έτος ορίζεται το ημερολογιακό έτος, δηλαδή οι μήνες Ιανουάριος - Δεκέμβριος και όχι το υδρολογικό έτος Σεπτέμβριος –

Αύγουστος του κάθε έτους. Η θεώρηση αυτή γίνεται λόγω των δεδομένων εισόδου του προγράμματος ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ καθώς σαν μήνα έναρξης του κάθε έτους ορίζει τον Ιανουάριο. Η μηνιαία παροχή δίνεται σε μονάδες m^3/s .

5.4.3 Κόμβος – Junction

Ως «κόμβος» (Junction), νοείται η εννοιολογική οντότητα που αντιπροσωπεύει ένα σημείο του δικτύου, χωρίς δυνατότητα προσφοράς ή αποθήκευσης νερού. Αποτελεί βασική συνιστώσα δικτύου υδραγωγείων καθώς ορίζει την αρχή και το τέλος ενός υδραγωγείου ή αποτελεί σημείο σύνδεσης άλλων συνιστωσών στο δίκτυο. Στο μοντέλο του δικτύου δεν γίνεται διάκριση μεταξύ των διαφόρων τύπων κόμβου, καθώς όλοι οι κόμβοι αντιμετωπίζονται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο (Καραβοκυρός κ.ά., 2004).

Έτσι ένας κόμβος στον ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ μπορεί π.χ. στην πραγματικότητα να αντιπροσωπεύει:

- ένα σημείο σύνδεσης μιας γεώτρησης στο δίκτυο
- έναν μεριστή
- μια μονάδα επεξεργασίας νερού
- μια περιοχή ζήτησης υδρευτικού ή αρδευτικού νερού
- μια έξοδο από το υδροσύστημα

Ένας κόμβος μπορεί ακόμη και να δημιουργηθεί για λόγους που υπαγορεύονται από τις ανάγκες της προσομοίωσης π.χ. για να συνδεθούν δύο τμήματα του ίδιου υδραγωγείου που όμως έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά.

Μετά τη δημιουργία του κόμβου στο σύστημα, το μόνο δεδομένο που απαιτείται είναι η ονομασία του κόμβου. Στην περίπτωση που πρόκειται για τελικό κόμβο εμφανίζεται η επιλογή «Allow downstream flow» με την οποία επιτρέπεται κατά την προσομοίωση η διαφυγή πλεονάζοντος νερού από το σύστημα διαμέσου αυτού του κόμβου.

Κατά την μεταφορά του συστήματος από το πρόγραμμα RIBASIM στον ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ, η συνιστώσα του κόμβου (Junction) χρησιμοποιήθηκε πολλές φορές στις περιπτώσεις συνιστωσών του RIBASIM που δεν ορίζονται ή δεν απαιτούνται στον ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ. Πιο αναλυτικά, ενώ σε κάθε κόμβο στο RIBASIM επιτελείται μόνο μία συγκεκριμένη λειτουργία (π.χ. κόμβοι εισροής, συμβολής, ύδρευσης κλπ) και κάθε κόμβος συνδέεται το πολύ με 3 κλάδους), στο μοντέλο ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ είναι δυνατό να επιτελούνται περισσότερες από μια λειτουργίες σε έναν κόμβο (π.χ. σε έναν κόμβο είναι δυνατό να γίνεται η συμβολή δυο κλάδων σε ένα και να

ικανοποιείται η ύδρευση μιας περιοχής σύμφωνα με το στόχο που έχει τεθεί στον κόμβο αυτό). Επίσης δεν υπάρχει περιορισμός στον αριθμό των κλάδων που μπορούν να συνδεθούν σε έναν κόμβο και δεν απαιτούνται τερματικοί κόμβοι όπως στο RIBASIM. Κατά συνέπεια μειώνεται το μέγεθος του διαχειριστικού σεναρίου, ο απαιτούμενος χρόνος για την κατασκευή του και αυξάνεται η εποπτεία και έλεγχος πάνω σε αυτό κατά την προσομοίωση (Αθανασάκης, 2008).

Συμπερασματικά, οι συνιστώσες του RIBASIM που μεταφέρονται στον ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ ως κόμβοι (Junctions) είναι οι ακόλουθες: Confluence, Dummy, Terminal, Diversion και Bifurcation.

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί και η περίπτωση των κόμβων ικανοποίηση αναγκών σε νερό. Πιο συγκεκριμένα, οι Κόμβοι Άρδευσης (Fixed Irrigation Nodes) και Κόμβοι Ύδρευσης (Public Water Supply Nodes) του διαχειριστικού ομοιώματος RIBASIM κατά την σχηματοποίηση τους στον ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ χρησιμοποιούνται δύο συνιστώσες του μοντέλου: ένας κόμβος (Junction) και ένας στόχος (Target) που τοποθετείται πάνω στον κόμβο. Οι ποσότητες νερού που απαιτούνται για την ικανοποίηση των διαφόρων αναγκών, καθώς και η προτεραιότητα ικανοποίησης εισάγονται στο στόχο και αναλύονται περαιτέρω σε επόμενη παράγραφο.

5.4.4 Ταμιευτήρας – Reservoir

Ταμιευτήρας (Reservoir) καλείται το εννοιολογικό αντικείμενο που αντιπροσωπεύει ένα τεχνικό έργο αποθήκευσης επιφανειακών υδατικών πόρων με επαρκή χωρητικότητα, ώστε να επιτυγχάνεται ρύθμιση της ροής για χρονικό ορίζοντα μεγαλύτερο του μήνα, που είναι και η συμβατική χρονική διακριτότητα του μοντέλου προσομοίωσης (Καραβοκυρός κ.ά., 2004).

Στο μοντέλο του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ η φόρμα δεδομένων ταμιευτήρα αποτελείται από: α) το βασικό φύλλο δεδομένων, β) το φύλλο καμπυλών στάθμης-όγκου-επιφάνειας, γ) το φύλλο δεδομένων υπόγειων διαφυγών, δ) το φύλλο δεδομένων κανόνων διαχείρισης και ε) το φύλλο χρονοσειρών.

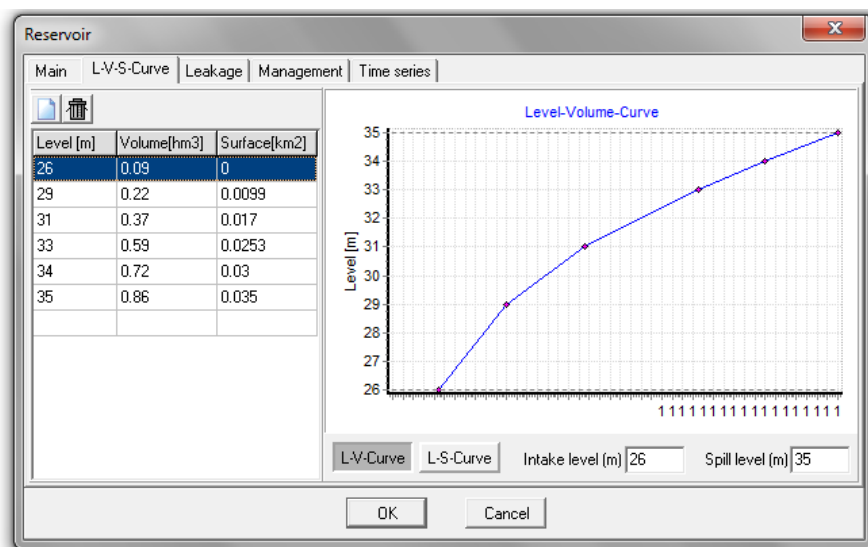
Στο βασικό φύλλο δεδομένων αρχικά προσδιορίζεται η ονομασία του ταμιευτήρα και η έκταση της λεκάνης απορροής του ταμιευτήρα (Catchment area σε km^2). Η τιμή αυτή χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με την επίκαιρη επιφάνεια του ταμιευτήρα και την χρονοσειρά απορροής (από το φύλλο χρονοσειρών), ώστε να υπολογιστεί η απορροή στον ταμιευτήρα για κάθε χρονικό βήμα προσομοίωσης.

Εικόνα 15: Φύλλο δεδομένων ταμιευτήρα - Βασικό φύλλο

Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα ορισμού ενός κόμβου υδατορεύματος στον οποίο διοχετεύεται η υπερχειλίση του ταμιευτήρα (Spill node). Στο υπό εξέταση υδrosύστημα γίνεται η παραδοχή ότι οι υπερχειλίσεις διαφεύγουν από το σύστημα και άρα δεν λαμβάνονται υπόψη κατάντη στο μοντέλο, επομένως χρησιμοποιείται η επιλογή None. Ορίζονται επίσης οι τιμές της στάθμης υπερχειλίσης (Spill level σε m), η αρχική στάθμη (Initial level σε m) και η στάθμη υδροληψίας (Intake level σε m). Οι τιμές αυτές προσδιορίζονται από τις αντίστοιχες στο μοντέλο RIBASIM για κάθε ταμιευτήρα (Full level, Initial level και Gate level αντίστοιχα).

Τέλος, στο βασικό φύλλο δεδομένων παρουσιάζονται και η χωρητικότητα (Storage capacity σε Mm^3), ο αρχικός όγκος (Initial volume σε Mm^3) και ο νεκρός όγκος του ταμιευτήρα (Dead volume σε Mm^3). Οι τιμές αυτές δεν ορίζονται από τον χρήστη αλλά συμπληρώνονται αυτόματα από το πρόγραμμα αφού προηγουμένως έχει οριστεί η καμπύλη στάθμης – όγκου (φύλλο καμπυλών στάθμης-όγκου-επιφάνειας).

Στο φύλλο καμπυλών στάθμης-όγκου-επιφάνειας προσδιορίζονται οι καμπύλες στάθμης-όγκου και στάθμης-επιφάνειας. Οι παραπάνω καμπύλες προκύπτουν εισάγοντας δεδομένα στάθμης (Level σε m), όγκου (Volume σε Mm^3) και επιφάνειας (Surface σε km^2). Οι τιμές αυτές προκύπτουν από τις αντίστοιχες τιμές του προγράμματος RIBASIM μετά από κατάλληλη μετατροπή των μονάδων στις ζητούμενες. Εκτός από τα δεδομένα κάθε καμπύλης, παρουσιάζεται και το γράφημα της. Με βάση τις καμπύλες συμπληρώνονται από το πρόγραμμα οι τιμές στάθμης υπερχειλίσης, αρχικής στάθμης και στάθμης υδροληψίας στο βασικό φύλλο δεδομένων, όπως αναφέρεται παραπάνω.



Εικόνα 16: Φύλλο δεδομένων ταμιευτήρα – φύλλο καμπύλων στάθμης-όγκου-επιφάνειας

Στο φύλλο υπόγειων διαφυγών καθορίζονται οι υπόγειες διαφυγές του ταμιευτήρα με παραμετρικό τρόπο, μέσω μίας εξίσωσης υπολογισμού. Γίνεται η παραδοχή ότι δεν υπάρχουν υπόγειες διαφυγές από τους ταμιευτήρες, επομένως δεν εισάγονται δεδομένα στο φύλλο αυτό.

Στο φύλλο χρονοσειρών ορίζονται για κάθε ταμιευτήρα τρεις χρονοσειρές: η χρονοσειρά απορροής στον ταμιευτήρα (Runoff σε mm), η χρονοσειρά βροχόπτωσης στην επιφάνεια του ταμιευτήρα (Rainfall σε mm) και η χρονοσειρά εξάτμισης (Evaporation σε mm). Για κάθε χρονοσειρά αναγράφονται ο κωδικός και η ονομασία της χρονοσειράς, η ημερομηνία πρώτης και τελευταίας εγγραφής και το πλήθος υδρολογικών σεναρίων που περιλαμβάνει η χρονοσειρά (228 μήνες εφόσον περίοδος προσομοίωσης είναι τα έτη 1978-1996).

Οι τιμές των χρονοσειρών για την ιστορική περίοδο προκύπτουν από δεδομένα παρατήρησης και η προέλευσή τους αναλύεται στην παράγραφο 5.6.1.

5.4.5 Στόχος - Target

Ο ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ έχει τη δυνατότητα να λαμβάνει υπόψη του περισσότερους στόχους και λειτουργικούς περιορισμούς ταυτόχρονα, οι οποίοι ενδεχομένως να είναι ανταγωνιστικοί μεταξύ τους. Ο αλγόριθμος μεταφοράς νερού του υπολογιστικού συστήματος κατανέμει σε κάθε χρονικό βήμα προσομοίωσης τον απαιτούμενο όγκο υπολογίζοντας εκ νέου την ποσότητα απόληψης από κάθε υδατικό πόρο και τον τρόπο μεταφοράς του έως τα σημεία χρήσης νερού με το βέλτιστο δυνατό τρόπο. Ο αλγόριθμος προσδιορίζει αυτόνομα τις παροχές νερού με βάση την κατάσταση του δικτύου, τους κανόνες λειτουργίας και τους στόχους που έχει θέσει ο χρήστης. Για το λόγο αυτό όλοι οι στόχοι εντάσσονται σε ένα σύστημα προτεραιοτήτων που ορίζεται από το χρήστη. Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης ο

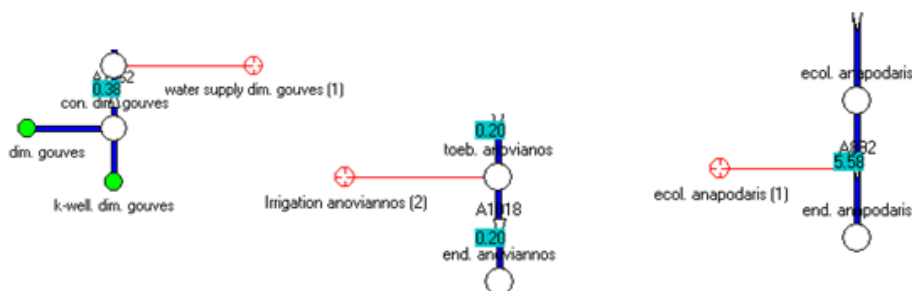
ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ εξυπηρετεί (εφόσον αυτό είναι εφικτό) τους στόχους με σειρά προτεραιότητας (Καραβοκυρός κ.ά., 2004).

Οι κατηγορίες στόχων που μπορούν να τεθούν, οι συνιστώσες δικτύου με τις οποίες συνδέονται και οι μονάδες μέτρησης του στόχου παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 8).

Πίνακας 8: Αναφορά στις κατηγορίες στόχων που χρησιμοποιούνται, τις συνιστώσες του δικτύου στις οποίες συνδέονται και τις μονάδες μέτρησης

Κατηγορία στόχου	Συνιστώσα δικτύου	Μονάδες μέτρησης τιμής στόχου
Ζήτηση νερού για κατανάλωση (ύδρευση, άρδευση κλπ)	Κόμβος / Ταμιευτήρας	Mm^3
Μέγιστη, ελάχιστη ή σταθερή ροή υδραγωγείου	Υδραγωγείο	m^3/s
Μέγιστο ή ελάχιστο απόθεμα ταμιευτήρα	Ταμιευτήρας	Mm^3
Αποφυγή υπερχείλισης ταμιευτήρα	Ταμιευτήρας	Αδιάστατο
Παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας	Στρόβιλος	GWh

Στο υπό εξέταση υδrosύστημα ορίζονται στόχοι που αφορούν την ζήτηση νερού για κατανάλωση (ύδρευση και άρδευση) και την ελάχιστη παροχή (οικολογική παροχή) που απαιτείται ούτως ώστε να μην υπάρξει υποβάθμιση ενός οικοσυστήματος ή για τη διατήρηση ενός ελάχιστου βάθους ροής σε ένα υδατόρεμα. Οι στόχοι ύδρευσης και άρδευσης συνδέονται σε απλό κόμβο (Junction) ενώ ο στόχος ελάχιστης παροχής σε υδραγωγείο (Aqueduct).



Εικόνα 17: Παράδειγμα σχηματοποίησης κάθε κατηγορίας στόχου (Υδρευση - Άρδευση - Οικολογική παροχή)

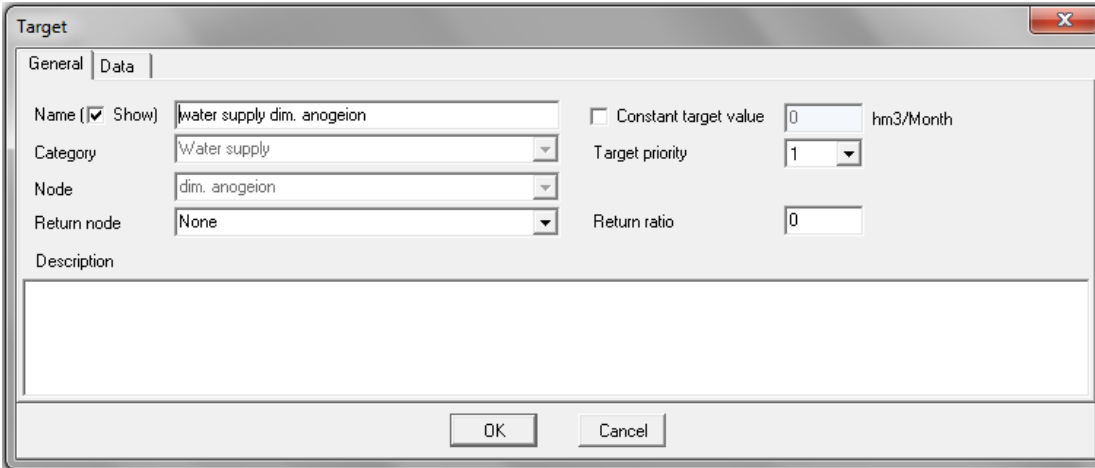
Οι αντίστοιχες κατηγορίες κόμβων στο RIBASIM είναι οι Κόμβοι Άρδευσης (Fixed Irrigation Nodes), οι Κόμβοι Ύδρευσης (Public Water Supply Nodes) και οι Κόμβοι

Ελάχιστης Παροχής (Low Flow Nodes) και αναφέρονται σε σημεία κατακράτησης υδατικών πόρων για την ικανοποίηση αναγκών

Κατά την σχηματοποίηση της συνιστώσας, στην φόρμα δεδομένων, δίνεται αρχικά το όνομα του στόχου. Στην συνέχεια εισάγεται η κατηγορία του στόχου, ανάλογα με την συνιστώσα που είναι συνδεδεμένος, και η προτεραιότητα. Για τους στόχους που εισάγονται συνδέονται σε κόμβο (Junction) η επιλογή της κατηγορίας του στόχου γίνεται μεταξύ δυο κατηγοριών: Water Supply (Υδρευση) και Irrigation (Άρδευση) ανάλογα με το είδος του στόχου. Στην περίπτωση της ελάχιστης παροχής, επιλέγεται αυτόματα η κατηγορία Min flow.

Σε στόχους κατανάλωσης νερού δίνεται η δυνατότητα να οριστεί και ένας κόμβος στον οποίο επιστρέφει μέρος του νερού μετά τη χρήση του (Return node). Ο συντελεστής επιστροφής νερού (Return ratio) παίρνει τιμές από 0 έως 1. Στο υπό εξέταση υδροσύστημα θεωρείται ότι το νερό καταναλώνεται στο σύνολο του και δεν επιστρέφεται στο σύστημα, επομένως χρησιμοποιείται η επιλογή “None”.

Σχετικά με την προτεραιότητα που πρέπει να εισαχθεί σε κάθε στόχο, αυτή παίρνει τιμές από 1-8 (όσο μικρότερη είναι η τιμή της τόσο μεγαλύτερη είναι η προτεραιότητα κατά την οποία ικανοποιείται ο στόχος). Η ύδρευση ικανοποιείται κατά μεγαλύτερη προτεραιότητα από την άρδευση, επομένως παίρνει την τιμή 1 ενώ η άρδευση την τιμή 2. Η οικολογική παροχή, λόγω της μεγάλης περιβαλλοντικής σημασία στο υδροσύστημα, αντιμετωπίζεται ως υψίστης προτεραιότητας και παίρνει την τιμή 1.



Εικόνα 18:Φόρμα δεδομένων στόχου ύδρευσης - βασικό φύλλο δεδομένων

Τέλος, για τους στόχους ύδρευσης και άρδευσης εισάγονται οι ποσότητες νερού που απαιτούνται για την ικανοποίηση των αναγκών. Οι ποσότητες νερού δίνονται σε Mm^3 ανά μήνα. Οι τιμές προκύπτουν από τις αντίστοιχες τιμές στο μοντέλο

RIBASIM και επαναλαμβάνονται κάθε χρόνο. Η τιμή του στόχου μπορεί να είναι σταθερή στο χρόνο αλλά για μεγαλύτερη ακρίβεια επιλέγεται να είναι μεταβλητή ανά μήνα. Με την χρονική διαφοροποίηση κάθε στόχου η προσομοίωση ανταποκρίνεται σε διάφορες καταστάσεις όπως η προβλεπόμενη αύξηση της ζήτησης νερού κατά τους θερινούς μήνες.

Target

General Data

Initial values

Unit	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
hm3	0.05	0.08	0.05	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.05

Specific values

Year	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December

OK Cancel

Εικόνα 19: Φόρμα δεδομένων στόχου ύδρευσης - φύλλο δεδομένων

Σε περίπτωση που σε κάποιο χρονικό βήμα (μήνας) δεν είναι δυνατή η πλήρης εξυπηρέτηση κάποιου στόχου, τότε καταγράφεται αστοχία εξυπηρέτησης του στόχου τον εν λόγω μήνα και υπολογίζεται το αντίστοιχο έλλειμμα. Ταυτόχρονα, καταγράφεται αστοχία και σε ετήσια κλίμακα, καθώς θεωρείται ότι αν έστω και ένας μήνας του έτους είναι ελλειμματικός, τότε όλο το έτος χαρακτηρίζεται ελλειμματικό. Στο πέρας της προσομοίωσης, το μοντέλο αθροίζει τις αστοχίες και τα ελλείμματα, και βάσει αυτών εκτιμά εμπειρικές πιθανότητες αστοχίας και άλλα στατιστικά μεγέθη (Ρομπόκα, 2007).

5.4.6 Υδραγωγείο – Aqueduct

Ως υδραγωγείο (Aqueduct), νοείται το εννοιολογικό αντικείμενο που συνδέει έναν κόμβο μεγαλύτερου ενεργειακού υπομέτρου (ανάντη κόμβος), με έναν κόμβο μικρότερου ενεργειακού υπομέτρου (κατάντη κόμβος), καθορίζοντας έτσι μονοσήμαντα τη φορά ροής του νερού. Ένα υδραγωγείο, μπορεί να αντιπροσωπεύει ένα μεμονωμένο αγωγό ή ένα σύστημα αγωγών σε σειρά, όπως για παράδειγμα σωληνωτούς αγωγούς, διώρυγες, σήραγγες και σίφωνες. (Ρομπόκα, 2007).

Ένα υδραγωγείο, ως εξαρτημένη συνιστώσα του δικτύου, ορίζεται από τις ανάντη και κατάντη συνιστώσες δικτύου, οι οποίες μπορεί να είναι κόμβος, κόμβος υδατορεύματος ή ταμειευτήρας. Στο υπό εξέταση υδροσύστημα χρησιμοποιούνται και οι τρεις συνιστώσες σε διαφορετικές περιπτώσεις για την σύνδεση των υδραγωγείων.

Κατά την σχηματοποίηση ενός υδραγωγείου δίνονται, αρχικά, η ονομασία του και ο ανάντη και κατάντη κόμβος που το ορίζουν (Upstream node, Downstream node). Η σημαντικότερη, ίσως, ιδιότητα του υδραγωγείου είναι η παροχευευστικότητα του, δηλαδή το ανώτερο όριο παροχής του. Η τιμή της παροχευευστικότητας μπορεί να είναι σταθερή, να μεταβάλλεται συναρτήσει του ύψους πτώσης (δηλαδή της διαφοράς της στάθμης του νερού ανάντη και κατάντη του υδραγωγείου), να μεταβάλλεται συναρτήσει του χρόνου ή να μεταβάλλεται συναρτήσει του ύψους πτώσης και του χρόνου. Η παροχευευστικότητα σε κάθε υδραγωγείο ορίζεται ως σταθερή τιμή, δίνεται σε m^3/s και δεν εξαρτάται από τυχόν διαφοροποιήσεις στο ύψος πτώσης.

Πρέπει να σημειωθεί, ότι ο ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ παρέχει και τη δυνατότητα άρσης της παροχευευστικότητας των υδραγωγείων, με την εντολή Unlimited discharge capacity στο φύλλο προσομοίωσης (Simulation) της φόρμας επιλογών. Η επιλογή αυτή είναι χρήσιμη στον υπολογισμό του θεωρητικού δυναμικού του υδροσυστήματος, εξαιρουμένου του φυσικού περιορισμού της παροχευευστικότητας. Στην παρούσα εργασία, επιλέγεται αυτός ο τρόπος προσομοίωσης, χωρίς να ληφθεί υπόψη η παροχευευστικότητα, λόγω έλλειψης στοιχείων αλλά και του σκοπού της εργασίας.

Στην συνέχεια, ορίζεται ο συντελεστής διαρροής (Leakage coefficient), ο οποίος μπορεί είτε να είναι σταθερός, είτε να μεταβάλλεται συναρτήσει του χρόνου. Γίνεται η παραδοχή ότι όλα τα υδραγωγεία του συστήματος δεν έχουν διαρροή επομένως το πεδίο τιμής του συντελεστή παραμένει κενό.

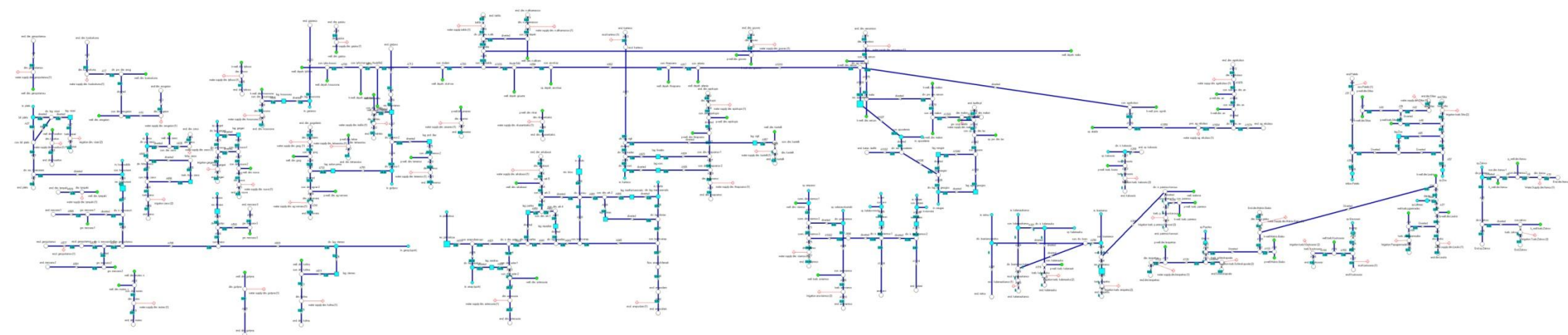
Επίσης δίνονται τιμές για τις στάθμες τροφοδοσίας και εξαγωγής του υδραγωγείου (Inlet level, Outlet level σε m) οι οποίες χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του ύψους πτώσης στην περίπτωση μεταβλητής παροχευευστικότητας και για τον υπολογισμό της παραγωγής/κατανάλωσης ενέργειας κατά τη μεταφορά νερού μέσω στροβίλων/αντλιοστασίων. Στην παρούσα εργασία δεν εξετάζονται σενάρια ενέργειας και η παροχευευστικότητα θεωρείται σταθερή, επομένως δεν ορίζονται οι συγκεκριμένες τιμές.

Εικόνα 20: Φόρμα δεδομένων υδραγωγείου - βασικό φύλλο δεδομένων

Στο τελευταίο φύλλο της φόρμας υδραγωγείου (economy), μπορούν να δοθούν κάποια οικονομικά στοιχεία, τα οποία ενδέχεται να επηρεάσουν την προσομοίωση. Πρόκειται για ιδεατά κόστη που δεν έχουν απαραίτητα αντιστοίχιση σε πραγματικό κόστος και συγκεκριμένα: α) το κόστος ενεργοποίησης (Activation cost), πάγιο κόστος που χρεώνεται σε κάθε χρονικό βήμα, κατά το οποίο χρησιμοποιείται το συγκεκριμένο υδραγωγείο και β) το κόστος μεταφοράς (Transportation cost), που χρεώνεται για τη μεταφορά κάθε κυβικού μέτρου νερού. Μέσω των οικονομικών στοιχείων, μπορεί να επηρεαστεί η χρήση του συγκεκριμένου υδραγωγείου, σε σχέση με άλλα παράλληλα υδραγωγεία, κατά την προσομοίωση. Λόγω έλλειψης στοιχείων, και καθώς δεν ορίζονται εναλλακτικές διαδρομές, δεν εισάγονται οικονομικά στοιχεία στα υδραγωγεία (Καραβοκυρός κ.ά., 2004).

5.5 Σχηματοποίηση συστήματος περιοχής μελέτης στο μοντέλο ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ

Με βάση την μεθοδολογία για την σχηματοποίηση του δικτύου και την εισαγωγή των δεδομένων κάθε συνιστώσας, προκύπτει το δίκτυο προσομοίωσης της ανατολικής Κρήτης στο μοντέλο ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ (Εικόνα 21).



Εικόνα 21: Σχηματοποίηση υδροσυστήματος ανατολικής Κρήτης στο μοντέλο ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ

5.6 Προσομοίωση συστήματος

Στην ενότητα 5.4 περιγράφεται η σχηματοποίηση του υδροσυστήματος της ανατολικής Κρήτης στο μοντέλο ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ και η εισαγωγή των απαραίτητων δεδομένων σε αυτά (εισροές στο υδατικό σύστημα και χαρακτηριστικά τεχνικών έργων). Μετά την ολοκλήρωση των διαχειριστικών σεναρίων αυτών μπορεί να γίνει η προσομοίωση τους με το μοντέλο στοχαστικής προσομοίωσης ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ.

Προσομοίωση (simulation) είναι η τεχνική μίμησης της λειτουργίας ενός πραγματικού συστήματος, όπως αυτό εξελίσσεται στο χρόνο ενώ τα στοχαστικά υδρολογικά μοντέλα, περιγράφουν στατιστικά τις χρονικές και χωρικές συσχετίσεις των υδρολογικών διεργασιών, ποσοτικοποιώντας την αβεβαιότητα γύρω από την εξέλιξή τους (Αθανασάκης, 2008).

Η προσομοίωση της λειτουργίας του υδροσυστήματος της ανατολικής Κρήτης χωρίζεται σε δύο μέρη: αρχικά γίνεται η προσομοίωση για την ιστορική περίοδο με τα δεδομένα σύμφωνα με τα οποία έγινε η σχηματοποίηση του συστήματος, και στην συνέχεια γίνεται η προσομοίωση υπό καθεστώς κλιματικής αλλαγής με χρονοσειρές που προέρχονται από κλιματικά μοντέλα.

5.6.1 Ιστορική περίοδος

Αρχικά, επιθυμητή περίοδος προσομοίωσης για την ιστορική περίοδο λόγω τις διαθεσιμότητας δεδομένων είναι τα 20 χρόνια. Τα πρωτογενή δεδομένα που αφορούν στην εικοσαετία προκύπτουν ανά υδρολογικό έτος (Σεπτέμβριος – Αύγουστος) για τα έτη 1977-1997. Το λογισμικό ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ δεν επιτρέπει την λήξη της προσομοίωσης σε μη συμπληρωμένο ημερολογιακό έτος, επομένως επιλέγεται περίοδος προσομοίωσης 19 ημερολογιακά έτη, 1978-1996.

Οι χρονοσειρές απορροής, εξάτμισης και βροχόπτωσης που εισάγονται στους ταμιευτήρες έχουν παραχθεί από το υδρολογικό μοντέλο SAC-SMA (Tsanis et al., 2011) σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Σε προηγούμενη ενότητα παρουσιάζεται η αντιστοίχιση κάθε ταμιευτήρα του συστήματος της περιοχής μελέτης με την λεκάνη απορροής στην οποία υπάγεται. Για την παραγωγή των χρονοσειρών από το SAC-SMA έχει προηγηθεί η είσοδος δεδομένων πραγματικών τιμών για υδρολογικές παραμέτρους (Paragrigoriou et al., 2001).

Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι κατά την προσομοίωση δεν λαμβάνεται υπόψη η παροχετευτικότητα των υδραγωγείων και η προσομοίωση γίνεται με την επιλογή unlimited discharge capacity. Ιδιαίτερη περίπτωση αποτελεί το κομμάτι του δικτύου

που είναι υπεύθυνο για την ύδρευση του Ηρακλείου και Αγίου Νικολάου. Η μεγάλη έκταση του συστήματος και η παρουσία ενός σημαντικού ταμιευτήρα (Αποσελέμης) μειώνουν σημαντικά τις αστοχίες στο σύστημα, γεγονός που δεν ανταποκρίνεται με την πραγματικότητα. Το πρόβλημα αυτό θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί με τον καθορισμό ενός στόχου στον ταμιευτήρα ώστε να μην μπορεί να πέσει η στάθμη του νερού κάτω από ένα ορισμένο επίπεδο, λύση που δεν μπορεί να εφαρμοστεί στην συγκεκριμένη περίπτωση λόγω έλλειψης στοιχείων. Επομένως, επιλέγεται η προσομοίωση στο συγκεκριμένο κομμάτι του δικτύου να γίνει λαμβάνοντας υπόψη την παροχετευτικότητα στα υδραγωγεία. Οι τιμές της παροχετευτικότητας που ορίζονται είναι ενδεικτικές και βασίζονται στις εισροές στα διάφορα σημεία του δικτύου. Με την παραδοχή αυτή, οι αστοχίες στο δίκτυο αυξάνονται και ανταποκρίνονται στην πραγματική κατάσταση.

5.6.2 Σενάρια κλιματικής αλλαγής

Όπως έχει αναφερθεί στόχος της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της δυναμικότητας του υδατικού συστήματος της ανατολικής Κρήτης υπό καθεστώς κλιματικής αλλαγής. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού, γίνεται η εισαγωγή νέων κλιματικών δεδομένων στους ταμιευτήρες και προσαρμογή των εισροών (εισροές στο δίκτυο και γεωτρήσεις) και στόχων ανάλογα με το αντιπροσωπευτικό μονοπάτι συγκέντρωσης (RCP) που εξετάζεται.

Πρέπει να σημειωθεί, ότι για να χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα των κλιματικών μοντέλων εξετάζεται η συσχέτιση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης για την ιστορική περίοδο (1978-1996) με τα δεδομένα παρατήρησης και τα δεδομένα των κλιματικών μοντέλων. Εάν η συσχέτιση είναι καλή, χρησιμοποιούνται τα δεδομένα των κλιματικών μοντέλων για την μελλοντική κατάσταση, αλλιώς απαιτείται προσαρμογή των δεδομένων για να ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα.

Για τη συσχέτιση των αποτελεσμάτων προσδιορίζεται η τυπική απόκλιση των αποτελεσμάτων για τα δεδομένα παρατήρησης και κλιματικών μοντέλων, καθώς και η ποσοστιαία διαφορά τους.

Η τυπική απόκλιση (standard deviation) είναι ένα μέτρο που χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί το ποσό της μεταβολής ή της διασπορά ενός συνόλου τιμών δεδομένων. Μια χαμηλή τιμή τυπική απόκλιση υποδηλώνει ότι τα σημεία των δεδομένων τείνουν να είναι κοντά στον μέσο όρο του συνόλου, ενώ μια υψηλή τιμή τυπικής απόκλισης υποδεικνύει ότι τα στοιχεία απλώνονται πάνω από ένα ευρύτερο φάσμα τιμών. Εκτός από την έκφραση της μεταβλητότητας του

πληθυσμού, η τυπική απόκλιση συνήθως χρησιμοποιείται για την μέτρηση της εμπιστοσύνης στα στατιστικά συμπεράσματα

Προσαρμογή δεδομένων

Η μεθοδολογία για την προσαρμογή των δεδομένων του συστήματος βασίζεται στα αποτελέσματα συγκεκριμένης ερευνητικής δημοσίευσης (Koutroulis et al., 2016). Με βάση αυτήν έχουν προκύψει οι μεταβολές της διαθεσιμότητας υδάτων, της ζήτησης νερού και των υδρολογικών-κλιματικών μεταβλητών για διάφορα αντιπροσωπευτικά μονοπάτια συγκέντρωσης (RCPs) και κοινά κοινωνικο-οικονομικά μονοπάτια (SSPs). Τα δεδομένα για τη ζήτηση νερού που παρουσιάζονται αφορούν την οικιακή χρήση, τον τουρισμό, τη βιομηχανία, τα ελαιοτριβεία, την ενέργεια, την κτηνοτροφία και την άρδευση.

Τα αποτελέσματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παρούσα εργασία παρατίθενται στον Πίνακας 9. Επίσης, ως ετήσια απαίτηση ύδρευσης θεωρείται το σύνολο της απαιτούμενης ποσότητας νερού για οικιακή χρήση και τουρισμό.

Πίνακας 9: Μεταβολές της διαθεσιμότητας υδάτων και της απαίτησης νερού για διάφορα αντιπροσωπευτικά μονοπάτια (RCPs) και κοινωνικο-οικονομικά σενάρια (SSPs) (Koutroulis et al., 2016)

	Μεταβολή διαθεσιμότητας υπόγειου νερού GW %	Ετήσια απαίτηση νερού					
		Οικιακή Χρήση (Mm ³)	Τουρισμός (Mm ³)	Ύδρευση (Mm ³)	Μεταβολή Ύδρευσης	Άρδευση (Mm ³)	Μεταβολή άρδευσης
Baseline		65.49	6.58	72.07		439.62	
RCP4.5 @ +2°C (2037-2066) SSP1	-18%	77.53	10.45	87.98	22.08%	543.76	23.69%
RCP4.5 @ +2°C (2037-2066) SSP2	-18%	74.82	11.3	86.12	19.49%	571.94	30.10%
RCP4.5 @ +2°C (2037-2066) SSP3	-18%	64.61	12.37	76.98	6.81%	623.47	41.82%
RCP8.5 @ +2°C (2026-2055) SSP3	-12.10%	69.89	11.48	81.37	12.90%	576.08	31.04%
RCP8.5 @ +3°C (2047-2076) SSP3	-26.80%	63.44	14.18	77.62	7.70%	661.42	50.45%

Στην παρούσα εργασία εξετάζονται οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στο υδατικό δυναμικό της περιοχής μελέτης σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 @ +2°C SSP3 και RCP8.5 @ +2°C SSP3.

Θεωρείται ότι η μεταβολή της διαθεσιμότητας το υπόγειου νερού θα επηρεάσει τις εισροές στο δίκτυο και τις γεωτρήσεις. Για την προσομοίωση, οι χρονοσειρές των εισροών (Inflows) και η μέγιστη παροχή της γεώτρησης (max discharge σε m³) προσαρμόζονται ανάλογα με την μεταβολή του υπόγειου νερού: μείωση 18% για RCP 4.5 και 12.1% για RCP 8.5.

Επιπρόσθετα, η κλιματική αλλαγή αναμένεται να προκαλέσει αύξηση στην ζήτηση νερού, επηρεάζοντας έτσι και τους στόχους ύδρευσης και άρδευσης του υδρολογικού συστήματος. Οι τιμές των στόχων προσαρμόζονται για κάθε αντιπροσωπευτικό μονοπάτι συγκέντρωσης (RCP) ανάλογα με το ποσοστό μεταβολής του Πίνακας 9. Πρέπει να σημειωθεί ότι η μεταβολή αυτή αφορά την ετήσια απαίτηση, αλλά γίνεται η παραδοχή ότι είναι η ίδια για κάθε μήνα (βήμα προσομοίωσης).

Τέλος, λόγω έλλειψης επαρκών στοιχείων σχετικής πρόβλεψης, οι τιμές των στόχων που αφορούν την ελάχιστη (οικολογική) παροχή υδατορευμάτων δεν μεταβάλλονται για τα διάφορα σενάρια κλιματικής αλλαγής.

Προσαρμογή χρονικών περιόδων προσομοίωσης

Όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 9, το όριο των 2°C (ή 3°C) επιτυγχάνεται σε διαφορετική περίοδο προσομοίωσης για 30 έτη (Specific warming level). Λόγω περιορισμών στη διαθεσιμότητα δεδομένων και στο λογισμικό ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ, η ιστορική περίοδος ορίζεται ως 19 έτη. Για να χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα για κάθε σενάριο και να γίνει σύγκριση με την ιστορική περίοδο, το εύρος αυτό των 30 ετών προσαρμόζεται στα 19 έτη. Για μεγαλύτερη ακρίβεια απορρίπτονται οι τιμές στα άκρα του εύρους της 30ετίας. Με τον τρόπο αυτό, για το σενάριο RCP4.5 @ +2°C SSP3 ως περίοδος προσομοίωσης ορίζονται τα έτη 2043-2061, ενώ για το σενάριο RCP8.5 @ +2°C SSP3 τα έτη 2032-2050.

5.7 Αποτελέσματα προσομοίωσης συστήματος

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του συστήματος που λαμβάνονται από το λογισμικό ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- Πρόγνωση αστοχίας των στόχων που έχουν τεθεί και η χρονική κατανομή τους.

- Υδατικά και ενεργειακά ισοζύγια: Υπολογίζεται εκτός από τον μηνιαίο μέσο όρο και η τυπική απόκλιση για την επιλεγμένη χρονική περίοδο.
- Πρόγνωση αποθέματος ταμιευτήρων: Σε περίπτωση που το σενάριο περιλαμβάνει προσομοίωση με περισσότερα υδρολογικά σενάρια, τα αποτελέσματα δίνονται στη βάση ισοπίθανων καμπυλών πρόγνωσης αποθέματος.

Με τον όρο αστοχία νοείται η μη ικανοποίηση της ζητούμενης ποσότητας, σε κάποιο χρονικό βήμα. Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, το μοντέλο καταμετρά τα χρονικά βήματα (μήνες) στα οποία δεν επιτεύχθηκε η ζητούμενη τιμή κάθε στόχου, και υπολογίζει το αντίστοιχο έλλειμμα (στην περίπτωση στόχων κατανάλωσης και περιορισμών ελάχιστης παροχής σε υδραγωγείο).

Η αστοχία δίνεται από το μοντέλο ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ σαν αριθμός μηνών – βημάτων, επομένως, για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων, παρουσιάζεται ξεχωριστά και ως ποσοστιαία τιμή αστοχίας για την περίοδο προσομοίωσης (228 μήνες).

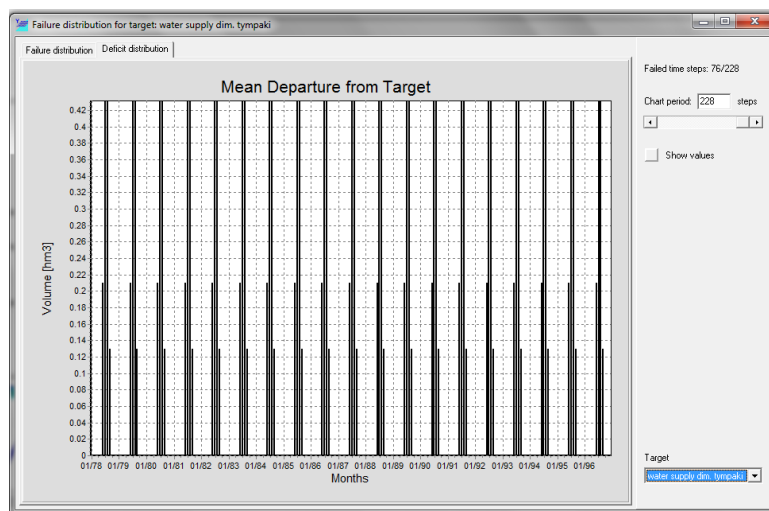
6. Ανάλυση αποτελεσμάτων

Κατά την προσομοίωση λειτουργίας του υδροσυστήματος της ανατολικής Κρήτης, όπως αυτή περιγράφεται στην Ενότητα 5.6, προκύπτουν τα αποτελέσματα που αφορούν την πιθανή αστοχία και το έλλειμμα απαιτούμενου νερού κάθε στόχου ξεχωριστά.

6.1 Αποτελέσματα προσομοίωσης ιστορικής περιόδου

Από την προσομοίωση της λειτουργίας του υδροσυστήματος για την ιστορική περίοδο (1978-1996) προκύπτουν τα αποτελέσματα για τις αστοχίες και ετήσια ελλείμματα, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα Α-1 του Παραρτήματος.

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων στον Πίνακα Α-1 προκύπτει ότι οι περισσότεροι στόχοι παρουσιάζουν έλλειμμα στην απαιτούμενη ποσότητα νερού για την ιστορική περίοδο. Πιο αναλυτικά, μηδενική αστοχία παρατηρείται μόλις σε 8 από τους 57 κόμβους που εξετάζονται. Οι περισσότεροι από αυτούς στους οποίους δεν ικανοποιούνται πλήρως οι απαιτούμενες ποσότητες νερού, παρουσιάζουν αστοχία της τάξης του 30-35%. Η τιμή αυτή υποδηλώνει ότι στην πλειοψηφία τους παρουσιάζουν αστοχία 4 μήνες το χρόνο και συνήθως πρόκειται για τους μήνες Ιούνιο – Σεπτέμβριο. Η παρατήρηση αυτή επιβεβαιώνεται από το γράφημα που δίνει τη χρονική μεταβολή της αστοχίας ή του ελλείμματος για κάθε στόχο όπως προκύπτει στην φόρμα πρόγνωσης πιθανότητας αστοχίας κόμβων του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ. Ενδεικτικά παρουσιάζεται το γράφημα για το μέσο ετήσιο έλλειμμα νερού ύδρευσης στον δήμο Τυμπακίου (Εικόνα 22). Επίσης, η πλειοψηφία των στόχων που παρουσιάζει αυτή την τάση, συνδέονται σε απομονωμένα συστήματα, δηλαδή βασίζονται στην παροχή νερού από μία μόνο γεώτρηση (απλό σύστημα γεώτρησης – κόμβου – στόχου) η οποία δεν έχει μηνιαία μεταβολή, αλλά μία σταθερή τιμή παροχής.



Εικόνα 22: Γράφημα χρονικής κατανομής ελλείμματος ύδρευσης δήμου Τυμπακίου για την ιστορική περίοδο προσομοίωσης

Σημαντικότερο έλλειμμα στην απαιτούμενη ποσότητα για ύδρευση παρουσιάζει ο δήμος Γεροποτάμου, της τάξης του $10,3 \text{ Mm}^3$ με την ποσοστιαία αστοχία να είναι στο 67%. Η ύπαρξη ελλείμματος στον στόχο αυτό είναι αναμενόμενη καθώς το δίκτυο ύδρευσης του συγκεκριμένου δήμου είναι απομονωμένο, δεν είναι δηλαδή συνδεδεμένο σε κάποιο μεγαλύτερο δίκτυο, και η μόνη εισροή νερού στο σύστημα είναι από μία γεώτρηση με μέγιστη παροχή $0,06 \text{ m}^3/\text{s}$. Η τιμή αυτή παροχής νερού της γεώτρησης ικανοποιεί τις ανάγκες ύδρευσης μόνο 4 μήνες το χρόνο (Δεκέμβριος – Μάρτιος) και έτσι όλοι οι υπόλοιποι μήνες παρουσιάζουν έλλειμμα και το σύστημα αστοχεί. Ενδιαφέρον προκαλεί η τάξη του ελλείμματος, η οποία είναι δυσανάλογη με των υπόλοιπων στόχων, και θεωρείται ότι οφείλεται σε σφάλμα στην προέλευση των δεδομένων απαιτούμενου νερού για την ύδρευση του δήμου ή σε λανθασμένη παροχетеυτικότητα της γεώτρησης.

Πρέπει επίσης να σημειωθεί και η περίπτωση του δικτύου ύδρευσης των μεγαλύτερων πόλεων του συστήματος Ηρακλείου και Αγίου Νικολάου, καθώς η ικανοποίηση των συγκεκριμένων στόχων ύδρευσης θεωρείται υψίστης σημασίας. Μεγαλύτερη αστοχία παρουσιάζουν οι δήμοι Ν. Αλικαρνασσού και Αγ. Νικολάου της τάξης του 46%, ενώ παραπλήσια είναι και τα μέσα ετήσια ελλείμματα ($0,50 \text{ Mm}^3$ για τον δήμο Ν. Αλικαρνασσού και $0,30 \text{ Mm}^3$ για τον δήμο Αγ. Νικολάου). Αντίθετα, το Ηράκλειο και ο Άγιος Νικόλαος παρουσιάζουν μικρότερη αστοχία (38% και 32% αντίστοιχα) αλλά μεγαλύτερες τιμές μέσου ετήσιου ελλείμματος. Για το Ηράκλειο η τιμή αυτή είναι 1 Mm^3 ενώ το μέγιστο ετήσιο έλλειμμα κατά την περίοδο προσομοίωσης φτάνει τα 2.66 Mm^3 . Αν δεν ληφθεί υπόψη η σημαντική αστοχία του δήμου Γεροποτάμου που περιγράφεται παραπάνω, το μέγιστο ετήσιο έλλειμμα του Ηρακλείου είναι το μεγαλύτερο στο υπό εξέταση υδrosύστημα.

Τέλος, στους στόχους που εξετάζονται περιλαμβάνονται και στόχοι ελάχιστης παροχής σε υδατορεύματα οι οποίοι θεωρούνται υψηλότερης προτεραιότητας στόχοι και είναι σημαντικοί για την προστασία του περιβάλλοντος. Οι στόχοι αυτοί εμφανίζουν μικρά ποσοστά αστοχία (κάτω από 15%), με εξαίρεση την ελάχιστη παροχή Καρτέρου που παρουσιάζει αστοχία στο 57% της προσομοίωσης και μέσο ετήσιο έλλειμμα 0,55 Mm³.

6.1.1 Συσχέτιση αποτελεσμάτων προσομοίωσης ιστορικής περιόδου με δεδομένα παρατήρησης και δεδομένα κλιματικών μοντέλων

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για την ιστορική περίοδο (1978-1996) βασίζονται σε πρωτογενή δεδομένα παρατήρησης για τις χρονοσειρές απορροής, βροχόπτωσης και εξάτμισης που εισάγονται στους ταμιευτήρες.

Όπως αναπτύχθηκε και στις προηγούμενες ενότητες, εκ των στόχων της μελέτης είναι η διερεύνηση της δυναμικότητας του συστήματος υπό καθεστώς κλιματικής αλλαγής. Για την επίτευξη του στόχου αυτού, γίνεται η εισαγωγή κλιματικών δεδομένων, όπως αυτά έχουν προκύψει από τα κλιματικά μοντέλα που εξετάζονται.

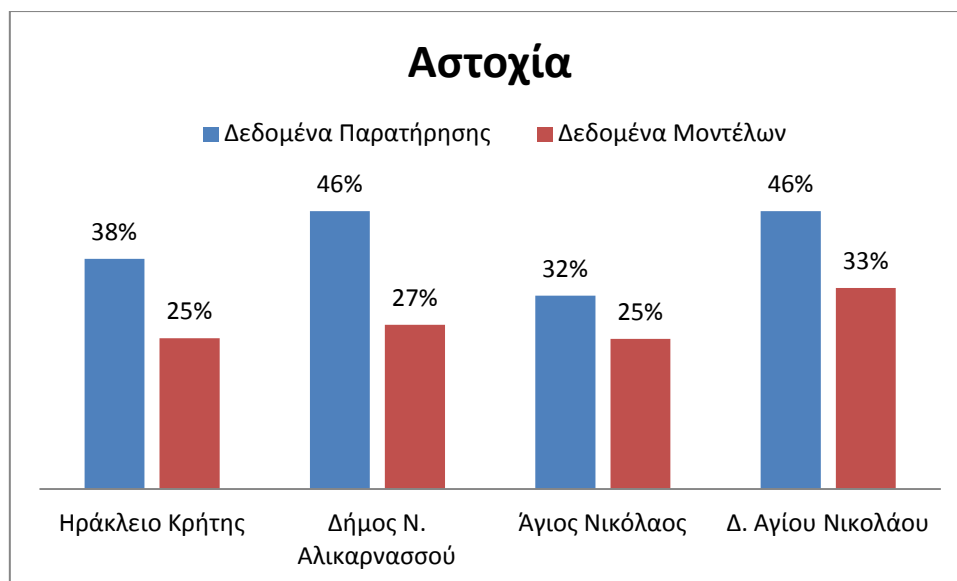
Για να χρησιμοποιηθούν οι τιμές των κλιματικών μοντέλων στην μελλοντική κατάσταση, θα πρέπει να αποδειχθεί ότι παρουσιάζουν παρόμοια αποτελέσματα για την ιστορική περίοδο με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με πρωτογενή δεδομένα παρατήρησης. Για το σκοπό αυτό, επαναλαμβάνεται η προσομοίωση του συστήματος με κλιματικά δεδομένα για την ιστορική περίοδο από τα 4 περιοχικά μοντέλα.

Με τον τρόπο αυτό, προκύπτουν οι τιμές της αστοχίας και ελλείμματος κάθε στόχου για κάθε περιοχικό μοντέλο για την ιστορική περίοδο και εξάγεται ο μέσος όρος ώστε να γίνει η συσχέτιση με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με τα δεδομένα παρατήρησης (Πίνακας Α-2 Παραρτήματος).

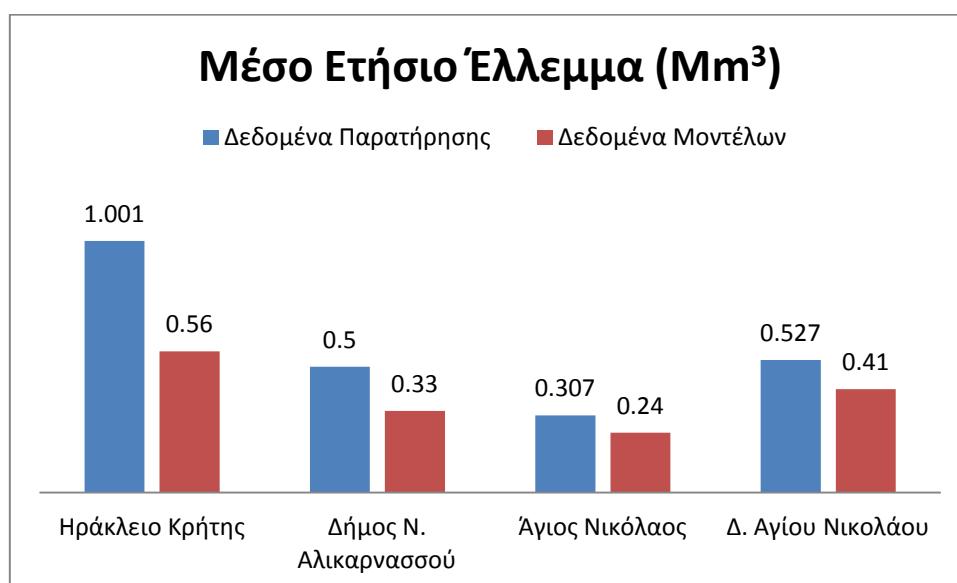
Για την συσχέτιση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης με δεδομένα παρατήρησης (Πίνακας Α-1) με τα αποτελέσματα με δεδομένα των κλιματικών μοντέλων (Πίνακας Α-2) επιλέγεται η μέθοδος υπολογισμού του συντελεστή τυπικής απόκλισης για τις τιμές των μοντέλων και η ποσοστιαία μεταβολή ανάμεσα στα αποτελέσματα των δεδομένων παρατήρησης και των μοντέλων για κάθε στόχο (Πίνακας Α-3 Παραρτήματος), όπως περιγράφεται στην παράγραφο 5.6.2 της μεθοδολογίας.

Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων και τον Πίνακα Α-3, προκύπτει ότι στην πλειονότητα των στόχων, η απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων με δεδομένα παρατήρησης και μοντέλων είναι μηδενική ή αμελητέα, και επομένως είναι πολύ καλή η συσχέτιση μεταξύ τους. Ορισμένοι στόχοι (όπως Δ. Ρούβα, Δ. Βιάννου, Δ. Καστελλίου, ΤΟΕΒ Σητείας) παρουσιάζουν μικρή αύξηση της αστοχίας (<10%), ενώ άλλοι (ΤΟΕΒ Ζαρού, Δ. Αγ. Βαρβάρας, Δ. Θραψάνου κ.α) μικρή μείωση (<10%). Η αύξηση του μέσου ετήσιου ελλείμματος για την ύδρευση του Δ. Αστερούσιων αυξάνεται κατά 123% (από 0,37 σε 0,82 Mm³), ενώ σημαντικό έλλειμμα εμφανίζει και η ελάχιστη παροχή Καλαμαυκιάνου. Παρόλο που πρόκειται για οικολογική παροχή με μεγάλη περιβαλλοντική σημασία, η διαφορά του ελλείμματος είναι από 0,001 Mm³ σε 0,003 Mm³ ενώ δεν παρατηρείται διαφορά στην αστοχία κατά την περίοδο προσομοίωσης.

Την μεγαλύτερη απόκλιση παρουσιάζουν οι στόχοι του υδροσυστήματος της πόλης του Ηρακλείου και Αγίου Νικολάου. Πιο αναλυτικά, πρόκειται για τους στόχους ύδρευσης Ηρακλείου, Δ. Ν. Αλικαρνασσού, Αγίου Νικολάου και Δ. Αγίου Νικολάου και παρατηρείται σημαντική μείωση της αστοχίας και στο μέσο και μέγιστο ετήσιο έλλειμμα στα δεδομένα των μοντέλων από τα δεδομένα παρατήρησης (Εικόνα 23 και Εικόνα 24).



Εικόνα 23: Διάγραμμα ποσοστιαίας αστοχίας στόχων υδросυστήματος Ηρακλείου - Αγίου Νικολάου για την ιστορική περίοδο



Εικόνα 24: Διάγραμμα μέσου ετήσιου ελλείμματος στόχων υδросυστήματος Ηρακλείου - Αγίου Νικολάου για την ιστορική περίοδο

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι αστοχίες στην ύδρευση του Ηρακλείου μειώνονται κατά 35% ενώ του δήμου Ν. Αλικαρνασσοῦ κατά 41% με τη χρήση δεδομένων κλιματικών μοντέλων. Σημαντικότερη μείωση στο μέσο ετήσιο έλλειμμα παρουσιάζει το Ηράκλειο της τάξης του 44%, ενώ το μέγιστο ετήσιο έλλειμμα μειώνεται μέχρι και 64%. Οι μειώσεις στο μέσο ετήσιο έλλειμμα για την ύδρευση του Αγίου Νικολάου (Άγιος Νικόλαος και Δ. Αγίου Νικολάου) κυμαίνονται στο 22%. Η μεγάλη αυτή απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων ερμηνεύεται από το γεγονός ότι το

συγκεκριμένο κομμάτι του δικτύου έχει εξετασθεί με διαφοροποιήσεις σε σχέση με τα υπόλοιπα, καθώς στην προσομοίωση λαμβάνεται υπόψη και η παροχευευστικότητα των αγωγών του δικτύου (προσομοίωση με actual discharge capacity). Επομένως, η απόκλιση αυτή, σε σχέση με την καλή συσχέτιση των τιμών στους υπόλοιπους στόχους του υδροσυστήματος, ερμηνεύεται ως ιδιαιτερότητα του συγκεκριμένου σημείου του δικτύου.

Συμπερασματικά, από τη συσχέτιση των αποτελεσμάτων προσομοίωσης με τη χρήση δεδομένων παρατήρησης και δεδομένων κλιματικών μοντέλων, προκύπτει ότι οι τιμές των αποτελεσμάτων των περιοχικών μοντέλων που εξετάζονται ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα για την ιστορική περίοδο (1978-1996) και έτσι θα χρησιμοποιηθούν τα κλιματικά δεδομένα κάθε μοντέλου για την μελλοντική κατάσταση υπό κλιματική αλλαγή.

6.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης υπό καθεστώς κλιματικής αλλαγής

6.2.1 Αποτελέσματα σεναρίου RCP4.5 @+2°C SSP3

Η προσομοίωση του υδροσυστήματος για RCP4.5 @+2°C SSP3 γίνεται για τη χρονική περίοδο 2043-2061 (19 ημερολογιακά έτη). Τα δεδομένα εισόδου (στόχοι, γεωτρήσεις και εισροές στο δίκτυο) προσαρμόζονται με τη μέθοδο που περιγράφεται στην ενότητα 5.6.2. Επίσης εισάγονται οι χρονοσειρές απορροής, βροχόπτωσης και εξάτμισης σε κάθε ταμιευτήρα όπως προκύπτουν από κάθε κλιματικό μοντέλο που εξετάζεται για την περίοδο 2043-2061. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης προκύπτουν ανά μοντέλο και παρουσιάζεται ο μέσος όρος των μοντέλων για την αστοχία και το ετήσιο έλλειμμα κάθε στόχου. Για την καλύτερη κατανόηση της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στα αποτελέσματα παρουσιάζεται και η ποσοστιαία μεταβολή της αστοχίας και του ετήσιου ελλείμματος σε σχέση με την ιστορική περίοδο (Πίνακας Α-4 Παραρτήματος).

6.2.2 Αποτελέσματα σεναρίου RCP8.5 @+2°C SSP3

Η προσομοίωση του υδροσυστήματος για RCP8.5 @+2°C SSP3 γίνεται για τη χρονική περίοδο 2032-2050 (19 ημερολογιακά έτη). Τα δεδομένα εισόδου (στόχοι, γεωτρήσεις και εισροές στο δίκτυο) προσαρμόζονται με τη μέθοδο που περιγράφεται στην ενότητα 5.6.2. Επίσης εισάγονται οι χρονοσειρές απορροής,

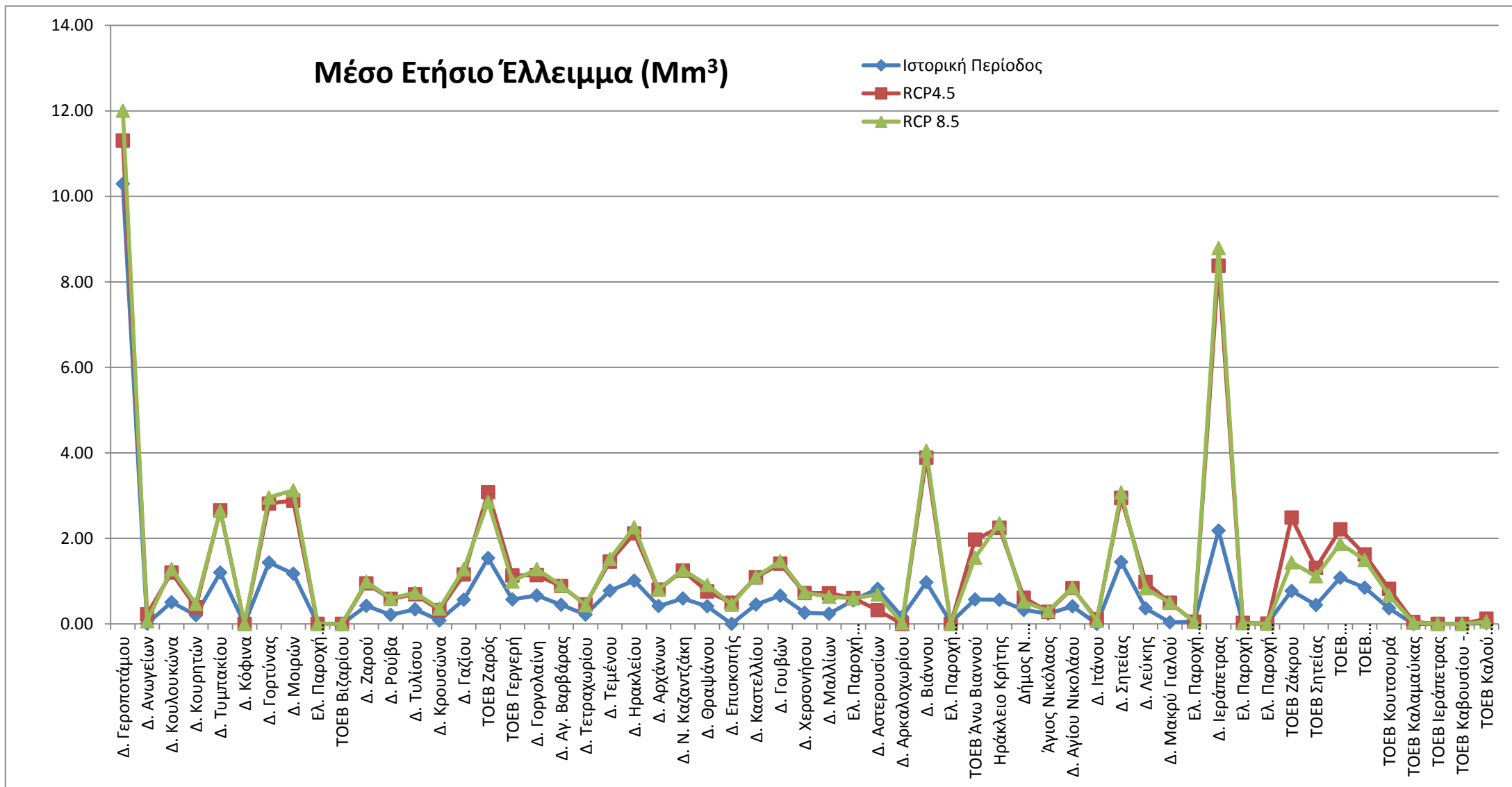
βροχόπτωσης και εξάτμισης σε κάθε ταμιευτήρα όπως προκύπτουν από κάθε κλιματικό μοντέλο και την προσομοίωση τους από το SAC-SMA που εξετάζεται για την περίοδο 2032-2050. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης προκύπτουν ανά μοντέλο, και παρουσιάζεται ο μέσος όρος των μοντέλων για την αστοχία και το ετήσιο έλλειμμα κάθε στόχου καθώς και η ποσοστιαία μεταβολή της αστοχίας και του ετήσιου ελλείμματος σε σχέση με την ιστορική περίοδο (Πίνακας A-5 Παραρτήματος).

6.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων προσομοίωσης υπό κλιματική αλλαγή (Σενάρια RCP4.5 @+2°C SSP3 και RCP8.5 @+2°C SSP3) και ιστορική περίοδο

Στην Εικόνα 25 που ακολουθεί παρουσιάζεται η μεταβολή του μέσου ετήσιου ελλείμματος για κάθε στόχο για την ιστορική περίοδο και τα σενάρια κλιματικής αλλαγής. Προκύπτει, σαν γενική τάση, ότι η κλιματική αλλαγή θα επιφέρει σημαντική αύξηση στο μέσο ετήσιο έλλειμμα των στόχων σε σχέση με την ιστορική περίοδο, ενώ διαφοροποιήσεις παρατηρούνται για τα διαφορετικά σενάρια κλιματικής αλλαγής.

Στην συνέχεια, εξετάζοντας ειδικότερα τους στόχους (Πίνακες A-4 και A-5), μία πρώτη παρατήρηση είναι ότι οι στόχοι οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι σε δίκτυο με ταμιευτήρα παρουσιάζουν διαφορετική απόκλιση κατά την προσομοίωση τους στην ιστορική περίοδο και υπό κλιματική αλλαγή. Αντίθετα, οι στόχοι που ανήκουν σε ένα απλό ή ενδεχόμενα και σύνθετο δίκτυο του συστήματος στο οποίο όμως δεν υπάρχει ταμιευτήρας, παρουσιάζουν την ίδια τάση μεταβολής της αστοχίας και του ελλείμματος για την ιστορική περίοδο και υπό κλιματική αλλαγή. Η παρατήρηση αυτή αποδίδεται στο γεγονός ότι η τροποποίηση των απαιτήσεων των στόχων και εισροών στο δίκτυο έγινε με βάση κάποιο ποσοστό το οποίο ήταν κοινό για όλους τους στόχους και εισροές ανά περίοδο προσομοίωσης ενώ τα κλιματικά δεδομένα που εισάγονται στον κάθε ταμιευτήρα προκύπτουν από τα κλιματικά μοντέλα και διαφέρουν μεταξύ τους.

Η σημασία αυτή της διαφορετικής σύνδεσης κάθε στόχου στο δίκτυο είναι και ο λόγος που δεν μπορεί να γίνει η εξαγωγή συμπερασμάτων για τους στόχους ανά λεκάνη απορροής, παρόλο που τα κλιματικά δεδομένα είναι τα ίδια ανά λεκάνη.

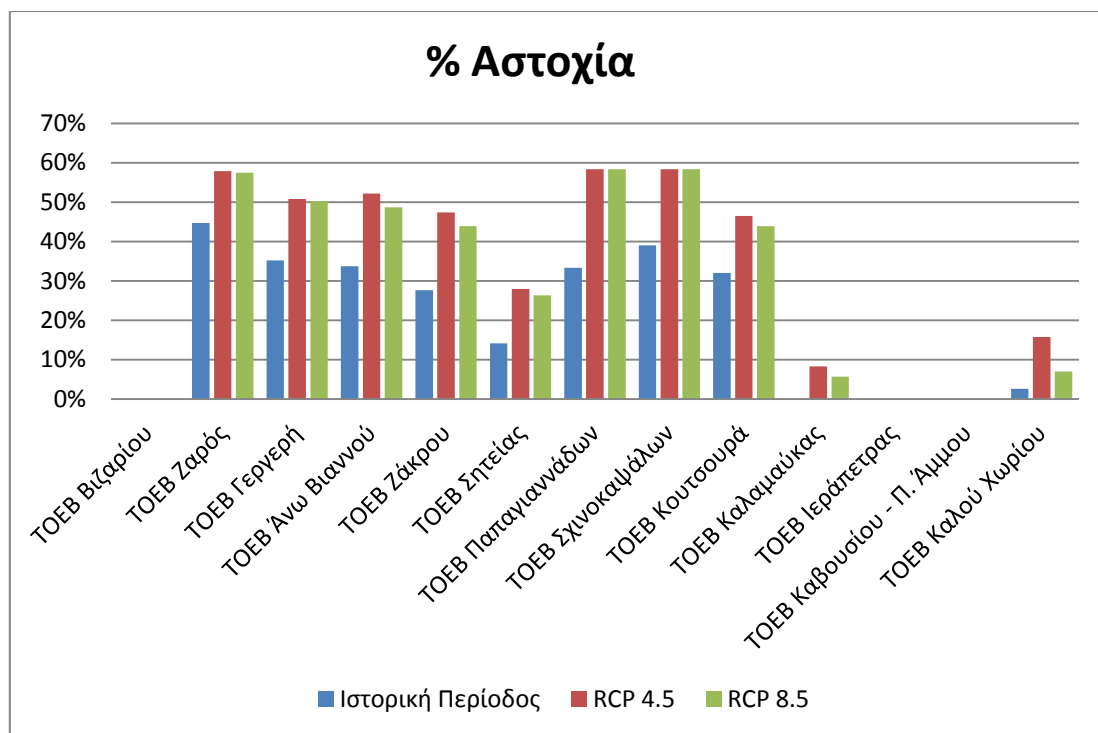


Εικόνα 25: Διάγραμμα μεταβολής μέσου ετήσιου ελλείμματος για κάθε στόχο του συστήματος για την ιστορική περίοδο και τα σενάρια κλιματικής αλλαγής

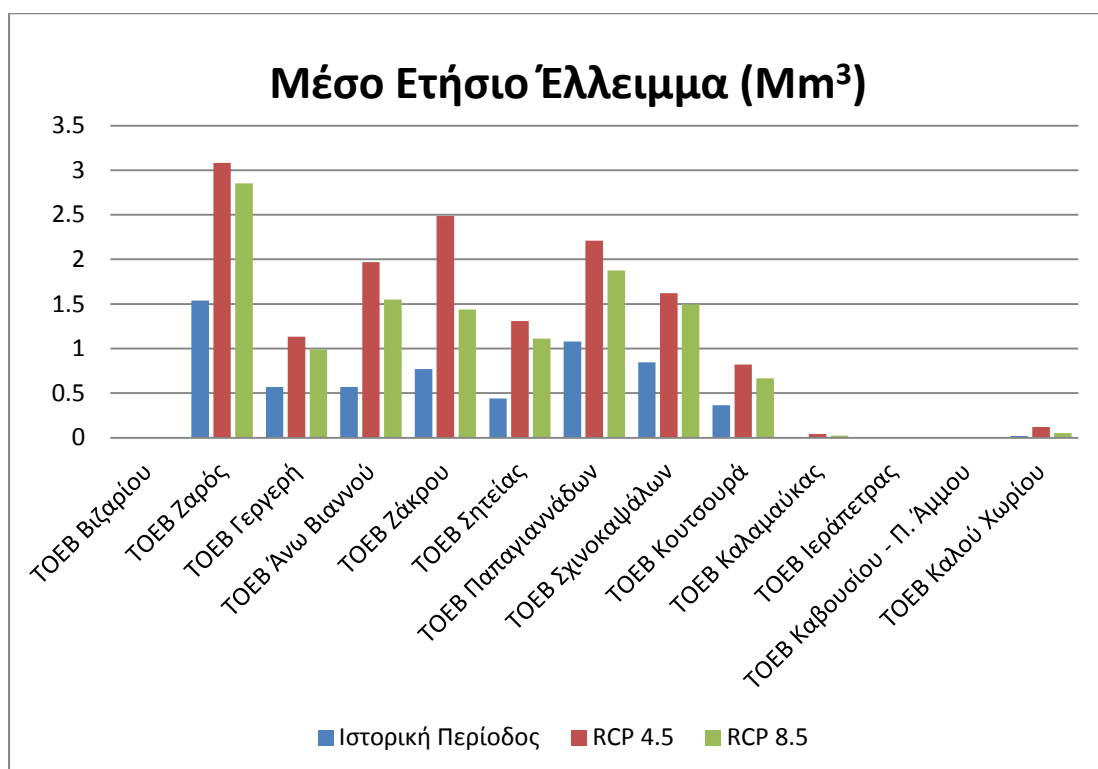
Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι παρατηρείται η ίδια τάση μεταξύ των διαφορετικών στόχων άρδευσης. Οι αστοχίες και τα ελλείμματα των κόμβων άρδευσης παρουσιάζουν αύξηση υπό το καθεστώς της κλιματικής αλλαγής για τα RCP 4.5 και RCP 8.5, λόγω της αύξησης της ζήτησης από την ιστορική περίοδο και μείωσης των εισροών (εισροές στο δίκτυο – βροχοπτώσεις). Ενδεικτικά αναφέρεται ο στόχος ΤΟΕΒ Κουτσουρά ο οποίος αστοχεί από 4 (καλοκαιρινοί μήνες) στην ιστορική περίοδο σε 7 μήνες το χρόνο υπό κλιματική αλλαγή.

Επιπλέον, για τους κόμβους άρδευσης, στο RCP 8.5 η αύξηση της ζήτησης για άρδευση είναι μειωμένη σε σχέση με την αύξηση στο RCP4.5 (+41,8% στο RCP 4.5 και +31,04% στο RCP8.5). Η μεταβολή αυτή παρουσιάζεται και στα αποτελέσματα καθώς οι αστοχίες μέσα στην περίοδο μελέτης και τα ετήσια ελλείμματα των κόμβων άρδευσης, μειώνονται για το RCP8.5 σε σχέση με το RCP4.5. Οι τιμές βέβαια παραμένουν μεγαλύτερες σε σχέση με την ιστορική περίοδο.

Η σχηματική απεικόνιση όλων των παραπάνω παρουσιάζεται στα διαγράμματα που ακολουθούν (Εικόνα 26 και Εικόνα 27). Οι στόχοι ΤΟΕΒ Παπαγιαννάδων και ΤΟΕΒ Σχινοκαψάλων δεν παρουσιάζουν απόκλιση στην ποσοστιαία αστοχία μεταξύ RCP 4.5 και RCP 8.5, όμως η μείωση του ελλείμματος ακολουθεί την πορεία που περιγράφεται παραπάνω. Υπάρχουν και ορισμένοι κόμβοι άρδευσης που δεν εμφανίζουν αστοχία ή έλλειμμα στην ιστορική περίοδο ούτε στα διάφορα σενάρια κλιματικής αλλαγής (ΤΟΕΒ Βιζαρίου, ΤΟΕΒ Ιεράπετρας, ΤΟΕΒ Καβουσίου – Π. Άμμου).



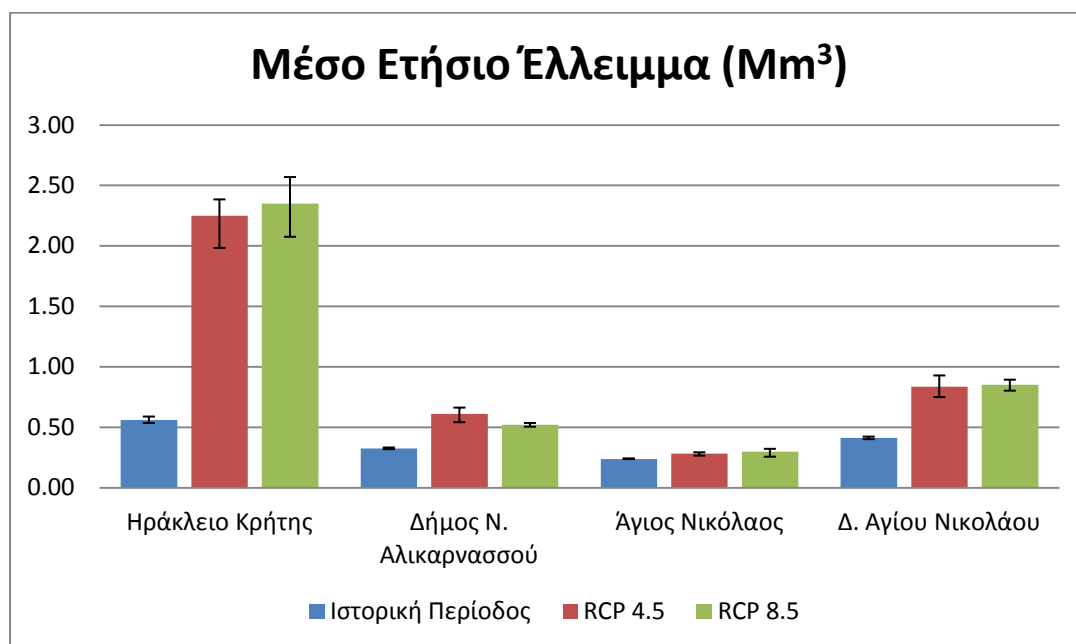
Εικόνα 26: Διάγραμμα μεταβολής ποσοστιαίας αστοχίας για κάθε στόχο άρδευσης για την ιστορική περίοδο και τα σενάρια κλιματικής αλλαγής



Εικόνα 27: Διάγραμμα μεταβολής μέσου ετήσιου ελλείμματος για κάθε στόχο άρδευσης για την ιστορική περίοδο και τα σενάρια κλιματικής αλλαγής

Στην συνέχεια, όπως και στην περίπτωση της ιστορικής περιόδου, πρέπει να γίνει ξεχωριστή αναφορά στα αστικά κέντρα του συστήματος που είναι συνδεδεμένα στο ίδιο δίκτυο το οποίο περιλαμβάνει τους στόχους: Ηράκλειο Κρήτης, Δ. Ν. Αλικαρνασσοῦ, Άγιος Νικόλαος και Δ. Αγίου Νικολάου.

Η επιπτώσεις στη διαθεσιμότητα υδάτων σύμφωνα με τα σενάρια της κλιματικής αλλαγής που εξετάζονται στους στόχους αυτούς παρουσιάζεται στην Εικόνα 28.



Εικόνα 28: Διάγραμμα μεταβολής μέσου ετήσιου ελλείμματος για κάθε στόχο του δικτύου ύδρευσης Ηρακλείου για την ιστορική περίοδο και τα σενάρια κλιματικής αλλαγής (δίνεται εύρος τιμών ανάλογα με τα αποτελέσματα κάθε μοντέλου)

Παρατηρείται ότι, παρόλο που οι στόχοι αυτοί είναι συνδεδεμένοι στο ίδιο δίκτυο και τροφοδοτούνται από τους ίδιους ταμιευτήρες, η απόκριση στα σενάρια κλιματικής αλλαγής είναι διαφορετική, λόγω της διαφορετικής τιμής απαίτησης νερού και της βέλτιστης προσομοίωσης του λογισμικού ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ σε κάθε σενάριο. Πιο συγκεκριμένα, το έλλειμμα αυξάνεται υπό καθεστώς κλιματικής αλλαγής σε κάθε κόμβο, με μικρότερη αύξηση στον Αγ. Νικόλαο (από 0,24 Mm³ αυξάνεται σε 0,28 Mm³ και 0,30 Mm³ για τα RCP 4.5 και RCP 8.5), ενώ σημαντική είναι η αύξηση του μέσου ετήσιου ελλείμματος για το Ηράκλειο Κρήτης όπου από 0,56 Mm³ αυξάνεται σε 2,25 Mm³ και 2,35 Mm³ για τα RCP 4.5 και RCP 8.5 αντίστοιχα.

Επιπλέον, οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής σε κάθε στόχο είναι διαφορετικές αφού στην περίπτωση του Ηρακλείου και Αγ. Νικολάου το μέσο ετήσιο έλλειμμα

αυξάνεται από το RCP4.5 στο RCP8.5 (σύμφωνα με τις τιμές στην ενότητα 6.1.1), στην περίπτωση του δήμου Αγίου Νικολάου η διαφορά του ελλείμματος μεταξύ των κλιματικών σεναρίων είναι $0,1 \text{ Mm}^3$ ενώ ο δήμος Ν. Αλικαρνασσού παρουσιάζει μείωση του ελλείμματος για RCP 8.5 σε σχέση με το RCP 4.5 από $0,61 \text{ Mm}^3$ σε $0,52 \text{ Mm}^3$ και η αστοχία μειώνεται από 42% σε 40%.

Τέλος, η περίπτωση του υδροσυστήματος Ηρακλείου και Αγίου Νικολάου που μόλις εξετάστηκε αποδεικνύει ότι δεν μπορεί να προκύψουν συμπεράσματα για όλους τους στόχους ύδρευσης όπως με τους στόχους άρδευσης. Το ίδιο ισχύει και για τους στόχους οικολογικής παροχής, όπου δεν παρουσιάζουν κοινή τάση στα σενάρια κλιματικής αλλαγής. Αυτό ενδεχόμενα οφείλεται στη διαφορετική προτεραιότητα που τέθηκε στους στόχους: η ύδρευση και οικολογική παροχή χαρακτηρίζονται ως 1^{ης} προτεραιότητας και ακολουθεί η άρδευση που χαρακτηρίζεται ως 2^{ης}.

7. Συμπεράσματα - Προτάσεις

7.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται το υδατικό δυναμικό της ανατολικής Κρήτης για την ιστορική περίοδο (1978-1996) και για διαφορετικά σενάρια κλιματικής αλλαγής.

Ως περιοχή μελέτης ορίζεται η περιοχή της ανατολικής Κρήτης, η οποία χαρακτηρίζεται ως περιοχή ευαίσθητη στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Οι πιέσεις είναι τόσο φυσικές, σχετιζόμενες με τις μειωμένες βροχοπτώσεις και τους λιγότερους υδάτινους πόρους που διαθέτει σε σχέση με τη δυτική Κρήτη, όσο και ανθρωπογενείς, με υψηλές ανάγκες άρδευσης και αυξημένες ανάγκες ύδρευσης καθώς περιλαμβάνει το μεγάλο αστικό κέντρο του Ηρακλείου.

Η ήδη επιβαρυμένη κατάσταση στην περιοχή προβλέπεται να γίνει δυσχερέστερη υπό καθεστώς κλιματικής αλλαγής, με πτωτική τάση των βροχοπτώσεων και αύξηση της θερμοκρασίας.

Από την προσομοίωση του υδροσυστήματος για την ιστορική περίοδο (1978-1996), το κύριο συμπέρασμα είναι ότι το σύστημα είναι ελλειμματικό. Οι περισσότεροι στόχοι ύδρευσης και άρδευσης δεν ικανοποιούνται όλους τους μήνες του χρόνου, με μεγαλύτερα ελλείμματα νερού να εμφανίζονται τους καλοκαιρινούς μήνες. Επίσης, δεν ικανοποιούνται στόχοι ελάχιστης παροχής σε υδατορεύματα, παρατήρηση με μεγάλη οικολογική σημασία λόγω της υφιστάμενης κλιματικής κατάστασης στην περιοχή μελέτης.

Ένα ακόμα συμπέρασμα αφορά τα απομονωμένα συστήματα τα οποία παρουσιάζουν μεγάλες τιμές αστοχίας, σε σχέση με μικρά συστήματα που είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο. Με το όρο απομονωμένα εννοούνται απλά συστήματα που αποτελούνται από μία γεώτρηση και έναν στόχο ύδρευσης ενώ δεν είναι συνδεδεμένα σε κάποιο μεγαλύτερο δίκτυο. Έτσι, η εξυπηρέτηση του στόχου βασίζεται αποκλειστικά στην γεώτρηση αυξάνοντας την πιθανότητα αστοχίας.

Από την προσομοίωση της λειτουργίας του συστήματος για τα διάφορα σενάρια κλιματικής αλλαγής, προκύπτει, σαν γενική τάση, ότι η κλιματική αλλαγή έχει επιφέρει σημαντική αύξηση στο μέσο ετήσιο έλλειμμα των στόχων και τις αστοχίες του συστήματος σε σχέση με την ιστορική περίοδο. Οι μεταβολές των ελλειμμάτων για τους στόχους ύδρευσης και οικολογικής παροχής εμφανίζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους για τα σενάρια κλιματικής αλλαγής, καθώς εξαρτώνται σημαντικά από την σύνδεση κάθε στόχου στο δίκτυο. Αντίθετα, οι στόχοι άρδευσης

εμφανίζουν κοινή συμπεριφορά με αύξηση των ελλειμμάτων υπό κλιματική αλλαγή και σχετική μείωση για το σενάριο RCP 8.5 σε σχέση με το RCP 8.5.

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί η περίπτωση ύδρευσης του Ηρακλείου. Υπό καθεστώς της κλιματικής αλλαγής, ο στόχος αυτός ακολουθεί την γενική τάση και παρουσιάζει αύξηση της αστοχία κατά την περίοδο προσομοίωσης και αύξηση τους ελλείμματος του απαιτούμενου νερού, με το μέσο ετήσιο έλλειμμα να τετραπλασιάζεται (από 0,56 Mm³ την ιστορική περίοδο σε 2,25 Mm³ για RCP 4.5 και 2,35 Mm³ για RCP 8.5). Λαμβάνοντας υπόψη την σημασία της εξυπηρέτησης της μεγαλύτερης πόλης την Κρήτης, αλλά και την ήδη επιβαρυνόμενη κατάσταση, προκύπτει η ανάγκη εξασφάλισης της ύδρευσης με υποδομές και η επιβολή ορθολογικότερης χρήσης νερού.

Συμπερασματικά, με την ανάλυση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων για σενάρια κλιματικής αλλαγής, παρατηρείται μείωση των διαθέσιμων ποσοτήτων νερού για την ικανοποίηση των περισσότερων στόχων ύδρευσης και άρδευσης, ενώ πρέπει να σημειωθεί και το περιβαλλοντικό κόστος λόγω της υποβάθμισης των οικοσυστημάτων, καθώς και οι στόχοι ελάχιστης παροχής εμφανίζουν αυξημένα ελλείμματα νερού.

7.2 Προτάσεις διαχείρισης επιπτώσεων κλιματικής αλλαγής στο υδροσύστημα

Η περιοχή μελέτης βασίζεται σημαντικά στη διαθεσιμότητα υπόγειων υδάτων για την κάλυψη των απαιτήσεων σε νερό. Οι υπεραντλήσεις που ήδη εξαντλούν τον υπόγειο υδροφόρο, καθώς και η περαιτέρω μείωσή του υπό καθεστώς κλιματικής αλλαγής, καθιστούν αναγκαία την ανάγκη εύρεσης εναλλακτικών τρόπων κάλυψης των απαιτήσεων σε νερό. Η έλλειψη επιφανειακών υδάτων για την μερική αντικατάσταση των υπόγειων στην περιοχή μπορεί να αντιμετωπιστεί με την κατασκευή υποδομών όπως φράγματα και ταμιευτήρες. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η εκμετάλλευση των κατακρινήσεων και απορροών ενώ επιτυγχάνεται και εξισορρόπηση της ροής για ορθότερη διαχείριση ανάλογα με τις απαιτήσεις.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η κατασκευή μεγάλων έργων μπορεί να έχει μεγάλο οικονομικό αλλά και περιβαλλοντικό κόστος για την περιοχή, επομένως επιβάλλεται η εξέταση νέων πρακτικών που θα έρθουν να αποτελέσουν συμπληρωματικές ή κυρίαρχες πλευρές των υδατικών ισοζυγίων και διαχειρίσεων. Οι κυριότερες από αυτές τις πρακτικές που μπορούν να εφαρμοστούν στην περιοχή μελέτης είναι η αφαλάτωση του θαλασσινού νερού και η επαναχρησιμοποίηση νερού από

εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες άρδευσης, οι συνδυασμένες και εναλλακτικές χρήσεις νερού όπως φράγματα πολλαπλής χρησιμότητας (συνδυασμοί αρδεύσεων, υδρεύσεων, ηλεκτροπαραγωγής, αναρρύθμισης της ροής, αντιπλημμυρικής προστασίας) και ο τεχνητός εμπλουτισμός χρησιμοποιώντας τις κατακρημνίσεις. Στην περίπτωση του νερού για άρδευση μπορεί να εξεταστεί και η αλλαγή των καλλιεργειών σε νέα είδη που δεν έχουν υψηλές απαιτήσεις νερού.

Σημαντικά ελλείμματα στην απαίτηση νερού προέκυψε ότι παρουσιάζουν απομονωμένα κομμάτια του συστήματος. Η προτεινόμενη λύση είναι η σύνδεση τους σε μεγαλύτερο δίκτυο, το οποίο καλύπτεται από περισσότερες από μία εισροές και συνδέεται και με κάποιον ταμιευτήρα για μην εξαρτάται η κάλυψη των αναγκών μόνο από τη διαθεσιμότητα της συγκεκριμένης χρονικής περιόδου.

Τέλος, από άποψης απαίτησης νερού, καθώς η ανάλυση έδειξε το έλλειμμα να υπάρχει την περίοδο Ιουνίου-Σεπτεμβρίου, πρέπει να υιοθετηθούν πολιτικές που θα ενθαρρύνουν την ανάπτυξη του τουρισμού όχι με περαιτέρω αύξηση της έντασης αυτού τους καλοκαιρινούς μήνες, αλλά με επιμήκυνση της τουριστικής περιόδου στους λοιπούς μήνες του έτους.

7.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Τα αποτελέσματά και τα συμπεράσματα της παρούσας μελέτης καθώς και η εμπειρία που αποκτήθηκε κατά την εξαγωγή τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μελλοντική διεξαγωγή ακριβέστερων μελετών πάνω στο ίδιο αντικείμενο. Επίσης αυτά μπορούν να συσχετισθούν με τα αποτελέσματά μελλοντικών μελετών για την εξαγωγή συμπερασμάτων με βάθος χρόνου για το υπό εξέταση υδατικό σύστημα. Έτσι μερικές προτάσεις για μελλοντικές μελέτες – εργασίες, που θα μπορούσαν είτε να χρησιμοποιήσουν τα αποτελέσματα – συμπεράσματα της παρούσας εργασίας είτε να τα βελτιώσουν θα μπορούσαν να είναι οι ακόλουθες:

1. Η παρούσα εργασία εξετάζει σαν περιοχή μελέτης την ανατολική Κρήτη, καθώς θεωρείται πιο ευαίσθητη στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Η ίδια μεθοδολογία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την σχηματοποίηση και προσομοίωση της λειτουργίας στο λογισμικό ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ ολόκληρης της Κρήτη. Με τον τρόπο αυτό τα συμπεράσματα θα είναι πιο ολοκληρωμένα αφού πρόκειται για ολόκληρο το Υδατικό Διαμέρισμα, ενώ θα είναι και πιο εύκολη η συλλογή των δεδομένων στο επίπεδο ολόκληρης της νήσου.

2. Σε κάθε σενάριο κλιματικής αλλαγής, στην παρούσα εργασία, εισάγονταν στο σύστημα χρονοσειρές μόνο για την εξάτμιση, την βροχόπτωση και απορροή από τα κλιματικά μοντέλα. Σύμφωνα με την μεθοδολογία, οι υπόλοιπες τιμές προσαρμόστηκαν ανάλογα με ποσοστά που προκύπτουν από επιστημονικές έρευνες. Διατυπώνεται επομένως η πρόταση για μία σαφώς ευρύτερη έννοια με την εισαγωγή διαφορετικών χρονοσειρών εισροής στο δίκτυο για κάθε σενάριο κλιματικής αλλαγής, ώστε τα αποτελέσματα να είναι πιο αξιόπιστα.
3. Η προσομοίωση λειτουργίας του συστήματος της περιοχής μελέτης υπό κλιματική αλλαγή έγινε για τα σενάρια RCP4.5 @ +2°C SSP3 για την περίοδο 2037-2066 και RCP8.5 @ +2°C SSP3 για την περίοδο 2026-2055. Μπορεί να γίνει επανάληψη της προσομοίωσης για διαφορετικά σενάρια RCP (διαφορετικά κλιματικά δεδομένα και περίοδοι προσομοίωσης) ή για τα σενάρια RCP4.5 @ +2°C SSP1 και SSP2 για την εξαγωγή συμπερασμάτων δυναμικότητας του συστήματος ανάλογα με τη διαφορετική πληθυσμιακή μεταβολή και οικονομική ανάπτυξη που αυτά περιλαμβάνουν.
4. Η υποβάθμιση του περιβάλλοντος λόγω των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής δημιουργεί την ανάγκη αλλαγής της προτεραιότητας ορισμένων στόχων. Πιο συγκεκριμένα, υψίστης προτεραιότητας μπορούν να τεθούν οι στόχοι οικολογικής παροχής (και ενδεχόμενα η ύδρευση του Ηρακλείου) ενώ η ύδρευση των άλλων περιοχών να πάρει σαν προτεραιότητα στόχου την τιμή 2 και η άρδευσης την τιμή 3. Έτσι, η διάθεση των υδατικών πόρων από το πρόγραμμα θα στοχεύσει στην προστασία των οικοσυστημάτων υπό κλιματική αλλαγή.
5. Μία από τις σημαντικότερες παραδοχές της εργασίας, είναι η προσομοίωση της λειτουργίας του συστήματος χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η παροχετευτικότητα. Προτείνεται, επομένως, η συλλογή δεδομένων που να αφορούν την μέγιστη παροχετευτικότητα κάθε αγωγού ώστε η προσομοίωση να ανταποκρίνεται καλύτερα στην λειτουργία του συστήματος.
6. Στα διαχειριστικά σενάρια που δημιουργήθηκαν θα μπορούσαν να εισαχθούν επιπλέον, οικονομικά μεγέθη σχετικά με την λειτουργία του υδατικού συστήματος (πάγια τέλη λειτουργίας υδραγωγείων, κόστος άντλησης γεωτρήσεων ανά m³ κλπ.). Με την προσθήκη οικονομικών μεγεθών στα διαχειριστικά σενάρια, στα αποτελέσματα της προσομοίωσης, θα προστίθεται το συνολικό λειτουργικό κόστος του υδατικού συστήματος

και θα μπορεί να γίνει μια εκτίμηση των πιθανών οικονομικών οφελών ή ζημιών από την προσθήκη τεχνικών έργων σε αυτό.

7. Εκτός από τις παραμέτρους της παροχετευτικότητας και οικονομικών μεγεθών, όπως περιλαμβάνονται σε άλλες προτάσεις, η σχηματοποίηση του συστήματος βασίστηκε σε παραδοχές στις διάφορες συνιστώσες για λόγους απλούστευσης του συστήματος και έλλειψης στοιχείων. Επομένως η προσομοίωση μπορεί να επαναληφθεί λαμβάνοντας υπόψη τις υπόγειες διαρροές των ταμιευτήρων, τη διάθεσης της υπερχειλίσής τους σε άλλους κόμβους του συστήματος, τη διαρροή των υδραγωγείων αλλά και να τεθούν τιμές ενέργειας στις γεωτρήσεις.
8. Τέλος, με την χρήση του λογισμικού ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ στο ήδη σχηματοποιημένο σύστημα της ανατολικής Κρήτης, μπορεί να εξεταστεί η συνεισφορά μελλοντικών έργων στην ορθότερη διαχείριση των υδατικών πόρων στην περιοχή (φράγματα κ.α.).

Βιβλιογραφία

IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.

IPCC, 2007: Climate change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I,II,III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Core Writing Team, Pachauri,R.K and Reisinger,A. (eds.),Geneva, Switzerland,p.104.

IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Koutroulis, A.G., Grillakis, M.G., Daliakopoulos, I.N., Tsanis, I.K., Jacob, D., 2016. Cross sectoral impacts on water availability at +2°C and +3°C for east Mediterranean island states: The case of Crete. J. Hydrol. 532, 16–28. doi:10.1016/j.jhydrol.2015.11.015

Moss, R. H., J. A. Edmonds, K. A. Hibbard, M. R. Manning, S. K. Rose, D. P. van Vuuren, T. R. Carter, S. Emori, M. Kainuma, T. Kram, G. A. Meehl, J. F. B. Mitchell, N. Nakicenovic, K. Riahi, S. J. Smith, R. J. Stouffer, A. M. Thomson, J. P. Weyant & T. J. Wilbanks, 2010: The next generation of scenarios for climate change research and assessment. Nature 463:747-756.

Nakićenović, N., J. Alcamo, G. Davis, B. de Vries, J. Fenhann, S. Gaffin, K. Gregory, A. Grübler, T.Y. Jung, T. Kram, E.L. La Rovere, L. Michaelis, S. Mori, T. Morita, W. Pepper, H. Pitcher, L. Price, K. Raihi, A. Roehrl, H.-H. Rogner, A. Sankovski, M. Sc, N.V. and Z.D., 2000. IPCC Special Report on Emissions Scenarios. *Cambridge University Press*.

Papagrigoriou, S., Kaimaki, S., Perleros, S., Papageorgiou, N., Lazaridis, L., 2001. Integrated Water Resources Management of Crete, 2001 (in Greek).

Tsanis, I.K., Koutroulis, A.G., Daliakopoulos, I.N. and Jacob, D., 2011. Severe climate-induced water shortage and extremes in Crete. *Climatic Change*, 106(4), pp.667-677.

Vautard R, Gobiet A, Sobolowski S, et al. (2014) The European climate under a 2 °C global warming. Environ Res Lett 9:034006. doi:[10.1088/1748-9326/9/3/034006](https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/3/034006)

Watkins, D. W., and McKinney, D. C. (1995). Recent developments associated with decision support systems in water resources, U.S. National Report to International Union of Geodesy and Geophysics 1991-1994, Reviews of Geophysics, Vol. 33 Supplement 1995, American Geophysical Union.

Αθανασάκης Μανώλης, 2008. Μεταπτυχιακή εργασία: Διαχείριση του Υδατικού Συστήματος του βόρειου τμήματος του νομού Χανίων με χρήση Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων, Αθήνα

Βάσκου Ευμορφία, 2015. Η Ηλιακή Ακτινοβολία στην περιοχή της Ευρώπης (βάσει των κλιματικών μοντέλων που συμμετέχουν στο πρόγραμμα “CMIP5”), Θεσσαλονίκη.

Βροχίδου Κ. Αγγελική-Ελένη, 2009. Μεταπτυχιακή Διατριβή: Χωροχρονική ανάλυση ξηρασίας στη νήσο Κρήτη.

Γιάσογλου, Κ., Κοσμάς, Κ., Μελιάδου, Α., Γαβριήλ, Π., 2001. Εθνική Επιτροπή κατά της Ερημοποίησης, Χάρτης δυνητικού κινδύνου ερημοποίησης της Ελλάδας, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, στην URL <http://www.gnccd.com>

Ευστρατιάδης, Α., Καραβοκυρός, Γ., Κουτσογιάννης, Δ., 2007. Θεωρητική τεκμηρίωση μοντέλου προσομοίωσης και βελτιστοποίησης της διαχείρισης υδατικών συστημάτων «ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ», Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Συστημάτων σε Σύζευξη με Εξελιγμένο Υπολογιστικό Σύστημα ΟΔΥΣΣΕΥΣ, Τεύχος 9, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων-ΕΜΠ, Αθήνα.

Ευστρατιάδης, Α. 2008. Προσομοίωση και βελτιστοποίηση διαχείρισης υδροδοτικού συστήματος Αθήνας, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος-ΕΜΠ, Αθήνα.

Καραβοκυρός, Γ. (2001). Η διαχείριση των πόρων για την ύδρευση της Αθήνας-Το υπολογιστικό σύστημα Υδρονομέας, ΤΑ ΝΕΑ ΤΟΥ ΣΕΓΜ, Σεπτέμβριος-Οκτώβριος.

Καραβοκυρός, Γ., Ευστρατιάδης, Α., Κουτσογιάννης, Δ., 2004. Υδρονομέας (έκδοση 3.2): Σύστημα υποστήριξης της διαχείρισης υδατικών πόρων, Τεύχος 24, ΕΜΠ, Αθήνα.

Κάσσιου Ευγενία, 2015 «Επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην ένταση και συχνότητα των γεγονότων ξηρασίας στην Κρήτη», Αθήνα.

Νασίκας, Α., 2003 «Διαχείριση εξωτερικού υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας» ΕΥΔΑΠ Α.Ε. Λάρνακα

Ντάναση Κωνσταντίνα, 2012. Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία: «Κοστολόγηση αρδευτικού νερού στην περιοχή Μεσσαρά του Νομού Ηρακλείου Κρήτης».

Παναγέα Ιωάννα, 2013 «Επίπτωση κλιματικής αλλαγής στην παραγωγή ενέργειας μέσω φωτοβολταϊκών συστημάτων για την Ελλάδα», Χανιά

Περλέρος Β. et al., 2004. «Υπόγειο Υδατικό Δυναμικό Κρήτης. Προβλήματα και Προοπτικές», Πρακτικά 10ου Διεθνούς Συνεδρίου, Θεσ/νίκη Απρίλιος 2004. Ψηφιακή Βιβλιοθήκη «Θεόφραστος» - Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ

Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων Κρήτης (2001), Περιφέρεια Κρήτης

Σχέδιο διαχείρισης λεκανών απορροής ποταμών ΥΔ Κρήτης (GR13), 2015, Περιφέρεια Κρήτης

Ρομπόκα Μαρία, 2007. Μεταπτυχιακή διατριβή: Εκτίμηση απολήψιμου δυναμικού για την ύδρευση της Αθήνας με εφαρμογή του λογισμικού «ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Χατζηευαγγέλου Κυριακή, 2005. Μεταπτυχιακή Διατριβή: Εκτίμηση υδατικού ισοζυγίου και διαχείριση υδατικών πόρων της υδρολογικής λεκάνης του Κερίτη, Χανιά.

<http://www.metoffice.gov.uk/research/modelling-systems/unified-model/climate-models/explained> (Accessed 16/11/2016)

<http://www.ypes.gr/el/Regions/Aytodioikhsh/StatesMunicipalities/hrakleiou/> (Accessed 04/11/2016)

<http://www.iiasa.ac.at/web/home/resources/publications/options/ClimateChange.en.html> (Accessed 16/11/2016)

www.minagric.gr/greek/data/TOEB_all (Accessed 10/11/2016)

http://www.ipcc-data.org/ddc_gcm_guide.html (Accessed 16/11/2016)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α – Πίνακες Αποτελεσμάτων

Πίνακας Α-1: Αποτελέσματα προσομοίωσης ιστορικής περιόδου με δεδομένα παρατήρησης

Στόχος	Αστοχία	Αστοχία %	Μέσο Ετήσιο Έλλειμμα (Mm ³)	Μέγιστο ετήσιο έλλειμμα (Mm ³)
Δ. Γεροποτάμου	152	67%	10.30	10.30
Δ. Ανωγείων	38	17%	0.00	0.00
Δ. Κουλουκώνα	76	33%	0.51	0.51
Δ. Κουρητών	76	33%	0.20	0.20
Δ. Τυμπακίου	76	33%	1.20	1.20
Δ. Κόφινα	0	0%	0.00	0.00
Δ. Γορτύνας	76	33%	1.43	1.43
Δ. Μοιρών	76	33%	1.17	1.17
Ελ. Παροχή Γεροποτάμου	0	0%	0.00	-
ΤΟΕΒ Βιζαρίου	0	0%	0.00	0.00
Δ. Ζαρού	75	33%	0.42	1.55
Δ. Ρούβα	38	17%	0.20	0.56
Δ. Τυλίσου	57	25%	0.34	0.34
Δ. Κρουσώνα	16	7%	0.05	0.22
Δ. Γαζίου	57	25%	0.57	0.57
ΤΟΕΒ Ζαρός	111	49%	1.61	1.82
ΤΟΕΒ Γεργερή	79	35%	0.58	0.85
Δ. Γοργολαίνη	46	20%	0.66	0.74
Δ. Αγ. Βαρβάρας	49	21%	0.45	0.50
Δ. Τετραχωρίου	57	25%	0.22	0.22
Δ. Τεμένου	32	14%	0.53	1.16
Δ. Ηρακλείου	37	16%	0.97	1.07
Δ. Αρχάνων	57	25%	0.42	0.42
Δ. Ν. Καζαντζάκη	76	33%	0.59	0.59
Δ. Θραψάνου	26	11%	0.41	0.81
Δ. Επισκοπής	0	0%	0.00	0.00
Δ. Καστελλίου	35	15%	0.36	0.49
Δ. Γουβών	57	25%	0.66	0.66
Δ. Χερσονήσου	38	17%	0.26	0.26
Δ. Μαλλίων	38	17%	0.24	0.24
Ελ. Παροχή Καρτέρου	117	51%	0.55	-

Δ. Αστερουσίων	13	6%	0.37	1.33
Δ. Αρκαλοχωρίου	6	3%	0.16	1.59
Δ. Βιάννου	34	15%	0.96	2.66
Ελ. Παροχή Αναποδάρη	9	4%	0.03	-
ΤΟΕΒ Άνω Βιαννού	77	34%	0.57	0.77
Ηράκλειο Κρήτης	87	38%	1.00	2.66
Δήμος Ν. Αλικαρνασσού	105	46%	0.50	0.74
Άγιος Νικόλαος	73	32%	0.31	0.48
Δ. Αγίου Νικολάου	105	46%	0.53	1.16
Δ. Ιτάνου	0	0%	0.00	0.00
Δ. Σητείας	57	25%	1.45	1.45
Δ. Λεύκης	39	17%	0.36	0.55
Δ. Μακρύ Γιαλού	14	6%	0.04	0.13
Ελ. Παροχή Πατέλες	57	25%	0.05	-
Δ. Ιεράπετρας	76	33%	2.18	2.58
Ελ. Παροχή Κουτσουρά	30	13%	0.02	-
Ελ. Παροχή Καλαμαυκιάνου	4	2%	0.00	-
ΤΟΕΒ Ζάκρου	63	28%	0.77	1.50
ΤΟΕΒ Σητείας	30	13%	0.32	0.62
ΤΟΕΒ Παπαγιαννάδων	76	33%	1.08	1.13
ΤΟΕΒ Σχινοκαψάλων	89	39%	0.85	0.99
ΤΟΕΒ Κουτσουρά	73	32%	0.37	0.93
ΤΟΕΒ Καλαμαύκας	0	0%	0.00	0.00
ΤΟΕΒ Ιεράπετρας	0	0%	0.00	0.00
ΤΟΕΒ Καβουσίου - Π. Άμμου	0	0%	0.00	0.00
ΤΟΕΒ Καλού Χωρίου	6	3%	0.02	0.31

Πίνακας Α-2:Αποτελέσματα προσομοίωσης ιστορικής περιόδου με δεδομένα κλιματικών μοντέλων

Στόχος	Αστοχία	Αστοχία %	Μέσο Ετήσιο Έλλειμμα (Mm ³)	Μέγιστο ετήσιο έλλειμμα (Mm ³)
Δ. Γεροποτάμου	152.00	67%	10.30	10.30
Δ. Ανωγείων	38.00	17%	0.00	0.00
Δ. Κουλουκώνα	76.00	33%	0.51	0.51
Δ. Κουρητών	76.00	33%	0.20	0.20
Δ. Τυμπακίου	76.00	33%	1.20	1.20
Δ. Κόφινα	0.00	0%	0.00	0.00
Δ. Γορτύνας	76.00	33%	1.43	1.43
Δ. Μοιρών	76.00	33%	1.17	1.17
Ελ. Παροχή Γεροποτάμου	0.00	0%	0.00	
ΤΟΕΒ Βιζαρίου	0.00	0%	0.00	0.00
Δ. Ζαρού	75.00	33%	0.42	1.55
Δ. Ρούβα	39.25	17%	0.21	0.56
Δ. Τυλίσου	57.00	25%	0.34	0.34
Δ. Κρουσώνα	20.75	9%	0.08	0.23
Δ. Γαζίου	57.00	25%	0.57	0.57
ΤΟΕΒ Ζαρός	102.00	45%	1.54	1.75
ΤΟΕΒ Γεργερή	80.25	35%	0.57	0.85
Δ. Γοργολαίνη	46.00	20%	0.66	0.74
Δ. Αγ. Βαρβάρας	48.00	21%	0.45	0.50
Δ. Τετραχωρίου	57.00	25%	0.22	0.22
Δ. Τεμένου	32.00	14%	0.78	1.13
Δ. Ηρακλείου	37.00	16%	1.01	1.08
Δ. Αρχάνων	57.00	25%	0.42	0.42
Δ. Ν. Καζαντζάκη	76.00	33%	0.59	0.59
Δ. Θραψάνου	24.75	11%	0.41	0.74
Δ. Επισκοπής	0.00	0%	0.00	0.00
Δ. Καστελλίου	37.75	17%	0.45	0.56
Δ. Γουβών	57.00	25%	0.66	0.66
Δ. Χερσονήσου	38.00	17%	0.26	0.26
Δ. Μαλλίων	38.00	17%	0.24	0.24
Ελ. Παροχή Καρτέρου	117.00	51%	0.55	
Δ. Αστερουσίων	13.75	6%	0.82	1.33
Δ. Αρκαλοχωρίου	7.00	3%	0.16	1.59
Δ. Βιάννου	36.75	16%	0.97	2.66
Ελ. Παροχή Αναποδάρη	9.00	4%	0.03	
ΤΟΕΒ Άνω Βιαννού	77.00	34%	0.57	0.77
Ηράκλειο Κρήτης	57.00	25%	0.56	0.96

Δήμος Ν. Αλικαρνασσού	62.00	27%	0.33	0.47
Άγιος Νικόλαος	56.75	25%	0.24	0.46
Δ. Αγίου Νικολάου	76.00	33%	0.41	1.01
Δ. Ιτάνου	0.00	0%	0.00	0.00
Δ. Σητείας	57.00	25%	1.45	1.45
Δ. Λεύκης	39.00	17%	0.36	0.55
Δ. Μακρύ Γιαλού	14.00	6%	0.04	0.13
Ελ. Παροχή Πατέλες	57.00	25%	0.05	
Δ. Ιεράπετρας	76.00	33%	2.18	2.58
Ελ. Παροχή Κουτσουρά	30.00	13%	0.02	
Ελ. Παροχή Καλαμαυκιάνου	4.00	2%	0.00	
ΤΟΕΒ Ζάκρου	63.00	28%	0.77	1.50
ΤΟΕΒ Σητείας	32.25	14%	0.44	0.74
ΤΟΕΒ Παπαγιαννάδων	76.00	33%	1.08	1.13
ΤΟΕΒ Σχινοκαψάλων	89.00	39%	0.85	0.99
ΤΟΕΒ Κουτσουρά	73.00	32%	0.37	0.93
ΤΟΕΒ Καλαμαύκας	0.00	0%	0.00	0.00
ΤΟΕΒ Ιεράπετρας	0.00	0%	0.00	0.00
ΤΟΕΒ Καβουσίου - Π. Άμμου	0.00	0%	0.00	0.00
ΤΟΕΒ Καλού Χωρίου	6.00	3%	0.02	0.31

Πίνακας Α-3: Αποτελέσματα προσομοίωσης σεναρίου RCP4.5 @ +2°C SSP3 και σύγκριση με ιστορική περίοδο

	Μέσος Όρος Μοντέλων RCP 4.5				Σύγκριση ΜΟ Μοντέλων ιστορικής περιόδου - RCP 4.5		
Στόχος	Αστοχία	Αστοχία %	Μέσο Ετήσιο Έλλειμμα (Mm ³)	Μέγιστο ετήσιο έλλειμμα (Mm ³)	Αστοχία % μεταβολή	Μέσο Ετήσιο Έλλειμμα (Mm ³)	Μέγιστο ετήσιο έλλειμμα (Mm ³)
Δ. Γεροποτάμου	152.00	67%	11.31	11.31	0.00	9.82	9.82
Δ. Ανωγείων	114.00	50%	0.22	0.22	200.00	5450.00	5450.00
Δ. Κουλουκώνα	114.00	50%	1.20	1.20	50.00	136.96	136.96
Δ. Κουρητών	114.00	50%	0.39	0.39	50.00	91.09	91.09
Δ. Τυμπακίου	114.00	50%	2.66	2.66	50.00	121.05	121.05
Δ. Κόφινα	0.00	0%	0.00	0.00			
Δ. Γορτύνας	114.00	50%	2.81	2.81	50.00	96.23	96.23
Δ. Μοιρών	114.00	50%	2.88	2.88	50.00	145.57	145.57
Ελ. Παροχή Γεροποτάμου	0.00	0%	0.00				
ΤΟΕΒ Βιζαρίου	0.00	0%	0.00	0.00			
Δ. Ζαρού	118.25	52%	0.95	1.98	57.67	124.29	27.35
Δ. Ρούβα	59.75	26%	0.59	0.88	52.23	175.09	56.99
Δ. Τυλίσου	76.00	33%	0.69	0.69	33.33	104.13	104.13
Δ. Κρουσώνα	29.25	13%	0.32	0.57	40.96	298.46	152.00
Δ. Γαζίου	76.00	33%	1.16	1.16	33.33	104.42	104.42
ΤΟΕΒ Ζαρός	132.00	58%	3.08	3.22	29.41	100.28	83.76
ΤΟΕΒ Γεργερή	115.75	51%	1.13	1.37	44.24	98.55	61.53
Δ. Γοργολαίνη	54.00	24%	1.14	1.27	17.39	72.13	70.66
Δ. Αγ. Βαρβάρας	92.50	41%	0.88	1.00	92.71	98.49	100.50
Δ. Τετραχωρίου	57.00	25%	0.46	0.46	0.00	110.65	110.65
Δ. Τεμένου	36.50	16%	1.46	2.09	14.06	87.78	84.43
Δ. Ηρακλείου	53.25	23%	2.12	2.25	43.92	109.33	109.02
Δ. Αρχάνων	76.00	33%	0.80	0.80	33.33	92.09	92.09
Δ. Ν. Καζαντζάκη	133.00	58%	1.25	1.25	75.00	109.76	109.76
Δ. Θραψάνου	31.00	14%	0.76	1.21	25.25	83.98	64.26
Δ. Επισκοπής	38.00	17%	0.49	0.49			
Δ. Καστελλίου	65.75	29%	1.09	1.32	74.17	140.75	134.67
Δ. Γουβών	76.00	33%	1.41	1.41	33.33	113.51	113.51
Δ. Χερσονήσου	38.00	17%	0.72	0.72	0.00	177.99	177.99
Δ. Μαλλίων	76.00	33%	0.71	0.71	100.00	202.54	202.54
Ελ. Παροχή Καρτέρου	122.50	54%	0.60		4.70	9.31	
Δ. Αστερουσίων	5.00	2%	0.32	1.63	-63.64	-60.68	23.06

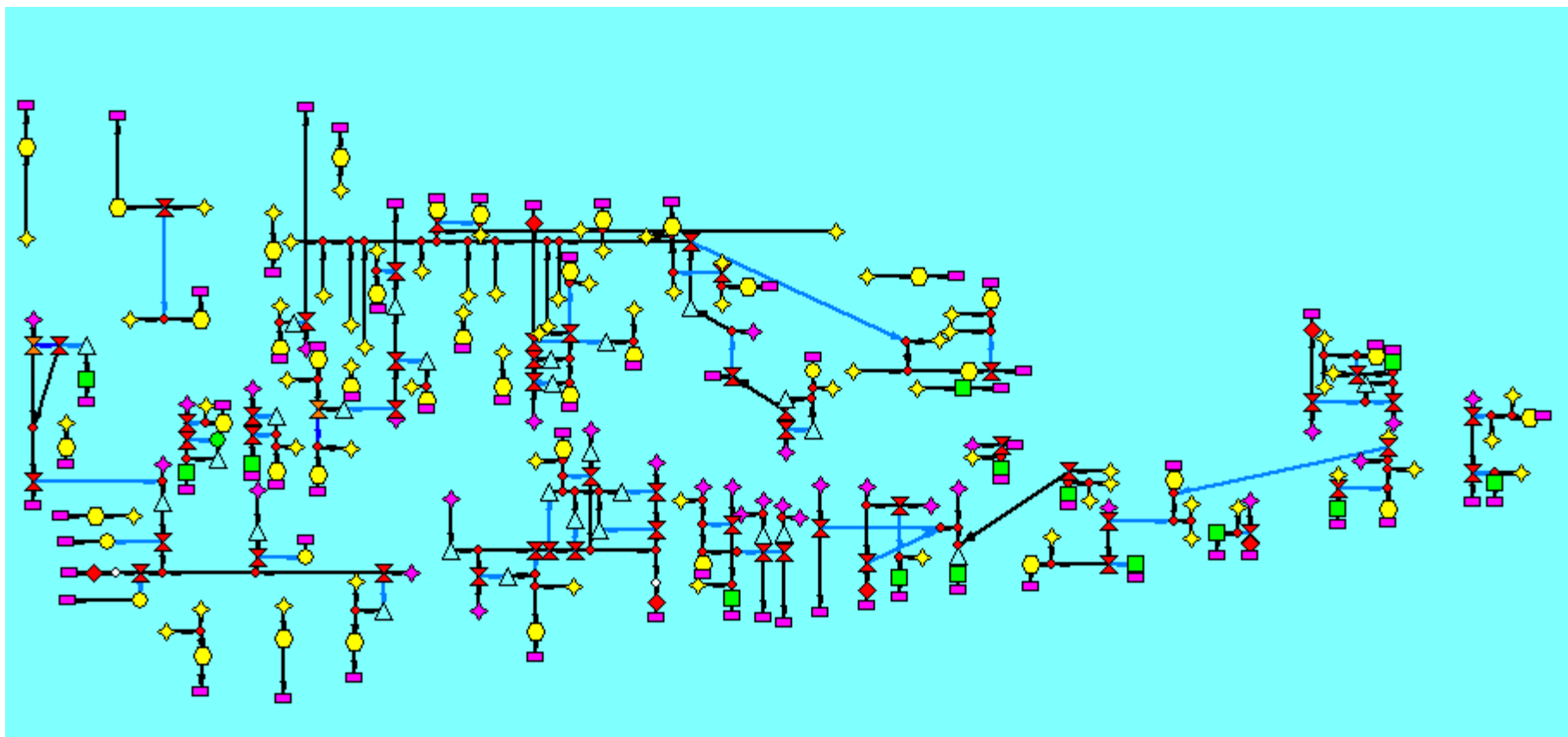
Δ. Αρκαλοχωρίου	0.00	0%	0.00	0.00	-100.00	-100.00	-100.00
Δ. Βιάννου	74.75	33%	3.89	5.38	103.40	299.92	102.45
Ελ. Παροχή Αναποδάρη	0.00	0%	0.00		-100.00	-100.00	
ΤΟΕΒ Άνω Βιαννού	119.00	52%	1.97	2.16	54.55	245.05	181.08
Ηράκλειο Κρήτης	89.00	39%	2.25	3.69	56.14	300.49	285.26
Δήμος Ν. Αλικαρνασσού	95.50	42%	0.61	0.92	54.03	87.78	95.97
Άγιος Νικόλαος	77.25	34%	0.28	0.58	36.12	18.24	25.65
Δ. Αγίου Νικολάου	89.50	39%	0.84	1.64	17.76	103.47	62.65
Δ. Ιτάνου	27.00	12%	0.11	0.40			
Δ. Σητείας	95.00	42%	2.95	2.95	66.67	103.38	103.38
Δ. Λεύκης	76.00	33%	0.98	1.13	94.87	169.70	107.31
Δ. Μακρύ Γιαλού	45.00	20%	0.49	0.75	221.43	1269.44	472.52
Ελ. Παροχή Πατέλες	57.00	25%	0.05		0.00	0.00	
Δ. Ιεράπετρας	132.00	58%	8.38	8.95	73.68	283.96	246.67
Ελ. Παροχή Κουτσουρά	44.00	19%	0.02		46.67	43.75	
Ελ. Παροχή Καλαμαυκιάνου	6.00	3%	0.01		50.00	53.85	
ΤΟΕΒ Ζάκρου	108.00	47%	2.49	3.16	71.43	222.57	110.26
ΤΟΕΒ Σητείας	63.75	28%	1.31	1.86	97.67	196.54	152.24
ΤΟΕΒ Παπαγιαννάδων	133.00	58%	2.21	2.31	75.00	104.63	104.34
ΤΟΕΒ Σχινοκαψάλων	133.00	58%	1.62	1.62	49.44	91.72	64.40
ΤΟΕΒ Κουτσουρά	106.00	46%	0.82	1.39	45.21	124.38	50.05
ΤΟΕΒ Καλαμαύκας	19.00	8%	0.04	0.23			
ΤΟΕΒ Ιεράπετρας	0.00	0%	0.00	0.00			
ΤΟΕΒ Καβουσίου - Π. Άμμου	0.00	0%	0.00	0.00			
ΤΟΕΒ Καλού Χωρίου	36.00	16%	0.12	0.72	500.00	500.00	136.07

Πίνακας Α-4: Αποτελέσματα προσομοίωσης σεναρίου RCP8.5 @ +2°C SSP3 και σύγκριση με ιστορική περίοδο

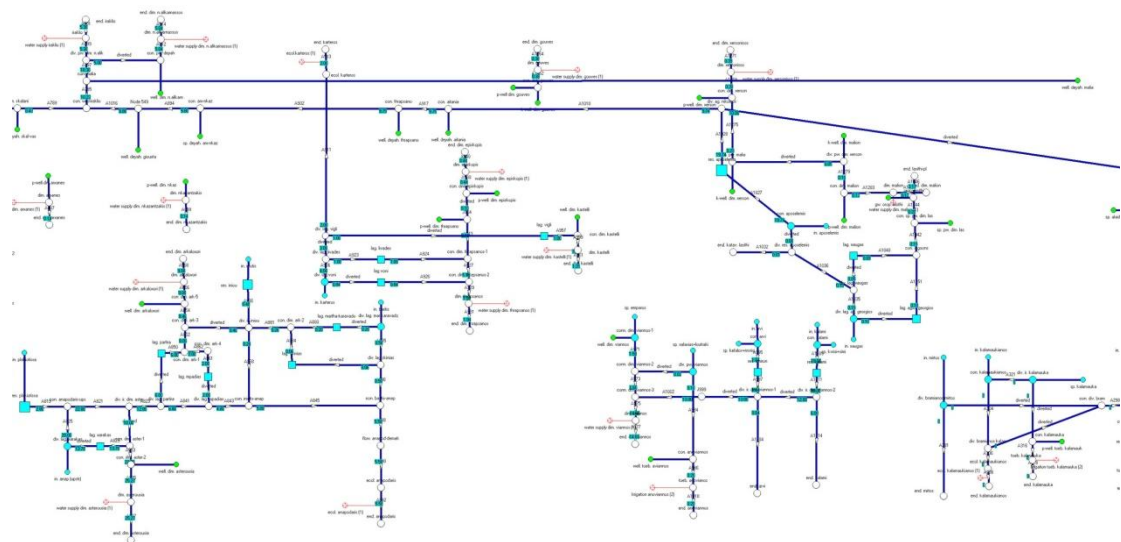
	Μέσος Όρος Μοντέλων RCP 8.5				Σύγκριση ΜΟ Μοντέλων ιστορικής περιόδου - RCP 8.5		
Στόχος	Αστοχία	Αστοχία %	Μέσο Ετήσιο Έλλειμμα (Mm ³)	Μέγιστο ετήσιο έλλειμμα (Mm ³)	Αστοχία % μεταβολή	Μέσο Ετήσιο Έλλειμμα (Mm ³)	Μέγιστο ετήσιο έλλειμμα (Mm ³)
Δ. Γεροποτάμου	152.00	67%	12.01	12.01	0.00	16.62	16.62
Δ. Ανωγείων	114.00	50%	0.06	0.06	200.00	1475	1475
Δ. Κουλουκώνα	114.00	50%	1.28	1.28	50.00	152.96	152.96
Δ. Κουρητών	114.00	50%	0.47	0.47	50.00	130.69	130.69
Δ. Τυμπακίου	114.00	50%	2.64	2.64	50.00	119.63	119.63
Δ. Κόφινα	0.00	0%	0.00	0.00			
Δ. Γορτύνας	114.00	50%	2.96	2.96	50.00	106.14	106.14
Δ. Μοιρών	114.00	50%	3.13	3.13	50.00	166.18	166.18
Ελ. Παροχή Γεροποτάμου	0.00	0%	0.00				
ΤΟΕΒ Βιζαρίου	0.00	0%	0.00	0.00			
Δ. Ζαρού	120.00	53%	0.98	2.09	60.00	133.18	34.34
Δ. Ρούβα	57.25	25%	0.60	0.96	45.86	180.49	71.19
Δ. Τυλίσου	76.00	33%	0.73	0.73	33.33	114.16	114.16
Δ. Κρουσώνα	29.50	13%	0.36	0.63	42.17	338.89	178.78
Δ. Γαζίου	76.00	33%	1.28	1.28	33.33	126.37	126.37
ΤΟΕΒ Ζαρός	131.00	57%	2.85	2.98	28.43	85.32	69.94
ΤΟΕΒ Γεργερή	114.50	50%	0.99	1.23	42.68	73.60	44.32
Δ. Γοργολαίνη	54.25	24%	1.28	1.45	17.93	93.73	94.89
Δ. Αγ. Βαρβάρας	93.00	41%	0.90	1.00	93.75	101.12	100.50
Δ. Τετραχωρίου	57.00	25%	0.44	0.44	0.00	101.39	101.39
Δ. Τεμένου	38.75	17%	1.52	2.17	21.09	95.68	91.44
Δ. Ηρακλείου	54.00	24%	2.26	2.39	45.95	123.60	121.81
Δ. Αρχάνων	76.00	33%	0.81	0.81	33.33	93.05	93.05
Δ. Ν. Καζαντζάκη	133.00	58%	1.26	1.26	75.00	112.29	112.29
Δ. Θραψάνου	33.50	15%	0.91	1.35	35.35	120.87	83.01
Δ. Επισκοπής	38.00	17%	0.45	0.45			
Δ. Καστελλίου	65.25	29%	1.10	1.33	72.85	143.58	136.45
Δ. Γουβών	76.00	33%	1.47	1.47	33.33	122.46	122.46
Δ. Χερσονήσου	38.00	17%	0.73	0.73	0.00	183.01	183.01
Δ. Μαλλίων	76.00	33%	0.63	0.63	100.00	168.22	168.22

Ελ. Παροχή Καρτέρου	121.75	53%	0.60		4.06	8.45	
Δ. Αστερουσίων	10.00	4%	0.68	2.35	-27.27	-16.35	76.96
Δ. Αρκαλοχωρίου	0.75	0%	0.02	0.40	-89.29	-87.20	-74.98
Δ. Βιάννου	77.25	34%	4.05	5.60	110.20	316.64	110.67
Ελ. Παροχή Αναποδάρη	0.75	0%	0.00		-91.67	-88.79	
ΤΟΕΒ Άνω Βιαννού	111.00	49%	1.55	1.70	44.16	171.19	121.46
Ηράκλειο Κρήτης	86.50	38%	2.35	4.10	51.75	318.57	328.90
Δήμος Ν. Αλικαρνασσού	90.25	40%	0.52	0.85	45.56	59.88	79.48
Άγιος Νικόλαος	77.00	34%	0.30	0.58	35.68	24.95	26.41
Δ. Αγίου Νικολάου	88.25	39%	0.85	1.65	16.12	106.93	64.46
Δ. Ιτάνου	23.00	10%	0.07	0.30			
Δ. Σητείας	95.00	42%	3.07	3.07	66.67	111.87	111.87
Δ. Λεύκης	76.00	33%	0.83	1.01	94.87	129.20	84.10
Δ. Μακρύ Γιαλού	45.00	20%	0.49	0.76	221.43	1.266.67	480.92
Ελ. Παροχή Πατέλες	57.00	25%	0.05		0.00	0.00	
Δ. Ιεράπετρας	132.00	58%	8.79	9.39	73.68	302.93	263.83
Ελ. Παροχή Κουτσουρά	30.00	13%	0.02		0.00	0.00	
Ελ. Παροχή Καλαμαυκιάνου	4.00	2%	0.00		0.00	23.08	
ΤΟΕΒ Ζάκρου	100.00	44%	1.44	2.14	58.73	86.64	42.57
ΤΟΕΒ Σητείας	60.00	26%	1.11	1.55	86.05	152.12	110.31
ΤΟΕΒ Παπαγιαννάδων	133.00	58%	1.88	1.95	75.00	73.61	72.83
ΤΟΕΒ Σχινοκαψάλων	133.00	58%	1.50	1.50	49.44	77.16	51.93
ΤΟΕΒ Κουτσουρά	100.00	44%	0.67	1.27	36.99	82.74	37.19
ΤΟΕΒ Καλαμαύκας	13.00	6%	0.02	0.18			
ΤΟΕΒ Ιεράπετρας	0.00	0%	0.00	0.00			
ΤΟΕΒ Καβουσίου - Π. Άμμου	0.00	0%	0.00	0.00			
ΤΟΕΒ Καλού Χωρίου	16.00	7%	0.05	0.51	166.67	165.00	67.87

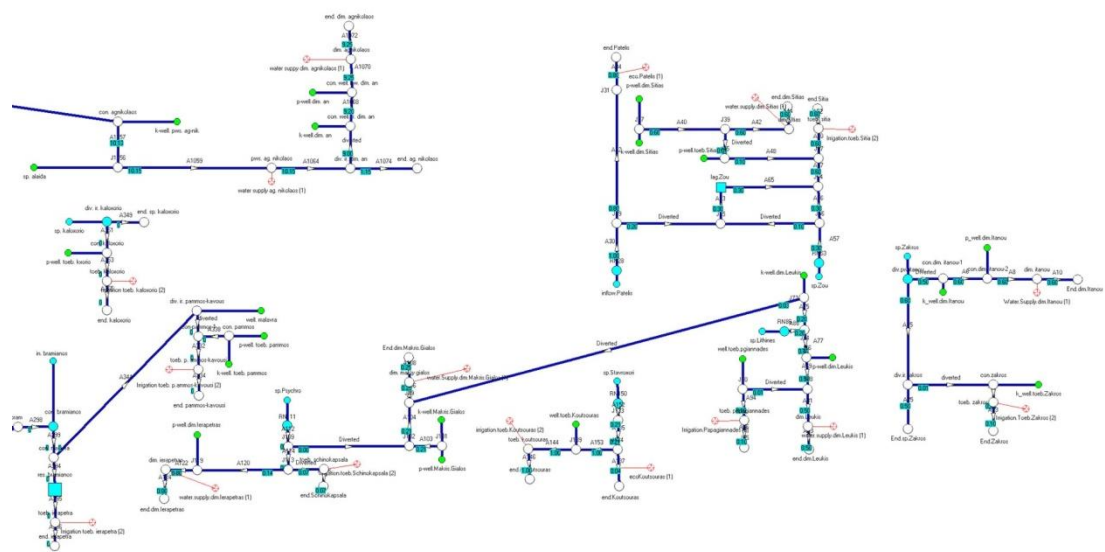
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β - Απεικόνιση σχηματοποίησης δικτύου στα μοντέλα RIBASIM και ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ



Εικόνα 29: Σχηματοποίηση δικτύου περιοχής μελέτης στο μοντέλο RIBASIM - εμφάνιση συνιστωσών χωρίς χάρτη



Εικόνα 31:Σχηματοποίηση δικτύου περιοχής μελέτης στο μοντέλο ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ – Περιοχή Β (Νομός Ηρακλείου – Νομός Λασιθίου)



Εικόνα 32:Σχηματοποίηση δικτύου περιοχής μελέτης στο μοντέλο ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ – Περιοχή Γ (Νομός Λασιθίου)