

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ Α. ΒΑΛΑΚΟΥ
ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ
ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ
ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΚΟΙΛΙΑΡΗ

Επιβλέπων Καθηγητής: Νικόλαος Νικολαΐδης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
2021

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ Α. ΒΑΛΑΚΟΥ
ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ
ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ
ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΚΟΙΛΙΑΡΗ

Εξεταστική επιτροπή:

Νικόλαος Νικολαΐδης (επιβλέπων)
Καρατζάς Γεώργιος
Λιλλή Μαρία

Ευχαριστίες

Θα ήθελα καταρχήν να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή κ. Νικόλαο Νικολαΐδη για την ευκαιρία που μου έδωσε να εκπονήσω την διπλωματική μου εργασία στο Εργαστήριο Υδρογεωχημικής Μηχανικής και Αποκατάστασης Εδαφών, για τις συμβουλές του και τον χρόνο που αφιέρωσε καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την Σοφία Νεραντζάκη για την συνεχή συμβολή της σε ζητήματα της μελέτης καθώς και για την θερμή υποστήριξη που μου παρείχε καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

Τέλος ευχαριστώ τους γονείς μου για την υποστήριξη και την υπομονή τους όλα αυτά τα χρόνια.

Περίληψη

Η έρευνα πραγματοποιείται την υδρολογική προσομοίωση της λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη και την εκτίμηση των κοινωνικο-οικονομικών επιπτώσεων στη διαχείρισή της για δυο μελλοντικές περιόδους (2030 έως 2050 και 2070 έως 2090). Η παρούσα μελέτη εκτιμά την παροχή που προέρχεται από τα επιφανειακά ύδατα του ποταμού Κοιλιάρη καθώς και τις καρστικές πηγές του Στύλου και των Αρμένων, ενσωματώνοντας την ευρύτερη περιοχή του δήμου Αποκορώνου στην προσομοίωση. Αρχικά υπολογίζονται οι υδατικές ανάγκες της περιοχής βάσει των κοινωνικο-οικονομικών δεδομένων που συλλέχθηκαν. Αυτά αφορούν δημογραφικά δεδομένα, χρήσεις γης, ζωικό κεφάλαιο, τουρισμό και άδειες χρήσης νερού. Στη συνέχεια χρησιμοποιείται το υδρολογικό μοντέλο Soil and Water Assessment Tool (SWAT) σε περιβάλλον GIS καθώς και το καρστικό μοντέλο Karst-SWAT για τον υπολογισμό της παροχής των καρστικών πηγών της περιοχής. Για την βαθμονόμηση και επαλήθευση του μοντέλου για την ιστορική περίοδο 2004 έως 2018, χρησιμοποιούνται βροχομετρικά και θερμοκρασιακά δεδομένα από σταθμούς της περιοχής καθώς και δεδομένα ημερήσιας παροχής του ποταμού. Η αξιολόγηση της μοντελοποίησης πραγματοποιείται με χρήση στατιστικών δεικτών. Το βαθμονομημένο μοντέλο χρησιμοποιείται για να εκτιμηθεί η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στο υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης για τις δύο μελλοντικές περιόδους βάσει ενός δυσμενούς σεναρίου κλιματικής αλλαγής. Για κάθε μελλοντική περίοδο πραγματοποιείται σύγκριση της εκτιμώμενης παροχής με τις υδατικές ανάγκες της περιοχής, συνυπολογίζοντας και την αβεβαιότητα λόγω κλιματικού σεναρίου, για να καθοριστεί αν θα υπάρξουν περίοδοι ελλειμματικών υδατικών αποθεμάτων. Η έρευνα συνδυάζει την υδρολογική προσομοίωση της περιοχής μελέτης με τις ανθρώπινες πιέσεις ώστε να εκτιμηθεί η ανάγκη λήψης μέτρων για τον μετριασμό και την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή.

Abstract

The research deals with the hydrological simulation of the Koiliaris River Basin and the assessment of the socio-economic impacts on its management, for two future periods (2030 to 2050 and 2070 to 2090). The present study evaluates the flow originating from the surface runoff of the Koiliaris river as well as the flow from the karst springs of Stylos and Armenoi, incorporating the extended area of the municipality of Apokoronas in the simulation. Initially, the water needs of the area are calculated based on collected socio-economic data, which include demographic data, land uses, livestock, tourism, and water use permits. Then, the GIS-based hydrological model Soil and Water Assessment Tool (SWAT) is used, along with the karst model (Karst – SWAT) to assess the flow of the karst springs in the area. For the calibration and verification of the model for the historical period 2004 to 2018, rainfall and temperature data from stations in the area are used in combination with daily river flow data. The evaluation of the model is performed using statistical indicators. The calibrated model is used to estimate the impact of climate change on the basin's water balance for the two future periods under an adverse climate change scenario. For each future period, the estimated water supply is compared with the water needs of the area, taking into account the uncertainty due to the climatic scenario, to determine whether there will be periods of water deficit. The research combines the hydrological simulation of the study area with human pressures to assess the need for mitigation and adaptation to climate change.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	
Περίληψη	iii
Abstract	iv
Κατάλογος Διαγραμμάτων	vi
Κατάλογος Πινάκων	vii
1. Εισαγωγή	1
2. Θεωρητικό υπόβαθρο	3
2.1 Διαχείριση Υδατικών Πόρων	3
2.2 Υδρολογικός Κύκλος	5
2.3 Υδρολογικά Μοντέλα	8
2.3.1 Ορισμός Μοντέλου	8
2.3.2 Κατηγορίες Υδρολογικών Μοντέλων	9
2.3.3 Βαθμονόμηση Μοντέλου	13
2.4 Μοντέλο SWAT (Soil and Water Assessment Tool)	14
2.4.1 Γενική Περιγραφή Μοντέλου	14
2.4.2 Περιγραφή Κλίματος και Υδρολογίας	16
2.4.3 Κάλυψη Γης – Ανάπτυξη φυτών	17
2.5 SWAT Karst Model	18
2.6 Shared Socio-Economic Pathways	19
3. Κοινωνικο-οικονομικά δεδομένα περιοχής Αποκορώνου	22
3.1 Περιγραφή Ευρύτερης Περιοχής	22
3.2 Κοινωνικο-Οικονομικά Δεδομένα Δήμου Αποκορώνου	25
3.2.1 Δημογραφικά Δεδομένα	25
3.2.2 Χρήσεις Γης	26
3.2.3 Ζωικό Κεφάλαιο	29
3.2.4 Έσοδα – Έξοδα Κοινοτήτων	31
3.2.5 Τουρισμός	32
3.2.6 Άδειες Χρήσης Νερού	33
3.2.7 Συμπεράσματα κοινωνικο-οικονομικών δεδομένων	34
4. Υπολογισμός Υδατικών Αναγκών Περιοχής Αποκορώνου	35
5. Αποτελέσματα	39
5.1 Μοντελοποίηση Υδρολογίας Πηγής Στύλου	39
5.2 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Μοντέλου	41
5.3 Μοντελοποίηση Καρστικής Πηγής Αρμένων	44
5.4 Σενάρια Κλιματικής Αλλαγής	45
5.5 Αποτελέσματα Μοντελοποίησης Σεναρίων Κλιματικής Αλλαγής	48
6. Συμπεράσματα	53
Βιβλιογραφία	55
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	59

Κατάλογος Διαγραμμάτων

3.1: Πληθυσμός Δήμου Αποκορώνου ανά έτη	25
3.2: Έκταση Γεωργικής Γης ανά έτος	26
3.3: Έκταση Βοσκοτόπων ανά έτος	26
3.4: Έκταση Δενδρώδη Καλλιέργειών ανά έτος	26
3.5: Έκταση Αγροαναπαύσεων ανά έτος	27
3.6: Έκταση Ετήσιων Καλλιέργειών ανά έτος	28
3.7: Έκταση Αμπελιών ανά έτος	28
3.8: Ζωικό Κεφάλαιο ανά έτος	30
3.9: Σύγκριση Εσόδων Χανίων – Αποκορώνου	31
3.10: Σύγκριση Εξόδων Χανίων - Αποκορώνου	31
3.11: Έσοδα – Έξοδα πόλης Χανίων	32
3.12: Αριθμός Αφίξεων ατόμων ανά έτος	33
3.13: Ξενοδοχειακό Δυναμικό ανά έτος	33
4.1: Χρήση Νερού ανά Μήνα	38
5.1: Υδρολογική Προσομοίωση ποταμού Κοιλιάρη	43
5.2: Διακύμανση Παροχής Περιόδου 2004 – 2018 ανά μήνα	43
5.3: Μοντελοποίηση Καρστικής πηγής Αρμένων	45
5.4: Εξέλιξη Βροχόπτωσης ανά Έτος	46
5.5: Σύγκριση Βροχοπτώσεων ανά Έτος ανά Περίοδο	47
5.6: Εξέλιξη Μέσης Τιμής Θερμοκρασίας ανά Έτος	47
5.7: Σύγκριση Θερμοκρασιών ανά περίοδο	48
5.8: Μοντελοποίηση Πηγής Στύλου Περιόδου 2030 – 2050	49
5.9: Μοντελοποίηση Πηγής Αρμένων Περιόδου 2030 – 2050	49
5.10: Μοντελοποίηση Πηγής Στύλου Περιόδου 2070 – 2090	50
5.11: Μοντελοποίηση Πηγής Αρμένων Περιόδου 2070 – 2090	50
5.12: Σύγκριση Παροχών Περιόδου 2030 – 2050 με Υδατικές Ανάγκες	51
5.13: Σύγκριση Παροχών Περιόδου 2030 – 2050 με Υδατικές Ανάγκες	51

Κατάλογος Πινάκων

2.1: Παγκόσμια Ποσότητα Υδάτων	7
2.2: Παγκοσμιο ισοζύγιο Υδάτων	7
3.1: Live Stock Unit	29
3.2: Τουριστικό δυναμικό (κλίνες) ανά έτος	32
3.3: Άδειες χρήσης νερού ανά κοινότητα Δήμου Αποκορώνου	34
4.1 Κατανάλωση Νερού σε m^3	35
4.2: Ετήσια Κατανάλωση νερού ανά είδος καλλιέργειας	35
4.3: Κατανομή ετήσιας απαίτησης νερού ανά μήνα	36
4.4: Κατανάλωση νερού ανά είδος ζώου ανά ημέρα	36
4.5: Τουριστικό δυναμικό (κλίνες) ανά έτος	37
4.6: Κατανάλωση νερού κλινών ανά μήνα	37
4.7: Κατανάλωση νερού σε m^3 ανά μήνα	37
5.1: Παράμετροι βαθμονόμησης SWAT	40
5.2: Αξιολόγηση Απόδοσης για Στατιστικά Μηνιαίου Χρονικού Βήματος	42
5.3: Στατιστικοί δείκτες αξιολόγησης μοντέλου	43
5.4: Πίνακας τροποποίησης παραμέτρων	44
5.5: Αύξηση θερμοκρασίας σε $^{\circ}C$ ανά περίοδο ανά σενάριο	45
5.6: Μέση ογκοπαροχή ανά περίοδο σε hm^3	48
5.7: Αποτελέσματα εφαρμογής συντελεστή αβεβαιότητας	52
ΠΑ1: Πληθυσμιακή μεταβολή Δήμου Αποκορώνου	59
ΠΑ2: Ζωικό Κεφάλαιο έτους 1961	60
ΠΑ3: Ζωικό Κεφάλαιο έτους 1971	61
ΠΑ4: Ζωικό Κεφάλαιο έτους 1991	61
ΠΑ5: Ζωικό Κεφάλαιο 1961 – 2001	62
ΠΑ6: Ζωικό Κεφάλαιο έτους 2002 – 2017	63
ΠΑ7: Είδος και έκταση γης έτους 1961	64
ΠΑ8: Είδος και έκταση γης έτους 1971	65
ΠΑ9: Είδος και έκταση γης έτους 1991	66
ΠΑ10: Είδος και έκταση γης έτους 2000	67
ΠΑ11: Είδος και έκταση γης έτους 2009	68
ΠΑ12: Τουριστικό δυναμικό (κλίνες) ανά έτος Αποκορώνου	69
ΠΑ13: Τουριστικά στοιχεία Χανίων περιόδου 1977 - 1996	69
ΠΑ14: Έσοδα – Έξοδα Δήμου Αποκορώνου	70
ΠΑ15: Έσοδα – Έξοδα πόλης Χανίων	70

1. Εισαγωγή

Το νερό καλύπτει το 70% της επιφάνειας του πλανήτη μας, γεγονός το οποίο μας οδηγεί να το θεωρούμε δεδομένο. Εντούτοις μόνο το 2,5% της συνολικής ποσότητας του νερού είναι γλυκό και η κατανομή του ποικίλει ανά περιοχή. Το νερό ανανεώνεται μέσω του υδρολογικού κύκλου, ωστόσο ο ανθρώπινος παράγοντας ασκεί σοβαρές πιέσεις που επηρεάζουν τα υδατικά συστήματα.

Οι ολοένα και μεγαλύτερες προκλήσεις που αντιμετωπίζονται παγκοσμίως στο πλαίσιο της προσπάθειας για οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη συχνά συνδέονται με προβλήματα στη διαχείριση των διαθέσιμων υδατικών πόρων. Η έλλειψη νερού, η περιβαλλοντική υποβάθμιση, οι επιπτώσεις ακραίων φαινομένων, όπως οι πλημμύρες και οι ξηρασίες και οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής αποτελούν παγκόσμια προβλήματα που απαιτούν άμεση δράση και σχεδιασμό κατάλληλων πολιτικών ενεργειών και μέτρων.

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί μία από τις κυριότερες παγκόσμιες απειλές, οι επιπτώσεις της οποίας, είναι ήδη ορατές σε όλο τον πλανήτη και αναμένεται να γίνουν πιο αισθητές στο μέλλον. Συγκεκριμένα, απόρροια της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στον υδρολογικό κύκλο αποτελούν η αυξανόμενη περιεκτικότητα του εξατμιζόμενου νερού, οι αλλαγές στην συχνότητα των βροχοπτώσεων, η μείωση της χιονοκάλυψης και η τήξη των πάγων, καθώς και οι αλλαγές στην υγρασία του εδάφους.

Μελέτες δεικτών ακραίων κλιματικών συνθηκών αναφέρουν μεταβολές κυρίως στις θερινές θερμοκρασίες, όπου τόσο οι ελάχιστες αλλά και οι μέγιστες ακραίες θερμοκρασίες παρουσιάζουν σημαντικές αυξητικές τάσεις. Σχετικές μελέτες έχουν δείξει ότι η Μεσογειακή ζώνη τείνει να αντιμετωπίσει ένα θερμότερο κλίμα με λιγότερη συνολική βροχόπτωση, αλλά με θετικές τάσεις στα επεισόδια ραγδαίας ημερήσιας βροχόπτωσης (Giannakopoulos et al., 2005).

Κύριες πηγές υδατικών πόρων αποτελούν η βροχόπτωση, τα υπόγεια ύδατα, το νερό από τα ποτάμια, λίμνες και φράγματα. Η βροχόπτωση είναι ο κύριος παράγοντας που τροφοδοτεί όλες τις πηγές και γι' αυτό το λόγο μείωση στη βροχόπτωση λόγω κλιματικής αλλαγής θα επηρεάσει και τα υδατικά αποθέματα,

Η κλιματική αλλαγή επηρεάζει πολλούς οικονομικούς τομείς, με τη γεωργία να αποτελεί έναν από τους πιο εκτεθειμένους, καθώς εξαρτάται άμεσα από κλιματικούς παράγοντες όπως τη θερμοκρασία, την ηλιοφάνεια και τη βροχόπτωση για τη βιωσιμότητά της. Το πρόβλημα αυτό επηρεάζει έμμεσα την κοινωνία και απαιτεί τόσο ισχυρή διεπιστημονική βάση γνώσης για την αντιμετώπιση και δημιουργία πολιτικής και άλλων δράσεων ώστε να καλύπτουν όλο το φάσμα των φυσικών επιστημών, των κοινωνικών επιστημών και των ανθρωπιστικών επιστημών (Chen et al., 2020).

Η μη ορθολογική χρήση νερού περιορίζει σημαντικά τις δυνατότητες για ανάπτυξη. Στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι ο συνυπολογισμός των υδατικών αναγκών της περιοχής του Δήμου Αποκορώνου στα σενάρια κλιματικές αλλαγής. Τα κοινωνικο-οικονομικά σενάρια αποτελούν σημαντικό εργαλείο για την διερεύνηση των μακροπρόθεσμων συνεπειών της ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής και των διαθέσιμων επιλογών. Τα Shared socio-economic pathways είναι σενάρια ανάπτυξης με χρήση κοινωνικο-οικονομικών δεδομένων σε τοπικό επίπεδο που εστιάζουν στον μετριασμό και στην προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή. Είναι λοιπόν σενάρια ανάπτυξης που ενσωματώνουν ποιοτικές και ποσοτικές πληροφορίες όπως δημογραφικά στοιχεία, χρήσεις γης, οι οποίες καθορίζουν έμμεσα τις μελλοντικές αλλαγές στις παραμέτρους της κλιματικής αλλαγής.

Στη μελέτη αυτή πραγματοποιείται μοντελοποίηση του υδατικού ισοζυγίου της ευρύτερης λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη (επιφανειακά ύδατα και καρστικές πηγές). Έπειτα εφαρμόζεται ένα δυσμενές σενάριο κλιματικής αλλαγής για δύο μελλοντικές περιόδους (2030 – 2050 και 2070 – 2090) και γίνεται σύγκριση των μελλοντικών υδατικών αποθεμάτων με τις υδατικές ανάγκες της περιοχής. Τέλος συνυπολογίζοντας συντελεστή αβεβαιότητας λόγω κλιματικού σεναρίου (Nerantzaki et al., 2020) συγκρίνεται η αλλαγή στη συχνότητα των ελλειμματικών περιόδων. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν την ανάγκη λήψης μέτρων μετριασμού και προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή για την περιοχή μετά το 2070.

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο των βασικών εννοιών καθώς και των υδρολογικών μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν. Στο κεφάλαιο 3 γίνεται αναφορά στην περιοχή μελέτης και τα χαρακτηριστικά της καθώς και στα κοινωνικό-οικονομικά δεδομένα και τις τάσεις τους. Στο κεφάλαιο 4 υπολογίζονται οι υδατικές ανάγκες της περιοχής βάσει των δεδομένων. Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης της λεκάνης απορροής, τα αποτελέσματα των κλιματικών σεναρίων και η σύγκριση τους με τα υδατικές ανάγκες. Στο κεφάλαιο 6 γίνεται ανασκόπηση της μελέτης και των αποτελεσμάτων. Τέλος, στο Παράρτημα βρίσκονται όλα τα κοινωνικό-οικονομικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν.

2. Θεωρητικό υπόβαθρο

2.1 Διαχείριση Υδατικών Πόρων

Τόσο οι άνθρωποι όσο και η οικονομία επωφελείται εδώ και πολλούς αιώνες από τους υδατικούς πόρους. Τα οφέλη είναι πολλά. Ωστόσο σε πολλές περιοχές του κόσμου οι υδατικοί πόροι δεν είναι επαρκείς ούτε για να καλύψουν τις βασικές ανάγκες των ανθρώπων. Συνήθεις αιτίες για το φαινόμενο αυτό είναι οι ανεπαρκείς και υποβαθμισμένες δομές, η υπερβολική ανάληψη νερού από ποταμούς, η ρύπανση από βιομηχανικές και γεωργικές δραστηριότητες, οι πλημμύρες, η αλλοίωση ενδιαιτημάτων από αναπτυξιακές δραστηριότητες κ.α. (Loucks and van Beek, 2017).

Με την είσοδο στον 21^ο αιώνα τα προβλήματα αυξάνονται καθώς στην έλλειψη νερού έρχεται να προστεθεί και η υποβάθμιση του περιβάλλοντος από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Στο μεσογειακό χώρο και ιδιαίτερα στα νησιά, το νερό χρησιμοποιείται με μη αειφόρο τρόπο με αποτέλεσμα το μεσογειακό περιβάλλον να είναι οικολογικά εύθραυστο και να δοκιμάζεται από τις επικρατούσες κοινωνικές και οικονομικές τάσεις (Choukr-Allah et al., 2012). Το μέλλον του Μεσογειακού χώρου απειλείται από την αυξανόμενη πίεση στις παράκτιες περιοχές που προέρχεται από την συνεχή άμβλυνση των διαφορών μεταξύ τουριστικών και αγροτικών περιοχών και από τις σημαντικές αλληλεξαρτήσεις τους στους υδατικούς πόρους, από υψηλή ευαισθησία στη ρύπανση και από την εύκολα ανατρεπόμενη ισορροπία μεταξύ νερού και εδάφους (απόθεση ιζημάτων στους ταμιευτήρες, σταθερότητα όχθης ποταμών). Η πλειονότητα του πληθυσμού είναι συγκεντρωμένη στις παράκτιες ζώνες και ο αυξανόμενος τουρισμός προκαλεί έντονη εποχιακή ζήτηση σε νερό. Ως εκ τούτων η ανισοκατανομή της ζήτησης του νερού τόσο στο χώρο όσο και στο χρόνο αυξάνει ιδιαίτερα το κόστος κάλυψης των αναγκών (Benedini and International Symposium on the Application of Systems Analysis to Water Resources Management, 1992). Όλοι οι παράγοντες αυτοί επιβάλλουν την εφαρμογή προληπτικού σχεδιασμού και διαχείρισης και όχι την αναμονή εμφάνισής έντονων φαινομένων ρύπανσης, διάβρωσης και έλλειψης νερού.

Ως διαχείριση υδατικών πόρων (ΔΥΠ) νοείται μία δυναμική διαδικασία που αποβλέπει στην πληρέστερη δυνατή κάλυψη των σημερινών και μελλοντικών αναγκών, για κάθε χρήση με βάση ένα ορθολογικό προγραμματισμό που στηρίζεται σε αντικειμενικά κριτήρια και διαδικασίες εξασφαλίζοντας παράλληλα τη διατήρηση των πόρων και του περιβάλλοντος. Επομένως η διαχείριση υδατικών πόρων ετοιμάζει σχέδια που εξασφαλίζουν την βέλτιστη χρήση του νερού σήμερα αλλά και στο μέλλον (Dyck, 1990). Κύριοι στόχοι στην ΔΥΠ είναι η μείωση των αρνητικών επιπτώσεων των ξηρασιών, πλημμυρών και της υπέρμετρης ρύπανσης.

Άλλοι λόγοι περιλαμβάνουν την ταυτοποίηση και αξιολόγηση εναλλακτικών μέτρων τα οποία μπορούν να αυξήσουν τις διαθέσιμες αξιοποιήσιμες υδατικές παροχές και να βελτιώσουν την ποιότητα των υδάτων και του υδρόβιου οικοσυστήματος. Μπορεί κάποιος λοιπόν να διαχωρίσει δύο κατηγορίες δραστηριοτήτων που αφορούν τους υδατικούς πόρους. Η πρώτη κατηγορία αναφέρεται στα έργα ανάπτυξης υδατικών πόρων (δίκτυα υδρεύσεως, αρδευτικά έργα) καθώς και στα έργα διατήρησης και ελέγχου των υδατικών πόρων (αντιπλημμυρικά έργα). Η δεύτερη κατηγορία αφορά στην διαχείριση υδατικών πόρων για την εξασφάλιση της βέλτιστης χρήσης σήμερα αλλά και στο μέλλον (Goodman and Major, 1984).

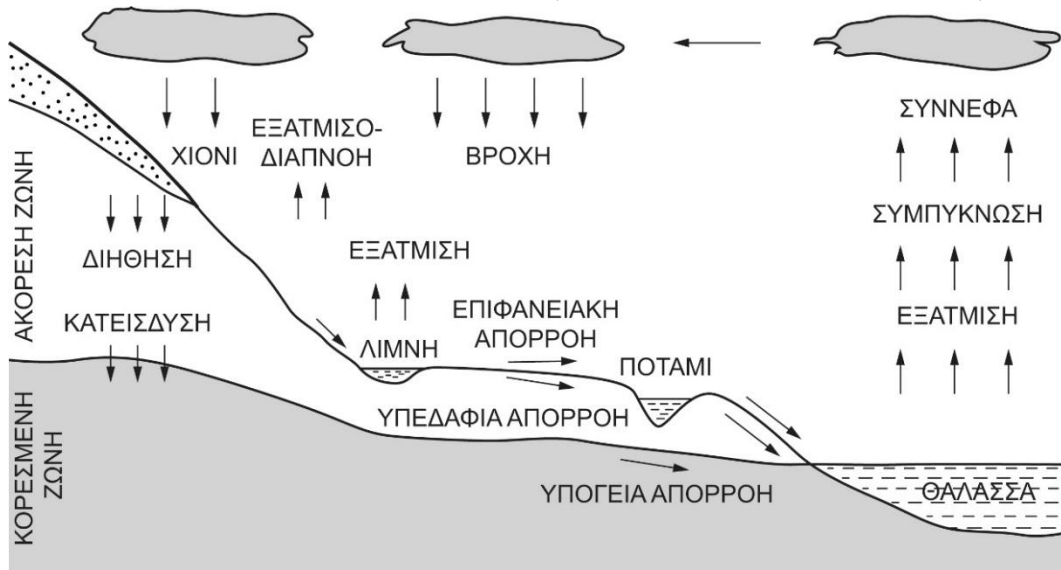
Αντιπλημμυρικά έργα γίνονται διότι καταστροφές στα ποτάμια που οφείλονται στις πλημμύρες είναι λόγω του ότι τα πρηνή δεν είναι φυσικά σχεδιασμένα για να αντέξουν πλημμυρικές παροχές με αποτέλεσμα την αστοχία τους. Η διάβρωση της παρόχθιας ζώνης μπορεί να είναι σοβαρό πρόβλημα ειδικά όταν υπάρχουν κοντά κατοικήσιμες περιοχές. Σε αυτή την περίπτωση μπορούν να εφαρμοστούν διάφορα σενάρια μελλοντικής ανάπτυξης, δομικά και μη, σχετιζόμενα άμεσα με τους υδατικούς πόρους (Hall and Dracup, 1970).

Η ανάγκη για όλο και μεγαλύτερη αξιοποίηση των υδατικών πόρων προκύπτει από την αύξηση του πληθυσμού και τις διαρκώς αυξανόμενες ανάγκες σε νερό και τροφή αλλά και από την ανάπτυξη που δημιουργεί δραστηριότητες και επομένως ανάγκη για μεγαλύτερες ποσότητες νερού.

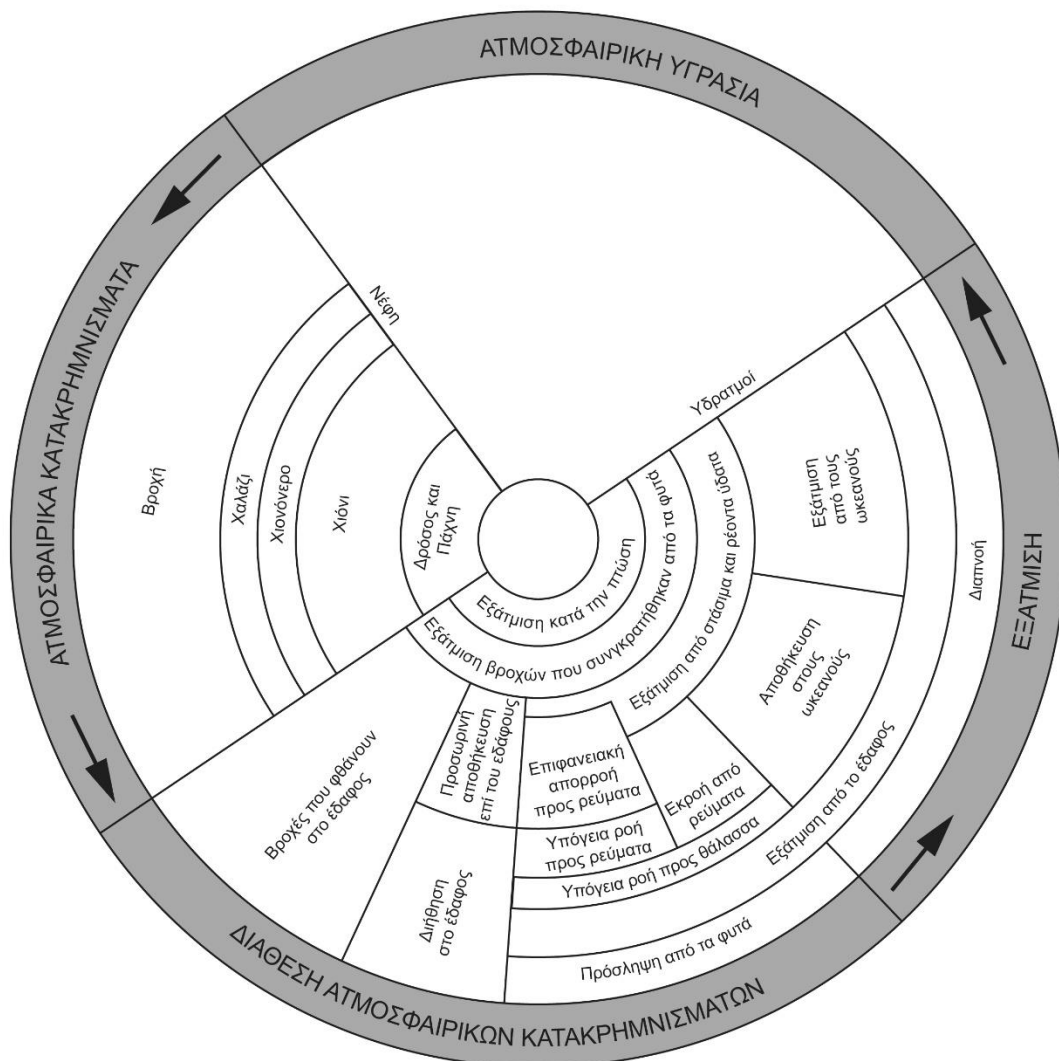
2.2 Υδρολογικός Κύκλος

Το νερό στη γη υπάρχει σε ένα χώρο που ονομάζεται υδρόσφαιρα και εκτείνεται περίπου 15 χιλιόμετρα στην ατμόσφαιρα και σε περίπου 1 χιλιόμετρο βάθος, στη λιθόσφαιρα. Το νερό κυκλοφορεί στην υδρόσφαιρα μέσω διαδρομών που απεικονίζονται στον υδρολογικό κύκλο (Εικόνα 2.1). Ο κύκλος δεν έχει αρχή ή τέλος και πολλές διαδικασίες του συμβαίνουν συνεχώς (Chow et al., 1988).

Ο υδρολογικός κύκλος αποτελεί τη σχηματική περιγραφή μιας σειράς διαδικασιών με τις οποίες το νερό κυκλοφορεί στην φύση μεταξύ ατμόσφαιρας, ξηράς και θάλασσας (Εικόνα 2.2). Σ' αυτή την αλυσίδα των εμφανίσεων το νερό παρουσιάζεται με όλες τις πιθανές καταστάσεις, υγρό, αέριο (υδρατμός), στερεό (χιόνι ή χαλάζι). Στην ατμόσφαιρα το νερό συγκεντρώνεται με μορφή υδρατμών που προέρχονται από την εξάτμιση του νερού από τις θάλασσες, λίμνες, ποταμούς, έδαφος, βλάστηση. Οι υδρατμοί μεταφέρονται από αέριες μάζες και μπορεί κάτω από κατάλληλες συνθήκες να συμπυκνωθούν σε σύννεφα και στην συνέχεια με μορφή ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων να επανεμφανιστούν στην επιφάνεια της γης. Ένα μέρος του νερού που φτάνει στην επιφάνεια της γης συγκρατείται από την βλάστηση και εξατμίζεται ή διαπνέεται από τα φυτά. Ένα άλλο μέρος του νερού διηθείται στο έδαφος και το υπόλοιπο απορρέει επιφανειακά προς τα ρέματα που καταλήγουν σε λίμνες και θάλασσες. Κατά την πορεία αυτή ένα μέρος του νερού εξατμίζεται. Το υπόλοιπο τμήμα του νερού που διηθείται, αποθηκεύεται ως υπόγειο νερό και συχνά εμφανίζεται στην επιφάνεια της γης σε χαμηλότερα σημεία και στη συνέχεια καταλήγει επιφανειακά ή υπόγεια. Τέλος το νερό της θάλασσας με την εξάτμιση επανέρχεται στην ατμόσφαιρα και με τον τρόπο αυτό κλείνει ο υδρολογικός κύκλος (Viessman and Lewis, 1996).



Εικόνα 2.1: Σχηματική απεικόνιση υδρολογικού κύκλου



Εικόνα 2.2: Υδρολογικός κύκλος

Η εκτίμηση της συνολικής ποσότητας νερού στη γη και στις διάφορες διαδικασίες του υδρολογικού κύκλου υπήρξε θέμα επιστημονικής εξερεύνησης από το δεύτερο μισό του 19^{ου} αιώνα. Περίπου το 96.5% της συνολικής ποσότητας νερού της γης βρίσκεται στους ωκεανούς (Πίνακας 2.1). Από το υπόλοιπο το 1.7% βρίσκεται σε μορφή πάγου στους πόλους, το 1.7% βρίσκεται ως υπόγεια ύδατα και μόνο το 0.1% βρίσκεται στα επιφανειακά και ατμοσφαιρικά συστήματα.

Πίνακας 2.1: Παγκόσμια ποσότητα υδάτων

Κατηγορία	Επιφάνεια (10 ⁶ km ²)	Όγκος (km ³)	Ποσοστό Υδάτων	Ποσοστό γλυκού νερού
Ωκεανοί	361.3	1338000000	96.5	
Υπόγεια Ύδατα				
Γλυκό Νερό	134.8	10530000	0.76	30.1
Θαλασσινό	134.8	12870000	0.93	
Υγρασία Εδάφους	82	16500	0.0012	0.05
Πολικός Πάγος	16	24023500	1.7	68.6
Χιόνι	0.3	340600	0.025	1
Λίμνες				
Γλυκό Νερό	1.2	91000	0.007	0.26
Θαλασσινό	0.8	85400	0.006	
Βάλτοι	2.7	11470	0.0008	0.03
Ποτάμια	148.8	2120	0.0002	0.006
Νερό σε οργανισμούς	510	1120	0.0001	0.003
Ατμοσφαιρικό	510	12900	0.001	0.04
Συνολικά Ύδατα	510	1385984610	100	
Γλυκό Νερό	148	35029210	2.5	100

Από το γλυκό νερό της γης περίπου τα δύο τρίτα είναι πολικός πάγος και το υπόλοιπο είναι υπόγεια ύδατα που φτάνουν σε βάθος από 200 έως 600 μέτρα. Τα υπόγεια νερά κάτω από αυτό το βάθος είναι αλατούχα. Μόνο 0.006% του φρέσκου νερού βρίσκεται σε ποτάμια. Το νερό που βρίσκεται στους ιστούς των φυτών και των ζώων αποτελεί περίπου το 0.003% όλο του γλυκού νερού που ισοδυναμεί με το μισό όγκο που περιέχεται στα ποτάμια.

Πίνακας 2.2: Παγκόσμιο Ισοζύγιο Υδάτων

		Ωκεανοί	Γη
Εμβαδόν (km ²)		361300000	148800000
Κατακρήμνιση	(km ³ /yr)	458000	119000
	(mm/yr)	1270	800
	(in/yr)	50	31
Εξάτμιση	(km ³ /yr)	505000	72000
	(mm/yr)	1400	484
	(in/yr)	55	19
Απορροή στους ωκεανούς			
Ποτάμια	(km ³ /yr)	-	44700
Ροή Υπογείων Υδάτων	(km ³ /yr)	-	2200
Συνολική Απορροή	(km ³ /yr)	-	47000

	(mm/yr)	-	316
	(in/yr)	-	12

Ο υδρολογικός κύκλος είναι παγκόσμιας φύσης. Τα παγκόσμια προβλήματα που αφορούν τα ύδατα πρέπει να μελετώνται σε περιφερειακή, διεθνή, ηπειρωτική και παγκόσμια κλίμακα. Αν και η έννοια του υδρολογικού κύκλου είναι απλή, το φαινόμενο είναι εξαιρετικά περίπλοκο. Δεν είναι μόνο ένας μεγάλος κύκλος αλλά αποτελείται από πολλούς αλληλένδετους κύκλους σε ηπειρωτικό, περιφερειακό και τοπικό επίπεδο. Αν και ο συνολικός όγκος νερού στον παγκόσμιο υδρολογικό κύκλο παραμένει ουσιαστικά σταθερός, η κατανομή αυτού αλλάζει συνεχώς είτε είναι ηπειρωτικό ή περιφερειακό επίπεδο είτε μία λεκάνη απορροής (Πίνακας 2.2) (Arnold and Allen, 1996). Η υδρολογία μίας περιοχής καθορίζεται από τις καιρικές συνθήκες και από φυσικούς παράγοντες όπως η τοπογραφία, η γεωλογία και η βλάστηση. Τέλος, καθώς ο πολιτισμός εξελίσσεται, οι ανθρώπινες δραστηριότητες σταδιακά εισβάλλουν στο φυσικό περιβάλλον του νερού, μεταβάλλοντας την ισορροπία του υδρολογικού κύκλου.

2.3 Υδρολογικά Μοντέλα

2.3.1 Ορισμός Μοντέλου

Τα υδρολογικά συστήματα αναλύονται χρησιμοποιώντας μαθηματικά μοντέλα. Τα μοντέλα αυτά μπορεί να είναι είτε εμπειρικά, είτε στατιστικά, είτε να βασίζονται σε νόμους της φυσικής. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μας οδηγήσουν στην βέλτιστη απόφαση για το πώς θα διαχειριστούμε μια λεκάνη απορροής. Η επιλογή του μοντέλου πρέπει να είναι προσαρμοσμένη στον σκοπό για τον οποίο θέλουμε να το χρησιμοποιήσουμε (Devia et al., 2015).

Τα περισσότερα συστήματα υδατικών πόρων έχουν φυσικές, κοινωνικές, πολιτικές, περιβαλλοντικές και νομικές διαστάσεις. Τα υδρολογικά συστήματα είναι γενικά πιθανολογικά στη φύση τους και γι' αυτό είναι εύκολο να κατανοήσουμε ότι το καλύτερο που μπορεί να ελπίζουμε από ένα μοντέλο είναι μια βελτιωμένη κατανόηση του συστήματος που αναλύεται, το οποίο τελικά μας βοηθάει στην εφαρμογή προγραμμάτων συλλογής δεδομένων που μπορούν να υποστηρίξουν αξιόπιστες προσπάθειες μοντελοποίησης (Kumarasamy and Belmont, 2018). Επιπλέον, τα ιστορικά δεδομένα που είναι απαραίτητα για σημαντικές υδρολογικές αναλύσεις συχνά λείπουν ή δεν είναι αξιόπιστα.

Για το μεγαλύτερο μέρος, τα μαθηματικά μοντέλα έχουν σχεδιαστεί για να περιγράφουν πώς τα στοιχεία ενός συστήματος ανταποκρίνονται σε αλλαγές κάποιων παραμέτρων αυτού. Για παράδειγμα, μπορεί να

αναπτυχθεί ένα μοντέλο συστήματος υπογείων υδάτων για να καταδείξει τις επιπτώσεις στην αποθήκευση υπογείων υδάτων διαφόρων συστημάτων άντλησης. Αυτά τα μοντέλα παρέχουν τη βάση για ενημερωμένη διαχείριση του νερού (Singh, 1995).

Ένα υδρολογικό μοντέλο (Εικόνα 2.3) αποτελείται από τα δεδομένα εισόδου, το σύνολο των εξισώσεων που περιγράφονται οι διαδικασίες και από τα δεδομένα εξόδου.



Εικόνα 2.3: Γενική Αναπαράσταση Μοντέλου

όπου:

Είσοδος: Μετεωρολογικές μεταβλητές (κατακρημνίσματα, θερμοκρασία, άνεμος)

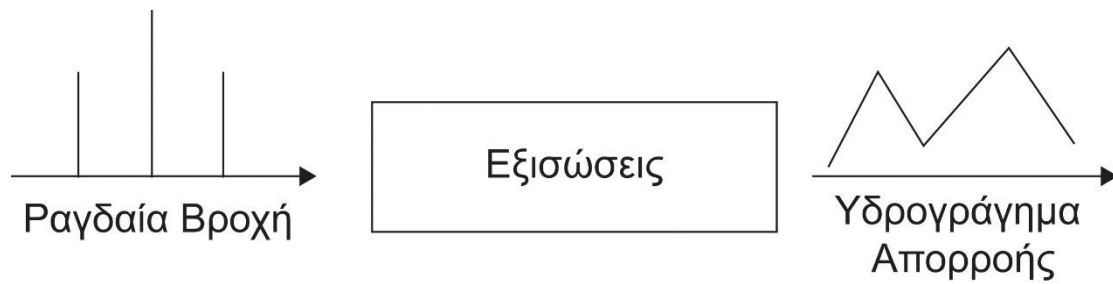
Εξισώσεις Συστήματος: Σύνολο μαθηματικών εξισώσεων που απεικονίζουν τις φυσικές διαδικασίες μετατροπής της βροχής σε απορροή (κατακράτηση, εξατμισοδιαπνοή, διήθηση, επιφανειακή απορροή, αποθήκευση στο έδαφος)

Έξοδος: Απορροή

2.3.2 Κατηγορίες Υδρολογικών Μοντέλων

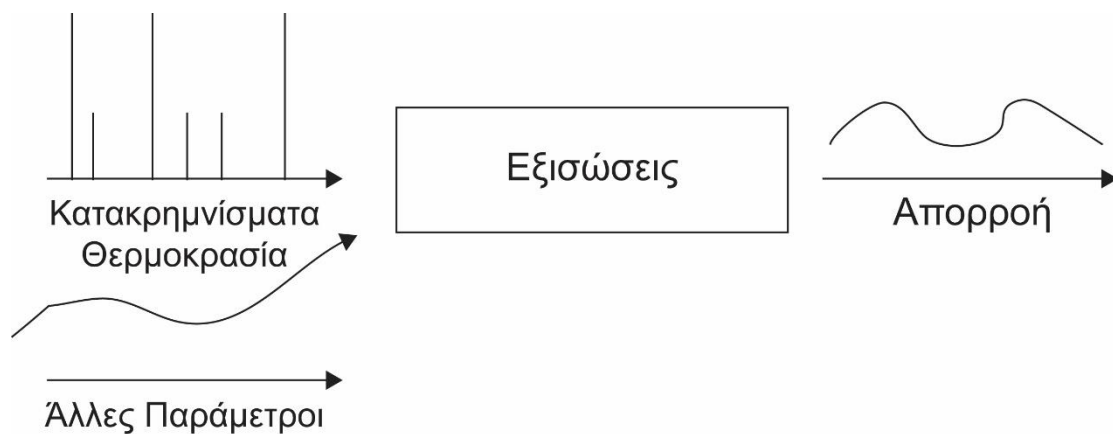
Ανάλογα με το είδος των εξισώσεων, το χρονικό βήμα, τη λειτουργία σε πραγματικό χρόνο τα υδρολογικά μοντέλα κατηγοριοποιούνται σε α) μοντέλα μεμονωμένου υδρολογικού γεγονότος και συνεχή μοντέλα, β) σε ενιαία (lumped) και κατανεμημένα (distributed) μοντέλα (Tsakiris et al., 2012).

Το **μοντέλο ενός μεμονωμένου υδρολογικού γεγονότος** (Εικόνα 2.4) περιλαμβάνει ως είσοδο ένα μεμονωμένο γεγονός βροχής και ως έξοδο ένα υδρογράφημα απορροής.



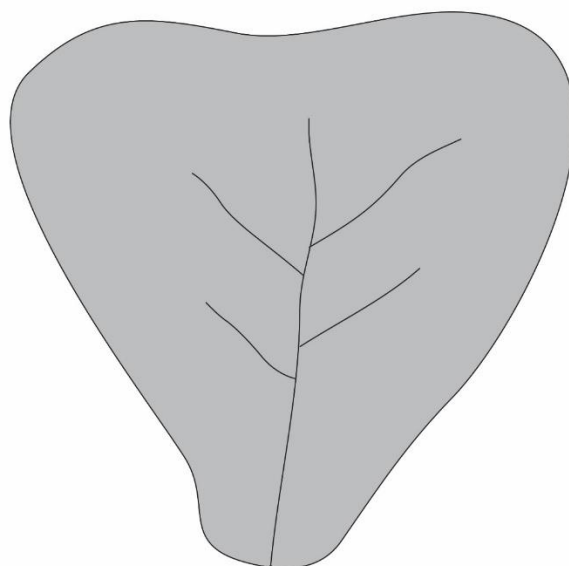
Εικόνα 2.4: Αναπαράσταση Μοντέλου Μεμονωμένου Υδρολογικού Γεγονότος

Το **συνεχές μοντέλο** (Εικόνα 2.5) περιλαμβάνει ως είσοδο μια ή περισσότερες σειρές παρατηρήσεων στο χρόνο (χρονοσειρές) πολλών μετεωρολογικών μεταβλητών.



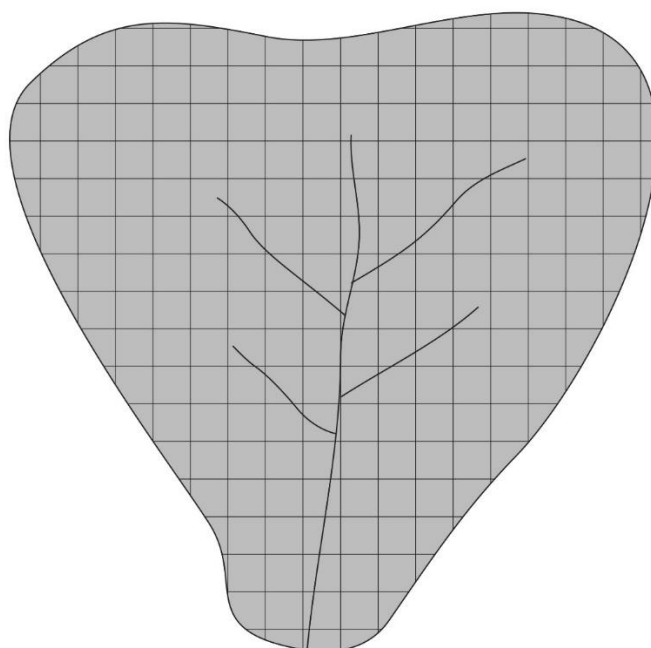
Εικόνα 2.5: Αναπαράσταση Συνεχούς Μοντέλου

Τα **ενιαία μοντέλα** (Εικόνα 2.6) βασίζονται στην υπόθεση της ομοιόμορφης κατανομής στην επιφάνεια της λεκάνης απορροής των μεγεθών εισόδου και εξόδου



Εικόνα 2.6: Αναπαράσταση Ενιαίου Μοντέλου

Τα **κατανεμημένα μοντέλα** (Εικόνα 2.7) σε αντίθεση με τα ενιαία, βασίζονται στη χωρική κατανομή των μεγεθών εισόδου και εξόδου στην λεκάνη απορροής. Τα μοντέλα αυτά περιλαμβάνουν τη διακριτοποίηση της λεκάνης σε τμήματα με ανομοιόμορφα τοπογραφικά ή άλλα χαρακτηριστικά.



Εικόνα 2.7: Αναπαράσταση Κατανεμημένου Μοντέλου

Τα συνεχή μοντέλα βροχής – απορροής μπορούν να ταξινομηθούν με βάση δύο κριτήρια:

α) Το είδος των εξισώσεων (Με βάση το κριτήριο αυτό τα μοντέλα ταξινομούνται σε φυσικά (physically based), παραμετρικά - εννοιολογικά (conceptual) και μοντέλα μαύρου κουτιού (black box).

β) Το αν λαμβάνεται υπόψη η τυχαιότητα των φαινομένων (με βάση το κριτήριο αυτό τα μοντέλα ταξινομούνται σε προσδιοριστικά και στοχαστικά).

Τα προσδιοριστικά φυσικά μοντέλα βασίζονται στις εξισώσεις της φυσικής δηλαδή στις εξισώσεις συνέχειας και ποσότητας κίνησης. Τα μοντέλα αυτά περιλαμβάνουν ένα σύνολο μαθηματικών εξισώσεων και συνήθως περιλαμβάνουν ένα μεγάλο αριθμό παραμέτρων. Τέτοιου είδους μοντέλα απαιτούν πολλά δεδομένα εισόδου και εφαρμόζονται συνήθως σε μικρές λεκάνες απορροής.

Τα προσδιοριστικά παραμετρικά μοντέλα προσομοιώνουν τη σχέση βροχής – απορροής βασιζόμενα σε ένα σύνολο απλουστευτικών παραδοχών του φυσικού συστήματος. Τα μοντέλα αυτά είναι αρκετά διαδεδομένα και περιλαμβάνουν παραμέτρους οι οποίες καθορίζονται από τη ρύθμιση του μοντέλου. Η διαδικασία ρύθμισης του μοντέλου είναι ένας αλγόριθμος ο οποίος συνίσταται στην αλλαγή των τιμών των παραμέτρων, έτσι ώστε οι διαφορές μεταξύ των προσομοιωμένων και των παρατηρημένων παροχών να είναι όσο το δυνατόν μικρότερες.

Τα προσδιοριστικά μοντέλα μαύρου κουτιού βασίζονται σε απλές μαθηματικές εξισώσεις οι οποίες προσομοιώνουν ικανοποιητικά το υδρογράφημα της μετρημένης απορροής (μοναδιαίο υδρογράφημα). Τα στοχαστικά μοντέλα μαύρου κουτιού είναι μοντέλα τα οποία υπολογίζουν τη μεταβλητή έξοδου (απορροή) λαμβάνοντας υπόψη τα στατιστικά χαρακτηριστικά της μεταβλητής εισόδου (βροχή), με την προϋπόθεση να διατηρούνται τα στατιστικά χαρακτηριστικά της μετρημένης παροχής (μέσος, διασπορά, αυτοσυσχέτιση). Τα στοχαστικά παραμετρικά και φυσικά μοντέλα λαμβάνουν υπόψη τα στατιστικά χαρακτηριστικά της εισόδου και συγχρόνως περιλαμβάνουν εξισώσεις που απεικονίζουν τις βασικές διαδικασίες μετασχηματισμού της βροχής σε απορροή.

Κάποια από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα μοντέλα είναι:

- HMS – Hydrologic Modeling System (Περιλαμβάνει μία σειρά προγραμμάτων για την εκτίμηση του περισσεύματος της βροχής, τη δημιουργία της απορροής και τη διόδευση της απορροής. (Hameed and Shamkhi, 2018).
- UBC Watershed Model (Πρόβλεψη της απορροής από βροχόπτωση και θερμοκρασία σε ορεινές λεκάνες απορροής (Quick et al., 1977)
- NWSRFS – National Weather Service River Forecast System (Σύστημα συνεργαζόμενων προγραμμάτων που προσομοιώνουν τις υδρολογικές διαδικασίες σε μία λεκάνη απορροής) (Wang et al., 2009).

- TOPMODEL (Κατανεμημένο πακέτο λογισμικού στο οποίο υδρολογικές διαδικασίες περιγράφονται με απλό τρόπο και με στόχο τη μείωση των απαιτούμενων παραμέτρων)(Ambroise et al., 1996).
- MIKE 11 (Μονοδιάστατο μοντέλο για την προσομοίωση της ροής, τη μεταφορά φερτών και την ποιότητα του νερού σε ποταμούς) (Ivanescu, 2014).
- MIKE SHE (Προσδιοριστικό, κατανεμημένο φυσικής βάσης σύστημα το οποίο χρησιμοποιείται σε προβλήματα σχετιζόμενα με επιφανειακά και υπόγεια νερά (Preissmann et al., 1979).
- EPIC – Erosion (Μοντέλο συνεχούς προσομοίωσης που μπορεί να εκτιμήσει την επίδραση των διαχειριστικών στρατηγικών στη γεωργική παραγωγή και στους εδαφικούς και υδατικούς πόρους) (Stolpe, 2005).
- Medbasin (Πακέτο λογισμικού για την προσομοίωση της απορροής από μία λεκάνη απορροής σε ημερήσια και μηνιαία βάση. Το μοντέλο είναι εννοιολογικό και ημικατανεμημένο) (Tsakiris et al. 2004).
- SWAT (Ημικατανεμημένο υδρολογικό μοντέλο φυσικής βάσης. Κατάλληλο για αξιολόγηση διαχειριστικών αποφάσεων, για λεκάνες μεσαίου και μεγάλου μεγέθους, προσομοίωση υδατικών πόρων και κατανομή ρύπανσης. Χρησιμοποιείται μέσα από το πλαίσιο προγραμμάτων Γ.Σ.Π)(Wang et al., 2019).

2.3.3 Βαθμονόμηση Μοντέλου

Με τον όρο βαθμονόμηση εννοούμε μία διαδικασία προσαρμογής των τιμών των παραμέτρων ενός μοντέλου έτσι ώστε οι προσομοιωμένες τιμές να προσεγγίζουν τις πραγματικές τιμές.

Υπάρχουν δύο βασικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την βαθμονόμηση ενός υδρολογικού μοντέλου η χειροκίνητη και η αυτόματη. Η χειροκίνητη είναι μία διαδικασία δοκιμής – σφάλματος όπου οι γνώσεις των χρηστών του μοντέλου χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των αλλαγών στις τιμές των διαφορετικών παραμέτρων. Οι αποφάσεις σχετικά με το ποιες παραμέτρους αλλάζουν λαμβάνονται πρωτίστως με τη σύγκριση των προσομοιωμένων τιμών με τις τιμές που έχουμε συλλέξει από το πεδίο. Η διαδικασία αυτή είναι πιο αποτελεσματική όταν υπάρχει διαδραστικό, γραφικό λογισμικό για την προβολή των αποτελεσμάτων και την αλλαγή παραμέτρων. Η βαθμονόμηση ολοκληρώνεται όταν ο χρήστης καθορίζει υποκειμενικά ότι οι στόχοι έχουν επιτευχθεί (Yilmaz et al., 2010).

Η δεύτερη μέθοδος είναι η αυτόματη βαθμονόμηση. Σε αυτή τη μέθοδο χρησιμοποιούνται διάφοροι αλγόριθμοι υπολογιστών για την επίτευξη της καλύτερης προσομοίωσης των παρατηρούμενων τιμών.

Συνήθως ο χρήστης μπορεί να εφαρμόσει όρια στο εύρος στο οποίο οι τιμές των παραμέτρων μπορεί να ποικίλλουν για να επιτευχθούν πιο φυσικά ρεαλιστικά αποτελέσματα. Η ποιότητα της προσομοίωσης καθορίζεται συχνά από μία στατιστική αντικειμενική συνάρτηση, όπως είναι η ελαχιστοποίηση του συντελεστή συσχέτισης.

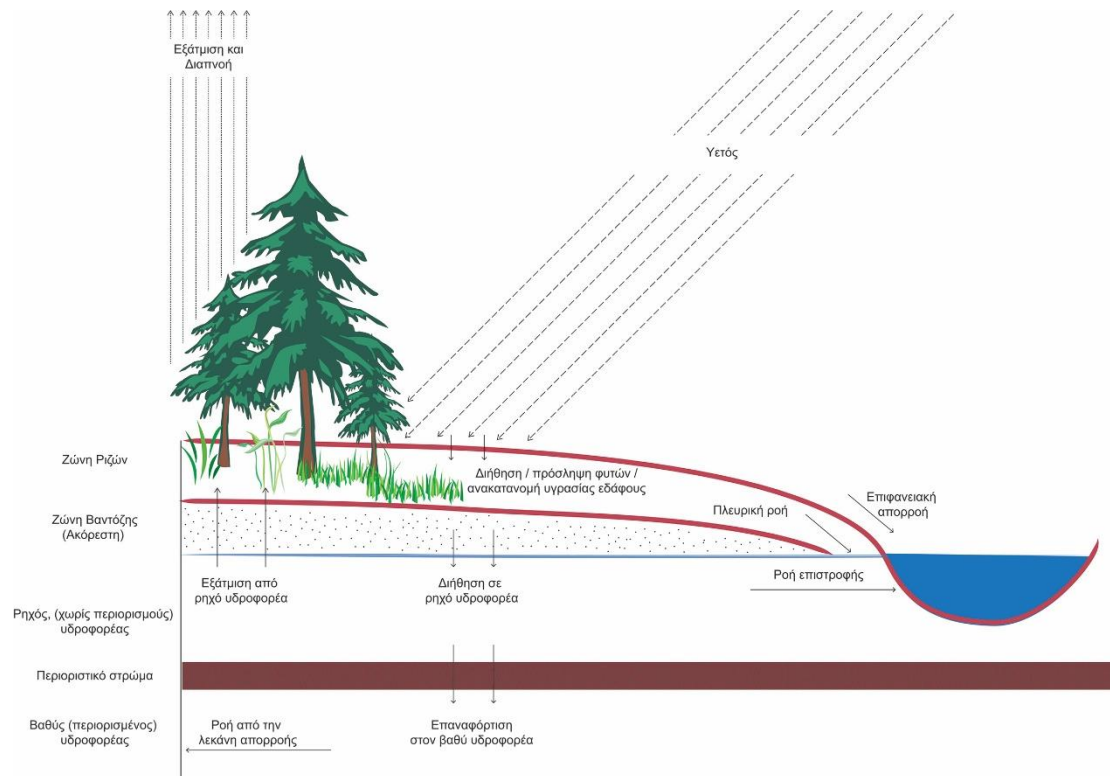
Μερικές φορές χρησιμοποιείται μία σειρά βημάτων όπου χρησιμοποιούνται διαφορετικές ομάδες παραμέτρων και διαφορετικές αντικειμενικές συναρτήσεις σε κάθε βήμα. Σε ορισμένες προσεγγίσεις χρησιμοποιούνται πολλαπλές αντικειμενικές συναρτήσεις για την προσπάθεια εύρεσης μιας ομάδας παραμέτρων που θα παράγουν καλύτερα αποτελέσματα. Η αυτόματη βαθμονόμηση χρησιμοποιείται κυρίως για τη βαθμονόμηση μεμονωμένων λεκανών απορροής (Zhao et al., 2020).

2.4 Μοντέλο SWAT (Soil and Water Assessment Tool)

2.4.1 Γενική Περιγραφή Μοντέλου

Το SWAT – Soil and Water Assessment Tool είναι ένα ημικατανεμημένο υδρολογικό μοντέλο φυσικής βάσης το οποίο εφαρμόζεται για μακροχρόνιους χρονικούς ορίζοντες και για συνεχή προσομοίωση. Είναι κατάλληλο για την αξιολόγηση των διαχειριστικών αποφάσεων, για λεκάνες μεσαίου και μεγάλου μεγέθους, προσομοίωση υδατικού ισοζυγίου και κατανομή ρύπανσης στη λεκάνη (Arnold et al., 2012).

Το μοντέλο επιτρέπει μια σειρά διαφορετικών φυσικών διαδικασιών για προσομοίωση σε μία λεκάνη απορροής. Για τον σκοπό αυτό η λεκάνη απορροής χωρίζεται σε υπολεκάνες απορροής (υποπεριοχές). Αυτό μας βοηθάει διότι σε μία λεκάνη απορροής υπάρχουν περιοχές με διαφορετικές χρήσεις γης ή εδάφη ανάλογα σε ιδιότητες που επηρεάζουν διαφορετικά την υδρολογία. Με τον διαχωρισμό της λεκάνης απορροής σε διαφορετικές μεταξύ τους περιοχές, ο χρήστης μπορεί να αναφερθεί σε διαφορετικές υπολεκάνες (Glavan and Pintar, 2012).



Εικόνα 2.8: Προσομοίωση Υδρολογικού Κύκλου στο SWAT

Τα δεδομένα εισόδου για κάθε υπολεκάνη ομαδοποιούνται ή οργανώνονται στις ακόλουθες κατηγορίες: κλίμα, μονάδες υδρολογικής απόκρισης (Hydrologic Response Units – HRUs), λίμνες – υγροβιότοποι, υπόγεια ύδατα και το κύριο κανάλι , έκταση, που διαρρέει η υπολεκάνη. Οι μονάδες υδρολογικής απόκρισης είναι ομαδοποιημένες εκτάσεις εντός της υπολεκάνης που αποτελούνται από μοναδικούς συνδυασμούς κάλυψης γης, εδάφους και διαχείρισης (Neitsch et al., 2009).

Το SWAT προκειμένου να προβλέψει με ακρίβεια την κυκλοφορία των φυτοφαρμάκων, των ιζημάτων ή των θρεπτικών ουσιών, πρέπει ο υδρολογικός κύκλος να συμφωνεί με τα γεγονότα που παίρνουν μέρος στην λεκάνη. Γι' αυτό η προσομοίωση της υδρολογίας χωρίζεται σε δύο κύρια τμήματα. Το πρώτο είναι οι διεργασίες που γίνονται στο έδαφος του υδρολογικού κύκλου που ελέγχουν την ποσότητα νερού, ιζημάτων, θρεπτικών και φυτοφαρμάκων στο κύριο κανάλι σε κάθε υπολεκάνη. Το δεύτερο είναι η δρομολόγηση του υδρολογικού κύκλου δηλαδή η κίνηση του νερού, των ιζημάτων μέσω του δικτύου καναλιών της λεκάνη απορροής στην έξοδο (Fukunaga et al., 2015).

Ο υδρολογικός κύκλος όπως προσομοιώνεται στο SWAT είναι βασισμένος στην εξίσωση:

$$SW_t = SW_0 + R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw} \quad (2.1)$$

όπου:

SW_t : τελική ποσότητα νερού στο έδαφος (mm H₂O)

SW_0 : αρχική ποσότητα νερού στο έδαφος (mm H₂O)

R_{day} : ποσότητα κατακρήμνισης την ημέρα i (mm H₂O)

Q_{surf} : ποσότητα επιφανειακής απορροής την ημέρα i (mm H₂O)

E_a : ποσότητα εξατμισοδιαπνοής την ημέρα i (mm H₂O)

W_{seep} : ποσότητα νερού που εισέρχεται στην ζώνης vadose από το εδαφική επιφάνεια την ημέρα i (mm H₂O)

Q_{gw} : ποσότητα νερού υπόγειας ροής την ημέρα i (mm H₂O)

Η υποδιαίρεση της λεκάνης απορροής επιτρέπει στο μοντέλο να εκφράζει τις διαφορές στη εξατμισοδιαπνοή για διάφορες καλλιέργειες και εδάφη. Η απορροή υπολογίζεται ξεχωριστά για κάθε HRU και στη συνέχεια υπολογίζεται η συνολική απορροή για την λεκάνη. Αυτό αυξάνει την ακρίβεια και δίνει μια πολύ καλύτερη φυσική περιγραφή της ισορροπίας του νερού (Glavan and Pintar, 2012).

2.4.2 Περιγραφή Κλίματος και Υδρολογίας

Το κλίμα της λεκάνης απορροής παρέχει τις εισροές υγρασίας και ενέργειας που ελέγχουν την ισορροπία του νερού. Οι κλιματικές μεταβλητές που απαιτούνται από το SWAT περιλαμβάνουν, καθημερινή βροχόπτωση, μέγιστη – ελάχιστη θερμοκρασία αέρα, ηλιακή ακτινοβολία, ταχύτητα ανέμου και σχετική υγρασία. Το μοντέλο επιτρέπει τιμές γι' αυτές τις μεταβλητές εισαγόμενα από αρχεία παρατηρούμενων δεδομένων ή να δημιουργούνται κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης (Omani et al., 2007).

Το SWAT ταξινομεί τη βροχόπτωση ως βροχή ή χαλάζι – χιόνι χρησιμοποιώντας τη μέση ημερήσια θερμοκρασία. Η θερμοκρασία του εδάφους επηρεάζει την κίνηση του νερού. Η μέση ημερήσια θερμοκρασία εδάφους υπολογίζεται στην επιφάνεια του εδάφους και στο κέντρο κάθε στρώσης του εδάφους. Η θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους είναι συνάρτηση της κάλυψης του χιονιού, της φυτοκάλυψης, τη θερμοκρασία εδάφους που δεν καλύπτεται και της θερμοκρασίας του εδάφους της προηγούμενης ημέρας (Epelde et al., 2015). Η θερμοκρασία ενός στρώματος εδάφους είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας, μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα και του βάθους στο έδαφος στο οποίο δεν συμβαίνει πλέον μεταβολή της θερμοκρασίας λόγω αλλαγών στις

κλιματολογικές συνθήκες. Το βάθος αυτό αναφέρεται ως βάθος απόσβεσης και εξαρτάται από την πυκνότητα όγκου και την περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό.

Καθώς φτάνει στο έδαφος η βροχόπτωση, είτε συγκρατείται από το φύλλωμα των φυτών είτε φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους. Στη συνέχεια το νερό θα διεισδύσει στο έδαφος ή θα ρέει χερσαία. Η επιφανειακή απορροή κινείται προς ένα κανάλι και συμβάλλει στην βραχυπρόθεσμη απόκριση της ροής του. Το διηθημένο νερό συγκρατείται στο έδαφος και αργότερα εξατμίζεται ή δημιουργεί μονοπάτι προς τις επιφανειακές απορροές μέσω υπόγειων διαδρομών (Romagnoli et al., 2017).

2.4.3 Κάλυψη Γης – Ανάπτυξη φυτών

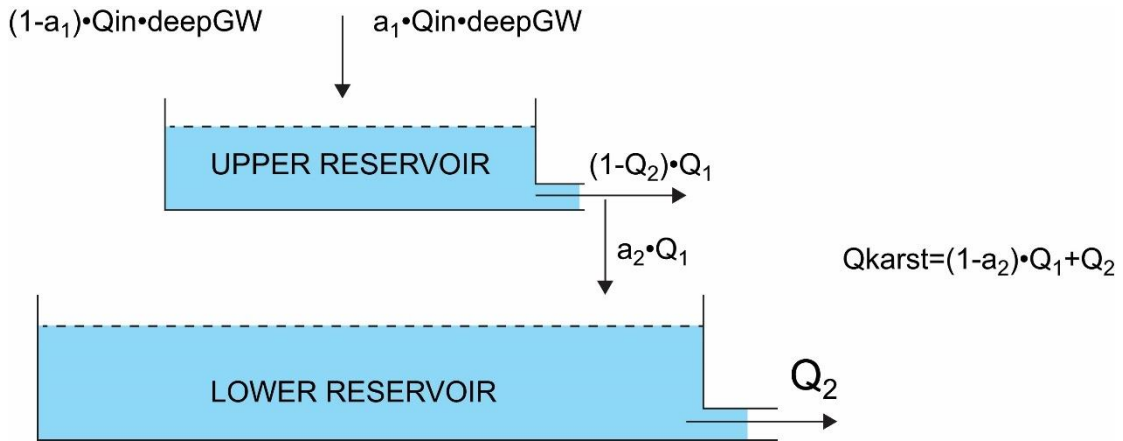
Το SWAT χρησιμοποιεί ένα μοντέλο ανάπτυξης φυτών για την προσομοίωση όλων των ειδών εδαφοκάλυψης, ενώ διαφοροποιεί τα ετήσια με τα πολυετή φυτά. Τα ετήσια φυτά αναπτύσσονται από την ημερομηνία φύτευσης έως την ημερομηνία συγκομιδής, καθώς τα πολυετή φυτά διατηρούν τα ριζικά τους συστήματα κατά τη διάρκεια όλου του έτους (αδρανοποιούνται τους χειμερινούς μήνες). Η συνέχεια της ανάπτυξης του φυτού έρχεται όταν η μέση θερμοκρασία του αέρα υπερβαίνει την ελάχιστη απαραίτητη θερμοκρασία (Gassman et al., 2014). Το μοντέλο ανάπτυξης φυτών χρησιμοποιείται για την εκτίμηση απομάκρυνσης νερού και των θρεπτικών ουσιών από την ρίζα, τη διαπνοή και την παραγωγή βιομάζας.

Η πιθανή αύξηση της βιομάζας των φυτών σε μια δεδομένη ημέρα ορίζεται ως η αύξηση της βιομάζας σε ιδανικές συνθήκες. Η ημερήσια πιθανή αύξηση βιομάζας είναι συνάρτηση της απορροφημένης ενέργειας του φυτού και της αποτελεσματικότητας αυτού να την μετατρέψει σε βιομάζα. Η ενέργεια αυτή υπολογίζεται συνυπολογίζοντας την ηλιακή ακτινοβολία και την έκταση της φυλλωσιάς του φυτού.

Η πρόσληψη αζώτου και φωσφόρου από φυτά εκτιμάται με τη μέθοδο προσφοράς – ζήτησης, όπου οι καθημερινές απαιτήσεις σε άζωτο και φώσφορο υπολογίζονται ως η διαφορά της πραγματικής συγκέντρωσης του κάθε στοιχείου στο φυτό με τη βέλτιστη συγκέντρωση. Η πιθανή ανάπτυξη και απόδοση των φυτών συνήθως δεν επιτυγχάνεται λόγω περιορισμών του περιβάλλοντος. Το μοντέλο εκτιμά τις καταπονήσεις που προκαλούνται από το νερό, τα θρεπτικά συστατικά και τη θερμοκρασία (Tan et al., 2019).

2.5 SWAT Karst Model

Στην περιοχή μελέτης υπάρχουν δύο καρστικές πηγές του Στύλου και των Αρμένων. Το υπόγειο νερό ρέει υπόγεια διαμέσου των υπόγειων αγωγών προς τη θάλασσα όπου και αναβλύζει. Το μοντέλο διαμορφώθηκε έτσι ώστε να προσομοιώνει την υδρολογική επίδραση των καρστικών πηγών στην εκβολή του ποταμού (Nikolaidis et al., 2013).



Εικόνα 2.9: Αναπαράσταση Καρστικού Μοντέλου

Τα ισοζύγια που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη του μοντέλου είναι:

Ισοζύγιο μάζας άνω ταμιευτήρα:

$$\frac{dV_1}{dt} = Q_{in,1} - Q_1 \quad (2.5)$$

Ισοζύγιο μάζας κάτω ταμιευτήρα:

$$\frac{dV_2}{dt} = Q_{in,2} - Q_2 \quad (2.6)$$

όπου:

$$Q_{in,1} = a_1 \cdot Q_{in,deepGW} \quad (2.7)$$

$$Q_{in,2} = (1 - a_1) \cdot Q_{in,deepGW} + a_2 \quad (2.8)$$

$$Q_1 = K_u \cdot V_1 \quad (2.9)$$

$$Q_2 = K_1 \cdot V_2 \quad (2.10)$$

$Q_{in,deepGW}$: βαθιά υπόγεια απορροή

a_1 : συντελεστής άνω ταμιευτήρα

a_2 : συντελεστής ροής που απορρέει από τον ανάντι στον κατόντι ταμιευτήρα

K_u, K_1 : συντελεστής υποχώρησης για ανάντι και κατόντι ταμιευτήρα

Για σταθερά $Q_{in,1}$ και $Q_{in,2}$ (ημερήσιο βήμα) οι αναλυτικές λύσεις της Q_1 και Q_2 είναι:

$$Q_1 = Q_{1,0}e^{-Kut} + Q_{in,1}(1 - e^{-aKut})$$

$$Q_2 = Q_{2,0}e^{-K_1(1-a_2)t} + (1-a_1) Q_{in,2}(1 - e^{-K_1(1-a_2)t})$$

Η ολική καρστική απορροή υπολογίζεται από:

$$Q_{karstic} = (1 - a_2)Q_1 + Q_2$$

2.6 Shared Socio-Economic Pathways

Ο πιο χαρακτηριστικός δείκτης της κλιματικής αλλαγής είναι η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη, η οποία σημαίνει και άνοδο της στάθμης της θάλασσας, πλημμύρες, ξηρασία, ακραία καιρικά φαινόμενα, εξαφάνιση οικοσυστημάτων. Σε παγκόσμιο επίπεδο έχει ήδη αυξηθεί η μέση ετήσια θερμοκρασία κατά 1 °C , ενώ με τρέχουσες μελέτες στην Ελλάδα η αύξηση μπορεί να φθάσει έως και 6 °C το 2100 εάν παγκοσμίως δεν υπάρξει δράση για την ανάσχεση της μεταβολής του κλίματος (Riahi et al., 2017).

Η κλιματική αλλαγή δεν μοιάζει με κανένα άλλο περιβαλλοντικό πρόβλημα που έχει αντιμετωπίσει ποτέ η ανθρωπότητα. Το περιβαλλοντικό αυτό πρόβλημα επηρεάζει έμμεσα την κοινωνία και απαιτεί τόσο ισχυρή διεπιστημονική βάση γνώσης για την αντιμετώπιση και δημιουργία πολιτικής και άλλων δράσεων ώστε να καλύπτουν όλο το φάσμα των φυσικών επιστημών, των κοινωνικών επιστημών και των ανθρωπιστικών επιστημών (Chen et al., 2020) Τα χαρακτηριστικά του κλιματικού συστήματος και η φύση της ανθρώπινης επιρροής στο κλίμα οδηγούν σε βαθιές προκλήσεις για τους ανθρώπους. Επιπλέον η κλιματική αλλαγή θα έχει σημαντικές κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις, όπως εξάπλωση ασθενειών, μείωση της παραγωγής, άνοδος τιμών προϊόντων, απώλεια θέσεων εργασίας και τελικά σημαντικές αλλαγές στον τρόπο ζωής. Οι ήδη ορατές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής καταδεικνύουν την

ανάγκη να αναληφθούν δράσεις μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, δηλαδή να ανασχεθεί η ανοδική πορεία της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη καθώς και δράσεις προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή για τον περιορισμό των ζημιών που αυτή συνεπάγεται (Kriegler et al., 2012).

Τα **Shared socio-economic pathways** είναι σενάρια ανάπτυξης με χρήση κοινωνικο-οικονομικών δεδομένων που εστιάζουν στον μετριασμό και στην προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή. Τα SSPs είναι λοιπόν σενάρια ανάπτυξης που ενσωματώνουν ποιοτικές και ποσοτικές πληροφορίες όπως δημογραφικά στοιχεία, χρήσεις γης, οικονομικά στοιχεία, οι οποίες καθορίζουν έμμεσα τις μελλοντικές αλλαγές στις παραμέτρους της κλιματικής αλλαγής. (O'Neill et al., 2017). Αυτά τα δεδομένα εφαρμόζονται σε επίπεδο λεκάνης απορροής για να έχουμε πιο ακριβή εικόνα στα σενάρια μελλοντικής ανάπτυξης λαμβάνοντας υπόψιν και την συμπεριφορά της περιοχής από το 1961 μέχρι σήμερα

Η κλιματική αλλαγή λόγω των ανθρώπινου παράγοντα φαίνεται να υπάρχει εδώ και εκατοντάδες χρόνια. Πολλές από τις προβλέψεις των αλλαγών του κλίματος πραγματοποιούνται σε κλίμακα χρόνου πέρα από το 2100. Ωστόσο, το 2100 είναι στην πραγματικότητα ένα αρκετά πρώιμο σημείο στην πορεία της σύγχρονης κλιματικής αλλαγής. Οι ανθρωπογενείς αλλαγές στο κλιματικό σύστημα που έχουν συμβεί από τη βιομηχανική επανάσταση μέχρι σήμερα θα εξακολουθούν να είναι ορατές τουλάχιστον 1000 χρόνια στο μέλλον ανεξάρτητα από τη μελλοντική πορεία εκπομπών (Bauer et al., 2017). Τα κοινωνικο-οικονομικά σενάρια αποτελούν σημαντικό εργαλείο για την διερεύνηση των μακροπρόθεσμων συνεπειών της ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής και των διαθέσιμων επιλογών. Η πιο συνεπής χρήση κοινωνικο-οικονομικών σεναρίων που θα επέτρεπε και ολοκληρωμένη προοπτική για τον μετριασμό, την προσαρμογή και τις υπολειπόμενες κλιματικές επιπτώσεις παραμένει μείζων πρόκληση. Ο προσδιορισμός ενός συνόλου παγκόσμιων σεναρίων και κοινωνικο-οικονομικών οδών που προσφέρουν επεκτασιμότητα σε διαφορετικά περιφερειακά επίπεδα, είναι ένα σημαντικό βήμα για την αντιμετώπιση της πρόκλησης (Pedde et al., 2019).

Η επιστήμη του κλίματος δεν παρέχει συγκεκριμένες μελλοντικές προβλέψεις κινδύνων και ζημιών. Οι προβλέψεις εμπλέκονται σε υποθέσεις σχετικά με το πώς τα ανθρώπινα και φυσικά συστήματα ανταποκρίνονται με την πάροδο του χρόνου. Το κλίμα είναι αποτέλεσμα ενός σύνθετου γεω-ατμοσφαιρικο-οικολογικού συστήματος και τα σύνθετα συστήματα έχουν πάντα την ικανότητα να εκπλήσσουν καθώς συμπεριφέρονται με απρόβλεπτους τρόπους (Popp et al., 2017). Φαίνεται ότι βρισκόμαστε σε μία εποχή, όπου οι άνθρωποι οδηγούν πραγματικά σημαντικές αλλαγές στα παγκόσμια συστήματα. Έτσι, τα επιστημονικά ευρήματα και οι συνέπειές τους στη δράση πρέπει να επιδιώκουν την επικύρωση όχι μόνο εντός της ίδιας της επιστημονικής κοινότητας αλλά και εντός της ευρύτερης κοινωνίας.

Η “ευαισθησία” στην κλιματική αλλαγή δεν εξαρτάται μόνο από τις αλλαγές των παραμέτρων αυτής αλλά και στις αλλαγές στην ίδια περίοδο

στις τοπικές κοινωνικο-οικονομικές συνθήκες όπως το μέγεθος και η κατανομή του πληθυσμού, οι οικονομικές δραστηριότητες, οι τεχνολογίες, κλπ. Η κοινωνία έχει 3 στάδια αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής: μετριασμό, προσαρμογή και αποδοχή των υπολειπόμενων κλιματικών ζημιών. Το ερώτημα δεν πρέπει να είναι ποιο μέτρο θα διαλέξουμε αλλά ποιο σύνολο μέτρων θα υιοθετήσουμε. Αυτό απαιτεί ολοκληρωμένη αξιολόγηση δεδομένων από πολλά ερευνητικά πεδία (Zhang et al., 2017). Ωστόσο οι μεγαλύτερες προκλήσεις είναι στην γεφύρωση των διαφορετικών προοπτικών σε διαφορετικές κλίμακες καθώς και οι διαφορετικές ανάγκες ανά περιοχή.

Μια απάντηση δίνεται από την οικονομία, η οποία μπορεί να επισυνάψει εκτιμήσεις κόστους στις τρέχουσες επιπτώσεις και τις προβλέψεις των μελλοντικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Η οικονομία παρέχει επίσης ένα ισχυρό σύνολο αναλυτικών στοιχείων για να σκεφτούμε την επιλογή των μέσων πολιτικής για την επίτευξη του επιθυμητού επιπέδου μετριασμού (εκφραζόμενο σε στόχους και χρονοδιάγραμμα για τις συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου). Η οικονομική θεωρία είναι πολύ σαφής, αλλά η πολιτική και η χάραξη πολιτικής είναι πολύ πιο περίπλοκη (Leimbach et al., 2017).

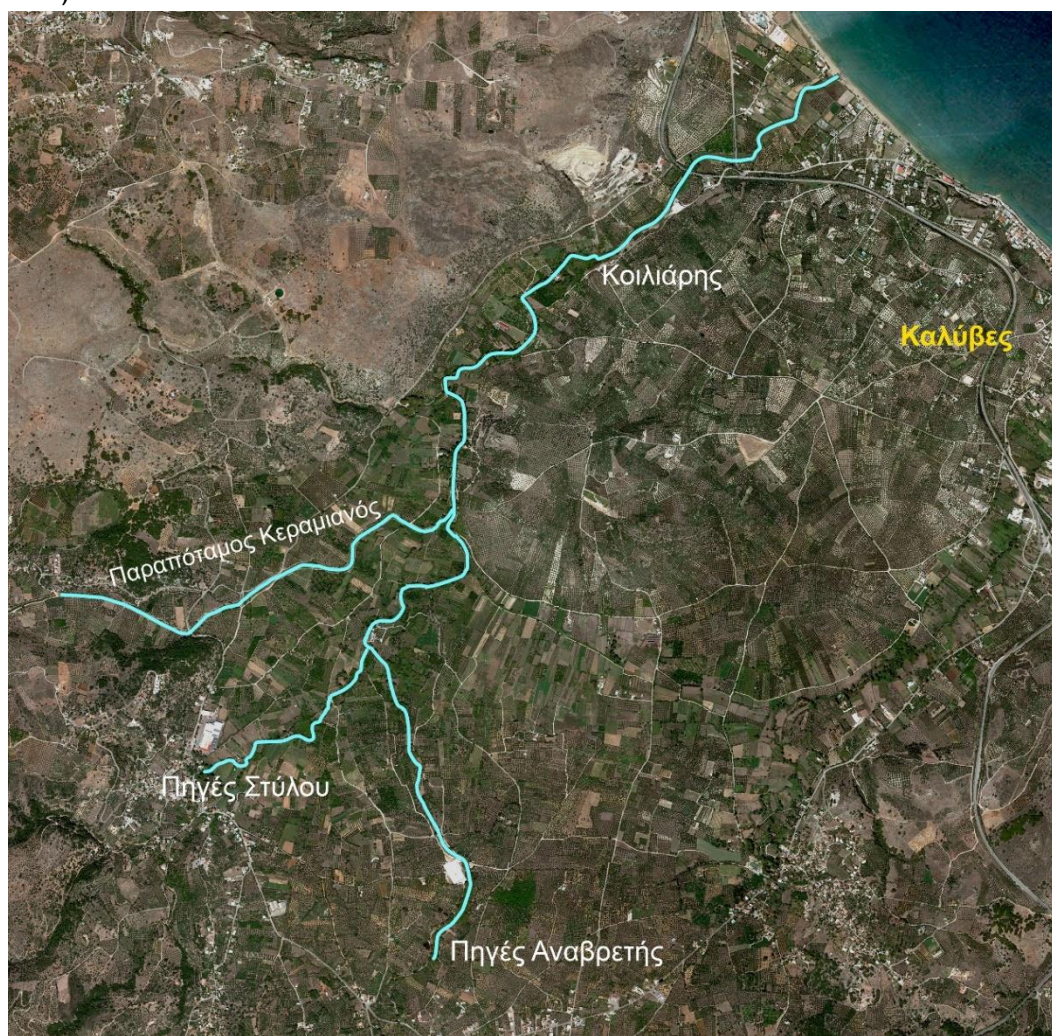
Η κλιματική αλλαγή περιλαμβάνει ένα σύνθετο παγκόσμιο σύνολο τόσο αιτιωδών πρακτικών όσο και αισθητών επιπτώσεων, και ως εκ τούτου απαιτεί παγκόσμια δράση (Kim et al., 2018). Η κλιματική αλλαγή είναι πραγματικά παγκόσμια, καθώς επικεντρώνεται ανάμεσα στην ατμόσφαιρα και τον ωκεανό που μεταφέρουν υλικό και ενέργεια γύρω από τον πλανήτη. Τα αέρια του θερμοκηπίου, των οποίων οι εκπομπές αντιπροσωπεύουν την πρωταρχική ανθρώπινη επιρροή στο κλιματικό σύστημα αναμιγνύονται στην ατμόσφαιρα και οι εκπομπές από οποιαδήποτε συγκεκριμένη τοποθεσία μεταφέρονται γύρω από τη γη μέσα σε λίγες εβδομάδες. Η συλλογική δράση δεν πρέπει να σταματήσει σε εθνικό επίπεδο (Jiang and O'Neill, 2017).

3. Κοινωνικο–οικονομικά δεδομένα περιοχής Αποκορώνου

3.1 Περιγραφή Ευρύτερης Περιοχής

Η περιοχή μελέτης της εργασίας βρίσκεται στον Νομό Χανίων στον Δήμο Αποκορώνου όπου και εκτείνεται η λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρης. Η άμεση περιοχή μελέτης εκτείνεται σε απόσταση ενός χιλιομέτρου από τους άξονες των ρεμάτων.

Η λεκάνη απορροής έχει έκταση περίπου 130 km² και το μήκος του ποταμού υπολογισμένο από τις πηγές του Στύλου είναι 5.2 km ενώ τα συμβαλλόμενα ρέματα του Κεραμιανού και της Αναβρέτης είναι 1.64 km και 2.67 km αντίστοιχα (Εικόνα 3.1). Ο ποταμός διέρχεται μέσα από πυκνή βλάστηση με πλατάνια, καλάμια και υδροχαρή φυτά και αποτελεί σημαντικό υδροβιότοπο για πουλιά, χελώνες, αμφίβια, κ.α.(Lilli et al., 2020).

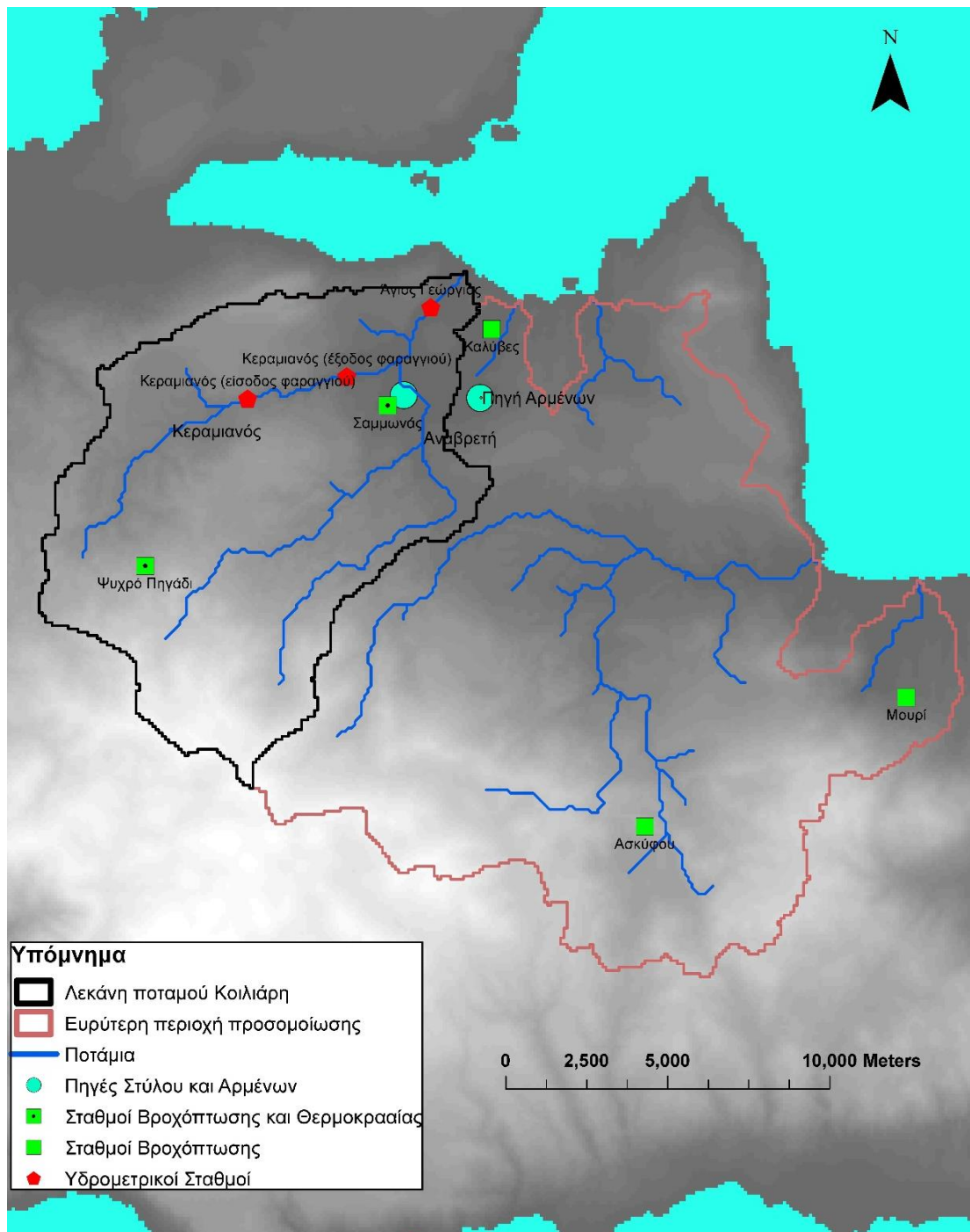


Εικόνα 3.1: Ποταμός Κοιλιάρης και Παραπόταμοι

Το παρόχθιο δάσος κρίνεται μεγάλης φυσικής σημασίας για την περιοχή. Τα τελευταία χρόνια όμως λόγω των πλημμυρικών βροχοπτώσεων η επιφανειακή και η υπεδάφια απορροή είναι τόσο σημαντική ώστε η συνολική παροχή να υπερβαίνει την διοχετευτική ικανότητα του υδατορεύματος και να κατακλύζει τις γύρω περιοχές. Έτσι τα τελευταία 15 χρόνια διαβρώνεται σταθερά η όχθη του ποταμού σε όλο το μήκος με αποτέλεσμα την περαιτέρω απειλή του παρόχθιου δάσους. Συγκεκριμένα στις πλημμύρες του 2004, 2017 και 2019 υπήρξε αστοχία των πρανών σε πολλά σημεία κατά μήκος του. Ο ποταμός Κοιλιάρης και ο κάμπος του προσφέρουν δυνατότητες αξιοποίησης του χώρου και προοπτικές ανάπτυξης.

Στην περιοχή υπάρχουν δύο καρστικές πηγές του Στύλου και των Αρμένων. Το μήκος του ποταμού είναι 5 km ενώ το συνολικό τμήμα των ρεμάτων ανέρχεται σε 11 km. Οι κλίσεις του εδάφους είναι σχετικά ομαλές και περιορίζονται στη μεγαλύτερη έκταση της λεκάνης μέχρι 5%. Οι κλίσεις αυξάνονται >15% κοντά στους πρόποδες των Λευκών Ορέων. Το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται μεσογειακό (Nerantzaki and Nikolaidis, 2020). Το καλοκαίρι είναι θερμό και ξηρό ενώ ο χειμώνας είναι ήπιος και βροχερός, ενώ οι συχνές ηλιοφάνειες βοηθάνε στην ανάπτυξη της βλάστησης.

Τα δεδομένα βροχόπτωσης που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από πέντε μετεωρολογικούς σταθμούς, δύο από τους οποίους βρίσκονται εντός των ορίων της λεκάνης απορροής. Αυτοί οι σταθμοί (Σαμμωνάς και Ψυχρό πηγάδι) (Εικόνα 3.2) διαχειρίζονται από το Εργαστήριο Υδρογεωχημικής Μηχανικής και Αποκατάστασης Εδαφών του Πολυτεχνείου Κρήτης. Οι σταθμοί καταγράφουν δεδομένα ύψους βροχόπτωσης (mm) καθώς και δεδομένα ελάχιστης και μέγιστης θερμοκρασίας (°C) κάθε 5 λεπτά από το 2007. Οι υπόλοιποι 3 σταθμοί βροχόπτωσης (Ασκήφου, Καλύβες και Μούρι) βρίσκονται έξω από τα όρια της λεκάνης απορροής διαχειρίζονται από την Περιφέρεια της Κρήτης και καταγράφουν ημερήσια δεδομένα βροχόπτωσης από το 1973. Για την βαθμονόμηση του μοντέλου SWAT χρησιμοποιούνται δεδομένα στάθμης νερού χρονικού βήματος 10 λεπτών από τρεις υδρομετρικούς σταθμούς. Σε αυτούς περιλαμβάνεται ένας υδρομετρικός σταθμός που βρίσκεται κοντά στην έξοδο της λεκάνης προς τη θάλασσα (καλύπτοντας την περίοδο 2004 – 2018) και δύο υδρομετρικούς σταθμούς κατά μήκος της κοίτης του παραπόταμου Κεραμιανού (περίοδου 2013-2017). Αντίστοιχα για την βαθμονόμηση της καρσικής πηγής των Αρμένων χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα μηνιαίας παροχής περιόδου 2000 – 2005.

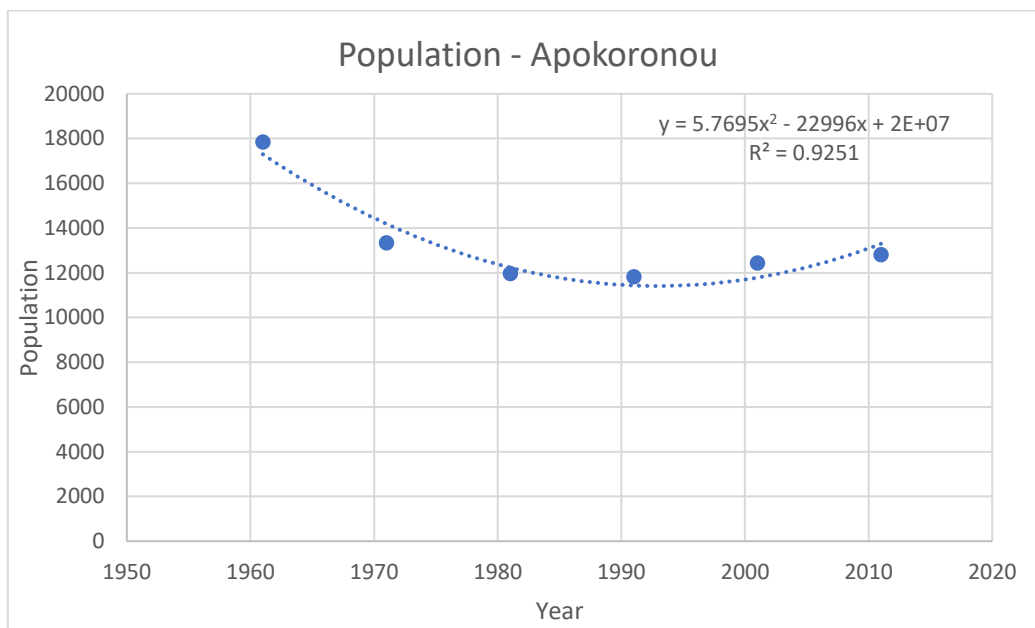


Εικόνα 3.2: Λεκάνη Απορροής Ποταμού Κοιλιάρη και Ευρύτερη Περιοχή

3.2 Κοινωνικο-Οικονομικά Δεδομένα Δήμου Αποκορώνου

Σε συνεργασία με την ΕΛΣΤΑΤ συγκεντρώθηκαν για τον δήμο Αποκορώνου κοινωνικο-οικονομικά δεδομένα για την περίοδο 1961 έως 2019 τα οποία ανήκουν στις εξής κατηγορίες: 1) Πληθυσμός, 2) Χρήσεις Γης, 3) Ζωικό Κεφάλαιο, 4) Άδειες Χρήσης Νερού, 5) Έσοδα – Έξοδα Κοινοτήτων, 6) Τουρισμός, 7) Άδειες Χρήσης Νερού.

3.2.1 Δημογραφικά Δεδομένα

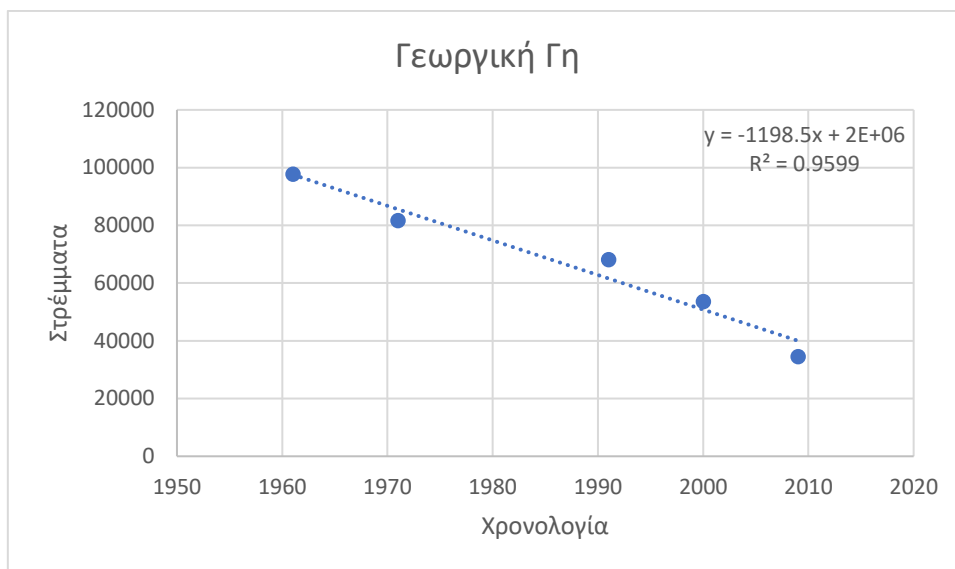


Διάγραμμα 3.1: Πληθυσμός Δήμου Αποκορώνου ανά έτη

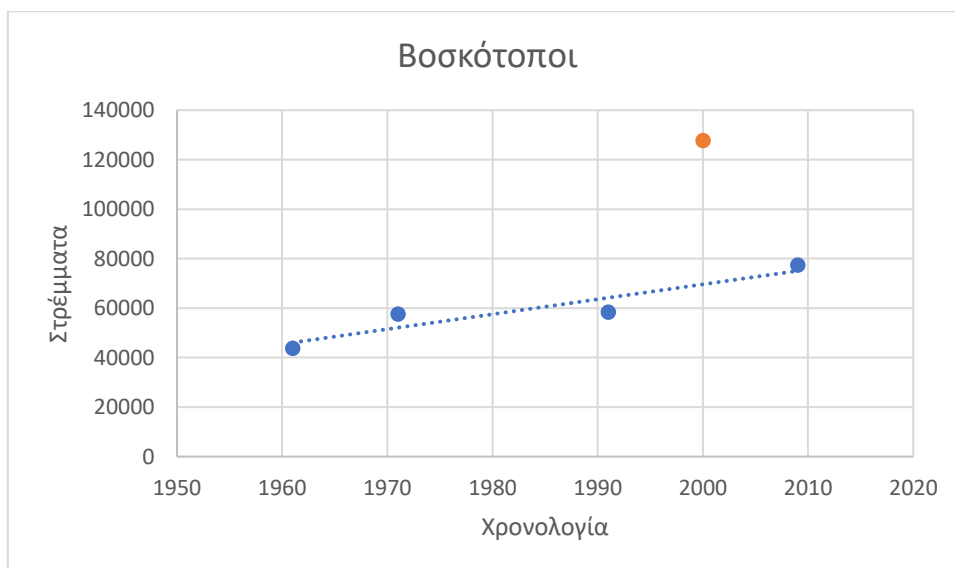
Το Διάγραμμα 3.1 αναπαριστά την μεταβολή του πληθυσμού του δήμου Αποκορώνου από το 1961 έως το 2011. Συγκεκριμένα στο διάστημα 1961-1971 παρατηρείται απότομη μείωση του πληθυσμού, η οποία συνεχίζεται μέχρι και το 1991 με μικρότερο ρυθμό. Από το 1991 και για τα επόμενα 20 χρόνια παρατηρείται αύξηση του πληθυσμού με μικρό ρυθμό. Αυτές τις μεταβολές μπορεί κάποιος να τις ερμηνεύσει διότι την περίοδο 1961-1991 υπήρχε τάση του πληθυσμού να εγκαθίσταται στα μεγάλα αστικά κέντρα και στην συγκεκριμένη περίπτωση στην πόλη των Χανίων. Αυτό με την πάροδο του χρόνου άλλαξε καθώς οι άνθρωποι στράφηκαν στον πρωτογενή τομέα.

3.2.2 Χρήσεις Γης

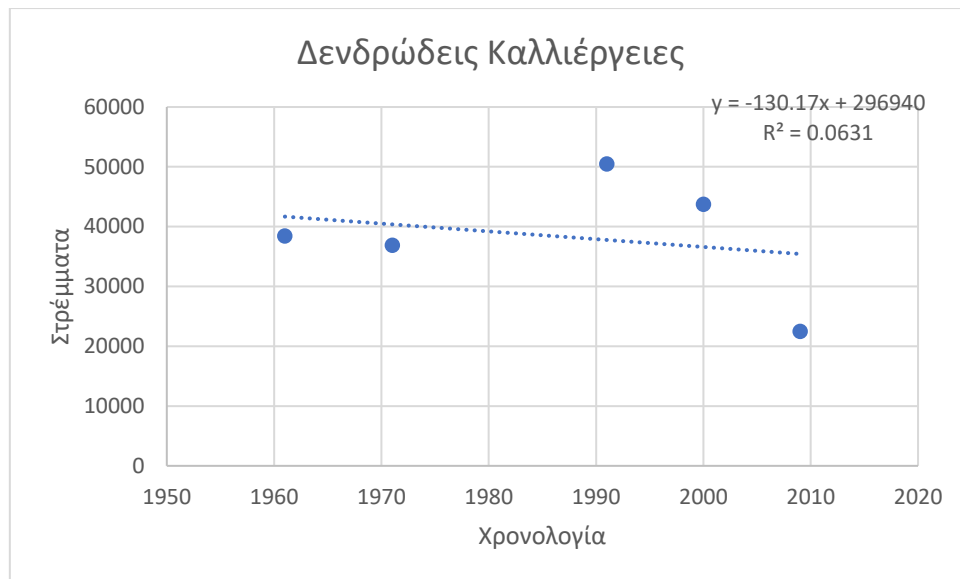
Οι χρήσεις γης χωρίστηκαν σε 6 κατηγορίες: 1) Γεωργική Γη, 2) Δενδρώδεις Καλλιέργειες, 3) Ετήσιες Καλλιέργειες, 4) Αμπέλια, 5) Βοσκότοποι, 6) Αγροναπαύσεις. Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνονται οι αλλαγές των χρήσεων γης τις χρονολογίες 1961, 1971, 1991, 2000, 2009.



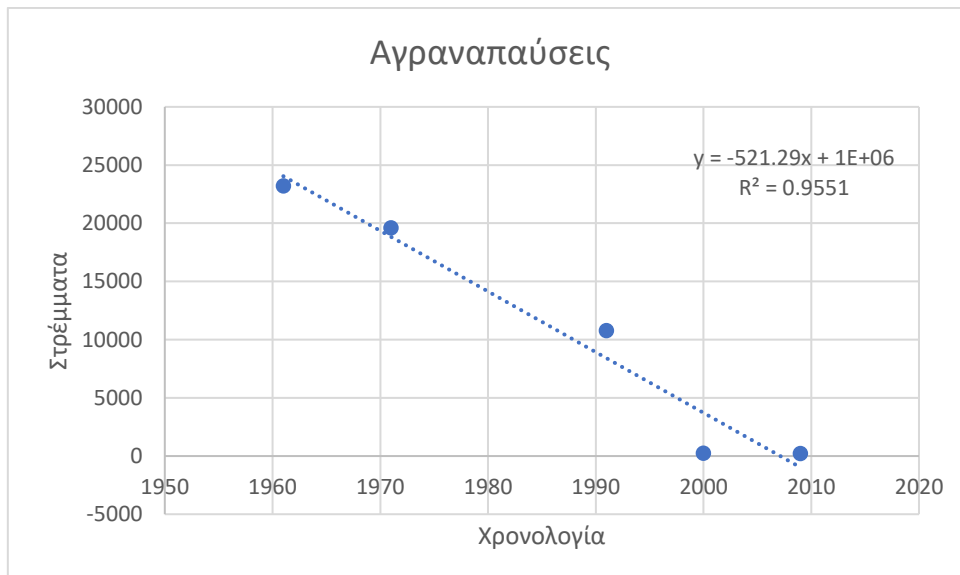
Διάγραμμα 3.2: Έκταση Γεωργικής Γης ανά έτος



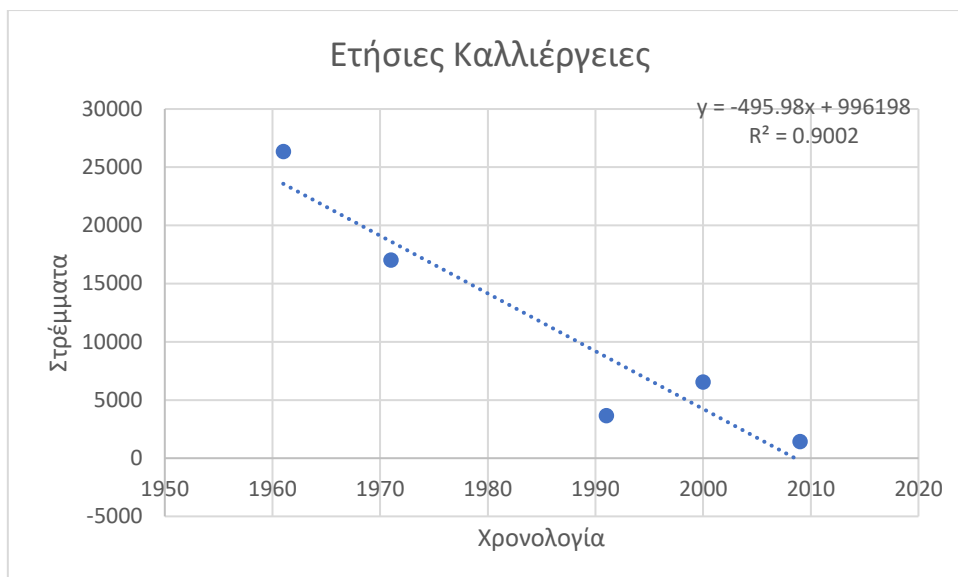
Διάγραμμα 3.3: Έκταση Βοσκοτόπων ανά έτος



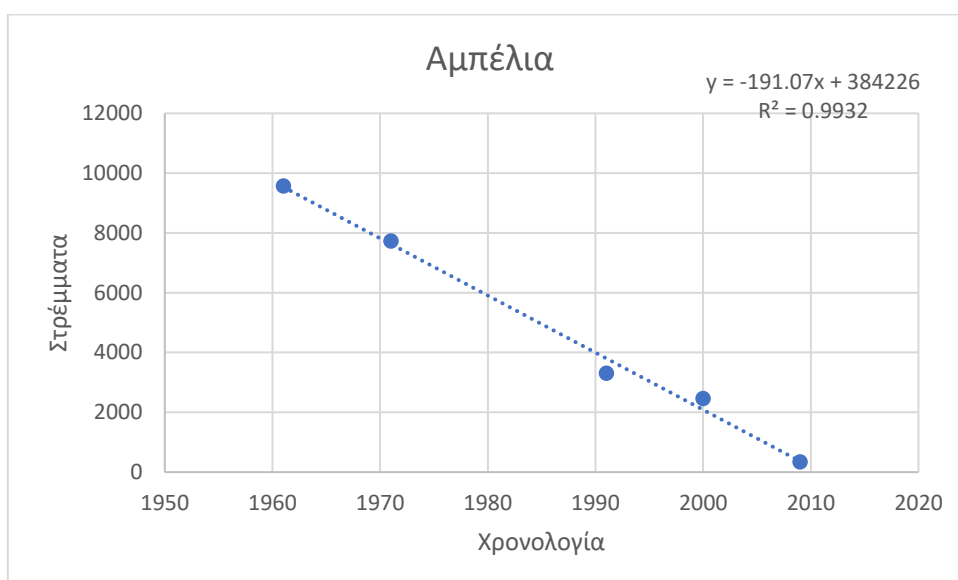
Διάγραμμα 3.4: Έκταση Δενδρώδη Καλλιεργειών ανά έτος



Διάγραμμα 3.5: Έκταση Αγροαναπαύσεων ανά έτος



Διάγραμμα 3.6: Έκταση Ετήσιων Καλλιεργειών ανά έτος



Διάγραμμα 3.7: Έκταση Αμπελιών ανά έτος

Την περίοδο 1961-1971 παρατηρείται μείωση της έκτασης όλων των μορφών εκμεταλλεύσεων γης, ενώ παρατηρείται μικρή αύξηση των εκτάσεων των βοσκοτόπων. Στο χρονικό διάστημα 1971 έως 2009 παρατηρείται μείωση της έκτασης της γεωργικής γης (Διάγραμμα 3.2), αύξηση των βοσκοτόπων (Διάγραμμα 3.3) ενώ έχουμε μείωση έκτασης των ετήσιων καλλιεργειών, των αμπελιών. Ταυτόχρονα έχουμε απότομη μείωση των εκτάσεων των αγραναπαύσεων δηλαδή έχουμε πλήρη εκμετάλλευση των διαθέσιμων εκτάσεων, το οποίο έρχεται σε συμφωνία με την μεταβολή του πληθυσμού. Την χρονολογία 2000 παρατηρείται στα στατιστικά στοιχεία της έκτασης των Βοσκοτόπων ένα σημείο δεδομένων που διαφέρει σημαντικά από τις υπόλοιπες μετρήσεις το οποίο υποδηλώνει σφάλμα στην μέτρηση ή στην εισαγωγή των μετρήσεων στη βάση δεδομένων. Συγκεντρωτικά οι γραμμές τάσης μας δείχνουν ότι στην

περιοχή του Δήμου Αποκορώνου οι εκτάσεις της Γεωργικής Γής μειώνονται και των Βοσκοτόπων αυξάνονται με πολύ μικρό ρυθμό το οποίο μας επιτρέπει να πούμε ότι οι μελλοντικές μετρήσεις δεν θα δείξουν μεγάλη απόκλιση από τις τελευταίες μετρήσεις. Τέλος οι εκτάσεις στις ετήσιες καλλιέργειες, τα αμπέλια και στις αγροναπαύσεις τείνουν να εκλείψουν καθώς δεν προτιμάται στην περιοχή αυτά τα είδη καλλιεργειών.

3.2.3 Ζωικό Κεφάλαιο

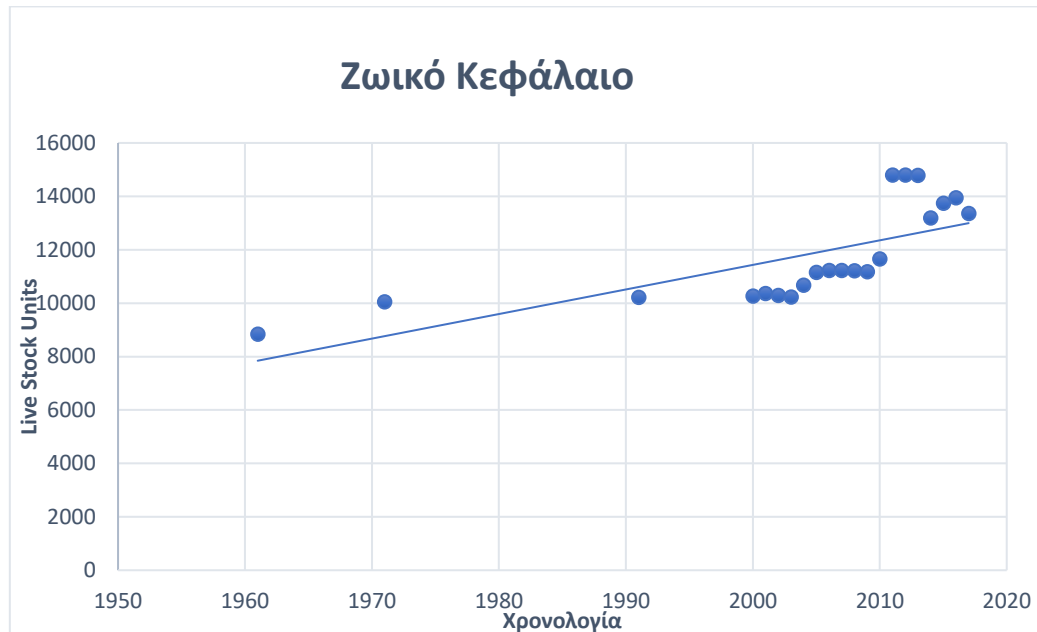
Για να υπολογίσουμε το ζωικό κεφάλαιο έπρεπε να συνυπολογίσουμε όλα τα είδη ζώων και γι' αυτό χρησιμοποιήθηκε η μονάδα ζωικού κεφαλαίου (Live Stock Unit). Η μονάδα ζωικού κεφαλαίου (LSU) είναι μία μονάδα αναφοράς που διευκολύνει τη συνάθροιση ζώων από διαφορετικά είδη, μέσω της χρήσης συγκεκριμένων συντελεστών που έχουν καθοριστεί βάσει διατροφικής απαίτησης. Η μονάδα αναφοράς που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των μονάδων ζωικού κεφαλαίου (1 Live Stock Unit) (Πίνακας 3.1) είναι το ισοδύναμο μίας αγελάδας που παράγει 3000 kg γάλακτος ετησίως.

Πίνακας 3.1: Live Stock Unit ανά είδος ζώου

Είδος ζώου	Live Stock Unit
Ίπποι	0.8
Ημίονοι	0.6
Όνοι	0.6
Βοοειδή	0.9
Χοίροι	0.5
Πρόβατα	0.1
Αίγες	0.1
Κουνέλια	0.015
Όρνιθες	0.015
Χήνες	0.015
Πάπιες	0.015
Γαλοπούλες	0.07
Κότες	0.07

Το ζωικό κεφάλαιο από το 1961 έως το 2017 αυξάνεται με σταθερό ρυθμό (Διάγραμμα 3.8). Στις χρονολογίες 2006 – 2009 και 2011 – 2013 παρατηρείται αντίστοιχα για κάθε περίοδο ίδιος αριθμός ζωικού κεφαλαίου το οποίο υποδηλώνει στατιστικό λάθος το οποίο πιθανόν να είναι κάποιο λάθος στην εισαγωγή τιμών στην βάση δεδομένων. Βλέπουμε και σε αυτή τη κατηγορία ότι το ζωικό κεφάλαιο τείνει να παραμείνει σταθερό με πολύ μικρές αυξητικές τάσεις τα τελευταία χρόνια. Στην κτηνοτροφία κυριαρχεί η παραδοσιακή εκτροφή αιγοπροβάτων, μικρόσωμων ζώων που επιβιώνουν στο ελληνικό ορεινό ανάγλυφο και έχουν λιγότερες απαιτήσεις σε τροφή και νερό από άλλα, πιο μεγαλόσωμα

ζώα όπως οι αγελάδες. Οι αγελάδες εκτρέφονται είτε σε πεδινά βοσκοτόπια, όπου οι συνθήκες είναι κατάλληλες, είτε εντατικά σε στεγασμένους χώρους, ο αριθμός τους είναι αισθητά μικρότερος από τα αιγοπρόβατα. Εντατικά εκτρέφονται επίσης οι χοίροι και τα πουλερικά, ενώ σημαντική είναι η μελισσοκομική παραγωγή.

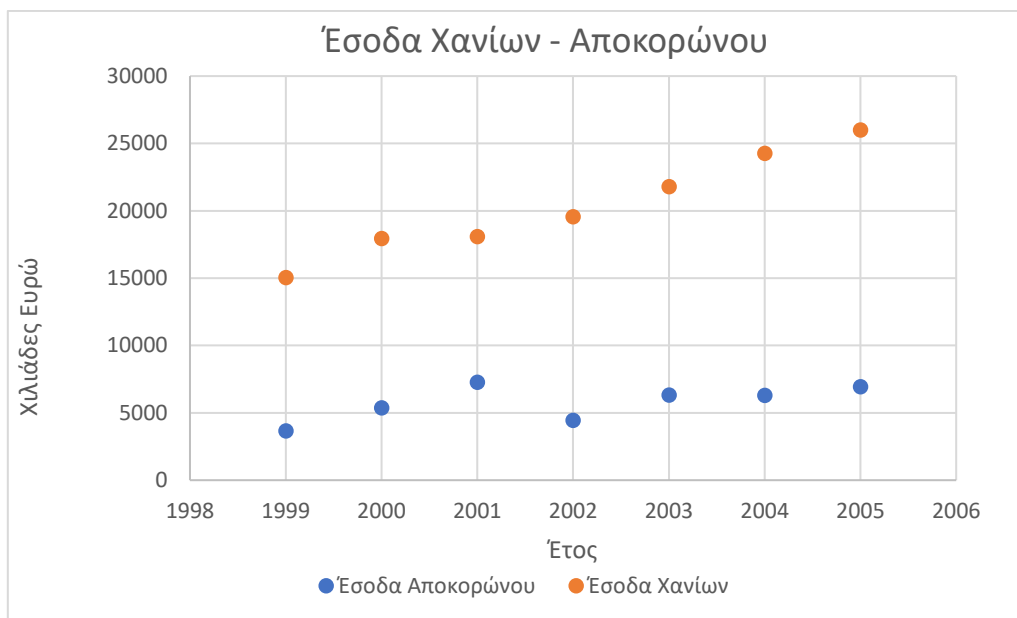


Διάγραμμα 3.8: Ζωικό Κεφάλαιο ανά έτος

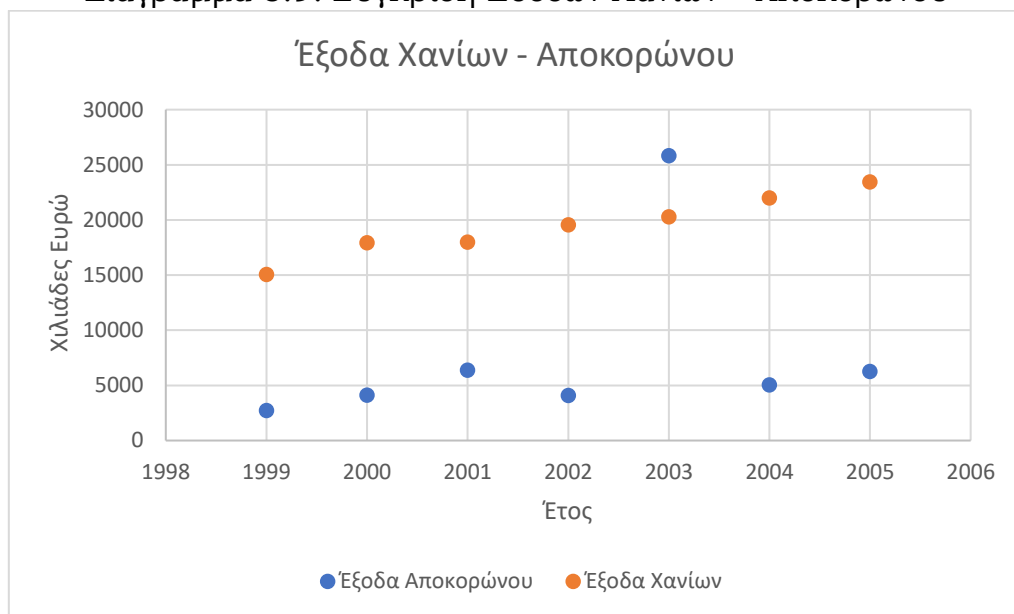
Σε παγκόσμια κλίμακα η κτηνοτροφία ευθύνεται σε μεγάλο ποσοστό στην διάβρωση του εδάφους. Αν και η διάβρωση είναι μία φυσική διαδικασία επιταχύνεται αισθητά λόγω της μη βιώσιμης βοσκής. Καθώς η βλάστηση απομακρύνεται από τη γη μέσω της κτηνοτροφικής δραστηριότητας το έδαφος εκτίθεται στο νερό και άνεμο και εύκολα παρασύρεται. Ο δείκτης πυκνότητας βοσκής μας δίνει μία ένδειξη της περιβαλλοντικής πίεσης που δέχονται οι περιοχές που βοσκούν ζώα. Στην Ευρώπη ο δείκτης αυτός δεν πρέπει να ξεπερνάει το 1 LiveStock Unit / ha. Σε πολλές περιοχές του Δήμου Αποκορώνου που δεν υπάρχουν μεγάλες εκτάσεις βοσκοτόπων ο αριθμός αυτός ξεπερνάει και τις 10 μονάδες. Οι επιπτώσεις της διάβρωσης του εδάφους υπερβαίνουν την απώλεια εύφορης γης. Ο υπέρμετρος αριθμός ζώων ανά εκτάριο έχει οδηγήσει σε αυξημένη ρύπανση ενώ τα υποβαθμισμένα εδάφη είναι λιγότερο ικανά να συγκρατήσουν το νερό κάτι που μπορεί να επιδεινώσει τις πλημμύρες.

3.2.4 Έσοδα – Έξοδα Κοινοτήτων

Για την περίοδο 1999-2005 παρουσιάζονται τα έσοδα (Διάγραμμα 3.9) και έξοδα (Διάγραμμα 3.10) της πόλης των Χανίων, καθώς και τα έσοδα και έξοδα του δήμου Αποκορώνου τα οποία συγκρίνονται με τα αντίστοιχα των Χανίων την περίοδο αυτή.



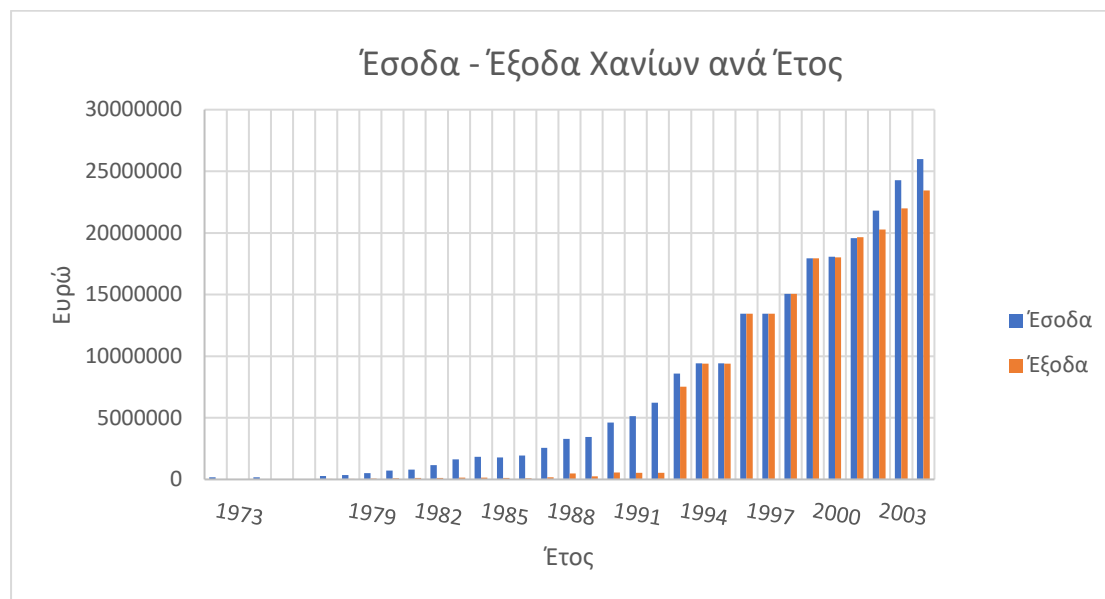
Διάγραμμα 3.9: Σύγκριση Εσόδων Χανίων – Αποκορώνου



Διάγραμμα 3.10: Σύγκριση Εξόδων Χανίων – Αποκορώνου

Τα έσοδα και έξοδα της πόλης των Χανίων τις χρονολογίες 1973 – 2005 αυξάνονται γραμμικά (Διάγραμμα 3.11). Την περίοδο 1973 – 1993 παρατηρούνται έσοδα με σχεδόν μηδαμινά έξοδα. Παράλληλα την περίοδο 1993-2005 ενώ τα έσοδα συνεχίζουν να αυξάνονται γραμμικά, αυξήθηκαν

με μεγάλο ρυθμό και τα έξοδα τα οποία δικαιολογούνται για την θεμελίωση υποδομής της πόλης των Χανίων και άλλων έργων.



Διάγραμμα 3.11: Έσοδα – Έξοδα Πόλης Χανίων

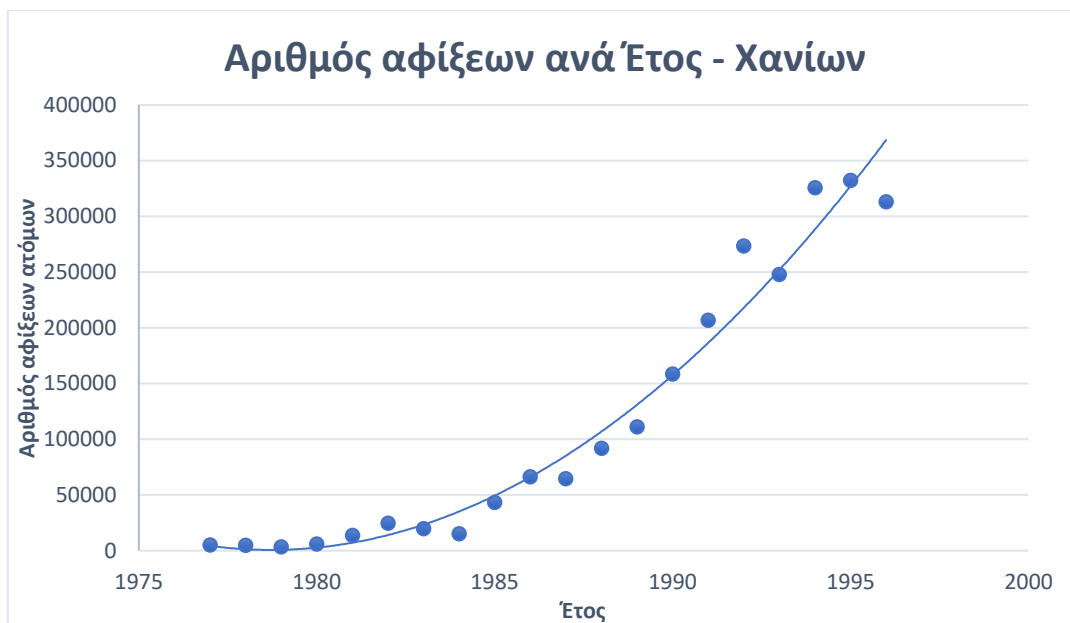
3.2.5 Τουρισμός

Παρατίθενται πληροφορίες της τουριστικής κίνησης της πόλης των Χανίων με το εξωτερικό την περίοδο 1977 – 1996 (Διάγραμμα 3.11), καθώς και του ξενοδοχειακού δυναμικού την περίοδο αυτή (Διάγραμμα 3.12), στα πάσης φύσεως ξενοδοχειακά καταλύματα. Ακόμα υπάρχουν πληροφορίες για το τουριστικό δυναμικό (κλίνες) για 3 χρονιές του Δήμου Αποκορώνου (Πίνακας 3.2).

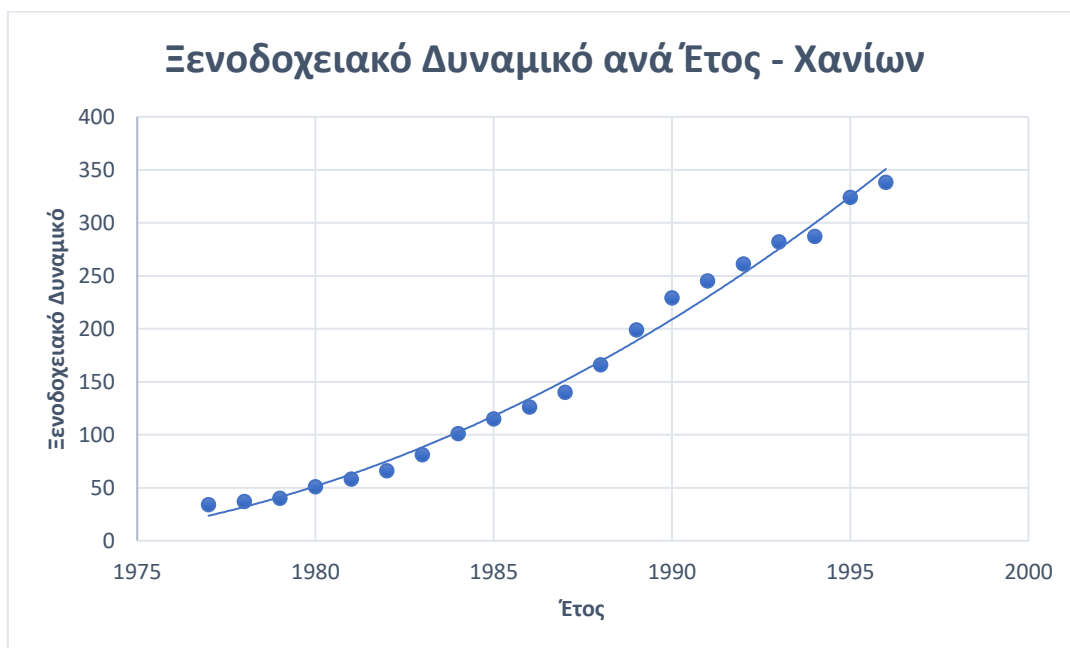
Πίνακας 3.2: Τουριστικό δυναμικό (κλίνες) δήμου Αποκορώνου ανά έτος

Τουριστικό δυναμικό (κλίνες)			
Δημοτική ενότητα	Έτος		
	2009	2011	2015
Αρμένων	1281	-	1749
Βάμου	1432	-	3142
Γεωργιουπόλεως	6854	-	8710
Κρυονερίδας	81	-	319
Σύνολο	9648	11431	13920

Το 2009 στον Δήμο Αποκορώνου ο αριθμός των κλινών ανέρχεται στις 9648. Το 2011 αυξήθηκαν κατά 18,4% στις 11431 ενώ το 2015 αυξήθηκαν κατά 21.7% στις 13920. Βλέπουμε δηλαδή ότι υπάρχει μία γραμμική αυξητική τάση στον αριθμό κλινών το οποίο συμφωνεί και με την τάση του αριθμού αφίξεων τουριστών στα Χανιά.



Διάγραμμα 3.11: Αριθμός αφίξεων ατόμων ανά έτος



Διάγραμμα 3.12: Ξενοδοχειακό δυναμικό ανά έτος

Την περίοδο 1977 – 1984 παρατηρείται σταθερός αριθμός αφίξεων ατόμων, ενώ την περίοδο 1985 – 1990 παρατηρείται αύξηση των ετήσιων αφίξεων ανά έτος. Ο ρυθμός εισόδου ετήσιων τουριστών αυξάνεται έντονα την περίοδο 1987 – 1996.

3.2.6 Άδειες Χρήσης Νερού

Από τις άδειες χρήσης νερού (Πίνακας 3.3) ανά κοινότητα του Δήμου Αποκορώνου υπολογίζουμε αθροίζοντας τις χρήσεις νερού των

επιμέρους κοινοτήτων την συνολική χρήση νερού του Δήμου Αποκορώνου τον Χρόνο, η οποία ανέρχεται στα 7.876.000 m^3 /year.

Πίνακας 3.3: Άδειες χρήσης νερού ανά κοινότητα Δήμου Αποκορώνου

Κοινότητα	m^3 /year	m^3 /hour
Νίπος	220.000	70
Φρέ	185.000	70
Βαφές	120.000	45
Δουλιανά	70.000	50
Εμπρόσνερος	240.000	70
Στύλος	150.000	20
Φρε	30.000	20
Κεφαλά	180.000	50
Κολύμπος	135.000	40
Κυριακοσέλια	120.000	35
Μάζα	235.000	70
Βρύσες	270.000	80
Κοράκια	200.000	60
Μαχαίροι	100.000	40
Νιοχώριο	105.000	80
Παιδοχώρι	180.000	70
Πεμόνια	105.000	40
Ασή Γωνία	250.000	75
Καινά	20.000	50
Στύλος – ΕΤΑΝΑΠ	636.000	132
Μελιδόνι	45.000	40
Κούκος	80.000	30
Λίμνη Κουρνά	800.000	-
Αρμένοι ΟΑΚ	3.400.000	-

3.2.7 Συμπεράσματα κοινωνικο-οικονομικών δεδομένων

Ο πληθυσμός της περιοχής από το 1981 έως το 2011 παραμένει πρακτικά σταθερός. Οι τρόποι εκμετάλλευσης της γης φαίνεται να έχουν ισορροπηθεί και είναι ανάμεσα σε Δενδρώδεις Καλλιέργειες και Βοσκοτόπια ενώ δεν παρουσιάζουν σημαντικές αυξητικές τάσεις στην έκτασή τους. Το ζωικό κεφάλαιο από 9000 Live stock units το 1961, είχε αυξητική τάση ενώ από το 2010 έως το 2017 έχουμε μέσο όρο 14000 Live stock units. Το τουριστικό δυναμικό της περιοχής αυξάνεται με σταθερό ρυθμό τις χρονιές 2009 έως 2015 για τον δήμο Αποκορώνου. Τέλος από τις άδειες χρήσης νερού του Δήμου υπολογίστηκε η χρήση νερού του Δήμου ανά έτος σε 7.876.000 m^3 /year.

4. Υπολογισμός Υδατικών Αναγκών Περιοχής Αποκορώνου

Για τον υπολογισμό των υδατικών αναγκών η χρήση νερού κατηγοριοποιήθηκε σε 5 τρόπους κατανάλωσης. 1) Οικιακή χρήση – Ατομική κατανάλωση ανά ημέρα, 2) Χρήση για άρδευση, 3) Χρήση νερού για κτηνοτροφία, 4) Χρήση νερού ανά ξενοδοχειακή κλίνη.

Στην τελευταία πληθυσμιακή απογραφή του 2011 ο πληθυσμός του δήμου Αποκορώνου καταγράφηκε στα 12807 άτομα. Με μέση κατανάλωση 200 λίτρα νερού/ημέρα προκύπτει όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα η ημερήσια, μηνιαία και ετήσια κατανάλωση νερού οικιακής χρήσης.

Πίνακας 4.1: Κατανάλωση Νερού σε m^3

Πληθυσμός	Ημερήσια Κατανάλωση	Μηνιαία Κατανάλωση	Ετήσια Κατανάλωση
12807	2561	77909	934911

Η χρήση νερού για άρδευση υπολογίστηκε ανά είδος καλλιέργειας (Πίνακας 4.2) καθώς τα είδη καλλιεργειών έχουν διαφορετικές απαιτήσεις σε νερό το έτος.

Πίνακας 4.2: Ετήσια κατανάλωση νερού ανά είδος καλλιέργειας

Είδος Καλλιέργειας	Ανάγκες σε νερό (m^3 / Στρέμμα *year)	Έκταση (Στρέμματα)	Κατανάλωση (m^3 /year)
Ετήσιες Καλλιέργειες	500	1414	707000
Ελιές	300	11037	3311250
Εσπεριδοειδή	500	1005	502850
Αμπέλια	350	430	150640
Αγροναπαύσεις	50	304	15240

Μπορούμε να δούμε λοιπόν ότι η ετήσια απαίτηση νερού για άρδευση είναι το άθροισμα των επιμέρους καταναλώσεων και προκύπτει $4.686.980 m^3$ νερού ανά έτος. Οι ανάγκες άρδευσης όμως είναι μεταβλητές ανά περίοδο του έτους και κάθε μήνας έχει δικό του ποσοστό άρδευσης (Πίνακας 4.3).

Πίνακας 4.3: Κατανομή ετήσιας απαίτησης νερού ανά μήνα

Μήνας	Ποσοστό (%)	Κατανάλωση (m^3)
ΣΕΠ	16	749916
ΟΚΤ	1	46869
ΝΟΕ	-	-
ΔΕΚ	-	-
ΙΑΝ	-	-
ΦΕΒ	-	-
ΜΑΡ	-	-
ΑΠΡ	3	140609
ΜΑΙ	15	703047
ΙΟΥΝ	21	984265
ΙΟΥΛ	23	1078005
ΑΥΓ	21	984265

Η κατανάλωση νερού από το ζωικό κεφάλαιο της περιοχής υπολογίστηκε με παρόμοιο τρόπο. Κάθε είδος ζώου έχει διαφορετική κατανάλωση νερού ανά ημέρα οπότε πολλαπλασιάστηκε ο πληθυσμός κάθε είδους με την αντίστοιχη κατανάλωση και βρέθηκε η συνολική κατανάλωση του ζωικού κεφαλαίου ανά μήνα και ανά έτος (Πίνακας 4.4).

Πίνακας 4.4: Κατανάλωση νερού ανά είδος ζώου ανά ημέρα

Είδος	Πληθυσμός	Μέση Κατανάλωση Νερού / Μέρα (L/day)	Κατανάλωση Είδους / Ημέρα (L/day)
Ίπποι	25	30	750
Όνοι	23	20	460
Βοοειδή	104	35	3640
Χοίροι	1420	9	12780
Πρόβατα	85778	8	686224
Αίγες	28126	8	225008
Κουνέλια	31183	1	31183
Όρνηθες	46639	0.3	13991
Χήνες	132	0.8	105
Πάπιες	115	0.8	92
Γαλοπούλες	276	0.4	110

Οπότε μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε ότι η κατανάλωση νερού από το ζωικό κεφάλαιο είναι $974 m^3/day$ ή $29230 m^3/month$ ή $355635 m^3/year$.

Στη συνέχεια υπολογίζουμε τις υδατικές ανάγκες λόγω τουρισμού(Πίνακας 4.5).

Πίνακας 4.5: Τουριστικό δυναμικό (κλίνες) ανά έτος

Τουριστικό δυναμικό (κλίνες)			
Δημοτική ενότητα	Έτος		
	2009	2011	2015
Αρμένων	1281	-	1749
Βάμου	1432	-	3142
Γεωργιουπόλεως	6854	-	8710
Κρυσονερίδας	81	-	319
Σύνολο	9648	11431	13920

Η κατανάλωση νερού ανέρχεται στα 500 L/κλίνη*ημέρα και με τα πιο πρόσφατα δεδομένα που έχουμε για τον αριθμό των κλινών (2015) υπολογίζουμε την ημερήσια κατανάλωση νερού ανά κλίνη η οποία είναι $6960 \text{ m}^3/\text{day}$. Επίσης θεωρήθηκε ότι η τουριστική περίοδος τον χρόνο διαρκεί 5 μήνες (Μάιο – Σεπτέμβριο) οπότε η κατανάλωση νερού όλο τον χρόνο λόγω τουρισμού είναι $1.044.000 \text{ m}^3$.

Πίνακας 4.6: Κατανάλωση νερού κλινών ανά μήνα

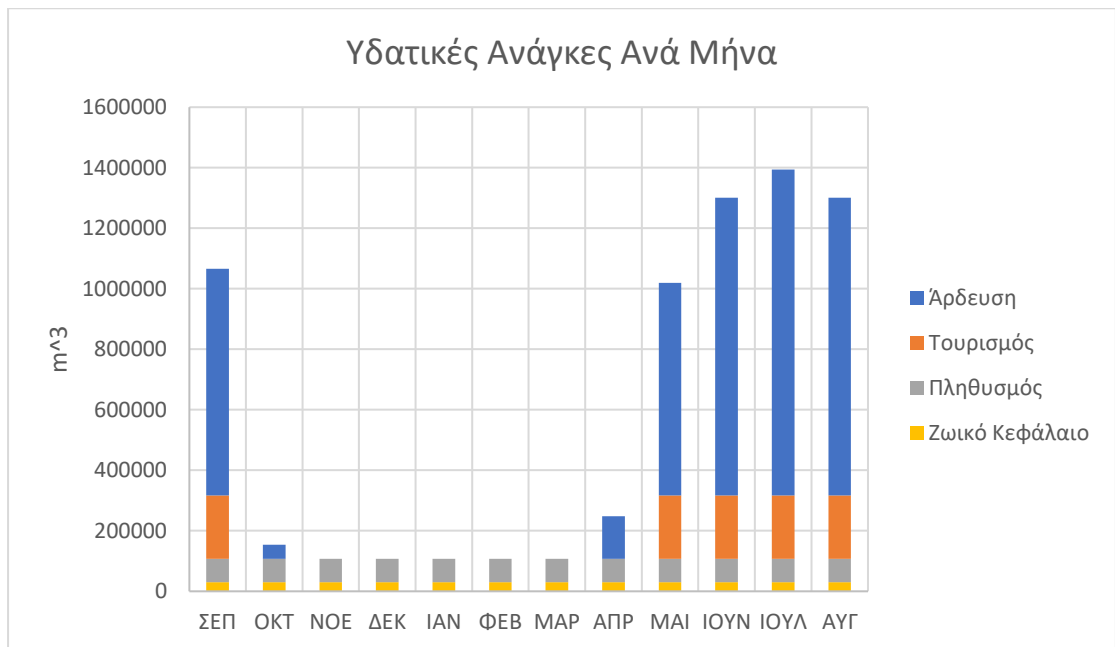
Μήνας	Κατανάλωση m^3 ανά μήνα
Μάιος	208800
Ιούνιος	208800
Ιούλιος	208800
Αύγουστος	208800
Σεπτέμβριος	208800

Συγκεντρωτικά η ετήσια κατανάλωση νερού λόγω οικιακής χρήσης είναι 934.911 m^3 , λόγω ζωικού κεφαλαίου είναι 355.635 m^3 λόγω άρδευσης καλλιιεργειών $4.686.980 \text{ m}^3$ και λόγω τουρισμού $1.044.000 \text{ m}^3$, ενώ συνολικά ο αριθμός ανέρχεται σε $7.021.526 \text{ m}^3$. Στον πίνακα 4.7 φαίνεται η μηνιαία κατανάλωση – κατανομή του νερού ανά έτος.

Πίνακας 4.7: Κατανάλωση νερού σε m^3 ανά μήνα

Μήνας	Πληθυσμός	Ζωικό Κεφάλαιο	Τουρισμός	Άρδευση	Συνολικά
ΣΕΠ	77909	29636	208800	749916	1066262
ΟΚΤ	77909	29636	-	46869	154415
ΝΟΕ	77909	29636	-	-	107545
ΔΕΚ	77909	29636	-	-	107545
ΙΑΝ	77909	29636	-	-	107545
ΦΕΒ	77909	29636	-	-	107545
ΜΑΡ	77909	29636	-	-	107545

ΑΠΡ	77909	29636	-	140609	248154
ΜΑΙ	77909	29636	208800	703047	1019392
ΙΟΥΝ	77909	29636	208800	984265	1300611
ΙΟΥΛ	77909	29636	208800	1078005	1394350
ΑΥΓ	77909	29636	208800	984265	1300611



Διάγραμμα 4.1: Χρήση νερού ανά μήνα

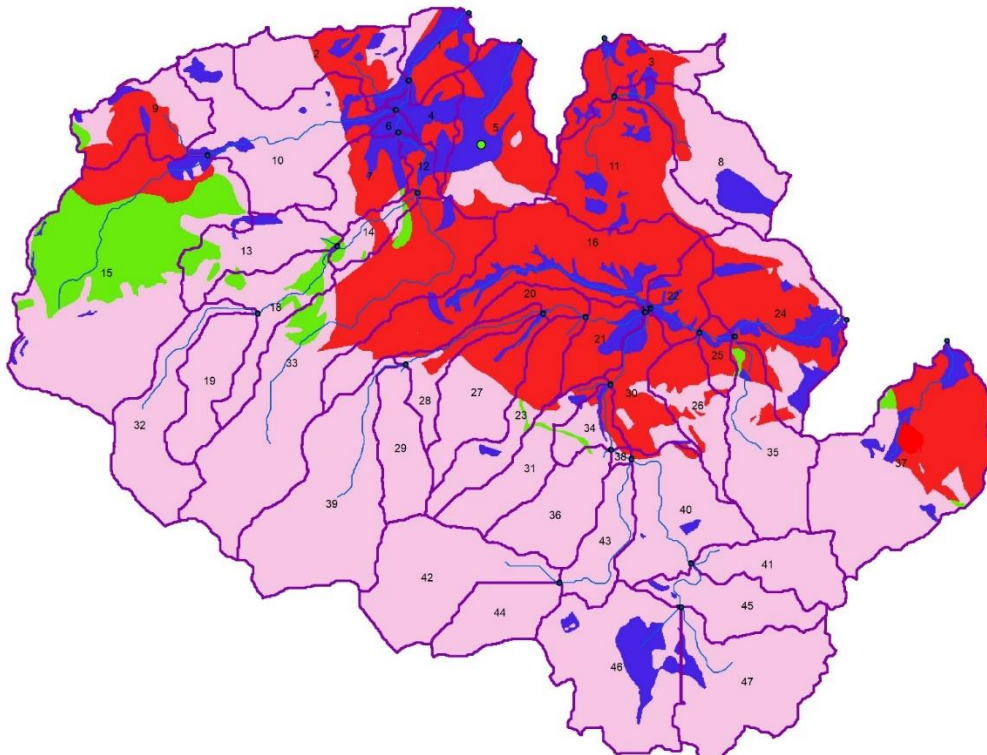
Η απαίτηση του νερού αυξάνεται τις περιόδους άρδευσης δηλαδή Απρίλιο – Οκτώβριο (Διάγραμμα 4.1). Συγκεκριμένα την περίοδο αυτή η άρδευση καταλαμβάνει ποσοστό 56 έως 75% στις μηνιαίες απαιτήσεις, ενώ αν συγκρίνουμε με την περίοδο Νοέμβριο – Μάρτιο η μηνιαία κατανάλωση είναι τουλάχιστον 10 φορές μεγαλύτερη. Την περίοδο Μάιο – Σεπτέμβριο οι απαιτήσεις νερού λόγω τουρισμού ανέρχονται στο 15 έως 19% των μηνιαίων απαιτήσεων.

Το νερό οικιακής χρήσης την περίοδο Οκτώβριο – Μάρτιο καταλαμβάνει ποσοστό 70% ενώ την περίοδο Απρίλιο – Σεπτέμβριο που είναι τουριστική περίοδος αλλά και περίοδος άρδευσης καλλιεργειών το ποσοστό πέφτει στο 2-3% της συνολικής καταναλωμένης ποσότητας. Λόγω ζωικού κεφαλαίου έχουμε σταθερή κατανάλωση με ποσοστό 27% την περίοδο Οκτώβριο – Μάρτιο ενώ πέφτει στο 1-1.5% την περίοδο Απρίλιο – Σεπτέμβριο. Τέλος μπορεί να θεωρηθεί ότι οι υδατικές ανάγκες της περιοχής για τις μελλοντικές περιόδους 2030 – 2050 και 2070 – 2090 δεν θα αυξηθούν παραπάνω απ' ό,τι υπολογίστηκε στα 7.021.526 m³ διότι δεν υπάρχουν σημαντικές μεταβολές στα κοινωνικο-οικονομικά δεδομένα συνεπώς στις απαιτήσεις νερού της περιοχής.

5. Αποτελέσματα

5.1 Μοντελοποίηση Υδρολογίας Πηγής Στύλου

Για την μοντελοποίηση της πηγής χρησιμοποιήθηκε το ArcMap και το μοντέλο SWAT καθώς και το SWAT Karst Model. Στη παρακάτω εικόνα φαίνεται η ευρύτερη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη (συμπεριλαμβανομένης και της καρστικής περιοχής) έκτασης περίπου 381 km^2 , η οποία χωρίστηκε σε 47 υπολεκάνες και 217 HRUs.



Εικόνα 5.1: Λεκάνη Απορροής ποταμού Κοιλιάρη

Ο λόγος που η λεκάνη χωρίζεται σε υπολεκάνες είναι διότι σε μία λεκάνη απορροής υπάρχουν περιοχές με διαφορετικές χρήσεις γης ή εδάφη ανάμοια σε ιδιότητες που επηρεάζουν διαφορετικά την υδρολογία. Με τον διαχωρισμό της λεκάνης απορροής σε υπολεκάνες, ο χρήστης μπορεί να αναφερθεί σε διαφορετικές περιοχές της λεκάνης απορροής μεταξύ τους χωρικά. Στο μοντέλο εισήχθησαν ο τοπογραφικός, ο εδαφολογικός χάρτης και ο χάρτης χρήσεων γης ενώ εισήχθησαν και δεδομένα βροχόπτωσης και θερμοκρασίας από το 1970 έως το 2018. Τα δεδομένα εισόδου για κάθε υπολεκάνη ομαδοποιούνται ή οργανώνονται σε μονάδες υδρολογικής απόκρισης (Hydrologic Response Units – HRUs). Οι μονάδες υδρολογικής απόκρισης είναι ομαδοποιημένες εκτάσεις εντός

της υπολεκάνης που αποτελούνται από μοναδικούς συνδυασμούς κάλυψης γης, εδάφους και διαχείρισης.

Αφού εισήχθησαν όλα τα δεδομένα ακολούθησε χειροκίνητη βαθμονόμηση η οποία είναι μία διαδικασία δοκιμής – σφάλματος για τον έλεγχο των αλλαγών στις τιμές των διαφορετικών παραμέτρων. Οι αποφάσεις σχετικά με το ποιες παραμέτρους αλλάζουν λαμβάνονται πρωτίστως με τη σύγκριση των προσομοιωμένων τιμών με τις τιμές που έχουμε συλλέξει από το πεδίο. Η βαθμονόμηση ολοκληρώνεται αφού υπολογίσουμε κάποιους στατιστικούς δείκτες αξιολόγησης απόδοσης του μοντέλου που θα συζητηθεί στο επόμενο υποκεφάλαιο. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι παράμετροι του SWAT που τροποποιήθηκαν για να γίνει επιτυχής η βαθμονόμηση και τα εύρη τιμών τους.

Πίνακας 5.1: Παράμετροι βαθμονόμησης SWAT

Παράμετρος	Περιγραφή	Τιμές στην Λεκάνη Απορροής
Πίνακας δεδομένων: Soil*		
SOL_AWC	Διαθέσιμη υγρασία	0.15 – 0.40
SOL_K	Κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα	5-10
SOL_Z	Πάχος εδάφους	150 - 1000
NLAYERS	Αριθμός εδαφικών στρώσεων	1 - 2
Πίνακας δεδομένων: Groundwater*		
GW_DELAY	Συντελεστής καθυστέρησης υπόγειου νερού	1
RCHRG_DP	Ποσοστό νερού που κατεισδύει στον βαθύ υδροφορέα	0 - 1
GW_REVAP	Συντελεστής υπόγειου νερού	0.05
GWQMN	Ελάχιστο βάθος νερού στον αβαθή υδροφορέα	300 - 1500
Πίνακας δεδομένων: Subbasin*		
CH_K1	Υδραυλική αγωγιμότητα	0.5 - 300
Πίνακας δεδομένων: HRU*		
CANMX	Μέγιστη αποθήκευση θόλων	15
ESCO	Συντελεστής αντιστάθμισης εξάτμισης εδάφους	0.6

EPCO	Συντελεστής αντιστάθμισης πρόληψης φυτών	0.9
Πίνακας δεδομένων: Management*		
CN2	Αριθμός καμπύλης απορροής	40 - 80

*Οι παράμετροι που τροποποιήθηκαν πήραν τιμές στο εύρος που παρουσιάζεται στον πίνακα ανάλογα με το είδος του εδάφους.

5.2 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Μοντέλου

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν στατιστικοί δείκτες οι οποίοι υπολογίστηκαν βάσει των προσομοιωμένων και παρατηρούμενων τιμών παροχής. Οι δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι **NSE** (Nash Sutcliffe Efficiency), **PBIAS** (Percent BIAS) και **RSR** (Root Mean Square Error-Observations Standard Deviation Ration). Οι δείκτες μας δείχνουν πόσο ικανό είναι το μοντέλο στην πρόβλεψη μελλοντικών σεναρίων.

Ο **NSE** είναι ένας κανονικοποιημένος στατιστικός δείκτης ο οποίος υπολογίζει την σύγκλιση των προσομοιωμένων τιμών με τις παρατηρούμενες. Η εξίσωση του δείκτη είναι:

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (y_i^{obs} - y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i^{obs} - y_i^{mean})^2} \right]$$

Όπου y_i^{obs} είναι οι παρατηρούμενες τιμές, y_i^{sim} είναι οι προσομοιωμένες τιμές και y_i^{mean} είναι η μέση τιμή των παρατηρούμενων τιμών. Ο NSE κυμαίνεται από $-\infty$ έως 1 όπου το 1 είναι η βέλτιστη τιμή. Τιμές από 0 έως 1 θεωρούνται αποδεκτές ενώ τιμές μικρότερες το 0 υποδηλώνουν ότι οι προσομοιωμένες τιμές δεν είναι κοντά στην πραγματικότητα οπότε και δεν είναι αποδοτικό το μοντέλο.

Ο δείκτης **PBIAS** δείχνει την μέση τάση των προσομοιωμένων τιμών να παίρνουν τιμές μικρότερες ή μεγαλύτερες από αυτές των παρατηρούμενων τιμών. Η εξίσωση του δείκτη είναι:

$$PBIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (y_i^{obs} - y_i^{sim}) * 100}{\sum_{i=1}^n y_i^{obs}} \right]$$

Όπου y_i^{obs} είναι οι παρατηρούμενες τιμές, y_i^{sim} είναι οι προσομοιωμένες τιμές. Η βέλτιστη τιμή του PBIAS είναι το 0. Τιμές μεγαλύτερες ή μικρότερες του 0 δείχνουν πόσο υστερεί ή υπερτερεί οι προσομοιωμένες τιμές βάσει των παρατηρούμενων.

Ο δείκτης RMSE εκφράζει την απόκλιση των παρατηρούμενων τιμών από αυτές που έχουν προσομοιωθεί. Ο δείκτης STDV εκφράζει την απόκλιση των παρατηρούμενων τιμών από το μέσο όρο τους. Τέλος ο δείκτης RSR προϋποθέτει τον υπολογισμό του RMSE και STDV καθώς υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο.

$$RSR = \frac{RMSE}{STDV_{obs}} = \frac{\left[\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i^{obs} - y_i^{sim})^2} \right]}{\left[\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i^{obs} - y_i^{mean})^2} \right]}$$

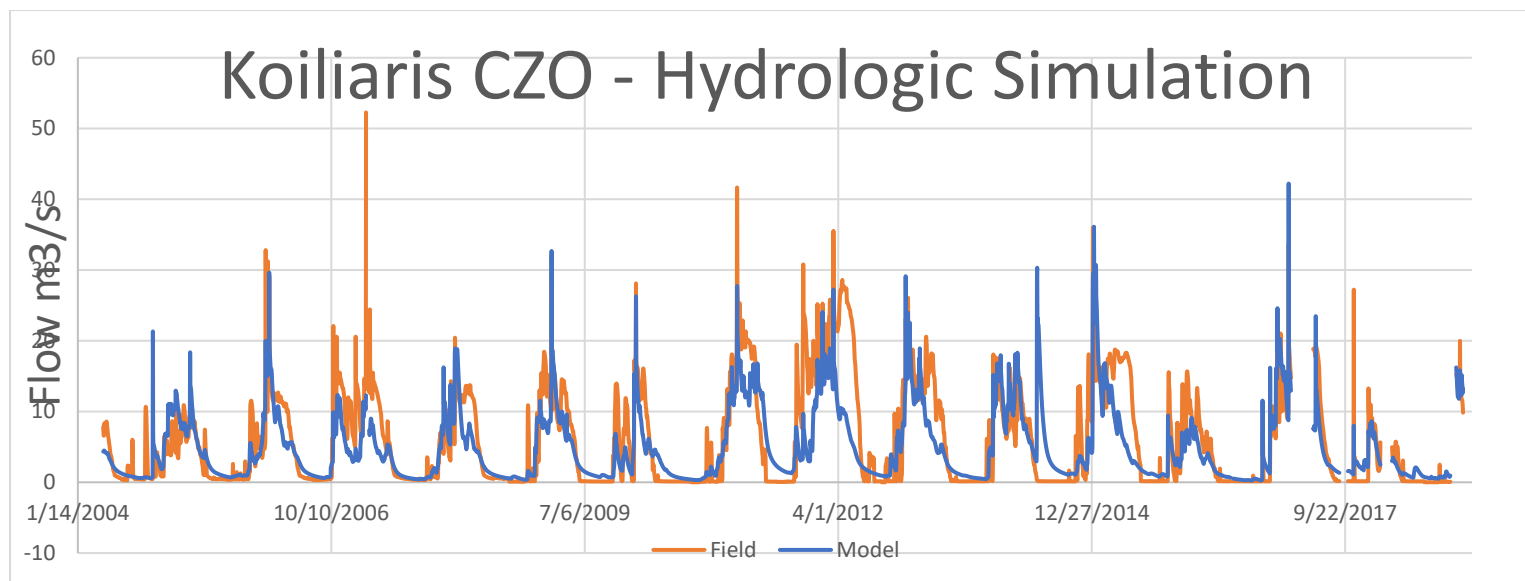
Όπου y_i^{obs} είναι οι παρατηρούμενες τιμές, y_i^{sim} είναι οι προσομοιωμένες τιμές και y_i^{mean} είναι η μέση τιμή των παρατηρούμενων τιμών. Βέλτιστη τιμή του RSR είναι το 0 ενώ τιμές μεγαλύτερες του 0.7 δεν θεωρούνται ικανοποιητικές τιμές.

Οι δείκτες που προαναφέρθηκαν λοιπόν, χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της μοντελοποίησης καθώς μας δείχνουν την απόκλιση των παρατηρηθέντων και των προσομοιωμένων τιμών και κατά πόσο είναι επαρκή η βαθμονόμηση του μοντέλου (Πίνακας 5.2).

Πίνακας 5.2: Αξιολόγηση Απόδοσης για Στατιστικά Μηνιαίου Χρονικού Βήματος

Αξιολόγηση Απόδοσης	PBIAS (%)				
	RSR	NSE	Streamflow	Sediment	N, P
Πολύ Καλό	$0.00 \leq RSR \leq 0.50$	$0.75 \leq NSE \leq 1.00$	$PBIAS < \pm 10$	$PBIAS < \pm 15$	$PBIAS < \pm 25$
Καλό	$0.50 \leq RSR \leq 0.60$	$0.65 \leq NSE \leq 0.75$	$\pm 10 < PBIAS < \pm 15$	$\pm 15 < PBIAS < \pm 30$	$\pm 25 < PBIAS < \pm 40$
Ικανοποιητικό	$0.60 \leq RSR \leq 0.70$	$0.50 \leq NSE \leq 0.65$	$\pm 15 < PBIAS < \pm 25$	$\pm 30 < PBIAS < \pm 55$	$\pm 40 < PBIAS < \pm 70$
Όχι Ικανοποιητικό	$RSR \geq 0.70$	$NSE \leq 0.50$	$PBIAS \geq \pm 25$	$PBIAS \geq \pm 55$	$PBIAS \geq \pm 70$

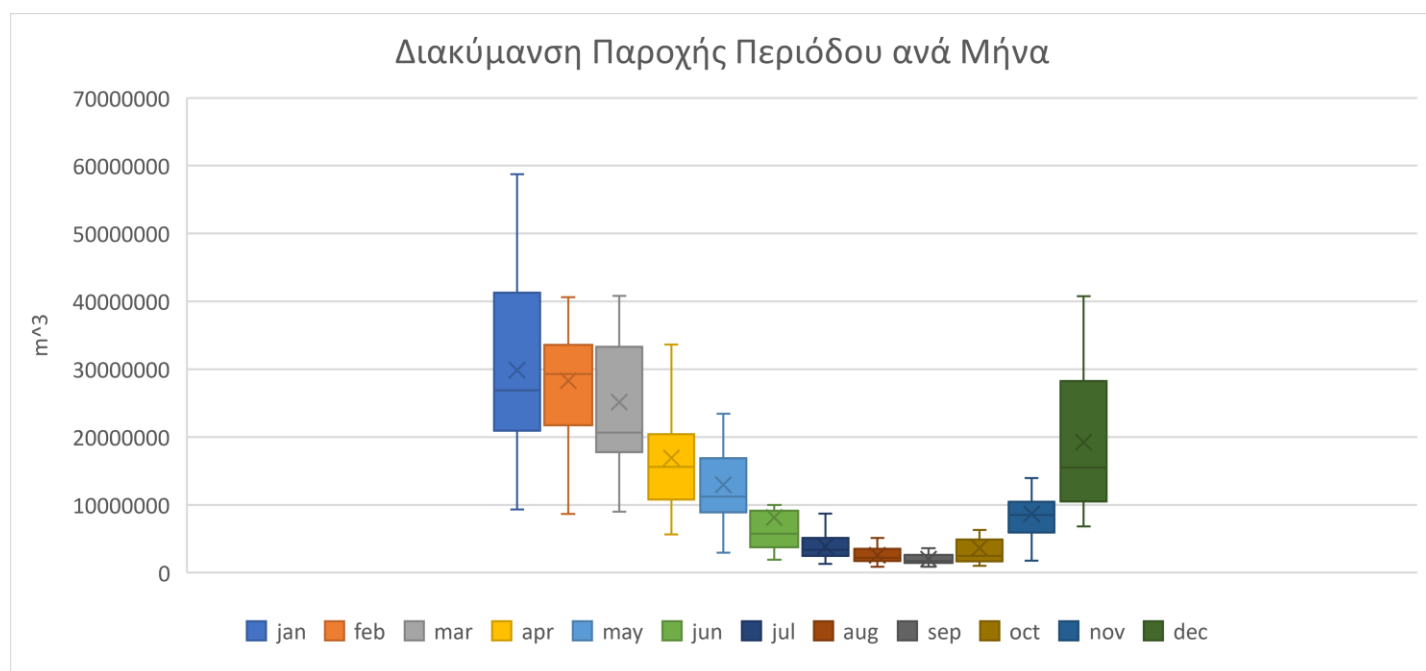
Αφού λοιπόν έγιναν οι απαραίτητες μετατροπές στις αντίστοιχες παραμέτρους βαθμονομήθηκε το μοντέλο και προσομοιώνεται για την περίοδο 2004 – 2018 το υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης απορροής του Ποταμού Κοιλιάρη. (Διάγραμμα 5.1), οι τιμές των στατιστικών δεικτών (Πίνακας 5.3) αφού βαθμονομήθηκε επαρκώς και η διακύμανση παροχής της λεκάνης απορροής ανά μήνα για την περίοδο 2004 – 2018 (Διάγραμμα 5.2).



Διάγραμμα 5.1: Υδρολογική προσομοίωση ποταμού Κοιλιάρη

Πίνακας 5.3: Στατιστικοί δείκτες αξιολόγησης απόδοσης μοντέλου

Δείκτης	Τιμή	Απόδοση
NSE	0.56	Ικανοποιητικό
PBIAS	16.79	Ικανοποιητικό
RSR	0.65	Ικανοποιητικό



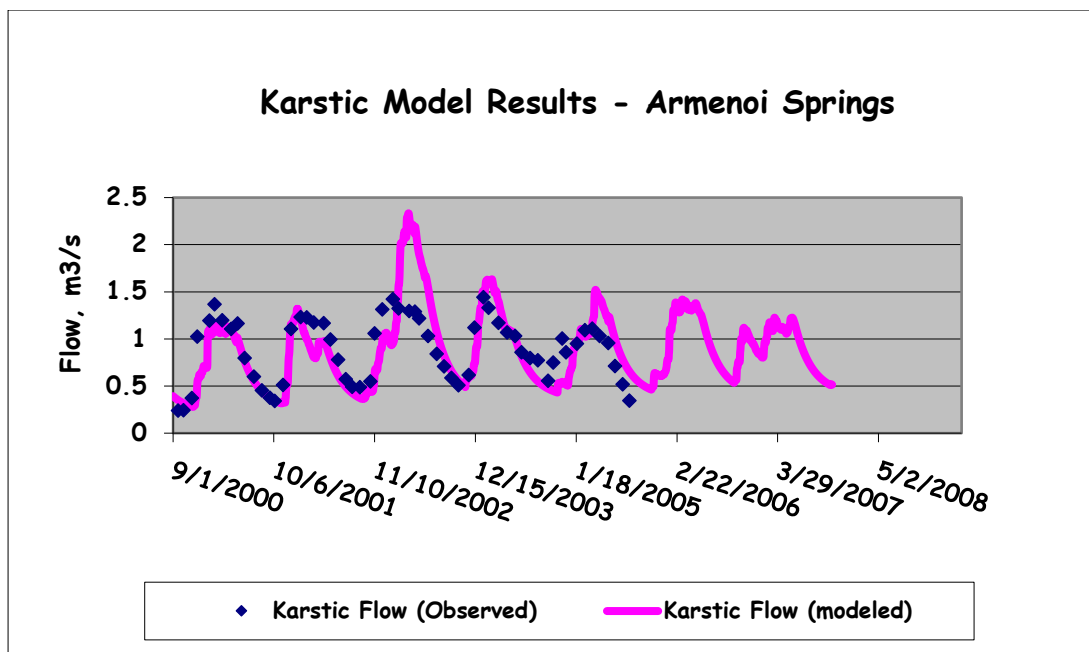
Διάγραμμα 5.2: Διακύμανση Παροχής ποταμού Κοιλιάρη Περίοδου 2004 – 2018 ανά Μήνα

5.3 Μοντελοποίηση Καρστικής Πηγής Αρμένων

Η υδρολογία της περιοχής εκτός από την καρστική πηγή του Στύλου επηρεάζεται και από την καρστική πηγή των Αρμένων. Έχουν επιλεγεί ο λεκάνες που συνεισφέρουν στον Στύλο και χρησιμοποιούμε τις υπόλοιπες που δυνητικά μπορούν να συνεισφέρουν στην πηγή των Αρμένων. Για την μοντελοποίηση της πηγής χρησιμοποιήθηκαν οι υπολεκάνες 5, 11, 16, 20, 21, 23, 33, 27, 28, 17, 30. Για την βαθμονόμηση οι παράμετροι που τροποποιήθηκαν στις αντίστοιχες υπολεκάνες παρουσιάζονται στον (Πίνακα 5.4) καθώς και το εύρος τιμών τους. Οι τιμές των παραμέτρων τροποποιήθηκαν έως ότου να έχουμε την λιγότερη δυνατή απόκλιση της προσομοίωσης από τις παρατηρούμενες τιμές. Η μοντελοποίηση της πηγής βασίστηκε στις παρατηρούμενες τιμές περιόδου 2000 – 2005 ενώ μοντελοποιήθηκε η παροχή για το διάστημα 2000 – 2007(Διάγραμμα 5.3).

Πίνακας 5.4: Πίνακας τροποποίησης παραμέτρων

Παράμετρος	Περιγραφή	Τιμή
Πίνακας δεδομένων: Groundwater		
GW_DELAY	Συντελεστής καθυστέρησης υπόγειου νερού	100
RCHRG_DP	Ποσοστό νερού που κατεισδύει στον βαθύ υδροφόρα	0.4-0.5
Πίνακας δεδομένων: Management		
CN2	Αριθμός καμπύλης απορροής	50-80
Πίνακας δεδομένων: Soil		
SOL_Z1	Πάχος 1 ^{ης} εδαφικής στρώσης	300
SOL_Z2	Πάχος δεύτερης εδαφικής στρώσης	0



Διάγραμμα 5.3: Μοντελοποίηση Καρστικής Πηγής Αρμένων

5.4 Σενάρια Κλιματικής Αλλαγής

Τα σενάρια κλιματικής αλλαγής βασίζονται είτε σε παγκόσμιας κλίμακας κλιματικά μοντέλα (GCM – General Circulation Model) είτε σε κλιματικά μοντέλα τοπικής κλίμακας (RCM – Regional Climate Model). Το RCM περιλαμβάνει περισσότερες λεπτομέρειες (χαρακτηριστικά τοπογραφίας) στο μοντέλο για συγκεκριμένη περιοχή το οποίο βελτιώνει την προσομοίωση (Hannah, 2015). Ωστόσο το κλίμα μίας περιοχής εξαρτάται και από τις κλιματικές διεργασίες εκτός αυτής της περιοχής οπότε χρησιμοποιείται και το GCM για τον υπολογισμό των συνωριακών συνθηκών της περιοχής που προσομοιώνεται από το RCM. Η ικανότητα του RCM να προσομοιώνει σωστά το κλίμα μίας περιοχής εξαρτάται δηλαδή από την ικανότητα του GCM να προσομοιώνει σωστά τις συνωριακές συνθήκες γι' αυτήν την περιοχή.

Τα RCPs (Representative Concentration Pathways) είναι σενάρια για το πως θα κινηθεί η συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου στο μέλλον. Υπάρχουν 3 κυρίως σενάρια όπου η εξέλιξη του καθενός περιγράφει διαφορετικά μελλοντικά κλιματικά συμβάντα τα οποία θεωρούνται πιθανά ανάλογα με τον όγκο των αερίων του θερμοκηπίου που πρόκειται να εκλυθούν τα επόμενα χρόνια.

Πίνακας 5.5: Αύξηση θερμοκρασία σε °C ανά περίοδο ανά σενάριο

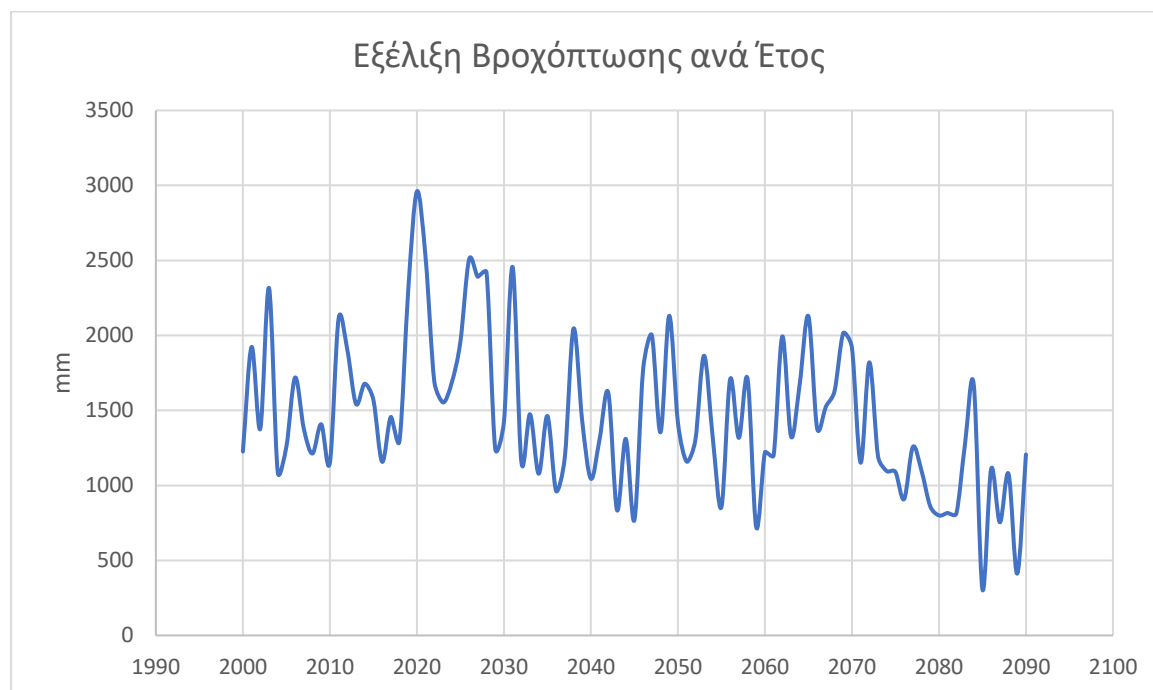
	2045-2065	2081-2100
Σενάριο	Μέση τιμή και πιθανό εύρος	Μέση τιμή και πιθανό εύρος
RCP2.6	1.0 (0.4 – 1.6)	1.0 (0.3 - 1.7)
RCP4.5	1.4 (0.9 – 2.0)	1.8 (1.1 – 2.6)

RCP8.5	2.0 (1.4 – 2.6)	3.7 (2.6 – 4.8)
--------	-----------------	-----------------

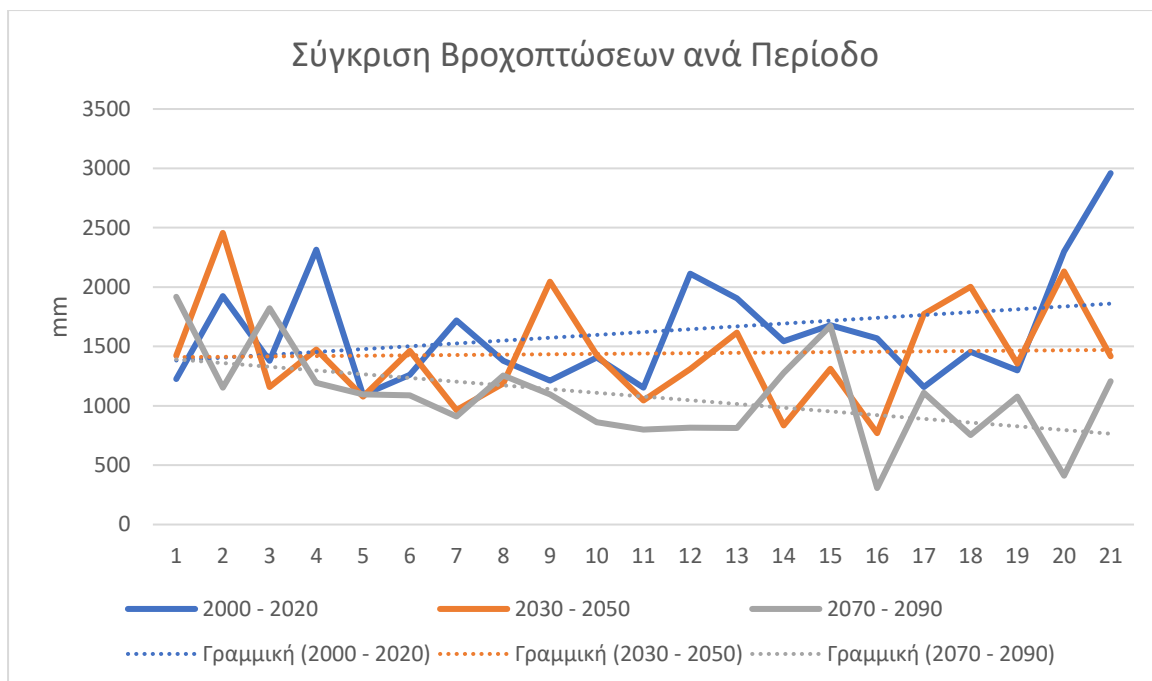
Το RCP2.6 θεωρείται ένα αρκετά θετικό σενάριο σύμφωνα με το οποίο οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα αρχίζουν να μειώνονται από το 2020 έως ότου μηδενιστούν το 2100. Το RCP4.5 είναι ένα ενδιάμεσο σενάριο όπου οι εκπομπές κορυφώνονται έως το 2040 ενώ μετά αρχίζουν την καθοδική πορεία. Τέλος το RCP8.5 είναι δυσμενές σενάριο όπου οι εκπομπές συνεχίζουν να αυξάνονται έως το 2100. Θεωρείται το “χειρότερο” σενάριο κλιματικής αλλαγής και είναι βασισμένο στην υπερεκτίμηση των προβλεπόμενων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Η μελέτη της (Nerantzaki et al., 2020) εξέτασε συνδυασμούς 5 General Circulation Models, 4 Regional Climate Models και 3 Representative Concentration Pathways καταλήγοντας σε 11 συνδυασμούς κλιματικών σεναρίων. Από αυτούς επιλέχθηκε το MPI-ESM-LR-r1_CSC-REMO υπό το RCP8.5 γιατί ήταν το δυσμενέστερο από άποψης μελλοντικών προβλέψεων από τα 11 αυτά σενάρια, ιδιαίτερα μετά το έτος 2060. Το συγκεκριμένο μοντέλο, συγκρινόμενο με τα υπόλοιπα έχει την πιο ικανοποιητική απόδοση συγκρίνοντας με τις παρατηρούμενες τιμές.

Οι παροχές για τα σενάρια κλιματικής αλλαγής υπολογίστηκαν για 2 περιόδους, 2030 έως 2050 και 2070 έως 2090. Τα δεδομένα για το πως μεταβάλλεται η θερμοκρασία και η βροχόπτωση της περιοχής ανά έτος και ανά περίοδο παρουσιάζονται στα Διαγράμματα 5.4 - 5.7.

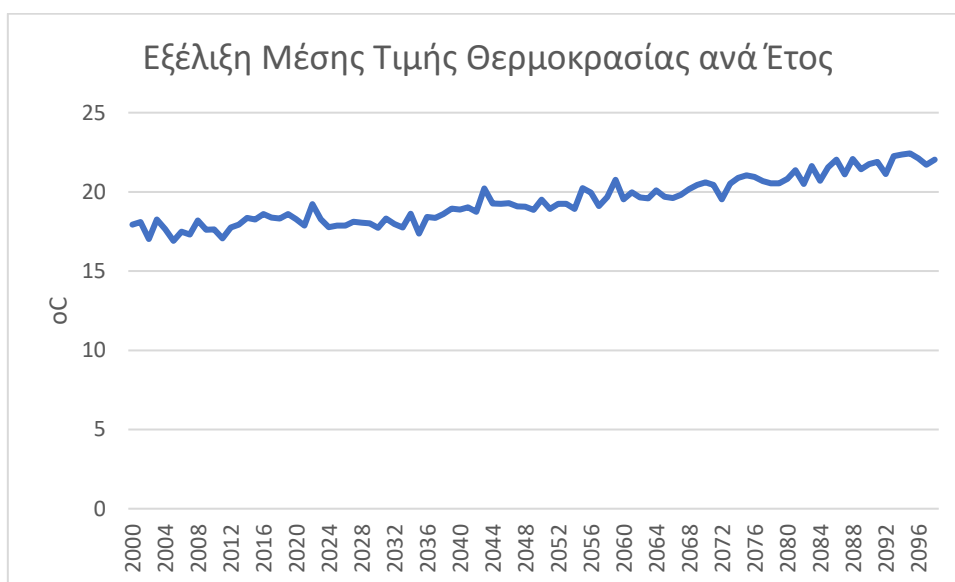


Διάγραμμα 5.4: Εξέλιξη Βροχόπτωσης ανά Έτος

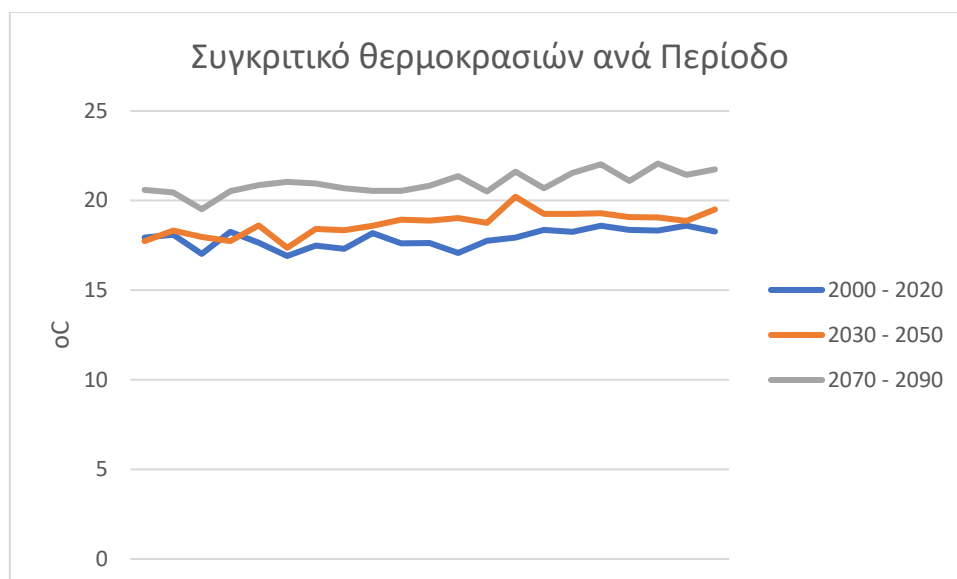


Διάγραμμα 5.5: Σύγκριση Βροχοπτώσεων ανά Έτος ανά Περίοδο

Από τα αποτελέσματα της σύγκρισης των βροχοπτώσεων παρατηρούμε ότι την περίοδο 2000 – 2020 υπάρχει γραμμική αύξηση της βροχόπτωσης . Την περίοδο 2030 – 2050 η βροχόπτωση παραμένει σχεδόν σταθερή με μία μικρή αυξητική τάση ενώ την περίοδο 2070 – 2090 έχουμε σταθερή πτωτική τάση.



Διάγραμμα 5.6: Εξέλιξη Μέσης Τιμής Θερμοκρασίας ανά Έτος



Διάγραμμα 5.7: Σύγκριση Θερμοκρασιών ανά Περίοδο

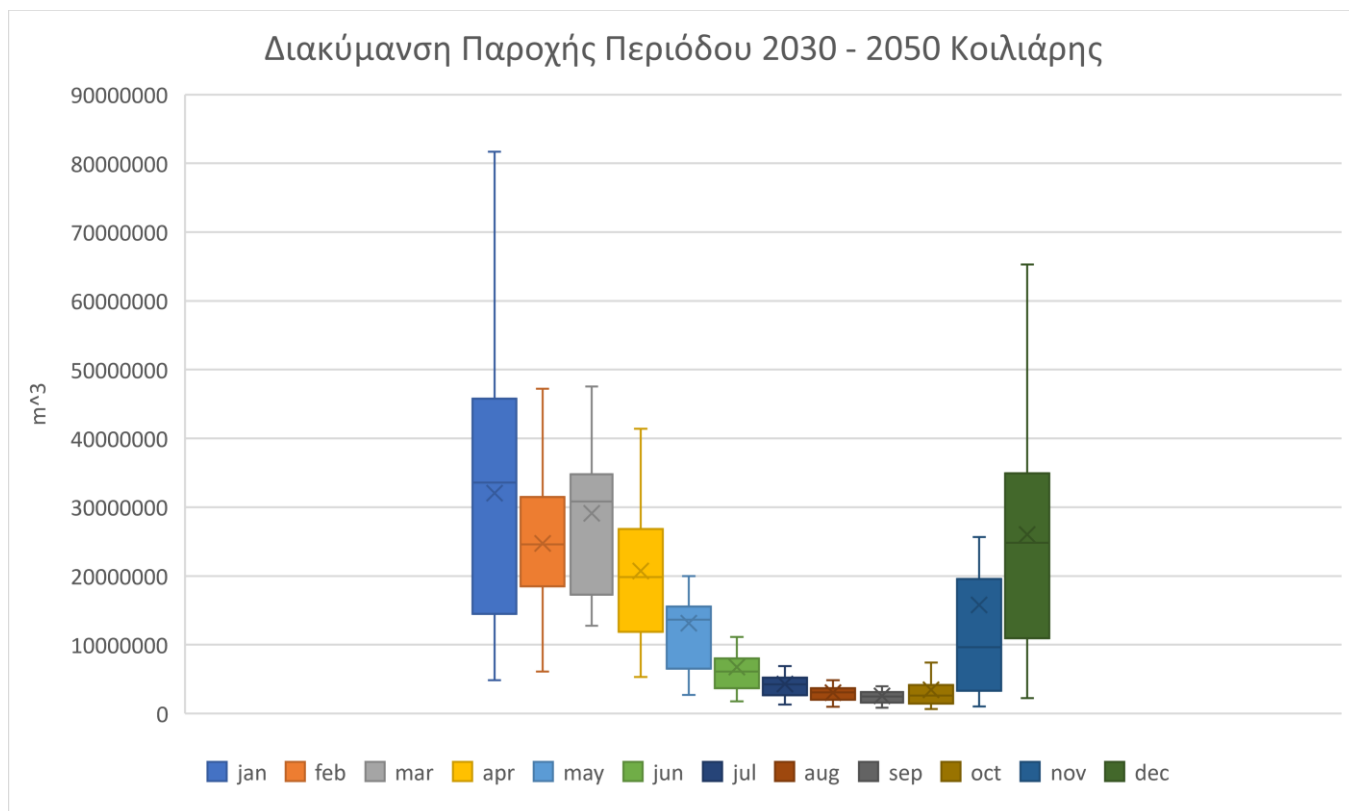
Η θερμοκρασία παρατηρούμε ότι κατά την διάρκεια όλων των περιόδων αυξάνεται γραμμικά με μικρή κλίση. Συγκεκριμένα την περίοδο 2000 έως 2020 η θερμοκρασία έχει μέση τιμή 17.5 °C, την περίοδο 2030 έως 2050 18.7 °C και την περίοδο 2070 έως 2090 21.5 °C.

5.5 Αποτελέσματα Μοντελοποίησης Σεναρίων Κλιματικής Αλλαγής

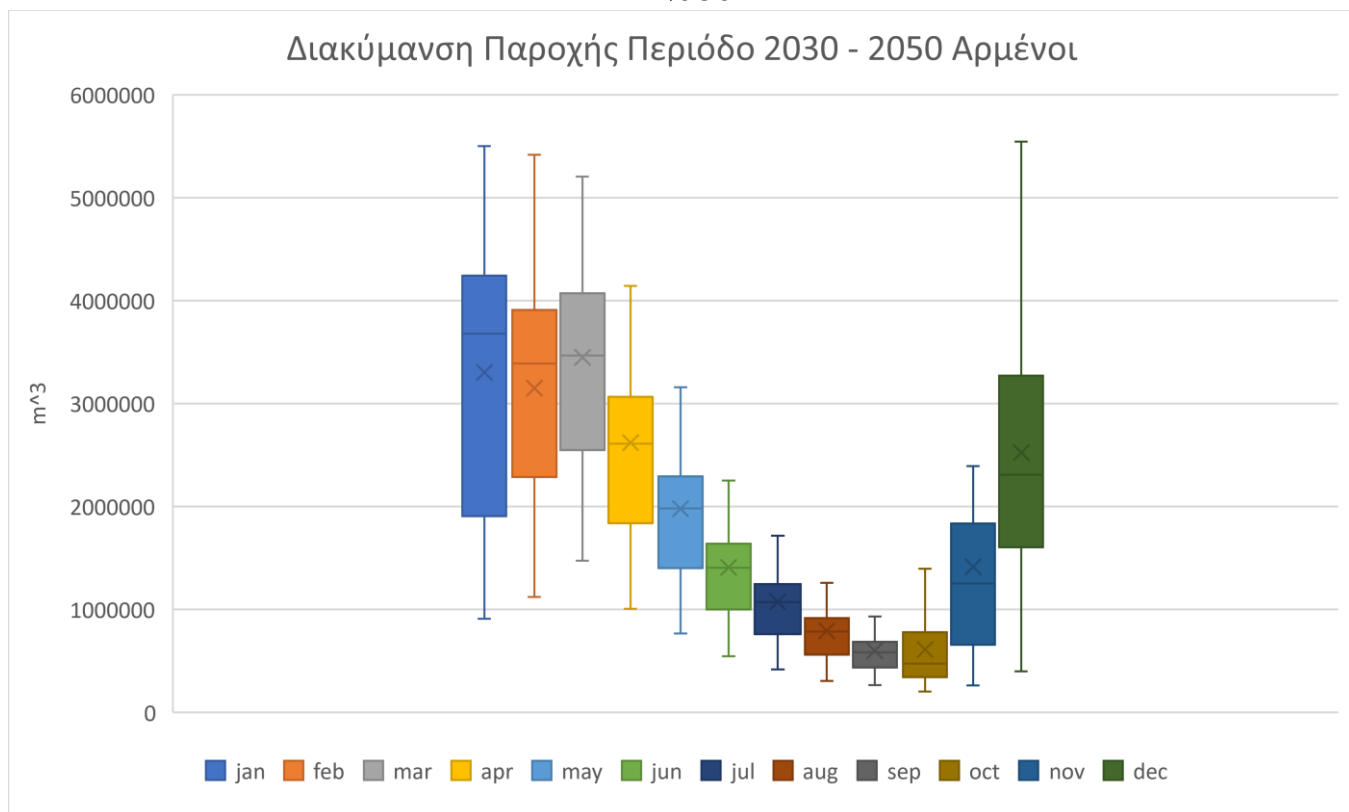
Αναλύοντας τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης της πηγής του Στύλου και των Αρμένων (Διάγραμμα 5.8 - 5.11) λόγω κλιματικής αλλαγής επιβεβαιώνεται ότι λόγω αύξησης της βροχόπτωσης της περιόδου 2030 - 2050 έχουμε και αύξηση της μέσης ογκοπαροχής υδάτων της περιοχής (Πίνακας 5.6) ενώ την περίοδο 2070 - 2090 λόγω της μείωσης της βροχόπτωσης έχουμε μείωση ποσότητας της επιφανειακής και υπόγειας ροής νερού (από καρστικές πηγές).

Πίνακας 5.6: Μέση ογκοπαροχή ανά περίοδο σε hm³

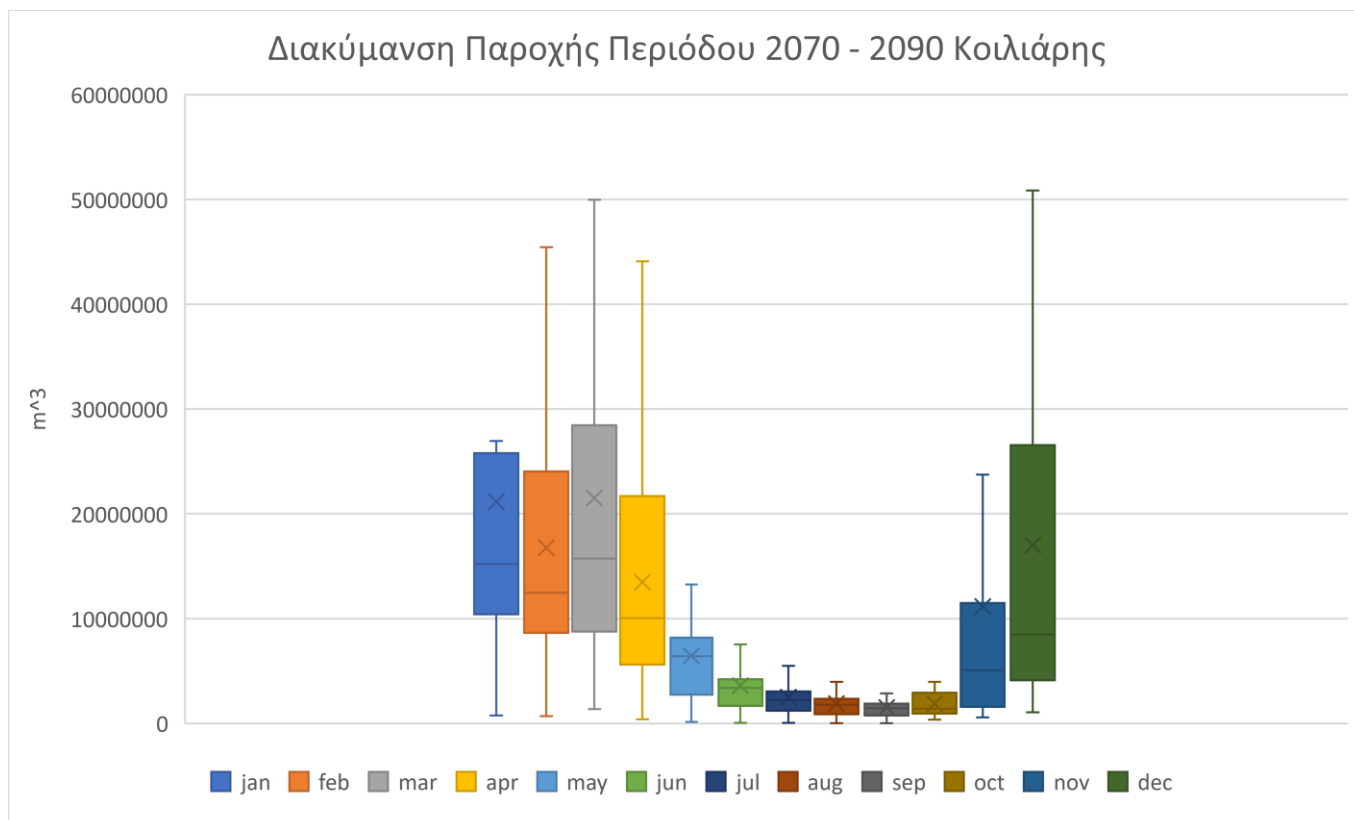
Περίοδος	Κοιλιάρης	Αρμένοι	Ολική
2004 – 2018	161.3	19.8	181.1
2030 - 2050	181.6	22.9	204.5
2070 - 2090	118.6	15.4	134



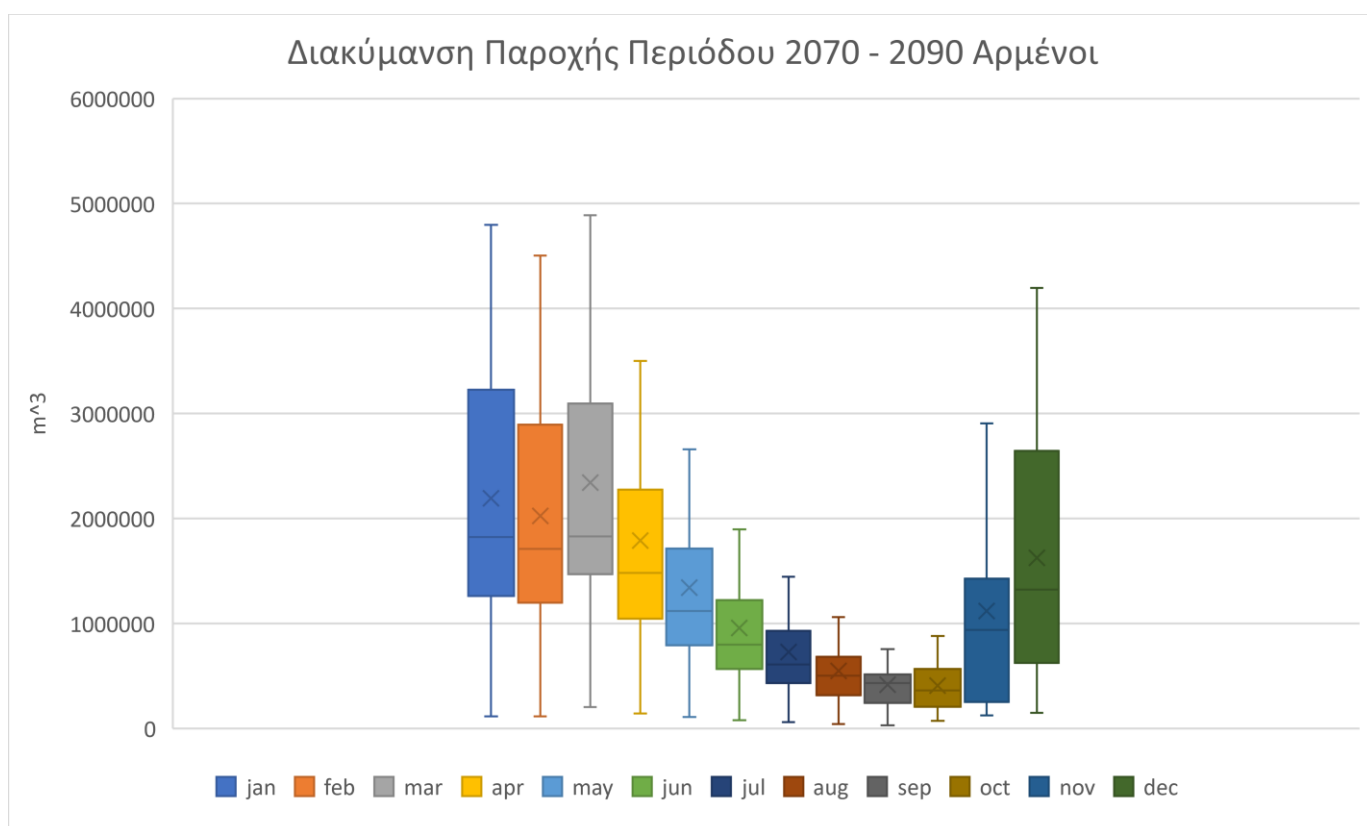
Διάγραμμα 5.8: Μοντελοποίηση Παροχής Κοιλιάρη περιόδου 2030 - 2050



Διάγραμμα 5.9: Μοντελοποίηση Πηγής Αρμένων περιόδου 2030 - 2050

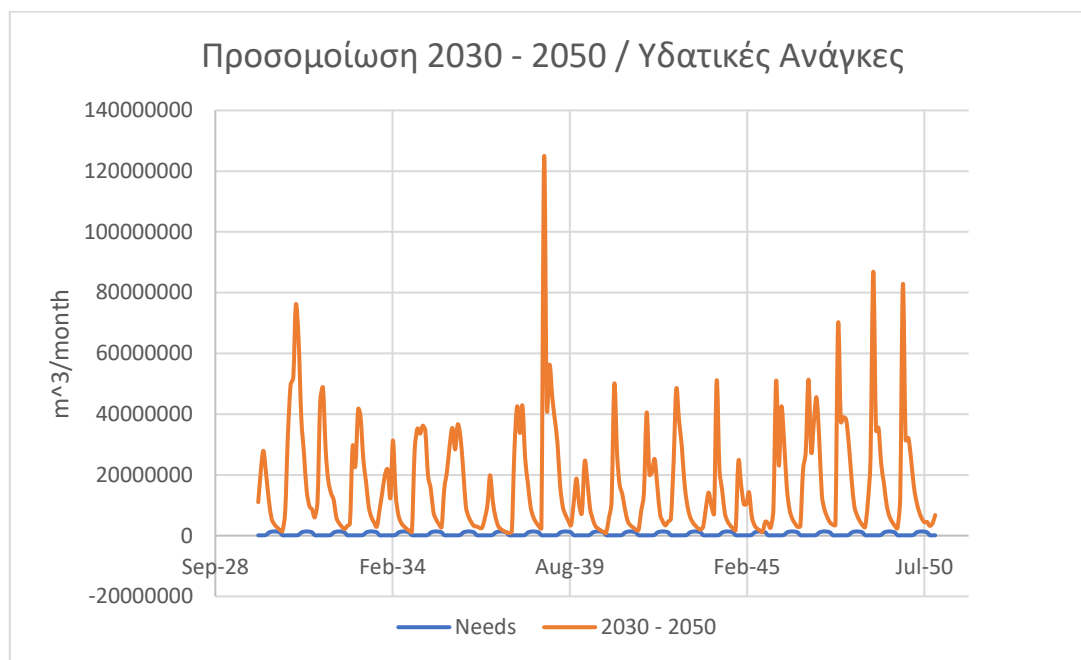


Διάγραμμα 5.10: Μοντελοποίηση Παροχής Κοιλιάρη περιόδου 2070 – 2090



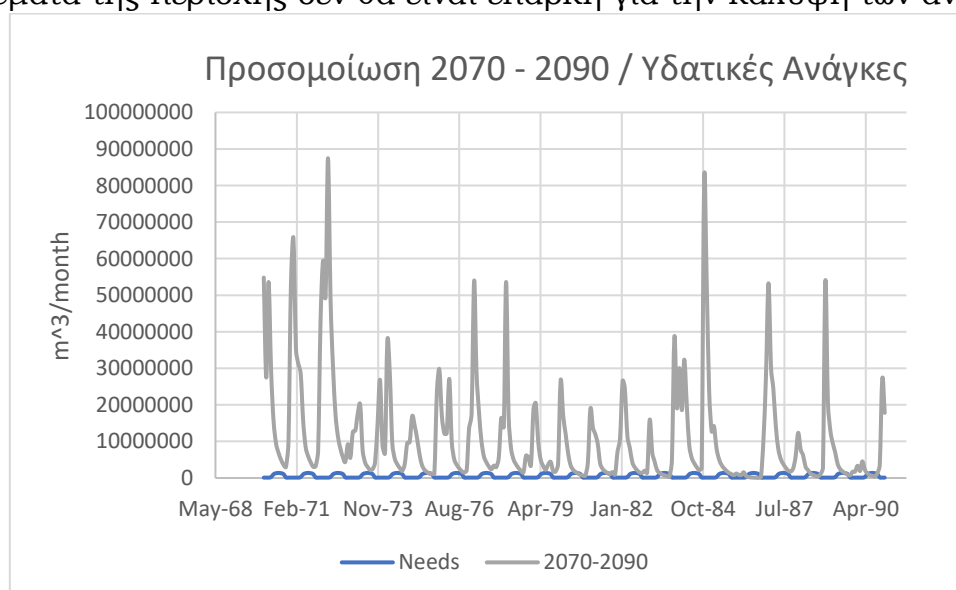
Διάγραμμα 5.11: Μοντελοποίηση Πηγής Αρμένων περιόδου 2070 - 2090

Για να συγκρίνουμε τις διαθέσιμες ποσότητες νερού με τις υδατικές ανάγκες υπολογίστηκαν τα διαθέσιμα μηνιαία υδατικά αποθέματα της πηγής του Στύλου και των Αρμένων αντίστοιχα, (αθροίζοντας της ημερήσιες τιμές) και στη συνέχεια συνυπολογίστηκαν τα επιφανειακά νερά μαζί με τα υδατικά αποθέματα από τις καρστικές πηγές του Στύλου και των Αρμένων και έγινε σύγκριση κάθε μήνα με τις αντίστοιχες υδατικές ανάγκες που υπολογίστηκαν στο κεφάλαιο 4.



Διάγραμμα 5.12: Σύγκριση Παροχών Περίοδου 2030-2050 με Υδατικές Ανάγκες

Η περίοδος 2030 – 2050 αποτελείται από 252 μήνες. Από την μελέτη προέκυψε ότι από τα 21 χρόνια θα υπάρξει 1 χρονιά (1 μήνας) που τα υδατικά αποθέματα της περιοχής δεν θα είναι επαρκή για την κάλυψη των αναγκών.



Διάγραμμα 5.13: Σύγκριση Παροχών Περίοδου 2070-2090 με Υδατικές Ανάγκες

Η περίοδος 2070 – 2090 αποτελείται αντίστοιχα από 252 μήνες. Προέκυψε ότι από τα 21 χρόνια θα υπάρξουν 7 χρονιές (20 μήνες) που θα υπάρξει έλλειμμα στο υδατικό απόθεμα της περιοχής. Αναλύοντας περαιτέρω 5/7 χρονιές παρουσιάζεται ο Σεπτέμβριος, 6/7 χρονιές ο Αύγουστος, 4/7 χρονιές ο Ιούλιος, 4/7 χρονιές ο Ιούνιος και 1/7 χρονιές ο Μάιος (Διάγραμμα 5.13).

Τους μήνες Οκτώβριο έως Απρίλιο τα υδατικά αποθέματα υπερτερούν των υδατικών αναγκών και για τις δύο περιόδους 2030 – 2050 και 2070 – 2090. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στο διάστημα Οκτώβριος - Απρίλιος δεν είναι περίοδος άρδευσης ούτε τουριστική περίοδος καθώς όπως είδαμε προηγουμένως η άρδευση ξεπερνάει το 70% των μηνιαίων υδατικών αναγκών, αλλά και στο ότι την περίοδο Οκτώβριο έως Απρίλιο έχουμε αυξημένη βροχόπτωση συγκριτικά με την περίοδο Μάιο έως Σεπτέμβριο. Την περίοδο 2030 – 2050, παρατηρούμε ότι τα υδατικά αποθέματα δεν επαρκούν για την κάλυψη των αναγκών μόνο ένα μήνα (Αύγουστο), ενώ η αντίστοιχη ελλειμματική περίοδος για το διάστημα 2070 – 2090, είναι μεγαλύτερη λόγω μειωμένης βροχόπτωσης την περίοδο αυτή και εκτείνεται από τον Μάιο έως τον Σεπτέμβριο. Την περίοδο 2070 – 2090 έχουμε μεγαλύτερη συχνότητα ελλειμματικών περιόδων από την περίοδο 2030 – 2050 ενώ την περίοδο 2080 – 2090 παρατηρείται μεγαλύτερη συχνότητα ελλειμματικού υδατικού αποθέματος.

Στα αποτελέσματα εφαρμόστηκε συντελεστής αβεβαιότητας λόγω κλιματικού σεναρίου βάσει της (Nerantzaki et al., 2020). Την περίοδο 2030 – 2050 ο συντελεστής διακύμανσης της ολικής απορροής δηλαδή από επιφανειακά ύδατα και καρστικές πηγές ανέρχεται στο 12,5% ενώ την περίοδο 2070 – 2090 ο αντίστοιχος συντελεστής είναι 28.1%. Λόγω του ότι τα αποτελέσματα μοντελοποίησης υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας το δυσμενέστερο κλιματικό σενάριο RCP 8.5 ο δείκτης εφαρμόστηκε μόνο θετικά των τιμών μοντελοποίησης.

Ύστερα από την εφαρμογή του συντελεστή αβεβαιότητας για την περίοδο 2030 – 2050 από τα 21 χρόνια δεν θα υπάρξει χρονιές που οι υδατικές ανάγκες υπερτερούν των υδατικών αποθεμάτων. Για το διάστημα 2070 – 2090 από τα 21 χρόνια θα υπάρξουν 4 χρονιές (15 από τους 252 συνολικά μήνες) (Πίνακας 5.6).

Πίνακας 5.7: Αποτελέσματα εφαρμογής συντελεστή αβεβαιότητας

Χωρίς εφαρμογή συντελεστή αβεβαιότητας	2030 - 2050		2070 - 2090	
	Μήνες	Μήνες Σύνολο	Μήνες	Μήνες Σύνολο
	1	252	20	252
	Χρονιές	Χρονιές Σύνολο	Χρονιές	Χρονιές Σύνολο
Με εφαρμογή συντελεστή αβεβαιότητας	1	21	7	21
	2030 - 2050		2070 - 2090	
	Μήνες	Μήνες Σύνολο	Μήνες	Μήνες Σύνολο
	0	252	15	252
	Χρονιές	Χρονιές Σύνολο	Χρονιές	Χρονιές Σύνολο
	0	21	4	21

Εφαρμόζοντας τον συντελεστή αβεβαιότητας στα αποτελέσματα της μοντελοποίησης παρατηρούμε μείωση των ελλειμματικών περιόδων και στα δύο χρονικά διαστήματα. Πλέον στο διάστημα 2030 – 2050 οι υδατικές ανάγκες της περιοχής καλύπτονται όλη την περίοδο ενώ στο διάστημα 2070 – 2090 θα υπάρξουν 4 χρονιές (15 μήνες). Η συχνότητα που εμφανίζεται λειψυδρία το διάστημα 2070 – 2090 με την εφαρμογή του συντελεστή αβεβαιότητας μειώθηκε κατά 25%.

6. Συμπεράσματα

Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η μοντελοποίηση της λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη, η προσομοίωση του υδατικού ισοζυγίου για ένα δυσμενές σενάριο κλιματικής αλλαγής και ο προσδιορισμός των μελλοντικών υδατικών αναγκών της περιοχής του Δήμου Αποκορώνου ώστε να προσδιορισθεί αν θα υπάρξουν περίοδοι λειψυδρίας. Στην προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε το δυσμενές κλιματικό σενάριο REMO υπό το RCP 8.5 (αύξηση θερμοκρασίας 4 °C έως το 2100) ενώ εφαρμόστηκε και συντελεστής αβεβαιότητας κλιματικού σεναρίου για να καλυφθεί το πιθανό εύρος της εκτιμώμενης μελλοντικής παροχής.

Αρχικά έγινε συλλογή κοινωνικο-οικονομικών δεδομένων για τον δήμο Αποκορώνου τα οποία περιλάμβαναν δημογραφικά δεδομένα, χρήσεις γης, ζωικό κεφάλαιο, δεδομένα τουρισμού και άδειες χρήσης νερού. Βάσει των δεδομένων αυτών και θεωρώντας τυπικές καταναλώσεις ανά κατηγορία χρήσης, οι μέγιστες ολικές ανάγκες νερού της ευρύτερης περιοχής του δήμου Αποκόρωνα υπολογίστηκαν σε 7.021.526 m³ ανά έτος (Κεφάλαιο 4). Ο αριθμός αυτός επιβεβαιώνεται από τις άδειες χρήσης νερού για την περιοχή (Υποκεφάλαιο 3.2.6). Ταυτόχρονα εκτιμήθηκαν οι τάσεις των κοινωνικο-οικονομικών δεδομένων για την περίοδο 1961-2017, ανάλογα με τη διαθεσιμότητά τους. Προέκυψε ότι δεν υπάρχουν σημαντικές αυξητικές τάσεις σε κάθε κατηγορία που εξετάστηκε, επομένως θεωρήθηκε ότι οι μέγιστες ανάγκες νερού (7.021.526 m³), που εκτιμήθηκαν βάσει των πιο πρόσφατων δεδομένων, παραμένουν σταθερές στο μέλλον. Η κατανομή της ετήσιας τιμής σε μηνιαίες έγινε με χρήση ποσοστιαίων δεικτών ανά μήνα βάσει παλαιότερων καταγραφών. Η παροχή αυτή συγκρίθηκε με τα υδατικά αποθέματα που υπολογίστηκαν από το υδρολογικό μοντέλο.

Για την υδρολογική προσομοίωση τόσο των επιφανειακών όσο και των καρστικών υδάτων χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο SWAT σε συνδυασμό με το μοντέλο Karst-SWAT. Πραγματοποιήθηκε προσομοίωση της υδρολογίας του δήμου Αποκορώνου, συνολικής έκτασης 381 km², ώστε να εκτιμηθεί το υδατικό ισοζύγιο της ευρύτερης περιοχής με παράλληλη μοντελοποίηση των πηγών του Στύλου και των Αρμένων. Βάσει των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης, η μέση ετήσια παροχή στην κυρίως

λεκάνη του ποταμού Κοιλιάρη (130 km^2) εκτιμήθηκε σε 161.3 hm^3 και η μέση ετήσια καρστική παροχή των Αρμένων σε 19.8 hm^3 . Χρησιμοποιώντας προηγούμενες μελέτες κλιματικής αλλαγής που πραγματοποιήθηκαν για τη λεκάνη απορροής του Κοιλιάρη, επιλέχθηκε το δυσμενέστερο κλιματικό σενάριο (REMO RCP8.5) για την εκτίμηση των επιπτώσεων σε αυτή τη μελέτη. Χρησιμοποιώντας ως δεδομένα εισόδου τη βροχόπτωση και θερμοκρασία του κλιματικού μοντέλου, εκτιμήθηκαν οι επιμέρους παροχές για δύο μελλοντικές περιόδους (2030-2050 και 2070-2090). Για τη μελλοντική περίοδο 2030-2050 οι μέσες ετήσιες παροχές εκτιμήθηκαν σε 181.6 hm^3 για τον ποταμό Κοιλιάρη και 22.9 hm^3 την παροχή των Αρμένων, ενώ για την περίοδο 2070-2090 σε 118.6 hm^3 και 15.4 hm^3 . Το συνολικό διαθέσιμο νερό της περιοχής αυξάνεται κατά 12.9% κατά την πρώτη μελλοντική περίοδο και μειώνεται κατά 26% στη δεύτερη.

Βάσει των παραπάνω αποτελεσμάτων και θεωρώντας, όπως αναφέρθηκε, σταθερές ανάγκες νερού στο μέλλον, είναι εμφανές ότι θα υπάρξουν περίοδοι στο μέλλον κατά τη διάρκεια των οποίων τα υδατικά αποθέματα δεν θα φθάνουν για να καλυφθούν οι ανάγκες της περιοχής. Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται 1 μήνας λειψυδρίας από τους 252 συνολικά (0,4% της περιόδου) για την πρώτη μελλοντική περίοδο, ενώ για την δεύτερη οι μήνες λειψυδρίας ανέρχονται στους 20 από τους 252 (7.9% της περιόδου). Διευκρινίζεται ότι η ελλειμματική περίοδος για το διάστημα 2070 – 2090 διαρκεί από Μάιο έως Σεπτέμβριο.

Εφόσον στην παρούσα μελέτη θεωρήθηκε μόνο ένα κλιματικό σενάριο (το δυσμενέστερο από ένα σύνολο σεναρίων), για να ενσωματωθεί η αβεβαιότητα λόγω κλιματικού σεναρίου εφαρμόστηκε συντελεστής αβεβαιότητας για κάθε περίοδο και εξετάστηκαν τα αποτελέσματα. Ο συντελεστής αυτός εκφράζει το εύρος της πρόβλεψης για ένα σύνολο πιθανών σεναρίων. Με την εφαρμογή του συντελεστή, για το διάστημα 2030 – 2050 πλέον δεν παρατηρείται περίοδος ελλείματος υδατικών αποθεμάτων ενώ στο διάστημα 2070 – 2090, 15 μήνες από τους 252 έχουν λειψυδρία (5.9% όλης της περιόδου), δηλαδή 25% λιγότεροι μήνες συγκριτικά με τα αρχικά αποτελέσματα.

Συμπερασματικά, παρατηρείται επιβάρυνση των υδατικών πόρων για την ευρύτερη περιοχή του δήμου Αποκορώνου μετά το 2070. Η παρατήρηση αυτή επιβεβαιώνεται από προηγούμενες μελέτες. Η κλιματική αλλαγή αποτελεί μία από τις κυριότερες παγκόσμιες απειλές, οι επιπτώσεις της οποίας, είναι ήδη ορατές σε όλο τον πλανήτη και αναμένεται να γίνουν πιο αισθητές στο μέλλον. Είναι επομένως επιτακτική η ανάγκη για λήψη μέτρων για τον μετριασμό και την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή. Οι ενέργειες μετριασμού θα διαρκέσουν δεκαετίες για να επηρεάσουν τις αυξανόμενες θερμοκρασίες οπότε πρέπει να προσαρμοστούμε τώρα στην αλλαγή η οποία και θα συνεχίσει να μας επηρεάζει στο άμεσο μέλλον.

Βιβλιογραφία

Adedeji, O., Reuben, O., Olatoye, O., 2014. Global Climate Change. *J. Geosci. Environ. Prot.* 02, 114–122. <https://doi.org/10.4236/gep.2014.22016>

Ambroise, B., Freer, J., Beven, K., 1996. Application of a Generalized TOPMODEL to the Small Ringelbach Catchment, Vosges, France. *Water Resour. Res.* 32, 2147–2159. <https://doi.org/10.1029/95WR03715>

Arnold, J.G., Allen, P.M., 1996. Estimating hydrologic budgets for three Illinois watersheds. *J. Hydrol.* 176, 57–77. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(95\)02782-3](https://doi.org/10.1016/0022-1694(95)02782-3)

Bauer, N., Calvin, K., Emmerling, J., Fricko, O., Fujimori, S., Hilaire, J., Eom, J., Krey, V., Kriegler, E., Mouratiadou, I., Sytze de Boer, H., van den Berg, M., Carrara, S., Daioglou, V., Drouet, L., Edmonds, J.E., Gernaat, D., Havlik, P., Johnson, N., Klein, D., Kyle, P., Marangoni, G., Masui, T., Pietzcker, R.C., Strubegger, M., Wise, M., Riahi, K., van Vuuren, D.P., 2017. Shared Socio-Economic Pathways of the Energy Sector – Quantifying the Narratives. *Glob. Environ. Change* 42, 316–330. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.07.006>

Benedini, M., International Symposium on the Application of Systems Analysis to Water Resources Management (Eds.), 1992. *Water resources management: modern decision techniques; selected papers from the International Symposium on the Application of Systems Analysis to Water Resources Management*, Perugia, 1986, IAHR AIRH proceedings. Presented at the International Symposium on the Application of Systems Analysis to Water Resources Management, Balkema, Rotterdam.

Chen, H., Matsushashi, K., Takahashi, K., Fujimori, S., Honjo, K., Gomi, K., 2020. Adapting global shared socio-economic pathways for national scenarios in Japan. *Sustain. Sci.* 15, 985–1000. <https://doi.org/10.1007/s11625-019-00780-y>

Choukr-Allah, R., Ragab, R., Rodriguez-Clemente, R., 2012. *Integrated water resources management in the Mediterranean Region: dialogue towards new strategy*. Springer, Dordrecht; New York.

Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W., 1988. *Applied hydrology*, McGraw-Hill series in water resources and environmental engineering. McGraw-Hill, New York.

Devia, G.K., Ganasri, B.P., Dwarakish, G.S., 2015. A Review on Hydrological Models. *Aquat. Procedia* 4, 1001–1007. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.126>

Epelde, A.M., Cerro, I., Sánchez-Pérez, J.M., Sauvage, S., Srinivasan, R., Antigüedad, I., 2015. Application of the SWAT model to assess the impact of changes in agricultural management practices on water quality. *Hydrol. Sci. J.* 1–19. <https://doi.org/10.1080/02626667.2014.967692>

Fukunaga, D.C., Cecílio, R.A., Zanetti, S.S., Oliveira, L.T., Caiado, M.A.C., 2015. Application of the SWAT hydrologic model to a tropical watershed at Brazil. *CATENA* 125, 206–213. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.10.032>

Gassman, P.W., Sadeghi, A.M., Srinivasan, R., 2014. Applications of the SWAT Model Special Section: Overview and Insights. *J. Environ. Qual.* 43, 1–8. <https://doi.org/10.2134/jeq2013.11.0466>

Glavan, M., Pintar, M., 2012. Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats of Catchment Modelling with Soil and Water Assessment Tool (SWAT) Model, in: Nayak, P. (Ed.), *Water Resources Management and Modeling*. InTech. <https://doi.org/10.5772/34539>

Giannakopoulos, Christos & Bindi, M. & Moriondo, Marco & LeSager, P & Tin, Tina. (2005). Climate Change Impacts in the Mediterranean Resulting from a 2°C Global Temperature Rise. WWF report, Gland Switzerland. Accessed. 1. 2006.

Goodman, A.S., Major, D.C., 1984. Principles of water resources planning. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.

Hall, W.A., Dracup, J.A., 1970. Water resources systems engineering. McGraw-Hill, New York.

Hameed, E.H., Shamkhi, M.S., 2018. Introduction of Hydrologic Modeling System (HEC-HMS). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35554.58560>

Hannah, L.J., 2015. Climate change biology, Second Edition. ed. Academic Press, Elsevier, Amsterdam.

Ivanescu, Veronica. (2014). APPLICATION OF A HYDRODYNAMIC MIKE 11 MODEL FOR ARGESEL RIVER. 10.5593/SGEM2014/B31/S12.009.

Jiang, L., O'Neill, B.C., 2017. Global urbanization projections for the Shared Socioeconomic Pathways. Glob. Environ. Change 42, 193–199. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.03.008>

Kim, H., Rosa, I.M.D., Alkemade, R., Leadley, P., Hurtt, G., Popp, A., van Vuuren, D.P., Anthoni, P., Arneth, A., Baisero, D., Caton, E., Chaplin-Kramer, R., Chini, L., De Palma, A., Di Fulvio, F., Di Marco, M., Espinoza, F., Ferrier, S., Fujimori, S., Gonzalez, R.E., Gueguen, M., Guerra, C., Harfoot, M., Harwood, T.D., Hasegawa, T., Haverd, V., Havlik, P., Hellweg, S., Hill, S.L.L., Hirata, A., Hoskins, A.J., Janse, J.H., Jetz, W., Johnson, J.A., Krause, A., Leclère, D., Martins, I.S., Matsui, T., Merow, C., Obersteiner, M., Ohashi, H., Poulter, B., Purvis, A., Quesada, B., Rondinini, C., Schipper, A.M., Sharp, R., Takahashi, K., Thuiller, W., Titeux, N., Visconti, P., Ware, C., Wolf, F., Pereira, H.M., 2018. A protocol for an intercomparison of biodiversity and ecosystem services models using harmonized land-use and climate scenarios. Geosci. Model Dev. 11, 4537–4562. <https://doi.org/10.5194/gmd-11-4537-2018>

Kriegler, E., O'Neill, B.C., Hallegatte, S., Kram, T., Lempert, R.J., Moss, R.H., Wilbanks, T., 2012. The need for and use of socio-economic scenarios for climate change analysis: A new approach based on shared socio-economic pathways. Glob. Environ. Change 22, 807–822. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.05.005>

Kumarasamy, K., Belmont, P., 2018. Calibration Parameter Selection and Watershed Hydrology Model Evaluation in Time and Frequency Domains. Water 10, 710. <https://doi.org/10.3390/w10060710>

Leimbach, M., Kriegler, E., Roming, N., Schwanitz, J., 2017. Future growth patterns of world regions – A GDP scenario approach. Glob. Environ. Change 42, 215–225. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.02.005>

Lilli, M.A., Efstathiou, D., Moraetis, D., Schuite, J., Nerantzaki, S.D., Nikolaidis, N.P., 2020. A Multi-Disciplinary Approach to Understand Hydrologic and Geochemical Processes at Koiliaris Critical Zone Observatory. Water 12, 2474. <https://doi.org/10.3390/w12092474>

Loucks, D.P., van Beek, E., 2017. Water Resource Systems Planning and Management. Springer International Publishing, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-44234-1>

Neitsch, Susan & Arnold, Jeff & Kinry, J.R. & Williams, J.R.. (2011). Soil and water assessment tool theoretical documentation. Version.

Nerantzaki, S.D., Hristopulos, D.T., Nikolaidis, N.P., 2020. Estimation of the uncertainty of hydrologic predictions in a karstic Mediterranean watershed. *Sci. Total Environ.* 717, 137131. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137131>

Nerantzaki, S.D., Nikolaidis, N.P., 2020. The response of three Mediterranean karst springs to drought and the impact of climate change. *J. Hydrol.* 591, 125296. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125296>

Nikolaidis, N.P., Bouraoui, F., Bidoglio, G., 2013. Hydrologic and geochemical modeling of a karstic Mediterranean watershed (preprint). *Water Resources Management/Modelling approaches*. <https://doi.org/10.5194/hessd-9-1-2012>

O'Neill, B.C., Kriegler, E., Ebi, K.L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D.S., van Ruijven, B.J., van Vuuren, D.P., Birkmann, J., Kok, K., Levy, M., Solecki, W., 2017. The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Glob. Environ. Change* 42, 169–180. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004>

Omani, Nina & Tajrishy, Massoud & Abrishamchi, Ahmad. (2007). Modeling of a river basin using SWAT model and GIS. *Riverside Kuching*.

Pedde, S., Kok, K., Hölscher, K., Frantzeskaki, N., Holman, I., Dunford, R., Smith, A., Jäger, J., 2019. Advancing the use of scenarios to understand society's capacity to achieve the 1.5 degree target. *Glob. Environ. Change* 56, 75–85. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.03.010>

Popp, A., Calvin, K., Fujimori, S., Havlik, P., Humpenöder, F., Stehfest, E., Bodirsky, B.L., Dietrich, J.P., Doelmann, J.C., Gusti, M., Hasegawa, T., Kyle, P., Obersteiner, M., Tabeau, A., Takahashi, K., Valin, H., Waldhoff, S., Weindl, I., Wise, M., Kriegler, E., Lotze-Campen, H., Fricko, O., Riahi, K., Vuuren, D.P. van, 2017. Land-use futures in the shared socio-economic pathways. *Glob. Environ. Change* 42, 331–345. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.10.002>

Preissmann, A., and Zanoui, J., 1979. "Le Module Ecoulement de Surface du Systeme Hydrologique Europeen (SHE)". *Proc 18th International Association for Hydraulic Research*

Riahi, K., van Vuuren, D.P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B.C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Cuaresma, J.C., Kc, S., Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., Ebi, K., Hasegawa, T., Havlik, P., Humpenöder, F., Da Silva, L.A., Smith, S., Stehfest, E., Bosetti, V., Eom, J., Gernaat, D., Masui, T., Rogelj, J., Strefler, J., Drouet, L., Krey, V., Luderer, G., Harmsen, M., Takahashi, K., Baumstark, L., Doelman, J.C., Kainuma, M., Klimont, Z., Marangoni, G., Lotze-Campen, H., Obersteiner, M., Tabeau, A., Tavoni, M., 2017. The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Glob. Environ. Change* 42, 153–168. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>

Romagnoli, M., Portapila, M., Rigalli, A., Maydana, G., Burgués, M., García, C.M., 2017. Assessment of the SWAT model to simulate a watershed with limited available data in the Pampas region, Argentina. *Sci. Total Environ.* 596–597, 437–450. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.041>

Singh, V.P. (Ed.), 1995. *Computer models of watershed hydrology*, Rev. ed. ed. Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colo.

Stolpe, N.B., 2005. A comparison of the RUSLE, EPIC and WEPP erosion models as calibrated to climate and soil of south-central Chile. *Acta Agric. Scand. Sect. B - Soil Plant Sci.* 55, 2–8. <https://doi.org/10.1080/09064710510008568>

- Tan, M.L., Gassman, P.W., Srinivasan, R., Arnold, J.G., Yang, X., 2019. A Review of SWAT Studies in Southeast Asia: Applications, Challenges and Future Directions. *Water* 11, 914. <https://doi.org/10.3390/w11050914>
- Tigkas, Dimitris & Tsakiris, George. (2004). Medbasin: A Mediterranean rainfall-runoff software package. *European Water*. 3-11.
- Tsakiris, George & ALEXAKIS, Dimitris. (2012). Water quality models: An overview. *European Water*. 37. 33-46.
- Viessman, W., Lewis, G.L., 1996. Introduction to hydrology, 4th ed. / Warren Viessman, Jr., Gary L. Lewis. ed. HarperCollins, Glenview, Ill.
- Wang, Y., Jiang, R., Xie, J., Zhao, Y., Yan, D., Yang, S., 2019. Soil and Water Assessment Tool (SWAT) Model: A Systemic Review. *J. Coast. Res.* 93, 22. <https://doi.org/10.2112/SI93-004.1>
- Yilmaz, K.K., Vrugt, J.A., Gupta, H.V., Sorooshian, S., 2010. MODEL CALIBRATION IN WATERSHED HYDROLOGY, in: *Advances in Data-Based Approaches for Hydrologic Modeling and Forecasting*. WORLD SCIENTIFIC, pp. 53–105. https://doi.org/10.1142/9789814307987_0003
- Zhang, D., Huang, Q., He, C., Wu, J., 2017. Impacts of urban expansion on ecosystem services in the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration, China: A scenario analysis based on the Shared Socioeconomic Pathways. *Resour. Conserv. Recycl.* 125, 115–130. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.06.003>
- Zhao, B., Mao, J., Dai, Q., Han, D., Dai, H., Rong, G., 2020. Exploration on hydrological model calibration by considering the hydro-meteorological variability. *Hydrol. Res.* 51, 30–46. <https://doi.org/10.2166/nh.2019.047>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πληθυσμιακά δεδομένα

Πίνακας ΠΑ1: Πληθυσμιακή μεταβολή Δήμου Αποκορώνου

Χρονολογία	1961	1971	1981	1991	2001	2011
Δήμος Αποκορώνου	17850	13339	11972	11827	12441	12807
Αλικάμπος	491	366	263	266	279	198
Αρμένιοι	656	563	458	377	355	345
Ασή Γωνίας	662	585	508	526	529	527
Βάρου	804	698	633	618	706	802
Βαφές	471	312	261	198	202	238
Βρύσες	829	706	636	610	916	794
Γαβαλοχώρι	646	444	465	426	491	647
Γεωργιούπολη	708	545	616	608	772	936
Εμπρόσνερος	653	480	416	403	388	344
Κάινα	444	204	170	175	152	164
Καλάμι	493	228	230	246	329	479
Καλαμίτσι Αλεξάνδρου	307	198	160	93	114	88
Καλαμίτσι Αμυγδαλού	650	448	342	315	300	297
Καλύβες	1238	1030	1069	1409	1408	1603
Καρές	113	113	100	104	44	37
Κάστελλος	375	237	178	165	151	144
Κεφαλάς	684	443	380	414	377	518
Κόκκινο Χωριό	301	250	235	173	157	272
Κουρνάς	864	684	650	698	885	1070
Μάζα	556	410	358	329	333	252
Μαχαιροί	142	109	127	86	61	54
Μελιδόνιον	299	222	169	181	125	107
Νέο Χώριον	818	629	530	581	586	556
Νίπος	371	277	207	197	210	167
Ξηροστέρνιον	412	253	185	170	146	162
Παϊδοχώριο	281	302	288	245	224	212
Πεμόνια	357	261	228	202	147	107
Πλάκα	345	260	260	332	436	612
Ραμνής	381	319	249	248	185	172
Σελλία	349	177	165	135	118	123
Στύλος	674	572	523	448	456	488
Τζιτζιφές	294	240	217	221	162	143
Φρές	627	546	472	418	391	326

Ζωϊκό Κεφάλαιο

Πίνακας ΠΑ2: Ζωϊκό Κεφάλαιο έτους 1961

1961	Ίπποι	Ημίονοι	Όνοι	Βοοειδή	Χοίροι	Πρόβατα	Αίγες	Πουλερικά
Αποκορώνου	261	510	2807	1520	1980	34038	8743	34514
Πεδινά	132	165	1265	611	368	9820	1383	16982
Ημιορεινά	78	130	826	489	728	11343	3278	10185
Ορεινά	51	215	716	420	884	12875	4082	7347
Αλικάμπου (Η)	-	4	86	36	28	1565	590	661
Αρμενών (Π)	6	3	90	64	9	709	67	1260
Ασή Γωνίας (Ο)	1	4	77	69	129	4011	1390	888
Βάμου (Π)	2	8	97	21	69	1087	49	1697
Βαφέ (Ο)	8	16	88	32	109	1668	430	994
Βρυσών (Π)	24	16	87	29	62	1004	145	1509
Γαβαλοχωρίου (Π)	7	8	134	84	14	905	50	2705
Γεωργιουπόλεως (Η)	16	7	70	137	445	3046	782	1394
Εμπρόσνερου (Η)	6	24	114	37	82	2196	881	1415
Κάινας (Π)	8	9	79	32	15	938	89	800
Καλαμίου (Π)	6	3	48	46	5	656	211	751
Καλαμιτσίου Αλεξάνδρου (Η)	4	6	61	12	6	273	85	393
Καλαμιτσίου Αμυγδαλίου (Η)	6	30	90	19	76	944	167	1475
Καλυβών (Π)	13	18	159	95	11	554	139	1582
Καρών (Ο)	-	9	19	11	1	275	158	413
Καστέλλου (Ο)	10	28	79	49	120	802	169	573
Κεφαλά (Η)	19	8	152	148	18	1084	280	1781
Κόκκινου Χωριού (Η)	1	5	68	40	5	291	18	410
Κουρνάς (Ο)	19	47	167	107	240	975	661	1297
Μάζης (Π)	9	15	78	27	80	1037	138	1319
Μαχαιρών (Π)	8	5	28	5	-	124	41	390
Μελιδονίου (Ο)	1	16	39	37	3	1008	88	498
Νέου Χωρίου (Π)	26	20	127	45	4	397	141	1607
Νίπους (Π)	7	16	84	44	45	617	132	1049
Ξηροστερνίου (Π)	9	15	72	47	48	635	18	668
Παϊδοχωρίου (Π)	2	14	48	15	1	475	89	603
Πεμονίων (Π)	1	9	68	9	4	343	32	423
Πλάκας (Π)	4	6	66	48	1	339	42	619

Ραμνής (Ο)	1	32	52	23	2	797	417	821
Σελλίων (Η)	7	22	75	38	56	984	147	1105
Στύλου (Η)	19	24	110	22	12	960	328	1551
Τζίτζιφέ (Ο)	1	23	43	15	31	1145	303	571
Φρέ (Ο)	7	31	106	34	24	1593	384	817
Φυλακής (Ο)	3	9	46	43	225	601	82	475

Πίνακας ΠΑ3: Ζωικό Κεφάλαιο έτους 1971

1971	Ίπποι	Ημίονοι	Όνοι	Βοοειδή	Χοίροι	Πρόβατα	Αίγες	Πουλερικά
Αποκορώνου	222	522	2217	587	1956	51575	11966	51831
Πεδινά	114	186	994	216	453	12639	2213	27053
Ημιορεινά	43	155	595	171	565	19152	5238	14784
Ορεινά	65	181	628	200	938	19784	4515	9994

Πίνακας ΠΑ4: Ζωικό Κεφάλαιο έτους 1991

1991	Ίπποι	Ημίονοι	Όνοι	Βοοειδή	Χοίροι	Πρόβατα	Αίγες	Πουλερικά
Αποκορώνου	-	-	-	48	1536	73567	20474	-
Πεδινά	-	-	-	13	185	15420	2232	-
Ημιορεινά	-	-	-	31	107	18139	5461	-
Ορεινά	-	-	-	4	1244	40008	12781	-
Αλικάμπου (Η)	-	-	-	-	4	3154	1556	-
Αρμενών (Π)	-	-	-	4	100	1094	155	-
Ασή Γωνίας (Ο)	-	-	-	-	271	16624	5403	-
Βάμου (Π)	-	-	-	-	-	1786	150	-
Βαφέ (Ο)	-	-	-	-	25	3607	791	-
Βρυσών (Π)	-	-	-	-	-	1975	213	-
Γαβαλοχωρίου (Π)	-	-	-	-	34	1387	121	-
Γεωργιουπόλεως (Η)	-	-	-	-	66	4048	950	-
Εμπρόσνερου (Η)	-	-	-	-	30	5096	1803	-
Κάινας (Π)	-	-	-	-	-	1470	173	-
Καλαμίου (Π)	-	-	-	-	-	1673	136	-
Καλαμπισίου Αλεξάνδρου (Η)	-	-	-	31	-	5	35	-
Καλαμπισίου Αμυγδαλίου (Η)	-	-	-	-	5	347	39	-
Καλυβών (Π)	-	-	-	9	9	1067	320	-
Καρών (Ο)	-	-	-	4	2	873	842	-
Καστέλλου (Ο)	-	-	-	-	10	1692	345	-

Κεφαλά (Η)	-	-	-	-	-	1816	604	-
Κόκκινου Χωριού (Η)	-	-	-	-	-	520	39	-
Κουρνάς (Ο)	-	-	-	-	77	3759	912	-
Μάζης (Π)	-	-	-	-	4	1158	133	-
Μαχαιρών (Π)	-	-	-	-	-	217	65	-
Μελιδονίου (Ο)	-	-	-	-	-	1790	588	-
Νέου Χωρίου (Π)	-	-	-	-	15	283	105	-
Νίπους (Π)	-	-	-	-	16	967	65	-
Ξηροστερνίου (Π)	-	-	-	-	-	628	115	-
Παϊδοχωρίου (Π)	-	-	-	-	7	481	125	-
Πεμονίων (Π)	-	-	-	-	-	1142	347	-
Πλάκας (Π)	-	-	-	-	-	92	9	-
Ραμνής (Ο)	-	-	-	-	9	4660	1669	-
Σελλίων (Η)	-	-	-	-	-	636	117	-
Στύλου (Η)	-	-	-	-	2	2517	318	-
Τζιτζιφέ (Ο)	-	-	-	-	151	3331	1046	-
Φρέ (Ο)	-	-	-	-	188	1927	867	-
Φυλακής (Ο)	-	-	-	-	511	1745	318	-

Πίνακας ΠΑ5: Ζωικό κεφάλαιο 1961 - 2001

	1961	1971	1991	2000	2001
Ίπποι	261	222	-	10	11
Ημίονοι	510	522	-	23	18
Όνοι	2807	2217	-	154	122
Βοοειδή	1520	587	48	43	43
Χοίροι	1980	1956	1536	4146	4020
Πρόβατα	34038	51575	73567	53835	54819
Αίγες	8743	11966	20474	15056	15847
Κουνέλια	-	-	-	31065	31365
Όρνηθες	-	-	-	48075	47620
Χήνες	-	-	-	73	81
Πάπιες	-	-	-	283	287
Γαλοπούλες	-	-	-	511	1236
Κυψέλες Μελίσσια	3587	-	-	2898	2919

Πίνακας ΠΑ6: Ζωικό Κεφάλαιο 2002 - 2017

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Ίπποι	11	11	11	11	11	6	6	25	26	26	26	26	44	46	42	25
Ημίονοι	17	17	17	17	17	11	10	9	11	12	12	12				
Όνοι	99	97	100	100	70	51	46	46	45	47	47	47	34	34	31	23
Βοοειδή	43	43	40	40	30	30	30	30	30	30	30	30	7	6	16	104
Χοίροι	4133	4129	4093	4041	3931	3951	3951	4103	4366	4555	4555	4555	775	899	1219	1420
Πρόβατα	53905	52884	56069	59777	60692	60692	60682	58181	62191	81686	81686	81686	91845	94264	94700	85778
Αίγες	15568	15988	17411	19144	19760	19760	19760	21182	20570	27760	27760	27760	24585	26880	26900	28126
Κουνέλια	31760	31330	30830	31330	31830	31830	31830	31170	31170	39860	39860	39660	29680	30530	30293	31183
Όρνηθες	47710	48120	48300	45600	45600	45600	45400	44900	44900	62300	62300	62300	46250	46345	46130	46639
Χήνες	71	81	89	66	66	66	66	66	81	111	111	111	120	133	132	132
Πάπιες	287	287	287	255	255	255	255	255	255	305	305	305	55	59	67	115
Γαλοπούλες	1251	1251	1251	671	671	671	671	671	666	686	686	556	270	285	315	276
Κυψέλες Μελίσσια	2908	2908	2908	2908	2908	2905	2905	2905	6490	7205	7205	7025	8183	4889	8214	12055

Χρήσεις Γης

Πίνακας ΠΑ7: Είδος και έκταση γης έτους 1961 (Στρέμματα)

1961	Γεωργική Γη	Δενδρώδεις Καλλιέργειες	Αμπέλια	Ετήσιες Καλλιέργειες	Αγροαναπαύσεις	Βοσκότοποι
Αποκορώνου	97716	38381	9568	26325	23204	43828
Πεδινά	39373	17846	5056	9505	6827	9396
Ημιορεινά	31735	9317	2730	9356	10268	22173
Ορεινά	26608	11218	1782	7464	6109	12259
Αλικάμπου (Η)	2009	422	163	729	695	776
Αρμενών (Π)	2072	1145	204	533	141	1267
Αοή Γωνίας (Ο)	3417	934	188	419	1853	2018
Βάμου (Π)	2817	1314	356	623	520	826
Βαφέ (Ο)	2578	1360	233	575	409	1931
Βρυσών (Π)	4538	2087	531	1411	509	140
Γαβαλοχωρίου (Π)	3378	1301	281	867	929	748
Γεωργιουπόλεως (Η)	4614	1356	218	2490	547	13799
Εμπρόσνερου (Η)	8360	1577	309	1355	5112	2173
Κάινας (Π)	2428	871	329	562	666	783
Καλαμίου (Π)	1727	359	130	855	380	2646
Καλαμιτσίου Αλεξάνδρου (Η)	1880	1012	493	143	232	212
Καλαμιτσίου Αμυγδαλίου (Η)	2781	1291	455	400	598	336
Καλυβών (Π)	6181	3800	1183	926	269	494
Καρών (Ο)	837	285	94	222	236	1062
Καστέλλου (Ο)	2091	900	111	742	338	368
Κεφαλά (Η)	5156	1217	392	2253	1294	988
Κόκκινου Χωριού (Η)	1855	330	184	642	699	328
Κουρνάς (Ο)	5272	2326	311	2113	522	450
Μάξης (Π)	3377	1190	319	738	1097	728
Μαχαιρών (Π)	946	348	102	262	234	143
Μελιδονίου (Ο)	1569	560	125	305	566	380
Νέου Χωριού (Π)	2884	1935	253	553	113	261
Νίπους (Π)	2565	948	283	685	646	175
Ξηροστερνίου (Π)	2369	585	345	836	603	277
Παϊδοχωρίου (Π)	1450	605	201	257	377	405
Πεμονίων (Π)	1204	682	222	136	160	151

Πλάκας (Π)	1437	676	317	261	183	352
Ραμνής (Ο)	2696	835	177	1060	624	2246
Σελλίων (Η)	1777	715	260	497	305	2343
Στύλου (Η)	3303	1397	256	847	786	1218
Τζιτζιφέ (Ο)	1311	766	114	301	130	1349
Φρέ (Ο)	3617	2128	343	517	629	1615
Φυλακής (Ο)	3220	1124	86	1210	800	840

Πίνακας ΠΑ8: Είδος και έκταση γης έτους 1971 (Στρέμματα)

1971	Γεωργική Γη	Δενδρώδεις Καλλιέργειες	Αμπέλια	Ετήσιες Καλλιέργειες	Αγροαναπαύσεις	Βοσκότοποι
Αποκορώνου	81631	36854	7733	17001	19605	57655
Πεδινά	35348	17535	4213	5993	7430	-
Ημιορεινά	26037	9943	2039	5840	8128	-
Ορεινά	20246	9376	1481	5168	4047	-
Αλικάμπου (Η)	1774	537	168	304	765	-
Αρμενών (Π)	3854	1258	190	217	2149	-
Ασή Γωνίας (Ο)	1094	612	162	297	23	-
Βάμου (Π)	2143	1117	209	377	424	-
Βαφέ (Ο)	1807	1017	168	392	215	-
Βρυσών (Π)	4447	2077	411	316	1643	-
Γαβαλοχωρίου (Π)	2925	1348	234	661	676	-
Γεωργιουπόλεως (Η)	3561	1493	113	1280	642	-
Εμπρόσνερου (Η)	7172	1954	240	1317	3657	-
Κάινας (Π)	1708	847	205	511	140	-
Καλαμίου (Π)	1435	457	94	402	477	-
Καλαμιτσίου Αλεξάνδρου (Η)	1356	799	385	84	88	-
Καλαμιτσίου Αμυγδαλίου (Η)	2749	1496	375	429	449	-
Καλυβών (Π)	4406	2584	867	531	354	-
Καρών (Ο)	1715	462	67	280	906	-
Καστέλλου (Ο)	1706	974	44	566	122	-
Κεφαλά (Η)	2405	991	282	979	153	-
Κόκκινου Χωριού (Η)	1548	403	123	414	608	-
Κουρνάς (Ο)	3816	1916	267	1164	436	-
Μάζης (Π)	1417	728	247	318	124	-
Μαχαιρών (Π)	826	439	85	225	77	-
Μελιδονίου (Ο)	1402	553	97	288	464	-

Νέου Χωρίου (Π)	3255	2410	231	362	225	-
Νίττους (Π)	1841	899	269	371	302	-
Ξηροστερνίου (Π)	2036	754	325	768	183	-
Παϊδοχωρίου (Π)	2272	1089	272	403	506	-
Πεμονίων (Π)	1651	875	273	375	128	-
Πλάκας (Π)	1132	653	301	156	22	-
Ραμνής (Ο)	1946	579	141	578	648	-
Σελλίων (Η)	2194	553	144	450	1023	-
Στύλου (Η)	3278	1717	209	583	743	-
Τζιτζιφέ (Ο)	1497	583	90	330	494	-
Φρέ (Ο)	3454	1988	363	563	514	-
Φυλακής (Ο)	1809	692	82	710	225	-

Πίνακας ΠΑ9: Είδος και έκταση γης έτους 1991 (Στρέμματα)

1991	Γεωργική Γη	Δενδρώδεις Καλλιέργειες	Αμπέλια	Ετήσιες Καλλιέργειες	Αγροαναψύσεις	Βοσκότοποι
Αποκορώνου	68083	50445	3312	3641	10760	58447
Πεδινά	-	204436	1552	501	-	-
Ημιορεινά	-	12767	740	869	-	-
Ορεινά	-	12767	1020	2271	-	-
Αλικάμπου (Η)	1367	1096	181	90	-	-
Αρμενών (Π)	1272	1191	44	37	-	-
Ασή Γωνίας (Ο)	3111	2633	139	339	-	-
Βάμου (Π)	2184	2099	85	-	-	-
Βαφέ (Ο)	1176	1002	81	93	-	-
Βρυσών (Π)	2033	1826	179	28	-	-
Γαβαλοχωρίου (Π)	1620	1567	53	-	-	-
Γεωργιουπόλεως (Η)	2258	2171	39	48	-	-
Εμπρόσνερου (Η)	3010	2412	111	487	-	-
Κάινας (Π)	917	814	103	-	-	-
Καλαμίου (Π)	887	850	36	1	-	-
Καλαμιτσίου Αλεξάνδρου (Η)	970	881	86	3	-	-
Καλαμιτσίου Αμυγδαλίου (Η)	1223	1127	96	-	-	-
Καλυβών (Π)	4449	4135	194	120	-	-
Καρών (Ο)	330	252	61	17	-	-
Καστέλλου (Ο)	1695	1487	40	168	-	-

Κεφαλά (Η)	1251	1200	51	-	-	-
Κόκκινου Χωριού (Η)	639	639	-	-	-	-
Κουρνάς (Ο)	5782	4636	219	927	-	-
Μάζης (Π)	1140	869	143	128	-	-
Μαχαιρών (Π)	418	356	30	32	-	-
Μελιδονίου (Ο)	822	705	95	22	-	-
Νέου Χωρίου (Π)	2482	2345	72	65	-	-
Νίπους (Π)	955	781	137	37	-	-
Ξηροστερνίου (Π)	1001	837	164	-	-	-
Παίδοχωρίου (Π)	1299	1123	135	41	-	-
Πεμονίων (Π)	963	836	115	12	-	-
Πλάκας (Π)	869	807	62	-	-	-
Ραμνής (Ο)	3067	2675	151	241	-	-
Σελλίων (Η)	591	566	25	-	-	-
Στύλου (Η)	3067	2675	151	241	-	-
Τζιτζιφέ (Ο)	1226	1114	40	72	-	-
Φρέ (Ο)	1937	1648	160	129	-	-
Φυλακής (Ο)	1387	1090	34	263	-	-

Πίνακας ΠΑ10: Είδος και έκταση γης έτους 2000 (Στρέμματα)

2000	Γεωργική Γη	Δενδρώδεις Καλλιέργειες	Αμπέλια	Ετήσιες Καλλιέργειες	Αγροαναπαύσεις	Βοσκότοποι
Αποκορώνου	53627	43697	2465	6514	227	127747
Πεδινά	21548	19069	927	1233	16	18725
Ημιορεινά	13033	10213	534	1955	170	33608
Ορεινά	19045	14415	1003	3325	41	75413
Αλικάμπου (Η)	1659	1082	134.5	250	170	8165
Αρμενών (Π)	1452.8	1224.3	40.2	183.5	0	626
Ασή Γωνίας (Ο)	4136.5	2999	255.8	763.1	0	37281
Βάμου (Π)	2143.4	1776.5	128.3	182	0	1996
Βαφέ (Ο)	1253.5	992.5	63.5	189.5	0	5441
Βρυσών (Π)	3770.2	3390	211.7	132.5	0	5266
Γαβαλοχωρίου (Π)	1192.2	1121	24.5	6	0	1404
Γεωργιουπόλεως (Η)	2882.3	2071.5	28.5	750.2	0	4599
Εμπρόσνερου (Η)	2578.7	1890.6	101.6	578	0	11690
Κάινας (Π)	849	784.5	52.5	10	0	1383

Καλαμίου (Π)	555.4	493.6	30.2	15	16.6	2011
Καλαμιτσίου Αλεξάνδρου (Η)	812.3	762	30.5	12	0	0
Καλαμιτσίου Αμυγδαλίου (Η)	1273.5	1188.5	70.5	10	0	150
Καλυβών (Π)	4413.8	3911.7	154.3	323.8	0	778
Καρών (Ο)	389	354	31	1.5	0	1142
Καστέλλου (Ο)	1082	885.5	23	161	0	537
Κεφαλά (Η)	1213	988.5	72.5	110	0	4261.5
Κόκκινου Χωριού (Η)	576	465	21	78.5	0	1043
Κουρνάς (Ο)	4978.2	3771	182	916.5	37	6741.5
Μάξης (Π)	968.6	837	0	86.5	0	1262.5
Μαχαιρών (Π)	304	279.5	18.5	4	0	67
Μελιδονίου (Ο)	901.6	823.1	74.5	1	0	3676
Νέου Χωριού (Π)	2065	2004.5	10	0	0	13
Νίπους (Π)	1266	1040	79	147	0	1777
Ξηροστερνίου (Π)	663.3	541.3	60.8	50	0	728.5
Παϊδοχωριού (Π)	811.5	722.5	56	32	0	238
Πεμονίων (Π)	222	207	15	0	0	757
Πλάκας (Π)	871	736	46.5	61	0	418.5
Ραμνής (Ο)	1255	1079	145.5	18	3	10430
Σελλίων (Η)	640.5	585	18	26	0	756
Στύλου (Η)	1398	1180.2	57.5	141	0	2944
Τζίτζιφέ (Ο)	736.5	703.5	28	4	0	6020
Φρέ (Ο)	1715.8	1525.5	129	33	1	3270
Φυλακής (Ο)	2597.5	1282	71	1238	0	875

Πίνακας ΠΑ11: Είδος και έκταση γης έτους 2009 (Στρέμματα)

2009	Γεωργική Γη	Δενδρώδεις Καλλιέργειες	Αμπέλια	Ετήσιες Καλλιέργειες	Αγροαναπλάσεις	Βοσκότοποι
Αποκορώνου	34508	22475	430	1414	224	77478

Τουρισμός

Πίνακας ΠΑ12: Τουριστικό δυναμικό (κλίνες) ανά έτος Αποκορώνου

Τουριστικό δυναμικό (κλίνες)			
Δημοτική ενότητα	Έτος		
	2009	2011	2015
Αρμένων	1281	-	1749
Βάμμου	1432	-	3142
Γεωργιουπόλεως	6854	-	8710
Κρυονερίδας	81	-	319
Σύνολο	9648	11431	13920

Πίνακας ΠΑ13: Τουριστικά στοιχεία Χανίων 1977 - 1996

Έτος	Κλίνες	Ξενοδοχειακό Δυναμικό	Αριθμός Αφίξεων
1977	2048	34	4928
1978	2508	37	4553
1979	3088	40	3326
1980	3396	51	5804
1981	3426	58	13685
1982	3653	66	24539
1983	4059	81	19661
1984	4644	101	15146
1985	5196	115	43235
1986	5542	126	66051
1987	6042	140	64424
1988	7287	166	91683
1989	8981	199	111032
1990	10837	229	158278
1991	11882	245	206781
1992	12991	261	273168
1993	14212	282	247831
1994	14436	287	325694
1995	17689	324	332076
1996	18953	338	313026

Έσοδα - Έξοδα

Πίνακας ΠΑ14: Έσοδα – Έξοδα Δήμου Αποκορώνου

Έτος	Έσοδα Δήμου Αποκορώνου (Ευρώ)	Έξοδα Δήμου Αποκορώνου (Ευρώ)
1999	3662000	2710000
2000	5367000	4128000
2001	7266000	6395000
2002	4452000	4076000
2003	6313000	25821000
2004	6290000	5057000
2005	6932000	6260000

Πίνακας ΠΑ15: Έσοδα – Έξοδα πόλης Χανίων

Έτος	Έσοδα πόλης Χανίων (Ευρώ)	Έξοδα πόλης Χανίων (Ευρώ)
1973	166506	23167
1975	184663	26392
1978	281318	36657
1979	365511	50362
1980	504848	63472
1981	712223	83642
1982	803930	108311
1983	1165511	132214
1984	1629996	158087
1985	1845476	151798
1986	1777623	114665
1987	1944329	103334
1988	2555475	177520
1989	3291040	477347
1990	3432737	251123
1991	4605247	552719
1992	5135284	527789
1993	6214412	532103
1994	8597001	7519542
1995	9407222	9382541
1996	9407222	9382541
1997	13438662	13437937
1998	13438662	13437937
1999	15051707	15051410
2000	17936522	17936517
2001	18079624	18005567
2002	19563000	19652000
2003	21796000	20272000
2004	24268000	21999000
2005	25998000	23454000

