



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»**

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ
ΤΩΝ ΑΡΔΕΥΤΙΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΣΤΗΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΚΟΝΙΤΣΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ
ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ**

Βασιλική Δ. Μηλιώνη

Αθήνα, Οκτώβριος 2015

**«ΕΠΙΣΤΗΜΗ &
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»**

Επιβλέπων Καθηγητής: Ε. Μπαλάς

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας την παρούσα εργασία οφείλω να ευχαριστήσω θερμά όλους εκείνους που βρέθηκαν στο δρόμο μου, με συμβούλεψαν, με δίδαξαν, με εμπιστεύτηκαν και με στήριξαν με τον τρόπο τους.

Πρωτίστως αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Ευάγγελο Μπαλτά, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε από την πρώτη στιγμή, και για την διαρκή καθοδήγηση κατά την επίβλεψη αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας. Νιώθω ιδιαίτερα τυχερή για την άριστη συνεργασία μας και ήθελα να τον ευχαριστήσω για το χρόνο που απλόχερα αφιέρωσε στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Ακόμα, θα ήθελα πω ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλους εκείνους τους ανθρώπους που με τον τρόπο τους βοήθησαν στην περάτωση αυτής της εργασίας.

Τον Διευθυντή της ΕΜΥ, κ. Νίκο Καραταράκη, για την άμεση απόκρισή του στο αίτημα για χορήγηση των Κλιματολογικών Δεδομένων, στοιχεία απαραίτητα για την ολοκλήρωση της μελέτης.

Τον Άρη Λεονταρίτη, υποψήφιο διδάκτορα, που η εργασία του αποτέλεσε έμπνευση για την παρούσα μελέτη και χωρίς τη βοήθειά του η ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής θα ήταν αδύνατη.

Την Ελισσάβητ Φελώνη, υποψήφια Διδάκτρα, που στάθηκε αρωγός σε κάθε στάδιο πραγματοποίησης της παρούσας εργασίας. Οι γνώσεις της, η υπομονή και η μεθοδικότητά της σε κάθε εμπόδιο που παρουσιάστηκε, συνέβαλε σημαντικά στην επιτυχή ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής μου εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ την Τριμελή Επιτροπή, αποτελούμενη από τον Αναπλ. Καθηγητή Μπαλτά Ευάγγελο, Αναπ. Καθηγητή Νικόλαο Δέρκα και Αναπλ. Καθηγήτρια Διονυσία Παναγούλια, για τις σημαντικές επισημάνσεις και διορθώσεις τους.

Κλείνοντας, θα ήθελα να αφιερώσω τη συγκεκριμένη δουλειά, στους ανθρώπους που στερήθηκα για την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής μου εργασίας, τους φίλους μου και την οικογένειά μου.

Βασιλική Μηλιώνη,

Οκτώβριος 2015.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να εξετάσει πόσο ευάλωτο είναι το πλούσιο υδατικά υδροσύστημα του Αώου, σε πιθανές κλιματικές μεταβολές. Ο Αώος ανήκει στο υδατικό διαμέρισμα της ορεινής Ηπείρου, η οποία έχει το πλουσιότερο υδατικό δυναμικό στην Ελλάδα και ένα από τα υψηλότερα της Μεσογείου. Έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί στον ελλαδικό χώρο, δείχνουν ότι η κλιματική αλλαγή έχει αρχίσει να κάνει την εμφάνισή της, και θα επηρεάσει τη Μεσόγειο σε αρκετά μεγάλο βαθμό. Έτσι, επιχειρείται, με αξιοποίηση των διαθέσιμων υδρολογικών και κλιματικών δεδομένων, να υπολογιστεί πόσο θα μεταβληθεί η διακινδύνευση κάλυψης των αρδευτικών αναγκών του Κάμπου της Κόνιτσας, από το ίδιο υδροσύστημα, πριν και μετά από αβέβαιες κλιματικές μεταβολές.

Η μελέτη εστιάζεται σε τρεις χρονικές περιόδους: (α) 2015-2050, (β) 2015-2070 και (γ) 2015-2100. Η πρόβλεψη των μηνιαίων τιμών της παροχής του ποταμού, των βροχοπτώσεων και των θερμοκρασιών της περιοχής, έγινε με τη χρήση του στοχαστικού μοντέλου αυτοσυσχέτισης δεύτερης τάξης, AR(2). Η εκτίμηση της διακινδύνευσης γίνεται ύστερα από σύγκριση της διαθέσιμης παροχής του ποταμού στη συγκεκριμένη θέση και των εκάστοτε αρδευτικών αναγκών της περιοχής. Στη συνέχεια, γίνεται μία σύντομη βιβλιογραφική ανασκόπηση στα σενάρια της Κλιματικής Αλλαγής και τις επιπτώσεις της στη Μεσόγειο, ώστε να επιλεγεί ένα και να εφαρμοστεί στα κλιματικά δεδομένα και κατ'επέκταση στα υδρολογικά στοιχεία (παροχή) του ποταμού. Υπολογίζονται έτσι νέες παροχές και νέες αρδευτικές ανάγκες και ακολούθως οι νέες τιμές διακινδύνευσης. Συμπληρωματικά μελετάται, η πιθανή αλλαγή της κατανομής των εκτάσεων των καλλιεργειών που μπορεί να γίνουν έχοντας ως χρονικό ορίζοντα το 2100.

Το βασικό συμπέρασμα που προκύπτει από την ανάλυση των αποτελεσμάτων είναι ότι, το υδροσύστημα είναι πολύ πλούσιο υδατικά και παρόλα τα σενάρια κλιματικής αλλαγής που εφαρμόστηκαν, η διακινδύνευση παραμένει σε χαμηλά επίπεδα. Επίσης ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι η μεγαλύτερη διακινδύνευση εμφανίζεται πάντα το μήνα Σεπτέμβρη, ενώ η διακινδύνευση των άλλων μηνών είναι αμελητέα.

Αποδείχθηκε, ο ευάλωτος χαρακτήρας του υδροσυστήματος, καθώς κάθε αλλαγή στο κλίμα ή τις χρήσεις νερού αυξάνει έστω και λίγο την πιθανότητα μη κάλυψης των υδατικών αναγκών. Επιπλέον, να σημειωθεί ότι εξετάστηκε ένα σχετικά μετριοπαθές σενάριο κλιματικών αλλαγών, ενώ θα πρέπει σε μελλοντική έρευνα να μελετηθούν και άλλα περισσότερο ακραία.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The management of water resources is an issue that concerns over the recent decades the international community. Even more, water management is gaining importance when there is a question of transboundary watersheds, as this may be a matter of dispute between the countries involved.

Aoos River was chosen for study because it has a number of features that make it particularly interesting. First of all, is a large river, located in Epirus, the richest aqueous compartment of the country, and the basin is transboundary with bold mountainous character. The very fact that arises in Albania means it is the only case of upstream cross-border river in Greece. Additionally, in 1990 it began operating the HPP Aoos through which, a considerable amount of water is diverted to the water system of Arachthos. Voidomatis River, is a tributary of Aoos and represents a unique ecosystem, both environmentally and aesthetically. The two rivers play a particularly important role for the irrigation of farmland in the area of Konitsa.

The issue of management and calculation of irrigation water is particularly important, especially when you consider the distribution of consumption of water resources in Greece for various uses. Roughly, this distribution is shown in Figure 1 below.

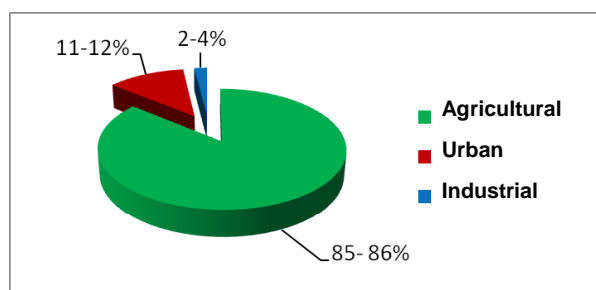


Figure 1: Breakdown of consumption of water resources in Greece according to use (Karamanos, Derkas, Papastylianos, 2008)

Climate Change

An issue of great concern in recent decades for the global scientific community, is the issue of Climate Change.

According to global estimates, climate change will bring changes in all climatic events, such as changes in the intensity and distribution of rainfall (depending on location and season), increased intensity of extreme weather events (floods and droughts) and increased evapotranspiration. It is also expected, reduction rate of snowfall on the total precipitation period, shift melting of snow in the winter, prolongation of the dry period, and increase of the mean sea level (melting of the polar ice caps, thermal expansion of the oceans).

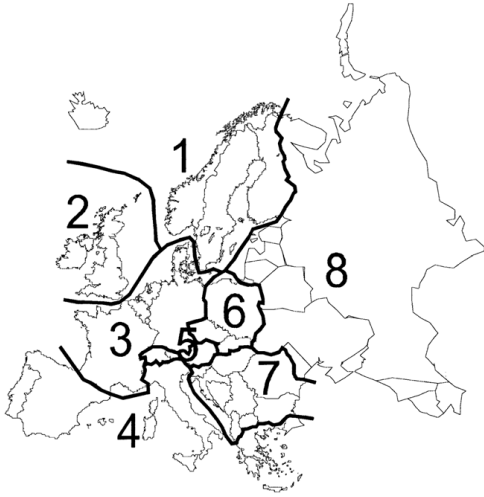


Figure 2: Map showing the agricultural importance of Europe zones (EU, 2007). Greece belongs to zone 4 along with Italy, Spain and Portugal. The zone 4 (Mediterranean) is considered as the most sensitive to climate change (IPCC, 2007).

The need to identify the impact of climate change on agriculture, causes the interest because this change is expected to alter the food supply globally, through the change in precipitation, the possible increase of temperature and CO₂, the increase in extreme weather events, the change in dispersion pests and crop diseases (Tubiello et al, 2007).

This creates the obvious question, how vulnerable is the rich aqueous water system of Aaos, to climate change and / or changes in the uses of water.

Purpose

Attempts, by making use of available hydrological and climate data, to estimate how much the endangerment coverage of irrigation needs of Konitsa's plain, would change, from the same water system before and after an uncertain climate change.

The assessment of risk is calculated for three time periods: (a) from 2015 to 2050, (b) 2015-2070 and, (c) 2015-2100. This result arises after comparison of the available supply of the river at that location and each need of the irrigation area. The provision of monthly values of river flow, rainfall and temperatures in the region, is calculated through proper modeling. Then, a climate change scenario is studied and applied to climate data and, by extension, how that will affect the hydrological data (flow) of the river. In this way, new river flows and new irrigation needs are calculated and then the new risk values. Additionally, a possible change in the distribution across areas of crops on the time horizon of 2100, is taken under consideration. So, the risk of the case that the Aaos water is insufficient for the irrigation needs is calculated, either there is Climate Change or not.

Finally, the comparison of the above risks is conclusive on how small changes of climate and the kind of crops can affect the water system Aaos - Voidomatis regarding coverage of irrigation needs of the area.

Study Area and Data

Konitsa is a town in Epirus, Greece, near the Albanian border. It lies, amphitheatre-shaped, on a mountain slope of the Pindos mountain range, overlooking the valley where the river Aaos meets the river Voidomatis. The valley is used for farming. Konitsa is a regional centre for many small Pindos villages, and there are shops, schools and a hospital. The nearest city is Ioannina, located about 60 km away by road.

A large part of the mountainous areas of the municipality falls within the area of the National Park of Pindos. Because the administrative boundaries do not always coincide with the physical, the eastern part of the region and specific parts of Konitsa, Kallithea and Klidonia are located inside the National Park of Pindos.

The water of Aaos and Voidomatis rivers and their tributaries is used almost exclusively for irrigation, recreation and hydropower. Significant amount of water ($100\text{hm}^3/\text{year}$) is retained by the reservoir of HPP Aaos, which after passing through the station near the settlement of the Municipality of Metsovo Chrysovitsa concludes River Metsovitikos belonging to the basin of Arachthos. For hydropower exploitation water is also used in Vrisohori Rema and Rema Nerotrivi positions near the settlements Vrisohori and Distrato where there are operating Small Hydroelectric Power Projects, 1,56MW and 1,935MW respectively (RAE 2013).

The two rivers play a particularly important role for the irrigation of farmland in the area of Konitsa. Voidomatis supplies water to 4,500 acres of Voidomatis networks and locked while the Aaos irrigated land 11,500 acres that include the plain of Konitsa and the plain of Kallithea.

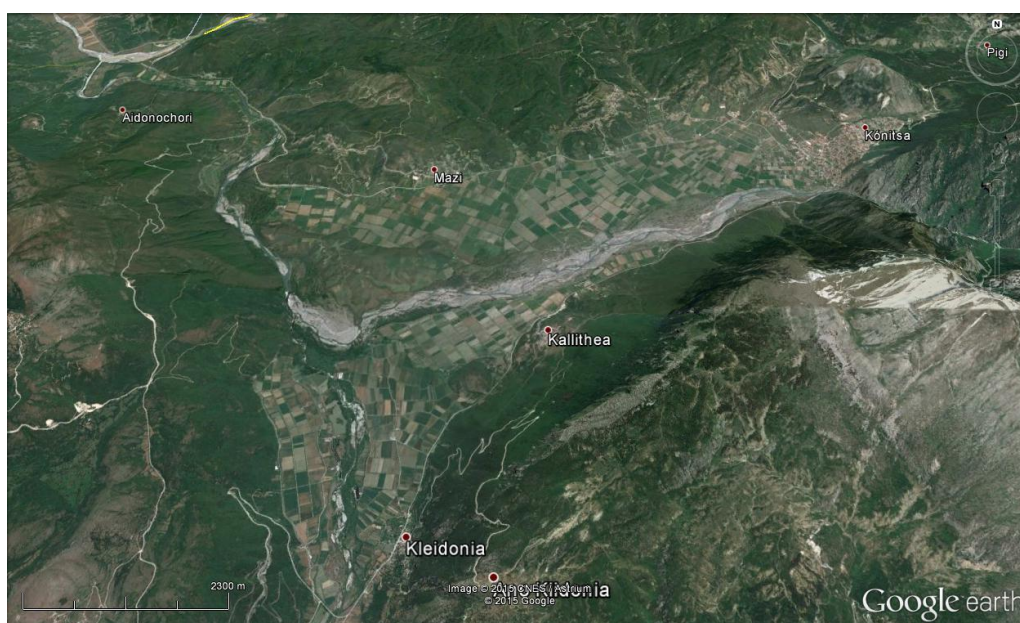


Figure 3: Map of irrigated land region (plain Konitsa Klidonia)

Data

The data used in this paper relate to hydrological data (the river flow at the design point, Q) and meteorological data (temperature, T and rainfall, P) of the area.

River flow, Q (m³/s, hm³)

Data of the river flow obtained from the study "Hydrological Analysis and Investigation of the hydrosystem Aooos - Voidomatis", which was written by Aris Leontaritis within the MSc thesis in January 2014. The result is the creation of a compact historical time series of monthly flows, for a given period (in this case from 1950 to 2012) in the various positions of the two rivers.

For this work, were used the data of river flows for position 'Konitsa Bridge', whose details are shown in Table 1 below.

Table 1: Average monthly values and standard deviations of the historical sample of flows Q (m³/s) to the position Bridge Konitsa years 1950-2012

Konitsa Bridge, Basin: Aooos, Area: 580 km²												
	OKT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP
m	11,8	22,0	40,8	25,6	28,8	30,5	34,4	26,0	11,4	5,4	4,2	4,6
s_v	8,3	13,0	20,9	9,8	10,6	11,4	11,8	9,5	3,7	1,7	1,3	2,0

Temperature T(°C) - Precipitation P (mm)

The meteorological data in the region, rainfall and temperatures, were granted by the CMH free, upon agreement, relating to weather station of Konitsa, for the years 1975-2012.

Before the development and implementation of labor model, it is necessary to supplement the time series data where gaps exist, so that there is value for the rainfall or temperature in each month for all hydrological years. The shortcomings in the time series of temperature were minimal. Where deficiencies per month do not exceed 10%, the temperatures of the respective months were filled with the average of the same month of the remaining years. The Table 2 below, shows the average monthly temperatures for the years 1987-2004. Rainfall gaps were filled by the method of simple linear regression, using the meteorological data at the station of Vovousa for the same period, after having eliminated any erroneous values (outliers). Where this was not possible, and without having this phase data to another station, the data are supplemented by the monthly average of other years. The Table 3 below, presents average monthly rainfall for the years 1988-2012.

Table 2: Average monthly temperatures in Konitsa station for the period 1987-2004 (CMH, 2015)

Station: Konitsa, λ ($^{\circ}$): 20,74, φ ($^{\circ}$):40,05, altitude: 465 m												
	OKT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP
m	15,79	10,16	6,12	5,49	6,60	9,55	12,70	18,14	22,96	25,40	24,72	20,02
s_v	1,55	1,50	1,85	1,59	1,87	1,96	1,32	1,71	1,05	1,32	1,84	1,51

Table 3: Average monthly precipitation in Konitsa station for the period 1988-2012 (CMH, 2015)

Station: Konitsa, λ ($^{\circ}$): 20,74, φ ($^{\circ}$):40,05, altitude: 465 m												
	OKT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP
m	115,54	149,58	161,22	76,50	93,17	81,20	76,06	57,30	36,22	26,74	19,73	67,97
s_v	72,18	75,60	76,07	53,87	60,56	48,40	26,74	32,69	23,41	22,24	9,02	49,87

To determine the wet and dry season actors Lang were used, which is the ratio of rainfall to temperature and characterizations Gračanin. And follows:

Wet season: from October to April

Dry season: May-September.

The dryness of the climate during the summer makes it imperative to implement irrigation during this period to meet the water needs of crops. (Ioannina Region, 2008)

Irrigation Land

As mentioned above, the river AooS contributes to irrigate the Plain of Konitsa area of 11,500 acres. The irrigated areas, in which this study addresses, are shown in the following map (Figure 4). To calculate the irrigation needs of the plains, it is necessary to know the type and extent of crop. The distribution of irrigated lands in crop, are shown in the below Table 4.

Table 4: Total allocation plain Konitsa in crops (Epirus, 2008)

Irrigated (LAND CONSOLIDATION SCOPE)		
Crops	Acres	% Total
Maize	6.206	54,00
Medic	3.770	32,80
Potatoes	70	0,61
Vegetable Crops	76	0,66
Orchards	178	1,55
Fallow	1.193	10,38
TOTAL	11.493	100,00

IRRIGATION AREA MAP

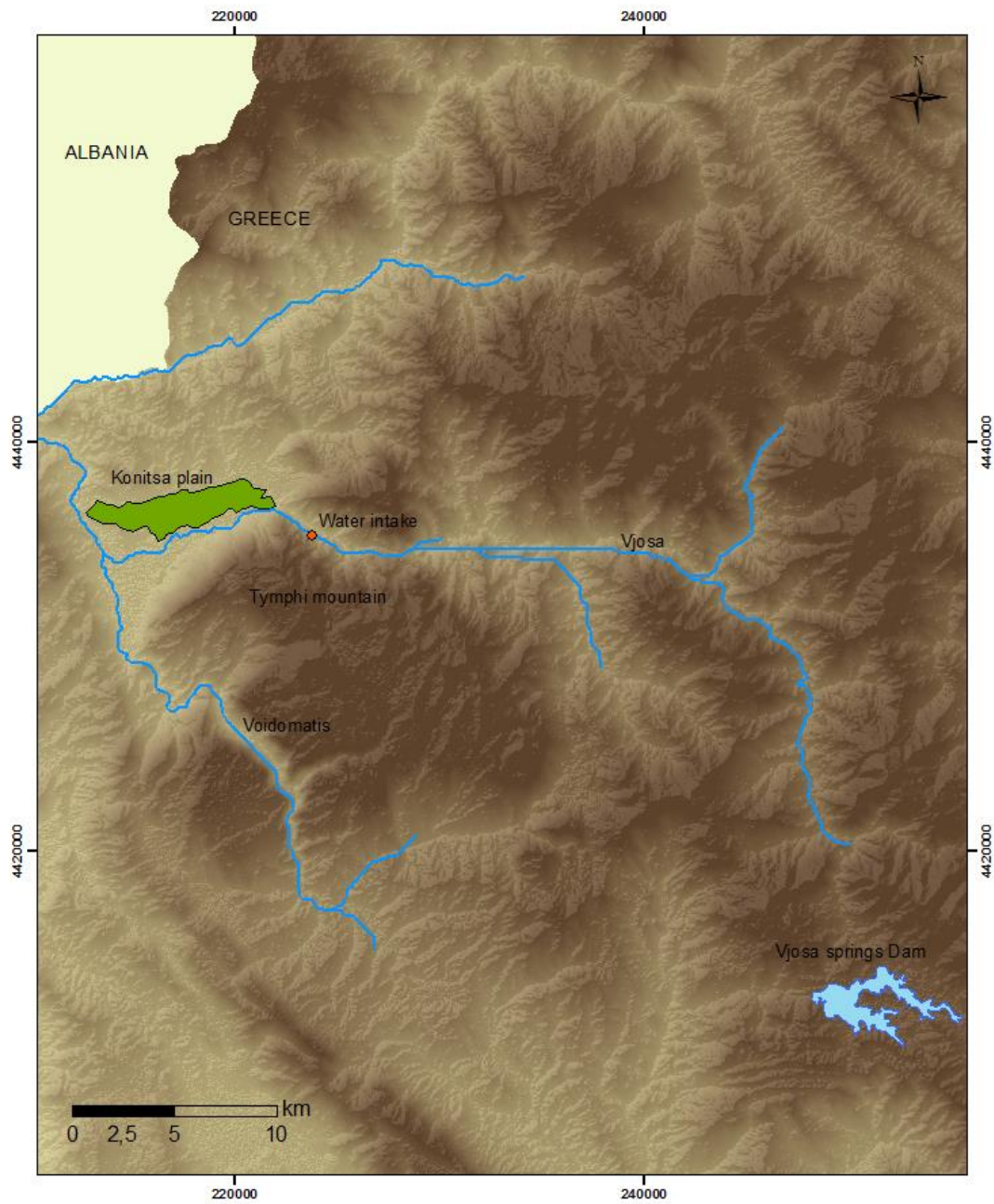
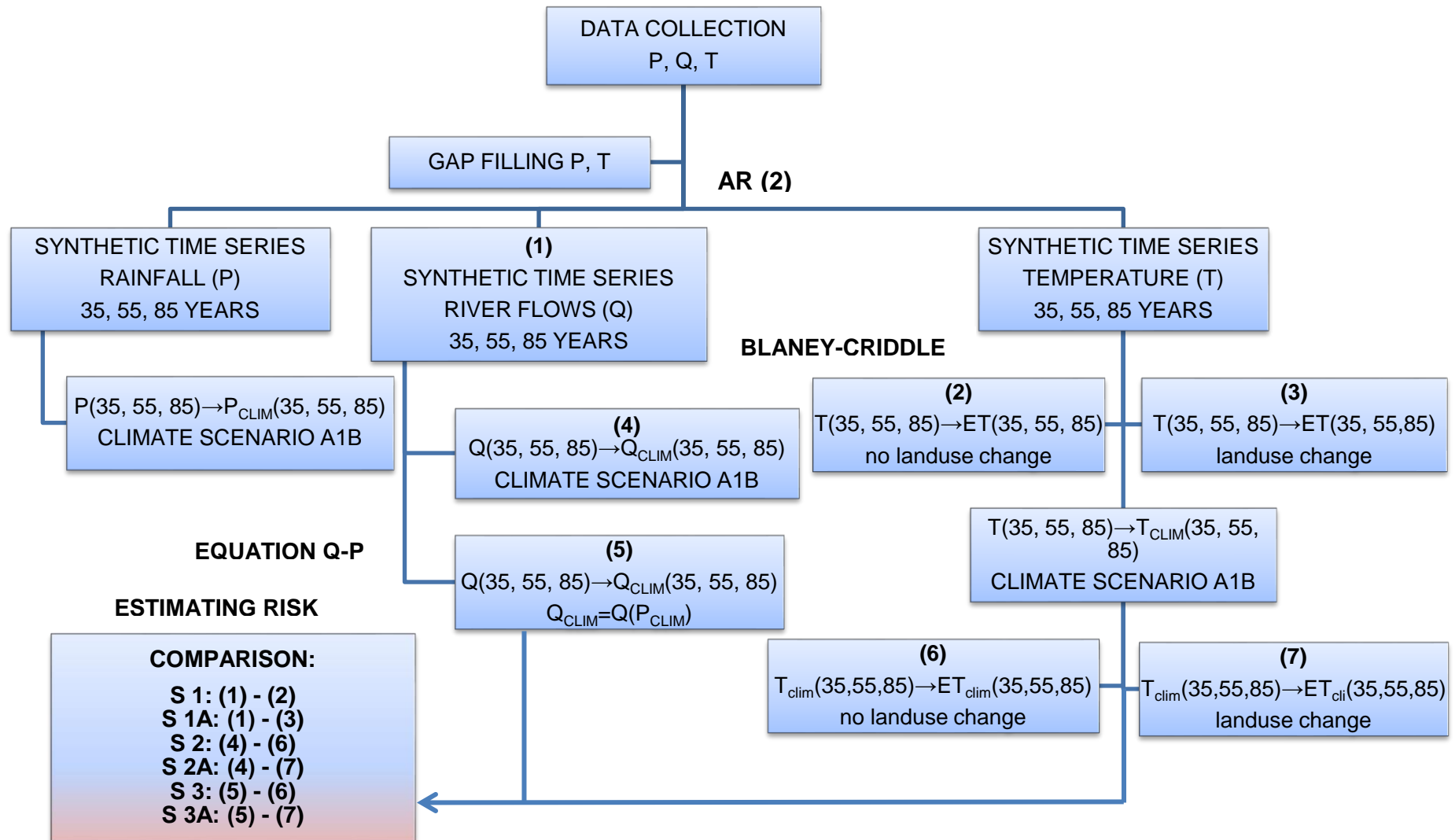


Figure 4: Map of irrigated areas of study

The methodology developed for the calculation of the required level of risk is schematically shown in the following flowchart. Then, there is a brief description of the relevant parts of the methodology.

Methodology



Synthetic Time Series

The production of synthetic series flows, temperature and rainfall, was done using the stochastic autoregressive model second order AR(2).

The procedure was done separately for the three sizes Q, P and T. Furthermore, because the investigation of risk is made for three different time periods, 2015-2050, 2015-2070 and 2015-2100, separate synthetic series of size Q, P and T will be created for each period, in order to keep the statistical characteristics of the sample. Namely, are generated synthetic series of length 35, 55 and 85 years respectively, for each of the three variables.

The general equation of the autocorrelation model 2nd order is:

$$Z_t = \Phi_1 Z_{t-1} + \Phi_2 Z_{t-2} + a_t$$

$$a_t = \sigma_a - RN(t)$$

Irrigation water need

To calculate the irrigation needs (ET) of the plains the used method is the Blaney – Criddle Method. The method utilizes the empirical relationship (1) between the evapotranspiration, the average air temperature and average hours of the day .

$$ET = k \times F = k \times \frac{(1,8 \times T + 32) \times p}{3,94} \quad (1)$$

Where:

- **ET** is the monthly potential evapotranspiration in mm
- **k** is an empirical coefficient referred in particular crop (crop factor)
- **T** is the mean monthly air temperature in °C
- **p** the proportion hours day of month

For the region of Konitsa coefficients p and k are formed as shown in the following Table 5.

Table 5: Prices of vegetable seasonal coefficient kc and percentage-hour day p

	% Crops	MAY		JUN		JUL		AUG		SEPT	
	%	p	k	p	k	p	k	p	k	p	k
Maize	0,54	10,05	0,93	10,11	1,02	10,25	1,09	9,56	0,95	8,39	0,84
Medic	0,33	10,05	0,85	10,11	0,95	10,25	1,00	9,56	1,00	8,39	0,95
Orchards	0,02	10,05	0,70	10,11	0,85	10,25	0,88	9,56	0,85	8,39	0,47
Vegetable crops	0,01	10,05	0,49	10,11	0,67	10,25	0,78	9,56	0,78	8,39	0,64
Potatoes	0,01	10,05	0,69	10,11	0,96	10,25	1,01	9,56	0,85	8,39	0,00

Thus, in the manner described, synthetic series of temperatures are converted to irrigation water ET. The total cultivated area amounts to 11,493 hectares.

Climate Change Scenario

To calculate the risk in case of climate change, the variables Q, P, T, ET were converted into climate.

Changes in meteorological data P, T, were obtained from the study on Climate Change (Kapsomenakis et al.) which was chosen after a literature review. The variation of the sizes is shown in the diagram below (Figure 5).

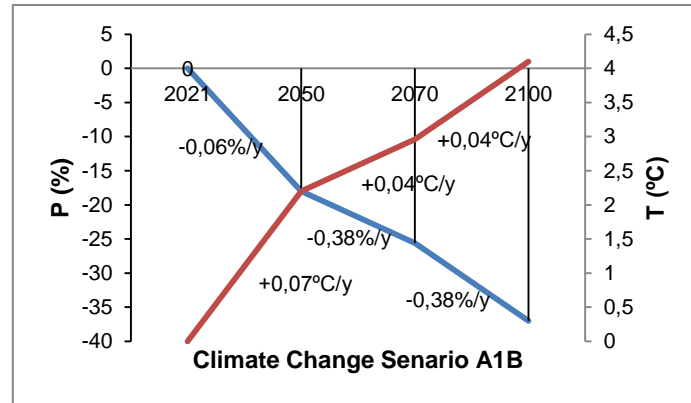


Figure 5: Change in size P and T due to climate change scenario A1B (Kapsomenakis et al)
For how to change the flow of the river (Q), were examined two scenarios.

1st method

Based on rainfall. Where the data of flows and rainfall have been good correlation between them, which means the correlation coefficient $r \geq 0.7$, then the equations generated correlation of Q-P aggregates on a monthly basis, so that the size P_{clim} be produced Q_{clim1} ($Q_{clim1} = Q(P_{clim})$).

Table 6: Monthly linear correlation sizes Q – P

Equation of Correlation Q-P ($y=a*x+b$) y:Q, x:P			
	a	b	R ²
MAY	0,800	11,170	0,716
JUNE	0,254	13,490	0,641
JULY	0,166	8,123	0,745
AUGOUST	0,233	5,393	0,636
SEPTEMBER	0,155	2,204	0,751

2nd method

Based on literature and as discussed above, studies that have been done on the effects of Climate Change in Greece, have shown that the average reduction in the river Aoo supply will be about 17% by the year 2100 (Mimikou, 2011).

So, according to this assessment, the flow rate Q decreases linearly from 2021 to 2100, from 0% to 17% and the new time series occurs Q_{clim2} ($Q_{clim2} = -17\%Q$).

Landuse Change

As this study is done with a time horizon of forecasting the year 2100, it would not be correct to overlook the changes that will take place in the agriculture sector for so long. Changes in agricultural policy management plans, changes in the economy and politics and many other factors can affect both the type and area of crops. The prediction and study of all these elements takes time and exceed the present limits of the workpiece. For completeness, however, the study was an admission to study in a degree of the effect of the change in the distribution of crops in risk.

Thus, is formed the adverse scenario that by 2100, all cultivated land in the region, without changing the total area will be occupied entirely by alfalfa cultivation. Thus, new irrigation needs are calculated for the time series and $ET \rightarrow ET_{clim}$, by the method described above.

Risk

Below (Table 7) there have been calculated all sizes to be used in assessing the risk coverage of irrigation needs of Konitsa, for all contingencies considered.

Table 7: All calculated variables, that will be used to the estimation of the risk

$Q(t)$ (hm^3)	ET (hm^3)	ET land (hm^3)	$Q_{clim} = Q(P_{clim})$ (hm^3)	$Q_{clim} = -17\%Q$ (hm^3)	ET clim (hm^3)	ET clim&land (hm^3)
----------------------	------------------	-----------------------	--	-----------------------------------	-----------------------	----------------------------

These figures are compared two by two and the following six scenarios arise (Figure 6).

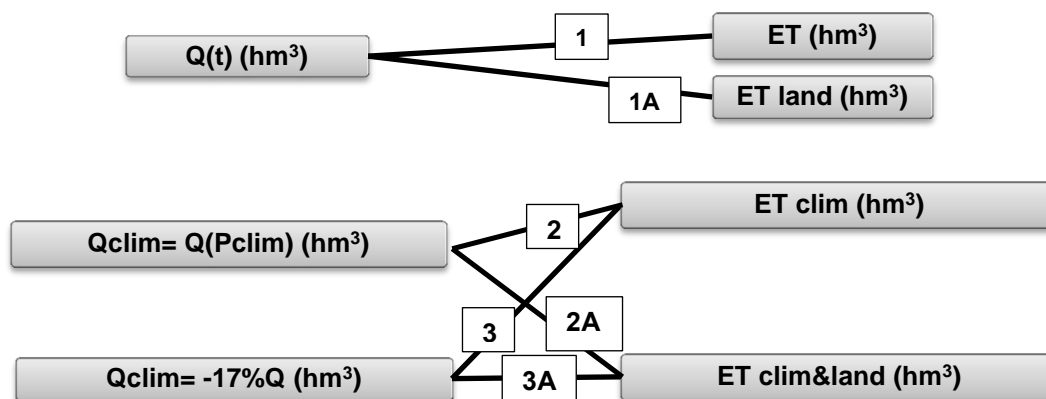


Figure 6: Shaping scenarios for which risk will be calculated

Thus we have a comparison of these figures on whether there is sufficient quantity of water (Q) to cover specific needs (ET), therefore:

If $Q \geq ET$, then there is no failure

If $Q < ET$, then there is failure

Results and Discussion

The survey results are presented in the following diagrams (Figure 7 and 8).

Figure 7 compares the results of the scripts without changing cultures together (S_{zero} , $S_{clim}(Q-P)$ and $S_{clim}(17\% Q)$), distinct from those involving a change crops ($S_{zero}+LC$, $S_{clim}(Q-P)+LC$ and $S_{clim}(17\% Q)+LC$).

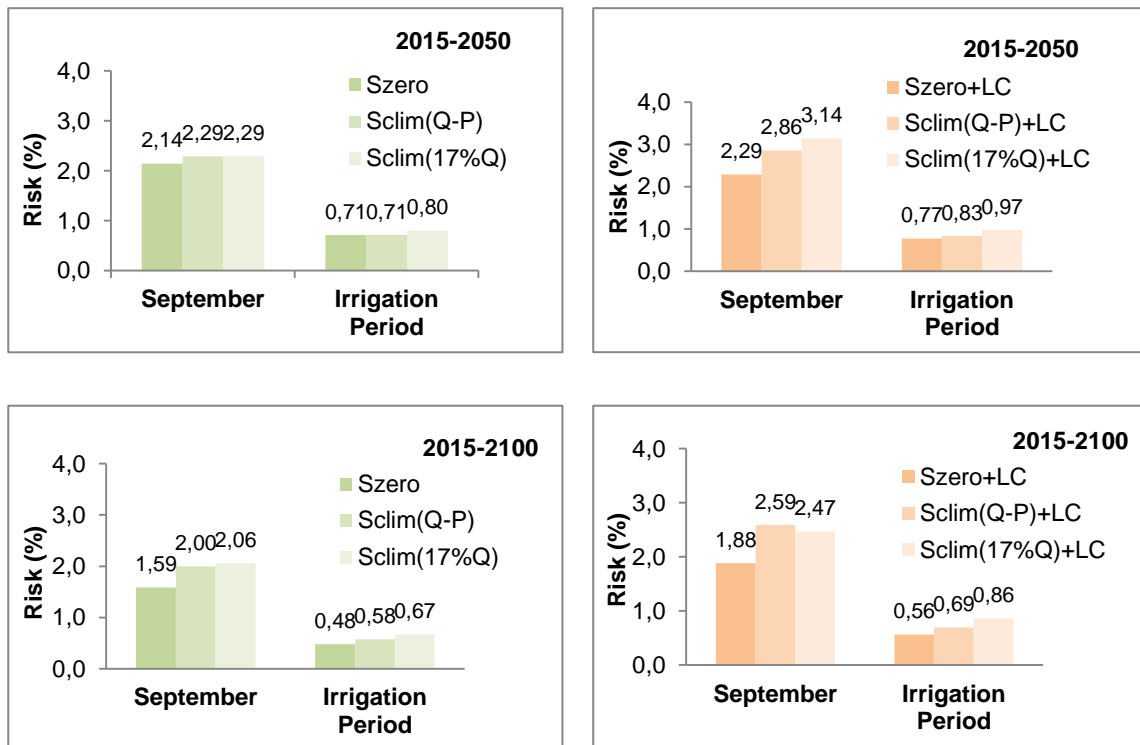


Figure 7: Comparison of scenarios without changing crops (left column) and scenarios by changing crops (right column)

In Figure 8 below, the risk compared between the zero scenario (S_{zero}) and all others. Left, the results of September, while on the right, the irrigation season (May to September). The results only in September and irrigation period are presented because the risk of other months is negligible.

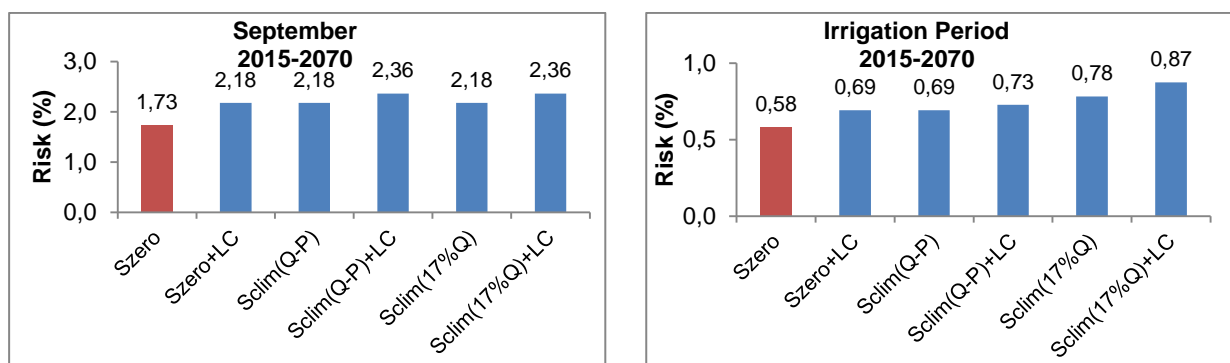


Figure 8: Compare risking 'Zero' scenario with other scenarios

There is clearly that, as September is the month that presents the greatest risk of irrigation season, the price ranges from 1.59% to 3.14%. This is perfectly justified since September is the driest month of the year. The remaining months exhibit low to negligible risk, not exceeding 0.5%. So risking for the whole irrigation period, stands at 0.5 to 1.0%.

It is observed that there is a change in risk between the different scenarios. This change is more pronounced in September, while for the other months is almost negligible. Generally, a trend of increasing risk is observed from 'zero' scenario (S.1) to the worst case scenario (S.3A). There is an obvious increase in risk, when both climate change and changing crop turn to be more hydrophilic (S.3A).

The first study period 2015-2050, generally shows greater risk than the other two periods. This happens because of the way that climate change has been imposed in sizes entering the calculations. (Figure 5).

From the study of charts, in particular, the following are observed:

- ✓ In each case the zero scenario S_{zero} is more advantageous, and has the smaller risk.
- ✓ The worst scenario for the irrigation period is always the $S_{clim}(17\%Q)$ and by extension the $S_{clim}(17\%Q)+LC$, while September the S_{clim} scenarios $(17\% Q)+LC$ and $S_{clim}(Q-P)+LC$ are equally unfavorable. The change in the provision due to the changes of rainfall in one case, most affects the driest month, and this increases the risk of September. At the same time, the linear decrease of $-17\%Q$ in all months, affects all the months of the irrigation season and increases the risking.
- ✓ The percentage increase in risk between the two extremes of S_{zero} and $S_{clim}(Q17\%)+LC$ ranges for September from 36% to 55%, while for the irrigation period from 36% to 80%. The increase of 80% corresponds to the irrigation period in the period 2015-2100.
- ✓ It is concluded that the impact of climate change is more pronounced in the period 2015-2100, as estimated by calculating the difference in the risk between zero and climate scenarios.
- ✓ In each of the three scenarios, the additional change of crops, increases risk, but this increase is uniform.

Summary and Conclusion

The main conclusion from this study at management level, is that the availability of water is generally sufficient to meet the needs arising from existing water uses. The probability that the available water of the river Aaos, will not be sufficient to cover the irrigation needs of the area is very small, even in the worst case scenario. However it is not negligible. This was expected, as mountainous Epirus has the richest water resources in Greece and one of the highest in the Mediterranean. But it turned out that the water system is vulnerable to climate change and / or water use, as any change in climate and the uses of water increases even slightly the probability of coverage of water needs. Furthermore, noting that only a relatively moderate climate change scenario has been examined, and another research on a more extreme scenario should be done in future.

Moreover, the outcome depends largely on the reliability of the model used. In the present work using the model AR(2), created time series 20 each time, in order to reduce the uncertainty, however, the choice of an even greater number of repeats, reduce error even further.

It should be also reported that, if the analysis was done on a weekly or daily basis, risking would have been increased. This means that there may be unmet needs for a short period during the period July-August. Even if this time is on the order of two or three days would be a problem for sensitive crops such as lucerne in the plain of Konitsa.

Climate change, whether anthropogenic or natural factors, is given and occurs with some roundness. So if the local climate is becoming drier, balances are likely to change what exists today and it is necessary to build small technical projects to meet the needs during the summer months. However, this is both an economic cost and some other environmental effects like any engineering project on the river flow. Therefore the design of new hydroelectric plants or crops aquifers should be done carefully to avoid future problems in a water system that seems to have much room for exploitation of the water potential.

In summary, based on the above analysis there is no risk of insufficiency of water quantity in the "Bridge Konitsa" to cover the irrigation of the plain of Konitsa. However, the water system of the river Aaos seem to be vulnerable during the summer months and therefore changes in climate and water uses may cause disturbance of the balance.

Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	ii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iv
EXTENDED ABSTRACT	vi
Introduction.....	vi
Climate Change	vi
Purpose	vii
Study Area and Data	viii
Data	ix
Methodology	xii
Results and Discussion.....	xvi
Summary and Conclusion.....	xviii
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Γενικά.....	1
1.2 Σκοπός.....	2
1.3 Δομή	4
2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	7
2.1 Γεωγραφικά.....	7
2.2 Γεωλογία περιοχής μελέτης.....	16
2.3 Κλιματικές Συνθήκες.....	19
2.3.1 Προσδιορισμός υγρής και ξηρής περιόδου	22
2.4 ΥΗΣ Αώου.....	23
2.5 Χρήσεις Νερού	25
2.6 Ο Αώος ως διασυνοριακός ποταμός	26
2.7 Το οικοσύστημα του Αώου	28
3. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΔΡΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	31
3.1 Παροχές	31
3.2 Θερμοκρασίες	35
3.3 Βροχοπτώσεις.....	37
3.3.1 Συμπλήρωση δεδομένων βροχοπτώσεων.....	37
3.3.2 Συσχέτιση και απλή γραμμική παλινδρόμηση.....	39
3.4 Αρδευτικές Ανάγκες Κόνιτσας	43
3.4.1 Κατανομή εκτάσεων	45
3.4.2 Είδη, συστήματα και κατανομή καλλιεργειών.....	46
3.5 Κλιματική αλλαγή	47
3.5.1 Γενικά.....	47

3.5.2	Επιλογή Σεναρίου	55
4.	ΜΕΘΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ	61
4.1	Διάγραμμα Ροής Έρευνας.....	61
4.2	Επιμέρους Ανάλυση.....	63
4.2.1	Συλλογή Δεδομένων.....	63
4.2.2	Συμπλήρωση Δεδομένων.....	63
4.2.3	Παραγωγή συνθετικών Χρονοσειρών.....	63
4.2.4	Αρδευτικές ανάγκες.....	76
4.2.5	Κλιματικά.....	80
4.2.6	Αλλαγή στην κατανομή των καλλιεργειών.....	83
4.2.7	Υπολογισμός διακινδύνευσης.....	84
5.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ	87
5.1	Παρουσίαση αποτελεσμάτων	87
5.2	Σύγκριση - ανάλυση αποτελεσμάτων	93
6.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	99
	Αναφορές.....	103

Σχήμα 1-1:	Κατανομή της κατανάλωσης των υδάτινων πόρων στην Ελλάδα ανάλογα με τη χρήση (Καραμάνος, Δέρκας, Παπαστυλιανού, 2008)	2
Σχήμα 1-2:	Δορυφορική απεικόνιση του υδροσυστήματος Αώου – Βοϊδομάτη (USGS, 2013).....	4
Σχήμα 2-1:	Ευρύτερη περιοχή μελέτης (Περιφέρεια Ηπείρου, 2008)	8
Σχήμα 2-2:	Τα υδατικά διαμερίσματα της Ελλάδας (Περιφέρεια Ηπείρου, 2008).....	9
Σχήμα 2-3:	Γεωφυσικός Χάρτης λεκάνης απορροής Αώου (Λεονταρίτης, 2014).....	11
Σχήμα 2-4:	Λεκάνη απορροής και Πηγές Βοϊδομάτη (Λεονταρίτης, 2014).....	15
Σχήμα 2-5:	Γεωλογική τομή στο φαράγγι του Βίκου. (Πηγή: ΙΓΜΕ 1968)	17
Σχήμα 2-6:	Χάρτης ΥΗΣ Πηγών Αώου (Λεονταρίτης, 2014)	24
Σχήμα 2-7:	Χάρτης Προστατευόμενων περιοχών λεκάνης Αώου – Βοϊδομάτη (Λεονταρίτης, 2014).....	29
Σχήμα 3-1:	Ιστορική Χρονοσειρά παροχών Q (m ³ /s) στη θέση Γεφύρι Κόνιτσας, έτη 1950 – 2012	34
Σχήμα 3-2:	Διάγραμμα μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών T (°C), στο σταθμό «Κόνιτσα», για το διάστημα 1987-2004 (ΕΜΥ, 2015).....	36
Σχήμα 3-3:	Διάγραμμα μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων P (mm), στο σταθμό «Κόνιτσα», για το διάστημα 1988-2012 (ΕΜΥ, 2015)	42
Σχήμα 3-4:	Αρδευόμενες εκτάσεις από το υδροσύστημα Αώου - Βοϊδομάτη	43

Σχήμα 3-5: Χάρτης των υπό μελέτη αρδευόμενων εκτάσεων	44
Σχήμα 3-6: Πιθανή μεταβολή (σε σύγκριση με τη δεκαετία 1990) στις αποδόσεις καλλιεργειών με (αριστερά) και χωρίς (δεξιά) την επίδραση CO ₂ , για το σενάριο A2a (Parry et al, 2004).....	49
Σχήμα 3-7: Χάρτης με τις ζώνες γεωργικής σημασίας της Ευρώπης (E.E, 2007). Η Ελλάδα ανήκει στη ζώνη 4 μαζί με την Ιταλία, την Ισπανία και την Πορτογαλία. Η ζώνη 4 (Μεσογειακή) θεωρείται ως η πλέον ευαίσθητη στην κλιματική αλλαγή (IPCC, 2007). .	50
Σχήμα 3-8: Μεταβολές στη γεωργική παραγωγή στην Ευρώπη για τη δεκαετία 2080, για το σενάριο B2HadAM3h με αύξηση θερμοκρασίας κατά 2,5 ⁰ C (Peseta Research Project, 2009).....	51
Σχήμα 3-9: Μεταβολές στη γεωργική παραγωγή στην Ευρώπη για τη δεκαετία 2080, για το σενάριο A2HadAM3h με αύξηση θερμοκρασίας κατά 3,9 ⁰ C (Peseta Research Project, 2009).....	51
Σχήμα 3-10: Αύξηση της μέσης Θερμοκρασίας (1990-2050) (Πηγή: DG Environment)	52
Σχήμα 3-11: Προβλεπόμενες αλλαγές στη Θερμοκρασία για το 2080 (σε σχέση με τη μέση Θ 1961-1990) (Πηγή: IPCC)	52
Σχήμα 3-12: 1900-2000 (Πηγή: IPCC).....	53
Σχήμα 3-13: Προβλεπόμενες αλλαγές (%) στη Θερινή Κατακρήμιση για το 2080	53
Σχήμα 3-14: Ποσοστιαίες μεταβολές στη μέση ετήσια παροχή των ποταμών για το 2070 σε σύγκριση με το 2000, για τα κλιματικά μοντέλα ECHAM4 και HadCM3	54
Σχήμα 3-15: Τρέχουσα διαθεσιμότητα νερού (μέση ετήσια) (Πηγή: ΕΟΠ).....	54
Σχήμα 3-16: Πρόβλεψη για τη διαθεσιμότητα νερού στην Ευρώπη το 2030 (Ποσοστιαία μεταβολή) (Πηγή: ΕΟΠ).....	54
Σχήμα 3-17: Χωρική κατανομή της εποχιακής μεταβολής της θερμοκρασίας του αέρα στην Ελλάδα, για το εγγύς μέλλον 2021-2050 (αριστερά) και 2071-2100 (δεξιά), στο πλαίσιο SRES A1B (Kapsomenakis et al., 2011).....	56
Σχήμα 3-18: Ποσοστιαίες μεταβολές (%) της εποχιακής βροχόπτωσης για το εγγύς μέλλον 2021- 2050, σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1961 – 1990, στο πλαίσιο SRES A1B (Kapsomenakis et al., 2011).....	58
Σχήμα 3-19: Ποσοστιαίες μεταβολές (%) της εποχιακής βροχόπτωσης για το εγγύς μέλλον 2071- 2100, σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1961 – 1990, στο πλαίσιο SRES A1B (Kapsomenakis et al., 2011).....	58
Εικόνα 4-1: Στατιστική κατανομή σφάλματος ή στοχαστικό τμήμα πρόβλεψη) (Ασημακόπουλος, 2007).....	71
Σχήμα 4-2: Μέσες μηνιαίες αρδευτικές ανάγκες κάμπου Κόνιτσας για τα έτη 1975 - 2004	79
Σχήμα 4-3: Εποχιακή μεταβολή της βροχόπτωσης (%) στην περιοχή της Κόνιτσας για τα έτη 2021-2100 Κλιματικό σενάριο A1B.....	81

Σχήμα 4-4: Εποχιακή μεταβολή της θερμοκρασίας °C στην περιοχή της Κόνιτσας για τα έτη 2021-2100 Κλιματικό σενάριο A1B	82
Σχήμα 4-5: Κατανομή εκτάσεων κάμπου Κόνιτσας κατά είδος καλλιέργειας (Περιφέρεια Ηπείρου, 2008).....	83
Σχήμα 4-6: Σχηματοποίηση σεναρίων για τα οποία θα υπολογιστούν οι διακινδυνεύσεις	85
Σχήμα 5-1: Μεταβολές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης, κλιματικό Σενάριο A1B κατά το διάστημα 2021-2100 (Karsomenakis et. Al., 2011)	88
Σχήμα 5-2: Σχηματική παρουσίαση διακινδύνευσης κάλυψης των αρδευτικών αναγκών του Κάμπου της Κόνιτσα	89
Σχήμα 5-3:Αποτελέσματα υπολογισμών διακινδύνευσης, ανά σενάριο και περίοδο μελέτης.....	92
Σχήμα 5-4:Σύγκριση διακινδυνεύσεων Σεπτεμβρίου του μηδενικού σεναρίου S_{zero} με τα υπόλοιπα σενάρια	94
Σχήμα 5-5:Σχήμα 5-6:Σύγκριση διακινδυνεύσεων αρδευτικής περιόδου του μηδενικού σεναρίου S_{zero} με τα υπόλοιπα σενάρια	94
Σχήμα 5-7:Σύγκριση των σεναρίων χωρίς αλλαγή καλλιεργειών (αριστερή στήλη) και των σεναρίων με αλλαγή καλλιεργειών (δεξιά στήλη)	95
Σχήμα 5-8: Σύγκριση των σεναρίων Sclim(Q-P) και Sclim(17%Q).....	96
Πίνακας 3-1: Υδρομετρικοί σταθμοί και λεκάνες απορροής πριν (A) και μετά (B) την κατασκευή του φράγματος Πηγών Αώου (ΔΕΗ, 2013).....	32
Πίνακας 3-2 Μέσες μηνιαίες παροχές πριν (A) και μετά (B) την κατασκευή του φράγματος Πηγών Αώου.....	33
Πίνακας 3-3: Μέσες μηνιαίες τιμές και τυπικές αποκλίσεις του ιστορικού δείγματος των παροχών Q (m ³ /s) στη θέση Γεφύρι Κόνιτσας, έτη 1950 – 2012.....	34
Πίνακας 3-4: Χαρακτηριστικά σταθμού Κόνιτσας (ΕΜΥ, 2015)	35
Πίνακας 3-5: Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες, στο σταθμό Κόνιτσα, για το διάστημα 1987 – 2004 (ΕΜΥ, 2015)	35
Πίνακας 3-6: Μέσες μηνιαίες τιμές και τυπικές αποκλίσεις του ιστορικού δείγματος των θερμοκρασιών T (°C), στο σταθμό «Κόνιτσα», έτη 1987 – 2004.....	36
Πίνακας 3-7: Χαρακτηριστικά σταθμού Κόνιτσας, (ΕΜΥ, 2015)	37
Πίνακας 3-8: Διαθέσιμα δεδομένα βροχοπτώσεων στο σταθμό της Κόνιτσας (ΕΜΥ, 2015).....	37
Πίνακας 3-9: Διαθέσιμα δεδομένα βροχοπτώσεων στο σταθμό Βωβούσα (ΕΜΥ, 2014)	38
Πίνακας 3-10: Συντελεστές συσχέτισης δεδομένων βροχοπτώσεων μεταξύ των σταθμών Κόνιτσας – Βωβούσας.....	41

Πίνακας 3-12: Μέσες μηνιαίες τιμές και τυπικές αποκλίσεις του ιστορικού δείγματος των βροχοπτώσεων P (mm), στο σταθμό «Κόνιτσα», έτη 1988 – 2012.....	42
Πίνακας 3-13: Κατανομή των καλλιεργούμενων εκτάσεων σε αρδευόμενες και ξηρικές (Περιφέρεια Ηπείρου, 2008)	45
Πίνακας 3-14: Κατανομή εκτάσεων του κάμπου Κόνιτσας (Περιφέρεια Ηπείρου, 2008)	46
Πίνακας 3-15: Συνολική κατανομή καλλιεργειών κάμπου Κόνιτσας κατά είδος καλλιέργειας (Περιφέρεια Ηπείρου, 2008).....	46
Πίνακας 4-1: Αποτελέσματα συνθετικών χρονοσειρών	75
Πίνακας 4-2: Μηνιαία ποσοστά ωρών ημέρας % των ωρών ημέρας του έτους.....	77
Πίνακας 4-3: Τιμές εποχιακού φυτικού συντελεστή K (σχέση Blaney – Criddle).....	78
Πίνακας 4-4: Μηνιαίοι φυτικοί συντελεστές αρδευόμενων καλλιεργειών (σχέση Blaney – Criddle)	78
Πίνακας 4-5: Τιμές εποχικού φυτικού συντελεστή k και ποσοστό ωρών ημέρας p	79
Πίνακας 4-6: Τιμές δυνητικής εξατμισοδιαπνοής ET με βάση τις συνθετικές χρονοσειρές της θερμοκρασίας.....	79
Πίνακας 4-7: Μεταβολή βροχόπτωσης σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο A1B, για τις τρεις χρονικές περιόδους (α) 2021-2050, (β) 2021-2070 και (γ) 2021-2100.....	80
Πίνακας 4-8: Μεταβολή θερμοκρασίας σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο A1B, για τις τρεις χρονικές περιόδους (α) 2021-2050, (β) 2021-2070 και (γ) 2021-2100.....	81
Πίνακας 4-9: Μηνιαία γραμμική συσχέτιση των μεγεθών Q-P	83
Πίνακας 5-1: Περιγραφή σεναρίων μελέτης και κωδική τους ονομασία	87
Πίνακας 5-2: Αποτελέσματα υπολογισμών διακινδύνευσης κάλυψης των αρδευτικών αναγκών του Κάμπου της Κόνιτσας.....	89

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Η διαχείριση των υδατικών πόρων είναι ένα θέμα που απασχολούσε τα κράτη από δημιουργίας τους και συνεχίζει να απασχολεί την παγκόσμια κοινότητα. Ακόμη περισσότερο η διαχείριση του νερού αποκτά μεγαλύτερη σημασία όταν τίθεται ζήτημα διασυνοριακών λεκανών απορροής, καθώς κάτι τέτοιο μπορεί να αποτελέσει θέμα διένεξης μεταξύ των εμπλεκόμενων κρατών.

Παγκοσμίως υπάρχουν 263 διακρατικές λεκάνες ποταμών, οι οποίες καλύπτουν περισσότερο από το 50% της έκτασης του εδάφους της γης και κατοικούνται από το 40% περίπου του παγκόσμιου πληθυσμού (Αραβώσης, 2000; Ελευθεριάδου και Μυλόπουλος, 2005). Στην Ελλάδα περίπου το 25% των επιφανειακών νερών με τη μορφή λιμνών και ποταμών προεκτείνεται ή προέρχεται από τις γειτονικές χώρες Βουλγαρία, Αλβανία, Π.Γ.Δ.Μ και Τουρκία, ενώ παράλληλα μοιράζεται τη Μεσόγειο με πλήθος Ευρωπαϊκών, Ασιατικών και Αφρικανικών χωρών. Περίπτωση διασυνοριακού ποταμού, αποτελεί και ο ποταμός Αώος, που είναι και το αντικείμενο της παρούσας μελέτης.

Ο τρόπος που προσεγγίζεται το ζήτημα της διαχείρισης των υδατικών πόρων πολλές φορές έχει οδηγήσει σε αδιέξοδο, οδηγώντας σε μη αναστρέψιμες αλλοιώσεις στα φυσικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά των ποταμών. Σήμερα, υπάρχει μια διεθνής τάση προς μια πιο ολιστική διαχείριση των υδάτινων πόρων που λαμβάνει υπόψη όλα τα σημαντικά πεδία που αφορούν τη διαχείριση των υδάτινων πόρων, όπως η οικονομία, η κοινωνία, και το περιβάλλον και βασίζεται στις αρχές (Αραβώσης, 2000): (α) εξασφάλιση ενός υγιούς περιβάλλοντος, μέσω της διατήρησης της οικολογικής σταθερότητας και της βιοποικιλότητας, (β) δυναμική οικονομία και (γ) κοινωνική ισότητα και διαγενεακή δικαιοσύνη.

Ο ποταμός Αώος επιλέχθηκε προς μελέτη γιατί έχει μια σειρά από χαρακτηριστικά που τον καθιστούν ιδιαίτερα ενδιαφέροντα. Καταρχήν, είναι μεγάλο ποτάμι, βρίσκεται στην Ήπειρο, το πλουσιότερο υδατικό διαμέρισμα της χώρας, και η λεκάνη απορροής του είναι διασυνοριακή με έντονα ορεινό χαρακτήρα. Το γεγονός μάλιστα ότι απορρέει στην Αλβανία σημαίνει ότι είναι και η μοναδική περίπτωση ανάντη διασυνοριακού ποταμού στην Ελλάδα (Ελευθεριάδου και Μυλόπουλος, 2005). Επιπροσθέτως, το 1990 ξεκίνησε τη λειτουργία του ο ΥΗΣ Πηγών Αώου, μέσω του οποίου εκτρέπεται υπολογίσιμη ποσότητα υδάτων προς το υδροσύστημα του Αράχθου. Ο ποταμός Βοϊδομάτης, είναι παραπόταμος του Αώου και αποτελεί ένα μοναδικό οικοσύστημα, τόσο από περιβαλλοντικής όσο και από αισθητικής άποψης.

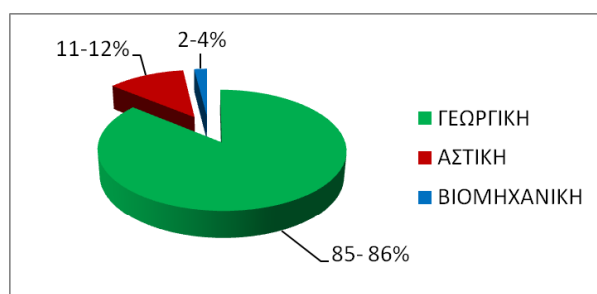
Ένα άλλο χαρακτηριστικό που αφορά το υδροσύστημα στο σύνολό του, είναι ότι η περιοχή μελέτης συμπεριλαμβάνει πληθώρα προστατευόμενων περιοχών, όπως ο Εθνικός Δρυμός Πίνδου, ο Εθνικός Δρυμός Βίκου-Αώου και το Εθνικό Πάρκο Βόρειας Πίνδου (Φορέας Διαχείρισης Εθνικού Πάρκου Βόρειας Πίνδου, 2013β).

1.2 Σκοπός

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να συνεχίσει τη μελέτη του υδροσυστήματος του Αώου – Βοϊδομάτη, ένα σύστημα για το οποίο έχουν γίνει ελάχιστες μελέτες συγκριτικά με το δυναμικό του.

Βασική ιδέα της εργασίας αποτέλεσε η μελέτη «Υδρολογική Ανάλυση και Διερεύνηση του υδροσυστήματος Αώου – Βοϊδομάτη», που συγγράφηκε από τον Άρη Λεονταρίτη στα πλαίσια της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής εργασίας τον Ιανουάριο του 2014. Το βασικό συμπέρασμα που προκύπτει από την παρούσα μελέτη σε επίπεδο διαχείρισης, είναι ότι οι διαθέσιμες ποσότητες υδάτων γενικά επαρκούν για την κάλυψη των αναγκών που προκύπτουν από τις υπάρχουσες χρήσεις νερού. Αυτό ήταν αναμενόμενο, καθώς η ορεινή Ήπειρος έχει το πλουσιότερο υδατικό δυναμικό στην Ελλάδα και ένα από τα υψηλότερα της Μεσογείου. Όμως, αποδείχθηκε ότι το υδροσύστημα είναι ευάλωτο σε αλλαγές του κλίματος ή/και των χρήσεων νερού. Η αλλαγή του κλίματος, είτε από ανθρωπογενείς είτε από φυσικούς παράγοντες, είναι δεδομένη και συμβαίνει με κάποια κυκλικότητα. Έτσι αν το τοπικό κλίμα γίνει πιο ξηρό, είναι πιθανό να αλλάξουν οι ισορροπίες που υπάρχουν σήμερα και να είναι απαραίτητη η κατασκευή μικρών τεχνικών έργων για την κάλυψη των αναγκών κατά τους θερινούς μήνες.

Το θέμα της διαχείρισης και του υπολογισμού του αρδευτικού νερού αποκτά ιδιαίτερη σημασία, ειδικότερα αν σκεφτεί κανείς την κατανομή της κατανάλωσης των υδατικών πόρων στην Ελλάδα στις διάφορες χρήσεις. Χονδρικά, η κατανομή αυτή φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 1.1.

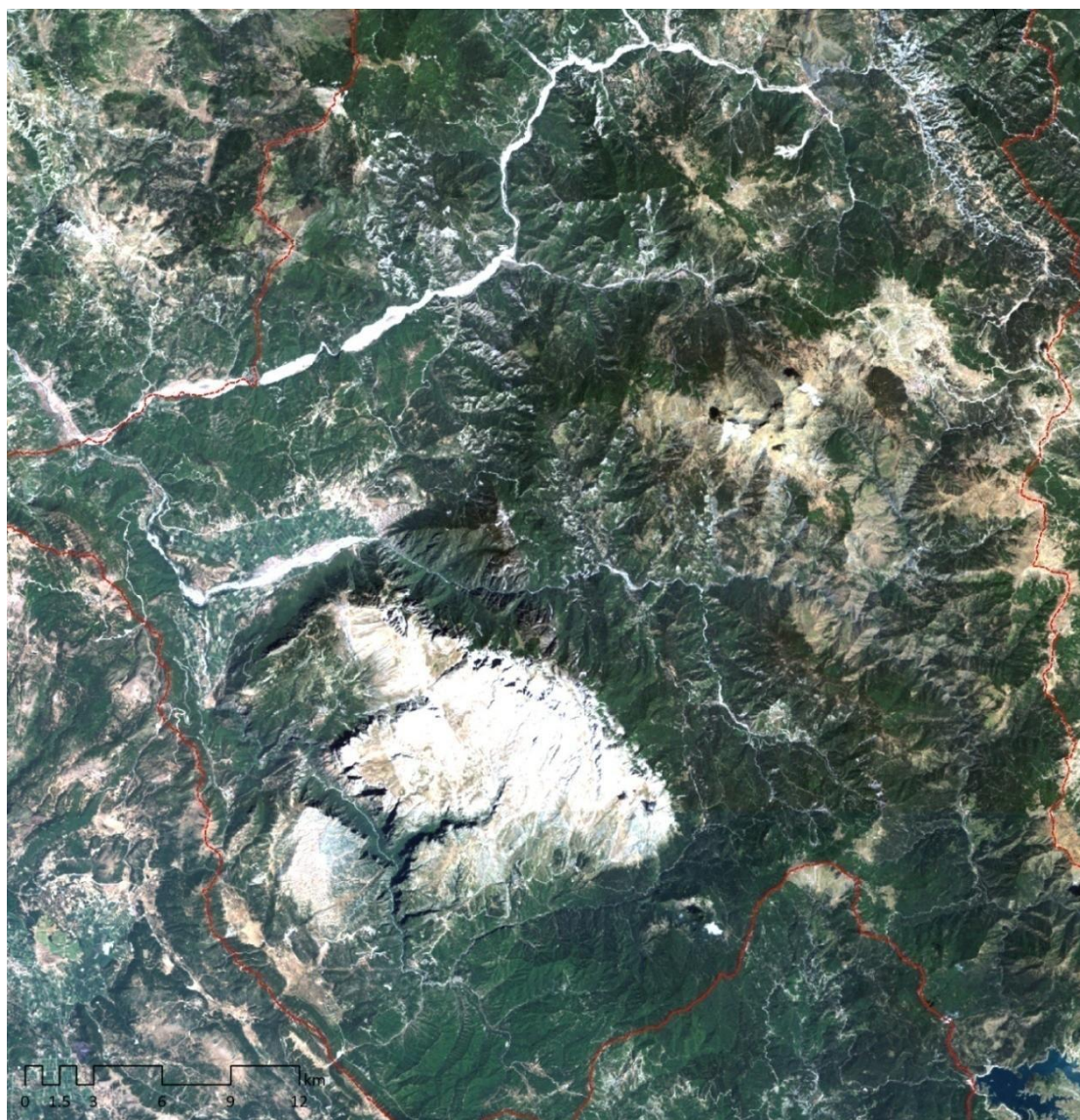


Σχήμα 1-1: Κατανομή της κατανάλωσης των υδατινών πόρων στην Ελλάδα ανάλογα με τη χρήση (Καραμάνος, Δέρκας, Παπαστυλιανού, 2008)

Σκοπός είναι, εκμεταλλευόμενοι τα διαθέσιμα υδρολογικά και κλιματικά δεδομένα να γίνει εκτίμηση της μελλοντικής διακινδύνευσης μη επάρκειας των υδάτων για την κάλυψη των αναγκών που απορρέουν από τις υπάρχουσες χρήσεις νερού.

Η εκτίμηση της διακινδύνευσης γίνεται για τρεις χρονικές περιόδους: (α) 2015-2050, (β) 2015-2070 και (γ) 2015-2100. Η εκτίμηση της διακινδύνευσης γίνεται ύστερα από σύγκριση της διαθέσιμης παροχής του ποταμού στη συγκεκριμένη θέση και των εκάστοτε αρδευτικών αναγκών της περιοχής. Κάτι τέτοιο μπορεί να γίνει με πρόβλεψη των μηνιαίων τιμών της παροχής του ποταμού, των βροχοπτώσεων και των θερμοκρασιών της περιοχής, μέσω κατάλληλης μοντελοποίησης. Στη συνέχεια, μελετάται ένα πιθανό σενάριο κλιματικής αλλαγής και εφαρμόζεται στα κλιματικά δεδομένα και κατ'επέκταση στο πως θα επηρεάσουν τα υδρολογικά στοιχεία (παροχή) του ποταμού. Υπολογίζονται έτσι νέες παροχές και νέες αρδευτικές ανάγκες και ακολούθως οι νέες τιμές διακινδύνευσης. Συμπληρωματικά μελετάται, η πιθανή αλλαγή της κατανομής των εκτάσεων των καλλιεργειών που μπορεί να γίνουν έχοντας ως χρονικό ορίζοντα το 2100. Έτσι υπολογίζεται η διακινδύνευση μη επάρκειας των υδάτων για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών των νέων πιο υδρόφιλων καλλιεργειών και στις δύο περιπτώσεις, που υπάρχει ή όχι κλιματική αλλαγή.

Τέλος, γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων των παραπάνω διακινδυνεύσεων, ώστε να βγουν ασφαλή συμπεράσματα για το πόσο μικρές αλλαγές του κλίματος και του είδους των καλλιεργειών μπορούν να επηρεάσουν το υδροσύστημα του Αώου – Βοϊδομάτη, όσον αφορά στην κάλυψη των αρδευτικών αναγκών της περιοχής.



Σχήμα 1-2: Δορυφορική απεικόνιση του υδροσυστήματος Αώου – Βοϊδομάτη (USGS, 2013)

(Διακρίνεται με κόκκινη γραμμή η λεκάνη απορροής του Αώου)

1.3 Δομή

Στο **1^ο Κεφάλαιο** της εργασίας γίνεται γενική εισαγωγή στο θέμα της διαχείρισης των υδατικών πόρων και των διασυνοριακών λεκανών, προσδιορίζεται ο στόχος και η δομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Στο **2^ο Κεφάλαιο**, παρουσιάζεται εκτενώς η ευρύτερη και η άμεση περιοχή μελέτης της εργασίας. Αναλύονται τα γεωγραφικά και κλιματικά χαρακτηριστικά της περιοχής, περιγράφονται τα επιμέρους χαρακτηριστικά της λεκάνης του Αώου ποταμού και οι χρήσεις νερού, με έμφαση τις αρδευτικές ανάγκες του κάμπου της Κόνιτσας.

Στη συνέχεια, το **Κεφάλαιο 3** συμπεριλαμβάνει τη συλλογή και την επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων, δηλαδή των παροχών (Q), των βροχοπτώσεων (P) και των

θερμοκρασιών (T) της περιοχής της Κόνιτσας. Ακόμα, προσδιορίζονται τα απαραίτητα στοιχεία για τον ακριβή υπολογισμό των αρδευτικών αναγκών, με τη μέθοδο Blaney-Criddle, με χρήση της θερμοκρασίας, όπως προσδιορίστηκε παραπάνω. Τέλος, γίνεται αναφορά σε ένα πιθανό κλιματικό σενάριο που θα εφαρμοστεί στα κλιματικά δεδομένα για το διάστημα 2015-2100, ώστε να υπολογιστεί η διακινδύνευση μη επάρκειας των υδάτων για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών στην πιθανότητα που η κλιματική αλλαγή θα επηρεάσει το κλίμα της περιοχής.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε καθόλη τη διάρκεια της εργασίας, ώστε από τα πρωτογενή κλιματικά και υδρολογικά δεδομένα να υπολογιστεί η διακινδύνευση που αναζητείται σε κάθε ένα από τα πιθανά σενάρια, παρουσιάζεται στο **Κεφάλαιο 4^ο**. Επιπλέον, συμπεριλήφθηκε και το διάγραμμα ροής της εργασίας, με σκοπό τη διευκόλυνση της παρακολούθησής της από τον αναγνώστη.

Στο **5^ο Κεφάλαιο** γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων, δηλαδή όλες οι διακινδυνεύσεις που υπολογίστηκαν για όλα τα σενάρια που μελετήθηκαν. Ακόμα, γίνεται μία συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων μέσω διαγραμμάτων, ώστε να γίνουν πιο κατανοητά και να προκύψουν ασφαλή συμπεράσματα.

Τέλος, στο **6^ο Κεφάλαιο**, συνοψίζονται τα συμπεράσματα της έρευνας και γίνονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Είναι σημαντικό να αποκτήσει κανείς μια διευρυμένη εικόνα για την περιοχή πριν προχωρήσει στη μελέτη της. Η υδρολογική ανάλυση και τα αποτελέσματα που θα προκύψουν, μπορούν να οδηγήσουν σε ασφαλή συμπεράσματα μόνο υπό το πρίσμα των ιδιαίτερων τοπικών χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής του υδροσυστήματος. Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζεται η γεωγραφία, το ανάγλυφο και η γεωλογία της περιοχής καθώς και οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις-χρήσεις νερού εντός της υπό μελέτη λεκάνης. Ιδιαίτερη σημασία, δίνεται στη χρήση του νερού του ποταμού Αώου για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών του κάμπου της Κόνιτσας, που αποτελεί και το κυριότερο ζήτημα της παρούσας μελέτης. Τέλος, η αξιοποίηση του υδατικού δυναμικού του Αώου είναι ένα επίκαιρο ζήτημα που συνδέεται άμεσα με τα παραπάνω.

2.1 Γεωγραφικά

Ο Δήμος Κόνιτσας, σύμφωνα με το Ν. 2539 – ΦΕΚ 244 / Α / 4.12.1997, «Σχέδιο Καποδίστριας», προήλθε από την συνένωση του Δήμου Κόνιτσας και των κοινοτήτων:

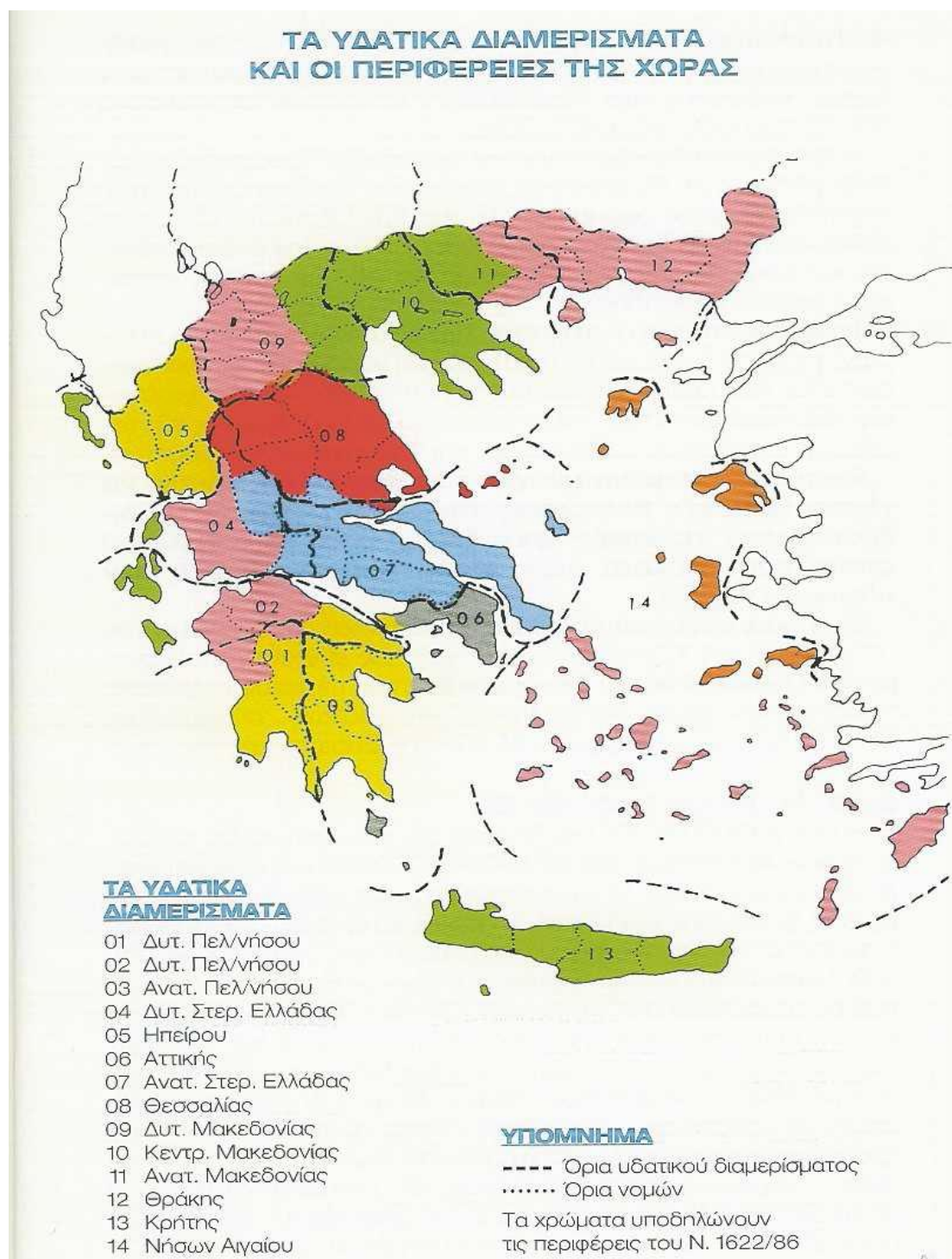
1.Αγίας Βαρβάρας	2.Αγίας Παρασκευής	3.Αετόπετρας	4.Αηδονοχωρίου
5.Αμαράντου	6.Αρμάτων	7.Γαναδιού	8.Ελευθέρου
9.Εξοχής	10.Ηλιορράχης	11.Καβασίλων	12.Καλλιθέας
13.Κλειδωνιάς	14.Μαζίου	15.Μελισσόπετρας	16.Μολίστας
17.Μολυβδοσκεπάστου	18.Μοναστηρίου	19.Νικάνορος	20.Πάδων
21.Παλαιοσελλίου	22.Πηγής	23.Πουρνιάς	24.Πύργου

οι οποίοι καταργούνται. Έδρα του νέου δήμου είναι η Κόνιτσα. Η περιοχή ορίζεται από τους συμπαγείς όγκους του Γράμμου στα βόρεια, του Σμόλικα στα ανατολικά, της Γκαμήλας στα νότια και του Κάμενικ Νεμέτσικας στα δυτικά.

Η μορφολογία του εδάφους και η υδρογραφία διαμορφώνουν στην περιοχή τέσσερις φυσικές υποενοότητες:

- Της κοιλάδας του Σαραντάπορου στα βόρεια.
- Της κοιλάδας του Αώου στα ανατολικά.
- Του λεκανοπεδίου της Κόνιτσας νότια.
- Της αλπικής ζώνης.

Ένα μεγάλο τμήμα των ορεινών περιοχών του Δήμου, εμπίπτει στην περιοχή του Εθνικού Πάρκου της Πίνδου (ΦΕΚ 639/Δ/14.06.2005). Επειδή τα διοικητικά όρια δεν ταυτίζονται πάντα με τα φυσικά, το ανατολικό τμήμα της περιοχής και συγκεκριμένα



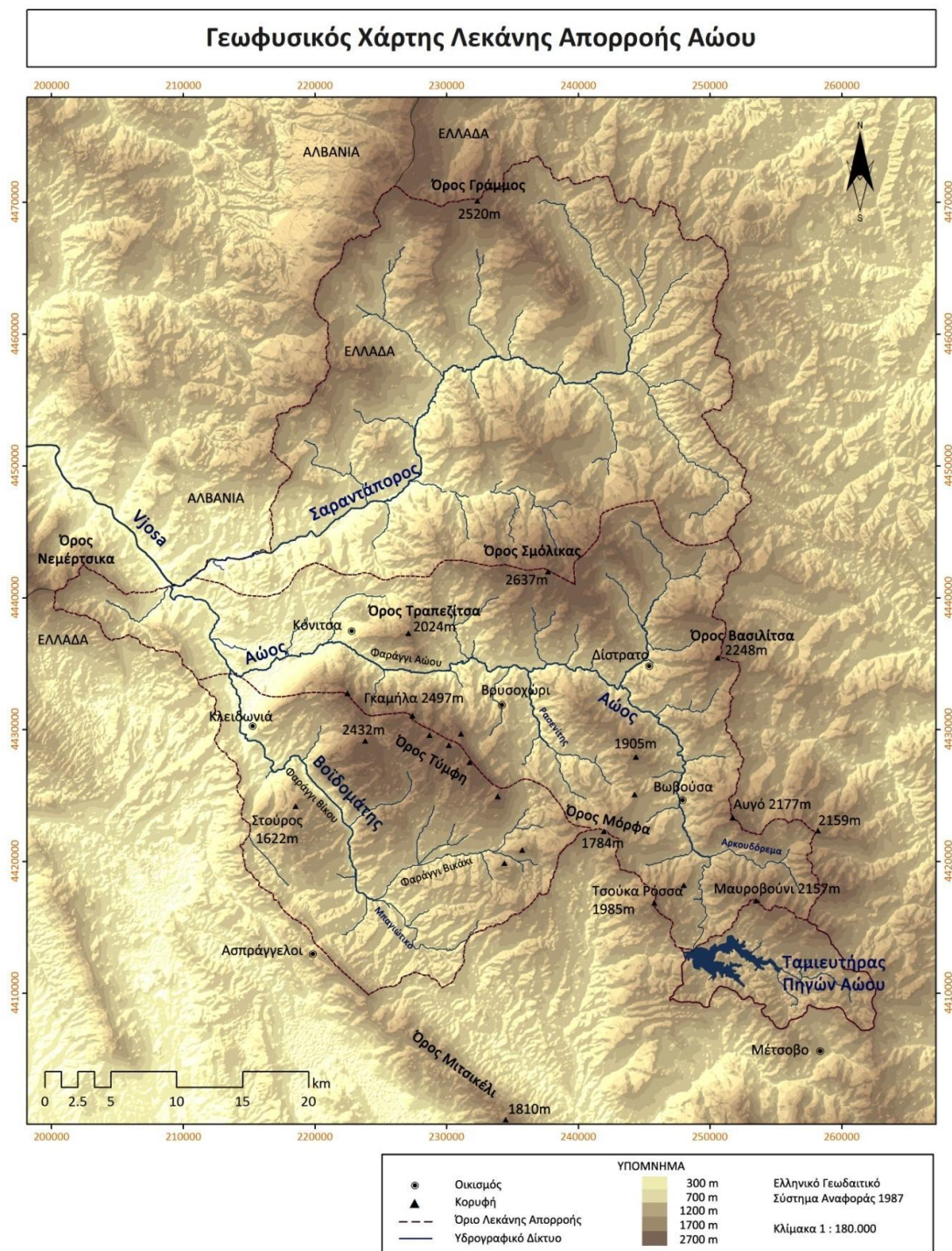
Σχήμα 2-2: Τα υδατικά διαμερίσματα της Ελλάδας (Περιφέρεια Ηπείρου, 2008)

Από άποψη υδρολογίας, η περιοχή μελέτης, σύμφωνα με το διαχωρισμό της διεύθυνσης Υδατικού δυναμικού και Φυσικών Πόρων του Υπουργείου Ανάπτυξης, ανήκει στο υδατικό διαμέρισμα της Ηπείρου με κωδικό 05, όπως φαίνεται και στο παραπάνω Σχήμα 2.2 (Τα Υδατικά Διαμερίσματα και οι Περιφέρειες της Χώρας).

Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής είναι πολύ πλούσιο αποτελούμενο από μεγάλο αριθμό ρεμάτων και μισγάγγειων. Τα κυριότερα ποτάμια που αποστραγγίζουν την ευρύτερη περιοχή μελέτης αναφέρονται στη συνέχεια.

Αώος

Ο ποταμός Αώος (Vjosa) έχει συνολικό μήκος 260km εκ των οποίων τα 70km βρίσκονται σε ελληνικό έδαφος. Στη συνέχεια ρέει διαμέσου της Αλβανίας, όπου εκβάλλει στην Αδριατική θάλασσα, στο Fieri. Χωρίζεται στον άνω ρου, από τις πηγές του μέχρι τη συμβολή του με τον Βοϊδομάτη και στον κάτω ρου από εκεί έως τα ελληνοαλβανικά σύνορα. Οι πηγές του Αώου εντοπίζονται στο οροπέδιο των Πολιτσών, βόρεια του Μετσόβου, σε υψόμετρο 1.300m. Η υπολεκάνη αυτή του Αώου αποτελείται κατά κύριο λόγο από τις νότιες πλαγιές του όρους Μαυροβούνι (2.157m). Ωστόσο, μετά την κατασκευή του φράγματος πηγών Αώου (1988), τα ύδατα που δεσμεύονται στον ταμιευτήρα εκτρέπονται εξολοκλήρου στον ποταμό Μετσοβίτικο, παραπόταμο του Αράχθου, και δεν υπάρχει οικολογική παροχή κατάντη του φράγματος. Έτσι το τμήμα αυτό του Αώου ανήκει εξολοκλήρου στο υδροσύστημα του Αράχθου. Κατάντη του φράγματος η κοίτη του ποταμού είναι σχεδόν ξερή. Στη συνέχεια, ο ποταμός κινείται με βορειοδυτικό προσανατολισμό και συλλέγονται οι απορροές από τα όρη Τσούκα Ρόσσα (1.985m) και Φλάμπουρο (1.803m) μέχρι τη θέση Σμιζώματα, όπου «σμίγει» με το Αρκουδόρεμα. Η παροχή του ποταμού είναι πολύ χαμηλή στο τμήμα αυτό, το οποίο μάλιστα έχει χαρακτηριστεί ως Ιδιαίτερα Τροποποιημένο Υδάτινο Σώμα (ΙΤΥΣ) σύμφωνα με την Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά της Ε.Ε. (2000/60/ΕΚ).



Σχήμα 2-3: Γεωφυσικός Χάρτης λεκάνης απορροής Αώου (Λεονταρίτης, 2014)

Το Αρκουδόρεμα έχει σχετικά υψηλή παροχή, και συμπεριλαμβάνει όλες τις απορροές του Εθνικού Δρυμού Πίνδου. Η λεκάνη απορροής του συμπεριλαμβάνει τις βόρειες πλαγιές του όρους Μαυροβούνι, το μεγαλύτερο τμήμα του όρους Αυγό (2.177m), καθώς και τα όρη Πυροστιά (1.966m) και Κακοπλεύρι (2.159m). Η περιοχή αυτή είναι ιδιαίτερα ορεινή και το ύψος της ετήσια βροχόπτωσης αγγίζει τα 1.800mm, καθιστώντας την ίσως την πιο υγρή περιοχή της χώρας. Από το σημείο αυτό, ο

ποταμός συνεχίζει σε βόρεια - βορειοδυτική κατεύθυνση, διέρχεται μέσα από τον οικισμό Βωβούσα και στη συνέχεια, στις υπόρριες του Σμόλικα (2.637m), κοντά στον οικισμό Δίστρατο, στρέφεται προς τα δυτικά. Στο διάστημα αυτό η παροχή του ποταμού ενισχύεται σημαντικά καθώς συμβάλλουν πολλοί παραπόταμοι και ρέματα, όπως ο Βαθύλακκος, ο Καταρράκτης, το ρέμα του Στάθη, το ρέμα της Νεροτριβής κ.α. Τα νερά αυτά προέρχονται από το επίσης ορεινό τμήμα της λεκάνης που συμπεριλαμβάνει τον ορεινό όγκο της Μόρφας στα δυτικά (Κουκουρούντζος 1.784m, Μόρφα 1.534m, Φλάμπουρο 1.905m) και τις δυτικές, τις νότιες και τις βόρειες πλαγιές του όρους Βασιλίτσα (2.248m). Σημειώνεται ότι μέχρι αυτό το σημείο, η λεκάνη απορροής στο σύνολό της αποτελείται από αδιαπέρατους οφιολιθικούς σχηματισμούς και φλύσχη.

Ο Αώος, στη συνέχεια, κινείται σε γενικά δυτικό προσανατολισμό ανάμεσα στους μεγάλους ορεινούς όγκους της Τύμφης και του Σμόλικα (Λάκκα Αώου), διέρχεται από το εντυπωσιακό φαράγγι του Αώου που ορίζεται από τις βορεινές ορθοπλαγιές της Τύμφης (2.497m) και τις νότιες απότομες πλαγιές του όρους Τραπεζίτσα (2.024m) και καταλήγει στο γεφύρι της Κόνιτσας. Η Λάκκα του Αώου είναι γνωστή για τα βλαχόφωνα, πλην του Ελεύθερου, χωριά της Δίστρατο, Άρματα, Πάδες, Παλαιοσέλι και Ελεύθερο. Τα χωριά αυτά ανήκουν διοικητικά στην Κόνιτσα και βρίσκονται στις νότιες πλαγιές του όρους Σμόλικα. Από εδώ απορρέουν ρέματα και παραπόταμοι όπως ο Ασπροπόταμος, το Μικρό Ποτάμι και το ρέμα Λάκκος. Στα νότια, στις ανατολικές υπόρριες της Τύμφης βρίσκεται το λεγόμενο Βλαχοζάγορο, το οποίο ανήκει διοικητικά στο Ζαγόρι και αποτελείται από τα βλαχόφωνα χωριά Βρυσοχώρι, Ηλιοχώρι και Λάιστα. Αξιοσημείωτος είναι ο παραπόταμος Ρασενίτης, ο οποίος απορρέει από την ευρύτερη περιοχή της Λάιστας-Μόρφας. Το ρέμα του Βρυσοχωρίου, περιλαμβάνει τις απορροές των ανατολικών και βορειοανατολικών πλαγιών της Τύμφης (Γκούρα 2.467m, Τσούκα Ρόσσα 2.377m) αλλά και κάποιες εκφορτίσεις του καρστικού συστήματος της Τύμφης. Μέσα στο φαράγγι του Αώου, συμβάλλει πληθώρα ρεμάτων αλλά και πηγών που αποτελούν εκφορτίσεις του καρστικού συστήματος της Τύμφης. Στις απορροές περιλαμβάνεται το όρος Τραπεζίτσα και οι βόρειες πλαγιές της Τύμφης (Μεγάλα Λιθάρια 2.467m, Καρτερό 2.478, Γκαμήλα 2.497m, Λάπατος 2.254m). Το τμήμα αυτό της λεκάνης απορροής κυριαρχείται από ασβεστολιθικούς σχηματισμούς.

Από το γεφύρι της Κόνιτσας (450m) μέχρι το σημείο συμβολής του Αώου με το Βοϊδομάτη, ο ποταμός ρέει στο λεκανοπέδιο της Κόνιτσας. Το τμήμα αυτό της λεκάνης απορροής είναι πεδινό-ημιορεινό, με χαμηλές σχετικά βροχοπτώσεις

(περίπου 1.000mm). Σημαντικές είναι οι καρστικές πηγές Καλλιθέας και Βωβού που αποτελούν εκφορτίσεις του χαμηλότερου βορειοδυτικού τμήματος της Τύμφης.

Ο κάτω ρους του Αώου, από το σημείο συμβολής του με το Βοϊδομάτη μέχρι τα ελληνοαλβανικά σύνορα όπου συναντά τον Σαραντάπορο έχει μικρό μήκος και περιορισμένη λεκάνη απορροής. Αξιοσημείωτη είναι η συμβολή διαφόρων πηγών που αποτελούν εκφορτίσεις του καρστικού συστήματος του όρους Νεμέρτσικα (2.496m), καθώς και οι αντίστοιχες απορροές των βορεινών πλαγιών.

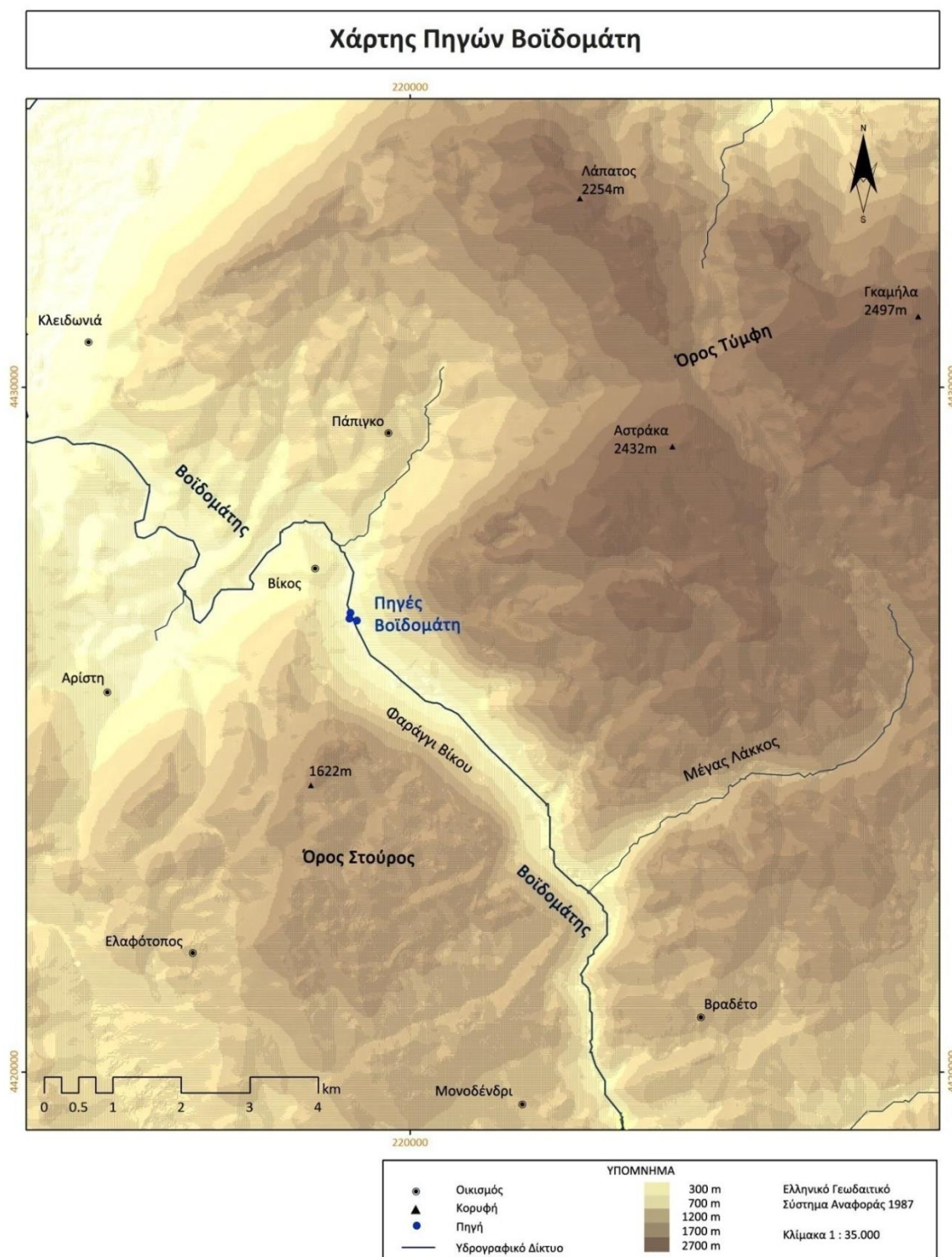
Βοϊδομάτης

Ο ποταμός Βοϊδομάτης είναι παραπόταμος του Αώου. Έχει μήκος μεγαλύτερο των 30km εκ των οποίων τα 12km αποτελούνται από το φαράγγι του Βίκου, όπου βρίσκονται και οι κύριες πηγές του (Σχήμα 2.4) κάτω από το ομώνυμο χωριό (πηγές Οικονόμου και Γκαστρωμένη). Έτσι και αυτός ο ποταμός χωρίζεται στο άνω τμήμα και το κάτω τμήμα, ανάντη και κατάντη των κύριων πηγών του αντίστοιχα. Το άνω τμήμα χαρακτηρίζεται από την εποχική του επιφανειακή ροή. Το ποτάμι στο τμήμα αυτό έχει μόνιμη επιφανειακή ροή μόνο κατά την περίοδο Νοεμβρίου-Ιουνίου. Η ροή αυτή αφενός οφείλεται στην τήξη του χιονιού που είναι συσσωρευμένο στον εκτενή ορεινό όγκο της Τύμφης και αφετέρου στις υψηλές βροχοπτώσεις. Κατά τους υπόλοιπους μήνες η κοίτη είναι ξερή και υπάρχει ροή μόνο λόγω της επιφανειακής απορροής της λεκάνης όταν σημειώνονται βροχοπτώσεις. Αυτό εν μέρει οφείλεται και στη γεωλογία της περιοχής, η οποία χαρακτηρίζεται από ένα πολύπλοκο και εκτενές καρστικό σύστημα. Η κυριαρχία των υδροπερατών ασβεστόλιθων στην περιοχή έχει ως αποτέλεσμα τη διείσδυση του νερού σε βαθιά στρώματα. Έτσι το νερό είτε διοχετεύεται στους υπόγειους υδροφορείς είτε κάποιες φορές εκφορτίζεται μέσω επιφανειακών πηγών εκεί όπου συναντά αδιαπέραστα στρώματα και προκαλείται ανακοπή στην κατείσδυση του και διασπορά του (Δασαρχείο Ιωαννίνων, 2008). Ένα βασικό στοιχείο που οδηγεί σε αυτό το συμπέρασμα είναι τα πολυάριθμα σπηλαιοβάραθρα (Σπήλαιο Προβατίνας -408m, Χάσμα του Έπους -451m, Γκαϊλότρυπα -155m, Τρύπα της Νύφης -282m, Τρύπα της Λυγερής -330m, Τρύπα του Όρνιου που είναι και το βαθύτερο βάραθρο στην ηπειρωτική Ελλάδα με βάθος -584m κ.α.) τόσο στην περιοχή του κεντρικού Ζαγορίου όσο και στους ορεινούς όγκους της Τύμφης και του Στούρου (1.622m). Επίσης είναι χαρακτηριστικό, ότι πολλά από τα χωριά του κεντρικού Ζαγορίου, παρόλο που βρίσκονται σε μια ορεινή περιοχή με υψηλές βροχοπτώσεις, υδρεύονται με νερό που μεταφέρεται αρκετά χιλιόμετρα με αγωγούς από το Βρυσοχώρι.

Η υπολεκάνη απορροής του άνω τμήματος συμπεριλαμβάνει το όρος Στούρος και το μεγαλύτερο μέρος της Τύμφης στα βόρεια, τις ανατολικές πλαγίες του βόρειου

τμήματος του όρους Μιτσικέλι (1.810m) στα δυτικά, τα όρη Κούστα (1.729m) και Κοζακός (1.622m) στα ανατολικά και ένα μεγάλο τμήμα του κεντρικού Ζαγορίου κεντρικά και νότια. Οι οικισμοί που βρίσκονται στην υπολεκάνη είναι οι Ασπράγγελοι και η Ελάτη στα νοτιοδυτικά, οι Νεγάδες, το Τσεπέλοβο και το Σκαμνέλι στα ανατολικά και το Καπέσοβο, το Κουκούλι, οι Κήποι, η Βίτσα, το Δίλοφο και το Βραδέτο στα βόρεια και κεντρικά. Τα κυριότερα ρέματα και παραπόταμοι είναι ο Ξηροπόταμος, το Βικάκι ή Σκαμνελλιώτικο, το Μπαγιώτικο και η Ντόβρη. Εδώ είναι χτισμένα και τα διάσημα πέτρινα τοξωτά γεφύρια του Ζαγορίου (Μίσσιου, Πλακίδα, Κόκκορη, Κοντοδήμου, Στάθη, Χάτσιου κ.α.).

Το κάτω τμήμα του ποταμού έχει υψηλή παροχή όλη τη διάρκεια του χρόνου. Στην πορεία του μέχρι το Γεφύρι της Κλειδωνιάς διασχίζει το ανέγγιχτο φαράγγι του Βοϊδομάτη. Σε όλο το μήκος του, ο ποταμός δέχεται πληθώρα καρστικών πηγών σε διάφορα σημεία. Λόγω της φύσεως των πηγών αυτών αλλά και των κυρίως πηγών του, η παροχή διατηρείται σχετικά υψηλή ακόμα και κατά τους ξηρούς θερινούς μήνες. Στην υπολεκάνη απορροής του τμήματος αυτού συμπεριλαμβάνεται το βορειοδυτικό τμήμα της Τύμφης (Αστράκα 2.432m) και οι ορεινές και ημιορεινές περιοχές ανάμεσα στην Τύμφη και το Στούρο. Εδώ βρίσκονται οι οικισμοί Μεγάλο Πάπιγκο, Μικρό Πάπιγκο, Βίκος, Αρίστη, Άγιος Μηνάς, Κλειδωνιά και Άνω Κλειδωνιά.



Σχήμα 2-4: Λεκάνη απορροής και Πηγές Βοΐδομάτη (Λεονταρίτης, 2014)

2.2 Γεωλογία περιοχής μελέτης

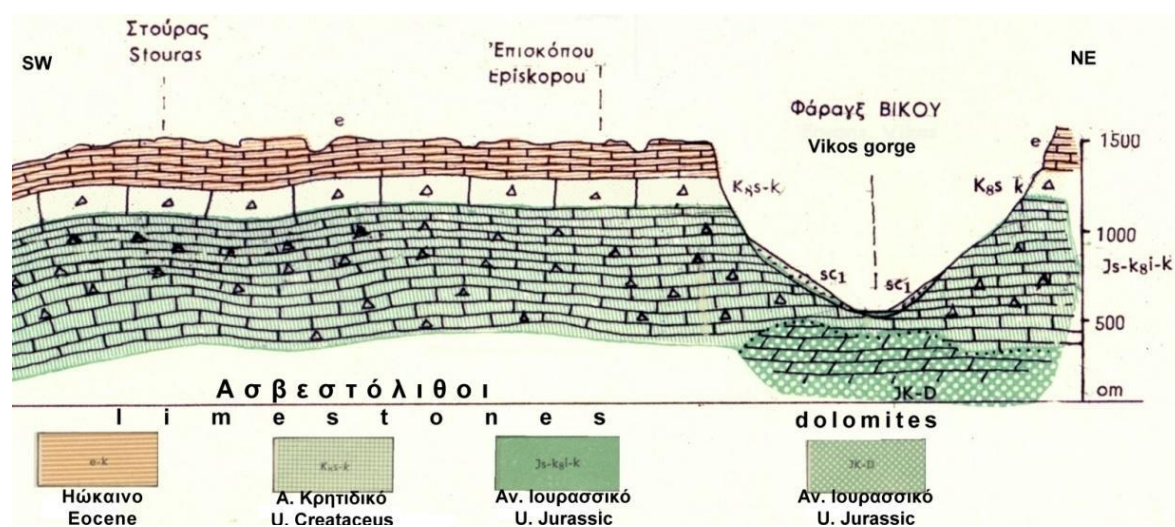
Η περιοχή μελέτης κυριαρχείται από οφιολιθικά και ασβεστολιθικά πετρώματα. Η υπολεκάνη του Αώου καλύπτεται σε μεγάλο ποσοστό από αδιαπέρατους σχηματισμούς οφιόλιθων και φλύσχη (Σμόλικας, Βασιλίτσα, Μαυροβούνι, Αυγό, Τσούκα Ρόσσα, Μόρφα). Μικρό μέρος της διαδρομής του γίνεται ανάμεσα στους ανθρακικούς σχηματισμούς της Βόρειας Τύμφης και του όρους Τραπεζίτσα όπου σχηματίζεται το φαράγγι του Αώου. Η διαδρομή του φαραγγιού του Αώου καθορίστηκε από τη γεωμετρία των στρώσεων των ασβεστόλιθων και τον προσανατολισμό των ρηγμάτων. Μεγάλα κανονικά ρήγματα με διεύθυνση ΒΔ - ΝΑ ταυτίζονται με τη διεύθυνση του φαραγγιού, το οποίο είναι αποτέλεσμα της διάβρωσης των ασβεστόλιθων από το νερό. Στα κατακόρυφα πρηνή αποκαλύπτεται η στρωματογραφία των γεωλογικών σχηματισμών. Στη βάση απαντώνται γκρι χρώματος δολομίτες, συμπαγείς, θρομβώδεις και κατά θέσεις κονιορτοποιημένοι, οι οποίοι εξελίσσονται προς τα πάνω σε εναλλαγές με μαύρους κερατόλιθους. Η ηλικία τους αρχίζει από το Ανώτερο Ιουρασικό (160 εκ. χρόνια) μέχρι το Κατώτερο Σενώνιο (80 εκ. χρόνια). Στη συνέχεια υπάρχουν πλακώδεις ασβεστόλιθοι με θραύσματα ρουδιστών ηλικίας Ανώτερου Σενωνίου και ασβεστόλιθοι λευκοί μεσοπλακώδεις ηλικίας Ηωκαίνου (35 εκ. χρόνια). Στην κορυφή η σειρά τελειώνει με το σχηματισμό του φλύσχη από ψαμμίτες και ιλυολίθους ηλικίας 35-15 εκ. χρόνια (Αναπτυξιακή Ηπείρου, 2012). Η νότια πλευρά του φαραγγιού είναι πιο απότομη σε σχέση με τη βόρεια. Βαθιές και απότομες ρεματιές διαπερνούν τις κατακόρυφες ορθοπλαγιές, μεταφέροντας χαμηλά στον Αώο μεγάλες ποσότητες υλικών αποσάθρωσης των ασβεστόλιθων. Επίσης υπάρχει πληθώρα πηγών.

Η υπολεκάνη του Βοϊδομάτη αποτελείται τόσο από αδιαπέρατους οφιολιθικούς σχηματισμούς (ανατολικό Ζαγόρι) όσο και από ανθρακικούς σχηματισμούς, κυρίως του ορεινού όγκου της Τύμφης και του Στούρου. Οι ορεινοί αυτοί όγκοι εκφορτίζονται από καρστικές πηγές που αποτελούν και τις κυρίως πηγές του ποταμού (πηγή Οικονόμου, πηγή Γκαστρωμένης, πηγή Αράπη). Εδώ οι γεωλογικές διεργασίες έφεραν στην επιφάνεια τους υπόγειους αγωγούς. Το νερό από τις βροχές και το λιώσιμο του χιονιού στον ορεινό όγκο της Τύμφης κυλάει μέσα από τις ρωγμές των ασβεστόλιθων μέσω ενός δαιδαλώδους δικτύου υπόγειων αγωγών. Τα μεγάλα ρήγματα, όπως το ρήγμα της Αστράκας, συμβάλλουν στο να αναπτυχθούν προνομιακές ροές σε μεγάλους αγωγούς οι οποίοι αποκαλύφθηκαν όταν ο Βοϊδομάτης διέβρωσε σε βάθος τους ασβεστόλιθους και σήμερα αποτελούν τις πηγές αυτές. Η μέση θερμοκρασία του νερού είναι 9°C, χωρίς ουσιώδεις εποχικές μεταβολές. Εξάριση αποτελεί η πηγή Γκαστρωμένη, η οποία είναι διαλείπουσα πηγή

με θεαματικές διακυμάνσεις στην υγρή και ξηρή περίοδο, φαινόμενο που της προσέδωσε και το σχετικό όνομα. (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, 2009). Επίσης ασβεστολιθικά πετρώματα εντοπίζονται τόσο στην περιοχή του Ζαγορίου όσο και στα όρη Κούστα και Κοζακός.

Κυρίαρχο γεωλογικό χαρακτηριστικό ολόκληρης της περιοχής μελέτης είναι το επιβλητικό φαράγγι του Βίκου. Θεωρείται από τα μεγαλύτερα και πιο εντυπωσιακά ασβεστολιθικά φαράγγια της Ευρώπης. Έχει μήκος 12 χλμ., πλάτος που κυμαίνεται μεταξύ 200μ. και 1.5 χλμ. και μέγιστο βάθος 1.200μ. Η χαράδρα του Βίκου είναι μια από τις μεγαλύτερες και βαθύτερες του κόσμου και έχει καταχωρηθεί στο βιβλίο Guinness ως η πιο βαθιά, με βάθος 900 μέτρα και άνοιγμα μόνο 1.100 μέτρα. Είναι εντυπωσιακή, με κάθετους γεωλογικούς σχηματισμούς, εναλλαγή οικοσυστημάτων, ιδιαίτερο μικροκλίμα, πλούσια βιοποικιλότητα με έντονο ενδημισμό και αποτελεί ένα από τα λίγα εναπομείναντα καταφύγια άγριας ζωής στην Ευρώπη (Αναπτυξιακή Ηπείρου, 2012).

Όλος ο χώρος ανάπτυξης του φαραγγιού είναι ένα σύνολο γεωτόπων καθένας από τους οποίους είναι αντιπροσωπευτικός των επιμέρους γεωλογικών διεργασιών. Τα στρώματα είναι υποοριζόντια και αποκαλύπτεται σε φυσική κλίμακα η στρωματογραφική αλληλουχία της Ιόνιας ζώνης από το Ανώτερο Ιουρασικό μέχρι το Κατώτερο Μειόκαινο (Σχήμα 2.5). Στη βάση του φαραγγιού υπάρχουν οι δολομιτικοί ασβεστόλιθοι της Βίγλας ηλικίας 160εκ χρόνων, στην κορυφή ασβεστόλιθοι Ηωκαίνου ηλικίας 40 εκ. χρόνων και τέλος σχηματισμός του φλύσχη ηλικίας 20 εκ. χρόνων (Αναπτυξιακή Ηπείρου, 2012).



Σχήμα 2-5: Γεωλογική τομή στο φαράγγι του Βίκου. (Πηγή: ΙΓΜΕ 1968)

Κατά μήκος του ποταμού παρατηρούνται ποτάμιες αναβαθμίδες σε διαφορετικά υψόμετρα που φανερώνουν τις μεταβολές του ποταμού στο Πλειστόκαινο. Οι

ποτάμιες αναβαθμίδες και οι βραχοσκεπές κατά μήκος του ποταμού αποτέλεσαν ασφαλή καταφύγια για τον προϊστορικό άνθρωπο. Οι αρχαιολογικές έρευνες έφεραν στο φως σημαντικά ευρήματα της ανθρώπινης δραστηριότητας στο τέλος του Ανώτερου Πλειστοκαίνου (Αναπτυξιακή Ηπείρου, 2012).

Στο πεδινό τμήμα της λεκάνης, στο τεκτονικό βύθισμα της Κόνιτσας, εμφανίζονται κατά μήκος του ομώνυμου μεγάλου ρήγματος οι καρστικές πηγές της Καλλιθέας και Βωβού. Το ρήγμα της Κόνιτσας αποτελεί κυρίαρχη γεωλογική δομή και είναι υπεύθυνο για τη μεγάλη ταπείνωση του ανάγλυφου. Είναι σαφής η οριοθέτηση του ρήγματος και ταυτίζεται με την απότομη αλλαγή της μορφολογίας, από το υψηλό ανάγλυφο της Τύμφης στο χαμηλό της λεκάνης της Κόνιτσας. Εκτείνεται σε μήκος 25 χλμ. με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ, με μέγιστο άλμα που φθάνει τα 1.000 μ. Στο κατερχόμενο τέμαχος του ρήγματος αναπτύσσονται πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων Πλειστοκαινικής ηλικίας. Τα μεγάλα ποτάμια του Αώου και του Βοϊδομάτη παρακολούθησαν διαχρονικά την εξέλιξη αυτή. Στην έξοδό τους τέμνουν κάθετα το ρήγμα της Κόνιτσας και σχηματίζουν ποτάμιες αναβαθμίδες από κροκάλες ασβεστολιθικές και άμμους. Η έξοδος του Βοϊδομάτη έχει μορφή V, που είναι αντιπροσωπευτικός τύπος έντονης κατακόρυφης διάβρωσης (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, 2009). Πριν την είσοδο του στην Αλβανία, ο ποταμός δέχεται τις πλευρικές καρστικές εκφορτίσεις του όρους Νεμέρτσικα, το οποίο αποτελείται κυρίως από ασβεστολιθικά πετρώματα.

Γενικά, η γεωλογία και γεωμορφολογία της περιοχής μελέτης παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Την 1η Οκτωβρίου 2010 μάλιστα, η ευρύτερη περιοχή του Βίκου - Αώου εξαιτίας της μεγάλης γεωλογικής και γεωμορφολογικής της αξίας χαρακτηρίστηκε ως Γεωπάρκο Βίκου - Αώου και εντάχθηκε στο Ευρωπαϊκό Δίκτυο Γεωπάρκων της UNESCO. Στο Γεωπάρκο Βίκου - Αώου περιλαμβάνονται η οροσειρά της Τύμφης, το φαράγγι του Βίκου και του Βοϊδομάτη, το φαράγγι του Αώου, τα όρη Τραπεζίτσα, Σμόλικας Κλέφτης, η περιοχή της ένωσης των ποταμών Αώου, Βοϊδομάτη και Σαραντάπορου και οι ιαματικές πηγές Καβασίλων και Αμαράντου. Το μεγαλύτερο τμήμα του Γεωπάρκου βρίσκεται εντός των ορίων του Εθνικού Πάρκου Βόρειας Πίνδου (Φορέας Διαχείρισης Εθνικού Πάρκου Βόρειας Πίνδου, 2013β).

2.3 Κλιματικές Συνθήκες

Το κλίμα της περιοχής είναι υγρό προς υπέρυγρο, εύκρατο ηπειρωτικό με μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος και με ξηρό και θερμό θέρος. Χαρακτηριστική είναι η επίδραση των ορεινών όγκων που περιβάλλουν την περιοχή στη διαμόρφωση του μικροκλίματός της.

Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 14,2 °C και οι μέσες ετήσιες βροχοπτώσεις στα 1.081,5 mm.

Η περιοχή εντάσσεται στην ισούγρη καμπύλη 70% σχετικής υγρασίας. Την περίοδο από Μάη μέχρι Σεπτέμβρη έχει κλίμα υπέρξηρο κατά την κλίμακα LANG-GRACANIN.

Οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές θερμοκρασίας αέρος είναι:

- Απόλυτη ελάχιστη -9,9 °C, μέση ελάχιστη 10,0 °C
- Μέση μέγιστη 22,3 °C, απόλυτα μέγιστη 40,8 °C
- Μέγιστο εύρος 50,7 °C

Για τη μελέτη των κλιματικών συνθηκών της περιοχής χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία από τον Μετεωρολογικό Σταθμό Κόνιτσας.

Οι γεωγραφικές συντεταγμένες του Σταθμού είναι:

- Β.Γ.Π.: 20° 45'
- Α.Γ.Μ.: 40° 03'
- Υψόμετρο : +542 μ

Τα κλιματικά στοιχεία που ελήφθησαν υπόψη είναι της περιόδου 1955-1982 εκτός από το ύψος βροχής που είναι των περιόδων 1915 -1940 και 1955 – 1982 και την ηλιοφάνεια σε ώρες που είναι της περιόδου 1977 – 1989.

Τα στοιχεία αυτά προέρχονται από το Βιβλίο «ΤΟ ΚΛΙΜΑ ΤΗΣ ΗΠΕΙΡΟΥ» του Νίκου Β. Σούλη, Γεωπόνου - Εδαφολόγου. Στο ίδιο βιβλίο οφείλονται και τα στοιχεία αξιολογήσεων και ταξινομήσεων αναφορικά με το κλίμα της παρούσης Μελέτης.

Θερμοκρασία αέρος

Η μέση ετήσια θερμοκρασία αέρος των μηνών παρουσιάζει απλή κύμανση εμφανίζει ομαλή ετήσια πορεία με μέγιστο τον Αύγουστο στους 24,4 °C, ελάχιστο τον Ιανουάριο στους 5,2 °C και μέση για όλο το έτος 14,5 °C. Άρα το θερμοκρασιακό εύρος είναι $24,4 - 5,2 = 19,2$ °C που χαρακτηρίζει εύκρατο ηπειρωτικό τύπο.

Στην περιοχή της Κόνιτσας, κατά την περίοδο 1955 - 1982 ως θερμότερος μήνας, βάσει των μέσων θερμοκρασιών εμφανίζεται ο Αύγουστος στο 60% των ετών, ακολουθεί ο Ιούλιος στο 36% και μια χρονιά ο Ιούνιος ήτοι στο 4% των ετών. Ως ψυχρότερος μήνας εμφανίζεται ο Ιανουάριος στο 70% των ετών, ακολουθεί ο Φεβρουάριος στο 20% και ο Δεκέμβριος στο 10%.

Βροχοπτώσεις

Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής για την περίοδο 1915 - 1940 ανέρχεται σε 1.119,5mm, την περίοδο 1955 - 1982 σε 1.051,5mm και για τις δύο υπόψη περιόδους τα 1084,8mm. Με βάση τα στοιχεία αυτά η περιοχή χαρακτηρίζεται ως πολύομβρη. Η ετήσια πορεία της βροχής με βάση τα στοιχεία και των δύο αυτών περιόδων παρουσιάζει σημαντική αλλά ομαλή διακύμανση με μέγιστο μέσο ύψος τον Νοέμβριο 175,74mm και ελάχιστο τον Ιούλιο 18,9mm.

Κατά την περίοδο Ιουνίου - Σεπτεμβρίου, που οι ανάγκες των φυτών σε νερό είναι πολύ αυξημένες, οι βροχές είναι ελάχιστες και το έλλειμμα αυτό σε νερό είναι αναγκαίο να καλυφθεί από τις αρδεύσεις. Η εποχιακή κατανομή των βροχών είναι:

Κατανομή Βροχοπτώσεων ανά εποχή (εποχή/ χιλιοστά/ ποσοστό)

Φθινόπωρο	356,3	32,8%
Χειμώνας	388,1	35,8%
Άνοιξη	255,1	23,5%
Καλοκαίρι	85,3	7,9%

Παγετοί

Οι μερικοί παγετοί εμφανίζονται από τον Οκτώβριο μέχρι το Μάιο 37,4 μέρες κατά μέσο όρο ετησίως και παρουσιάζουν απλή ετήσια πορεία με μέγιστο τον Ιανουάριο 12,7 μέρες. Οι ολικοί τον Ιανουάριο, τον Φεβρουάριο και τον Δεκέμβριο 0,6 μέρες κατά μ. ό. με μεγαλύτερη συχνότητα τον Ιανουάριο 0,4 μέρες το χρόνο κατά μ. ό..

Οι παγετοί προκαλούν σοβαρές ζημιές στη γεωργία και την κτηνοτροφία. Κυρίως οι πρώιμοι το φθινόπωρο και οι όψιμοι την άνοιξη.

Υγρασία αέρος

Η σχετική υγρασία εμφανίζεται μικρότερη και σημαντικά μειωμένη έναντι των άλλων περιοχών της Ηπείρου που λειτουργούν βροχομετρικοί σταθμοί. Φαίνεται όμως σε αυτό επηρεάζει σημαντικά η θέση του σταθμού, που βρίσκεται σε επικλινή νότια πλευρά και δέχεται ρεύματα αέρα προερχόμενα σε μεγάλο βαθμό από τη χαράδρα του ποταμού Αώου. Έτσι αναμένεται ότι τα στοιχεία σχετικής υγρασίας θα ήσαν

σημαντικά υψηλότερα στον κάμπο της Κόνιτσας, λόγω των υδάτινων φορέων που τη διασχίζουν. Η ετήσια πορεία της σχετικής υγρασίας παρουσιάζει διπλή κύμανση με πρωτεύον μέγιστο τον Δεκέμβριο και δευτερεύον τον Μάιο. Το πρωτεύον ελάχιστο σημειώνεται τον Αύγουστο και το δευτερεύον τον Απρίλιο. Το ετήσιο εύρος της σχετικής υγρασίας, δηλαδή της διαφοράς της μέγιστης και ελαχίστης μέσης ετήσιας τιμής είναι $71 - 50 = 21 \%$ που σημαίνει ότι το κλίμα εμφανίζεται ως πολύ ξηρό καλοκαίρι και λιγότερο ξηρό το χειμώνα.

Χιόνι

Εμφανίζεται κατά την περίοδο Οκτωβρίου - Απριλίου με συνολικό μέσο ετήσιο αριθμό 7,4 μέρες. Έχει απλή ετήσια πορεία με μέγιστο αριθμό τον Ιανουάριο (2,6 μέρες).

Χαλάζι

Στην περιοχή παρατηρείται σπάνια πτώση χαλαζιού που μπορεί να προκαλέσει καταστροφές στη γεωργική παραγωγή.

Εμφανίζεται καθ' όλο το έτος εκτός από το Νοέμβριο, με συνολικό μέσο ετήσιο αριθμό ημερών 1,7 μέρες. Παρουσιάζει σύνθετη ετήσια πορεία με μέγιστο τον Μάιο (0,37 μέρες), τον Οκτώβριο (0,12 μέρες) και τον Δεκέμβριο (0,15 μέρες) και ελάχιστο τον Ιανουάριο (0,06 μέρες), τον Ιούλιο (0,03 μέρες) και το Νοέμβριο (0 μέρες).

Νέφωση

Η νέφωση που εκφράζεται σε όγδοα του ουράνιου θόλου, εμφανίζεται όλους τους μήνες του χρόνου με ετήσιο μέσο όρο 3,7 όγδοα. Παρουσιάζει σύνθετη ετήσια πορεία με μέγιστο τον Απρίλιο (4,8), το Νοέμβριο (4,8) και τον Ιανουάριο (4,6) και ελάχιστο τον Ιούνιο (1,9), το Δεκέμβριο (3,7) και το Φεβρουάριο (4,4).

Ηλιοφάνεια

Εμφανίζεται με μέσο ετήσιο αριθμό 2.379,2 ώρες και παρουσιάζει απλή ετήσια πορεία με μέγιστο τον Ιούλιο 334,4 ώρες και ελάχιστο το Δεκέμβριο 98,8 ώρες.

Άνεμοι

Επικρατέστεροι άνεμοι στην περιοχή είναι οι Βόρειοι και οι Βορειοδυτικοί, ακολουθούν δε οι Δυτικοί και Νοτιοδυτικοί.

2.3.1 Προσδιορισμός υγρής και ξηρής περιόδου

Για τον προσδιορισμό της υγρής και της ξηρής περιόδου χρησιμοποιούμε τους συντελεστές Lang, που είναι ο λόγος του ύψους βροχής προς τη θερμοκρασία και τους χαρακτηρισμούς Gracani.

Από τους μηνιαίους αυτούς βροχομετρικούς συντελεστές και τους χαρακτηρισμούς τους η υγρή και ξηρή περίοδος τους είναι:

Υγρή περίοδος: Οκτώβριος – Απρίλιος

Ξηρή περίοδος: Μάιος - Σεπτέμβριος.

Η ξηρότητα του κλίματος κατά την θερινή περίοδο καθιστά επιβεβλημένη την εφαρμογή αρδεύσεων κατά την περίοδο αυτή για την κάλυψη των αναγκών των καλλιεργειών σε νερό. (Περιφέρεια Ιωαννίνων, 2008)

2.4 ΥΗΣ Αώου

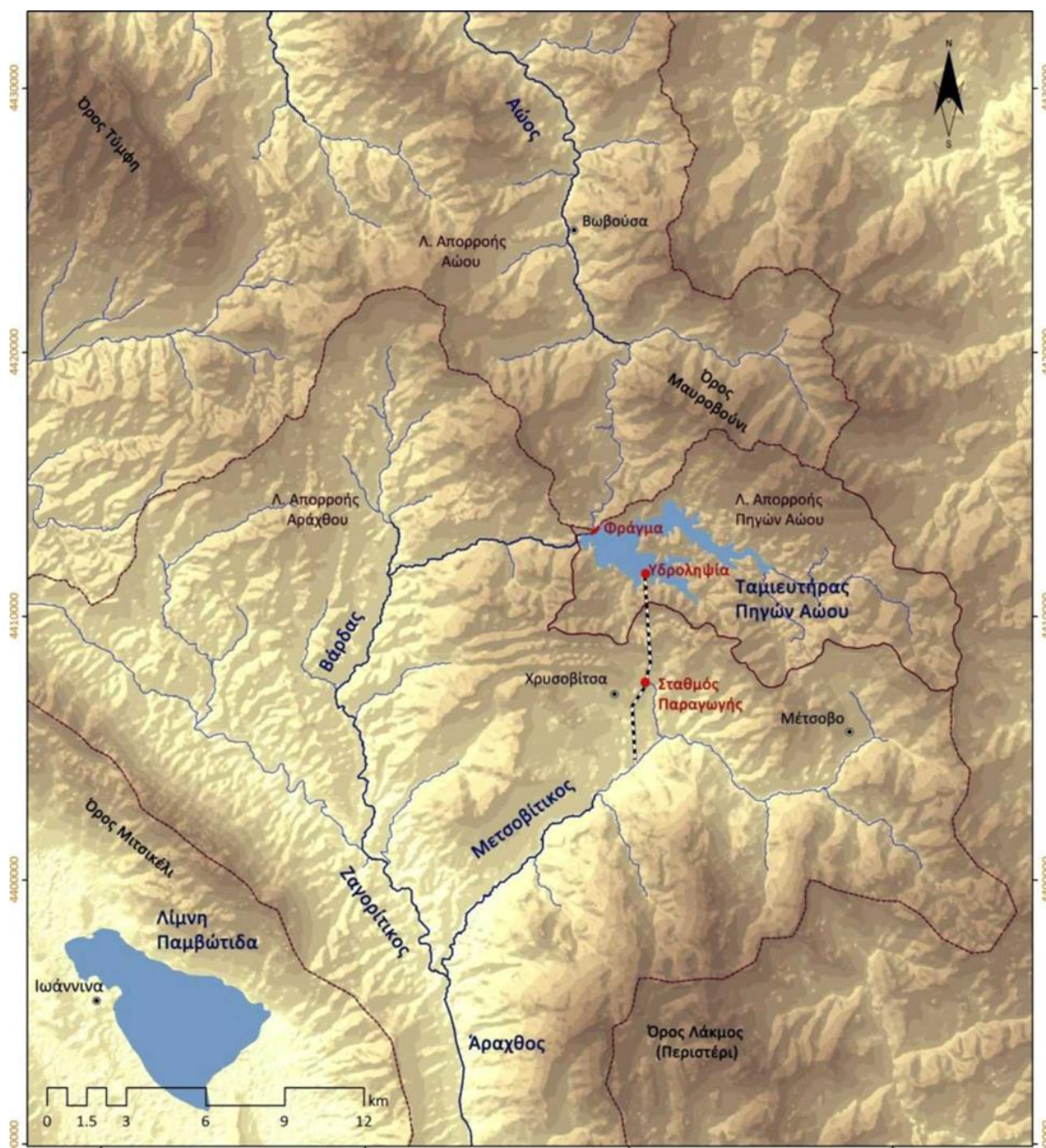
Ο ταμιευτήρας και ο ΥΗΣ Πηγών Αώου ανήκουν στο υδροσύστημα του Αράχθου, καθώς τα ύδατα που δεσμεύονται στον ταμιευτήρα εκτρέπονται εξολοκλήρου στον ποταμό Μετσοβίτικο, παραπόταμο του Αράχθου, ενώ δεν υπάρχει οικολογική παροχή κατάντη του φράγματος (Σχήμα 2.6).

Ο ταμιευτήρας πηγών Αώου είναι η υψηλότερη τεχνητή λίμνη στην Ελλάδα με τη στάθμη της να κυμαίνεται σε υψόμετρο 1.315-1.342m. Έχει επιφάνεια 9km², συνολική χωρητικότητα 180 εκατομμύρια m³ (hm³), και ωφέλιμη χωρητικότητα 145 hm³. Αποτελείται από επτά φράγματα στο σύνολο. Το κυρίως φράγμα ύψους 77m, ένα αυχενικό ύψους 40m και πέντε βοηθητικά ύψους 12-30m. Όλα τα παραπάνω φράγματα είναι χωμάτινα με εξωτερικές ζώνες από περιδοτίτη, φίλτρα από αμμοχάλικο, ένα κεντρικό αργιλικό πυρήνα, στέψη σε υψόμετρο 1.349m και πλάτος στέψης 10m (Καλοφύρη και Μαλαμπέκος, 2009).

Ο ΥΗΣ πηγών Αώου έχει υδραυλική πτώση 652m, που είναι και η μεγαλύτερη στην Ελλάδα. Δεδομένου ότι στον ταμιευτήρα δεσμεύονται περίπου 100 hm³ ετησίως, η ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αντιστοιχεί σε 150 GWh. Αυτό σημαίνει ότι ο συντελεστής χρησιμοποίησης του έργου (Capacity Factor) είναι αρκετά χαμηλός και ανέρχεται περίπου σε 8,5%. Ωστόσο, μαζί με το ΥΗΣ Κρεμαστών παίζει κυρίαρχο ρόλο στη ρύθμιση συχνότητας του εθνικού δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, συμβάλλει τοπικά στη ρύθμιση της τάσης του δικτύου, τροφοδοτεί απευθείας το γειτονικό Μέτσοβο με γραμμή 20kV και έχει τη δυνατότητα επανεκκίνησης (black start) σε περίπτωση κατάρρευσης του δικτύου (black out).

Ο ΥΗΣ πηγών Αώου όμως έχει και κάποιες αρνητικές συνέπειες. Η κυριότερη είναι η σημαντική μείωση της παροχής του Αώου κατάντη του φράγματος και η μη εξασφάλιση οικολογικής παροχής. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι το τμήμα του ποταμού κατάντη του ταμιευτήρα, έως τη θέση Σμιξώματα έχει χαρακτηριστεί ως Ιδιαίτερα Τροποποιημένο Υδάτινο Σώμα (ΙΤΥΣ) σύμφωνα με την Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά της Ε.Ε. (2000/60/ΕΚ). Επίσης ο ταμιευτήρας έχει επιφέρει αλλαγή του μικροκλίματος της περιοχής και έχει συμβάλει στον στιγματισμό της υδροηλεκτρικής ενέργειας στην περιοχή.

Ανάλυση διακινδύνευσης κάλυψης των αρδευτικών αναγκών στην περιοχή της Κόνιτσας κάτω από μεταβαλλόμενες συνθήκες



Σχήμα 2-6: Χάρτης ΥΗΣ Πηγών Αώου (Λεονταρίτης, 2014)

2.5 Χρήσεις Νερού

Το νερό των ποταμών Αώου και Βοϊδομάτη και των παραποτάμων τους χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά για άρδευση, αναψυχή και για παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Σημαντική ποσότητα υδάτων ($100\text{hm}^3/\text{έτος}$) παρακρατείται από τον Ταμιευτήρα του ΥΗΣ Πηγών Αώου, η οποία αφού διέλθει από το σταθμό παραγωγής κοντά στον οικισμό Χρυσοβίτσα του Δήμου Μετσόβου, καταλήγει στον ποταμό Μετσοβίτικο που ανήκει στη λεκάνη απορροής του Αράχθου. Για υδροηλεκτρική εκμετάλλευση επίσης χρησιμοποιούνται τα ύδατα στις θέσεις Ρέμα Βρυσχωρίου και Ρέμα Νεροτριβής κοντά στους οικισμούς Βρυσχώρι και Δίστρατο όπου λειτουργούν Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα ισχύος 1,56MW και 1,935MW αντίστοιχα (ΠΑΕ, 2013).

Οι δύο ποταμοί διαδραματίζουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο για την άρδευση των αγροτικών εκτάσεων της περιοχής της Κόνιτσας. Ο Βοϊδομάτης τροφοδοτεί με νερό 4.500 στρέμματα των δικτύων Βοϊδομάτη και Κλειδωνιάς, ενώ από των Αώο αρδεύονται εκτάσεις 11.500 στρεμμάτων που περιλαμβάνουν τον κάμπο της Κόνιτσας και τον κάμπο της Καλλιθέας.

Η Τεχνητή Λίμνη Πηγών Αώου χρησιμοποιείται και για ψυχαγωγικούς σκοπούς ως τουριστικός προορισμός αλλά και για αλιεία. Επίσης, τόσο στον Αώο όσο και στο Βοϊδομάτη πραγματοποιούνται καταβάσεις Rafting, Kayak κτλ στα τμήματα Γέφυρα Βωβούσας - Γεφύρι Κόνιτσας και Γέφυρα Πάπιγκου (Αρίστης) - Γεφύρι Κλειδωνιάς αντίστοιχα με σημαντική συμβολή στο φυσιολατρικό τουρισμό της περιοχής.

Τέλος, σημειώνεται ότι κάποιοι οικισμοί υδρεύονται από πηγές και ρέματα που εμπíπτουν στην λεκάνη απορροής του υδροσυστήματος αλλά είναι πολύ μικρής κλίμακας και δε χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης.

2.6 Ο Αώος ως διασυνοριακός ποταμός

Ο ποταμός Αώος είναι ο μοναδικός ανάντη διασυνοριακός ποταμός της Ελλάδας που απορρέει σε άλλη χώρα, την Αλβανία. Η λεκάνη απορροής του έχει έκταση 6.519 km² εκ των οποίων τα 4.365 km² (67%) βρίσκονται σε αλβανικό έδαφος και τα 2.154 km² σε ελληνικό (33%). Η μέση υπερετήσια παροχή του είναι 2.100 hm³ στα ελληνοαλβανικά σύνορα και 5.550 hm³ στις εκβολές του στην Αδριατική (Ecologic Institute, 2012).

Παρόλο που πρόκειται για διακρατικό ποτάμι, δεν υπάρχει κάποια επίσημη διακρατική συμφωνία ανάμεσα στις δύο χώρες (Λαζαρίδης, 2005). Ωστόσο, σύμφωνα με μελέτη του Ecologic Institute (2012) εκ μέρους της Κομισιόν, για τη διαχείριση των διακρατικών ποταμών, υπάρχει συμφωνία ανάμεσα στις δύο χώρες που προβλέπει τη δημιουργία επιτροπής για τη διαχείριση των διακρατικών υδάτινων σωμάτων γλυκού νερού ("Agreement between the Government of the Hellenic Republic and the Government of the Republic of Albania on the establishment of the permanent Greek - Albanian commission on transboundary freshwater issues" under the 2003 "Memorandum of Understanding and Cooperation in the field of environmental protection between the two countries"). Η συμφωνία αυτή περιλαμβάνει τη διαχείριση της λεκάνης απορροής του Αώου/Vjosa και του Δρίνου καθώς και της Μεγάλης Πρέσπας. Η επιτροπή, έχει ήδη συσταθεί θεωρητικά, όμως δεν έχει επίσημα κάποια έδρα ή ιστοσελίδα ούτε έχουν οριστεί τα 18 μέλη από τα οποία αποτελείται. Η πρόοδος, είναι γενικά πολύ αργή και φαίνεται ότι η διαχείριση του Αώου δεν αποτελεί προτεραιότητα για τις δύο χώρες. Στη συνέχεια παρατίθενται οι κύριοι στόχοι και αρμοδιότητες της επιτροπής (Ecologic Institute, 2012):

- ✓ Συλλογή, επεξεργασία και αξιολόγηση των δεδομένων που παρέχονται από τις δύο πλευρές, με σκοπό τον εντοπισμό των πηγών ρύπανσης και της ανταλλαγής πληροφοριών
- ✓ Καθορισμός κοινών ποιοτικών στόχων για τα ύδατα και πρόταση μέτρων για την επίτευξή τους
- ✓ Να αποτελέσει μια πλατφόρμα ανταλλαγής πληροφοριών για τις υπάρχουσες και σχεδιαζόμενες χρήσεις νερού και τα σχετικά έργα που έχουν διακρατική επίδραση ή αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα των υδάτων
- ✓ Να συζητά και να αξιολογεί προτάσεις υδραυλικών έργων που γίνονται από κοινού και να επιβλέπει την κατασκευή τους
- ✓ Οργάνωση της συνεργασίας και προώθηση της ανάπτυξης ενός διεθνούς δικτύου για την παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων

- ✓ Να λειτουργήσει ως παράδειγμα για την ανταλλαγή πληροφοριών, σχετικά με θέματα υδατικής πολιτικής, ανάμεσα σε κράτη
- ✓ Μελέτη προτάσεων για την ανταλλαγή πρακτικής εμπειρίας και τεχνογνωσίας σε θέματα διαχείρισης υδατικών πόρων, συμπεριλαμβανομένων των υδρολογικών και των μετεωρολογικών δεδομένων και των δεδομένων ποιοτικής παρακολούθησης
- ✓ Προώθηση της συνεργασίας μεταξύ των αρμόδιων αρχών των δύο χωρών

Επομένως, πέραν της διεθνούς νομοθεσίας, δεν υφίσταται κάποιος περιορισμός, ποσοτικός ή ποιοτικός, στα ύδατα του Αώου. Όμως, η διεθνής νομοθεσία είναι αρκετά γενική και έτσι ούτε από αυτή την πλευρά προκύπτει κάποιος συγκεκριμένος ποσοτικός περιορισμός. Σύμφωνα με την Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά της Ε.Ε. (2000/60/ΕΚ), η διαχείριση της λεκάνης απορροής πρέπει να αποσκοπεί στην καλή οικολογική και χημική κατάσταση του ποταμού. Με την έννοια αυτή, υφίστανται κάποιες συγκεκριμένες ποιοτικές παράμετροι-δείκτες που πρέπει βρίσκονται εντός συγκεκριμένων ορίων. Όσον αφορά τις διακρατικές λεκάνες, η οδηγία προβλέπει τη λήψη μέτρων για την από κοινού διαχείριση των διακρατικών λεκανών. Σε περίπτωση διεθνούς λεκάνης, είτε εντός είτε εκτός Κοινότητας, τα κράτη οφείλουν να συνεργαστούν για την κατάρτιση ενιαίου σχεδίου διαχείρισης (Ελευθεριάδου και Μυλόπουλος, 2005).

2.7 Το οικοσύστημα του Αώου

Το υδροσύστημα Αώου-Βοϊδομάτη είναι αλληλένδετο με ένα από τα πλουσιότερα και σημαντικότερα οικοσυστήματα της Ελλάδας. Εντός της λεκάνης απορροής του βρίσκονται οι Εθνικοί Δρυμοί Πίνδου (έτος ανακήρυξης 1966) και Βίκου-Αώου (έτος ανακήρυξης 1973), το Εθνικό Πάρκο Βόρειας Πίνδου (έτος ανακήρυξης 2002), περιοχές Natura 2000 κ.α. Το Εθνικό Πάρκο έχει ευρύτερα γεωγραφικά όρια και επί της ουσίας συμπεριλαμβάνει σχεδόν όλες τις υπόλοιπες προστατευόμενες περιοχές (Σχήμα 2.8). Ένα τμήμα μάλιστα του Εθνικού Δρυμού Βίκου- Αώου έχει ανακηρυχθεί περιοχή Εξαιρετικής Φυσικής Ομορφιάς (Area of Outstanding Natural Beauty, AONB).

Πρόκειται λοιπόν για ένα ευαίσθητο οικοσύστημα το οποίο χρήζει συστηματικής παρακολούθησης και μελέτης αλλά και ειδικής προστασίας και διαχείρισης. Κατ' επέκταση το ίδιο ισχύει και για τους ποταμούς που το διαρρέουν. Για την κατανόηση της οικολογικής αξίας της περιοχής και της αναγκαιότητας για την προστασία της παρατίθενται κάποια βασικά στοιχεία για τους οικοτόπους που την αποτελούν και τα είδη χλωρίδας και πανίδας που ζουν εκεί. (Φορέας Διαχείρισης Εθνικού Πάρκου Βόρειας Πίνδου 2013β; Κουτσογιαννόπουλος, 2013; Παπαϊωάννου κ.α., 2008).

Στο Εθνικό Πάρκο Βόρειας Πίνδου υπάρχουν 30 τύποι οικοτόπων. Μεγάλη έκταση του Εθνικού Πάρκου καλύπτουν οι δασικοί οικοτόποι και κυρίως εκείνοι της μαύρης Πεύκης, της Οξιάς, της Ελάτης και των Δρυών. Εκτός από τους παραπάνω, στους 15 δασικούς οικοτόπους του Εθνικού Πάρκου περιλαμβάνονται και τα δάση και οι συστάδες με ρόμπολο, ορεινή άρκευθο, καστανιά καθώς και η παραποτάμια βλάστηση με πλατάνια, ασπρόλευκες, σκλήθρα κ.ά. Επίσης στο Εθνικό Πάρκο υπάρχουν 4 τύποι οικοτόπων που συγκροτούνται από θαμνώνες, 5 τύποι λιβαδικών οικοτόπων, 2 τύποι οικοτόπων σε βραχώδες υπόστρωμα (ορθοπλαγιές και σάρες) και άλλοι 2 σε ποταμούς.

Πλούσια είναι και η άγρια πανίδα του Εθνικού Πάρκου της Βόρειας Πίνδου, τόσο σε συνολικό αριθμό ειδών, όσο και στην παρουσία σπάνιων και προστατευόμενων ειδών. Εδώ συναντώνται σχεδόν όλα τα μεγάλα θηλαστικά της ηπειρωτικής Ελλάδας, είτε είναι σπάνια, όπως η αρκούδα (*Ursus arctos*) κ.ά., είτε περισσότερο κοινά, όπως το αγριογούρουνο (*Sus scrofa*), αλλά και άλλα μικρότερα θηλαστικά όπως η αλεπού (*Vulpes vulpes*) και ο ασβός (*Meles meles*). Συνολικά στο Εθνικό Πάρκο απαντώνται περί τα 60 είδη θηλαστικών.

σαύρας (*Algyroidesnigropunctatus*), του σπιτόφιδου (*Elaphequatrolineataa*) και της κρασπεδωτής χελώνας (*Testudomarginata*).

Επιπλέον, έχουν βρεθεί, 14 διαφορετικά είδη αμφιβίων όπως η σαλαμάνδρα (*Salamandrasalamandra*) και ο αλπικός τρίτωνας (*Triturusalpestris*), ο οποίος ζει σε μικρές αποικίες σε διάσπαρτες λιμνούλες και μικρές συγκεντρώσεις νερών στα μεγάλα υψόμετρα των βουνών του Εθνικού Πάρκου, όπως για παράδειγμα στις Δρακόλιμνες του Σμόλικα και της Τύμφης και στις λίμνες της Φλέγγας.

Τέλος, στα ποτάμια και τα ρέματα του Εθνικού Πάρκου ζουν 17 είδη ψαριών, ενδεικτικά αναφέρονται ο πινδοβίνος (*Barbatuluslapindus*), ο σπάνιος για την Ελλάδα χειλά (*Pachychilonpictum*), και τα περισσότερο κοινά είδη, όπως είναι η πέστροφα (*Salmotrutta*) και ο κέφαλος των γλυκών νερών (*Leuciscuscephalus*). (Φορέας Διαχείρισης Εθνικού Πάρκου Βόρειας Πίνδου 2013β).

Όσον αφορά το υδροσύστημα, ο Βοϊδομάτης παρουσιάζει ξεχωριστό ενδιαφέρον. Ο Βοϊδομάτης και το γύρω οικοσύστημα βρίσκεται μέσα στον Εθνικό Δρυμό Βίκου-Αώου, αποτελώντας ένα από τα σημαντικότερα οικοσυστήματά του.

Στη χλωρίδα του Βοϊδομάτη συμπεριλαμβάνονται εκτεταμένα παρόχθια δάση με ιτιές, λεύκες, πλατάνια, σκλήθρα, πικροκαστανιές, αγριοφουντουκιές, κ.α., σπάνια φυτά, από τα οποία ξεχωρίζουν η ενδημική κενταύρια *Centaureapawlowskii*, η *Digitalislanata*, το *Bupleurumkarglii*, ο γάλανθος *Galanthusreginae-olgae* κ.ά. Ενώ, στον κατάλογο των ειδών που συνθέτουν την πανίδα του ποταμού, συμπεριλαμβάνονται οι νεροκότσυφες, οι γαλαζοπαπαδίτες, οι καλόγεροι και οι μπούφοι, σαλαμάνδρες, κιτρινομπομπίνες, κονάκια, οχιές και σαύρες της Ρούμελης, (Κουτσογιαννόπουλος, 2013).

Τέλος, αναφέρεται ότι η περιοχή στη συμβολή του Αώου με το Βοϊδομάτη στο λεκανοπέδιο της Κόνιτσας έχει μεγάλη οικολογική σημασία. Το παρόχθιο δάσος είναι απομεινάρι των εκτεταμένων παρόχθιων δασών που υπήρχαν στο παρελθόν στην περιοχή. Αποτελείται από Πλατάνους (*Platanusorientalis*), Λεύκες (*Populustremula*), Ιτιές (*Salixsp.*) και Σκλήθρα (*Alnusglutinosa*). Βρίσκεται σε άριστη οικολογική κατάσταση και φιλοξενεί σπάνια πουλιά αλλά και κάποια ενδημικά φυτά. Η περιοχή αυτή έχει προταθεί να χαρακτηριστεί ως περιοχή εξαιρετικής φυσικής ομορφιάς (Παπαϊωάννου κ.α., 2008).

3. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΔΡΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

3.1 Παροχές

Τα δεδομένα των παροχών λήφθηκαν από τη μελέτη «Υδρολογική Ανάλυση και Διερεύνηση του υδροσυστήματος Αώου – Βοϊδομάτη», που συγγράφηκε από τον Άρη Λεονταρίτη στα πλαίσια της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής εργασίας, τον Ιανουάριο του 2014.

Τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής αφορούν την επέκταση και τη συμπλήρωση των διαθέσιμων μετρήσεων σε όλες τις θέσεις μελέτης των δύο ποταμών για την περίοδο 1950-2012. Αποτέλεσμα είναι η δημιουργία μιας συμπαγούς ιστορικής χρονοσειράς μηνιαίων παροχών για μια συγκεκριμένη περίοδο (εν προκειμένω 1950-2012) στις διάφορες θέσεις των δύο ποταμών. Στις επόμενες παραγράφους περιγράφεται συνοπτικά ο τρόπος με τον οποίο δημιουργήθηκε η τελική πλήρης ιστορική χρονοσειρά των παροχών του ποταμού.

Τα υδρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, παραχωρήθηκαν δωρεάν από τη Δ.Ε.Η./ΔΥΗΠ κατόπιν συμφωνητικού. Ένα στοιχείο που καθορίζει τη μελέτη της λεκάνης απορροής του ποταμού Αώου είναι η κατασκευή του φράγματος του ταμιευτήρα Πηγών Αώου στα τέλη της δεκαετίας του 80. Η σήραγγα εκτροπής έκλεισε κατά το υδρολογικό έτος 1987-88, το οποίο για το λόγω αυτό δε συμπεριλαμβάνεται στις χρονοσειρές δεδομένων ως μεταβατικό έτος. Έτσι η μελέτη του υδροσυστήματος γίνεται σε δύο ξεχωριστές περιόδους πριν και μετά το κλείσιμο της σήραγγας εκτροπής του κυρίως φράγματος του ταμιευτήρα Πηγών Αώου: (Α) από το υδρολογικό έτος 1950-51 έως το 1986-87 και (Β) από το υδρολογικό έτος 1988-89 έως το 2011-2012. Επίσης ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του ταμιευτήρα αυτού είναι ότι δεν προβλέπεται οικολογική παροχή κατάντη του φράγματος στην παλαιά κοίτη του ποταμού Αώου. Επομένως η ποσότητα των υδάτων που δεσμεύεται στον ταμιευτήρα εκτρέπεται εξολοκλήρου μέσω του ΥΗΣ Πηγών Αώου στον ποταμό Μετσοβίτικο που ανήκει στη λεκάνη απορροής του Αράχθου. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των υδρομετρικών σταθμών της Δ.Ε.Η. πριν και μετά το φράγμα.

Πίνακας 3-1: Υδρομετρικοί σταθμοί και λεκάνες απορροής πριν (Α) και μετά (Β) την κατασκευή του φράγματος Πηγών Αώου (ΔΕΗ, 2013)

ΥΔΡΟΜΕΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ (Φορέας: Δ.Ε.Η./ΔΥΗΠ)			
Θέση	Λεκάνη Απορροής	Έκταση Λεκάνης Α (km²)	Έκταση Λεκάνης Β (km²)
Πηγές Αώου	Αώου	79,1	85,3
Βωβούσα	Αώου	202	116,7
Γεφ. Κόνιτσας	Αώου	665	579,7
Γεφ. Κλειδωνιάς	Βοϊδομάτη	332	332
Γέφ. Μπουραζανίου	Αώου -Βοϊδομάτη	1154,6	1069,3

Η βασική επεξεργασία των πρωτογενών υδρολογικών δεδομένων αφορούσε τον εντοπισμό των ακραίων τιμών (outliers). Διαθέτοντας δεδομένα σε διαφορετικούς σταθμούς για την ίδια περίοδο, ήταν σχετικά απλό να εντοπιστούν οι τιμές που οφείλονται σε σφάλματα. Στη συνέχεια έγινε αντικατάστασή τους με γραμμική παρεμβολή, χρησιμοποιώντας τις αντίστοιχες τιμές της παροχής σε γειτονικούς σταθμούς. Μετά από αυτή τη διαδικασία διερευνήθηκε η συσχέτιση μεταξύ των διαφόρων χρονοσειρών και η δυνατότητα συμπλήρωσης/επέκτασης αυτών χρησιμοποιώντας τα δεδομένα γειτονικών σταθμών με τη μέθοδο της απλής γραμμικής παλινδρόμησης (linear regression). Η διαδικασία αυτή, όπως αναλύθηκε λεπτομερώς, διαφοροποιείται για τις δύο περιόδους Α και Β, πριν και μετά την κατασκευή του φράγματος. Όπου δεν ήταν δυνατή η εφαρμογή της μεθόδου της γραμμικής παλινδρόμησης λόγω χαμηλής συσχέτισης, ακολουθήθηκε η κατά περίπτωση καταλληλότερη μέθοδος για την συμπλήρωση των δεδομένων (λόγος επιφάνειας λεκανών απορροής, μέσος λόγος μηνιαίων παροχών, γραμμική παλινδρόμηση με δεδομένα βροχοπτώσεων).

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3.2) παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα των μέσων μηνιαίων παροχών για όλες τις θέσεις. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η ανάλυση χωρίζεται σε δύο ξεχωριστές περιόδους πριν και μετά το κλείσιμο της σήραγγας εκτροπής του κυρίως φράγματος του ταμιευτήρα Πηγών Αώου: (Α) από το υδρολογικό έτος 1950-51 έως το 1986-87 και (Β) από το υδρολογικό έτος 1988-89 έως το 2011-2012. Επίσης παρατίθενται και οι φυσικοποιημένες παροχές στις θέσεις "Γεφύρι Κόνιτσας" και "Γέφυρα Μπουραζανίου" για την περίοδο Β (Βφ*). Υπενθυμίζεται ότι ως φυσικοποιημένη παροχή ορίζεται η υποθετική φυσική ροή του ποταμού χωρίς την επίδραση των τεχνικών έργων που στην προκειμένη περίπτωση είναι το φράγμα πηγών Αώου. Στη συνέχεια, η πραγματική παροχή για τους εν λόγω σταθμούς υπολογίζεται

αφαιρώντας από κάθε τιμή της φυσικοποιημένης παροχής την αντίστοιχη παροχή που παρακρατείται στον ταμιευτήρα πηγών Αώου (παροχή Q σε m³/s).

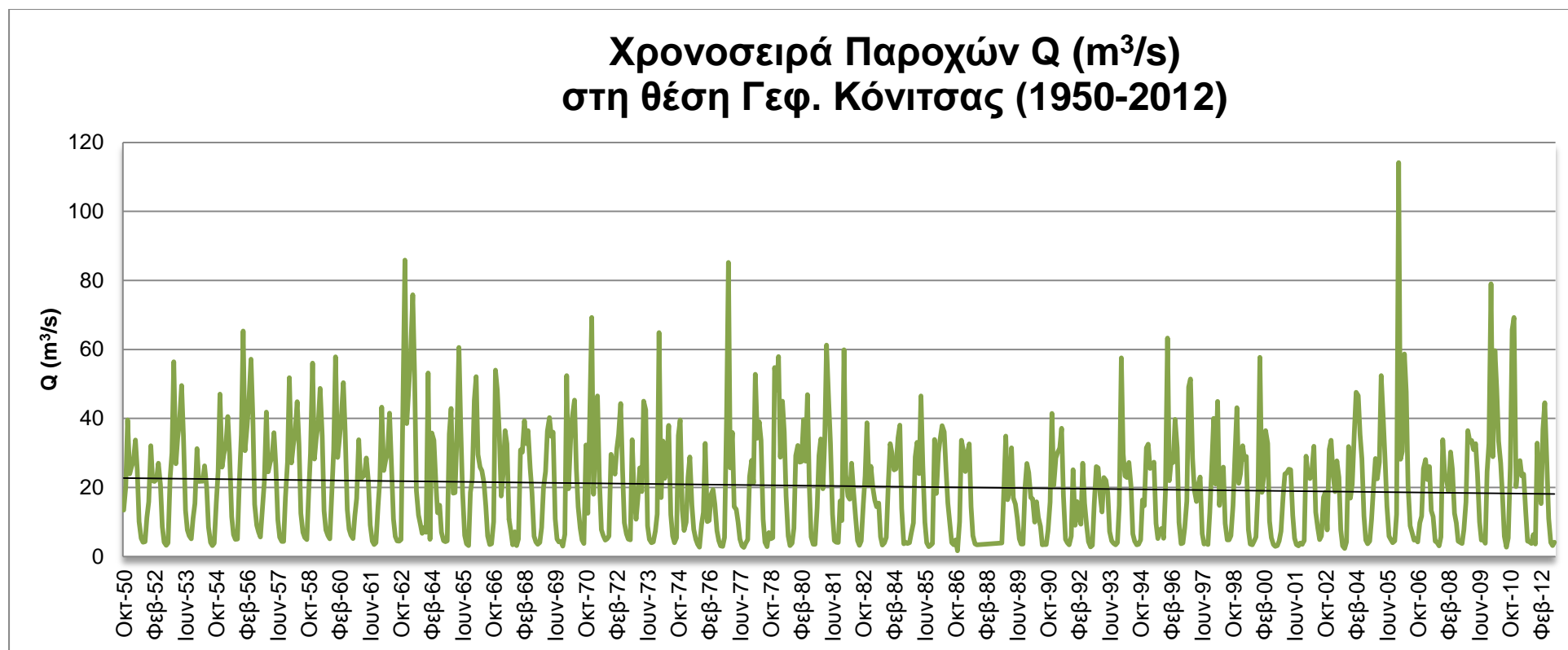
Πίνακας 3-2 Μέσες μηνιαίες παροχές πριν (Α) και μετά (Β) την κατασκευή του φράγματος Πηγών Αώου

Χρ.	Π. Αώου		Βωβ.			Γεφ. Κον.			Γεφ. Κλειδ.		Γεφ. Μπουρ.		
	A	B	A	Bφ*	B	A	Bφ*	B	A	B	A	Bφ*	B
ΟΚΤ	1,83	2,15	4,77	4,91	2,75	12,89	13,13	11,00	8,27	8,38	22,80	27,08	24,95
ΝΟΕ	3,96	4,96	10,78	11,84	6,88	22,45	26,46	21,50	13,15	15,20	53,00	53,08	48,12
ΔΕΚ	5,78	6,93	15,54	17,17	10,24	40,69	46,78	39,85	20,08	21,91	64,26	74,97	68,05
ΙΑΝ	4,88	4,24	12,21	10,22	5,98	31,27	28,33	24,08	21,29	20,19	64,48	58,11	53,87
ΦΕΒ	5,01	4,54	12,44	10,77	6,23	35,66	31,29	26,75	22,90	21,20	60,58	54,50	49,96
ΜΑΡ	5,32	6,06	13,63	13,71	7,65	34,98	35,30	29,24	20,68	20,84	68,55	63,78	57,72
ΑΠΡ	7,52	6,54	19,44	16,38	9,83	42,01	35,98	29,44	19,77	17,64	72,43	61,08	54,54
ΜΑΪΟΣ	5,27	3,03	13,50	9,48	6,44	33,31	24,59	21,56	19,82	16,60	59,25	44,21	41,17
ΙΟΥΝ	1,51	0,83	3,84	2,78	1,95	13,74	10,76	9,93	15,40	11,52	30,71	25,81	24,98
ΙΟΥΛ	0,52	0,39	1,43	1,17	0,79	5,95	4,88	4,49	9,01	7,03	18,54	15,66	15,28
ΑΥΓ	0,32	0,34	0,92	0,94	0,60	4,07	4,33	3,99	6,19	6,25	13,52	14,31	13,97
ΣΕΠ	0,43	0,70	1,20	1,67	0,97	4,49	5,56	4,86	5,58	6,62	12,38	14,16	13,46
ΕΤΟΣ	3,52	3,39	9,12	8,41	5,02	23,39	22,24	18,85	15,13	14,41	44,95	42,17	38,78

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η αναλυτική ιστορική χρονοσειρά των παροχών στη θέση Γεφύρι Κόνιτσας που προέκυψε από την παραπάνω ανάλυση για το διάστημα 1950 – 2012. Οι τιμές της χρονοσειράς όπως φαίνεται από τις παραπάνω μέσες τιμές, είναι οι φυσικοποιημένες παροχές, δηλαδή η υποθετική φυσική ροή του ποταμού χωρίς την επίδραση των τεχνικών έργων που στην προκειμένη περίπτωση είναι το φράγμα πηγών Αώου. Για τους υπολογισμούς της εργασίας, για να προκύψει η πραγματική παροχή για το σταθμό «γεφύρι Κόνιτσας», ο οποίος επηρεάζεται από το φράγμα των Πηγών Αώου, αφαιρέθηκε από κάθε τιμή η αντίστοιχη παροχή που παρακρατείται στον ταμιευτήρα.

Έτσι, προέκυψαν οι πραγματικές παροχές του ποταμού στην υπό μελέτη θέση και παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα. (Σχήμα 3.1). Παρατηρείται στο διάγραμμα μία μικρή μειωτική τάση των παροχών, όπως φαίνεται και από τη μορφή της γραμμής τάσης του διαγράμματος.

Η ιστορική αυτή χρονοσειρά θα χρησιμοποιηθεί ως περίοδος αναφοράς για την παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών μήκους 35, 55 και 85 ετών, ώστε να εκτιμηθεί η ζητούμενη μελλοντική διακινδύνευση για τις τρεις περιόδους μελέτης, αντίστοιχα (α) 2015-2050, (β) 2015-2070 και (γ) 2015-2100. Η διαδικασία και τα αποτελέσματα της παραγωγής των συνθετικών χρονοσειρών αναλύονται σε επόμενα κεφάλαια.



Σχήμα 3-1: Ιστορική Χρονοσειρά παροχών Q (m³/s) στη θέση Γεφύρι Κόνιτσας, έτη 1950 – 2012

Πίνακας 3-3: Μέσες μηνιαίες τιμές και τυπικές αποκλίσεις του ιστορικού δείγματος των παροχών Q (m³/s) στη θέση Γεφύρι Κόνιτσας, έτη 1950 – 2012

	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪΟΣ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
μ	11,8	22,0	40,8	25,6	28,8	30,5	34,4	26,0	11,4	5,4	4,2	4,6
σ_v	8,3	13,0	20,9	9,8	10,6	11,4	11,8	9,5	3,7	1,7	1,3	2,0

3.2 Θερμοκρασίες

Τα δεδομένα για τις θερμοκρασίες παραχωρήθηκαν από την ΕΜΥ δωρεάν, κατόπιν συμφωνητικού και αφορούν στο μετεωρολογικό σταθμό Κόνιτσας, για τα έτη 1987 – 2004. Τα χαρακτηριστικά του σταθμού φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3-4: Χαρακτηριστικά σταθμού Κόνιτσας (ΕΜΥ, 2015)

Σταθμός	λ (°)	φ (°)	Υψόμετρο (m)
Κόνιτσα	20,74	40,05	465

Οι ελλείψεις στη χρονοσειρά των θερμοκρασιών ήταν πολύ μικρές. Εφόσον οι ελλείψεις ανά μήνα δεν υπέρβαιναν το 10%, οι θερμοκρασίες των εκάστοτε μηνών συμπληρώθηκαν με το μέσο όρο του ίδιου μήνα των υπόλοιπων ετών.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες για τα έτη 1987-2004.

Πίνακας 3-5: Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες, στο σταθμό Κόνιτσα, για το διάστημα 1987 – 2004 (ΕΜΥ, 2015)

ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΑΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ (°C) ΣΤΟ ΣΤΑΘΜΟ ΚΟΝΙΤΣΑ (1987-2004)

ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪΟΣ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
15,87	10,31	6,37	5,60	6,63	9,40	12,75	18,52	23,33	25,62	24,86	19,92

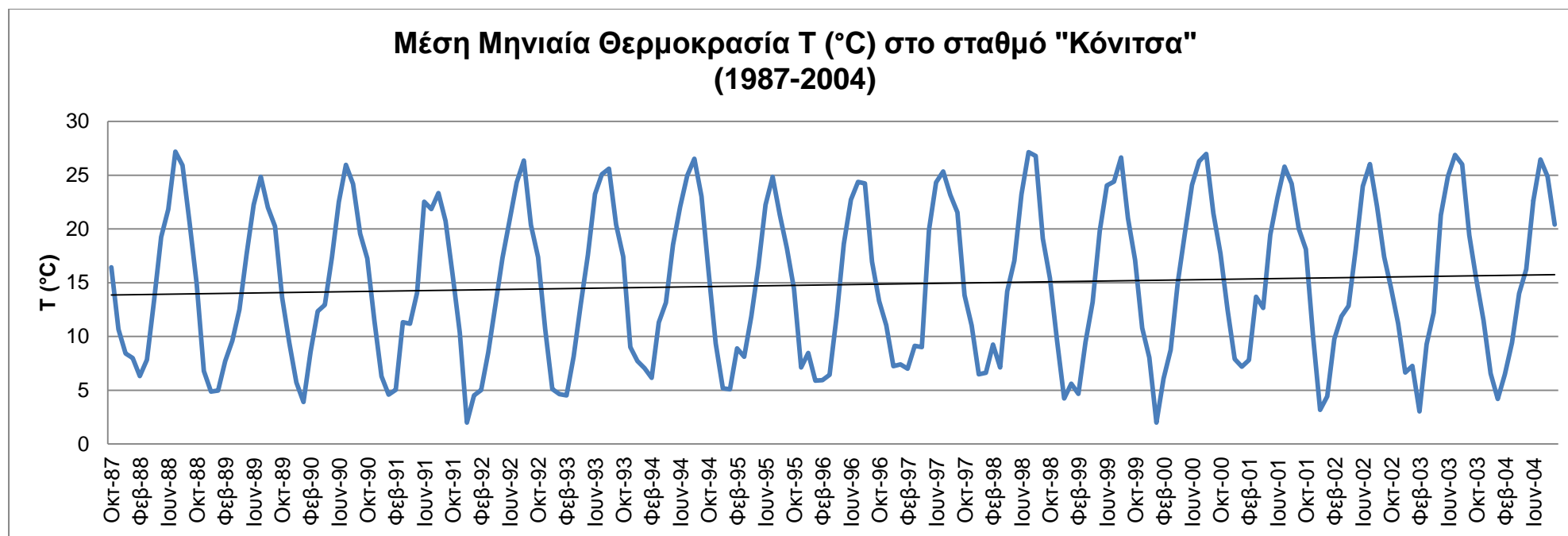
Από τη χρονοσειρά των θερμοκρασιών για το διάστημα των 17 ετών παρατηρείται ότι η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 14,6 °C.

Οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές θερμοκρασίας αέρος είναι:

- Απόλυτη ελάχιστη -7,5 °C, μέση ελάχιστη 8,4°C
- Μέση μέγιστη 20,1°C, απόλυτα μέγιστη 38,0 °C
- Μέγιστο εύρος 45,5 °C

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 3.2) παρουσιάζονται όλες οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη. Από τη μορφή του διαγράμματος και όπως μαρτυρεί και η γραμμή τάσης, φαίνεται να υπάρχει μια πολύ μικρή τάση αύξησης της θερμοκρασίας.

Η ιστορική αυτή χρονοσειρά θα χρησιμοποιηθεί ως περίοδος αναφοράς για την παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών μήκους 35, 55 και 85 ετών, ώστε να εκτιμηθεί η ζητούμενη μελλοντική διακινδύνευση για τις τρεις περιόδους μελέτης, αντίστοιχα (α) 2015-2050, (β) 2015-2070 και (γ) 2015-2100. Η διαδικασία και τα αποτελέσματα της παραγωγής των συνθετικών χρονοσειρών αναλύονται σε επόμενα κεφάλαια.



Σχήμα 3-2: Διάγραμμα μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών T (°C), στο σταθμό «Κόνιτσα», για το διάστημα 1987-2004 (EMY, 2015)

Πίνακας 3-6: Μέσες μηνιαίες τιμές και τυπικές αποκλίσεις του ιστορικού δείγματος των θερμοκρασιών T (°C), στο σταθμό «Κόνιτσα», έτη 1987 – 2004

	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪΟΣ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
μ	15,79	10,16	6,12	5,49	6,60	9,55	12,70	18,14	22,96	25,40	24,72	20,02
σ_v	1,55	1,50	1,85	1,59	1,87	1,96	1,32	1,71	1,05	1,32	1,84	1,51

3.3 Βροχοπτώσεις

Τα δεδομένα για τις βροχοπτώσεις παραχωρήθηκαν από την ΕΜΥ δωρεάν, κατόπιν συμφωνητικού και αφορούν στο μετεωρολογικό σταθμό Κόνιτσας, για τα έτη 1975 – 2012. Τα χαρακτηριστικά του σταθμού φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα 3.7:

Πίνακας 3-7: Χαρακτηριστικά σταθμού Κόνιτσας, (ΕΜΥ, 2015)

Σταθμός	λ (°)	φ (°)	Υψόμετρο (m)
Κόνιτσα	20,74	40,05	465

3.3.1 Συμπλήρωση δεδομένων βροχοπτώσεων

Ένα ζήτημα που προέκυψε είναι ότι δεν υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα για όλες τις χρονικές περιόδους στο σταθμό της Κόνιτσας. Ο Πίνακας 3.8 παρουσιάζει τα διαθέσιμα υδρολογικά δεδομένα. Πριν την ανάπτυξη και την εφαρμογή του μοντέλου της εργασίας είναι απαραίτητη η συμπλήρωση των χρονοσειρών αυτών έτσι ώστε να υπάρχει τιμή για τη βροχόπτωση σε κάθε μήνα για όλα τα υδρολογικά έτη. Για να γίνει αυτό χρησιμοποιούνται οι πληροφορίες από μια θέση ή περισσότερες και υπολογίζεται η τιμή της βροχόπτωσης για μια άλλη, εφόσον αυτές είναι μεταξύ τους συσχετισμένες. Αυτό που είναι σημαντικό είναι ότι υπάρχουν δεδομένα για τις βροχοπτώσεις στο σταθμό Βωβούσα, για τις περισσότερες από τις χρονικές περιόδους που λείπουν από τα δεδομένα του σταθμού της Κόνιτσας. Η μέθοδος που ακολουθήθηκε για τη συμπλήρωση των χρονοσειρών παρουσιάζεται λεπτομερώς παρακάτω.

Πίνακας 3-8: Διαθέσιμα δεδομένα βροχοπτώσεων στο σταθμό της Κόνιτσας (ΕΜΥ, 2015)

ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΟ ΣΤΑΘΜΟ ΚΟΝΙΤΣΑ												
ΕΤΟΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪΟΣ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕΜ	ΔΕΚ
1975	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
1976	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
1977	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
1978	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
1979	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
1980	•	•	•	•	•	•	•	•	X	X	•	•
1981	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	X	X
1982	•	•	•	•	•	•	•	•	•	X	X	X
1983	X	X	X	X	X	X	•	X	X	X	X	X
1984	X	X	X	X	X	X	•	X	X	X	X	X
1985	X	X	X	X	X	X	•	X	X	X	X	X
1986	X	X	X	X	X	X	•	X	X	X	X	X
1987	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1988	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1989	X	X	X	X	X	X	X	X	•	•	•	X
1990	•	•	•	•	•	•	•	X	•	•	•	X
1991	•	•	•	•	•	•	X	•	•	•	•	X
1992	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
1993	•	•	•	•	•	•	X	•	•	•	•	•

Ανάλυση διακινδύνευσης κάλυψης των αρδευτικών αναγκών στην περιοχή της Κόνιτσας κάτω από μεταβαλλόμενες συνθήκες

1994	•	•	•	•	•	•	X	X	•	•	•	•
1995	•	•	•	•	•	•	•	X	•	X	•	•
1996	•	•	•	•	•	•	•	X	•	•	•	•
1997	•	•	•	•	•	•	X	•	X	•	•	•
1998	•	•	•	•	•	•	X	•	•	•	•	•
1999	•	•	•	•	•	•	X	•	•	•	•	•
2000	•	•	•	•	•	•	X	X	X	•	•	•
2001	•	•	•	•	•	•	•	X	•	•	•	•
2002	•	•	•	•	•	•	X	X	•	•	•	•
2003	•	•	•	•	•	•	•	X	•	•	•	•
2004	•	•	•	•	•	•	X	•	•	•	•	•
2005	•	•	•	•	•	•	•	X	•	•	•	•
2006	•	•	•	•	•	•	•	X	•	X	•	•
2007	•	•	•	•	•	•	•	X	•	•	•	•
2008	•	•	•	•	•	•	•	X	•	•	•	•
2009	•	•	•	•	•	•	•	X	•	•	•	•
2010	•	•	•	•	•	•	•	X	•	•	•	•
2011	•	•	•	•	•	•	X	•	•	•	•	•
2012	•	•	•	•	X	X	•	•	•	•	•	•

Παρατηρείται ότι οι περισσότερες ελλείψεις δεδομένων εντοπίζονται τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, γεγονός που σύμφωνα με την ΕΜΥ οφείλεται σε βλάβες του σταθμού. Στον παρακάτω Πίνακα 3.9 παρουσιάζονται τα διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα στο σταθμό της Βωβούσας.

Πίνακας 3-9: Διαθέσιμα δεδομένα βροχοπτώσεων στο σταθμό Βωβούσα (ΕΜΥ, 2014)

ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΟ ΣΤΑΘΜΟ ΒΩΒΟΥΣΑ													
ΕΤΟΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪΟΣ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕΜ	ΔΕΚ	
1968	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
1969	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
1970	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
1971	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
1972	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
1973	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
1974	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
1975	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
1976	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
1977	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
1978	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
1979	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
1980	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
1981	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
1982	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
1983	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
1984	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
1985	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
1986	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
1987	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
1988	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
1989	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
1990	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
1991	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	

1992	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
1993	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
1994	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Η βασική επεξεργασία των διαθέσιμων δεδομένων προϋποθέτει τον εντοπισμό των ακραίων τιμών (outliers). Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην ερμηνεία τέτοιων παρατηρήσεων, πράγμα που απαιτεί εξίσου θεωρητική γνώση, κριτική ικανότητα και κοινή λογική.

Διαθέτοντας δεδομένα σε διαφορετικούς σταθμούς για την ίδια περίοδο, είναι σχετικά απλό να εντοπιστούν οι τιμές που οφείλονται σε σφάλματα. Στη συνέχεια μπορεί να γίνει αντικατάστασή τους με γραμμική παρεμβολή, χρησιμοποιώντας τις αντίστοιχες τιμές των βροχοπτώσεων σε γειτονικούς σταθμούς. Μετά από αυτή τη διαδικασία διερευνάται η συσχέτιση μεταξύ των διαφόρων χρονοσειρών και η δυνατότητα συμπλήρωσης/επέκτασης αυτών χρησιμοποιώντας τα δεδομένα γειτονικών σταθμών με τη μέθοδο της απλής γραμμικής παλινδρόμησης (linear regression), η οποία αναλύεται στη συνέχεια. Όπου δεν ήταν δυνατή η εφαρμογή της μεθόδου της γραμμικής παλινδρόμησης λόγω χαμηλής συσχέτισης, επεξηγείται η κατά περίπτωση ακολουθούμενη μέθοδος για την συμπλήρωση των δεδομένων.

3.3.2 Συσχέτιση και απλή γραμμική παλινδρόμηση

Η συμπλήρωση των υδρολογικών δεδομένων με βάση τη γραμμική συσχέτιση των παρατηρήσεων του προς συμπλήρωση σταθμού με άλλο γειτονικό σταθμό βάσης, μπορεί να γίνει μόνο εφόσον ο βαθμός γραμμικής συσχέτισης είναι υψηλός (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2001).

Συσχέτιση σημαίνει να προσδιοριστεί η σχέση μεταξύ δύο ή περισσότερων τυχαίων μεταβλητών. Για παράδειγμα, αν X και Y είναι οι τυχαίες μεταβλητές που συμβολίζουν την παροχή σε δύο γειτονικούς μετρητικούς σταθμούς, τότε οι μεταβλητές συνδέονται με τη σχέση: $Y = f(x)$

Η συσχέτιση των μεταβλητών συνίσταται στον προσδιορισμό της σχέσης f . Παλινδρόμηση λέγεται κάθε συσχέτιση που στηρίζεται στη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, πρακτικά δηλαδή ταυτίζεται με τη συσχέτιση, αφού η μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων χρησιμοποιείται σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις. Η πιο συνηθισμένη είναι η γραμμική παλινδρόμηση, στην οποία η συνάρτηση f είναι γραμμική.

Για να πραγματοποιηθεί η παλινδρόμηση, πρέπει το σύνολο των χρονοσειρών που θα χρησιμοποιηθούν, ανεξάρτητη και εξαρτημένη, να έχουν κοινή περίοδο

μετρήσεων, δηλαδή σύνολο χρονικών στιγμών για τις οποίες υπάρχουν τιμές σε όλες τις χρονοσειρές (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2001).

Από τις μεθόδους αυτής της κατηγορίας θα περιγραφεί η απλούστερη μέθοδος της απλής γραμμικής παλινδρόμησης. Σύμφωνα με αυτή, η προς συμπλήρωση τιμή y εκτιμάται από την αντίστοιχη τιμή x του γειτονικού σταθμού X (για την περίοδο όπου σημειώνεται η έλλειψη στο σταθμό Y) με βάση τη γραμμική σχέση:

$$y = \alpha x + b$$

όπου α και b παράμετροι που εκτιμώνται με τρόπο ώστε να ελαχιστοποιηθεί το τετραγωνικό σφάλμα της εκτίμησης. Αν x και y , είναι ταυτόχρονες μετρήσεις στους σταθμούς X και Y αντίστοιχα, τη χρονική περίοδο (κατά κανόνα έτος ή δεδομένο μήνα του έτους) με αριθμό i , τότε:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

Όπου \bar{x} και \bar{y} οι μέσες τιμές των x και y , αντίστοιχα, δηλαδή:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

και n το (κοινό για τα x και y) μήκος του δείγματος.

Ο βαθμός καταλληλότητας της μεθόδου για τα συγκεκριμένα δεδομένα αποδίδεται από την εκτίμηση του συντελεστή συσχέτισης r :

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \times \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Όσο πλησιέστερα βρίσκεται ο συντελεστής συσχέτισης στη μονάδα, τόσο πιο κατάλληλη είναι η μέθοδος. Συνήθως, για την εφαρμογή της μεθόδου της γραμμικής παλινδρόμησης απαιτείται:

$$r \geq \frac{2}{\sqrt{n}}$$

Απλοποιητικά, απαιτείται $r > 0.7$ (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2001).

Στη συνέχεια, υπολογίζεται ο συντελεστής συσχέτισης των παραπάνω χρονοσειρών βροχοπτώσεων ανά μήνα. Εάν ο συντελεστής αυτός έχει τιμή μεγαλύτερη από 0,7, τότε μπορεί να κατασκευαστεί ένα απλό μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης της μορφής $Y = \alpha \cdot X + \beta$ και να υπολογιστεί η εξίσωση της αντίστοιχης ευθείας (π.χ. μεταξύ

σταθμού X και Y) με τη μέθοδο που περιγράφηκε παραπάνω. Έτσι για τις χρονικές περιόδους που υπάρχουν δεδομένα για τον X και όχι για τον Y ή το αντίστροφο, αυτά μπορούν να υπολογιστούν μέσω της εξίσωσης και να συμπληρωθούν έτσι οι αντίστοιχες χρονοσειρές σε μηνιαία βάση. Ο Πίνακας 3.10 παρουσιάζει τα αποτελέσματα των υπολογισμών του συντελεστή συσχέτισης ανά μήνα μεταξύ των δύο σταθμών.

Πίνακας 3-10: Συντελεστές συσχέτισης δεδομένων βροχοπτώσεων μεταξύ των σταθμών Κόνιτσας – Βωβούσας

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ (1975-1994), ΚΟΝΙΤΣΑ - ΒΩΒΟΥΣΑ

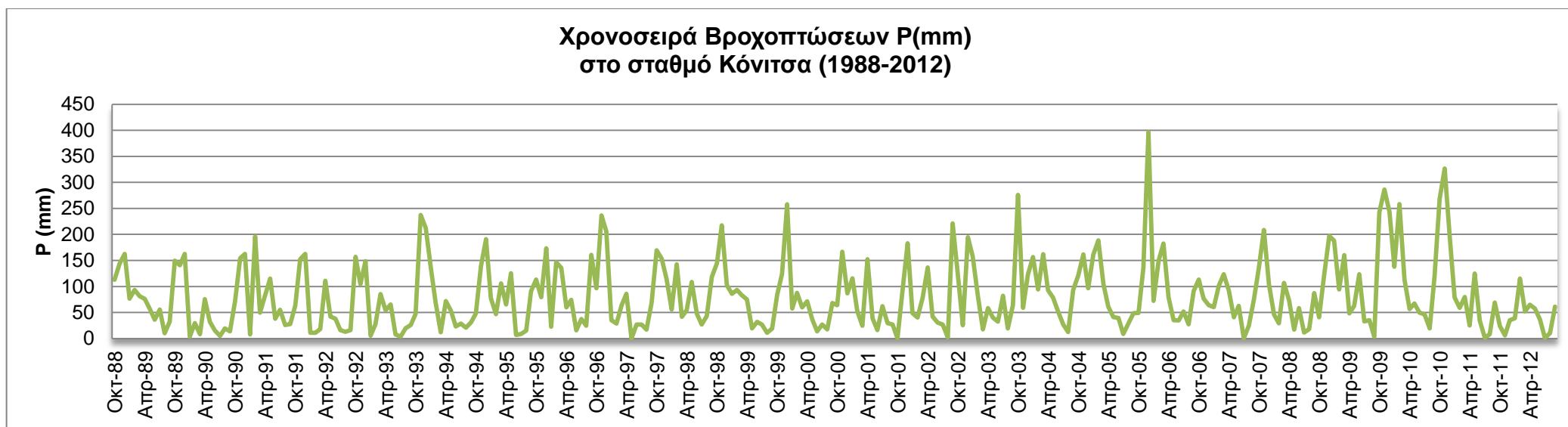
ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪΟΣ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕΜ	ΔΕΚ
0,931	0,809	0,708	0,858	0,747	0,690	0,925	0,835	0,922	0,957	0,859	0,888

Εφόσον όπως παρατηρείται από τον παραπάνω πίνακα, όλοι οι συντελεστές συσχέτισης είναι ικανοποιητικοί και οριακά ίσοι ή μεγαλύτεροι από την οριακή τιμή 0,7, συμπληρώθηκαν τα κενά κελιά των βροχοπτώσεων για την περιοχή της Κόνιτσας, αφού διαμορφώθηκαν οι αντίστοιχες εξισώσεις της μορφής:

$$y = ax + b$$

Όπου δεν επιτρεπόταν να εφαρμοστεί η παραπάνω μέθοδος, λόγω της απουσίας δεδομένων στο σταθμό της Βωβούσας και εφόσον τα κενά δεν ξεπερνούσαν το 10% ανά μήνα, τότε συμπληρώθηκαν με το μέσο όρο των μηνιαίων τιμών των υπόλοιπων ετών.

Τελικά, η χρονοσειρά των βροχοπτώσεων που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα και διάγραμμα.



Σχήμα 3-3: Διάγραμμα μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων P (mm), στο σταθμό «Κόνιτσα», για το διάστημα 1988-2012 (EMY, 2015)

Πίνακας 3-11: Μέσες μηνιαίες τιμές και τυπικές αποκλίσεις του ιστορικού δείγματος των βροχοπτώσεων P (mm), στο σταθμό «Κόνιτσα», έτη 1988 – 2012

	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪΟΣ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
μ	115,54	149,58	161,22	76,50	93,17	81,20	76,06	57,30	36,22	26,74	19,73	67,97
σ_v	72,18	75,60	76,07	53,87	60,56	48,40	26,74	32,69	23,41	22,24	9,02	49,87

Η ιστορική αυτή χρονοσειρά θα χρησιμοποιηθεί ως περίοδος αναφοράς για την παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών μήκους 35, 55 και 85 ετών, ώστε να εκτιμηθεί η ζητούμενη μελλοντική διακινδύνευση για τις τρεις περιόδους μελέτης, αντίστοιχα (α) 2015-2050, (β) 2015-2070 και (γ) 2015-2100. Η διαδικασία και τα αποτελέσματα της παραγωγής των συνθετικών χρονοσειρών αναλύονται σε επόμενα κεφάλαια.

3.4 Αρδευτικές Ανάγκες Κόνιτσας

Με στόχο να υπολογιστεί η διακινδύνευση μη επάρκειας των υδάτων για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών του κάμπου της Κόνιτσας, είναι απαραίτητο να υπολογιστούν οι αρδευτικές ανάγκες του εν λόγω κάμπου. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, στο υδροσύστημα της ευρύτερης περιοχής μελέτης περιλαμβάνονται περίπου 16.000 στρέμματα αρδευόμενων καλλιεργειών, τα οποία βρίσκονται στο λεκανοπέδιο της Κόνιτσας. Οι καλλιέργειες αυτές χωρίζονται από τον ποταμό Αώο στο σύστημα της δεξιάς όχθης (Κάμπος Κόνιτσας) και στο σύστημα της αριστερής όχθης (Κάμπος Κλειδωνιάς), έκτασης 11.500 και 4.500 στρεμμάτων που αρδεύονται από τον Αώο και το Βοϊδομάτη (Σχήμα 3.4) αντίστοιχα.

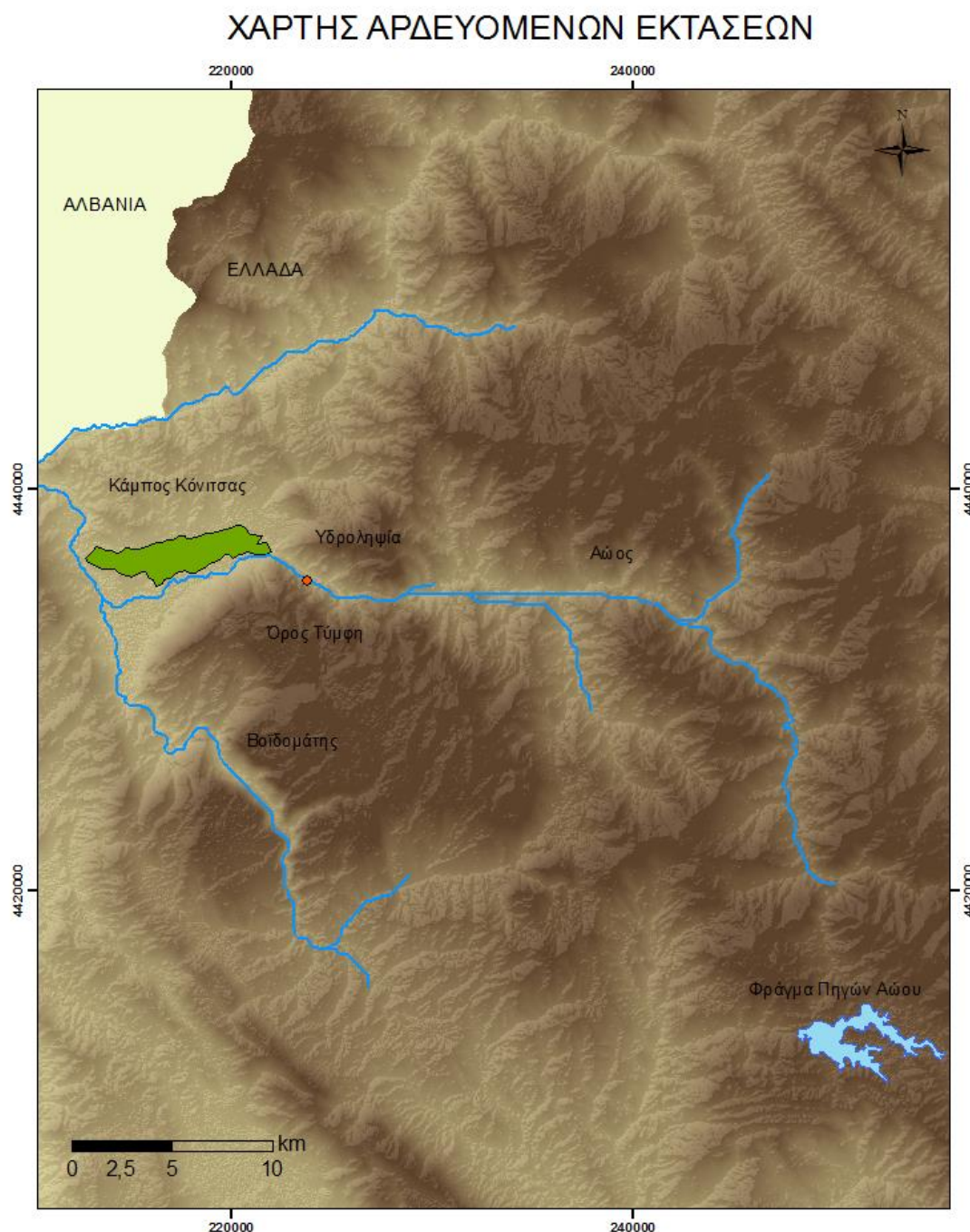


Σχήμα 3-4: Αρδευόμενες εκτάσεις από το υδροσύστημα Αώου - Βοϊδομάτη

Για την κάλυψη των αρδευτικών αυτών αναγκών, γίνεται υδροληψία τόσο από τον ποταμό Αώο όσο και από τον ποταμό Βοϊδομάτη σε θέσεις ανάντη των σταθμών "Γεφύρι Κόνιτσας" και "Γεφύρι Κλειδωνιάς". Στη συνέχεια το νερό μεταφέρεται και διανέμεται στις καλλιέργειες με ανοιχτά αρδευτικά κανάλια φυσικής ροής. Η απόληψη νερού γίνεται μόνο κατά την αρδευτική περίοδο (Μάιος - Σεπτέμβριος). Καθώς όμως δεν υπάρχουν διαθέσιμα ποσοτικά δεδομένα για τα αρδευτικά αυτά έργα, είναι απαραίτητο να καθοριστούν οι αρδευτικές ανάγκες του συστήματος του Αώου, το οποίο μελετάται εκτενώς στην παρούσα εργασία.

Η μελέτη εστιάζει στην άρδευση του ενός από τους δύο κάμπους, στον κάμπο Κόνιτσας, καθώς οι αρδευτικές του ανάγκες είναι μεγαλύτερες και εμφανίζει

μεγαλύτερο ενδιαφέρον, ενώ οι ανάγκες του Κάμπου Κλειδωνιάς είναι σημαντικά μικρότερες από τη διαθέσιμη παροχή του ποταμού (Λεονταρίτης, 2014). Στο Σχήμα 3.5 φαίνεται η υπό μελέτη καλλιεργούμενη έκταση του κάμπου της Κόνιτσας. Η έκταση της λεκάνης απορροής του ποταμού που συνεισφέρει στην άρδευση του Κάμπου ανέρχεται σε 579km².



Σχήμα 3-5: Χάρτης των υπό μελέτη αρδευόμενων εκτάσεων

Οι αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργούμενων εκτάσεων ισούνται με την εξαμυσοδιαπνοή των καλλιεργειών κατά την αρδευτική περίοδο, που όπως

αναφέρθηκε παραπάνω (Κεφ. 2.3.1) είναι η περίοδος Μάιος – Σεπτέμβριος. Η μέθοδος που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών είναι η μέθοδος Blaney-Criddle. Η μέθοδος, οι παράμετροι που χρησιμοποιεί καθώς και οι αναλυτικοί πίνακες των υπολογισμών αναλύονται σε επόμενο κεφάλαιο.

Στο κεφάλαιο αυτό, σκοπός είναι να παρατεθούν όλα τα δεδομένα που είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό των αρδευτικών αναγκών που θα γίνει παρακάτω και είναι διαθέσιμα από τη βιβλιογραφία. Καθώς η μέθοδος Blaney-Criddle χρησιμοποιεί αποκλειστικά και μόνη παράμετρο τη θερμοκρασία της περιοχής, η οποία έχει υπολογιστεί παραπάνω, τα στοιχεία που αναζητούνται είναι η κατανομή των εκτάσεων και το είδος των καλλιεργειών. Το μεγαλύτερο μέρος των στοιχείων που λήφθηκαν υπόψη εδώ, προέρχονται από τη μελέτη «Αλλαγή του τρόπου άρδευσης του κάμπου της Κόνιτσας», που εκπονήθηκε για λογαριασμό της Περιφέρειας Ηπείρου, από τη Διεύθυνση Τεχνικών Έργων στα Ιωάννινα, τον Ιούνιο του 2008.

3.4.1 Κατανομή εκτάσεων

Το σύνολο της έκτασης του κάμπου έχει συνολική επιφάνεια 14.159 στρέμματα. Σε αυτήν την έκταση συμπεριλαμβάνονται οι αρδευόμενες καλλιέργειες, οι ξηρικές, οι αγραναπαύσεις και τα τεχνικά έργα (δρόμοι, κανάλια κ.ά.) με την αντίστοιχη κατανομή, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

ΕΚΤΑΣΕΙΣ	ΣΤΡΕΜΜΑΤΑ	%
ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΕΣ	11.493	81
ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ	1.666	12
ΣΥΝΟΛΟ ΑΝΑΔΑΣΜΟΥ	13.159	93
ΞΗΡΙΚΕΣ	1.000	7
ΣΥΝΟΛΟ	14.159	100

Αφαιρώντας την έκταση που καταλαμβάνουν τα τεχνικά έργα προκύπτει η ακόλουθη κατανομή εκτάσεων στην οποία στηρίζεται η γεωργοοικονομική ανάλυση.

Πίνακας 3-12: Κατανομή των καλλιεργούμενων εκτάσεων σε αρδευόμενες και ξηρικές (Περιφέρεια Ηπείρου, 2008)

ΕΚΤΑΣΕΙΣ	ΣΤΡΕΜΜΑΤΑ	%
ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΕΣ	11.494	92
ΞΗΡΙΚΕΣ	1.000	8
ΣΥΝΟΛΟ	12.494	100

Στην έκταση των αρδευόμενων εκτάσεων ένα ποσοστό καταλαμβάνουν και οι εκτάσεις των αγραναπαύσεων οι οποίες μαζί με τις καλλιεργούμενες ελήφθησαν από την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία, υπολογιζόμενες ως μέσος όρος της τελευταίας

πενταετίας. Στον επόμενο πίνακα δίνεται η συνολική κατανομή των εκτάσεων σε όλο τον κάμφο.

Πίνακας 3-13: Κατανομή εκτάσεων του κάμπου Κόνιτσας (Περιφέρεια Ηπείρου, 2008)

ΕΚΤΑΣΕΙΣ	ΣΤΡΕΜΜΑΤΑ	%
ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΕΣ		
ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	10.300	73
ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΕΙΣ	1.194	8
ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ	1.666	12
ΣΥΝΟΛΟ ΑΝΑΔΑΣΜΟΥ	13.159	93
ΞΗΡΙΚΕΣ	1.000	7
ΣΥΝΟΛΟ	14.159	100

3.4.2 Είδη και κατανομή καλλιεργειών

Από τον πίνακα 3.14 φαίνεται ότι στην έκταση των 14.159 στρ. οι αρδευόμενες εκτάσεις καταλαμβάνουν το 73% του συνόλου ενώ οι ξηρικές και οι αγραναπαύσεις το 7% και 8% αντίστοιχα. Στην περιοχή του αναδασμού αποτελούμενη από 11.494 στρ. (χωρίς τα τεχνικά έργα) καταλαμβάνουν το 90%. Είναι φανερό η σημασία που έχουν οι αρδευόμενες εκτάσεις τόσο για την έκταση που καλύπτουν όσο και για τα είδη που καλλιεργούνται. Από τις αρδευόμενες εκτάσεις την πρώτη θέση κατέχει το καλαμπόκι και ακολουθεί η μηδική ενώ τα κηπευτικά, οι πατάτες και κάποιοι οπωρώνες συμμετέχουν με ένα μικρό ποσοστό. Οι ξηρικές καλλιέργειες βρίσκονται στην περίμετρο του έργου (εκτός αναδασμού) και απαρτίζονται κυρίως από σίτο (μαλακό), κριθάρι, κοφτολίβαδα και βίκο (για σανό). Αναλυτική κατανομή των καλλιεργειών ανά είδος καλλιέργειας, δίνεται στον πίνακα 3.15

Πίνακας 3-14: Συνολική κατανομή καλλιεργειών κάμπου Κόνιτσας κατά είδος καλλιέργειας (Περιφέρεια Ηπείρου, 2008)

ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΑ (ΕΚΤΑΣΗ ΑΝΑΔΑΣΜΟΥ)			
Καλλιέργειες	Στρέμματα	% Συνόλου Α	% Συνόλου Α+Β
Αραβόσιτος	6.206	54,00	49,69
Μηδική	3.770	32,80	30,18
Πατάτες	70	0,61	0,56
Κηπευτικά	76	0,66	0,61
Οπωρώνες	178	1,55	1,42
Αγρανάπαυση	1.193	10,38	9,55
ΣΥΝΟΛΟ Α	11.493	100,00	92,00
ΜΗ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΑ (ΠΕΡΙΜΕΤΡΟΣ ΕΡΓΟΥ)			
Καλλιέργειες	Στρέμματα	% Συνόλου Β	% Συνόλου Α+Β
Σίτος (μαλακός)	468	46,80	3,75
Κριθάρι	356	35,60	2,85
Κοφτολίβαδα	124	12,40	0,99
Βίκος (σανός)	52	5,20	0,42
ΣΥΝΟΛΟ Β	1.000	100,00	8,00
ΣΥΝΟΛΟ Α+Β	12.493	100,00	100,00

3.5 Κλιματική αλλαγή

3.5.1 Γενικά

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, από μελέτες που έχουν γίνει για το υδροσύστημα Αώου – Βοϊδομάτη, καταλήγουν ότι οι διαθέσιμες ποσότητες υδάτων γενικά επαρκούν για την κάλυψη των αναγκών που προκύπτουν από τις υπάρχουσες χρήσεις νερού, καθώς η ορεινή Ήπειρος έχει το πλουσιότερο υδατικό δυναμικό στην Ελλάδα και ένα από τα υψηλότερα της Μεσογείου. Όμως, φαίνεται ότι το υδροσύστημα είναι ευάλωτο σε αλλαγές του κλίματος ή/και των χρήσεων νερού. Η αλλαγή του κλίματος, είτε από ανθρωπογενείς είτε από φυσικούς παράγοντες, είναι δεδομένη και συμβαίνει με κάποια κυκλικότητα. Έτσι αν το τοπικό κλίμα γίνει πιο ξηρό, είναι πιθανό να αλλάξουν οι ισορροπίες που υπάρχουν σήμερα και να είναι απαραίτητη η κατασκευή μικρών τεχνικών έργων για την κάλυψη των αναγκών κατά τους θερινούς μήνες.

Είναι αλήθεια ότι πολλοί διακεκριμένοι επιστήμονες, καθώς και μεγάλη μερίδα της επιστημονικής κοινότητας είναι απόλυτα πεπεισμένοι για την ύπαρξη της κλιματικής αλλαγής, παρόλα αυτά όμως, δεν παύει να υπάρχει και ο αντίλογος, ότι δηλαδή οι κλιματικές μεταβολές αποτελούν ένα φυσιολογικό φαινόμενο, μέρος του κύκλου ζωής του πλανήτη, και υποστηρίζουν ότι οι θεωρίες περί «Κλιματικής Αλλαγής» δεν είναι άλλο, παρά αβάσιμες θεωρίες. Αντικείμενο της παρούσας εργασίας δεν αποτελεί η μελέτη της κλιματικής αλλαγής, αλλά η διερεύνηση του υδροσυστήματος του Αώου υπό συνθήκες αβεβαιότητας, συμπεριλαμβανομένων μικρών αλλαγών των κλιματικών συνθηκών.

Επομένως, ένα ερώτημα που προκύπτει είναι, πόσο θα μεταβληθεί η διακινδύνευση κάλυψης των αρδευτικών αναγκών των εκάστοτε καλλιεργειών από το ίδιο υδροσύστημα, πριν και μετά από αβέβαιες κλιματικές μεταβολές. Έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί στον ελλαδικό χώρο, δείχνουν ότι η κλιματική αλλαγή έχει αρχίσει να κάνει την εμφάνισή της, και θα επηρεάσει τη Μεσόγειο σε αρκετά μεγάλο βαθμό.

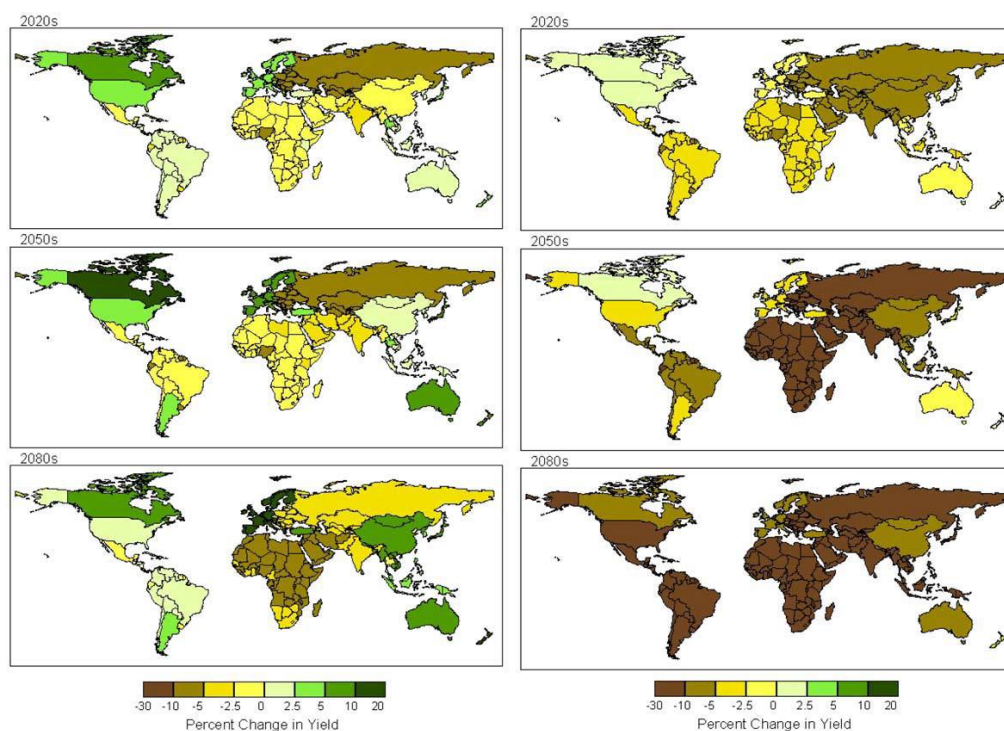
3.5.1.1 Επίδραση της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία

Σύμφωνα με την Έκθεση της Τράπεζας της Ελλάδος για την Κλιματική Αλλαγή, «Η επίδραση της κλιματικής μεταβολής στη γεωργία και τα γεωργικά εδάφη» που συντάχθηκε τον Ιούνιο του 2011, κατά τις προσεχείς δεκαετίες, η γεωργία θα επηρεαστεί από την αλλαγή του κλίματος τόσο στην Ευρωπαϊκή Ένωση όσο και ανά τον κόσμο.

Σύμφωνα με τα Ηνωμένα Έθνη, μόνο στην Αφρική 220 εκατομμύρια άνθρωποι κάθε χρόνο υποφέρουν από την έλλειψη πόσιμου νερού, λόγω της κλιματικής αλλαγής. Η αγροτική παραγωγή κινδυνεύει λόγω της απώλειας καλλιεργήσιμης γης, των μικρότερων καλλιεργητικών περιόδων και της αβεβαιότητας σχετικά με το είδος και το χρόνο εγκατάστασης συγκεκριμένων καλλιεργειών. Όμως και η Ευρώπη αντιμετωπίζει ήδη τα πρώτα αντιληπτά συμπτώματα λόγω της μεταβολής του κλίματος. Το μεγάλο κύμα ζέστης που χτύπησε την Δυτική Ευρώπη το καλοκαίρι του 2003 είχε δυσμενείς επιπτώσεις στην αγροτική παραγωγή. Το 2007 ήταν μία χρονιά που χαρακτηρίστηκε από ακραία καιρικά φαινόμενα. Οι ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες εκείνου του καλοκαιριού είχαν ως συνέπεια την έξαρση των πυρκαγιών σε όλες σχεδόν τις χώρες της Νότιας Ευρώπης (Γαλλία, Ισπανία, Πορτογαλία) με εντονότερες και καταστρεπτικότερες τις φωτιές που ξέσπασαν στην Ελλάδα. Την ίδια περίοδο καταρακτώδεις βροχοπτώσεις και πρωτοφανείς πλημμύρες έπληξαν αρκετές περιοχές της Αγγλίας με ιδιαίτερα σημαντικές καταστροφές τόσο στην παραγωγή όσο και στις υποδομές (Inglesias et al, 2007). Επίσης λόγω της σταδιακής αύξησης της θερμοκρασίας παρατηρείται αύξηση των καλλιεργούμενων εκτάσεων σιταριού στη βορειοδυτική Ευρώπη ενώ αντίθετα στις ευρωμεσογειακές χώρες το αντίστοιχο μέγεθος μειώνεται (Olesen and Bindí, 2002).

Η ανάγκη προσδιορισμού των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία, οφείλεται στο γεγονός ότι η αλλαγή αυτή αναμένεται να μεταβάλλει τα αποθέματα τροφής σε παγκόσμιο επίπεδο, μέσω της μεταβολής στη βροχόπτωση, της πιθανής αύξησης της θερμοκρασίας και του CO₂, της αύξησης των ακραίων καιρικών συμβάντων, της μεταβολής στη διασπορά εχθρών και ασθενειών των καλλιεργειών (Tubiello et al, 2007).

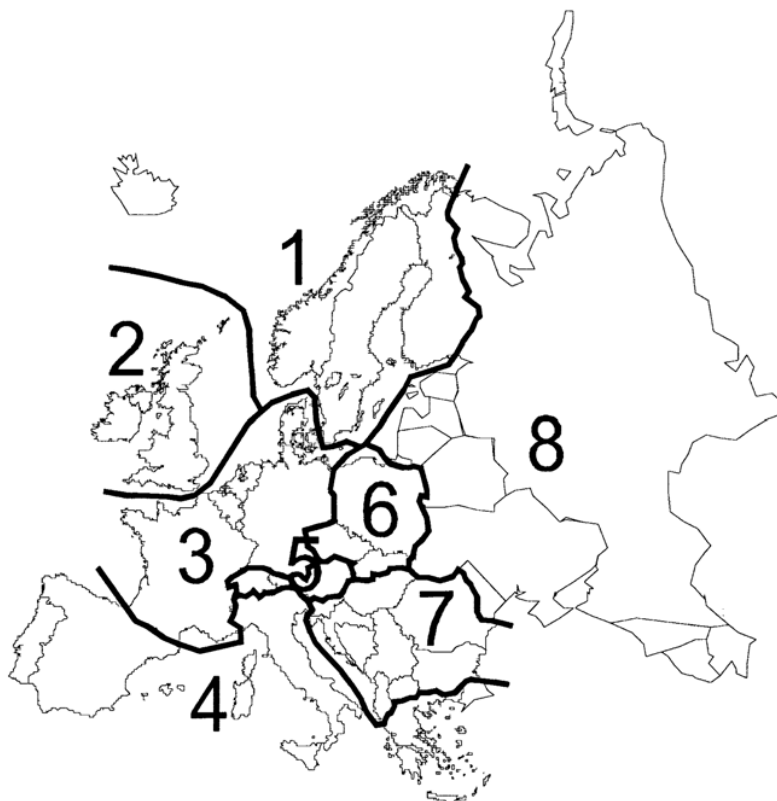
Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) σε πρόσφατες εκθέσεις της (IPCC, 2007b) αναφέρει ότι μέτρια αύξηση της θερμοκρασίας κατά το πρώτο μισό του αιώνα που διανύουμε, πιθανό να αυξήσει τις αποδόσεις των καλλιεργειών σε εύκρατες περιοχές και αντίθετα να μειώσει τις αποδόσεις σε υποτροπικές και τροπικές ζώνες.



Σχήμα 3-6: Πιθανή μεταβολή (σε σύγκριση με τη δεκαετία 1990) στις αποδόσεις καλλιεργειών με (αριστερά) και χωρίς (δεξιά) την επίδραση CO₂, για το σενάριο A2a (Parry et al, 2004).

Αντίστοιχες μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί και σε αρκετές ευρωπαϊκές χώρες (Stern για το Η.Β, Alexandron για τη Βουλγαρία) ή για ολόκληρες περιοχές όπως το PESETA Research Project για την Ευρώπη ή οι Giannakourou et al, για τη Μεσογειακή λεκάνη.

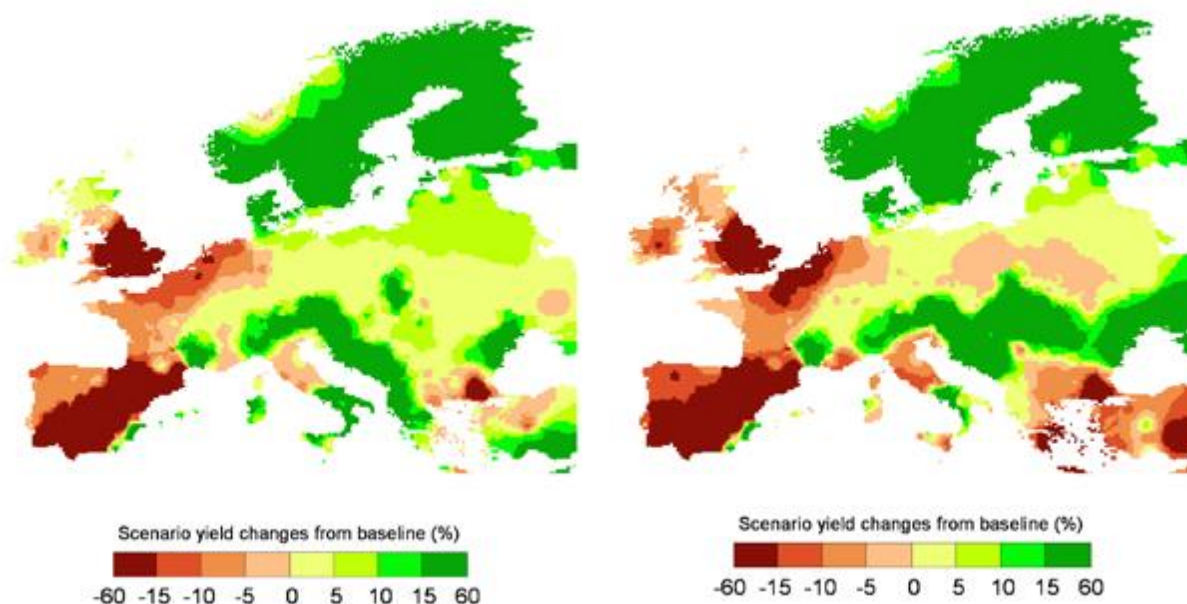
Ιδιαίτερα σε επίπεδο Ε.Ε ο γεωγραφικός διαχωρισμός ανάλογα με τις προβλεπόμενες αλλαγές στις γεωργικές αποδόσεις, αποτυπώνεται στον παρακάτω χάρτη (Σχήμα 3.7). Η ζώνη 4 (Μεσογειακή) περιλαμβάνει τις χώρες της νότιας Ευρώπης (Ελλάδα, Ιταλία, Ισπανία, Πορτογαλία).



Σχήμα 3-7: Χάρτης με τις ζώνες γεωργικής σημασίας της Ευρώπης (E.E, 2007). Η Ελλάδα ανήκει στη ζώνη 4 μαζί με την Ιταλία, την Ισπανία και την Πορτογαλία. Η ζώνη 4 (Μεσογειακή) θεωρείται ως η πλέον ευαίσθητη στην κλιματική αλλαγή (IPCC, 2007).

Κι όμως μελέτες που έχουν απομονώσει τις επιδράσεις της αλλαγής του κλίματος (θερμοκρασία και βροχόπτωση μόνο) έχουν αποδείξει ότι η γεωργική παραγωγή είτε ελαφρώς μειώνεται (0,05%), είτε ελαφρώς αυξάνεται (0,9%), ενώ σε συνδυασμό με την παρατηρούμενη αύξηση του CO₂ η παγκόσμια γεωργική παραγωγή έχει αυξηθεί 2-4% (Mendelsohn, 2007).

Αναφορικά με τις μελλοντικές προβλέψεις για την γεωργική παραγωγή, η έκθεση του ερευνητικού προγράμματος PESETA της Ευρωπαϊκής Ένωσης, προβλέπει από μηδενικές μεταβολές έως μείωση κατά 27% στη νότια Ευρώπη, ανάλογα με το σενάριο και το κλιματικό μοντέλο που χρησιμοποιείται. Στα παρακάτω Σχήματα 3.8 και 3.9, φαίνονται οι επιπτώσεις της αλλαγής της θερμοκρασίας στη γεωργία όπως υπολογίστηκαν για δύο διαφορετικά κλιματικά σενάρια. Παρατηρείται ότι υπάρχει μεγάλη διαφοροποίηση μεταξύ των αποτελεσμάτων. Με το πιο μετριοπαθές σενάριο B2 υπολογίστηκε για την Ελλάδα από μηδενική μεταβολή έως και 15% αύξηση της γεωργικής παραγωγής, ενώ με υποθετική εφαρμογή του πιο ακραίου σεναρίου A2, η μείωση της γεωργικής παραγωγής, φτάνει για την Ελλάδα το -60%.



Σχήμα 3-8: Μεταβολές στη γεωργική παραγωγή στην Ευρώπη για τη δεκαετία 2080, για το σενάριο B2HadAM3h με αύξηση θερμοκρασίας κατά 2,5°C (Peseta Research Project, 2009).

Σχήμα 3-9: Μεταβολές στη γεωργική παραγωγή στην Ευρώπη για τη δεκαετία 2080, για το σενάριο A2HadAM3h με αύξηση θερμοκρασίας κατά 3,9°C (Peseta Research Project, 2009).

3.5.1.2 Επίδραση της κλιματικής αλλαγής στους υδατικούς πόρους

Οι επιπτώσεις της Κλιματικής αλλαγής στη Διαχείριση των Υδατικών Πόρων είναι ποικίλες και ήδη έχουν αρχίσει να ανησυχούν την παγκόσμια επιστημονική και όχι μόνο, κοινότητα. Οι επιπλοκές αυτές, στη μελλοντική διαχείριση των υδατικών πόρων είναι σημαντικές και αφορούν:

- τροφοδοσία νερού
- γεωργική χρήση του νερού
- ρυθμιστικά αποθέματα υπόγειου νερού
- αντιπλημμυρική προστασία
- διαχείριση υδροβιότοπων
- λειτουργία ταμιευτηρίων
- παραγωγή ενέργειας
- υπαλμύρωση παράκτιων & νησιωτικών περιοχών
- υποβάθμιση της ποιότητας των νερών

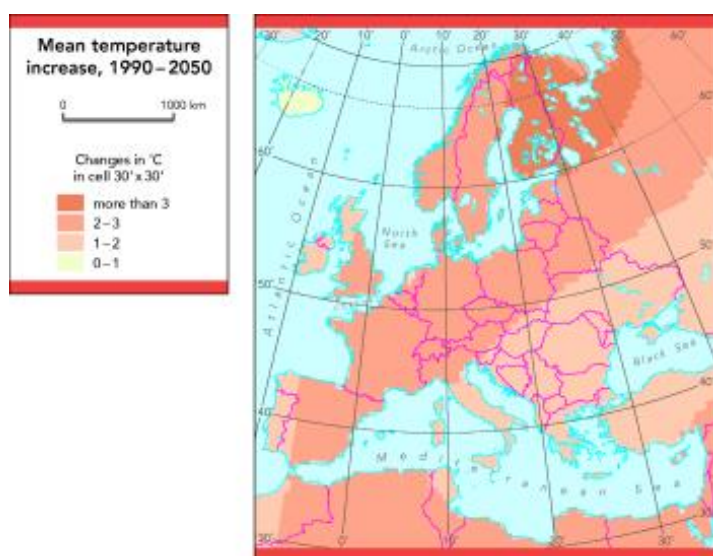
Σύμφωνα με παγκόσμιες εκτιμήσεις, η κλιματική αλλαγή θα φέρει μεταβολές σε όλα τα κλιματικά φαινόμενα, όπως η μεταβολή της έντασης και της κατανομής των βροχοπτώσεων (ανάλογα με τη γεωγραφική θέση και την εποχή), αύξηση της έντασης των ακραίων καιρικών φαινομένων (πλημμύρες, ξηρασία) και αύξηση της εξατμισοδιαπνοής. Ακόμη, αναμένεται μείωση του ποσοστού χιονόπτωσης ως προς

τη συνολική κατακρήμνιση, μετατόπιση της περιόδου λιωσίματος του χιονιού προς το χειμώνα, επιμήκυνση της ξηρής περιόδου και αύξηση της μέσης στάθμης της θάλασσας (λιώσιμο των πολικών πάγων, θερμική επέκταση των ωκεανών). Η αύξηση της μέσης στάθμης της θάλασσας θα έχει σαν αποτέλεσμα:

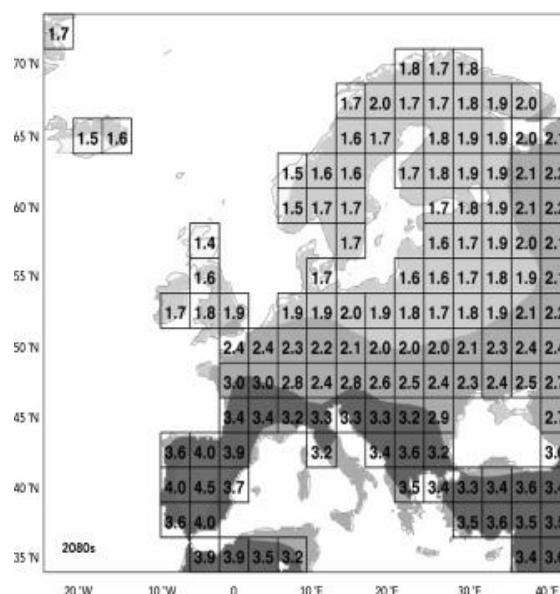
- ❖ την εδαφική απώλεια παράκτιων περιοχών
- ❖ τη διείσδυση θαλασσινού νερού σε υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες
- ❖ την αλλαγή των εκβολών των ποταμών

Θερμοκρασία

Μελέτες που έχουν γίνει τόσο στην Ευρώπη αλλά και παγκόσμια για την κλιματική αλλαγή και την άμεση σχέση που έχει με τους υδατικούς πόρους, δείχνουν μεταβολές στη μέση θερμοκρασία. Στα παρακάτω Σχήματα 3.10 και 3.11 φαίνονται τα αποτελέσματα δύο μελετών πάνω στις παρατηρημένες και προβλεπόμενες μεταβολές της θερμοκρασίας στη Λεκάνη της Μεσογείου την περίοδο 1990 – 2050 (αριστερά) και την περίοδο 1990 – 2080 (δεξιά).



Σχήμα 3-10: Αύξηση της μέσης Θερμοκρασίας (1990-2050) (Πηγή: DG Environment)

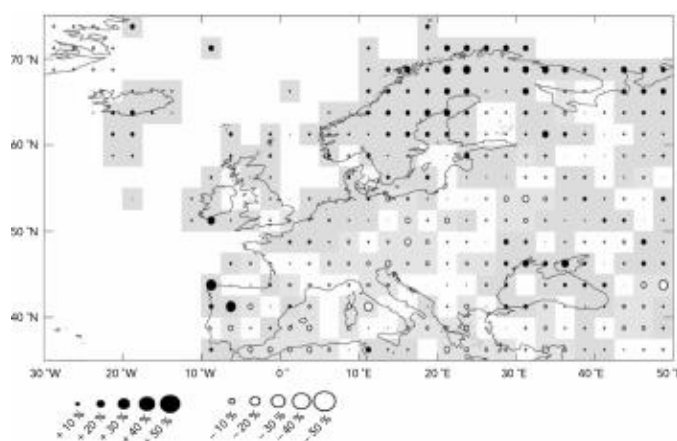


Σχήμα 3-11: Προβλεπόμενες αλλαγές στη Θερμοκρασία για το 2080 (σε σχέση με τη μέση Θ 1961-1990) (Πηγή: IPCC)

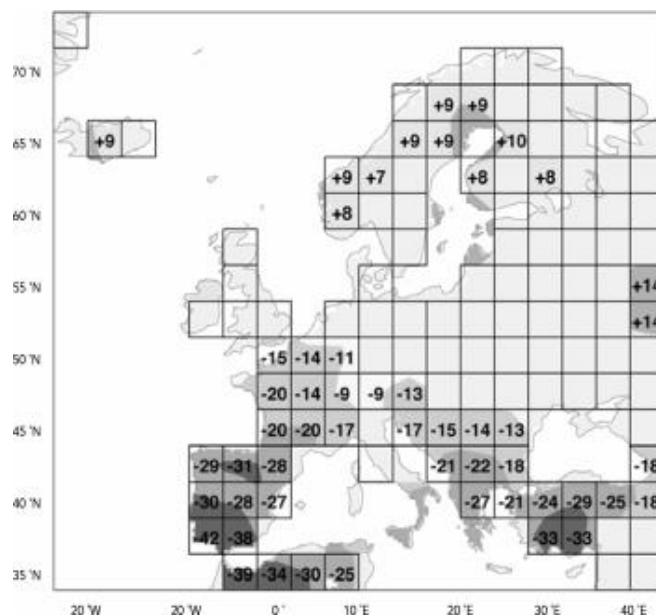
Παρατηρείται ότι για την Ελλάδα προβλέπεται στο 2080 αύξηση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας κατά περίπου 3,5 °C από τη μελέτη της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC), ενώ η αντίστοιχη αύξηση που προβλέπεται για το 2050 από το DG Environment κυμαίνεται στους 1 – 2 °C.

Κατακρήμιση

Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται τα αποτελέσματα δύο μελετών πάνω στις παρατηρημένες και προβλεπόμενες μεταβολές των κατακρημνίσεων στη Λεκάνη της Μεσογείου την περίοδο 1900 – 2000 (αριστερά) και την περίοδο 1990 – 2080 (δεξιά).



Σχήμα 3-12: 1900-2000 (Πηγή: IPCC)
Μαύροι κύκλοι = υγρότερες περιοχές
Άσπροι κύκλοι = ξηρότερες περιοχές



Σχήμα 3-13: Προβλεπόμενες αλλαγές (%) στη Θερινή Κατακρήμιση για το 2080

Παρατηρείται ότι για την Ελλάδα προβλέπεται στο 2080 μείωση της μέσης θερινής κατακρήμισης κατά περίπου 27% (δεξιά εικόνα), όπως προκύπτει από μελέτη της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC).

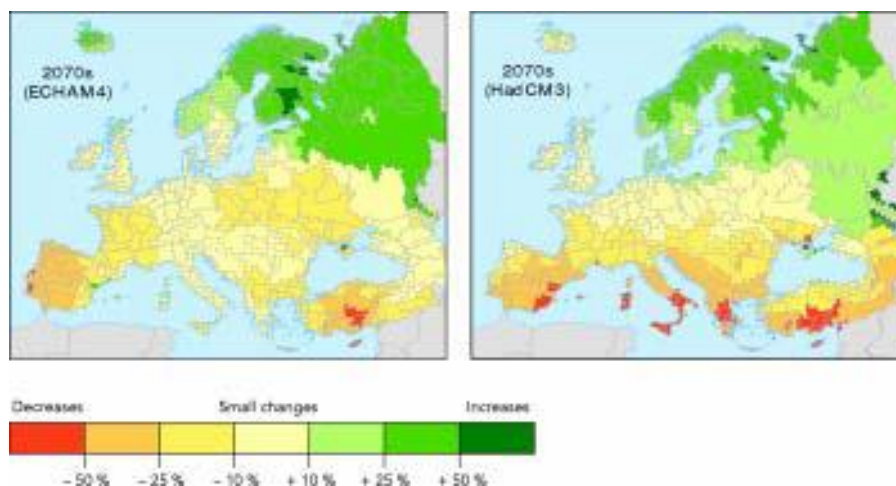
Παροχές ποταμού

Η Κλιματική αλλαγή προβλέπεται να επιφέρει εξίσου σημαντικές μεταβολές στις παροχές των ποταμών.

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο έχουν γίνει μελέτες με σκοπό την πρόβλεψη της μεταβολής της παροχής σε ποτάμια, ύστερα από κλιματικές μεταβολές, με χρήση διάφορων κλιματικών μοντέλων. Ενδεικτικά εδώ, αναφέρονται οι ποσοστιαίες μεταβολές στη μέση ετήσια παροχή των ποταμών για το 2070 σε σύγκριση με το 2000, για τα κλιματικά μοντέλα ECHAM4 και HadCM3. (Σχήμα 3.14)

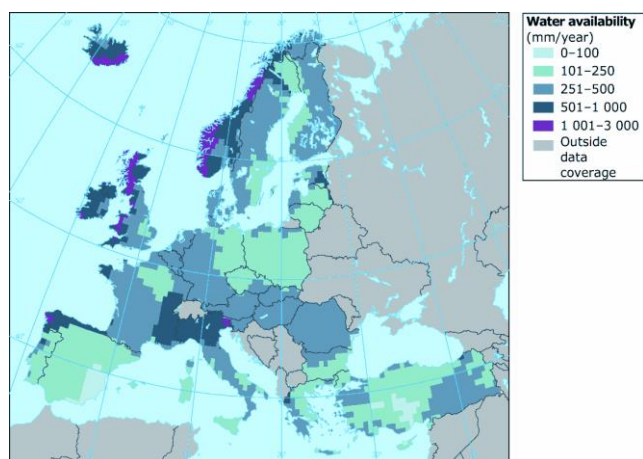
Από τα αποτελέσματα των παραπάνω μελετών, παρατηρείται ότι οι προβλέψεις με το μοντέλο ECHAM4 είναι πιο ήπιες, και συγκριμένα για την Ελλάδα προβλέπεται από μηδενική ως μείωση της τάξης του 25% στην ετήσια παροχή των ελληνικών

ποταμών. Ενώ, αντίθετα με χρήση του κλιματικού μοντέλου HadCM3, η αντίστοιχη μείωση προβλέπεται αρκετά μεγαλύτερη, που για τον ελλαδικό χώρο αγγίζει το 50%.

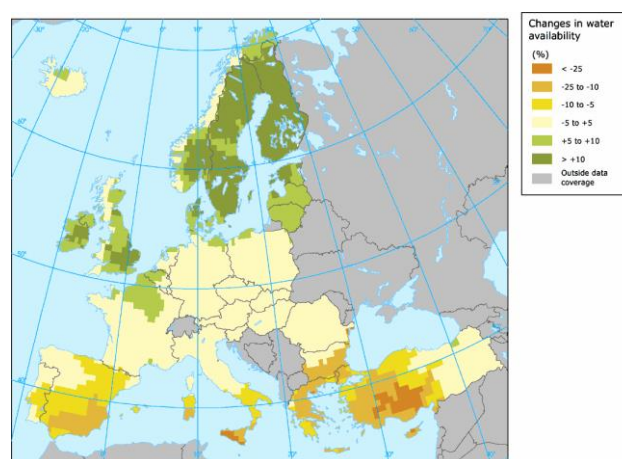


Σχήμα 3-14: Ποσοστιαίες μεταβολές στη μέση ετήσια παροχή των ποταμών για το 2070 σε σύγκριση με το 2000, για τα κλιματικά μοντέλα ECHAM4 και HadCM3

Όσον αφορά τη διαθεσιμότητα του νερού, φαίνεται και αυτή να επηρεάζεται από τις θεωρίες της κλιματικής αλλαγής. Η κατάσταση στην Ευρώπη απεικονίζεται στις παρακάτω εικόνες (Σχήματα 3.15 & 3.16) όπου φαίνεται η σημερινή κατάσταση και οι προβλέψεις για το έτος 2030. Τα στοιχεία έχει δημοσιεύσει ο Εθνικός οργανισμός Περιβάλλοντος.



Σχήμα 3-15: Τρέχουσα διαθεσιμότητα νερού (μέση ετήσια) (Πηγή: ΕΟΠ)



Σχήμα 3-16: Πρόβλεψη για τη διαθεσιμότητα νερού στην Ευρώπη το 2030 (Ποσοστιαία μεταβολή) (Πηγή: ΕΟΠ)

Η παρούσα εργασία εστιάζεται στις κλιματικές αλλαγές που πιθανώς να συμβούν στην Ελλάδα και συγκεκριμένα στην περιοχή της Κόνιτσας, όπου ανήκει και η λεκάνη απορροής του Αώου. Στο υδατικό διαμέρισμα της Ηπείρου και τη λεκάνη ποταμού Αώου εκτιμάται ότι μέχρι το 2050 (με βάση το μοντέλο HadCM3):

- ✓ Η μέση μηνιαία υπερετήσια απορροή θα παρουσιάσει μικρή αύξηση μεγέθους 2,5% κατά τους χειμερινούς μήνες, ενώ θα μειωθεί κατά 3-17% τους υπόλοιπους μήνες.
- ✓ Η μέση μηνιαία απορροή θα παρουσιάσει γενικά μείωση 10-65%
- ✓ Η εξατμισοδιαπνοή θα αυξηθεί

(Μιμίκου, Εργαστήριο Υδρολογίας & Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων ΕΜΠ, 2011)

Υδρολογική λεκάνη	Υδρολογικές Παράμετροι					
	Μέση Ετήσια Κατακρήμνιση	Μέση Ετήσια Χιονόπτωση	Μέση Ετήσια Εξατμισο-διαπνοή	Μέση Ετήσια Απορροή	Μέση Ετήσια Θερινή Απορροή	Μέση Ετήσια Χειμερινή Απορροή
Αώος	-	-	+	-	-	+ (μικρή)

Γενικά, οι μεταβολές στα υδρολογικά χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής των ποταμών, ενδέχεται να επηρεάσουν αρνητικά τους ταμιευτήρες, προκαλώντας:

- ✓ προβλήματα στη λειτουργία και αξιοπιστία των συστημάτων
- ✓ αύξηση στα επίπεδα διακινδύνευσης της ετήσιας εγγυημένης παραγωγής νερού
- ✓ αύξηση στα επίπεδα διακινδύνευσης της ετήσιας εγγυημένης παραγωγής ενέργεια

3.5.2 Επιλογή Σεναρίου

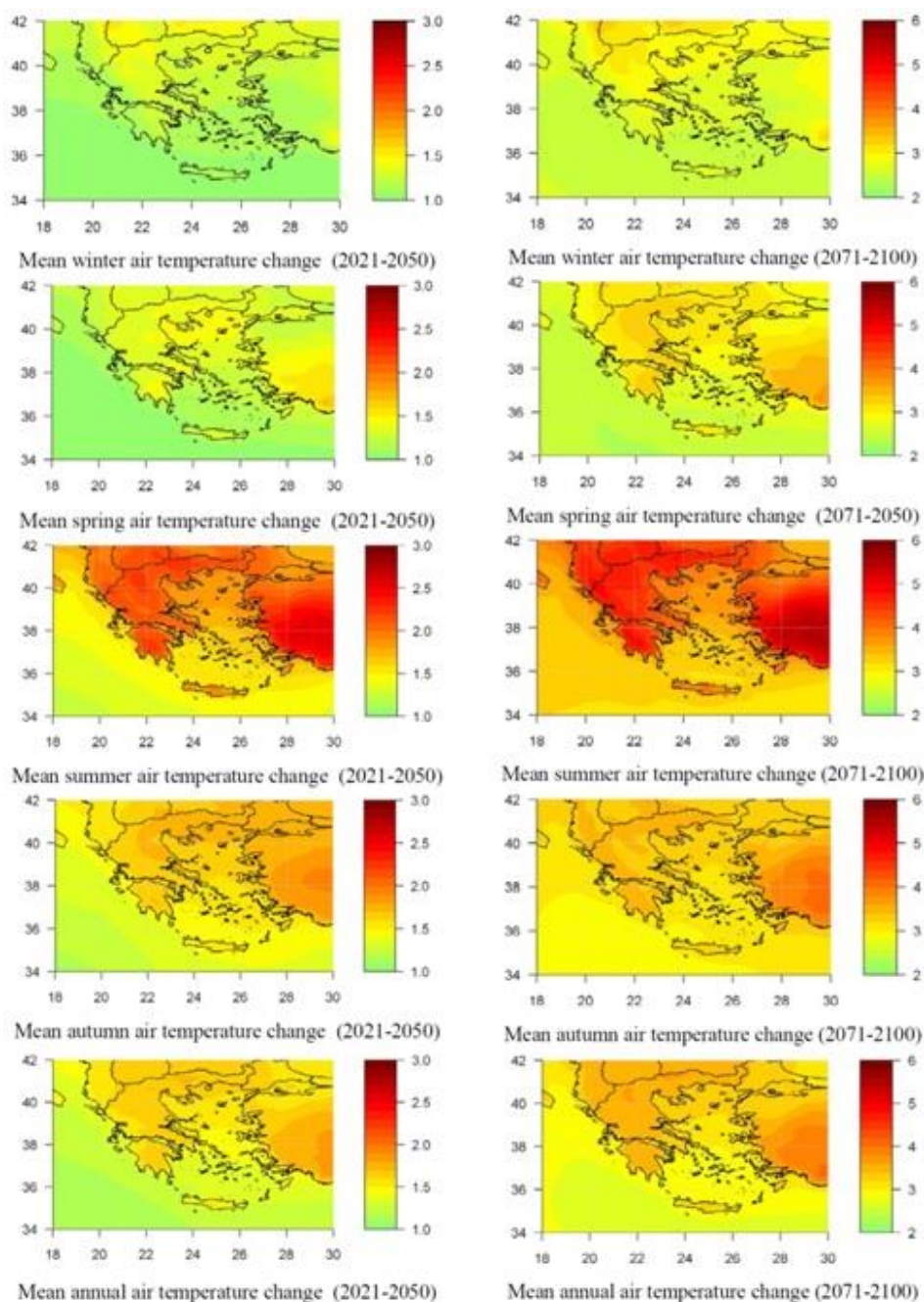
Σύμφωνα με τη βιβλιογραφική ανασκόπηση για τις επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής στους υδατικούς πόρους που έγινε παραπάνω, κρίθηκε σκόπιμο να επιλεγεί ένα κλιματικό σενάριο, το οποίο θα αποτελέσει το υπόβαθρο της μελέτης για τον υπολογισμό της μελλοντικής διακινδύνευσης κάλυψης των αρδευτικών αναγκών της περιοχής της Κόνιτσας. Η προβλέψεις γίνονται με χρονικό ορίζοντα το 2100, και χωρίζονται σε τρεις περιόδους μελέτης, την πρώτη περίοδο 2015 – 2050, τη δεύτερη, 2015 – 2070 και, την τρίτη 2015 – 2100.

Θεωρήθηκε προτιμότερο να επιλεγεί ένα μετριοπαθές κλιματικό σενάριο, όπως είναι το SRES A1B από τη λίστα των σεναρίων του IPCC, ώστε να πλησιάζει τη μέση τιμή των αβέβαιων μελλοντικών κλιματικών μεταβολών.

Παρακάτω, περιγράφονται οι μεταβολές στις κύριες μετεωρολογικές και υδρολογικές παραμέτρους (θερμοκρασία, κατακρήμνιση, παροχή), που λήφθηκαν από αντίστοιχες μελέτες με βάση το σενάριο A1B και αφορούν στον ελλαδικό χώρο.

Θερμοκρασία

Η παρακάτω μελέτη που διενεργήθηκε από Karsomenakis et al. παρουσιάζει τη χωρική κατανομή της μεταβολής της θερμοκρασίας της Ελλάδας ανά εποχή και χρονική περίοδο. Η μελέτη χωρίζεται σε δύο χρονικές περιόδους, 2021 – 2050 (αριστερά) και 2071 – 2100 (δεξιά). Οι μεταβολές είναι σε βαθμούς Κελσίου (°C) (Σχήμα 3.17).



Σχήμα 3-17: Χωρική κατανομή της εποχιακής μεταβολής της θερμοκρασίας του αέρα στην Ελλάδα, για το εγγύς μέλλον 2021-2050 (αριστερά) και 2071-2100 (δεξιά), στο πλαίσιο SRES A1B (Karsomenakis et al., 2011)

Στην εν λόγω εργασία των Karsomenakis et al. (2011), αναλύθηκε η χρονοσειρά θερμοκρασιών για την Ελλάδα ενός συνόλου δεδομένων που προέκυψε ύστερα από 12 προσομοιώσεις σύμφωνα με τα περιοχικά κλιματικά μοντέλα που δημιουργήθηκαν κατά την εκπόνηση του Ευρωπαϊκού προγράμματος ENSEMBLES (<http://ensemblesrt3.dmi.dk/>). Πιο αναλυτικά, τα δεδομένα της εν λόγω εργασίας έχουν χωρική ανάλυση 0.22° (lon) x 0.22° (lat) και αποτελούν αποτέλεσμα των εξής προσομοιώσεων (παρουσιάζονται ως εξής: Περιοχικό κλιματικό μοντέλο (RCM)/Μοντέλο Γενικής Κυκλοφορίας (GCM)):

- | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| i. RCA3 /HadCM3Q, | v. HIRHAM5 /BCM | ix. REMO /ECHAM5 |
| ii. RM5.1 /ARPEGE, | vi. CLM /Hadcm3Q0 | x. RCA /BCM |
| iii. HIRHAM5 /ARPEGE | vii. RegCM3 /ECHAM5 | xi. RCA /ECHAM5 |
| iv. HIRHAM5 /ECHAM5 | viii. RACMO2 /ECHAM5 | xii. RCA /HadCM3Q3 |

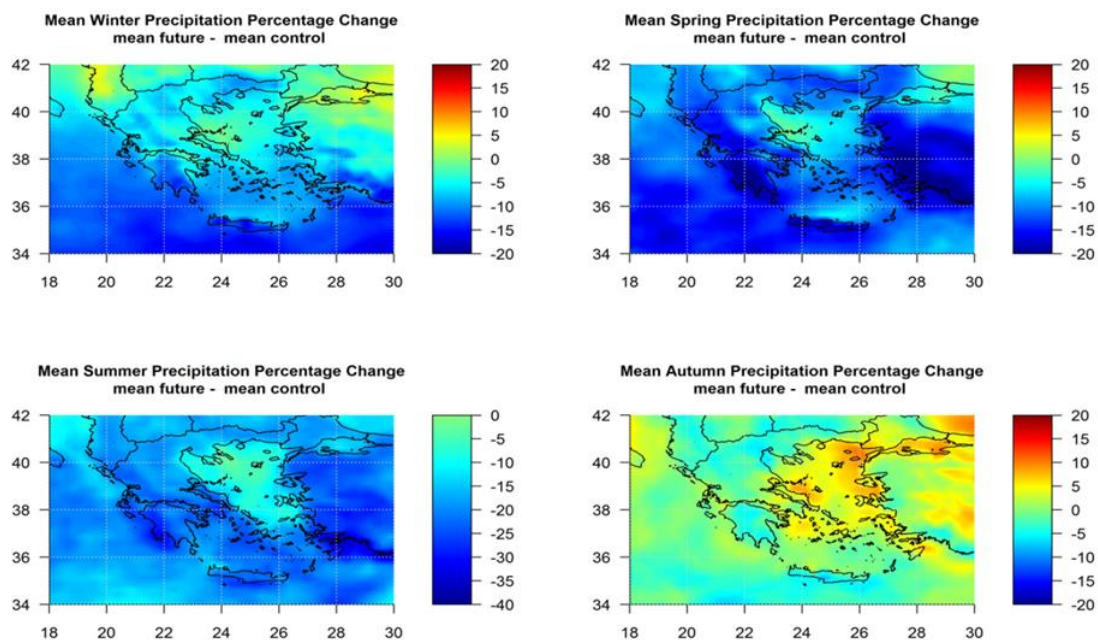
Η θερμοκρασία εισέρχεται έμμεσα στον υπολογισμό της διακινδύνευσης, μέσω της εξατμισοδιαπνοής (ET). Οι παραπάνω μεταβολές στη θερμοκρασία θα εφαρμοστούν στις συνθετικές χρονοσειρές, που θα δημιουργηθούν και περιγράφονται σε επόμενο Κεφάλαιο, γραμμικά και στη συνέχεια από τις νέες θερμοκρασίες (Tclim) θα υπολογιστεί νέα εξατμισοδιαπνοή (ETclim), ώστε να υπολογιστεί η νέα διακινδύνευση. Επιπλέον, μελετήθηκε και το ενδεχόμενο μιας αλλαγής στην κατανομή των καλλιεργειών. Καθώς η μελέτη γίνεται για ένα αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα (2015-2100), θα ήταν παράλειψη να μην αναφερθεί ότι τα διαχειριστικά σχέδια αγροτικής πολιτικής είναι πιθανό να έχουν αλλάξει. Επειδή όμως κάτι τέτοιο ξεφεύγει από τα πλαίσια της παρούσας μελέτης, μελετήθηκε ένα απλό δυσμενές σενάριο αλλαγής των καλλιεργειών, ότι στην ίδια έκταση θα καλλιεργηθεί πλήρως το πιο υδρόφιλο είδος από αυτά που υπάρχουν σήμερα, η μηδική. Αναλυτικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε περιγράφεται σε επόμενο κεφάλαιο.

Βροχόπτωση

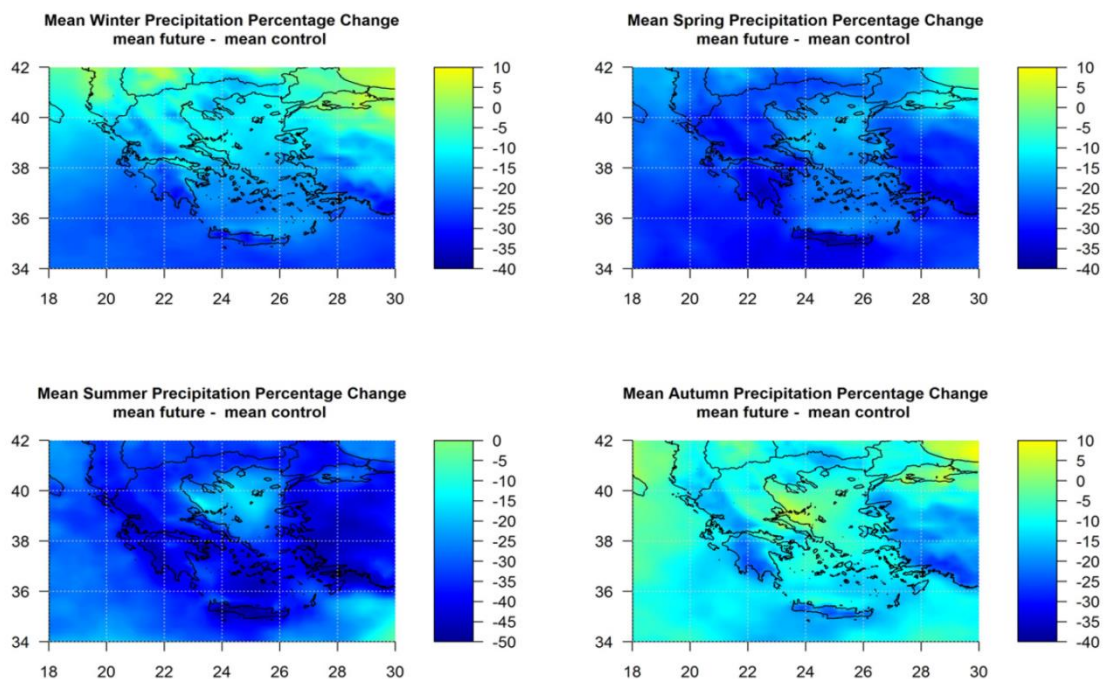
Στην ίδια μελέτη υπολογίστηκε η χωρική μεταβολή της βροχόπτωσης σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο A1B, στην Ελλάδα, ανά εποχή και χρονική περίοδο. Οι μεταβολές φαίνονται στα παρακάτω σχήματα για τις δύο περιόδους μελέτης (α) 2021 – 2050 (Σχήμα 3.18) και (β) 2071 – 2100 (Σχήμα 3.19). Οι μεταβολές ποσοστιαίες (%).

Τα δεδομένα για τη βροχόπτωση χρησιμοποιήθηκαν έμμεσα στον υπολογισμό της διακινδύνευσης. Έχοντας δεδομένα για τις βροχοπτώσεις (P) και τις παροχές (Q) του ποταμού Αώου κατά την ίδια χρονική περίοδο, έγινε συσχέτιση των δύο μεγεθών, ώστε να μπορεί να υπολογιστεί η νέα παροχή (Qclim), με βάση τις νέες τιμές

βροχόπτωσης (Pclim). Τέλος, υπολογίζεται η μελλοντική διακινδύνευση συγκρίνοντας τα μεγέθη Qclim και ETclim. Αναλυτικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε περιγράφεται σε επόμενο κεφάλαιο.



Σχήμα 3-18: Ποσοστιαίες μεταβολές (%) της εποχιακής βροχόπτωσης για το εγγύς μέλλον 2021- 2050, σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1961 – 1990, στο πλαίσιο SRES A1B (Kapsomenakis et al., 2011)



Σχήμα 3-19: Ποσοστιαίες μεταβολές (%) της εποχιακής βροχόπτωσης για το εγγύς μέλλον 2071- 2100, σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1961 – 1990, στο πλαίσιο SRES A1B (Kapsomenakis et al., 2011)

Παροχή

Για τον υπολογισμό της μεταβολής στην παροχή των ποταμών, το χρονικό διάστημα 2015-2100, κανονικά θα έπρεπε να έχει γίνει μοντελοποίηση. Καθώς όμως, κάτι τέτοιο δεν ήταν δυνατό να γίνει στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, έγιναν κάποιες παραδοχές, ώστε να ελεγχθεί η μεταβολή της διακινδύνευσης ανάλογα τη μεταβολή της παροχής (Q) του ποταμού Αώου υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής. Ελέγχθηκαν δύο τρόποι μεταβολής της παροχής σε νέα κλιματική παροχή ($Q \rightarrow Q_{\text{clim}}$). Ο πρώτος τρόπος έγινε με βάση τη σχέση βροχής-απορροής του συστήματος, και ο δεύτερος με στοιχεία που αντλήθηκαν από τη βιβλιογραφία και αφορούν στο σενάριο της Κλιματικής Αλλαγής A1B.

Στην πρώτη περίπτωση, δημιουργήθηκε μία σχέση μεταξύ των δύο μεγεθών, βροχής (P) και απορροής (Q) έτσι ώστε, εφόσον υπάρχουν στοιχεία για τη μεταβολή της βροχόπτωσης να μπορεί να μεταβληθεί αντίστοιχα η παροχή. Φυσικά, κάτι τέτοιο προϋποθέτει να υπάρχει καλή συσχέτιση μεταξύ των δεδομένων. Σε παρακάτω κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά η μεθοδολογία και τα αποτελέσματα της διαδικασίας δημιουργίας της σχέσης Q-P.

Στη δεύτερη περίπτωση, για τον υπολογισμό της μεταβολής στην παροχή, λήφθηκαν τα στοιχεία από το Εργαστήριο Υδρολογίας & Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων ΕΜΠ, (2011), για τον ποταμό Αώο:

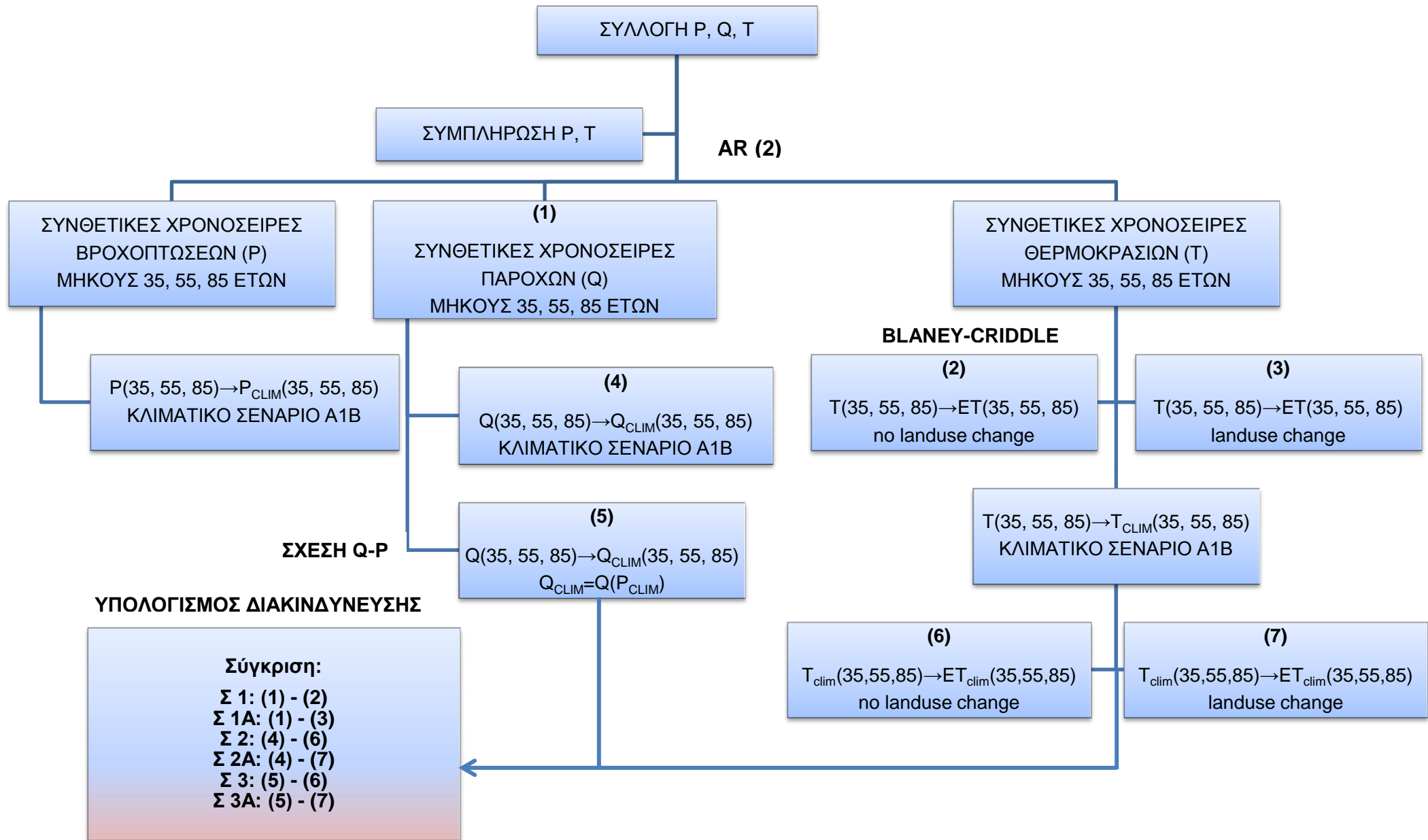
- ✓ Η μέση μηνιαία υπερετήσια απορροή θα παρουσιάσει μικρή αύξηση μεγέθους 2,5% κατά τους χειμερινούς μήνες, ενώ θα μειωθεί κατά 3-17% τους υπόλοιπους μήνες.
- ✓ Η μέση μηνιαία απορροή θα παρουσιάσει γενικά μείωση 10-65%
- ✓ Η εξατμισοδιαπνοή θα αυξηθεί

Στο παρακάτω κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για να εφαρμοστεί η μεταβολή αυτή στη χρονοσειρά των παροχών, καθώς και τα αποτελέσματα αυτής.

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ

4.1 Διάγραμμα Ροής Έρευνας

Με στόχο λοιπόν τον υπολογισμό της μελλοντικής διακινδύνευσης κάλυψης των αρδευτικών αναγκών της περιοχής της Κόνιτσας, χωρίς και με την παρουσία Κλιματικής Αλλαγής, για τρεις χρονικές περιόδους, (α) 2015 – 2050, (β) 2015 – 2070 και (γ) 2015 – 2100, ακολουθήθηκαν κάποια βήματα υπολογισμών με μία λογική σειρά. Ολόκληρη η μεθοδολογία της έρευνας περιγράφεται σχηματικά στο παρακάτω Διάγραμμα Ροής, ενώ στη συνέχεια αναλύεται το κάθε βήμα χωριστά.



4.2 Επιμέρους Ανάλυση

4.2.1 Συλλογή Δεδομένων

Αρχικά έγινε η συλλογή των διαθέσιμων μετεωρολογικών (P και T) και υδρομετρικών (Q) δεδομένων, όπως περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 3.

4.2.2 Συμπλήρωση Δεδομένων

Ένα συχνό φαινόμενο στα υδρομετεωρολογικά δεδομένα είναι να εμφανίζονται ελλείψεις δεδομένων σε αρκετές χρονικές στιγμές. Η ιστορική χρονοσειρά των παροχών (Q) δεν παρουσίαζε ελλείψεις, αφού η συμπλήρωσή της αποτελούσε αντικείμενο της εργασίας «Υδρολογική Ανάλυση και Διερεύνηση του υδροσυστήματος Αώου – Βοϊδομάτη», που συγγράφηκε από τον Άρη Λεονταρίτη στα πλαίσια της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής εργασίας, τον Ιανουάριο του 2014 και λήφθηκε από εκεί, χωρίς συμπληρώσεις ή αλλαγές. Τα δεδομένα των θερμοκρασιών και των βροχοπτώσεων όμως, που λήφθηκαν ανεπεξέργαστα από την ΕΜΥ, παρουσίαζαν αρκετά κενά που κυρίως οφείλονται σε τεχνικά προβλήματα του μετεωρολογικού σταθμού. Η συμπλήρωσή τους ήταν απαραίτητη για την περαιτέρω μελέτη, και την παραγωγή των συνθετικών χρονοσειρών.

Η συμπλήρωση έγινε όπως περιγράφεται στο Κεφάλαιο 3.3 με κατάλληλες μεθόδους. Αρχικά αποκλείονται λανθασμένες τιμές (outliers), και στη συνέχεια συμπληρώθηκαν με τη μέθοδο της απλής γραμμικής παλινδρόμησης, χρησιμοποιώντας τα μετεωρολογικά δεδομένα στο σταθμό της Βωβούσας για την ίδια περίοδο. Όπου αυτό δεν ήταν δυνατό, και μη έχοντας στη φάση αυτή δεδομένα σε άλλο σταθμό, τα δεδομένα συμπληρώθηκαν με το μηνιαίο μέσο όρο των άλλων ετών, εφόσον τα κενά δεν ξεπερνούσαν το 10% ανά μηνιαία χρονοσειρά.

4.2.3 Παραγωγή συνθετικών Χρονοσειρών

4.2.3.1 Μοντέλα Πρόβλεψης Χρονοσειρών (time-series models) - AR(2)

Πριν την επεξήγηση της διαδικασίας που ακολουθήθηκε για τη δημιουργία των συνθετικών χρονοσειρών παροχών, θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων, είναι σκόπιμο να αναφερθούν κάποια θεωρητικά στοιχεία, ώστε να μπορεί να γίνει κατανοητή η μέθοδος που εφαρμόστηκε.

Η ιδέα του μοντέλου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αναπαράσταση μιας οποιασδήποτε διαδικασίας, με τρόπο αφαιρετικό και στοχεύοντας όχι τόσο σε μια αναλυτική εξήγηση όσο σε μια απλοποιητική προσέγγιση του μηχανισμού της.

Ένα μοντέλο πρόβλεψης αντιπροσωπεύει την διαδικασία που ακολουθείται προκειμένου να παραχθούν προβλέψεις. Είναι προφανές ότι κάθε μοντέλο αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη τεχνική και για τον λόγο αυτό υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία μοντέλων πρόβλεψης. Στην συγκεκριμένη παράγραφο γίνεται λόγος μόνο για τα μοντέλα που αφορούν τις μεθόδους πρόβλεψης χρονοσειρών (time series model).

Το μοντέλο πρόβλεψης χρονοσειρών είναι το πιο διαδεδομένο ποσοτικό μοντέλο πρόβλεψης. Η εφαρμογή του είναι δυνατή όταν υπάρχουν στοιχεία για την τιμή του υπό πρόβλεψη μεγέθους (ιστορικά δεδομένα) σε προηγούμενες και σταθερές χρονικές περιόδους (π.χ. ημέρες, μήνες, έτη κλπ.). Βασίζεται στην υπόθεση ότι η μεταβολή της τιμής του μεγέθους ακολουθεί ένα συγκεκριμένο πρότυπο («λανθάνον» πρότυπο) που επαναλαμβάνεται στον χρόνο και παραμένει σταθερό. Οι προβλέψεις πραγματοποιούνται με την αναγνώριση του ακολουθούμενου προτύπου και την προέκταση του στο μέλλον.

Είσοδος του συστήματος είναι τα προηγούμενα ιστορικά δεδομένα X_i , όπου ο δείκτης i αναφέρεται στην χρονική περίοδο. Με X_1 συμβολίζεται η αρχαιότερη παρατήρηση και με X_t η πιο πρόσφατη. Προφανώς το i παίρνει τιμές από 1 έως t . Έξοδος του συστήματος είναι η πρόβλεψη που πραγματοποιείται την χρονική περίοδο t για την επόμενη χρονική περίοδο $t+1$, και συμβολίζεται με $y = X_{t+1} = f(X_t)$. Η σχέση που περιγράφει το σύστημα είναι γραμμική και έχει την μορφή:

$$y = f(X_1, X_2, \dots, X_{t-1})$$

Υποθέτοντας ότι υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα που αφορούν τις μηνιαίες παροχές, θερμοκρασίες ή βροχοπτώσεις σε μια θέση για t -μήνες (X_i , με $i = 1, \dots, t$), μπορεί με βάση το συγκεκριμένο μοντέλο, να υπολογιστεί η παροχή ή θερμοκρασία ή βροχόπτωση για τον επόμενο μήνα X_{t+1} .

Στην παρούσα εργασία, το μοντέλο αυτό περιγράφεται με αυτοπαλινδρομικές (autoregressive) μεθόδους δεύτερης τάξης (AR2), όπως αναλύεται και στη συνέχεια. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η εφαρμογή του μοντέλου των χρονοσειρών στηρίζεται στην παραδοχή ότι το λανθάνον πρότυπο αναγνωρίζεται μονοσήμαντα με βάση τα ιστορικά δεδομένα και θεωρείται ότι θα διατηρηθεί σταθερό. Κατά συνέπεια, η προέκταση του στο μέλλον οδηγεί σε προβλέψεις που βασίζονται στην "ιστορία" της χρονοσειράς και θεωρούνται ικανοποιητικές στο βαθμό που η εξέλιξη της γίνει υπό το καθεστώς των σημερινών συνθηκών. Έτσι, το συγκεκριμένο μοντέλο πρόβλεψης είναι κατάλληλο για να υπολογιστεί η παροχή σε μια θέση του ποταμού, δεδομένου ότι οι βροχοπτώσεις, η λεκάνη απορροής και ο αντίστοιχος συντελεστής

απορροής πρόκειται να παραμείνουν σταθερά. Γίνεται λοιπόν φανερή η αδυναμία του μοντέλου των χρονοσειρών να συσχετίσει το υπό πρόβλεψη μέγεθος με τους παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή του. Με την έννοια αυτή θεωρείται σαν «μαύρο κουτί» (black box) αφού παρέχει πληροφορίες για το τι πρόκειται να συμβεί χωρίς ταυτόχρονα να μας επιτρέπει να κατανοήσουμε το γιατί θα συμβεί.

Παρά το μειονέκτημα αυτό, οι μέθοδοι που περιγράφονται από το μοντέλο των χρονοσειρών επιλέγονται συχνότατα για τρεις βασικούς λόγους:

- Δεν υπάρχει πάντα η δυνατότητα να συσχετίσουμε ένα μεταβαλλόμενο μέγεθος με κάποιους παράγοντες και πολύ περισσότερο να προσδιορίσουμε τον τρόπο αλληλεπίδρασης τους
- Σε πολλές περιπτώσεις ενδιαφερόμαστε να προσδιορίσουμε μόνο το τι θα συμβεί και όχι το γιατί
- Το κόστος που απαιτείται στην πρώτη περίπτωση είναι πολύ μικρότερο από εκείνο που απαιτείται στην δεύτερη

Βασικές έννοιες και ποιοτικά χαρακτηριστικά των χρονοσειρών

Ο στοχαστικός χαρακτήρας των χρονοσειρών

Οι χρονοσειρές αποτελούν ένα σύνολο διαδοχικών παρατηρήσεων της τιμής κάποιου φυσικού ή άλλου μεγέθους. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό τους είναι το γεγονός ότι οι διαδοχικές αυτές παρατηρήσεις δεν είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Όταν οι διαδοχικές παρατηρήσεις είναι εξαρτημένες, οι μελλοντικές τιμές μπορούν να προσδιοριστούν ακριβώς από τις προηγούμενες. Μια τέτοια διαδικασία ονομάζεται ντετερμινιστική. Δυστυχώς κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει με τις πραγματικές χρονοσειρές καθώς το μέλλον καθορίζεται μερικώς μόνο από το παρελθόν. Για το λόγο αυτό, οι πραγματικές χρονοσειρές θεωρείται ότι αντιπροσωπεύουν στοχαστικές διαδικασίες.

Κατά μία άλλη έννοια, ντετερμινιστικά μοντέλα είναι εκείνα που περιγράφουν την διαχρονική εξέλιξη κάποιου φυσικού μεγέθους, για το οποίο υπάρχει πλήρης γνώση των παραγόντων που το επηρεάζουν. Στον πραγματικό κόσμο όμως τα περισσότερα μεγέθη επηρεάζονται και από τον λεγόμενο «τυχαίο παράγοντα» ο οποίος αντιπροσωπεύει μια στατιστική μεταβλητή. Τα μοντέλα που περιέχουν τον παράγοντα αυτό ονομάζονται στοχαστικά.

Ποιοτικά χαρακτηριστικά χρονοσειρών

Οι παραδοσιακές μέθοδοι ανάλυσης των χρονοσειρών ασχολούνται κυρίως με την αποσύνθεση της διακύμανσης της χρονοσειράς σε τέσσερα συστατικά της στοιχεία: την τάση, την κυκλικότητα, την εποχικότητα και τις μη κανονικές διακυμάνσεις. Μια

τέτοια προσέγγιση είναι χρήσιμη για την ανάλυση των ποιοτικών χαρακτηριστικών της χρονοσειράς, ανεξάρτητα με την μέθοδο πρόβλεψης που θα εφαρμοστεί στην συνέχεια.

Η συστηματική μελέτη μιας χρονοσειράς ξεκινάει με την επισκόπηση του γραφήματος της στο πεδίο του χρόνου. Τα βασικά ποιοτικά της χαρακτηριστικά που προκύπτουν από αυτό είναι η τάση, η εποχικότητα, η κυκλικότητα και οι ασυνέχειες (Ασημακόπουλος, 2007).

Η **τάση** γενικά θα μπορούσε να οριστεί ως μια "μακροπρόθεσμη" μεταβολή του μέσου επιπέδου των τιμών της χρονοσειράς. Το πρόβλημα με αυτόν τον κατά τα άλλα αποδεκτό ορισμό είναι ποια μεταβολή θεωρείται μακροπρόθεσμη. Για παράδειγμα έχει παρατηρηθεί ότι ορισμένες περιβαλλοντικές και κλιματικές μεταβλητές εμφανίζουν μια κυκλική διακύμανση μέσα σε μία χρονική περίοδο 50 ετών. Αν κάποιος έχει στοιχεία μόνο για τα πρώτα 20 έτη θα θεωρούσε την παρατηρούμενη κλιμάκωση του μέσου επιπέδου σαν τάση, ενώ αν εξέταζε δεδομένα μερικών εκατοντάδων ετών θα διαπίστωνε ότι πρόκειται, για κυκλική διακύμανση. Έτσι, μιλώντας για τάση θα πρέπει κανείς να έχει στην διάθεση του έναν ικανό αριθμό παρατηρήσεων και ταυτόχρονα να εκτιμήσει το κατάλληλο, στην συγκεκριμένη περίπτωση, μήκος της περιόδου μέσα στην οποία θα αναζητήσει την ύπαρξη τάσης. Η τάση που αντιπροσωπεύει τη γενική εικόνα της χρονοσειράς, μπορεί να είναι ανοδική, πτωτική ή μηδενική.

Η **κυκλικότητα** αντιπροσωπεύει μια "κυματοειδή" μεταβολή που οφείλεται σε ειδικές εξωγενείς συνθήκες και εμφανίζεται κατά περιόδους. Οι περίοδοι δεν είναι απαραίτητα σταθερές και το μήκος τους είναι κατά κανόνα μεγαλύτερο του έτους. Κυκλικότητα εμφανίζουν οι χρονοσειρές των περισσότερων οικονομικών μεγεθών όπως για παράδειγμα του Ακαθάριστου Εθνικού Προϊόντος. Οι κυκλικές αυτές μεταβολές είναι αποτέλεσμα των γενικότερων συνθηκών που χαρακτηρίζονται από διαδοχικές ανόδους και υφέσεις. Όσον αφορά τις βροχοπτώσεις και κατ' επέκταση τις παροχές σε ένα υδατόρευμα, εμφανίζουν κυκλικότητα όπως και άλλες παράμετροι που σχετίζονται με το κλίμα. Έτσι εντοπίζονται ξηρές και υγρές περίοδοι, περίοδοι με μεταβαλλόμενο και απρόβλεπτο κύκλο.

Η **εποχικότητα** ορίζεται σαν μια περιοδική διακύμανση που έχει σταθερό και μικρότερο του έτους μήκος. Η διακύμανση αυτή είναι συνήθως κατανοητή και προβλέψιμη. Για παράδειγμα οι παροχές κατά τους θερινούς μήνες είναι μειωμένες ενώ τους χειμερινούς αυξημένες. Τέτοιες αλλαγές είναι άμεσα εξηγήσιμες και θεωρούνται κανονικές γιατί επαναλαμβάνονται κατά τον ίδιο ακριβώς τρόπο με τον χρόνο. Για τον λόγο αυτό είναι σχετικά εύκολο να μετρηθούν και να απομονωθούν

έτσι ώστε να προκύψουν τελικά τα λεγόμενα αποεποχικοποιημένα δεδομένα. Η διαφορά της εποχικότητας από την κυκλικότητα είναι ότι ενώ η εποχικότητα επαναλαμβάνεται σε σταθερά διαστήματα όπως ο χρόνος, ο μήνας, η εβδομάδα, η κυκλικότητα έχει μεγαλύτερη διάρκεια που διαφέρει από κύκλο σε κύκλο.

Ασυνέχειες ονομάζονται οι απομονωμένες παρατηρήσεις που εμφανίζονται στο γράφημα κάποιας χρονοσειράς ως απότομες αλλαγές στο πρότυπο συμπεριφοράς της και δε θα μπορούσαν να έχουν προβλεφθεί από την ιστορία της. Τέτοιες αλλαγές μπορεί να έχουν παροδικό ή μόνιμο χαρακτήρα. Στην πρώτη περίπτωση ονομάζονται outliers και η επίδραση τους στην χρονοσειρά έχει μικρή χρονική διάρκεια. Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην ερμηνεία τέτοιων παρατηρήσεων, πράγμα που απαιτεί εξίσου θεωρητική γνώση, κριτική ικανότητα και κοινή λογική. Ένα outlier μπορεί να αντιπροσωπεύει μια ασυνήθιστη παρατήρηση που οφείλεται σε κάποιο εξαιρετικό και απρόβλεπτο γεγονός όπως ένα πλημμυρικό επεισόδιο το οποίο μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την τιμή της μηνιαίας παροχής. Στην περίπτωση που οι παρατηρούμενες ασυνέχειες έχουν μόνιμο χαρακτήρα ονομάζονται level-shifts αφού εμφανίζονται ως απότομες αλλαγές στο μέσο επίπεδο των τιμών της χρονοσειράς.

Μη κανονικές διακυμάνσεις θεωρούνται εκείνες που απομένουν όταν όλα τα υπόλοιπα συστατικά στοιχεία της χρονοσειράς (τάση, εποχικότητα και κυκλικότητα) έχουν απομονωθεί. Οι διακυμάνσεις αυτές μπορεί να αντιπροσωπεύουν μια εντελώς τυχαία μεταβλητή (με την στατιστική έννοια) που εκφράζει τον τυχαίο παράγοντα μιας στοχαστικής διαδικασίας. Εναλλακτικά μπορεί να αντιπροσωπεύουν κάποια ασυνέχεια (outlier ή level shift) που συνδέεται με κάποιο εξαιρετικό γεγονός.

Στάσιμη ή Μόνιμη Χρονοσειρά

Μια ιδιαίτερη και πολύ σημαντική κατηγορία χρονοσειρών είναι οι λεγόμενες στάσιμες ή μόνιμες (stationary) χρονοσειρές. Χρησιμοποιώντας ένα ποιοτικό ορισμό, στάσιμη είναι μια χρονοσειρά όταν:

1. δεν παρουσιάζει συστηματική αλλαγή στο μέσο της επίπεδο (δηλαδή δεν εμφανίζει τάση)
2. δεν παρουσιάζει συστηματική αλλαγή στην διασπορά της
3. έχουν αφαιρεθεί όλες οι αυστηρά περιοδικές "διακυμάνσεις" (δηλαδή δεν εμφανίζει εποχικότητα)

Το μεγαλύτερο μέρος της θεωρίας πιθανοτήτων και της στατιστικής επιστήμης ασχολείται με στάσιμες στοχαστικές διαδικασίες. Για τον λόγο αυτό προκειμένου να

εφαρμοστούν οποιοσδήποτε πιθανοθεωρητικές αρχές στην ανάλυση μιας χρονοσειράς, πρέπει πρώτα να μετατραπεί σε στάσιμη. Με άλλα λόγια, αν σε μια χρονοσειρά εφαρμοστούν οι μέθοδοι της κλασσικής αποσύνθεσης και αφαιρεθεί η τάση και η εποχικότητα, η προκύπτουσα χρονοσειρά που αντιπροσωπεύει κυκλικές και άλλες μη κανονικές διακυμάνσεις θεωρείται στάσιμη εφόσον δεν παρατηρείται καμιά συστηματική μεταβολή στην διασπορά της.

Αυτοπαλινδρομικά μοντέλα AR(1) και AR (2)

Τα αυτοπαλινδρομικά μοντέλα AR(1) και AR (2) ανήκουν στην οικογένεια των ολοκληρωμένων αυτοπαλινδρομικών μοντέλων κινούμενων μέσω των όρων (Auto Regressive Integrated Moving Average, ARIMA), τα οποία είναι στοχαστικά μαθηματικά μοντέλα. Με τα μοντέλα ARIMA περιγράφεται η διαχρονική εξέλιξη κάποιου φυσικού μεγέθους. Δεδομένου ότι για την πλειοψηφία των φυσικών μεγεθών, είναι αδύνατη η πλήρης γνώση και καταγραφή όλων των παραγόντων που επηρεάζουν την εξέλιξη τους στο χρόνο, είναι πολύ δύσκολη η διαχρονική περιγραφή του μεγέθους από ένα ντετερμινιστικό μοντέλο. Από την άλλη μεριά, η εξάρτηση τέτοιων μεγεθών από μη ντετερμινιστικούς παράγοντες (π.χ. καιρός, τυχαία γεγονότα) καθιστά δυνατή την περιγραφή της διαχρονικής τους εξέλιξης από ένα στοχαστικό μοντέλο, με το οποίο θα μπορεί να υπολογιστεί η πιθανότητα με την οποία η τιμή του μεγέθους βρίσκεται σε κάποιο διάστημα (Ασημακόπουλος, 2007).

Γενικά, έχουν αναπτυχθεί ποικίλα τέτοια μοντέλα για την περιγραφή των διακυμάνσεων κάποιου μεγέθους μέσα στο χρόνο. Τα μοντέλα ARIMA χρησιμοποιούνται ευρύτατα γιατί βρίσκουν εφαρμογή στη μελέτη πολλών μεγεθών και φαίνεται να δίνουν μια ικανοποιητική εικόνα της διαχρονικής τους συμπεριφοράς, καθώς και ακριβή αποτελέσματα στη πρόβλεψη των μελλοντικών τιμών του μεγέθους.

Τα μοντέλα ARIMA έχουν μελετηθεί εκτεταμένα από τους Box και Jenkins, σε βαθμό που τα ονόματα των παραπάνω να είναι σχεδόν συνώνυμα με τις ARIMA διαδικασίες και τις εφαρμογές τους στην ανάλυση και την πρόβλεψη χρονοσειρών. Οι Box-Jenkins πρότειναν λοιπόν μια οικογένεια αλγεβρικών μοντέλων πρόβλεψης, από τα οποία μπορεί κανείς να διαλέξει το καταλληλότερο για την πρόβλεψη μιας δεδομένης χρονοσειράς. Στα μοντέλα αυτά οι προβλέψεις βασίζονται αποκλειστικά στις παρελθούσες τιμές και τα εμφανισθέντα πρότυπα συμπεριφοράς της χρονοσειράς που εξετάζεται (Ασημακόπουλος, 2007).

Για την κατασκευή ενός ικανοποιητικού μοντέλου ARIMA απαιτούνται σύμφωνα με τους Box-Jenkins τουλάχιστον 50 παρατηρήσεις. Ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου τα

ιστορικά δεδομένα εμφανίζουν έντονα εποχιακές διακυμάνσεις, η ύπαρξη ενός δείγματος πολύ μεγάλου μεγέθους είναι επιβεβλημένη.

Η μέθοδος BJ-ARIMA εφαρμόζεται αποκλειστικά και μόνο σε στάσιμες χρονοσειρές. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, στάσιμη είναι μια χρονοσειρά, της οποίας η μέση τιμή, η διακύμανση και η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης είναι σταθερές καθόλη τη διάρκεια του χρόνου. Η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης είναι ένας τρόπος μέτρησης της εξάρτησης μιας παρατήρησης από μια άλλη μέσα στην ίδια χρονοσειρά. Επίσης σημειώνεται ότι η μέση τιμή και η διακύμανση κάποιου υποσυνόλου δεδομένων μιας στάσιμης χρονοσειράς δεν διαφέρει σημαντικά από τη μέση τιμή και τη διακύμανση, αντίστοιχα, οποιουδήποτε άλλου υποσυνόλου της ίδιας χρονοσειράς.

Παρόλο που οι χρονοσειρές των θερμοκρασιών, των παροχών και των βροχοπτώσεων δεν είναι στάσιμες, μπορούν να μετασχηματιστούν σε στάσιμες με σχετικά απλές διαδικασίες, όπως αναλύεται στη συνέχεια. Τα μοντέλα ARIMA εφαρμόζονται αποκλειστικά σε διακριτές χρονοσειρές, οι παρατηρήσεις των οποίων έχουν γίνει σε χρονικές στιγμές που απέχουν μεταξύ τους ίσα χρονικά διαστήματα. Ως Z_t ορίζεται η αριθμητική τιμή μιας παρατήρησης που λαμβάνεται τη χρονική περίοδο t . Η μελέτη των στατιστικών παραμέτρων της χρονοσειράς ενός μεγέθους L , καθώς και η γνώση της διαχρονικής συμπεριφοράς της μπορούν να μας δώσουν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για τη δόμηση ενός μοντέλου που να περιγράφει τη συμπεριφορά του μεγέθους L . Τα στοχαστικά μοντέλα αυτοπαλινδρόμησης τάξης p περιέχουν τον τυχαίο παράγοντα a_t (τυχαίο σφάλμα ή σφάλμα πρόβλεψης) και τις τιμές του μεγέθους οι οποίες εμφανίστηκαν σε p προηγούμενες χρονικές στιγμές. Το μοντέλο που προκύπτει είναι ένας γραμμικός συνδυασμός των παραγόντων αυτών και περιγράφεται από τις εξισώσεις (Μιμίκου, 1994; Pindyck and Rubinfeld, 1998):

$$Z_t = \phi_1 \cdot Z_{t-1} + \phi_2 \cdot Z_{t-2} + \dots + \phi_p \cdot Z_{t-p} + a_t \quad AR(p).1$$

Όπου:

$$r_1 = \phi_1 + \phi_2 \cdot r_1 + \dots + \phi_p \cdot r_p - 1$$

...

$$AR(p).2$$

$$r_p = \phi_1 \cdot r_p - 1 + \phi_2 \cdot r_p - 2 + \dots + \phi_{p-1} \cdot r_p - 1 + \phi_p$$

Και

$$\sigma_a = \sigma_z (1 - \phi_1 \cdot r_1 - \phi_2 \cdot r_2 - \dots - \phi_p \cdot r_p) \quad AR(p).3$$

Όπου r_p ο συντελεστής συσχέτισης τάξης p , σ_z η τυπική απόκλιση της στάσιμης πραγματικής χρονοσειράς και σ_a η θεωρητική τυπική απόκλιση της συνθετικής χρονοσειράς.

Έτσι για κάθε χρονική στιγμή t της συνθετικής χρονοσειράς, το μοντέλο AR(2) περιγράφεται από τις εξισώσεις:

$$Z_t = \phi_1 \cdot Z_{t-1} + \phi_2 \cdot Z_{t-2} + a_t \quad AR(2).1$$

όπου

$$r_1 = \phi_1 + \phi_2 \cdot r_1$$

$$r_2 = \phi_1 \cdot r_1 + \phi_2$$

ή

$$\phi_1 = r_1 \cdot (1 - r_2)(1 - r_1^2) \quad AR(2).2\alpha$$

$$\phi_2 = r_2 - \phi_1 \cdot r_1 \quad AR(2).2\beta$$

και

$$\sigma_a = \sigma_z \cdot (1 - \phi_1 \cdot r_1 - \phi_2 \cdot r_2) \quad AR(2).3$$

Οι συντελεστές $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$ σχετίζονται με τους συντελεστές αυτοσυσχέτισης r_1, r_2, r_p αντίστοιχα της στάσιμης ιστορικής χρονοσειράς. Μια στοχαστική διαδικασία, όπως είναι οποιαδήποτε χρονοσειρά, μπορεί να θεωρηθεί σαν μια συλλογή πολλών τυχαίων μεταβλητών. Κάθε παρατήρηση, αντιπροσωπεύει και μια τέτοια μεταβλητή. Έτσι συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών X_t και X_{t+k} (όπου k ακέραιος) αποκτά το εξής νόημα: δείχνει τον βαθμό της στατιστικής εξάρτησης μεταξύ δύο παρατηρήσεων που έγιναν τις χρονικές στιγμές t και $t+k$. Επειδή οι X_t και X_{t+k} είναι δύο τυχαίες μεταβλητές της ίδιας στοχαστικής διαδικασίας η συσχέτιση τους παίρνει την ειδικότερη ονομασία αυτοσυσχέτιση.

Για παράδειγμα, σε ένα δείγμα n παρατηρήσεων (X_1, X_2, \dots, X_n) δημιουργούνται $n-k$ ζεύγη της μορφής (X_t, X_{t+k}) . Δηλαδή $(X_{k+1}, X_1), (X_{k+2}, X_2) \dots (X_n, X_{n-k})$ στο καθένα από τα οποία ο πρώτος αριθμός αντιστοιχεί στην μεταβλητή X_t , ενώ ο δεύτερος στην μεταβλητή X_{t+k} , όπως παρακάτω:

N	X_t	$X_{t+1} (k=1)$		X_t	$X_{t+2} (k=2)$
1	1			1	
2	7	1		7	
3	5	7		5	1
4 (=n)	3	5		3	7
		3			5
					3

Εφαρμόζοντας τη σχέση υπολογισμού του συντελεστή συσχέτισης για τις δύο αυτές χρονοσειρές υπολογίζεται ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης k τάξης:

$$r'_k = \frac{\sum_{t=1}^{N-k} (X_t - \bar{X}_t) \cdot (X_{t+k} - \bar{X}_{t+k})}{\sqrt{\sum_{k=1}^{N-k} (X_t - \bar{X}_t)^2 \cdot \sum_{t=1}^{N-k} (\bar{X}_{t+k} - \bar{X}_{t+k})^2}}$$

όπου

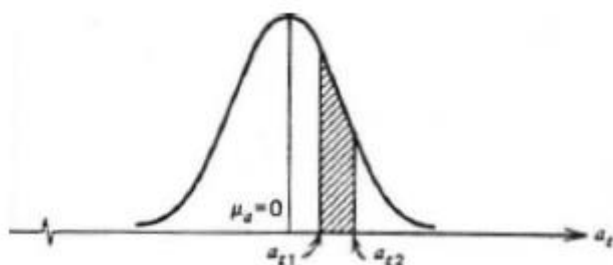
k το χρονικό βήμα της μετατόπισης

\bar{X}_t η μέση τιμή της σειράς στη θέση t

\bar{X}_{t+k} η μέση τιμή της σειράς στη θέση $t+k$

Στις AR(p).1, AR(p).2 και AR(p).3 οι όροι $\Phi_1, Z_{t-1}, \Phi_2, Z_{t-2}, \dots$, αποτελούν το προβλέψιμο μέρος της Z_t , ενώ ο όρος a_t είναι μια καθαρά πιθανοτική μεταβλητή, η οποία δεν μπορεί να προβλεφθεί μέσα από το μοντέλο AR και για την οποία γίνεται η υπόθεση ότι έχει κάποιες συγκεκριμένες στατιστικές ιδιότητες.

Εξαιτίας του τυχαίου σφάλματος a_t , μια διαδικασία AR (όπως και κάθε διαδικασία ARIMA) παράγει προβλέψεις με κάποιο στοχαστικό τρόπο. Οι όροι a_t σε μια διαδικασία AR, θεωρούνται ότι είναι ανεξάρτητες τυχαίες μεταβλητές που ακολουθούν κανονική κατανομή με μηδενική μέση τιμή και σταθερή διακύμανση. Τέτοιες μεταβλητές ονομάζονται «λευκός θόρυβος». Στο Σχήμα 4.1 παρουσιάζεται η θεώρηση αυτή (Ασημακόπουλος, 2007). Ο χώρος ανάμεσα στη καμπύλη μεταξύ των οποιονδήποτε τιμών a_{t1} και a_{t2} ισούται με την πιθανότητα να βρίσκεται το a_t μέσα σε αυτό το εύρος.



Εικόνα 4-1: Στατιστική κατανομή σφάλματος ή στοχαστικό τμήμα πρόβλεψη) (Ασημακόπουλος, 2007)

Έτσι ο όρος a_t μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω εξίσωση:

$$a_t = \sigma_a \cdot \text{RN}(0,1)$$

Όπου:

σ_a η θεωρητική τυπική απόκλιση της συνθετικής χρονοσειράς

$RN(0,1)$ ένας τυχαίος αριθμός που ακολουθεί κανονική κατανομή με μέση τιμή 0 και τυπική απόκλιση 1.

4.2.3.1 Παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών με το ομοίωμα AR(2)

Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω, για την παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών παροχής, θερμοκρασίας και βροχόπτωσης, με χρήση του μοντέλου AR(2), αναπτύχθηκε η μέθοδος που παρουσιάζεται στη συνέχεια σε διαδοχικά απλά βήματα. Για λόγους συντομίας παρακάτω, η θερμοκρασία αναφέρεται με τον όρο T, ενώ η παροχή και η βροχόπτωση με τους όρους Q και P αντίστοιχα.

Η διαδικασία που περιγράφεται παρακάτω με αριθμημένα βήματα, έγινε ξεχωριστά για τα τρία μεγέθη Q, P και T. Επιπλέον, επειδή η διερεύνηση της διακινδύνευσης γίνεται για τρεις διαφορετικές χρονικές περιόδους, 2015-2050, 2015-2070 και 2015-2100, θα δημιουργηθούν ξεχωριστές συνθετικές χρονοσειρές των μεγεθών Q, P και T, για την κάθε περίοδο, προκειμένου να διατηρούνται τα στατιστικά χαρακτηριστικά του δείγματος. Δηλαδή, δημιουργούνται συνθετικές χρονοσειρές μήκους 35, 55 και 85 ετών αντίστοιχα, για το κάθε ένα από τα τρία μεγέθη.

1. Εισαγωγή μηνιαίων τιμών ιστορικών χρονοσειρών Q, P, T μετά την επεξεργασία – συμπλήρωσή τους.
2. Εύρεση των στατιστικών χαρακτηριστικών της χρονοσειράς δηλαδή της μέσης τιμής, της διασποράς και της τυπικής απόκλισης. Αν N είναι το πλήθος των μηνιαίων τιμών της χρονοσειράς τότε τα μεγέθη αυτά θα υπολογιστούν από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\text{Μέση τιμή: } \bar{X} = \sum_{i=1}^N \frac{X_i}{N}$$

$$\text{Διασπορά: } \sigma_z^2 = \frac{1}{N * \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}$$

$$\text{Τυπική απόκλιση: } \sigma_z = \sqrt{\sigma_z^2}$$

3. Εύρεση των συντελεστών αυτοσυσχέτισης 1^{ης} και 2^{ης} τάξης της ιστορικής χρονοσειράς. Ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης της σειράς μετατοπισμένης κατά k χρονικά βήματα (συντελεστής k τάξεως) είναι:

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{N-K} (X_t - \bar{X}_t)(X_{t-k} - \bar{X}_{t-k})}{\sqrt{\sum_{t=1}^{N-K} (X_t - \bar{X}_t)^2 \sum_{t=1}^{N-K} (X_{t-k} - \bar{X}_{t-k})^2}}$$

k το χρονικό βήμα της μετατόπισης

\bar{X}_t η μέση τιμή της σειράς στη θέση t

$\overline{X_{t-k}}$ η μέση τιμή της σειράς στη θέση t-k

4. Μονιμοποίηση (στασιμοποίηση) των ιστορικών πραγματικών χρονοσειρών μηνιαίων τιμών Q, P, T. Η μονιμοποίηση γίνεται με αφαίρεση από την κάθε τιμή του μέσου όρου και διαίρεση του υπολοίπου με την τυπική απόκλιση. Με τον τρόπο αυτό εξαλείφονται οι συστηματικές αλλαγές στη μέση τιμή και στη διασπορά και παραμένουν μόνο η κυκλικότητα που αντιπροσωπεύει τον κλιματικό παράγοντα και το στοχαστικό μέρος της χρονοσειράς (μη κανονικές διακυμάνσεις). Η διαδικασία αυτή γίνεται για κάθε τιμή ανάλογα με το μήνα στον οποίο ανήκει η παρατήρηση. Χρησιμοποιείται δηλαδή η μέση μηνιαία τιμή και η αντίστοιχη τυπική απόκλιση για κάθε μήνα του έτους ώστε να εξαλειφθεί η ισχυρότατη εποχικότητα της αρχικής ιστορικής χρονοσειράς. Παρακάτω δίνεται η σχέση με την οποία θα γίνει η μονιμοποίηση:

$$x_1(i, j) = \frac{[X(i, j) - \bar{X}(j)]}{\sigma_z(j)}$$

Όπου:

- $x_1(i, j)$ η μονιμοποιημένη τιμή του μεγέθους
 $X(i, j)$ η πραγματική μηνιαία τιμή του μεγέθους
 j η τάξη του μήνα
 i η τάξη του έτους
 $\bar{X}(j)$ η πραγματική μέση τιμή για το μήνα j
 $\sigma_z(j)$ η πραγματική τυπική απόκλιση για το μήνα j .

5. Εύρεση των στατιστικών χαρακτηριστικών της μονιμοποιημένης χρονοσειράς.
6. Εύρεση των συντελεστών αυτοσυσχέτισης 1^{ης} και 2^{ης} τάξης r_1 και r_2 της μονιμοποιημένης χρονοσειράς.
7. Εύρεση των συντελεστών Φ_1 και Φ_2 καθώς και της θεωρητικής τυπικής απόκλισης σ_a για το μοντέλο AR(2) σύμφωνα με τις εξισώσεις:

$$\Phi_1 = r_1 \cdot (1 - r_2)(1 - r_1 r_2)$$

$$\Phi_2 = r_2 - \Phi_1 \cdot r_1$$

$$\sigma_a = \sigma_z \cdot (1 - \Phi_1 \cdot r_1 - \Phi_2 \cdot r_2)$$

Σημειώνεται ότι ο όρος σ_z αναφέρεται στην τυπική απόκλιση της μονιμοποιημένης πραγματικής χρονοσειράς!

8. Παραγωγή από τον υπολογιστή τυχαίων κανονικών αριθμών RN με μέσο όρο 0 και τυπική απόκλιση 1:

$$RN(t) = RN(0,1) \text{ για } t=1 \text{ έως } n*12$$

Όπου το n είναι 35 ή 55 ή 85 ανάλογα την περίοδο μελέτης για την οποία φτιάχνεται η χρονοσειρά.

9. Εφαρμογή του μοντέλου AR(2) και παραγωγή μιας ξεχωριστής συνθετικής χρονοσειράς Z_t ($Z_0=0$) παροχών, θερμοκρασιών ή βροχοπτώσεων μήκους 35, 55 και 85 ετών για το μοντέλο σύμφωνα με τις εξισώσεις:

$$Z_t = \Phi_1 Z_{t-1} + \Phi_2 Z_{t-2} + a_t$$
$$a_t = \sigma_a - RN(t)$$

10. Είναι γνωστό ότι όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος της προσομοίωσης τόσο μικραίνει η αβεβαιότητα. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας επιλέχθηκε να δημιουργηθούν 20 χρονοσειρές για κάθε μεταβλητή Q, P, T και για καθεμία από τις χρονικές περιόδους μελέτης.
11. Απομονιμοποίηση των συνθετικών χρονοσειρών. Πρόκειται ουσιαστικά για την αντίστροφη διαδικασία από τη μονιμοποίηση. Η συνθετική χρονοσειρά χωρίζεται σε 12 ομάδες που αποτελούνται από n τιμές η καθεμία (όπου n είναι 35 ή 55 ή 85 έτη). Η κάθε ομάδα αντιπροσωπεύει ένα μήνα. Η σειρά ή ο τρόπος ομαδοποίησης δεν έχει σημασία, καθώς πρόκειται για μόνιμες χρονοσειρές. Στη συνέχεια η τιμή i κάθε ομάδας j απομονιμοποιείται σύμφωνα με τη σχέση:

$$\bar{X}(i, j) = x_1(i, j) \times \sigma_z(j) + \bar{X}(j)$$

όπου

$x_1(i, j)$	η συνδετική μονιμοποιημένη τιμή
$X(i, j)$	η συνδετική μηνιαία
j	η τάξη του μήνα
i	η τάξη του έτους
$\bar{X}(j)$	Η πραγματική μέση τιμή για το μήνα j της ιστορικής χρονοσειράς
$\sigma_z(j)$	η πραγματική τυπική απόκλιση για το μήνα j της ιστορικής χρονοσειράς

13. Εύρεση των στατιστικών χαρακτηριστικών της συνθετικής χρονοσειράς, τα οποία θα πρέπει όσον αφορά το μέσο όρο και τη διασπορά να συμφωνούν με τα αντίστοιχα μεγέθη της πραγματικής χρονοσειράς παροχών.

14. Εύρεση των συντελεστών αυτοσυσχέτισης 1ης και 2ης τάξης της απομονιμοποιημένης συνθετικής χρονοσειράς, οι οποίοι θα πρέπει να συμφωνούν με τα αντίστοιχα μεγέθη της πραγματικής χρονοσειράς.

Τα αποτελέσματα των χρονοσειρών παρατίθενται στον παρακάτω Πίνακα 4.1:

Πίνακας 4-1: Αποτελέσματα συνθετικών χρονοσειρών

Q (m³/s)												
	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
Ιστορική Χρονοσειρά (1950 - 2012)												
μ	11,8	22,0	40,8	25,6	28,8	30,5	34,4	26,0	11,4	5,4	4,2	4,6
σ_v	8,3	13,0	20,9	9,8	10,6	11,4	11,8	9,5	3,7	1,7	1,3	2,0
ρ(1)	0,447											
ρ(2)	0,219											
AR(2) - 35												
μ	12,7	24,7	40,7	23,6	29,5	29,3	33,5	23,9	10,7	5,5	4,1	4,3
σ_v	7,2	14,1	22,3	9,7	10,5	12,8	12,7	8,6	3,4	1,9	1,5	1,7
ρ(1)	0,478											
ρ(2)	0,217											
AR(2) - 55												
μ	13,6	22,8	43,0	25,8	28,7	30,2	35,0	25,6	12,2	5,6	4,3	4,7
σ_v	7,5	13,0	19,2	9,2	9,5	11,4	12,2	10,9	3,7	1,4	1,2	1,9
ρ(1)	0,457											
ρ(2)	0,243											
AR(2) - 85												
μ	11,8	21,5	38,4	26,1	29,6	29,9	34,3	25,3	11,6	5,3	4,1	4,4
σ_v	8,5	10,2	19,0	9,9	10,4	10,6	11,1	8,8	4,0	1,9	1,3	2,1
ρ(1)	0,431											
ρ(2)	0,240											
P (mm)												
	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
Ιστορική Χρονοσειρά (1987 - 2012)												
μ	115,5	149,6	161,2	76,5	93,2	81,2	76,1	57,3	36,2	26,7	19,7	68,0
σ_v	72,2	75,6	76,1	53,9	60,6	48,4	26,7	32,7	23,4	22,2	9,0	49,9
ρ(1)	0,070											
ρ(2)	0,020											
AR(2) - 35												
μ	105,7	148,3	181,2	81,1	98,0	85,4	76,3	66,7	33,2	28,0	20,6	63,8
σ_v	65,4	82,9	92,1	54,5	47,9	52,5	29,5	40,9	20,1	17,2	6,4	47,4
ρ(1)	0,076											
ρ(2)	0,014											
AR(2) - 55												
μ	130,5	172,3	174,6	77,6	106,9	84,5	81,4	57,4	43,5	28,5	19,2	72,1
σ_v	68,6	73,4	65,4	51,4	60,0	47,3	24,0	34,0	23,4	19,0	10,4	46,9
ρ(1)	0,071											
ρ(2)	0,027											
AR(2) - 85												
μ	115,3	156,3	167,6	84,9	95,4	83,5	75,0	52,1	36,9	27,2	20,9	73,8
σ_v	66,2	73,5	79,3	55,8	60,5	48,2	28,4	32,7	22,6	20,0	8,2	49,2
ρ(1)	0,083											
ρ(2)	0,031											

	T (°C)											
	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
Ιστορική Χρονοσειρά (1987 - 2004)												
μ	15,8	10,2	6,1	5,5	6,6	9,5	12,7	18,1	23,0	25,4	24,7	20,0
σ_v	1,5	1,5	1,9	1,6	1,9	2,0	1,3	1,7	1,0	1,3	1,8	1,5
$\rho(1)$	0,234											
$\rho(2)$	0,068											
AR(2) - 35												
μ	15,3	10,4	6,3	5,6	6,7	9,1	12,4	18,4	23,1	25,4	25,3	20,1
σ_v	1,4	1,5	1,6	1,5	1,7	1,9	1,4	2,0	1,3	1,5	2,3	1,4
$\rho(1)$	0,285											
$\rho(2)$	0,066											
AR(2) - 55												
μ	15,9	10,3	6,0	5,2	6,5	9,3	12,6	18,1	22,9	25,2	24,7	20,1
σ_v	1,3	1,4	1,4	1,4	2,2	2,0	1,2	1,5	1,0	1,0	1,6	1,6
$\rho(1)$	0,230											
$\rho(2)$	0,071											
AR(2) - 85												
μ	16,1	10,2	6,1	5,3	6,6	9,4	12,5	18,2	23,0	25,7	24,7	20,2
σ_v	1,4	1,7	1,8	1,5	1,7	2,1	1,4	1,5	0,8	1,4	1,8	1,6
$\rho(1)$	0,235											
$\rho(2)$	0,078											

4.2.4 Αρδευτικές ανάγκες

Για τον υπολογισμό των αρδευτικών αναγκών των καλλιεργειών γίνεται υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής. Η εξατμισοδιαπνοή (ETc), είναι το σύνθετο φαινόμενο της απώλειας νερού από το φυτό με την διαπνοή (από τους ιστούς του φυτού), μέσω των στομάτων του φυλλώματος με τη μορφή υδρατμών και ανταλλαγής αερίων, της εξάτμισης υγρασίας από την επιφάνεια του φυλλώματος, και της εξάτμισης νερού από την γυμνή επιφάνεια του εδάφους. Η εξατμισοδιαπνοή (ETc) είναι ένας δείκτης του πόσο νερό χρειάζονται οι καλλιέργειες για την άριστη ανάπτυξη και παραγωγικότητα. Άρα η εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής (ETc), αντιστοιχεί με την εκτίμηση των υδατικών αναγκών των φυτών, για την απόληψη θρεπτικών από το έδαφος, την φωτοσύνθεση, τη δέσμευση ηλιακής ενέργειας και άνθρακα ως CO₂ από την ατμόσφαιρα και την διαπνοή υδρατμών (Σαμαράς, Hydrosense).

Η εξατμισοδιαπνοή μπορεί να υπολογιστεί με άμεσο ή με έμμεσο τρόπο.

Άμεσοι μέθοδοι εκτίμησης της εξατμισοδιαπνοής είναι:

1. Δεξαμενές
2. Λυσίμετρα
3. Χρήση αργροτεμαχίων

Έμμεσοι τρόποι υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής είναι:

1. Μέθοδοι υδατικού ισοζυγίου
2. Μέθοδοι προσδιορισμού δυνητικής εξατμισοδιαπνοής από κλιματικά δεδομένα (Penman – Monteith, Thornthwaite, Blaney - Criddle, Hargreaves)

Μέθοδος Blaney - Criddle

Η μέθοδος χρησιμοποιεί την εμπειρική σχέση (1) ανάμεσα στην εξατμισοδιαπνοή, τη μέση θερμοκρασία του αέρα και το μέσο ποσοστό ωρών ημέρας.

$$ET = k \times F = k \times \frac{(1,8 \times T + 32) \times p}{3,94} \quad (1)$$

Όπου:

- **ET** είναι η μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή σε mm
- **k** είναι ένας εμπειρικός συντελεστής που αναφέρεται στη συγκεκριμένη καλλιέργεια, (συντελεστής καλλιέργειας)
- **T** είναι η μέση μηνιαία θερμοκρασίας του αέρα σε °C
- **p** το ποσοστό ωρών ημέρας του μήνα

Εναλλακτικά το p υπολογίζεται από τη σχέση:

$$p = \frac{N \times \mu}{365 \times 12}$$

Όπου:

- **N** η μέση αστρονομική διάρκεια της ημέρας σε h
- **μ** ο αριθμός ημερών του συγκεκριμένου μήνα

(Μπαλτάς, Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων)

Πίνακας 4-2: Μηνιαία ποσοστά ωρών ημέρας % των ωρών ημέρας του έτους

Β.Γεωγ · Πλάτο ς	Μήνας											
	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
24	7.58	7.17	8.40	8.60	9.30	9.20	9.41	9.05	8.31	8.09	7.43	7.46
26	7.49	7.12	8.40	8.64	9.38	9.49	9.10	8.31	8.06	9.30	7.36	7.35
28	7.40	7.07	8.39	8.68	9.46	9.38	9.58	9.16	8.32	8.02	7.27	7.27
30	7.30	7.03	8.38	8.72	9.53	9.49	9.67	9.22	8.34	7.99	7.19	7.14
32	7.20	6.97	8.37	8.75	9.63	9.60	9.77	9.28	8.34	7.93	9.11	7.05
34	7.10	6.91	8.36	8.80	9.72	9.70	9.88	9.33	8.36	7.90	7.02	6.92
36	6.99	6.86	8.35	8.85	9.81	9.83	9.99	9.40	8.36	7.85	6.92	6.79
38	6.87	6.79	8.34	8.90	9.92	9.95	10.10	9.47	8.38	7.90	6.82	6.66
40	6.76	6.73	8.33	8.95	10.02	10.08	10.22	9.54	8.38	7.75	6.72	6.52
42	6.62	6.65	8.31	9.00	10.14	10.21	10.35	9.62	8.40	7.70	6.62	6.38
44	6.40	6.58	8.30	9.05	10.26	10.38	10.49	9.70	8.41	7.63	6.49	6.22
46	6.33	6.50	8.29	9.12	10.39	10.54	10.64	9.79	8.42	7.58	6.36	6.04
48	6.17	6.42	8.27	9.18	10.53	10.71	10.80	9.89	8.44	7.51	6.22	5.86
50	5.98	6.32	8.25	9.25	10.69	10.93	10.99	10.00	8.44	7.43	6.07	5.65

Ανάλυση διακινδύνευσης κάλυψης των αρδευτικών αναγκών στην περιοχή της Κόνιτσας κάτω από μεταβαλλόμενες συνθήκες

Πίνακας 4-3: Τιμές εποχιακού φυτικού συντελεστή Κ (σχέση Blaney – Criddle)

ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ	Διάρκεια βλαστικής Περιόδου σε μήνες	Κ
Μηδική Αραβόσπιτος Βάμβαξ	Μεταξύ Παγετών 4 7	0.80 - 0.85 0.75 - 0.85 0.60 - 0.70
Σιτηρά Εσπεριδοειδή Φυλλοβόλα οπωροφόρα	3 12 Μεταξύ Παγετών	0.75 - 0.85 0.45 - 0.55 0.60 - 0.70
Φυτικό λιβάδι Πατάτα Όρυζα	Μεταξύ Παγετών 3-5 3-5	0.75 - 0.85 0.65 - 0.75 1.00 - 1.10
Σακχαρότευτλα Τομάτα Λαχανικά	6 4 2-4	0.65 - 0.75 0.65 - 0.70 0.60 - 0.70

Πίνακας 4-4: Μηνιαίοι φυτικοί συντελεστές αρδευόμενων καλλιεργειών (σχέση Blaney – Criddle)

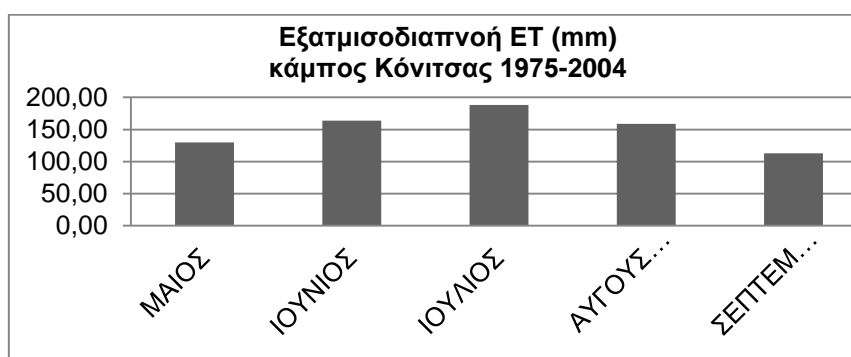
Καλλιέργ.	Περιοχή	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ
Μηδική	Θερμή, Πεδινή												
"	Παραθαλ. Υψηλή	0.35	0.45	0.60	0.70	0.85	0.95	1.00	1.00	0.95	0.80	0.55	0.30
Αβοκάντο	Εσωτερική Πεδινή	-	-	-	0.37	0.56	0.75	0.92	1.00	1.03	0.98	0.82	-
Αραβόσπιτος	Παραθαλ.	-	-	0.57	0.78	0.93	1.02	1.01	0.95	0.84	0.63	0.42	-
Βαμβάκι	Πεδινή Εσωτερική	0.15	0.25	0.40	0.52	0.63	0.73	0.75	0.69	0.60	0.48	0.32	0.19
Χλοοτάπητας	Πεδινή Εσωτερική	-	-	-	-	0.12	0.40	0.60	0.62	0.45	-	-	-
Πεπόνια	Παραθαλ.	-	-	-	-	0.30	0.45	0.90	1.00	1.00	-	-	-
Οπωροφόρα	-	0.24	0.38	0.55	0.70	0.88	0.92	0.94	0.92	0.80	0.72	0.54	0.35
φυλλοβό	-	-	-	-	-	-	0.45	0.70	0.74	0.64	-	-	-
λα	-	-	-	0.23	0.45	0.70	0.85	0.88	0.85	0.47	0.20	-	-
Λεμονιά	Παραθαλ.	0.27	0.34	0.40	0.46	0.50	0.53	0.54	0.54	0.52	0.48	0.43	0.30
Πορτοκαλιά	Ενδιάμεση	0.33	0.39	0.45	0.50	0.54	0.56	0.57	0.57	0.56	0.53	0.47	0.38
"	Εσωτερική	0.37	0.44	0.49	0.54	0.57	0.60	0.62	0.62	0.60	0.57	0.51	0.43
"	Εσωτερική	-	-	0.13	0.30	0.55	0.84	0.98	0.88	0.60	0.37	0.20	-
Καρυδιά	Εσωτερική	-	-	0.10	0.27	0.42	0.52	0.57	0.55	0.35	0.15	-	-
Βοσκές	Εσωτερική, Υψηλή	-	-	0.16	0.45	0.65	0.75	0.78	0.74	0.55	0.20	-	-
"	Εσωτερική	-	-	-	0.45	0.80	0.95	0.90	-	-	-	-	-
Πατάτα	Εσωτερική, Ξηρή	-	-	-	-	-	0.40	1.00	0.85	0.70	-	-	-
Σόργον	Εσωτερική	-	-	-	0.31	0.69	0.96	1.01	0.83	-	-	-	-
Σακχαρότ.	Ενδιάμεση	-	-	-	0.37	0.42	0.43	0.44	0.43	0.38	-	-	-
"	Παραθαλ.	0.32	0.60	0.98	1.08	0.45	-	-	-	-	-	-	0.15
"	-	0.20	0.40	0.80	1.10	0.60	-	-	-	-	-	-	-
Κριθάρι	Εσωτερική, Ξηρή	-	-	-	-	0.41	0.74	0.93	0.98	0.89	-	-	-
Σιτάρι	Εσωτερική	-	-	-	0.23	0.49	0.67	0.78	0.78	0.64	0.40	-	-
Τομάτα	Παραθαλ.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Λαχανικά	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Για την περιοχή μελέτης, σύμφωνα με τα γεωγραφικά δεδομένα και τις υφιστάμενες καλλιέργειες με την αντίστοιχη κατανομή, φτιάχνεται ο παρακάτω Πίνακας 4.5 που συμπεριλαμβάνει όλα τα στοιχεία για τον κάμπο ης Κόνιτσας που υπεισέρχονται στον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής ET, με τη μέθοδο Blaney – Criddle. Ως αρδευτική περίοδος λαμβάνεται η ξηρή περίοδος Μάιος – Σεπτέμβριος.

Πίνακας 4-5: Τιμές εποχικού φυτικού συντελεστή k και ποσοστό ωρών ημέρας p

	ποσοστό καλλιέργ.	ΜΑΙΟΣ		ΙΟΥΝΙΟΣ		ΙΟΥΛΙΟΣ		ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ		ΣΕΠΤΕΜ.	
		%	p	k	p	k	p	k	p	k	p
Αραβόσιτος	0,54	10,05	0,93	10,11	1,02	10,25	1,09	9,56	0,95	8,39	0,84
Μηδική	0,33	10,05	0,85	10,11	0,95	10,25	1,00	9,56	1,00	8,39	0,95
Οπωρώνες	0,02	10,05	0,70	10,11	0,85	10,25	0,88	9,56	0,85	8,39	0,47
Κηπευτικά	0,01	10,05	0,49	10,11	0,67	10,25	0,78	9,56	0,78	8,39	0,64
Πατάτες	0,01	10,05	0,69	10,11	0,96	10,25	1,01	9,56	0,85	8,39	0,00

Έτσι, χρησιμοποιώντας τα ιστορικά δεδομένα της μέσης θερμοκρασίας του αέρα για την Κόνιτσα, το διάστημα 1975 – 2004 υπολογίστηκαν οι συνολικές αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών του κάμπου (Σχήμα 4.2). Οι συνολικές καλλιεργήσιμες εκτάσεις ανέρχονται σε 11.493 στρέμματα.



Σχήμα 4-2: Μέσες μηνιαίες αρδευτικές ανάγκες κάμπου Κόνιτσας για τα έτη 1975 - 2004

Παρατηρείται ότι η εξαμυσοδιαπνοή εμφανίζεται πιο αυξημένη το μήνα Ιούλιο, οπότε και η μέση θερμοκρασία του αέρα είναι μεγαλύτερη. Αντίστοιχα, οι χαμηλότερες τιμές εντοπίζονται το μήνα Σεπτέμβριο.

Αντίστοιχα οι συνθετικές χρονοσειρές των θερμοκρασιών που παρήχθησαν όπως επεξηγήθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, μετατράπηκαν με τον παραπάνω τρόπο από θερμοκρασίες (T) σε εξαμυσοδιαπνοή (ET). (Πίνακας 4.6)

Πίνακας 4-6: Τιμές δυνητικής εξαμυσοδιαπνοής ET με βάση τις συνθετικές χρονοσειρές της θερμοκρασίας

ET (mm)					
	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
Ιστορική Χρονοσειρά (1987 - 2004)					
μ	129,92	163,75	187,99	158,90	113,07
AR(2) - 35					
μ	132,60	166,92	190,84	160,57	112,71
AR(2) - 55					
μ	132,10	166,82	190,56	160,44	112,38
AR(2) - 85					
μ	131,89	166,83	190,72	160,44	112,57

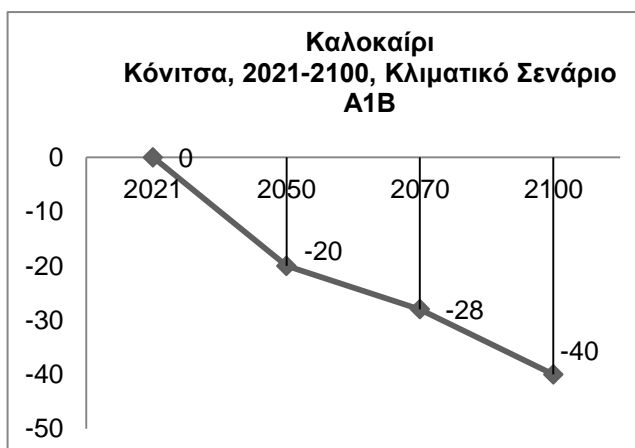
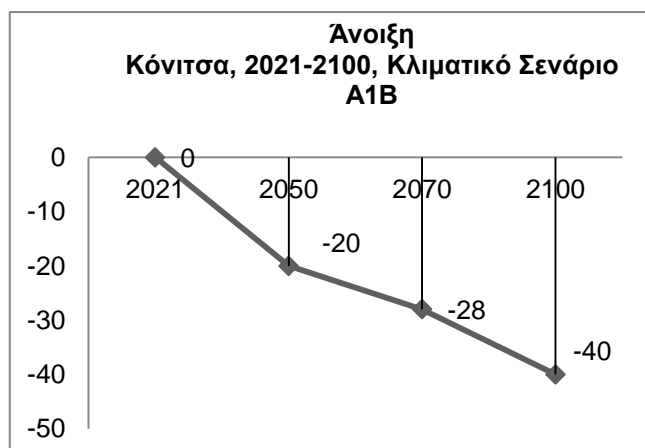
4.2.5 Κλιματικά

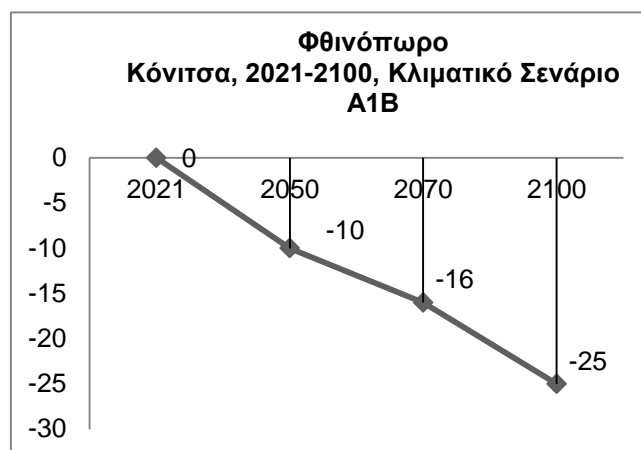
Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, στόχος της εργασίας είναι να γίνει διερεύνηση της μεταβολής της διακινδύνευσης κάλυψης των αρδευτικών αναγκών του κάμπου της Κόνιτσας, πριν και μετά της επίδρασης διάφορων κλιματικών μεταβολών. Οι κλιματικές μεταβολές που εξετάστηκαν, αναλύθηκαν στο Κεφάλαιο 3.5. Σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο που επιλέχτηκε, όλα τα παραπάνω δεδομένα μετατράπηκαν σε κλιματικά. Δηλαδή, οι σταθεροποιημένες συνθετικές χρονοσειρές των μεταβλητών Q, P και T, για τις τρεις χρονικές περιόδους μελέτης, 2015-2015, 2015-2070 και 2015-2100, μετατράπηκαν σε Q_{clim} , P_{clim} και T_{clim} (στη συνέχεια $T_{clim} \rightarrow ET_{clim}$), αντίστοιχα. Στη συνέχεια περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο εφαρμόστηκαν οι κλιματικές μεταβολές στις χρονοσειρές των τριών μεγεθών.

Η βροχόπτωση στην περιοχή της Κόνιτσας θα παρουσιάσει μείωση κατά τους θερινούς, τους εαρινούς και τους φθινοπωρινούς μήνες. Η μείωση αυτή, φαίνεται να είναι μεγαλύτερη κατά το πρώτο χρονικό διάστημα ως το 2050, με ποσοστό μείωσης 20% τους μήνες Μάιο έως Αύγουστο και μείωση 10% το Σεπτέμβρη. Κατά την επόμενη εικοσαετία 2051-2070 η συνολική μείωση θα φτάσει το 28% και 16%, αντίστοιχα. Τέλος, στην τελική ημερομηνία 2100, οι βροχοπτώσεις θα έχουν μειωθεί κατά 40% τους μήνες Μάιο έως Αύγουστο και μείωση 25% το Σεπτέμβρη.

Πίνακας 4-7: Μεταβολή βροχόπτωσης σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο A1B, για τις τρεις χρονικές περιόδους (α) 2021-2050, (β) 2021-2070 και (γ) 2021-2100

Μεταβολή Βροχόπτωσης (%)					
Χρ. Περίοδος	Άνοιξη	Καλοκαίρι			Φθινόπωρο
	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ
2021-2050	20	20	20	20	10
Βήμα (%/y)	0,67	0,67	0,67	0,67	0,33
2021-2070	28	28	28	28	16
Βήμα (%/y)	0,40	0,40	0,40	0,40	0,30
2021-2100	40	40	40	40	25
Βήμα	0,40	0,40	0,40	0,40	0,30



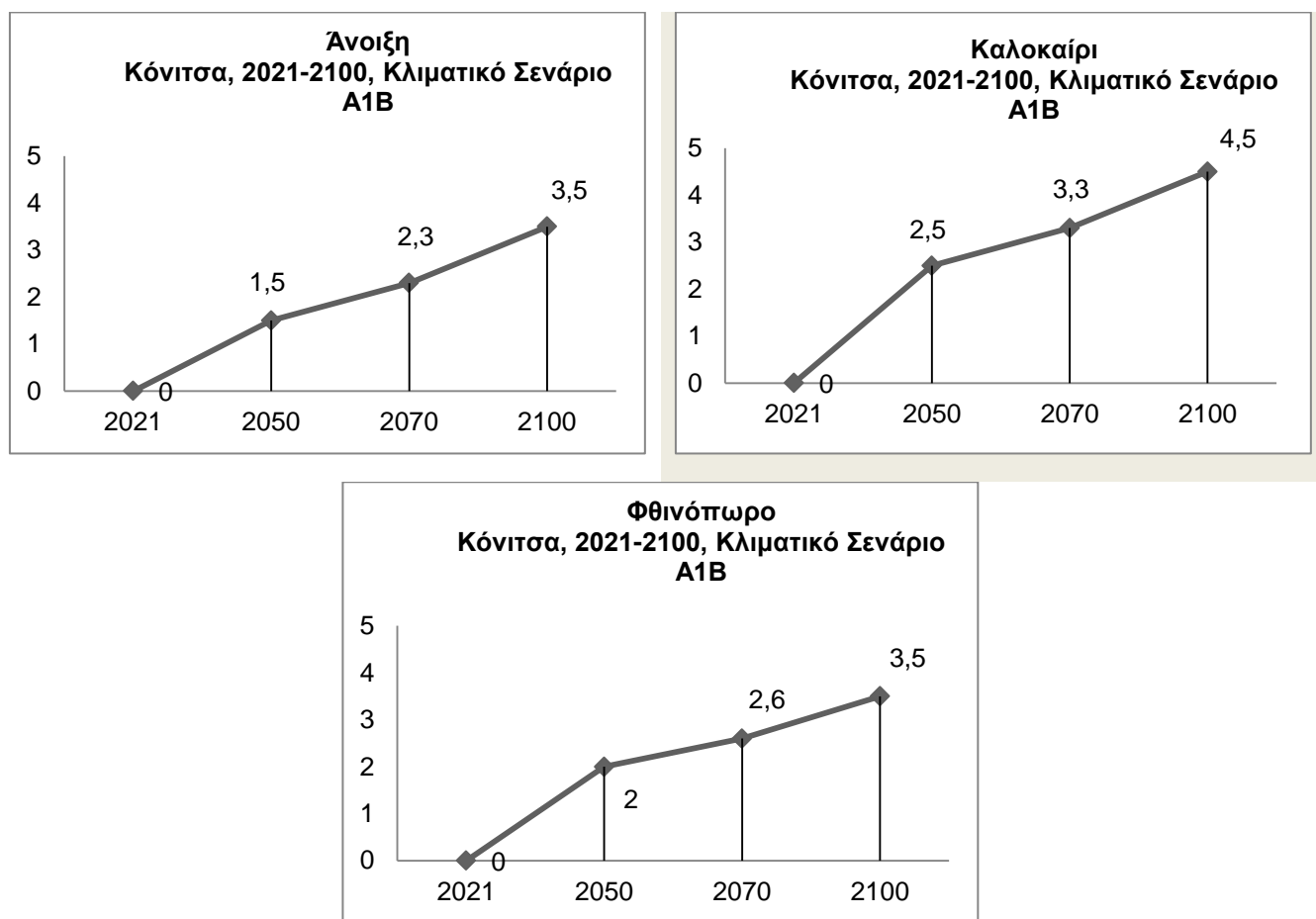


Σχήμα 4-3: Εποχιακή μεταβολή της βροχόπτωσης (%) στην περιοχή της Κόνιτσας για τα έτη 2021-2100 Κλιματικό σενάριο A1B

Η θερμοκρασία στην περιοχή της Κόνιτσας θα παρουσιάσει αύξηση κατά τους θερινούς, τους εαρινούς και τους φθινοπωρινούς μήνες. Η αύξηση αυτή, φαίνεται να είναι μεγαλύτερη κατά το πρώτο χρονικό διάστημα ως το 2050, με αύξηση της θερμοκρασίας 1,5°C το Μάιο, 2,5°C τους τρεις καλοκαιρινούς μήνες, και 2,0°C το Σεπτέμβρη. Κατά την επόμενη εικοσαετία 2051-2070, η συνολική αύξηση θα φτάσει του 2,3°C, 3,3°C και 2,6°C αντίστοιχα. Τέλος, στην τελική ημερομηνία 2100, η θερμοκρασία θα έχουν αυξηθεί κατά 3,5°C το Μάιο, 4,5°C τον Ιούνιο, τον Ιούλιο και τον Αύγουστο και 3,5°C το Σεπτέμβρη.

Πίνακας 4-8: Μεταβολή θερμοκρασίας σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο A1B, για τις τρεις χρονικές περιόδους (α) 2021-2050, (β) 2021-2070 και (γ) 2021-2100

Μεταβολή Θερμοκρασίας °C					
Χρ. Περίοδος	Άνοιξη	Καλοκαίρι			Φθινόπωρο
	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ
2021-2050	1,50	2,50	2,50	2,50	2,00
Βήμα (°C/y)	0,050	0,083	0,083	0,083	0,067
2021-2070	2,30	3,30	3,30	3,30	2,60
Βήμα(°C/y)	0,040	0,040	0,040	0,040	0,030
2021-2100	3,50	4,50	4,50	4,50	3,50
Βήμα	0,040	0,040	0,040	0,040	0,030



Σχήμα 4-4: Εποχιακή μεταβολή της θερμοκρασίας °C στην περιοχή της Κόνιτσας για τα έτη 2021-2100 Κλιματικό σενάριο A1B

Οι νέες τιμές της παροχής, οι μειωμένες παροχές δηλαδή του ποταμού στη θέση Γεφύρι Κόνιτσας, υπολογίστηκαν με δύο τρόπους.

1^{ος} Τρόπος

Έγινε μια προσπάθεια να συσχετιστούν τα δύο μεγέθη βροχή και απορροφή, χωρίς μοντελοποίηση, με απλή χρήση των τιμών του ιστορικού δείγματος.

Στόχος είναι, να δημιουργηθεί μια σχέση Q-P, με υψηλό βαθμό συσχέτισης, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη των τιμών των παροχών με γνωστές τιμές των βροχοπτώσεων.

Ο βαθμός συσχέτισης των τιμών των δύο μεγεθών πρέπει να είναι τουλάχιστον 0,7 για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί η σχέση που θα προκύψει. Η συσχέτιση των τιμών των δύο μεγεθών έγινε ανά μήνα και ύστερα από απομάκρυνση των ακραίων τιμών (outliers) επετεύχθησαν αρκετά ικανοποιητικοί βαθμοί συσχέτισης, όπως φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα 4.9.

Πίνακας 4-9: Μηνιαία γραμμική συσχέτιση των μεγεθών Q-P

ΣΧΕΣΗ Q-P ($y=a*x+b$) y:Q, x:P			
	a	b	R²
ΜΑΪΟΣ	0,800	11,170	0,716
ΙΟΥΝΙΟΣ	0,254	13,490	0,641
ΙΟΥΛΙΟΣ	0,166	8,123	0,745
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	0,233	5,393	0,636
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	0,155	2,204	0,751

Έτσι με τη χρήση των παραπάνω εξισώσεων, οι συνθετικές χρονοσειρές των παροχών (Q), μετατρέπονται σε Q_{clim} με τη χρήση των χρονοσειρών P_{clim} .

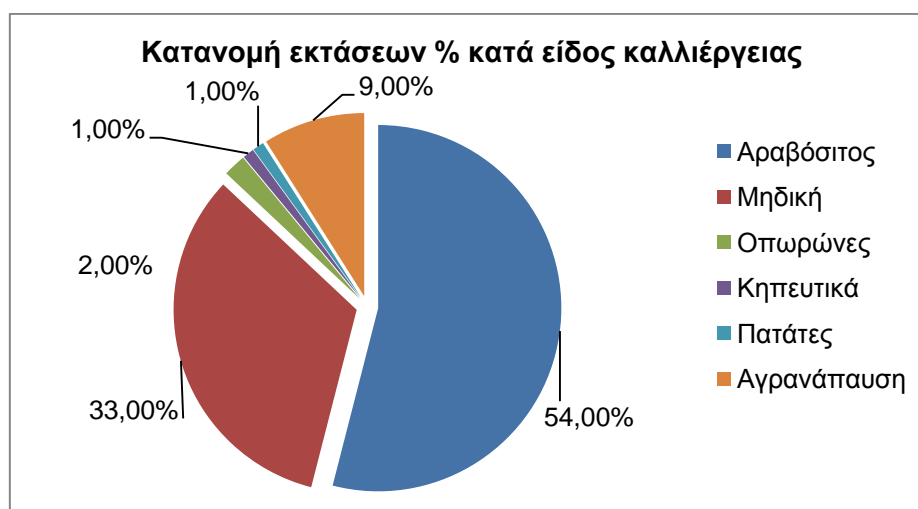
2^{ος} τρόπος

Για το λόγο ότι η παραπάνω σχέση είναι καθαρά εμπειρική και περιέχει σφάλματα, τα οποία δε γίνεται να απομακρυνθούν στην παρούσα εργασία, έγινε και ένας δεύτερος υπολογισμός του Q_{clim} . Από τη βιβλιογραφία και όπως αναλύθηκε παραπάνω (Κεφάλαιο 3.5), μελέτες που έχουν γίνει για την επίδραση της Κλιματικής Αλλαγής στον ελλαδικό χώρο έχουν δείξει ότι η μέση μείωση της παροχής του ποταμού Αώου θα είναι περίπου 17% ως το έτος 2100. (Μιμίκου, 2011)

Σύμφωνα λοιπόν με αυτήν την εκτίμηση, η παροχή Q μειώθηκε γραμμικά από το έτος 2021 ως το 2100, από 0% έως 17% και προέκυψε η νέα χρονοσειρά Q_{clim} .

4.2.6 Αλλαγή στην κατανομή των καλλιεργειών

Όλα τα στοιχεία για τις καλλιέργειες του κάμπου της Κόνιτσας, που αφορούν στις εκτάσεις και τα είδη καλλιεργειών περιγράφονται αναλυτικά στο Κεφάλαιο.3.4 Στο παρακάτω Σχήμα 4.5 φαίνονται τα κυριότερα είδη που καλλιεργούνται στον κάμπο και η συμμετοχή τους στο σύνολο των καλλιεργειών.



Σχήμα 4-5: Κατανομή εκτάσεων κάμπου Κόνιτσας κατά είδος καλλιέργειας (Περιφέρεια Ηπείρου, 2008)

Καθώς η παρούσα μελέτη γίνεται με χρονικό ορίζοντα πρόβλεψης το έτος 2100, δε θα ήταν σωστό να παραβλέψουμε τις αλλαγές που θα λάβουν χώρα στον τομέα της γεωργίας για ένα τόσο μεγάλο χρονικό διάστημα. Οι αλλαγές στα διαχειριστικά σχέδια αγροτικής πολιτικής, οι αλλαγές στην οικονομία και την πολιτική και πολλές παράμετροι μπορούν να επηρεάσουν τόσο το είδος όσο και τις καλλιεργούμενες εκτάσεις. Η πρόβλεψη και μελέτη όλων των παραπάνω στοιχείων απαιτεί χρόνο και ξεπερνά τα όρια του αντικειμένου της παρούσας εργασίας. Για την πληρότητα όμως της μελέτης έγινε μια παραδοχή, ώστε να μελετηθεί σε ένα βαθμό η επίδραση της αλλαγής στην κατανομή των καλλιεργειών, στη διακινδύνευση.

Έτσι διαμορφώνεται το δυσμενές σενάριο ότι μέχρι το 2100, όλες οι καλλιεργούμενες εκτάσεις της περιοχής, χωρίς αλλαγή της συνολικής έκτασης θα καταλαμβάνονται εξολοκλήρου από μηδική καλλιέργεια. Επιλέχθηκε η μηδική, ως η πιο υδρόφιλη καλλιέργεια σε σχέση με τις σημερινές. Έτσι υπολογίζονται νέες αρδευτικές ανάγκες ET και ET_{clim} με τη μέθοδο που περιγράφηκε παραπάνω, και αντίστοιχα θα υπολογιστούν και οι διακινδυνεύσεις με αλλαγή των καλλιεργειών σε κάθε ένα από τα σενάρια με και χωρίς κλιματική αλλαγή.

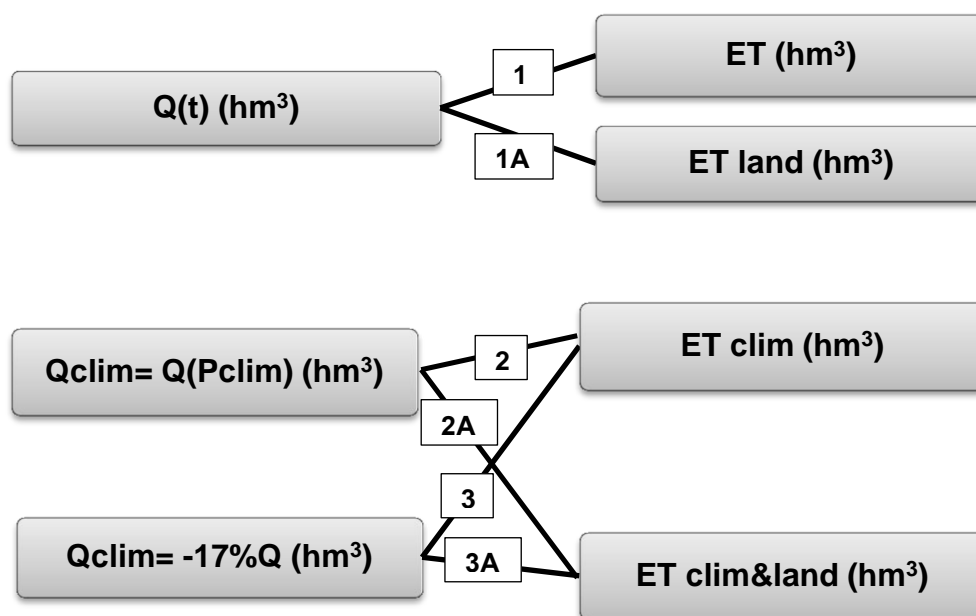
4.2.7 Υπολογισμός διακινδύνευσης

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω, έχουν πλέον υπολογιστεί οι παροχές του ποταμού στο σημείο από όπου γίνεται η απόληψη του νερού προς άρδευση, καθώς και οι αρδευτικές ανάγκες του Κάμπου. Επίσης, τα παραπάνω μεγέθη έχουν υπολογιστεί και στην περίπτωση όπου υπάρχει η επίδραση της Κλιματικής Αλλαγής στην περιοχή με δύο τρόπους (Κεφ. 4.2.5). Τέλος, λήφθηκε υπόψη και η περίπτωση της αλλαγής στην κατανομή των καλλιεργειών σε 100% υδρόφιλες (μηδική) σε κάθε περίπτωση Κλιματικής Αλλαγής και μη (Κεφ. 4.2.6). Συγκεντρωτικά τα υπολογισμένα μεγέθη φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Τα μεγέθη έχουν υπολογιστεί για τους πέντε μήνες της αρδευτικής περιόδου (Μάιος, Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος και Σεπτέμβριος) και για τις τρεις περιόδους μελέτης 2015 – 2050, 2015 – 2070 και 2015 – 2100. Επίσης κάθε μήνας έχει 20 τιμές που προέκυψαν από τις 20 συνθετικές χρονοσειρές που υπολογίστηκαν για κάθε μέγεθος.

$Q(t)$ (hm^3)	ET (hm^3)	ET land (hm^3)	$Q_{clim=}$ $Q(P_{clim})$ (hm^3)	$Q_{clim=}$ - 17%Q (hm^3)	ET clim (hm^3)	ET clim&land (hm^3)
----------------------	------------------	-----------------------	---	----------------------------------	-----------------------	-------------------------------

Τα παραπάνω μεγέθη συγκρίνονται ανά δύο και προκύπτουν τα ακόλουθα έξι σενάρια. Υπολογίζονται οι διακινδυνεύσεις για ένα σενάριο χωρίς κλιματική αλλαγή (Σενάριο 1), και για δύο σενάρια με κλιματική αλλαγή που διαχωρίζονται ανάλογα με

τον τρόπο που έχει υπολογιστεί το Q_{clim} (Σενάρια 2 και 3). Για όλα τα σενάρια έχει υπολογιστεί και διακινδύνευση στην περίπτωση που υπάρχει αλλαγή στην κατανομή των καλλιεργειών, τα σενάρια αυτά συμβολίζονται με το γράμμα A (σενάρια 1A, 2A και 3A).



Σχήμα 4-6: Σχηματοποίηση σεναρίων για τα οποία θα υπολογιστούν οι διακινδυνεύσεις

Έτσι γίνεται σύγκριση των παραπάνω μεγεθών για το αν επαρκεί η ποσότητα των υδάτων Q να καλύψει τις εκάστοτε ανάγκες ET . Επομένως:

Αν $Q \geq ET$, τότε δεν υπάρχει αστοχία

Αν $Q < ET$, τότε υπάρχει αστοχία (1)

Αν N το μήκος της συνθετικής χρονοσειράς (έτη περιόδου μελέτης), τότε η πιθανότητα μη υπέρβασης της τιμής $ET(j)$ για κάθε μήνα j υπολογίζεται ως (ορισμός της πιθανότητας):

$$P\{Q(i,j) \leq ET(j)\} = \frac{m}{N+1}$$

Όπου m ο αριθμός των αστοχιών όπως υπολογίστηκαν από τη σχέση (1)

Ο υπολογισμός της διακινδύνευσης γίνεται για κάθε ένα μήνα της αρδευτικής περιόδου χωριστά και για το σύνολο της αρδευτικής περιόδου, για κάθε ένα από τα έξι σενάρια και για τις τρεις περιόδους μελέτης. Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται όλες οι διακινδυνεύσεις που υπολογίστηκαν σε πίνακες και διαγράμματα.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ

5.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Σύμφωνα με τη διαδικασία που αναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, υπολογίστηκαν τελικά οι ζητούμενες διακινδυνεύσεις. Όλοι οι υπολογισμοί έγιναν σε περιβάλλον Microsoft Excel 2010. Όπως έχει αναλυθεί, η μελλοντική διακινδύνευση υπολογίστηκε με χρονικό ορίζοντα τα έτη 2050, 2070 και 2100. Για τις τρεις αυτές περιόδους, υπολογίστηκε διακινδύνευση στην περίπτωση που οι κλιματικές συνθήκες ακολουθούν την τάση που έχουν τις τελευταίες δεκαετίες, οι οποίες και αποτελούν την περίοδο αναφοράς για τη δημιουργία των συνθετικών χρονοσειρών, (Σενάριο 1) και στην περίπτωση όπου υπάρχει έντονη επίδραση της κλιματικής αλλαγής, σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο A1B που επιλέχθηκε μεταξύ εκείνων που υπάρχουν στη διεθνή βιβλιογραφία (Σενάρια 2 και 3). Επιπλέον, για κάθε ένα από τα παραπάνω σενάρια υπολογίστηκε και η διακινδύνευση στην περίπτωση που το είδος των καλλιεργειών μεταβληθεί και μετατραπεί σε 100% υδρόφιλες καλλιέργειες (μηδική). Τα σενάρια αυτά συμβολίζονται με το γράμμα A (Σενάρια 1A, 2A και 3A). Στον παρακάτω πίνακα 5.1 επεξηγούνται συνοπτικά τα σενάρια που μελετήθηκαν και η κωδική τους ονομασία, ώστε να είναι κατανοητά, όπως παρουσιάζονται στα διαγράμματα παρακάτω.

Πίνακας 5-1: Περιγραφή σεναρίων μελέτης και κωδική τους ονομασία

ΣΕΝΑΡΙΟ 1	S_{zero}	No Climate Change/ No Landuse Change
ΣΕΝΑΡΙΟ 1A	$S_{zero}+LC$	No Climate Change/ Landuse Change
ΣΕΝΑΡΙΟ 2	$S_{clim}(Q-P)$	Climate Change – $Q_{clim}=Q(P_{clim})$/ No Landuse Change
ΣΕΝΑΡΙΟ 2A	$S_{clim}(Q-P)+LC$	Climate Change – $Q_{clim}=Q(P_{clim})$/ Landuse Change
ΣΕΝΑΡΙΟ 3	$S_{clim}(17\%Q)$	Climate Change – $Q_{clim}=-17\%Q$/ No Landuse Change
ΣΕΝΑΡΙΟ 3A	$S_{clim}(17\%Q)+LC$	Climate Change – $Q_{clim}=-17\%$/ Landuse Change

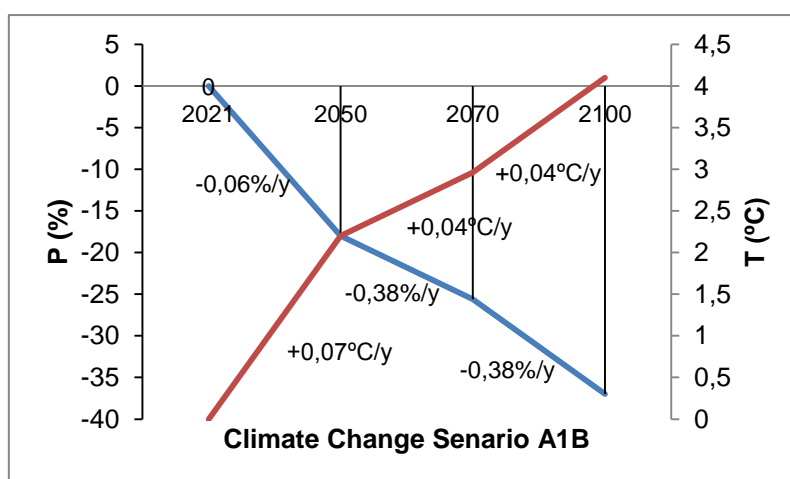
Στον Πίνακα 5.2 φαίνονται όλα τα αποτελέσματα των υπολογισμών. Η διακινδύνευση υπολογίστηκε σε επίπεδο μήνα και αρδευτικής περιόδου, ενώ έγινε για τρεις περιόδους χωριστά. Τα αποτελέσματα του πίνακα, φαίνονται σχηματικά στο Σχήμα 5.2. Στο Σχήμα 5.3 παραθέτονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών αναλυτικά ανά σενάριο, ξεχωριστά και ανά περίοδο μελέτης.

Παρατηρείται εμφανώς ότι, ο Σεπτέμβριος είναι ο μήνας που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη διακινδύνευση της αρδευτικής περιόδου, με την τιμή της να κυμαίνεται από το 1,59% έως το 3,14%. Αυτό είναι απόλυτα δικαιολογημένο, εφόσον ο Σεπτέμβριος είναι ο ξηρότερος μήνας του έτους. Οι υπόλοιποι μήνες εμφανίζουν

μικρή έως αμελητέα διακινδύνευση, που δεν ξεπερνά το 0,5%. Έτσι η διακινδύνευση για όλη την αρδευτική περίοδο, κυμαίνεται στο 0,5 – 1,0 %.

Παρατηρείται ότι υπάρχει μεταβολή της διακινδύνευσης μεταξύ των διάφορων σεναρίων. Η μεταβολή αυτή είναι πιο έντονη το μήνα Σεπτέμβριο, ενώ για τους άλλους μήνες σχεδόν αμελητέα. Γενικότερα, παρατηρείται μία τάση αύξησης της διακινδύνευσης από το 'μηδενικό' σενάριο (Σ.1) προς το δυσμενέστερο σενάριο (Σ.3Α). Υπάρχει εμφανής αύξηση της διακινδύνευσης, όταν υπάρχει ταυτόχρονα η κλιματική αλλαγή και η αλλαγή των καλλιεργειών σε πιο υδρόφιλες (Σ.3Α).

Η πρώτη περίοδος μελέτης 2015-2015, εμφανίζει γενικότερα μεγαλύτερη διακινδύνευση από ότι οι άλλες δύο περίοδοι¹. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας του τρόπου που έχει επιβληθεί η κλιματική αλλαγή στα μεγέθη που εισέρχονται στους υπολογισμούς. Σύμφωνα με το σενάριο A1B που λήφθηκε υπόψη στην παρούσα μελέτη, οι μεταβολές στη θερμοκρασία και τις βροχοπτώσεις είναι πιο έντονες κατά την πρώτη τριακονταετία και ηπιότερες τις επόμενες τέσσερις δεκαετίες. (Σχήμα 5.1).

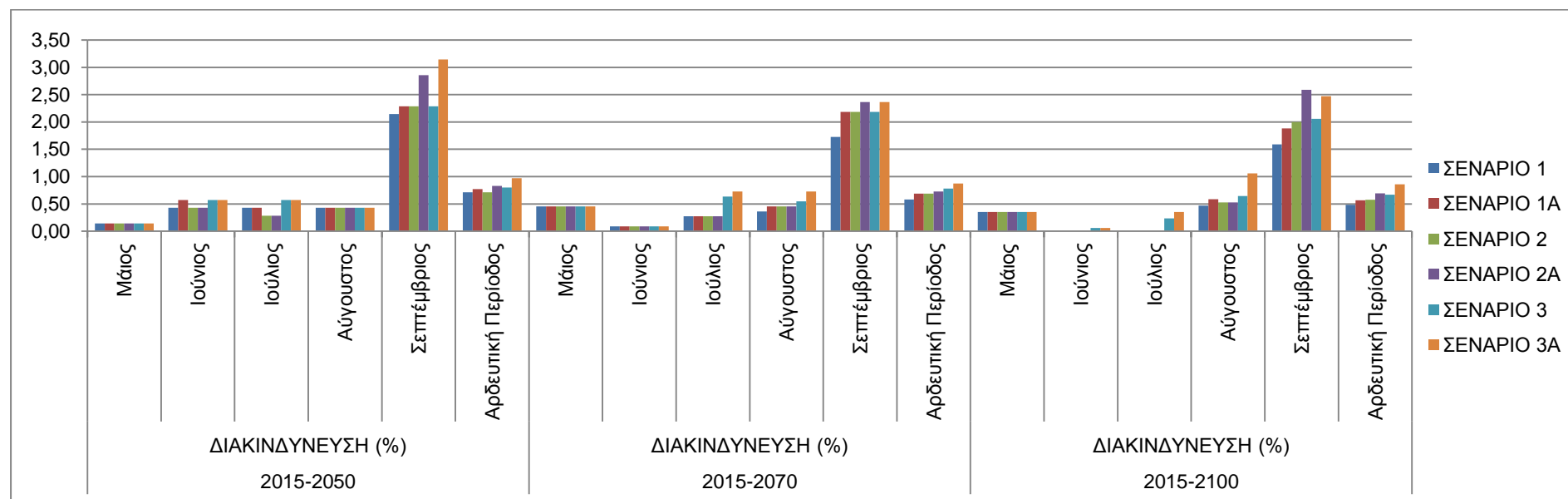


Σχήμα 5-1: Μεταβολές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης, κλιματικό Σενάριο A1B κατά το διάστημα 2021-2100 (Kapsomenakis et. Al., 2011)

¹ Επισημαίνεται ότι η ιστορική διακινδύνευση υπολογίστηκε ενδεικτικά για τα έτη 1987 – 2004 και προέκυψε μηδενική.

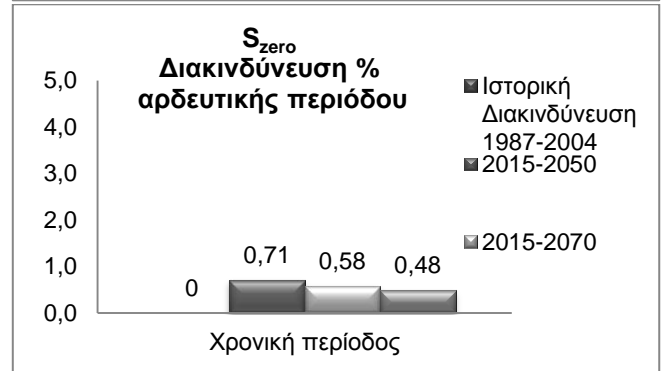
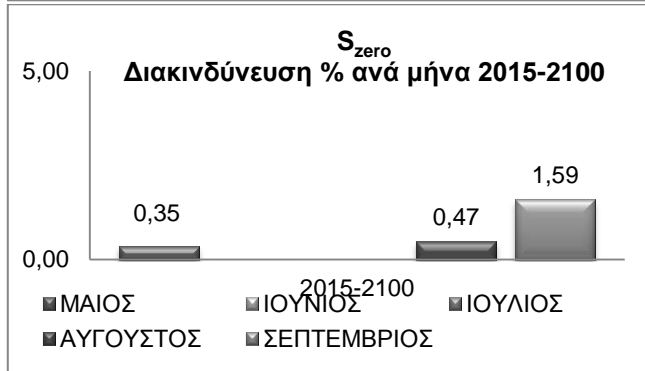
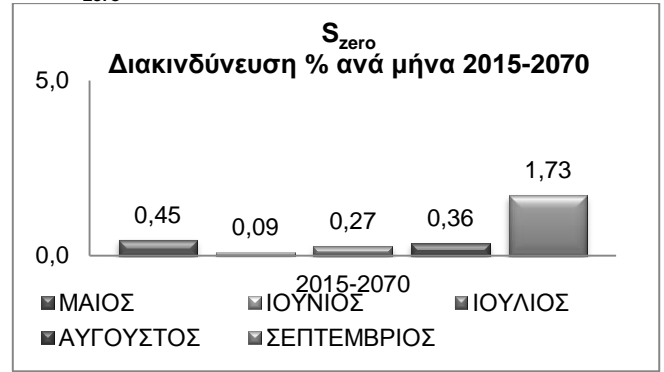
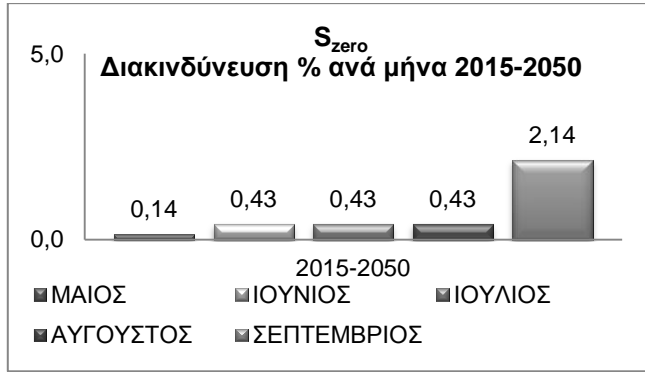
	2015-2050						2015-2070						2015-2100					
	ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ (%)						ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ (%)						ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ (%)					
	Μάι	Ιούν	Ιούλ	Αύγ	Σεπτ	Αρδ. Περίοδ	Μάι	Ιούν	Ιούλ	Αύγ	Σεπτ	Αρδ. Περίοδ	Μάι	Ιούν	Ιούλ	Αύγ	Σεπτ	Αρδ. Περίοδ
ΣΕΝΑΡΙΟ 1	0,14	0,43	0,43	0,43	2,14	0,71	0,45	0,09	0,27	0,36	1,73	0,58	0,35	0,00	0,00	0,47	1,59	0,48
ΣΕΝΑΡΙΟ 1A	0,14	0,57	0,43	0,43	2,29	0,77	0,45	0,09	0,27	0,45	2,18	0,69	0,35	0,00	0,00	0,59	1,88	0,56
ΣΕΝΑΡΙΟ 2	0,14	0,43	0,29	0,43	2,29	0,71	0,45	0,09	0,27	0,45	2,18	0,69	0,35	0,00	0,00	0,53	2,00	0,58
ΣΕΝΑΡΙΟ 2A	0,14	0,43	0,29	0,43	2,86	0,83	0,45	0,09	0,27	0,45	2,36	0,73	0,35	0,00	0,00	0,53	2,59	0,69
ΣΕΝΑΡΙΟ 3	0,14	0,57	0,57	0,43	2,29	0,80	0,45	0,09	0,64	0,55	2,18	0,78	0,35	0,06	0,24	0,65	2,06	0,67
ΣΕΝΑΡΙΟ 3A	0,14	0,57	0,57	0,43	3,14	0,97	0,45	0,09	0,73	0,73	2,36	0,87	0,35	0,06	0,35	1,06	2,47	0,86

Πίνακας 5-2: Αποτελέσματα υπολογισμών διακινδύνευσης κάλυψης των αρδευτικών αναγκών του Κάμπου της Κόνιτσας.

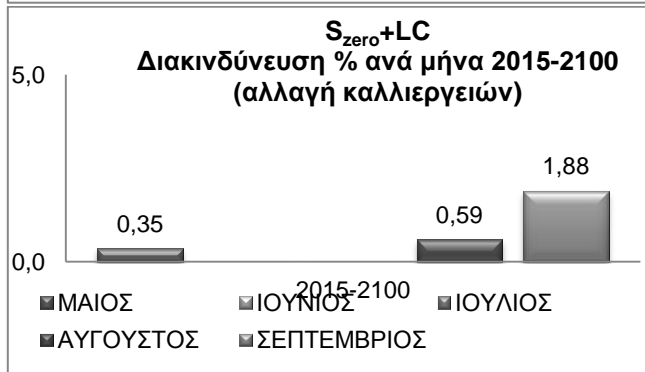
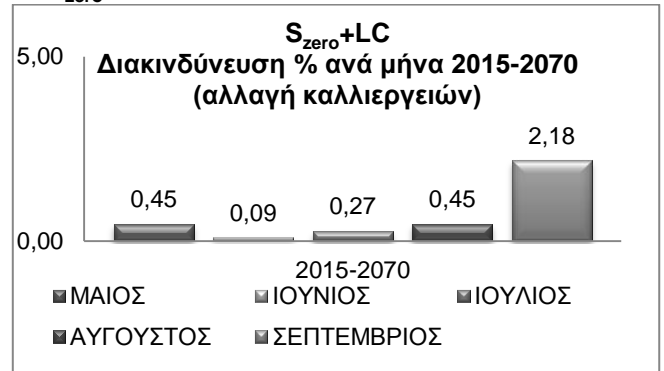
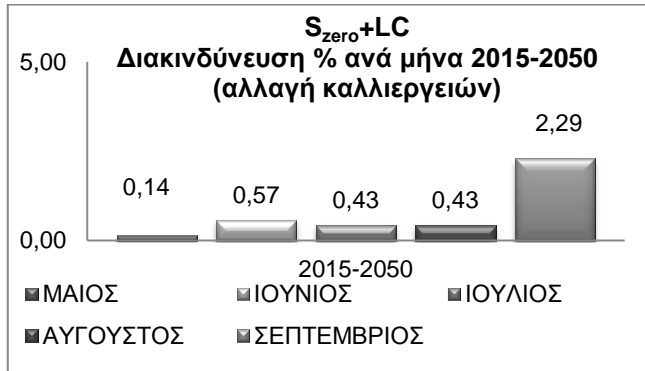


Σχήμα 5-2: Σχηματική παρουσίαση διακινδύνευσης κάλυψης των αρδευτικών αναγκών του Κάμπου της Κόνιτσα

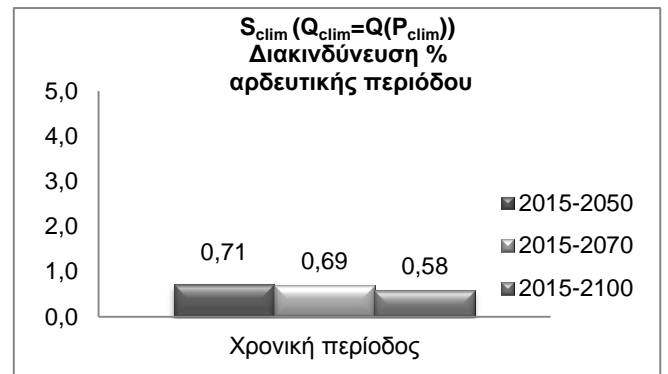
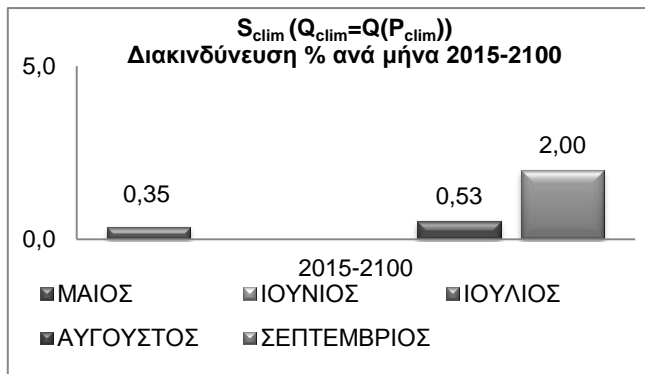
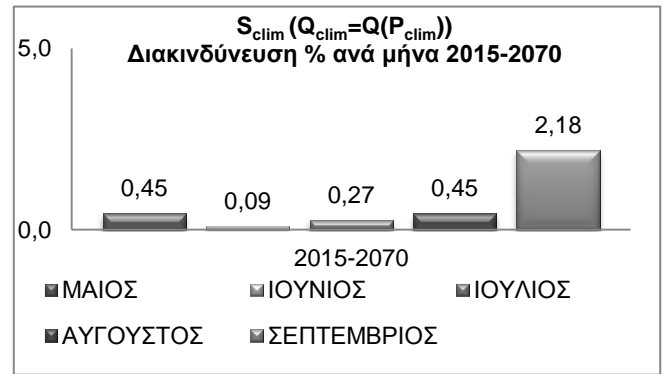
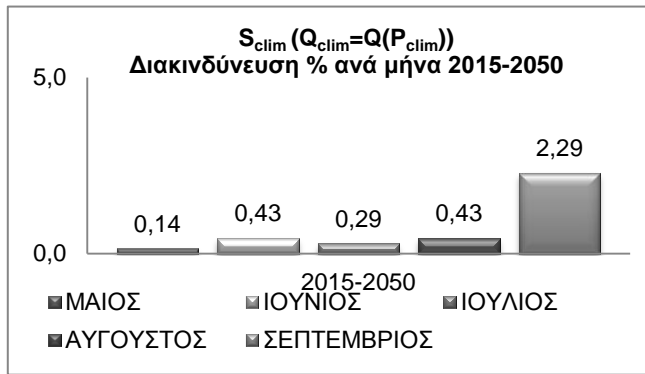
ΣΕΝΑΡΙΟ 1 – S_{zero}



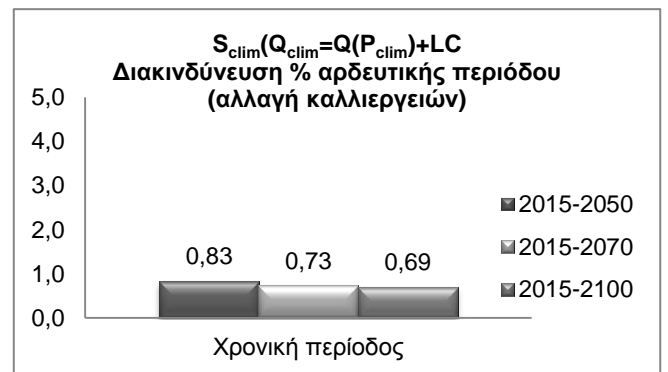
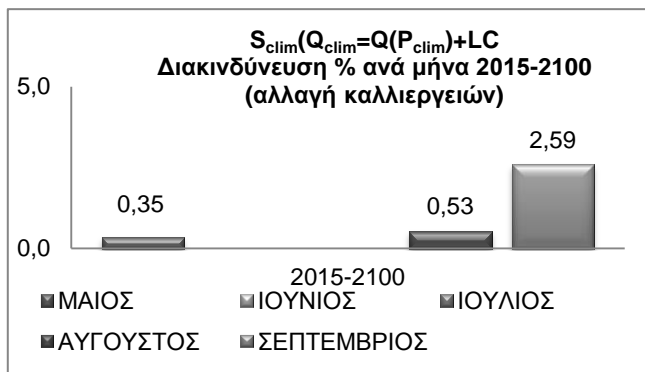
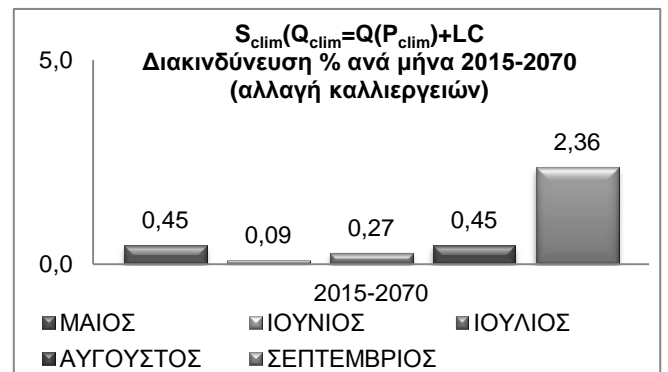
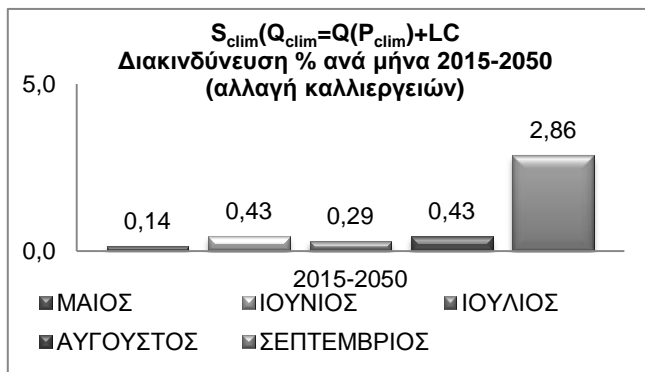
ΣΕΝΑΡΙΟ 1A – $S_{zero}+LC$



ΣΕΝΑΡΙΟ 2 – $S_{clim}(Q-P)$

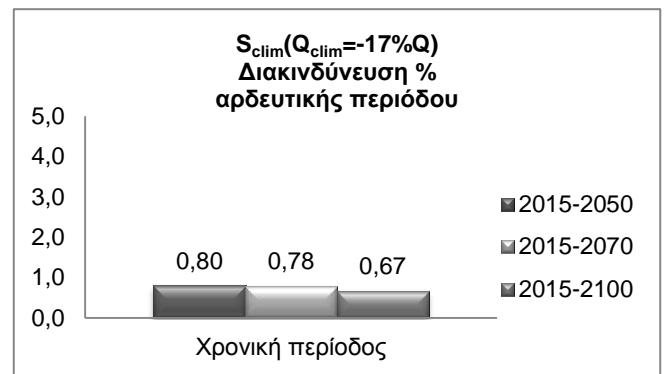
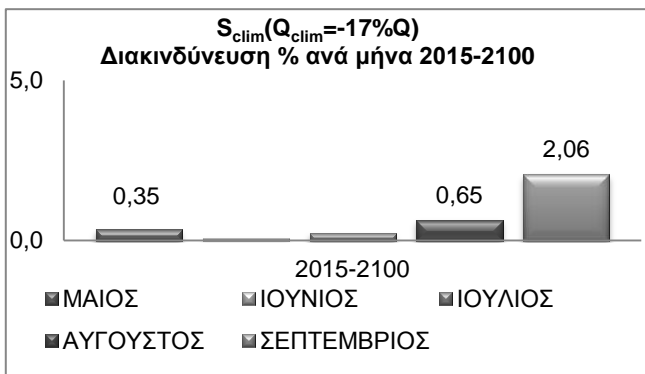
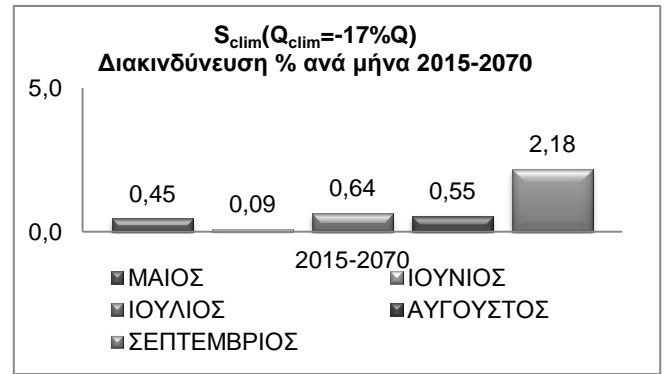
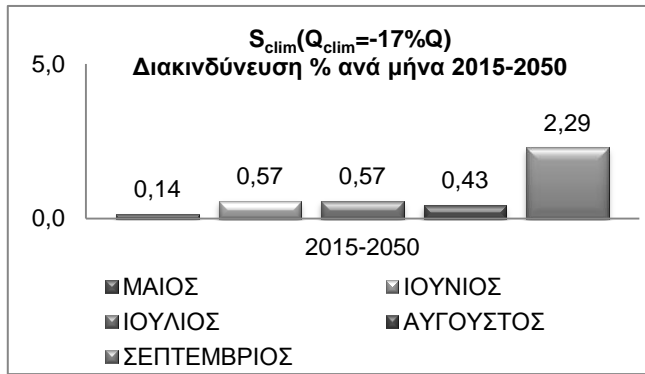


ΣΕΝΑΡΙΟ 2Α – $S_{clim}(Q-P)+LC$

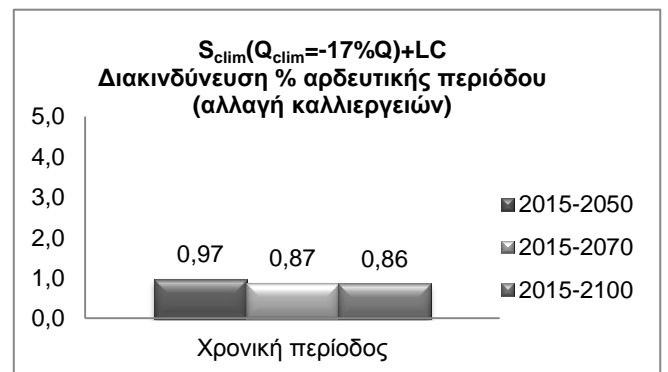
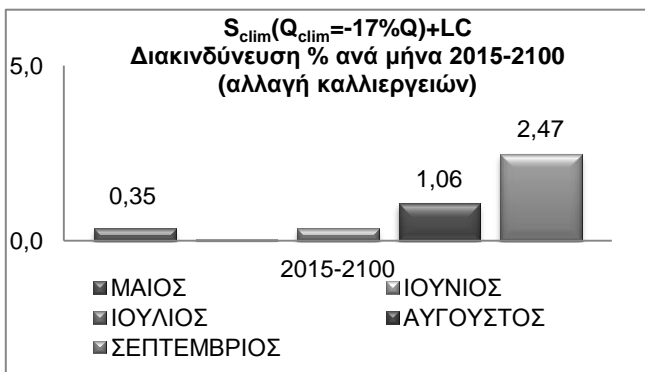
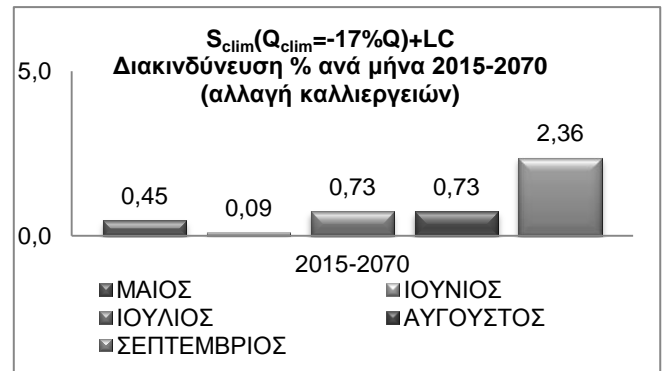
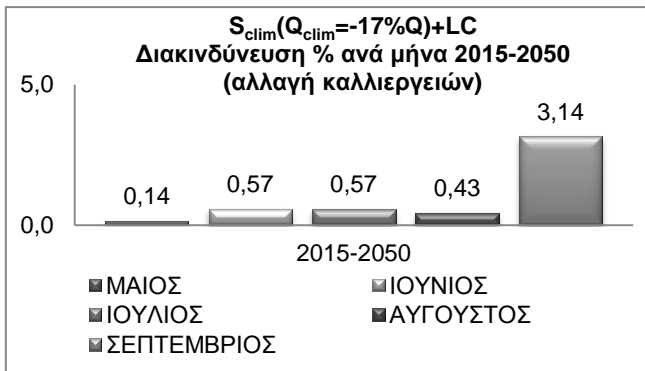


ΣΕΝΑΡΙΟ 3 – $S_{clim}(17\%Q)$

Ανάλυση διακινδύνευσης κάλυψης των αρδευτικών αναγκών στην περιοχή της Κόνιτσας
κάτω από μεταβαλλόμενες συνθήκες



ΣΕΝΑΡΙΟ 3Α – $S_{clim}(17\%Q)+LC$



Σχήμα 5-3: Αποτελέσματα υπολογισμών διακινδύνευσης, ανά σενάριο και περίοδο μελέτης

5.2 Σύγκριση - ανάλυση αποτελεσμάτων

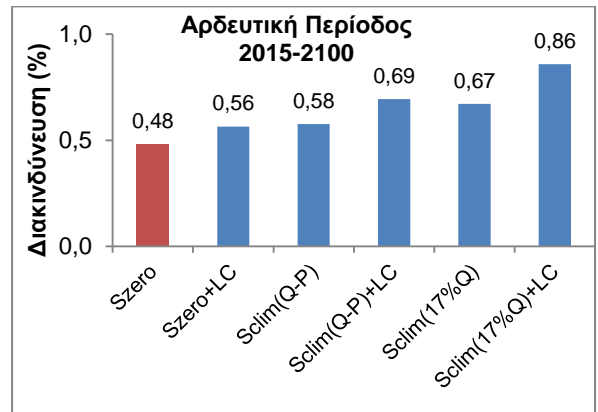
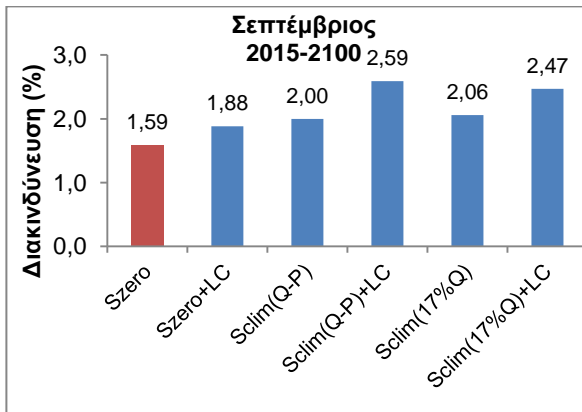
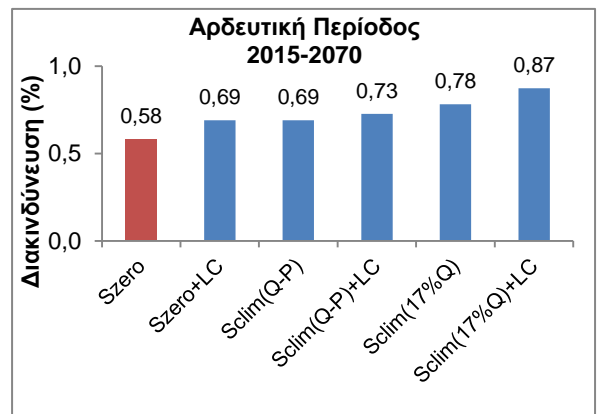
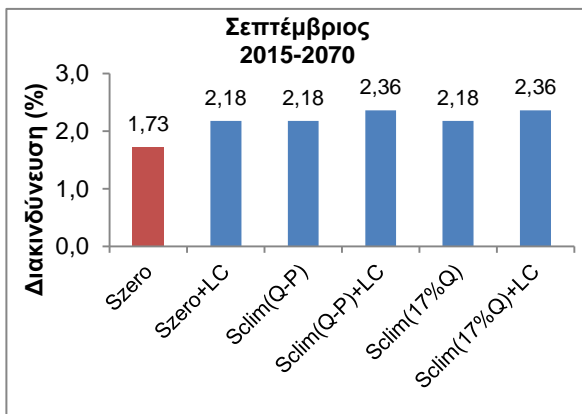
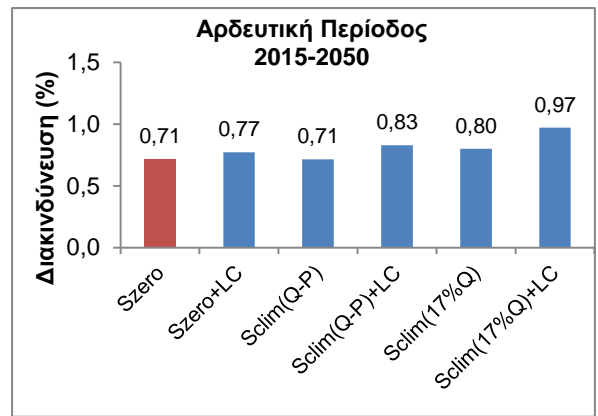
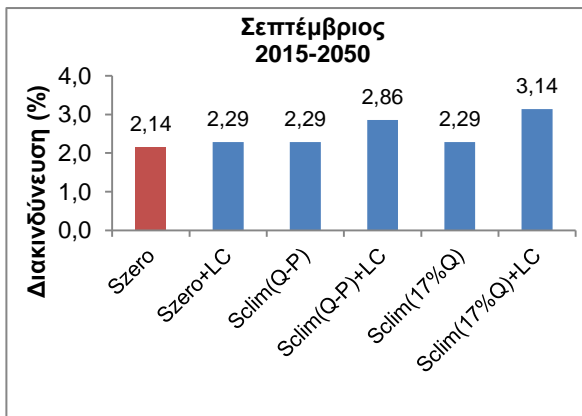
Για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων είναι χρήσιμο να γίνει μία περεταίρω σύγκριση μεταξύ των σεναρίων και των χρονικών περιόδων, ώστε να προκύψουν και ασφαλή συμπεράσματα.

Στα Σχήματα 5.4 και 5.5 που ακολουθούν, συγκρίνεται η διακινδύνευση μεταξύ του μηδενικού σεναρίου (S_{zero}) και όλων των υπολοίπων. Το Σχήμα 5.4 αριστερά, αναφέρεται στο μήνα Σεπτέμβρη, ενώ το Σχήμα 5.5 δεξιά, αναφέρεται στην αρδευτική περίοδο (Μάιος, Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος και Σεπτέμβριος). Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μόνο για το Σεπτέμβρη και την αρδευτική περίοδο γιατί, όπως προαναφέρθηκε, η διακινδύνευση των άλλων μηνών κρίνεται αμελητέα.

Στο Σχήμα 5.6, συγκρίνονται τα σενάρια χωρίς αλλαγή καλλιεργειών μεταξύ τους (S_{zero} , $S_{clim}(Q-P)$ και $S_{clim}(17\%Q)$), ξεχωριστά από αυτά που εμπριέχουν αλλαγή καλλιεργειών ($S_{zero}+LC$, $S_{clim}(Q-P)+LC$ και $S_{clim}(17\%Q)+LC$).

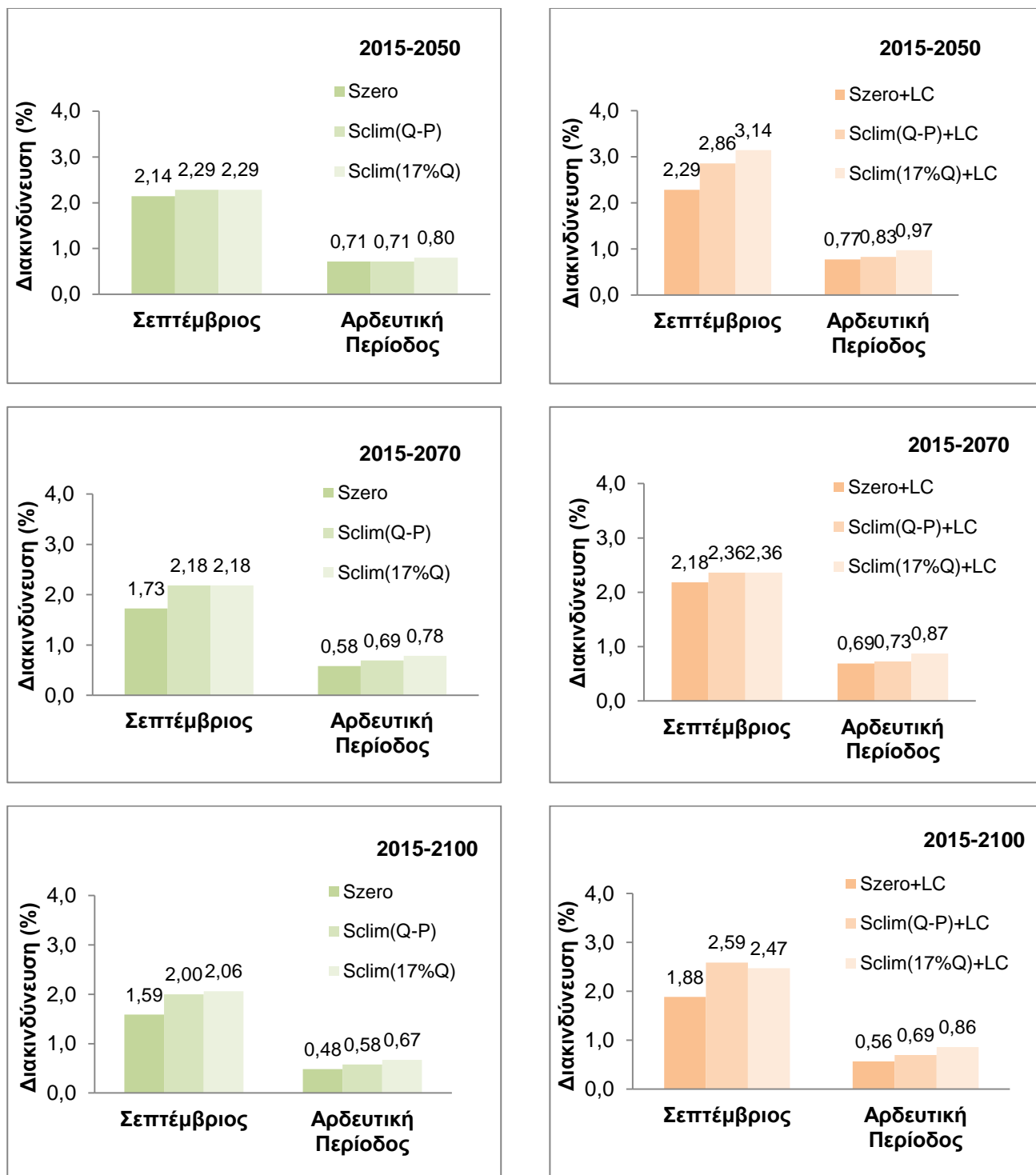
Τέλος, στο διάγραμμα του Σχήματος 5.7, γίνεται μία συνοπτική σύγκριση μεταξύ των δύο κλιματικών σεναρίων $S_{clim}(Q-P)$ και $S_{clim}(17\%Q)$.

Ανάλυση διακινδύνευσης κάλυψης των αρδευτικών αναγκών στην περιοχή της Κόνιτσας
κάτω από μεταβαλλόμενες συνθήκες



Σχήμα 5-4: Σύγκριση διακινδυνεύσεων Σεπτεμβρίου του μηδενικού σεναρίου S_{zero} με τα υπόλοιπα σενάρια

Σχήμα 5-5: Σχήμα 5-6: Σύγκριση διακινδυνεύσεων αρδευτικής περιόδου του μηδενικού σεναρίου S_{zero} με τα υπόλοιπα σενάρια



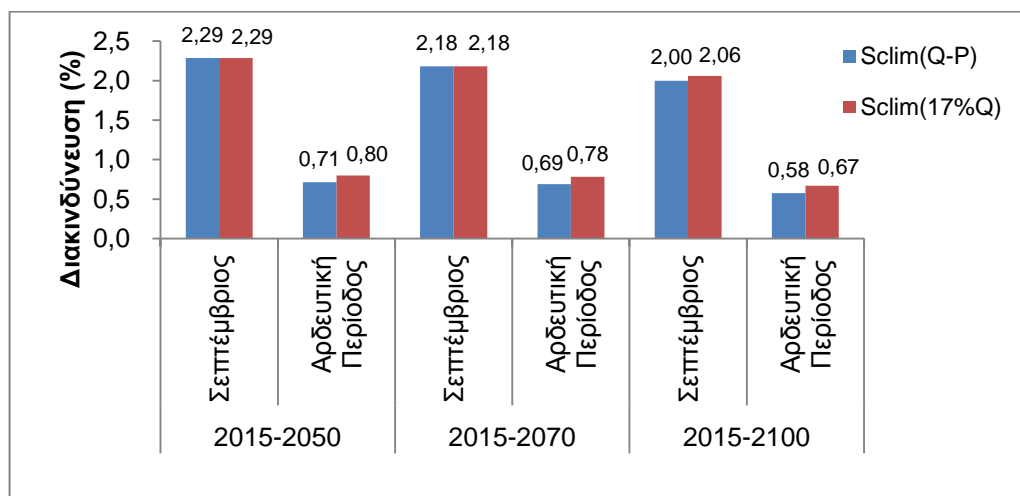
Σχήμα 5-7: Σύγκριση των σεναρίων χωρίς αλλαγή καλλιεργειών (αριστερή στήλη) και των σεναρίων με αλλαγή καλλιεργειών (δεξιά στήλη)

Από τη μελέτη των διαγραμμάτων, παρατηρούνται τα εξής:

- ❖ Σε κάθε περίπτωση το μηδενικό σενάριο S_{zero} είναι το ευμενέστερο, με τη μικρότερη διακινδύνευση.
- ❖ Το δυσμενέστερο σενάριο για την αρδευτική περίοδο είναι πάντα το $S_{clim}(17\%Q)$ και κατ'επέκταση το $S_{clim}(17\%Q)+LC$, ενώ για το Σεπτέμβριο τα

σενάρια $S_{clim}(17\%Q)+LC$ και $S_{clim}(Q-P)+LC$ εμφανίζονται εξίσου δυσμενή. Η μεταβολή της παροχής με βάση τη μεταβολή της βροχόπτωσης στη μία περίπτωση, επηρεάζει περισσότερο τον ξηρότερο μήνα Σεπτέμβρη, για αυτό και αυξάνει τη διακινδύνευση του Σεπτεμβρίου. Ενώ, η γραμμική μείωση κατά $-17\%Q$ σε όλους τους μήνες, επηρεάζει όλους τους μήνες της αρδευτικής περιόδου και αυξάνει τη διακινδύνευσή της.

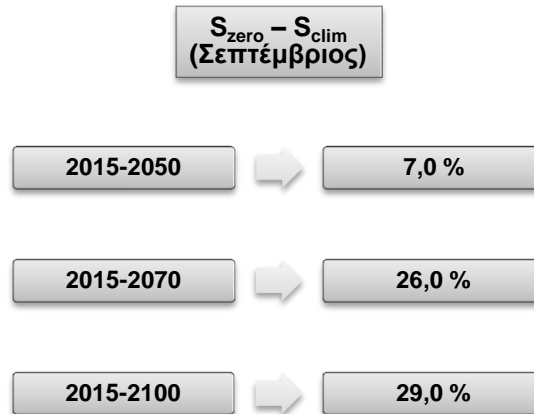
- ❖ Συμπεραίνεται ότι, τα δύο διαφορετικά κλιματικά σενάρια που μελετήθηκαν $S_{clim}(Q-P)$ και $S_{clim}(17\%Q)$ επιφέρουν παρόμοια αποτελέσματα για το Σεπτέμβρη, ενώ για την αρδευτική περίοδο δυσμενέστερο είναι το $S_{clim}(17\%Q)$ (Σχήμα 5.8).



Σχήμα 5-8: Σύγκριση των σεναρίων $S_{clim}(Q-P)$ και $S_{clim}(17\%Q)$

- ❖ Το ποσοστό αύξησης της διακινδύνευσης μεταξύ των δύο ακραίων περιπτώσεων, του S_{zero} και του $S_{clim}(17\%Q)+LC$ κυμαίνεται για το Σεπτέμβρη από 36% ως 55%, ενώ για την αρδευτική περίοδο από 36% ως 80%. Η αύξηση 80% αντιστοιχεί στην αρδευτική περίοδο κατά το χρονικό διάστημα 2015-2100.
- ❖ Το ποσοστό αύξησης της διακινδύνευσης μεταξύ του μηδενικού σεναρίου S_{zero} και των S_{clim} κυμαίνονται για το Σεπτέμβρη, 7% αύξηση την πρώτη περίοδο (2015-2050), 26% τη δεύτερη (2015 – 2070) και 29% κατά την τρίτη (2015-2100).
- ❖ Το ποσοστό αύξησης της διακινδύνευσης μεταξύ του μηδενικού σεναρίου S_{zero} και των S_{clim} κυμαίνονται για την αρδευτική περίοδο, περίπου 10% αύξηση την πρώτη περίοδο (2015-2050), 34% τη δεύτερη (2015 – 2070) και 39% κατά την τρίτη (2015-2100).

- ❖ Συμπεραίνεται, ότι η επίδραση της κλιματικής αλλαγής είναι εντονότερη στο διάστημα 2015-2100, όπως αυτό εκτιμάται υπολογίζοντας τη διαφορά στην τιμή της διακινδύνευσης μεταξύ του μηδενικού και των κλιματικών σεναρίων.



- ❖ Παρατηρείται ακόμη ότι, το μηδενικό σενάριο με αλλαγή καλλιεργειών ($S_{zero}+LC$) με το σενάριο $S_{clim}(Q-P)$ επιφέρουν σχεδόν παρόμοια αποτελέσματα στη διακινδύνευση, με εξαίρεση το διάστημα 2015 – 2100, που αφού όπως αναφέρθηκε η επίδραση της κλιματικής αλλαγής είναι πιο έντονη, το σενάριο $S_{clim}(Q-P)$ είναι ελάχιστα δυσμενέστερο.
- ❖ Η μεγαλύτερη τιμή της διακινδύνευσης για το μήνα Σεπτέμβριο είναι 3,14%, για το σενάριο $S_{clim}(17\%Q)+LC$ κατά το διάστημα 2015 – 2100. Η τιμή αυτή για την αρδευτική περίοδο είναι 0,97% το ίδιο διάστημα και αποτελεί την ανώτερη τιμή της.
- ❖ Σε κάθε ένα από τα τρία σεναρία, η επιπλέον αλλαγή των καλλιεργειών, αυξάνει τη διακινδύνευση, χωρίς όμως αυτή η αύξηση να είναι ομοιόμορφη. Η αύξηση που επιφέρει κυμαίνεται από 7% έως 37%.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Το βασικό συμπέρασμα που προκύπτει από την παρούσα μελέτη σε επίπεδο διαχείρισης, είναι ότι οι διαθέσιμες ποσότητες υδάτων γενικά επαρκούν για την κάλυψη των αναγκών που προκύπτουν από τις υπάρχουσες χρήσεις νερού. Η πιθανότητα το διαθέσιμο νερό του ποταμού Αώου, να μην επαρκεί για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών της περιοχής είναι πολύ μικρή, ακόμα και στο δυσμενέστερο σενάριο. Ωστόσο δεν είναι αμελητέα. Αυτό ήταν αναμενόμενο, καθώς η ορεινή Ήπειρος έχει το πλουσιότερο υδατικό δυναμικό στην Ελλάδα και ένα από τα υψηλότερα της Μεσογείου. Όμως, αποδείχθηκε ότι το υδροσύστημα είναι ευάλωτο σε αλλαγές του κλίματος ή/και των χρήσεων νερού.

Αναλυτικότερα, υπολογίστηκε η διακινδύνευση κάλυψης των αρδευτικών αναγκών του Κάμπου της Κόνιτσας από το υδροσύστημα του Αώου, υπό συνθήκες αβεβαιότητας. Υπολογίστηκε η μελλοντική πιθανότητα να μην επαρκεί το διαθέσιμο νερό για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών, στην περίπτωση που δε θα υπάρξουν επιπλέον κλιματικές μεταβολές, πέρα από την ιστορική τάση των κλιματικών μεγεθών της περιόδου αναφοράς που λήφθηκε υπόψη. Υπολογίστηκε, όμως και η διακινδύνευση στην περίπτωση που θα υπάρξει το φαινόμενο της Κλιματικής Αλλαγής, σύμφωνα με το σενάριο A1B της βιβλιογραφίας. Για το κλιματικό σενάριο, λήφθηκαν υπόψη δύο εκδοχές, που διαφοροποιούνται ανάλογα με τον τρόπο που θα μεταβληθεί το μέγεθος της παροχής ($Q \rightarrow Q_{\text{clim}}$). Στη μία περίπτωση το Q εξαρτάται από το μέγεθος της βροχόπτωσης (P) και μεταβάλλεται σύμφωνα με τη σχέση $Q - P$, που διαμορφώθηκε για τα δύο μεγέθη σε μηνιαία βάση. Στη δεύτερη περίπτωση, βιβλιογραφικά, το Q μειώνεται γραμμικά από 0 – 17% από σήμερα ως το έτος 2100. Για τα τρία σενάρια υπολογίστηκε επιπλέον η περίπτωση αλλαγής των καλλιεργειών σε υδρόφιλες, στο 100% της σημερινής καλλιεργήσιμης έκτασης. Έτσι δημιουργήθηκαν έξι διαφορετικά σενάρια, για τα οποία υπολογίστηκε η ζητούμενη διακινδύνευση σε μηνιαία βάση και για το σύνολο της αρδευτικής περιόδου. Ως αρδευτική περίοδος, λαμβάνεται η ξηρή περίοδος, Μάιος – Σεπτέμβριος. Όλοι οι υπολογισμοί γίνονται για τρεις περιόδους μελέτης, βραχυπρόθεσμα (α) 2015 – 2050, (β) 2015 – 2070 και μακροπρόθεσμα (γ) 2015 – 2100. Οι τιμές των μεγεθών που εισέρχονται στους υπολογισμούς υπολογίστηκαν με το στοχαστικό αυτοπαλινδρούμενο μοντέλο AR(2). Ύστερα από την ανάλυση των αποτελεσμάτων, προκύπτουν τα εξής κυριότερα συμπεράσματα:

- ✓ Η διακινδύνευση είναι πάντα μεγαλύτερη το μήνα Σεπτέμβριο.
- ✓ Για τους υπόλοιπους μήνες η διακινδύνευση και στο δυσμενέστερο κλιματικό σενάριο δεν υπερβαίνει το 0,5% και κρίνεται αμελητέα.

- ✓ Σε κάθε περίπτωση το μηδενικό σενάριο S_{zero} είναι το ευμενέστερο, με τη μικρότερη διακινδύνευση.
- ✓ Το δυσμενέστερο σενάριο για την αρδευτική περίοδο είναι πάντα το $S_{clim}(17\%Q)$ και κατ'επέκταση το $S_{clim}(17\%Q)+LC$, ενώ για το Σεπτέμβριο τα σενάρια $S_{clim}(17\%Q)+LC$ και $S_{clim}(Q-P)+LC$ εμφανίζονται εξίσου δυσμενή. Η μεταβολή της παροχής με βάση τη μεταβολή της βροχόπτωσης στη μία περίπτωση, επηρεάζει περισσότερο τον ξηρότερο μήνα Σεπτέμβρη, γι αυτό και αυξάνει τη διακινδύνευση του Σεπτεμβρίου. Ενώ, η γραμμική μείωση κατά $-17\%Q$ σε όλους τους μήνες, επηρεάζει όλους τους μήνες της αρδευτικής περιόδου και αυξάνει τη διακινδύνευσή της.
- ✓ Συμπεραίνεται ότι, τα δύο διαφορετικά κλιματικά σενάρια που μελετήθηκαν $S_{clim}(Q-P)$ και $S_{clim}(17\%Q)$ επιφέρουν παρόμοια αποτελέσματα για το Σεπτέμβρη, ενώ για την αρδευτική περίοδο δυσμενέστερο είναι το $S_{clim}(17\%Q)$.
- ✓ Το ποσοστό αύξησης της διακινδύνευσης μεταξύ του μηδενικού σεναρίου S_{zero} και των S_{clim} εκτιμάται για το Σεπτέμβρη, 7% αύξηση την πρώτη περίοδο (2015-2100), 26% τη δεύτερη (2015 – 2070) και 29% κατά την τρίτη (2015-2100).
- ✓ Το ποσοστό αύξησης της διακινδύνευσης μεταξύ του μηδενικού σεναρίου S_{zero} και των S_{clim} εκτιμάται για την αρδευτική περίοδο, περίπου 10% αύξηση την πρώτη περίοδο (2015-2050), 34% τη δεύτερη (2015 – 2070) και 39% κατά την τρίτη (2015-2100).
- ✓ Συμπεραίνεται, ότι η επίδραση της κλιματικής αλλαγής είναι εντονότερη στο διάστημα 2015-2100, όπως αυτό εκτιμάται υπολογίζοντας τη διαφορά στην τιμή της διακινδύνευσης μεταξύ του μηδενικού και των κλιματικών σεναρίων.
- ✓ Παρατηρείται ακόμη ότι, το μηδενικό σενάριο με αλλαγή καλλιεργειών ($S_{zero}+LC$) με το σενάριο $S_{clim}(Q-P)$ επιφέρουν σχεδόν παρόμοια αποτελέσματα στη διακινδύνευση, με εξαίρεση το διάστημα 2015 – 2100, που αφού όπως αναφέρθηκε η επίδραση της κλιματικής αλλαγής είναι πιο έντονη, το σενάριο $S_{clim}(Q-P)$ είναι ελάχιστα δυσμενέστερο.
- ✓ Η μεγαλύτερη τιμή της διακινδύνευσης για το μήνα Σεπτέμβριο είναι 3,14%, για το σενάριο $S_{clim}(17\%Q)+LC$ κατά το διάστημα 2015 – 2100. Η τιμή αυτή για την αρδευτική περίοδο είναι 0,97% το ίδιο διάστημα και αποτελεί την ανώτερη τιμή της.
- ✓ Σε κάθε ένα από τα τρία σενάρια, η επιπλέον αλλαγή των καλλιεργειών, αυξάνει τη διακινδύνευση.

Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να τονιστεί ότι απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων αυτών. Υπενθυμίζεται ότι, για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών του κάμπου της Κόνιτσας, πραγματοποιείται ήδη απόληψη υδάτων μέσω τεχνικού έργου. Δεν υπάρχουν όμως διαθέσιμα ποσοτικά δεδομένα σχετικά με αυτό το αρδευτικό έργο. Σε κάθε περίπτωση, οι αρδευτικές ανάγκες καλύπτονται πλήρως από το έργο αυτό μέχρι σήμερα. Επίσης, είναι δρομολογημένη η κατασκευή ενός νέου σύγχρονου αρδευτικού έργου για την άρδευση των εκτάσεων όλου του λεκανοπεδίου της Κόνιτσας από τους ποταμούς Αώο και Βοϊδομάτη, με το οποίο η μεταφορά του νερού θα είναι πιο αποτελεσματική, μειώνοντας τις συνολικές απώλειες και επομένως και την παροχή απόληψης. Έτσι, η διακινδύνευση που προέκυψε είναι απαραίτητο να επαναπροσδιοριστεί ποιοτικά.

Όπως φαίνεται και στον πίνακα των αποτελεσμάτων, πέραν των αστοχιών, οι υπόλοιπες τιμές βρίσκονται σημαντικά πάνω από το όριο των αρδευτικών αναγκών. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, καθιστούν τη διακινδύνευση αρκετά μικρή σε μηνιαία βάση. Αυτό σε καμία περίπτωση δε μειώνει την αξία της ανάλυσης αυτής. Αν για παράδειγμα προέκυπταν μηδενικές (ή σχεδόν μηδενικές) ή αρνητικές παροχές από το μοντέλο, τότε η ερμηνεία της υπολογιζόμενης διακινδύνευσης θα ήταν διαφορετική. Επιπλέον, το αποτέλεσμα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την αξιοπιστία του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε. Στην παρούσα εργασία με χρήση του μοντέλου AR(2), δημιουργήθηκαν 20 χρονοσειρές κάθε φορά, ώστε να μειωθεί η αβεβαιότητα, ωστόσο η επιλογή ενός ακόμη μεγαλύτερου αριθμού επαναλήψεων, θα μείωνε το σφάλμα ακόμη περισσότερο.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι αποδείχθηκε ο ευάλωτος χαρακτήρας του υδροσυστήματος, καθώς κάθε αλλαγή στο κλίμα ή τις χρήσεις νερού αυξάνει έστω και λίγο την πιθανότητα μη κάλυψης των υδατικών αναγκών. Επιπλέον, να σημειωθεί ότι εξετάστηκε ένα σχετικά μετριοπαθές σενάριο κλιματικών αλλαγών, ενώ θα πρέπει σε μελλοντική έρευνα να μελετηθούν και άλλα περισσότερο ακραία.

Αναφέρεται ακόμα ότι αν η ανάλυση γινόταν σε εβδομαδιαία ή ημερήσια βάση, η διακινδύνευση θα προέκυπτε αυξημένη. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να υπάρχει αδυναμία κάλυψης των αναγκών για βραχύ χρονικό διάστημα κατά τη διάρκεια της περιόδου Ιουλίου-Αυγούστου. Ακόμα και αν αυτό το διάστημα είναι της τάξης των δύο ή τριών ημερών, θα αποτελούσε πρόβλημα για τις ευαίσθητες καλλιέργειες, όπως η μηδική που υπάρχει στον κάμπο της Κόνιτσας.

Η αλλαγή του κλίματος, είτε από ανθρωπογενείς είτε από φυσικούς παράγοντες, είναι δεδομένη και συμβαίνει με κάποια κυκλικότητα. Έτσι αν το τοπικό κλίμα γίνει

πιο ξηρό, είναι πιθανό να αλλάξουν οι ισορροπίες που υπάρχουν σήμερα και να είναι απαραίτητη η κατασκευή μικρών τεχνικών έργων για την κάλυψη των αναγκών κατά τους θερινούς μήνες. Ωστόσο, κάτι τέτοιο έχει αφενός κάποιο οικονομικό κόστος και αφετέρου κάποιες περιβαλλοντικές επιπτώσεις όπως κάθε τεχνικό έργο πάνω στο ρου ενός ποταμού. Επομένως ο σχεδιασμός νέων υδροηλεκτρικών έργων ή υδροφόρων καλλιεργειών πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή για την αποφυγή μελλοντικών προβλημάτων σε ένα υδροσύστημα που φαίνεται να έχει μεγάλα περιθώρια αξιοποίησης του υδατικού του δυναμικού.

Συνοψίζοντας, με βάση την παραπάνω ανάλυση δεν υπάρχει διακινδύνευση μη επάρκειας της ποσότητας των υδάτων στη θέση " Γεφύρι Κόνιτσας" για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών του κάμπου της Κόνιτσας. Ωστόσο, το υδροσύστημα του ποταμού Αώου φαίνεται να είναι ευάλωτο κατά τους θερινούς μήνες και επομένως αλλαγές στο κλίμα ή τις χρήσεις του νερού μπορεί να επιφέρουν διατάραξη της ισορροπίας του.

Αναφορές

1. Αναπτυξιακή Ηπείρου (2012). ΓΕΩΠΑΡΚΟ ΒΙΚΟΥ- ΑΩΟΥ, Σύντομη παρουσίαση περιοχής, σκοπού και στόχων, περιγραφή και αξίες, ιστορικό, δράσεις. Ιωάννινα.
2. Ασημακόπουλος Β. (2007). Μέθοδοι Προβλέψεων. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών.
3. Αραβώσης Κ., 2000, Σημειώσεις του Μαθήματος: 'Οικονομική του Περιβάλλοντος', Βόλος: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας.
4. Δασαρχείο Ιωαννίνων (2008). Μελέτη Ανάδειξης Φαραγγιού Βίκου. Μελετητές: ΟΙΚΟΔΑΣΙΚΗ Ο.Ε., Τσουμάνης Χ. και Μπαλτογιάννη Φ.
5. Εθνικός Οργανισμός Περιβάλλοντος, www.eop.org.gr
6. Έκθεση της Τράπεζας της Ελλάδος για την Κλιματική Αλλαγή, (2011) (ΕΜΕΚΑ) «Η επίδραση της κλιματικής μεταβολής στη γεωργία και τα γεωργικά εδάφη»
7. Ελευθεριάδου Ε., Μυλόπουλος Γ.Α. (2005). Διακρατικές συμφωνίες για τη διαχείριση υδατικών πόρων: Η περίπτωση του Νέστου. Πρακτικά 5ου Εθνικού Συνεδρίου της Ελληνικής Επιτροπής Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, Δ.Π.Θ. Ξάνθη Απρ. 2005
8. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (2009). Γεωδιαδρομές: Ευρύτερη Περιοχή Βίκου-Αώου. Αθήνα: Εκδόσεις Καλειδοσκόπιο (ΙΓΜΕ 1968)
9. Καλοφύρη Α., Μαλαμπέκος Σ. (2009). Χαρακτηριστικά φραγμάτων πηγών Αώου και υδροηλεκτρικού σταθμού. Μεταπτυχιακή Εργασία, ΔΠΜΣ Περιβάλλον και Ανάπτυξη Ορεινών Περιοχών, Ε.Μ.Π..
10. Κουτσογιαννόπουλος Δ.Δ. (2013). Βοϊδομάτης. www.naturagraeca.com
11. Λαζαρίδης Κ. (2005). Πολιτικές διαχείρισης διασυνοριακών λεκανών απορροής: Η περίπτωση της Ελλάδας. Πτυχιακή Εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας.
12. Λεονταρίτης Α.Δ. (2013α). Χωροθέτηση έργων υποδομής και ανάπτυξης - Κοινωνικές αντιδράσεις: Η περίπτωση της Βωβούσας Ιωαννίνων. Η συμβολή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου στην ολοκληρωμένη ανάπτυξη του Δήμου Ζαγορίου, Δ. Καλιαμπάκος (επιμέλεια). Μέτσοβο: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Μετσόβιο Κέντρο Διεπιστημονικής Έρευνας.
13. Λεονταρίτης Α.Δ. (2013β). Η σχεδιαζόμενη «Εκτροπή» του ποταμού Αώου. Μύθος και Πραγματικότητα. www.naturagraeca.com

14. Λεονταρίτης Α.Δ. (2014) Υδρολογική Ανάλυση και Διερεύνηση του υδροσυστήματος Αώου – Βοϊδομάτη Μεταπτυχιακή Εργασία, τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π
15. Μιμίκου Μ.Α. (2011) Κλιματική Αλλαγή και Επιπτώσεις στους Υδατικούς Πόρους Η Ελληνική πραγματικότητα Εργαστήριο Υδρολογίας & Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων ΕΜΠ, 2011)
16. Μιμίκου Μ. (1994). Τεχνολογία Υδατικών Πόρων. Αθήνα: Παπασωτηρίου
17. Μιμίκου Μ., Μπαλτάς Ε. (2001). Τεχνική Υδρολογία. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
18. Μπαλτάς Ε., «Εξατισμοδιαπνοή», Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων
19. Παπαϊωάννου Χ., Χρήστου Β., Πίνδος Περιβαλλοντική (2008). Οικοτουριστικός Οδηγός: Κόνιτσα & Μαστοροχώρια. Ιωάννινα: Περιφέρεια Ηπείρου
20. Περιφέρεια Ηπείρου (2008). Μελέτη Για Αλλαγή του Τρόπου Άρδευσης στον Κάμπο της Κόνιτσας
21. ΡΑΕ (2013). Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, www.rae.gr
22. Σούλης Ν. (1994). Το κλίμα της Ηπείρου. Ιωάννινα.
23. Φορέας Διαχείρισης Εθνικού Πάρκου Βόρειας Πίνδου (2013β). www.pindosnationalpark.gr
24. A.Karamanos, N. Dercas, P. Londra and S. Aggelides, 2007, 'Agricultural water saving in Greece', Proceedings of the International Conference of WASAMED, 'Water saving in Mediterranean agriculture and future research needs' Eds. Lamaddalena N., Bogliotti C., Todorovic M., Scardigno A., CIHEAM-IAMB, Vol. 3, Bari, p 225-234.
25. C. Giannakopoulos, P. Le Sager, M. Bindi, M. Moriondo, E. Kostopoulou, C.M. Goodess, Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2 °C global warming, 2009
26. Ciscar, J.C., Iglesias, A., Feyen, L., Goodess, C.M., Szabó, L., Christensen, O.B., Nicholls, R., Amelung, B., Watkiss, P., Bosello, F., Dankers, R., Garrote, L., Hunt, A., Horrocks, L., Moneo, M., Moreno, A., Pye, S., Quiroga, S., van Regemorter, D., Richards, J., Roson, R., Soria, A. (2009) Climate change impacts in Europe. Final report of the PESETA research project.
27. Ecologic Institute (2012). Transboundary Cooperation Fact Sheets, part of "Comparative Study of Pressures and Measures in the Major River Basin Management Plans", on behalf of the European Commission.

28. Iglesias, A., Garrote, L., Flores, F., Moneo, M. (2007) Challenges to manage the risk of water scarcity and climate change in the Mediterranean. *Water Resources Management*, 21(5), 227-288
29. IPCC, Appendix I, Parry M.L. et al. (eds), *Climate Change 2007 Impacts, Adptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge UK, 2007.
30. Mendelsohn, R., A. Basist, A. Dinar, and P. Kurukulasuriya. "What Explains Agricultural Performance: Climate Normals or Climate Variance?" *Climatic Change* 81.1 (2007)
31. Nastos, P. T., N. Politi, and J. Kapsomenakis, Spatial and temporal variability of the aridity index in Greece, *Atmospheric Research*, 19, 140-152, 2013.
32. Olensen, J.O., Bindi, M. (2002) Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *European Journal of Agronomy*, Vol. 16, 239–262.
33. Parry, M.A., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Livermore, M., Fischer, G. (2004) Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socioeconomic scenarios. *Global Environmental Change* (2004)
34. Pindyck R. and Rubinfeld L. (1998). *Econometric Models and Economic Forecasts*. Singapore: McGraw-Hill International Editions.
35. Tubiello, F.N., J.-F. Soussana, S.M. Howden, and W. Easterling, 2007: Crop and pasture response to climate change.
36. USGS (2013). <http://usgs.gov>
37. www.hydrosense.org