



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

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

Χωρική απεικόνιση δεικτών αξιοποίησης υδατικών πόρων στην Ευρώπη

Φανή Κ. Σούρλα

Επιβλέπων: Αν. Καθηγητής Ε. Μπαλάς

Αθήνα, Μάιος 2015





NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
INTER-DEPARTMENT PROGRAM OF POST-GRADUATE STUDIES
IN WATER RESOURCES SCIENCE AND TECHNOLOGY

Spatial mapping of water resources indicators in Europe

Fani K. Sourla



Ευχαριστίες

Η εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας έγινε στο πλαίσιο του ΔΠΜΣ «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων».

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα κ. Ευάγγελο Μπαλτά, Αναπληρωτή Καθηγητή του ΕΜΠ, για τη βοήθεια και τη συμβολή του καθ'όλη τη διάρκεια της προσπάθειάς μου. Για πολλούς μήνες αφιέρωνε χρόνο για να με καθοδηγεί και συνεχώς με ενθάρρυνε να συνεχίσω με περισσότερη διάθεση και όρεξη. Τον ευχαριστώ ακόμα για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου αυτό το θέμα για την εργασία μου.

Κατόπιν, ευχαριστώ θερμά τον Γιώργο Μπαριάμη, Υποψήφιο Διδάκτορα ΕΜΠ, για την καθοριστική συμβολή του στην εκπόνηση της παρούσας εργασίας. Από την πρώτη στιγμή με βοήθησε με κάθε δυνατό τρόπο ώστε να κατανοήσω το αντικείμενο και να ανταπεξέλθω στις απαιτήσεις. Αφιέρωσε πολύ χρόνο και συνεχώς φρόντιζε να με συμβουλεύει κατάλληλα ώστε να λάβω τα περισσότερα δυνατά εφόδια και γνώσεις μέσα από αυτή τη διαδικασία.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της τριμελούς επιτροπής, την κ. Δ. Παναγούλια-Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΕΜΠ, τον κ. Ν. Μαμάση-Επίκουρο Καθηγητή ΕΜΠ και τον κ. Ε. Μπαλτά-Αναπληρωτή Καθηγητή ΕΜΠ για το χρόνο τους και την παρουσία τους στην εξέταση της μεταπτυχιακής μου εργασίας καθώς επίσης και για τις σημαντικές γνώσεις που μου μετέδωσαν μέσω της διδασκαλίας τους όσο ήμουν φοιτήριά τους.

Φανή Κ. Σούρλα,

Μάιος 2015

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	i
Περίληψη	iv
Extended Abstract	v
Κεφάλαιο 1ο : Εισαγωγή	1
1.1 Αντικείμενο εργασίας	1
1.2 Διάρθρωση εργασίας	1
Κεφάλαιο 2ο : Υφιστάμενη κατάσταση.....	3
2.1 Βασικό σύνολο δεικτών του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (EEA Core Set of Indicators).....	4
2.2 Water accounting system του ΟΗΕ	5
2.3 Συλλογή δεδομένων	7
2.4 Διαθεσιμότητα δεδομένων	8
2.5 Χωρική κλίμακα	9
2.6 Χρονική κλίμακα	10
Κεφάλαιο 3ο : Μεθοδολογία εφαρμογής δείκτη WEI+	11
3.1 Εξισώσεις υπολογισμού και χρησιμοποιούμενες παράμετροι	11
3.2 Όρια του δείκτη WEI+.....	15
3.3 Norolu System2.....	16
Κεφάλαιο 4ο : Αποτελέσματα	18
4.1 Εφαρμογή του δείκτη WEI+.....	18
4.2 Λεκάνη απορροής Guadalquivir	20
4.3 Υδατικό διαμέρισμα Anglian	29
4.4 Λεκάνη απορροής του Rhône	34
4.5 Υδατικό διαμέρισμα Θεσσαλίας	41
4.6 Σύγκριση των αποτελεσμάτων για τις εξεταζόμενες περιοχές.....	47

Κεφάλαιο 5ο : Συμπεράσματα - Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	54
5.1 Δεδομένα	54
5.2 Εξίσωση υπολογισμού	55
5.3 Χρονική κλίμακα	56
5.4 Χωρική κλίμακα	57
5.5 Μελλοντική έρευνα	57
Κεφάλαιο 6ο : Βιβλιογραφικές αναφορές	59

Περίληψη

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στον υπολογισμό ενός δείκτη εκμετάλλευσης νερού στην Ευρώπη και πιο συγκεκριμένα στον υπολογισμό του δείκτη WEI+ σε τέσσερις περιοχές της Ευρώπης. Μέσω του δείκτη WEI+ (Water Exploitation Index +) υπολογίζεται το ποσοστό των ανανεώσιμων υδατικών πόρων που καταναλώνεται και έτσι αναδεικνύεται η πίεση που ασκείται σε αυτούς.

Αρχικά, στο πλαίσιο της εργασίας, παρουσιάζεται η υφιστάμενη κατάσταση στην Ευρώπη σχετικά με τα διαθέσιμα εργαλεία τα οποία χρησιμοποιούνται κατά τη θέσπιση περιβαλλοντικής πολιτικής. Η χρήση κατάλληλων δεικτών αποτελεί γενικότερα μια εξαιρετική επιλογή για την περιγραφή φαινομένων όπως η λειψυδρία και η ξηρασία καθώς και για την αποτίμηση των συνεπειών τους.

Στη συνέχεια, γίνεται εκτενής περιγραφή της μεθοδολογίας η οποία ακολουθείται για τον υπολογισμό του δείκτη WEI+. Καθορίζονται και αναλύονται οι παράμετροι οι οποίες παίρνουν μέρος στους υπολογισμούς και παρουσιάζονται οι δυο εναλλακτικές εξισώσεις υπολογισμού του δείκτη.

Κατόπιν, γίνεται πρακτική εφαρμογή του δείκτη WEI+ στην περιοχή λεκάνης απορροής του Guadalquivir στην Ισπανία, στο υδατικό διαμέρισμα Anglian στην Αγγλία, στην περιοχή λεκάνης απορροής του Rhône στη Γαλλία και στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας στην Ελλάδα. Οι δυο εξισώσεις υπολογισμού χρησιμοποιούνται με χρονικά βήματα ενός μήνα, έξι μηνών και ενός υδρολογικού έτους και παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα. Ακόμη, γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων για όλες τις περιοχές και για τις δυο εξισώσεις υπολογισμού σε δυο χρονικές κλίμακες (έξι μήνες και ένα υδρολογικό έτος).

Τέλος, εξάγονται συμπεράσματα σχετικά με τα αποτελέσματα που υπολογίστηκαν καθώς επίσης και σχετικά με τις αδυναμίες και τους περιορισμούς της εφαρμογής του δείκτη WEI+. Γίνεται συζήτηση για την επιλογή της κατάλληλης χωρικής και χρονικής κλίμακας και προτείνονται πεδία για μελλοντική έρευνα πάνω στον δείκτη WEI+.

Extended Abstract

Introduction

The scope of this postgraduate thesis is the implementation of WEI+, which is a water exploitation index and the derivation of important conclusions through the implementation in several river basin districts in Europe. The main attempt was to focus on issues concerning the implementation of the indicator WEI+ and the relevant problems arising. The current situation in water resources management in Europe indicates that water efficiency indicators may serve as a significant tool that can facilitate the policy making. Thus, it is of utmost importance to deepen our knowledge and overcome the difficulties and restrictions of the implementation of such indicators.

Current situation

Drought and water scarcity phenomena in some European regions create severe problems and the implementation of mitigation measures is of great importance. First of all, drought and water scarcity should not be confused. Drought refers to the temporary decrease in water availability due to natural processes, while water scarcity refers to the relative shortage of water to cover the expressed needs and may lead to restrictions on consumption (EMWIS, 2010). The consequences of drought and water scarcity are not easy to be defined, but they affect both the environment and the society.

The complicated situation which derives from the appearance of drought and water scarcity phenomena needs to be depicted in a simple way in order mitigation measures be specified. The use of indicators may serve this scope. According to the EEA Core set of Indicators Guide definition, an indicator is "a measure, generally quantitative, that can be used to illustrate and communicate complex phenomena simply, including trends and progress over time". The indicator which refers to the use of freshwater resources (CSI018) is the Water Exploitation Index (WEI) and is defined as the annual total water abstraction as a percentage of available long-term freshwater resources (Faegermann, 2012). In the Update on Water Scarcity and Droughts Indicator development realized held by EEA in 2012 the indicator WEI+

was included in the indicator system. WEI+ allows for the calculation of the percentage of the renewable water resources which is consumed.

The System of Environmental-Economic Accounting for Water, established by the United Nations (SEEA-Water), is used as the theoretical background for the implementation of WEI+. The SEEA-Water provides the conceptual framework for the necessary parameters and defines the interactions between the environment and the economy.

The crucial issue in the implementation of WEI+ is the availability and reliability of the data. The member states of the E.U. are obliged to monitor the water bodies according to the Water Framework Directive 2000/60/EC (WFD). The data are reported to the Water Information System for Europe (WISE). Except from the legal obligations that derive from the WFD, there are also other projects led by european institutions which aim to gather data about water resources in Europe. For example, Eurostat delivers the Joint Questionnaire on Inland Waters (JQ) to the member states. The completion of the JQ is voluntary and the data are reported through thematic tables. EEA also makes serious efforts to collect data for the water resources in Europe. The water quantity parameters which are used by the State of Environment reporting sheets (Reporting Sheet SoE#3) by EEA are 185 while the parameters gathered through JQ are 106 out of which 87 are common. In order to have homogenous data and common reference parameters, it is proposed to keep the 87 common parameters and add 15 more, including the WEI+ indicator (Vanneuville, 2014).

The parameters used in WEI+ calculation are precipitation, evapotranspiration, external inflows from other territories, change in storage of lakes and reservoirs, outflows, water abstractions and returns. Data availability is very low, despite the legal obligations of the member-states to report such data. Therefore, extended literature research is made in order to find data for all the parameters considering the monthly time scale. The WISE database cannot provide monthly data for all the parameters needed, not even for one european region. The same applies for the available data of the Joint Questionnaire. However, some countries like Lithuania, Cyprus, Malta, France and Romania report data concerning all the necessary parameters, although the data refer to annual time scale and are not used in this thesis.

According to the WFD, the basic spatial scale where water management should be focused is the river basin district. Spatial scale is very important for hydrological analysis and should be chosen carefully. Time scale is also important for hydrological analysis. The choice of the proper time scale depends on the phenomena examined.

Methodology

WEI+ was developed by the Expert Group on Water Scarcity & Droughts and the formula defined for its calculation is given in Equation 1:

$$WEI+ = \frac{(\text{Abstractions} - \text{Returns})}{\text{Renewable Water Resources}} = \frac{\text{Water Consumption}}{\text{RWR}} \quad (1)$$

The Renewable Water Resources derive from the water balance in the basin. The calculation of the denominator follows two alternative approaches.

Equation 2 is used for pristine basins:

$$ExIn + P - Eta - \Delta S = Q_{nat} \quad (2)$$

where, ExIn: External Inflow

P: Precipitation

Eta: Actual Evapotranspiration

ΔS : Change in Storage

Q_{nat} : Natural Outflow

Both sides of Equation 2 represent the Renewable Water Resources leading to the two available options for calculating RWR (Equation 3 and 4).

$$1. \text{ RWR} = ExIn + P - Eta - \Delta S \quad (3)$$

$$2. \text{ RWR} = Q_{nat} \quad (4)$$

In basins where human alterations have taken place, RWR cannot be calculated by Equations 3 and 4. Some necessary adjustments should be applied so that RWR can be properly calculated (Equations 5 and 6).

$$1. RWR = ExIn + P - Eta - \Delta S_{nat} \quad (5)$$

$$2. RWR = Outflow + (Abstraction - Return) - \Delta S_{art} \quad (6)$$

where, ΔS_{nat} : Change in natural storage

ΔS_{art} : Change in storage of lakes and reservoirs

The change in natural storage (ΔS_{nat}) is not so simple in calculation. It cannot be directly measured and it often requires hydrological modeling. Estimations for ΔS_{nat} may lead to serious uncertainties in the results. Equation 6 seems to be a better option since all the parameters required can be obtained or calculated through measurements. Although, ΔS_{art} has to be carefully considered in cases like water transfer or desalination plants, so that there will be no double counting in water volumes. The choice of the proper option for each region has to do with the data availability and the special local conditions which have to be taken under consideration.

Thresholds

Threshold establishment is a long and demanding task which has to correspond to the socioeconomic conditions of each area. WEI+ thresholds are not defined yet.

Nopolu System2

The data source used is Nopolu System2. It is an application created for EEA in order to implement the SEEA-Water in Europe. Nopolu is based on hydrological equilibrium and treats a large amount of sources to result in the final data produced. The data are used with no further treatment.

Implementation of WEI+ and study area

The methodology described above is implemented in four River Basin Districts in Europe. The chosen RBDs belong to one country or their major part belongs to one country, the total

number of their sub-basins are less than 10 and they are located in both north and south Europe. The RBDs which correspond to these criteria are the Guadalquivir RBD in Spain, the Anglian RBD in England, the Rhône RBD in France and the Thessalia RBD in Greece (Figure 1 and 2).

The calculations refer to monthly values of the parameters and cover the period between October 2002 and September 2008 (six hydrological years). The spatial scale used is the River Basin District.

The RWR are calculated for both options (Equation 5 and 6) and the results are WEI+1 and WEI+2 respectively. The lack of data for the parameter ΔS_{nat} led to the replacement of ΔS_{nat} by ΔS_{art} in option 2 (Equation 5).

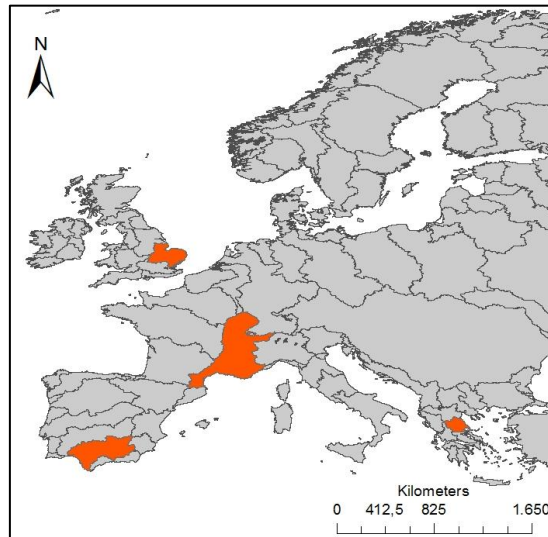


Figure 1 : Study area

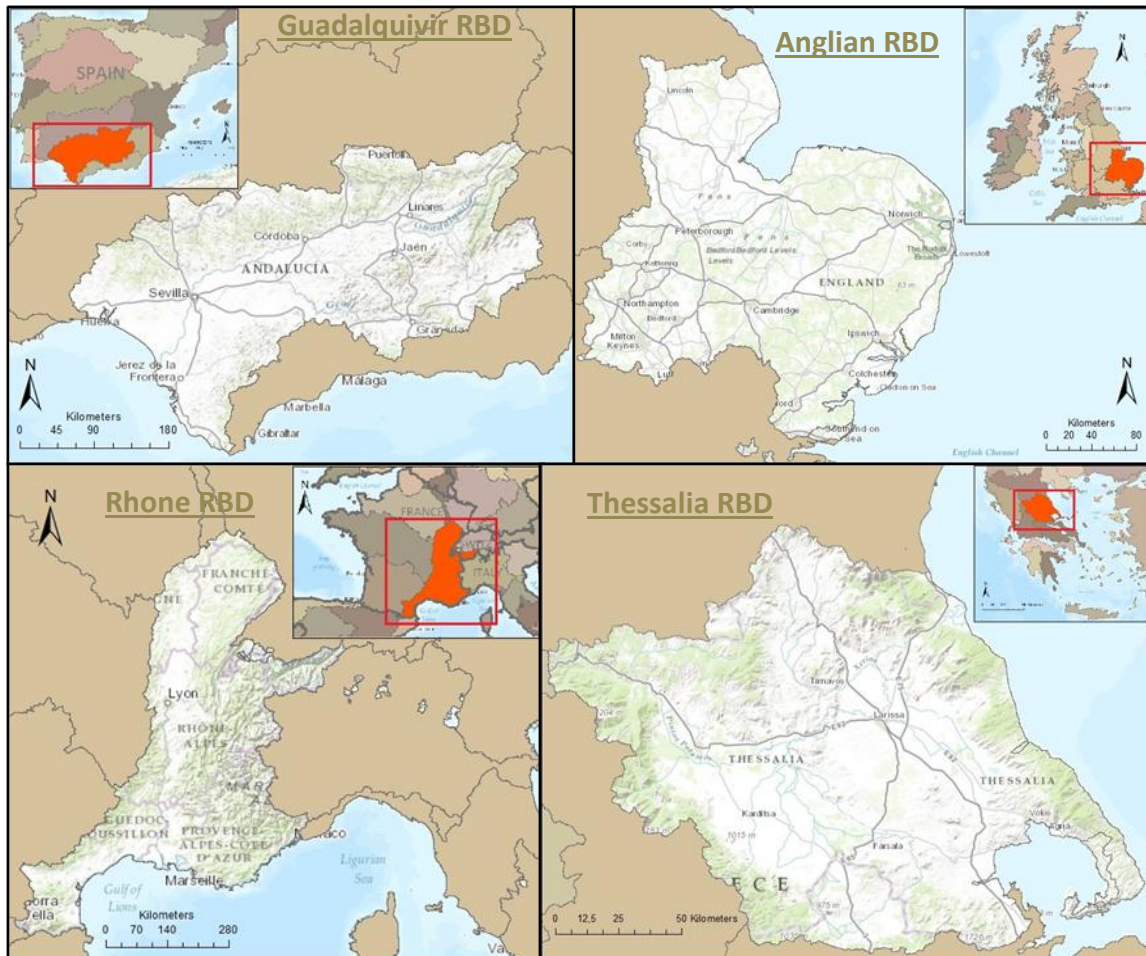


Figure 2: River Basin Districts studied

Guadalquivir RBD: Guadalquivir river is located in southern Spain (Figure 2). Its length is 650 km, the area covered by the river basin is 57,527 km² and the mean annual outflow is 7,230 hm³ (Berbel et al., 2011, Droogers and Immezeel, 2008). The climate is characterized as mediterranean, which means that winters have moderate temperatures and changeable, rainy weather while summers are hot and dry (en.wikipedia.org).

The main activity in the area is agriculture and there are also some significant urban centers. Water is used 85% for agriculture, 11% for domestic use, 3% for industry and 1% for tourism (Berbel et al., 2011).

Anglian RBD: It covers an area of 27,890 km² and is located in southeast England. It consists of many river basins which outflow to the eastern England (Environmental Agency, 2009, DEFRA, 2010). The climate is oceanic and it is characterized by warm (but not hot) summers and cool (but no cold) winters(en.wikipedia.org).

The agricultural activities are dominant in the area since the land is very fertile. The population is about 5.2 million people who live in small cities (Environment Agency, 2009).

Rhône RBD: The Rhône river basin is between France, Switzerland and Italy (94% of its area is in France). The Rhône river's length is 800 km and the area covers 127,912 km² (Houston, 2012). The climate is influenced by the Mediterranean Sea in the south and by the Alps in the north. Summers are warm and wet and winters are cold. In the south, summers can be dry due to the mediterranean influence.

Agriculture is the main activity in this area (70% of surface water is used in agriculture) but there are also industries and production of nuclear and hydroelectrical energy. The population is concentrated in big cities and the domestic water demands are heavily affected by the intense touristic activities (Comite de bassin Rhone Mediterranee, 2008).

Thessalia RBD: Thessalia is located in central Greece and covers an area of 13,136km². Its major part consists of the Pinios river basin. The climate is mediterranean with hot and dry summers and cold and rainy winters.

The population living in Thessalia RBD is 750,000 people. Agricultural activities consume 90.8% of water supply, domestic use takes the 6.8%, livestock uses 1% and industry 1.4% (River Basin Management Plan for Thessalia, Epirus and Western Sterea Ellada, 2011).

Results

The results of the implementation of Equations 5 and 6 are grouped by month and RBD in Figure 4. The boxplots in Figure 4 show the Inter-Quartile Range (IQR) which is the difference between the first and third quartile of the results ($Q_3 - Q_1$).

The first formula seems to give lower results than the second one for Guadalquivir and Rhône RBDs and this is probably due to the replacement of ΔS_{nat} by the ΔS_{art} .

It is obvious that during summer months the pressure in water resources is higher than during the winter. For Guadalquivir and Thessalia RBDs the difference between winter and summer is significant and this can be attributed to the intense agricultural activities and the mediterranean climate. The Rhône RBD is also more stressed during summer but the water

resources in this area are very rich and the pressure is not very high. In Anglian RBD the water exploitation index has not significant variation between summer and winter.

The Guadalquivir RBD consists of 5 sub-basins, according to the European Catchments and Rivers Network System-ECRINS. The typical annual results for the 6 hydrological years (Figure 3) show that the pressure on water resources may be more intense in some areas, even into the same RBD. Thus, in some cases spatial scale disaggregation may be very useful for the WEI+ analysis.

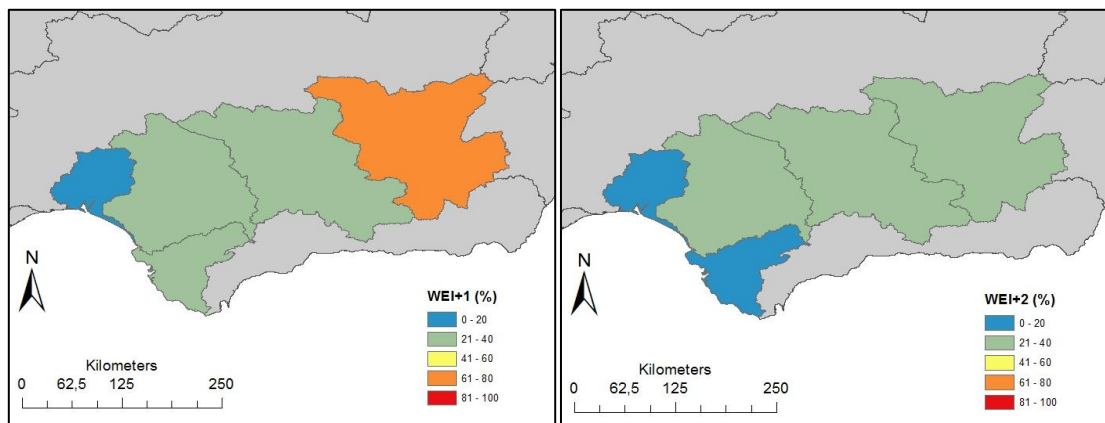


Figure 3: WEI+1 and WEI+2 annual results for the sub-basins of the Guadalquivir RBD

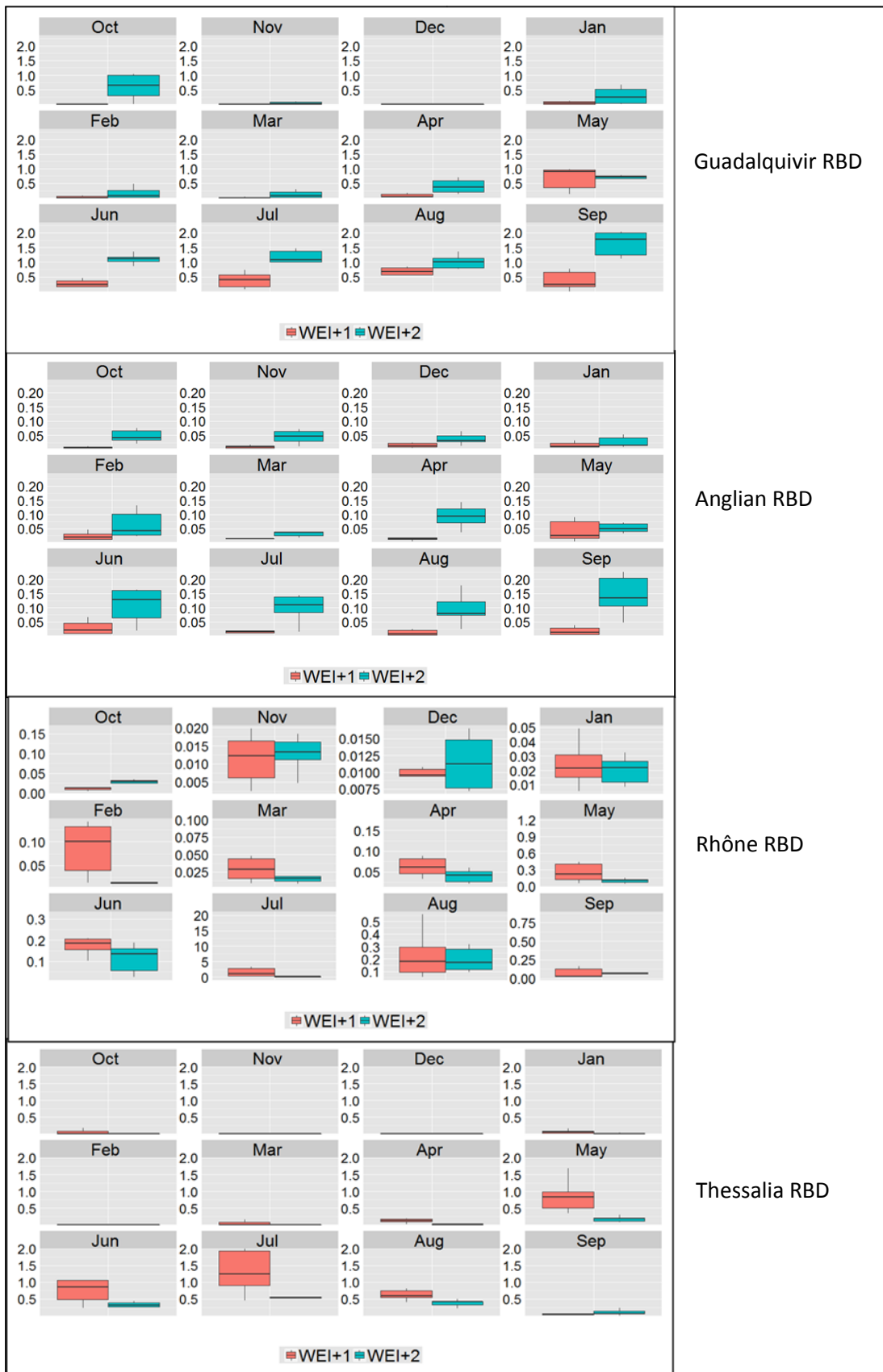


Figure 4 : WEI+ results for the Guadalquivir RBD, Anglian RBD, Rhône RBD and Thessalia RBD

The time scale is also important for the WEI+ analysis. The calculations for month, six month and annual WEI+ are presented in Table 1. Month values depict the intense pressure which take place during some months of the year. Six month values show the difference in water resources pressure for the dry and wet period for the four areas examined. The annual values for WEI+ results are representative enough but they cannot emphasize the seasonal variations which can be really significant (e.g. Thessalia RBD).

Table 1: WEI+ results for monthly, six-month and annual time step

RBD	Month	WEI+1			WEI+2		
Guadalquivir	Oct	1%	2%	46%	66%	20%	64%
	Nov	0.10%			7%		
	Dec	0.10%			1%		
	Jan	4%			29%		
	Feb	1%			16%		
	Mar	1%			12%		
	Apr	10%	40%		89%		
	May	90%	70%				
	Jun	27%	110%				
	Jul	39%	107%				
	Aug	67%	92%				
	Sep	23%	145%				
Anglian	Oct	1%	1%	2%	4%	3%	4%
	Nov	1%			4%		
	Dec	2%			4%		
	Jan	2%			3%		
	Feb	2%			6%		
	Mar	1%			4%		
	Apr	1%	9%		8%		
	May	2%	6%				
	Jun	3%	13%				
	Jul	2%	12%				
	Aug	2%	9%				
	Sep	2%	13%				
Rhône	Oct	1%	2%	8%	3%	2%	6%
	Nov	1%			1%		
	Dec	1%			1%		
	Jan	2%			2%		
	Feb	9%			1%		
	Mar	4%			2%		
	Apr	8%	4%		11%		
	May	37%	10%				
	Jun	19%	11%				

RBD	Month	WEI+1		WEI+2		
	Jul	113%			20%	
	Aug	23%			19%	
	Sep	3%			7%	
Thessalia	Oct	5.34%	2%	46%	0.49%	0.40%
	Nov	0.03%			0.02%	
	Dec	0.04%			0.02%	
	Jan	6.03%			1.44%	
	Feb	0.05%			0.01%	
	Mar	4.57%			0.24%	
	Apr	13.08%	2.10%		12%	
	May	85.06%	17.68%			
	Jun	85.99%	32.53%			
	Jul	160.39%	55.08%			
	Aug	61.77%	37.77%			
	Sep	4.54%	9.45%			
		85%			4%	

The final results are presented in maps(Figure 5 and 6). It is clear that water resources in southern areas are more stressed.

Conclusions

WEI+ results are highly dependent on the data provided. The data needed for the calculations of WEI+ are not easy to be found and often are not full. Assumptions are necessary for the data filling and therefore, uncertainties are introduced to the data produced. The uncertainty of the data leads to uncertainty of the results. Therefore, the data sources must be chosen really carefully.

The implementation of the two calculation formulas shows significant deviation in the results. The assumption that natural change in storage can be replaced by the change of storage in artificial lakes and reservoirs is not always a successful choice. It is really important that the proper formula is proposed for each area under the consideration of its special the characteristics.

Time scale is a significant parameter for the results analysis. Monthly calculations can emphasize the unbalanced distribution between the renewable water resources and the water demand during the hydrological year. On the other hand, the annual time step can

show the overall exploitation of the water after the consumption and recharge of the renewable water resources.

About the spatial scale, WFD defines the RBD as the basic spatial scale which is supposed to be sufficient for the WEI+. However, sometimes it is important to use a disaggregated spatial scale, such as the sub-basins, so that intense and localized water pressures can be successfully emphasized.

Future studies on WEI+ can focus on defining thresholds so that the results can be easily compared and analyzed. Also, the calculation of supplementary indicators could enforce the understanding of the results of WEI+.

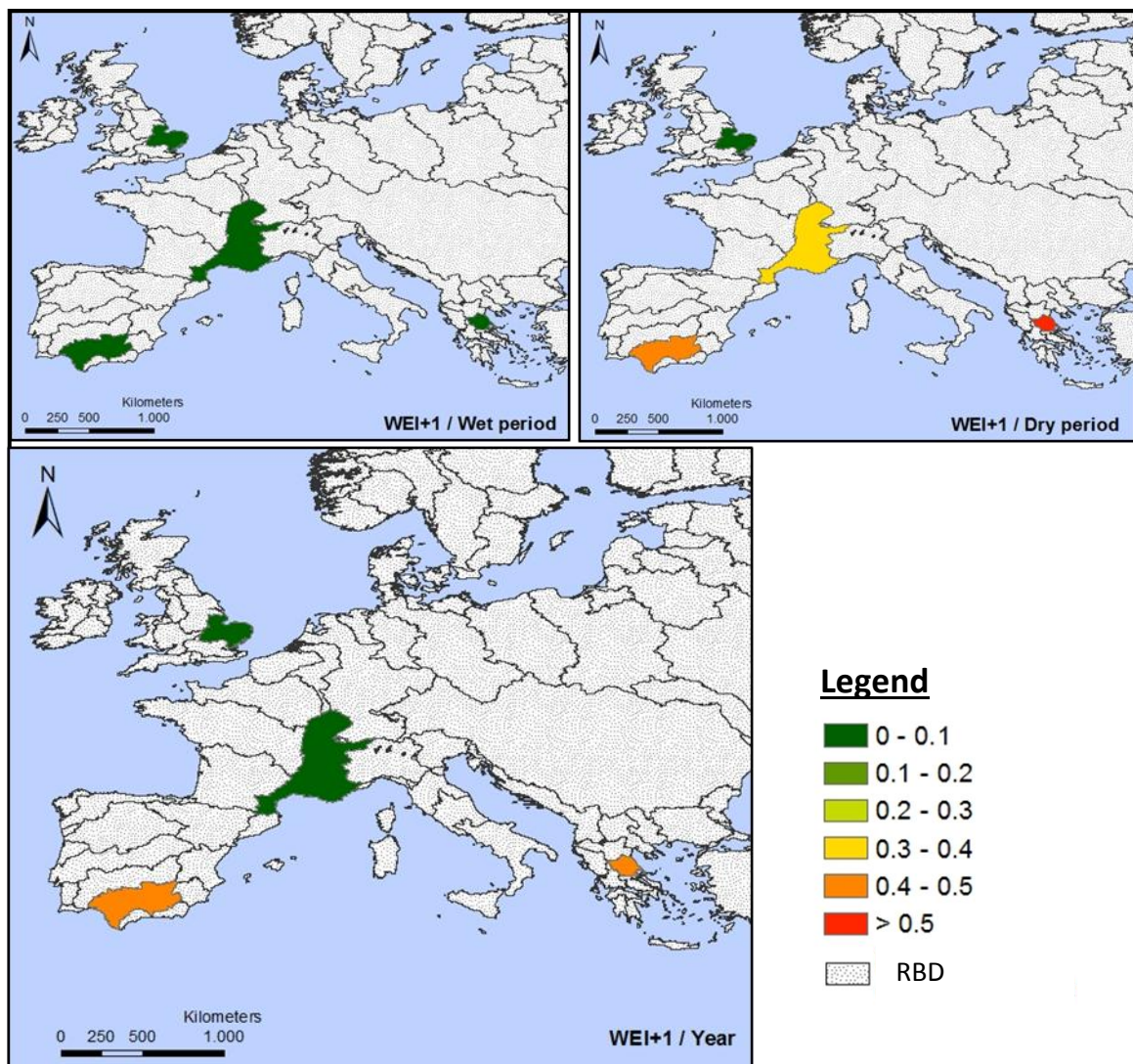


Figure 5: Spatial mapping of WEI+1 for six-month and annual time step

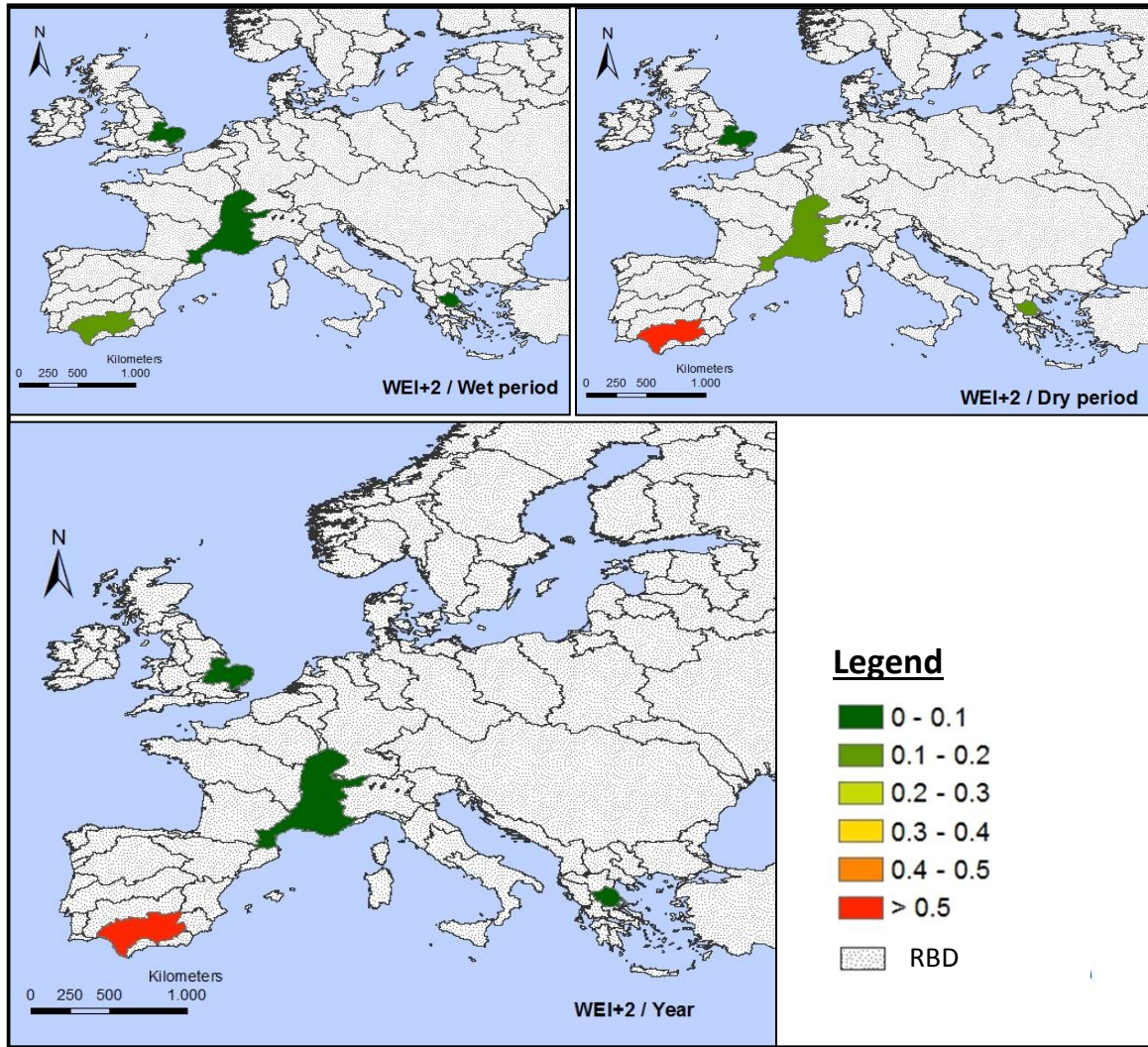


Figure 6: Spatial mapping of WEI+2 for six-month and annual time step

Κεφάλαιο 1ο : Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι ο υπολογισμός και η αξιολόγηση ενός δείκτη εκμετάλλευσης υδατικών πόρων στην Ευρώπη. Ο δείκτης αυτός υπολογίζει την εκμετάλλευση των υδατικών πόρων που πραγματοποιείται σε μια περιοχή.

Σκοπός της εργασίας είναι η εφαρμογή ενός δείκτη εκμετάλλευσης υδατικών πόρων σε περιοχές της Ευρώπης και η εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων σχετικά με αυτόν. Τα συμπεράσματα αφορούν στη διερεύνηση της δυνατότητάς του να αποτυπώσει μια περίπλοκη κατάσταση και στις αδυναμίες και τους περιορισμούς που παρουσιάζει. Ακόμη, γίνεται μια προσπάθεια αποκρυστάλλωσης της υφιστάμενης κατάστασης σχετικά με τη χρήση δεικτών στην Ευρώπη και για μια αποσαφήνιση της δουλειάς η οποία έχει γίνει ως τώρα σχετικά με τον WEI+. Ακόμη, εξάγονται σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με τις διαφορές που παρουσιάζουν τα αποτελέσματα του δείκτη ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο υπολογισμού του και ανάλογα με τη γεωγραφική θέση της περιοχής που εξετάζεται.

1.2 Διάρθρωση εργασίας

Αρχικά, περιγράφεται η υφιστάμενη κατάσταση στην Ευρώπη σχετικά με τη χρήση δεικτών για τη διαμόρφωση πολιτικών διαχείρισης των υδατικών πόρων (Κεφάλαιο 2) καθώς και τους λόγους για τους οποίους κρίνεται αναγκαία η μελέτη αυτή. Γίνεται αναφορά σε εργαλεία τα οποία χρησιμοποιούνται για το εννοιολογικό υπόβαθρο του δείκτη καθώς και στη διαδικασία συλλογής των απαιτούμενων δεδομένων.

Στο Κεφάλαιο 3, παρουσιάζεται η μεθοδολογία η οποία χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του δείκτη WEI+. Γίνεται η παρουσίαση των δυο εναλλακτικών προσεγγίσεων για τον υπολογισμό του δείκτη. Τέλος, αναλύονται οι επιμέρους παράμετροι οι οποίες λαμβάνουν μέρος στον υπολογισμό και δίνεται μια πλήρης εικόνα για τον τρόπο εφαρμογής του δείκτη.

Στο Κεφάλαιο 4 ορίζεται η περιοχή μελέτης και οι παραδοχές εφαρμογής του δείκτη και γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ανά περιοχή και για κάθε περιοχή παρουσιάζονται οι δυο εναλλακτικές προσεγγίσεις υπολογισμού του δείκτη. Ακόμη, γίνεται εφαρμογή του δείκτη σε τρεις χρονικές κλίμακες και στην τελευταία ενότητα του Κεφαλαίου 4 γίνεται σύγκριση όλων των αποτελεσμάτων.

Στο τέλος, εξάγονται συμπεράσματα σχετικά με τα εξαγόμενα αποτελέσματα (Κεφάλαιο 5) και γίνονται κάποιες προτάσεις σχετικά με μελλοντική έρευνα.

Κεφάλαιο 2ο : Υφιστάμενη κατάσταση

Η παρουσία φαινομένων ξηρασίας και λειψυδρίας αποτελεί πρόβλημα για πολλές περιοχές της Ευρώπης. Τίθεται λοιπόν το ζήτημα της αποτύπωσης του προβλήματος, μέσω κατάλληλων μεθόδων με σκοπό τη λήψη μέτρων για την αντιμετώπισή του.

Αρχικά, είναι αναγκαίο να γίνει σαφής διαχωρισμός της ξηρασίας και της λειψυδρίας. Με τον όρο ξηρασία εννοείται η προσωρινή μείωση της διαθεσιμότητας του νερού εξαιτίας φυσικών φαινομένων (π.χ. μειωμένη κατακρήμνιση). Ο όρος λειψυδρία αφορά στην αδυναμία των φυσικών πόρων να καλύψουν ποσοτικά τις ανάγκες για νερό οι οποίες ανακύπτουν από τις εκτελούμενες δραστηριότητες. Αυτό σημαίνει ότι η λειψυδρία μπορεί να προκληθεί τόσο από μειωμένη διαθεσιμότητα νερού όσο και από αυξημένη ζήτηση (EMWIS, 2010).

Η ξηρασία και η λειψυδρία δημιουργούν ένα περίπλοκο μίγμα οικονομικών, κοινωνικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων το οποίο είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθεί. Πιο συγκεκριμένα, λόγω του περιορισμένου χρόνου των επεισοδίων της ξηρασίας και των πολύ συγκεκριμένων τομέων που επηρεάζει, μπορεί να είναι σχετικά εύκολο να ληφθούν κάποια συμπεράσματα για τις επιπτώσεις που προκαλεί. Αντίθετα, οι επιπτώσεις και τα κόστη που προκύπτουν από τη λειψυδρία είναι πολύ πιο δύσκολο να εντοπιστούν και να αποκρυσταλλωθούν. Οι πιο σημαντικές επιπτώσεις της ξηρασίας και της λειψυδρίας για το περιβάλλον επηρεάζουν απευθείας τα φυτά, την πανίδα, τα φυσικά ενδιαίτηματα των διαφόρων ειδών, την ποιότητα του νερού και του αέρα καθώς επίσης αυξάνεται ο κίνδυνος πυρκαγιάς στα δάση, εδαφικής διάβρωσης και υποβάθμισης του φυσικού τοπίου. Οι κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις αφορούν κυρίως την αγροτική δραστηριότητα καθώς επίσης και τους υπόλοιπους τομείς οι οποίοι εξαρτώνται από τα αποθέματα νερού (π.χ. βιομηχανία και τουρισμός) (EMWIS, 2010).

Η εμφάνιση ξηρασίας και λειψυδρίας προκαλεί επιπτώσεις οι οποίες είναι δύσκολο να αποτυπωθούν και να αποτιμηθούν. Τίθεται λοιπόν το ζήτημα της απλοποίησης της περίπλοκης πραγματικότητας με σκοπό να γίνεται εύκολα και γρήγορα αντιληπτή από τα ενδιαφερόμενα μέρη. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση κατάλληλων δεικτών, οι οποίοι

επιχειρούν να αποτυπώσουν την ένταση και την εξέλιξη των φαινομένων τα οποία περιγράφουν.

Ενδεικτικά, για φαινόμενα ξηρασίας και λειψυδρίας χρησιμοποιείται μια σειρά δεικτών οι οποίοι χρησιμεύουν στη λήψη αποφάσεων για την αντιμετώπιση των φαινομένων αυτών. Τέτοιοι δείκτες είναι: Palmer Hydrological Drought Severity Index (PHDI), Palmer Moisture Anomaly Index (Z-Index), Surface Water Supply Index (SWSI), Standardized Precipitation Index (SPI), Rainfall Anomaly Index (RAI), Water Availability Index (WAI), Integrated Sectoral Water Stress Index (ISWSI), Aquastress Water Stress Index (AWSI), Water Exploitation Index (WEI) (EMWIS, 2010).

2.1 Βασικό σύνολο δεικτών του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (EEA Core Set of Indicators)

Τον Μάρτιο του 2004 εγκρίθηκε από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (ΕΟΠ) ένα βασικό σύνολο δεικτών για διάφορους τομείς του περιβάλλοντος και των ανθρώπινων δραστηριοτήτων (EEA, 2005). Σύμφωνα με τον ορισμό του ΕΟΠ, ένας δείκτης είναι ένα μέτρο, συνήθως ποσοτικό, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει και να μεταδώσει πολύπλοκα φαινόμενα με απλό τρόπο, συμπεριλαμβάνοντας τις τάσεις τους και την πρόοδό τους στο χρόνο. Το βασικό αυτό σύνολο δεικτών του ΕΟΠ περιλαμβάνει επτά δείκτες για το νερό, ένας εκ των οποίων είναι η χρήση των υδατικών πόρων γλυκού νερού (use of freshwater resources-CSIO18). Πιο συγκεκριμένα, ο δείκτης αυτός εκφράζεται με τον δείκτη εκμετάλλευσης νερού (Water Exploitation Index-WEI), ο οποίος υπολογίζει τις απολήψεις νερού ως ποσοστό των ανανεώσιμων υδατικών πόρων μιας περιοχής.

Τον Μάιο του 2012 έγινε από τον ΕΟΠ μια επικαιροποίηση σχετικά με την ανάπτυξη δεικτών για τη λειψυδρία και την ξηρασία. Στην ενημερωμένη αυτή έκδοση περιλαμβάνεται ο δείκτης εκμετάλλευσης νερού (+) (WEI+), στον οποίο λαμβάνονται υπόψιν οι ροές νερού που επιστρέφουν στο περιβάλλον και έτσι, αντί για τον υπολογισμό των συνολικών απολήψεων ως ποσοστό των ανανεώσιμων υδατικών πόρων, υπολογίζεται η κατανάλωση του γλυκού νερού ως ποσοστό των ανανεώσιμων υδατικών πόρων μιας περιοχής (Faegermann, 2012).

Η αναγκαιότητα κατάρτισης δεικτών και η συνεχής μελέτη που γίνεται πάνω σε αυτούς έχει ως στόχο την αποτελεσματικότερη αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης και της εξέλιξης των υπό μελέτη φαινομένων. Στη συνέχεια, οι εξαγόμενοι δείκτες δίνουν τη δυνατότητα στους αρμόδιους φορείς να δράσουν στοχευμένα για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που ανακύπτουν μέσα από τη θέσπιση κατάλληλων μέτρων και πολιτικών.

2.2 Water accounting system του ΟΗΕ

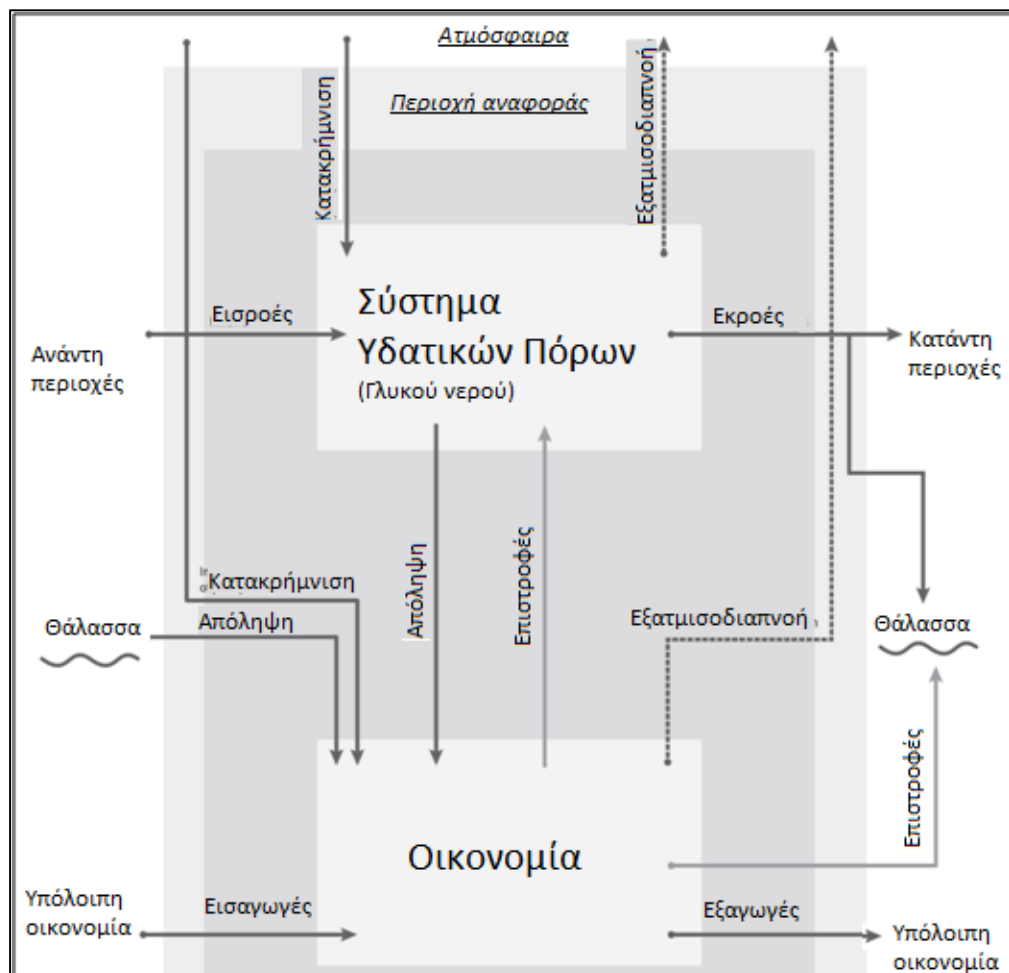
Ο καθορισμός των παραμέτρων και των μεθόδων που απαιτούνται για τον υπολογισμό του δείκτη WEI+ οφείλουν να ακολουθούν μια έγκυρη και συνεπή ως προς την επιστήμη της υδρολογίας διαδικασία. Για το λόγο αυτό εφαρμόζεται ένα εννοιολογικό σύστημα συλλογής, ταξινόμησης και εκμετάλλευσης της υδρολογικής πληροφορίας το οποίο αφορά στα περιβαλλοντικά και οικονομικά "λογιστικά" για το νερό. Το σύστημα αυτό θεσπίστηκε από τα Ηνωμένα Έθνη και ονομάζεται System of Environmental-Economic Accounting for Water (SEEA-Water). Το SEEA-Water παρέχει ένα εννοιολογικό πλαίσιο με σκοπό την οργάνωση των υδρολογικών και οικονομικών πληροφοριών με συνεκτικό και συνεπή τρόπο. Περιγράφει την αλληλεπίδραση μεταξύ της οικονομίας και του περιβάλλοντος και καλύπτει όλο το φάσμα των φυσικών πόρων και του περιβάλλοντος. Η δομή η οποία ακολουθείται στηρίζεται στην κατάρτιση κάποιων βασικών πινάκων οι οποίοι επικεντρώνονται στις υδρολογικές και οικονομικές πληροφορίες. Ακόμα, περιλαμβάνει μια σειρά συμπληρωματικών πινάκων οι οποίοι καλύπτουν πληροφορίες που αφορούν κοινωνικές παραμέτρους και βοηθούν στην ανάλυση των δεδομένων (United Nations, 2012).

Στο SEEA-Water αναλύεται και εφαρμόζεται η ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων η οποία στηρίζεται στη θεώρηση του νερού ως ένα ακέραιο μέρος του οικοσυστήματος, ένα φυσικό πόρο και ταυτόχρονα ένα κοινωνικό και οικονομικό αγαθό. Η ποιότητα και η ποσότητα του νερού καθορίζουν, με τη σειρά τους, τη φύση των χρήσεων του. Έτσι, η βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων καλείται να διασφαλίσει ότι θα υπάρχει η απαιτούμενη ποσότητα νερού για τις μελλοντικές γενιές και ταυτόχρονα η ποιότητά του θα είναι σε υψηλά επίπεδα.

Γενικά, το SEEA-Water αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο το οποίο αν συνδυαστεί με μια βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων μπορεί να παράσχει πολύτιμες πληροφορίες και

γνώση στα κέντρα λήψης αποφάσεων για το σχεδιασμό πολιτικής για τα νερά. Πιο συγκεκριμένα, οι αρμόδιοι φορείς μπορούν να αντλήσουν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την κατανομή των υδατικών πόρων, τη βελτίωση της αποδοτικότητας του νερού και την κατανόηση του αντίκτυπου που ασκεί η διαχείριση των υδάτων σε όλους τους χρήστες.

Το περιβαλλοντικό και οικονομικό σύστημα αλληλεπιδρούν με τον τρόπο που παρουσιάζεται στο Σχήμα 2-1. Πρόκειται για μια απλοποιημένη απεικόνιση των ροών του νερού μεταξύ περιβάλλοντος και οικονομίας οι οποίες λαμβάνουν μέρος στις εκτελούμενες δραστηριότητες. Φυσικά, η απεικόνιση αυτή παραλείπει λεπτομέρειες στις ροές του νερού, αν και λαμβάνονται υπόψιν στους υπολογισμούς, με σκοπό να παρουσιάσει ολόκληρο το σύστημα με εύληπτο τρόπο.



Σχήμα 2-1: Αλληλεπίδραση του περιβαλλοντικού και οικονομικού συστήματος σύμφωνα με το SEEA-Water (Πηγή: United Nations, 2012)

2.3 Συλλογή δεδομένων

Κρίσιμος παράγοντας για την επιτυχή εφαρμογή ενός δείκτη είναι η χρήση αξιόπιστων και πλήρων δεδομένων για τις χρησιμοποιούμενες παραμέτρους. Ο υπολογισμός του δείκτη WEI+ απαιτεί δεδομένα τα οποία σχετίζονται με το νερό και τις δραστηριότητες που εξαρτώνται από αυτό.

Η Οδηγία 2000/60 ορίζει, στο Άρθρο 8, την υποχρέωση των κρατών μελών για παρακολούθηση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων. Τα δεδομένα αυτά, τα οποία παρατίθενται από τα κράτη μέλη, κρατούνται στο Ευρωπαϊκό Σύστημα Πληροφοριών (Water Information System for Europe-WISE).

Το WISE είναι μια κοινοπραξία μεταξύ της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (και πιο συγκεκριμένα των φορέων Directorate-General for the Environment, Joint Research Centre και Eurostat) και του ΕΟΠ. Πιο συγκεκριμένα, ο φορέας Directorate-General for the Environment (GD Environment) ηγείται της τακτικής και στρατηγικής κατεύθυνσης του WISE και έρχεται σε επαφή με τα κράτη μέλη σχετικά με τις επίσημες απαιτήσεις της ευρωπαϊκής νομοθεσίας για την παρακολούθηση και παράθεση των στοιχείων. Ο ΕΟΠ φιλοξενεί το κέντρο των δεδομένων για το νερό και τις θεματικές ιστοσελίδες του WISE. Το Joint Research Centre διευθύνει την παρακολούθηση του περιβάλλοντος και τη μοντελοποίηση των υδατικών πόρων χρησιμοποιώντας, ταυτόχρονα, υπηρεσίες άμεσης πρόβλεψης μεγεθών που σχετίζονται με τους υδατικούς πόρους. Τέλος, η Eurostat συλλέγει και διαθέτει στατιστικά στοιχεία για το νερό και συμμετέχει σε επιμέρους θεματικές ενότητες οι οποίες αφορούν στο WISE (water.europa.eu).

Εκτός από τις υποχρεώσεις που δεσμεύουν τα κράτη μέλη για παροχή στοιχείων και δεδομένων που αφορούν στους υδατικούς πόρους, οι αρμόδιοι φορείς επιχειρούν τη συλλογή επιπλέον δεδομένων με σκοπό την κατά το δυνατό λεπτομερή καταγραφή της κατάστασης του περιβάλλοντος. Για παράδειγμα, η Eurostat, ακολουθώντας την πρωτοβουλία του Ο.Ο.Σ.Α., επιχειρεί τη συλλογή δεδομένων για τα βασικά περιβαλλοντικά ζητήματα. Για το σκοπό αυτό, υιοθετεί τη χρήση του Joint Questionnaire on Inland Waters (JQ) για την υλοποίηση της συλλογής, εκτίμησης και συγκέντρωσης δεδομένων τα οποία να είναι συγκρίσιμα με αντίστοιχα δεδομένα από άλλες περιοχές. Η συμπλήρωση του JQ γίνεται εθελοντικά από τα κράτη μέλη της Ε.Ε. και γίνεται μέσω πινάκων οι οποίοι

περιλαμβάνουν παραμέτρους σχετικές με τον υδρολογικό κύκλο, την παροχή νερού, την επεξεργασία των λυμάτων και τη ρύπανση των υδατικών πόρων (Nagy et al., 2008).

Αντίστοιχα, ο ΕΟΠ διενεργεί σειρά προγραμμάτων και ενεργειών με σκοπό την αποτύπωση της κατάστασης του περιβάλλοντος. Σύμφωνα με τα έντυπα αναφοράς των δεδομένων, τα οποία έχει καταρτίσει για τη συλλογή στοιχείων που αφορούν στην κατάσταση του περιβάλλοντος (State of Environment reporting sheets), ορίζονται οι παράμετροι οι οποίες καταγράφονται. Σχετικά με την ποσοτική κατάσταση των υδάτων (Reporting Sheet SoE#3), ο ΕΟΠ συλλέγει 185 παραμέτρους. Οι αντίστοιχες παράμετροι που συλλέγονται μέσω του JQ είναι 106 και από αυτές οι 87 είναι κοινές με το Reporting Sheet SoE#3. Γίνεται, λοιπόν, μια προσπάθεια να ληφθούν υπόψιν τα νέα ζητήματα που ανακύπτουν από τη συζήτηση της αναθεώρησης της Οδηγίας για τα νερά, να μειωθούν οι παράμετροι που συλλέγονται και γενικά να συμμορφωθούν οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται από τον ΕΟΠ με τις παραμέτρους που χρησιμοποιούνται από άλλους φορείς (π.χ. ΟΟΣΑ/JQ). Πάνω σε αυτό το ζήτημα, έχουν ήδη προταθεί οι κατάλληλες προσαρμογές των παραμέτρων που συλλέγει ο ΕΟΠ με σκοπό τη δημιουργία ομογενών βάσεων δεδομένων από τους διάφορους φορείς, αφαιρώντας 97 από τις 185 παραμέτρους. Ακόμα, σημαντική προσαρμογή στις παραμέτρους αποτελεί η είσοδος 15 νέων παραμέτρων, μιας εκ των οποίων είναι ο δείκτης WEI+ (Vanneuville, 2014).

2.4 Διαθεσιμότητα δεδομένων

Η αξιοπιστία ενός δείκτη είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την αξιοπιστία των δεδομένων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του. Πιο συγκεκριμένα, για τον δείκτη WEI+ οι χρησιμοποιούμενες παράμετροι είναι η κατακρήμνιση (Precipitation), η πραγματική εξατμισοδιαπνοή (Eta), οι εισροές νερού από ανάντη περιοχές (ExIn), η μεταβολή στην αποθηκευτικότητα των λιμνών και των ταμιευτήρων (ΔS_{art}), οι εκροές νερού (Outflow), οι απολήψεις νερού (Abstractions) και οι επιστροφές νερού στο σύστημα (Returns). Οι παράμετροι αυτές είτε υπάρχουν αυτούσιες είτε μπορούν να υπολογιστούν από τις παραμέτρους οι οποίες συλλέγονται από το JQ και το WISE.

Αρχικά, έγινε έλεγχος στα δεδομένα του WISE για να διαπιστωθεί η διαθεσιμότητα των δεδομένων και η δυνατότητα ή μη εφαρμογής του δείκτη WEI+ με αυτά. Καμία από τις περιοχές οι οποίες έχουν αναφέρει στοιχεία στη βάση Waterbase-Water quantity του WISE

δεν καλύπτει όλες τις απαιτούμενες παραμέτρους για μηνιαίο χρονικό βήμα. Ακόμη, η χωρική κλίμακα η οποία είναι διαθέσιμη για τις παραμέτρους αυτές δεν είναι σταθερή για όλες τις χώρες. Υπάρχουν χώρες οι οποίες παραδίδουν δεδομένα για λεκάνες απορροής ή υπολεκάνες, οι οποίες όμως δεν καλύπτουν πάντα το 100% της εδαφικής έκτασης της κάθε χώρας.

Στη συνέχεια, επιχειρήθηκε η αναζήτηση δεδομένων μέσω της Eurostat (από τα στοιχεία που δίνουν τα κράτη μέλη εθελοντικά στο JQ). Δυστυχώς, όμως, η κατάσταση που παρατηρήθηκε δεν ήταν πολύ διαφορετική. Χρησιμοποιώντας ως χωρική κλίμακα τη λεκάνη απορροής, βρέθηκαν κάποιες χώρες οι οποίες διαθέτουν δεδομένα για σχεδόν όλες τις παραμέτρους που απαιτούνται (π.χ. Λιθουανία, Σλοβακία, Κύπρος, Μάλτα, Γαλλία και Ρουμανία) ενώ για όσες παραμέτρους δεν υπάρχει διαθεσιμότητα δεδομένων υπάρχει η δυνατότητα εύλογων παραδοχών. Βασικό μειονέκτημα των δεδομένων που συλλέγονται μέσω του JQ είναι ότι αφορούν σε ετήσια χρονική κλίμακα. Αυτό αποτέλεσε το βασικό αποτρεπτικό παράγοντα για τη χρήση των δεδομένων της Eurostat.

Είναι φανερό ότι η διαθεσιμότητα των δεδομένων αποτελεί τον περιοριστικό παράγοντα στην εφαρμογή δεικτών όπως ο WEI+ και για το λόγο αυτό κρίνεται επιτακτική η ανάγκη να ενταθούν οι προσπάθειες οι οποίες γίνονται για πλήρη, ομοιογενή και αξιόπιστα δεδομένα σε όλη την Ευρώπη.

2.5 Χωρική κλίμακα

Στην υδρολογία τα εξεταζόμενα φαινόμενα παρουσιάζουν μεγάλη διαφοροποίηση αναφορικά με τη χωρική κλίμακα στην οποία εξετάζονται. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαίο να εντοπίζεται, σε κάθε περίπτωση, η χωρική κλίμακα η οποία μπορεί να δώσει την καλύτερη πληροφορία σχετικά με ένα μέγεθος. Η λεκάνη απορροής αποτελεί τη σημαντικότερη κλίμακα για την επιστήμη της υδρολογίας και όλες οι υπόλοιπες κλίμακες μπορούν να καταρτιστούν αθροίζοντας διάφορες λεκάνες απορροής (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2006). Η λεκάνη απορροής (River Basin), σύμφωνα με την Οδηγία 2006/60/ΕΚ ορίζεται ως η εδαφική έκταση από την οποία συγκεντρώνεται το σύνολο της απορροής μέσω διαδοχικών ρευμάτων, ποταμών και πιθανώς λιμνών και παροχετεύεται στη θάλασσα με ενιαίο στόμιο ποταμού, εκβολές ή δέλτα. Ορίζεται, ακόμα, η έννοια της υπολεκάνης (Sub-Basin), η οποία αναφέρεται στην εδαφική έκταση από την οποία συγκεντρώνεται το

σύνολο της απορροής μέσω σειράς ρευμάτων, ποταμών και πιθανώς λιμνών σε συγκεκριμένο σημείο υδάτινου ρεύματος (συνήθως λίμνης ή συμβολής ποταμών). Επίσης, η Οδηγία ορίζει την περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού (River Basin District) η οποία είναι η θαλάσσια και χερσαία έκταση, που αποτελείται από μια ή περισσότερες γειτονικές λεκάνες απορροής ποταμού μαζί με τα συναφή υπόγεια και παράκτια ύδατα, και η οποία προσδιορίζεται ως η βασική μονάδα διαχείρισης των λεκανών απορροής ποταμού.

Η επιλογή της κατάλληλης χωρικής κλίμακας εξαρτάται τόσο από το υπό εξέταση μέγεθος όσοι και από το σκοπό του όλου εγχειρήματος. Έτσι, παρά το γεγονός ότι η Οδηγία ορίζει ως βασική μονάδα διαχείρισης την περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού, πολλές φορές απαιτούνται πιο λεπτομερείς χωρικές κλίμακες (όπως η υπολεκάνη) για να απεικονίσουν την κατάσταση μιας περιοχής. Αντίστοιχα, υπάρχουν περιπτώσεις όπου η λεπτομερής χωρική κλίμακα δεν προσφέρει επιπλέον πληροφορία για το φαινόμενο το οποίο μελετάται και προτιμάται μια πιο χονδροειδής κλίμακα.

2.6 Χρονική κλίμακα

Τα υδρολογικά φαινόμενα εξελίσσονται μέσα στο χρόνο και για το λόγο αυτό είναι σκόπιμη η συνεχής παρακολούθησή τους. Ωστόσο, αυτό δεν είναι πάντα εφικτό και οι μετρήσεις των διάφορων υδρολογικών παραμέτρων γίνονται σε κατάλληλο χρονικό βήμα. Το χρονικό βήμα το οποίο χρησιμοποιείται εξαρτάται από την παράμετρο η οποία εξετάζεται καθώς και από το σκοπό για τον οποίο πραγματοποιείται η ανάλυση. Για παράδειγμα, οι χρονικές κλίμακες λεπτών, ώρας και ημέρας είναι κατάλληλες για μελέτες καταιγίδων και πλημμυρών ενώ στα προβλήματα αξιοποίησης υδατικών πόρων επαρκεί η μηνιαία ή ετήσια κλίμακα (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2006). Φυσικά, η επιθυμητή χρονική κλίμακα δεν είναι πάντα διαθέσιμη καθώς οι μετρήσεις των υδρολογικών παραμέτρων μπορεί να μην ανταποκρίνονται σε αυτή. Επομένως, εκτός από την καταλληλότητα της χρονικής κλίμακας πρέπει να ελέγχεται και η διαθεσιμότητα των δεδομένων στην κλίμακα αυτή.

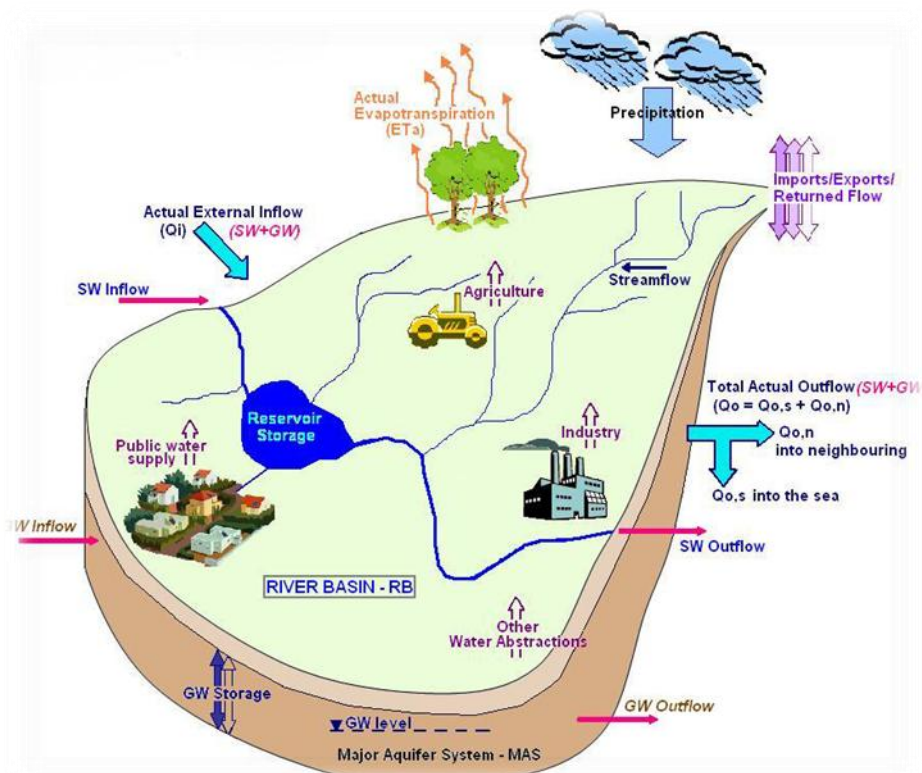
Κεφάλαιο 3ο : Μεθοδολογία εφαρμογής δείκτη WEI+

3.1 Εξισώσεις υπολογισμού και χρησιμοποιούμενες παράμετροι

Ο δείκτης WEI+ αναπτύχθηκε από το Expert Group on Water Scarcity & Droughts και, ουσιαστικά, δείχνει το επίπεδο της πίεσης που ασκούν οι ανθρώπινες δραστηριότητες στους φυσικούς υδατικούς πόρους. Ο υπολογισμός του γίνεται μέσω της Σχέσης 3-1 η οποία εκφράζει το ποσοστό των ανανεώσιμων υδατικών πόρων οι οποίοι καταναλώνονται.

$$WEI+ = \frac{(Abstractions - Returns)}{Renewable Water Resources} = \frac{Water Consumption}{RWR} \quad (3-1)$$

Το υδρολογικό σύστημα το οποίο χρησιμοποιείται για τον ορισμό των διαφόρων απαιτούμενων παραμέτρων φαίνεται στο Σχήμα 3-1. Σε αυτό το σύστημα αναφοράς αποτυπώνονται οι βασικές ροές νερού μέσα στα όρια της λεκάνη απορροής. Οι ροές αυτές αφορούν τόσο στις φυσικές διεργασίες του υδρολογικού κύκλου όσο και στις ανθρωπογενείς δραστηριότητες στις οποίες χρησιμοποιείται το νερό.



Σχήμα 3-1: Υδρολογικό σύστημα αναφοράς (Πηγή: Faegermann, 2012)

Ο υπολογισμός των ανανεώσιμων υδατικών πόρων (Renewable Water Resources) προκύπτει από το υδρολογικό ισοζύγιο. Για τις λεκάνες απορροής οι οποίες δεν έχουν υποστεί μεγάλες ανθρώπινες παρεμβάσεις το υδρολογικό ισοζύγιο εκφράζεται ως εξής (Σχέση 3-2):

$$ExIn + P - Eta - \Delta S = Q_{nat} \quad (3-2)$$

Στην περίπτωση αυτή, και τα δυο μέλη της εξίσωσης μπορεί να θεωρηθεί ότι αντιπροσωπεύουν τους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους (RWR) της λεκάνης και έτσι προκύπτουν δυο επιλογές για τον υπολογισμό τους (Σχέση 3-3 και 3-4):

$$1. RWR = ExIn + P - Eta - \Delta S \quad (3-3)$$

$$2. RWR = Q_{nat} \quad (3-4)$$

Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται στις παραπάνω σχέσεις (Σχέση 3-3 και 3-4) ορίζονται ως ακολούθως:

ExIn: Εισροές από ανάντη περιοχές (Actual External Inflow). Πρόκειται για το συνολικό όγκο νερού που εισέρχεται μέσω ποταμών και υπόγειων υδροφορέων μέσα στον εξεταζόμενο χώρο. Η προέλευση του νερού αυτού είναι από περιοχές οι οποίες βρίσκονται εκτός της εξεταζόμενης περιοχής. Οι εισροές μετρούνται σε εκατομμύρια κυβικά μέτρα (hm^3).

P: Κατακρήμιση (Precipitation). Αφορά στο συνολικό όγκο κατακρημισμάτων από την ατμόσφαιρα (βροχή, χιόνι, χαλάζι) και μετριέται σε εκατομμύρια κυβικά μέτρα (hm^3).

Eta: Πραγματική εξατμισοδιαπνοή (Actual Evapotranspiration). Ορίζεται ως ο συνολικός όγκος νερού που εξατμίζεται από το έδαφος, τους υγροτόπους και τα φυσικά υδάτινα σώματα και από τη διαπνοή των φυτών. Υπολογίζεται μέσω διαφόρων μαθηματικών μοντέλων, από απλούς αλγορίθμους έως λεπτομερή σχήματα τα οποία λαμβάνουν υπόψιν ολόκληρο τον υδρολογικό κύκλο. Κατά την εφαρμογή της Σχέσης 3-3 δεν πρέπει να γίνεται σύγκριση μεταξύ της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής και της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, η οποία εκφράζει τη μέγιστη ποσότητα νερού που μπορεί να εξατμιστεί σε μια δεδομένη κατάσταση. Μετριέται σε εκατομμύρια κυβικά μέτρα (hm^3).

ΔS : Μεταβολή στην αποθηκευτικότητα (Change in storage). Η μεταβολή στην αποθηκευτικότητα του νερού είναι θετική όταν αναφέρεται σε αύξηση των αποθεμάτων και αρνητική όταν αναφέρεται σε μείωση. Ο όρος αυτός περιλαμβάνει τόσο τη φυσική μεταβολή στην αποθηκευτικότητα (ΔS_{nat}) η οποία λαμβάνει χώρα στο έδαφος, το υπέδαφος, τις φυσικές λίμνες κ.α. καθώς και τη μεταβολή των αποθεμάτων νερού στους ταμιευτήρες και τις λίμνες (ΔS_{art}). Το ΔS μπορεί να αγνοηθεί για μακροπρόθεσμους μέσους όρους ενώ πρέπει να ληφθεί μια εκτίμησή του για ετήσιους υπολογισμούς και να ληφθεί πολύ σοβαρά υπόψιν στους μηνιαίους υπολογισμούς. Μετριέται σε εκατομμύρια κυβικά μέτρα (hm^3).

Q_{nat} : Φυσική απορροή (Natural Runoff). Συνυπολογίζονται οι απορροές από τα ποτάμια και τους υπόγειους υδροφορείς τόσο στη θάλασσα όσο και σε γειτονικές περιοχές. Η φυσική απορροή μετριέται σε εκατομμύρια κυβικά μέτρα (hm^3).

Οι παραπάνω σχέσεις μέσω των οποίων υπολογίζονται οι ανανεώσιμοι υδατικοί πόροι δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε λεκάνες απορροής οι οποίες έχουν υποστεί ανθρώπινες παρεμβάσεις αφού η παρατηρούμενη εκροή δεν ισούται με τους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους. Αντιθέτως, απαιτείται επαναπροσδιορισμός της εκροής λαμβάνοντας υπόψιν την κατανάλωση νερού και την αλλοίωση της ροής λόγω της ανθρώπινης παρέμβασης στη διαχείριση των υδάτων, πράγμα που προσεγγίζεται μέσω της διακύμανσης της αποθήκευσης στους ταμιευτήρες. Έτσι, προκύπτουν, εκ νέου, δυο επιλογές για τον υπολογισμό των ανανεώσιμων υδατικών πόρων (σχέση 3-5 και 3-6).

$$1. RWR = ExIn + P - Eta - \Delta S_{nat} \quad (3-5)$$

$$2. RWR = Outflow + (Abstraction - Return) - \Delta S_{art} \quad (3-6)$$

Οι επιπλέον παράμετροι που εισάγονται στις παραπάνω σχέσεις ορίζονται ως εξής:

Abstraction: Απολήψεις νερού οι οποίες γίνονται από τα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα και γίνονται είτε μόνιμα είτε προσωρινά. Το νερό που χρησιμοποιείται για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας δεν πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν στον όρο αυτό ενώ το νερό για εξόρυξη και ψύξη μηχανών πρέπει να υπολογίζεται μέσα στις απολήψεις. Οι απολήψεις μετριούνται σε εκατομμύρια κυβικά μέτρα (hm^3).

Return: Επιστροφή νερού. Πρόκειται για την ποσότητα νερού που απολήφθηκε από το περιβάλλον (π.χ. από μια λεκάνη απορροής) και εκφορτίστηκε ξανά σε αυτό (στην ίδια λεκάνη απορροής) είτε πριν τη χρήση του (π.χ. απώλειες) είτε μετά τη χρήση του (ως επεξεργασμένη ή μη εκροή). Περιλαμβάνει το νερό το οποίο ελευθερώνεται απευθείας από το χρήστη (π.χ. οικιακή χρήση, βιομηχανική χρήση, νερό ψύξης και εξόρυξης) καθώς και νερό το οποίο χάθηκε από το σύστημα συλλογής ακαθάρτων (ως υπερχειλίση ή διαρροή). Η τεχνητή αναπλήρωση υπόγειου υδροφορέα θεωρείται επίσης επιστροφή νερού για τον υπολογισμό του WEI+. Οι επιστροφές νερού μετρούνται σε εκατομμύρια κυβικά μέτρα (hm^3).

Outflow: Εκροή νερού. Αναφέρεται στη συνολική εκροή νερού σε γειτονικές περιοχές και στη θάλασσα και μετριέται σε εκατομμύρια κυβικά μέτρα (hm^3).

Στην πρώτη επιλογή (Σχέση 3-5), είναι δύσκολο να ενσωματωθούν οι διακυμάνσεις της φυσικής μεταβολής της αποθήκευσης του νερού (ΔS_{nat}). Ο υπολογισμός του τις περισσότερες φορές γίνεται μέσω υδρολογικών μοντέλων και συνεπώς είναι μια παράμετρος η οποία δεν μπορεί να ληφθεί μέσω μετρήσεων. Έτσι, προκύπτουν σοβαρά λάθη στους υπολογισμούς από την αβεβαιότητα που ενέχει η εκτίμηση του ΔS_{nat} . Από την άλλη μεριά, η δεύτερη επιλογή (Σχέση 3-6) θεωρείται πιο καλή και προτιμάται έναντι της προηγούμενης, αν και παρουσιάζει κάποια ζητήματα, τα οποία χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής. Πιο συγκεκριμένα, ανακύπτουν δυσκολίες ως προς τον επαναπροσδιορισμό της εκροής σε πολύπλοκα συστήματα ταμιευτήρων σε μηνιαίο χρονικό βήμα. Ακόμα, η υπερεκμετάλλευση των υπόγειων υδροφορέων πρέπει να αφαιρείται από τα ανανεώσιμα ύδατα (RWR) και το ΔS_{art} πρέπει να υπολογίζεται με μεγάλη προσοχή όταν στο εξεταζόμενο σύστημα εισέρχονται ποσότητες νερού από μεταφορά (από άλλη περιοχή) ή αφαλάτωση. Φυσικά, η καταλληλότητα υιοθέτησης μιας από τις δυο επιλογές για τον υπολογισμό των ανανεώσιμων υδατικών πόρων προκύπτει από τη διαθεσιμότητα και την αξιοπιστία των παρεχόμενων δεδομένων και τις ιδιαίτερες συνθήκες της περιοχής που εξετάζεται.

Εμβαθύνοντας λίγο στην ανάλυση των χρησιμοποιούμενων παραμέτρων, αξίζει να επισημανθεί ότι ο υπολογισμός της κατανάλωσης νερού γίνεται αφαιρώντας τις επιστροφές νερού από τις συνολικές απολήψεις. Ο όρος αυτός δε θα πρέπει να συγχέεται με τη ζήτηση νερού η οποία είναι η ποσότητα νερού την οποία θα απαιτούσαν οι δραστηριότητες μιας

περιοχής, εάν το νερό δεν είχε ποσοτικό περιορισμό. Η ζήτηση νερού είναι ένα θεωρητικό μέγεθος το οποίο ανταποκρίνεται στην υπάρχουσα κατάσταση ή σε μελλοντικά κοινωνικοοικονομικά σενάρια. Η χρήση της παραμέτρου των συνολικών απολήψεων νερού για τον υπολογισμό της κατανάλωσης νερού αποσκοπεί στην καλύτερη απεικόνιση της πίεσης που ασκείται στο σύστημα. Ωστόσο, εάν η ζήτηση νερού είναι σημαντικά μεγαλύτερη από τις συνολικές απολήψεις που πραγματοποιούνται, τότε συστήνεται ο υπολογισμός ενός παράλληλου δείκτη ο οποίος θα απεικονίζει αυτή την ανισορροπία και θα υπολογίζεται ως το πηλίκο της ζήτησης νερού προς τις συνολικές απολήψεις νερού ($\text{Water Demand Index} = \text{water demand} / \text{water abstraction}$) (Faegermann, 2012).

Ακόμα, ξεπερνώντας λίγο το στενό ορισμό του WEI+, είναι σκόπιμο να γίνει αναφορά στην οικολογική παροχή. Η οικολογική παροχή είναι ένα μέγεθος το οποίο δε λαμβάνει άμεσα μέρος στον υπολογισμό του WEI+, ωστόσο συνδέεται εννοιολογικά με τον δείκτη αυτό. Η οικολογική παροχή είναι η απαιτούμενη ποσότητα νερού για τη διατήρηση ή την αποκατάσταση κάποιων σημαντικών χαρακτηριστικών της ροής και της ποιότητας των υδάτων σε μια περιοχή. Έτσι, για να αποτυπωθούν καλύτερα οι πιέσεις στα φυσικά συστήματα, προτείνεται η υιοθέτηση ενός συμπληρωματικού δείκτη ο οποίος ορίζεται ως το πηλίκο των παρατηρούμενων απορροών των ποταμών προς τις φυσικές απορροές των ποταμών ($\text{Ratio of Observed-Natural Streamflows} = \text{observed streamflows} / \text{natural streamflows}$) (Faegermann, 2012).

3.2 Όρια του δείκτη WEI+

Τέλος, πρέπει να γίνει μια σημαντική επισήμανση σχετικά με τα όρια του δείκτη WEI+. Η θέσπιση ορίων αποτελεί μια χρονοβόρα διαδικασία καθώς απαιτεί έρευνα σε βάθος και μέχρι σήμερα δεν έχει ολοκληρωθεί. Τα όρια θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψιν τις περιβαλλοντικές και κοινωνικοοικονομικές συνθήκες κάθε περιοχής. Ωστόσο, ο δείκτης από μόνος του προσφέρει μια ικανοποιητική εικόνα για το μέγεθος της πίεσης που δέχεται μια περιοχή, αφού εκφράζει το ποσοστό των ανανεώσιμων υδατικών πόρων οι οποίοι καταναλώνονται (Faegermann, 2012).

Στην Αγγλία, το Environment Agency σε συνεργασία με το Natural Resources Wales εισήγαγαν το 2013 μια διαδικασία κατηγοριοποίησης των αποτελεσμάτων του WEI+. Η μέθοδος η οποία προτείνεται από αυτή τη μελέτη εξετάζει 4 περιπτώσεις για την απορροή

και πιο συγκεκριμένα τα ποσοστημόρια 30, 50, 70 και 95%. Για κάθε καθεστώς ροής χαρακτηρίζεται η πίεση που ασκείται στους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους σύμφωνα με τα όρια που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3-1.

Πίνακας 3-1: Γενικά όρια του WEI+ για τον καθορισμό της ασκούμενης πίεσης στους υδατικούς πόρους σύμφωνα με το Environment Agency και το Natural Resources Wales

Water Stress category	Q30	Q50	Q70	Q95
Serious	>51%	>49%	>45%	>40%
Moderate	26% - 51%	24 - 49%	20% - 45%	15% - 40%
Low	<26%	<24%	<20%	<15%

Γενικά, τα αποτελέσματα του δείκτη WEI+ εξαρτώνται από την αξιοπιστία των δεδομένων τα οποία χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του. Η αβεβαιότητα στις τιμές των παραμέτρων δημιουργεί αβεβαιότητα στα αποτελέσματα τα οποία προκύπτουν από την εφαρμογή του WEI+. Για το λόγο αυτό, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να χρησιμοποιούνται δεδομένα τα οποία προέρχονται από αξιόπιστες πηγές ή προκύπτουν από κατάλληλα μοντέλα.

3.3 Nopolu System2

Η πηγή των δεδομένων τα οποία χρησιμοποιούνται στην παρούσα μελέτη είναι η εφαρμογή Nopolu System2. Πρόκειται για μια εφαρμογή η οποία δημιουργήθηκε για να εφαρμόσει τα "λογιστικά του νερού" (Water Accounts) σύμφωνα με το SEEA-Water. Μέσω της εφαρμογής αυτής παράγονται οι πίνακες του SEEA-Water που απεικονίζουν την αλληλεπίδραση μεταξύ της οικονομίας και του περιβάλλοντος και πιο συγκεκριμένα μεταξύ του οικονομικού και του υδρολογικού συστήματος.

Η μεθοδολογία, η οποία αναπτύχθηκε, στηρίχθηκε στην επίτευξη λογικών ισορροπιών σχετικά με το νερό πάνω σε ένα μεγάλο σύνολο πηγών δεδομένων. Στην πραγματικότητα, ο υπολογισμός μεγεθών που αφορούν στους υδατικούς πόρους προκύπτει από τη συνάθροιση ενός τεράστιου αριθμού δεδομένων. Λόγω της αβεβαιότητας που προκύπτει από τις πολυάριθμες πηγές από τις οποίες αντλούνται τα δεδομένα ή ακόμη και λόγω έλλειψης πολλών από αυτά, η συμπλήρωση των παραγόμενων στοιχείων αντικατοπτρίζει μια διαδικασία ορισμού σεναρίων μέσω της οποίας λαμβάνονται αποφάσεις για αυτά (EEA, 2013).

Τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιούνται για τους υπολογισμούς λαμβάνονται απευθείας από την εφαρμογή Norolu και δε γίνεται σε αυτά καμία επεξεργασία. Οι παράμετροι που λαμβάνονται είναι οι εξής: κατακρήμνιση(Precipitation), πραγματική εξατμισοδιαπνοή (Actual Evapotranspiration), εκροή στη θάλασσα (Outflow to the Sea), απολήψεις νερού (Abstraction), επιστροφή νερού (Returns), αποθέματα λιμνών(Lakes), αποθέματα ταμιευτήρων (Reservoirs). Από τους όγκους των αποθεμάτων των λιμνών και των ταμιευτήρων υπολογίζεται η μεταβολή στην αποθηκευτικότητα ΔS_{art} . Οι χρησιμοποιούμενες παράμετροι έχουν προκύψει είτε από μετρήσεις είτε από εφαρμογή κατάλληλων μοντέλων, όπως για παράδειγμα η διακύμανση στα αποθέματα των λιμνών και των ταμιευτήρων η οποία έχει εκτιμηθεί από τις απορροές των ποταμών (EEA,2013). Αυτό δημιουργεί αβεβαιότητα για τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται η οποία δεν μπορεί να αξιολογηθεί και να εκτιμηθεί στο πλαίσιο της εργασίας αυτής.

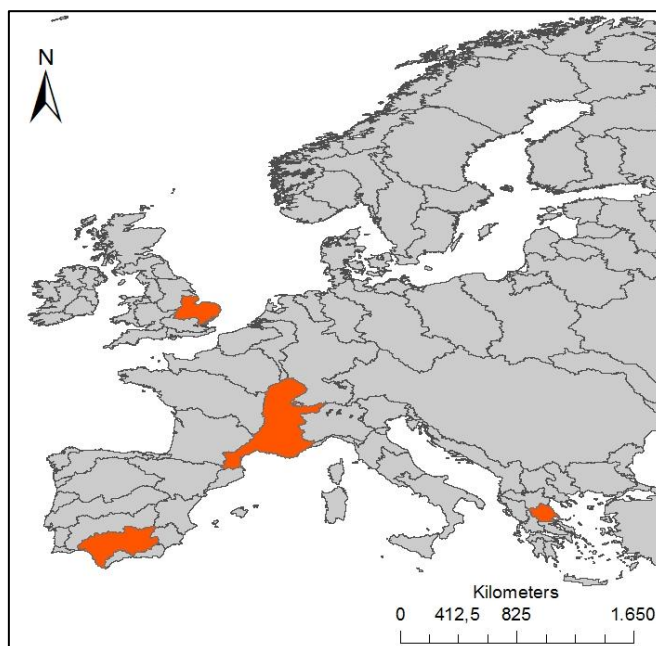
Κεφάλαιο 4ο : Αποτελέσματα

4.1 Εφαρμογή του δείκτη WEI+

Η μεθοδολογία που περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 3 εφαρμόστηκε στην παρούσα εργασία με σκοπό τον υπολογισμό του δείκτη WEI+. Τα δεδομένα, όπως έχει ήδη αναφερθεί, αντλούνται από την εφαρμογή Norolu System2. Οι περιοχές οι οποίες εξετάζονται είναι το υδατικό διαμέρισμα Anglian στην Αγγλία, το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας στην Ελλάδα (το οποίο περιλαμβάνει την περιοχή της λεκάνης απορροής του Πηνειού και των ρεμάτων του Πηλίου), η περιοχή της λεκάνης απορροής του Guadalquivir στην Ισπανία και του Rhône στη Γαλλία (Σχήμα 4-1).

Τα κριτήρια με τα οποία επιλέχθηκαν οι περιοχές αυτές είναι τα εξής:

- ολόκληρη η περιοχή της λεκάνης απορροής ή το μεγαλύτερο τμήμα της να βρίσκεται σε μια μόνο χώρα
- οι υπολεκάνες από τις οποίες αποτελείται η λεκάνη απορροής να μην είναι περισσότερες από 10
- οι επιλεγμένες περιοχές να βρίσκονται, κατά το δυνατόν, ομοιόμορφα κατανεμημένες στο χώρο.



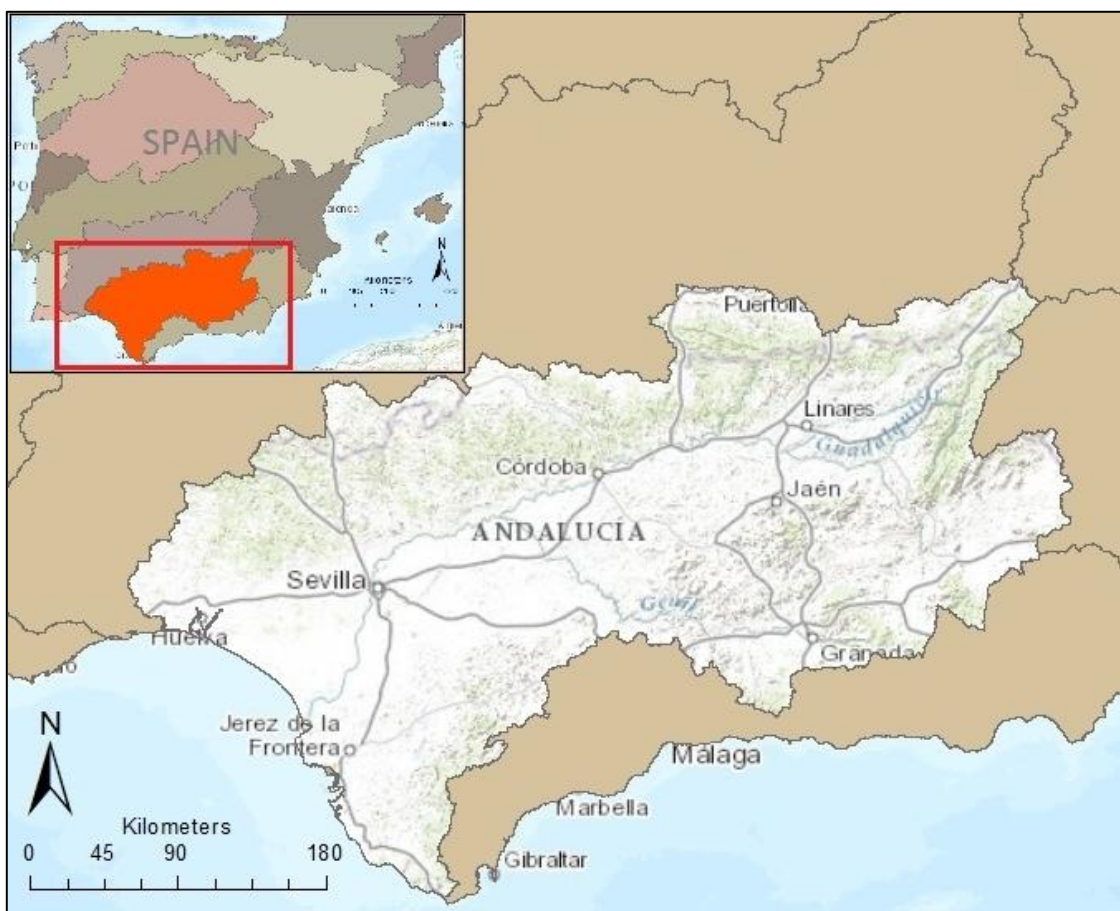
Σχήμα 4-1 : Περιοχή μελέτης- εφαρμογής του δείκτη WEI+

Η εξεταζόμενη περίοδος ξεκινά από τον Οκτώβριο του 2002 και τελειώνει το Σεπτέμβριο του 2008. Πρόκειται για 6 υδρολογικά έτη για τα οποία έχουν ληφθεί μηνιαίες τιμές για τις χρησιμοποιούμενες παραμέτρους. Στην περίπτωση της Θεσσαλίας, οι εκροές προς τη θάλασσα δεν δίνονται για όλο το χρονικό φάσμα των 6 υδρολογικών ετών. Για το λόγο αυτό τα ελλιπή δεδομένα συμπληρώθηκαν με τη χρήση του συντελεστή απορροής. Πιο συγκεκριμένα, για κάθε μήνα του χρόνου υπολογίστηκε ο μέσος συντελεστής απορροής (Εκροές/Κατακρήμιση). Ο συντελεστής αυτός πολλαπλασιάστηκε με την κατακρήμιση των αντίστοιχων μηνών οι οποίοι δεν είχαν πλήρη δεδομένα ώστε να εκτιμηθεί η εκροή για τους μήνες αυτούς.

Το χρονικό βήμα, όπως ήδη αναφέρθηκε, είναι μηνιαίο και η χωρική κλίμακα λαμβάνει ως βάση την περιοχή λεκάνης απορροής. Στο πλαίσιο της διερεύνησης της κατάλληλης χρονικής και χωρικής κλίμακας γίνανε υπολογισμοί σε χρονικό βήμα εξαμήνου και υδρολογικού έτους. Ακόμα, επιχειρήθηκε η εφαρμογή του δείκτη WEI+ σε επίπεδο υπολεκάνης. Ωστόσο τα αποτελέσματα για τις υπολεκάνες δεν μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστα επειδή τα δεδομένα των χρησιμοποιούμενων παραμέτρων παρουσίασαν ασυνέπεια ως προς τη σύνθεση των περιοχών λεκάνης απορροής από τις αντίστοιχες υπολεκάνες.

Ο υπολογισμός των ανανεώσιμων υδατικών πόρων έγινε και με τις δυο διαθέσιμες επιλογές ($RWR = ExIn + P - Eta - \Delta S_{nat}$ και $RWR = Outflow + (Abstraction - Return) - \Delta S_{art}$). Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι στην πρώτη εξίσωση έχει γίνει η παραδοχή ότι η φυσική μεταβολή στην αποθηκευτικότητα του νερού (ΔS_{nat}) μπορεί να αντικατασταθεί με τη μεταβολή στην αποθηκευτικότητα των λιμνών και των ταμιευτήρων (ΔS_{art}) λόγω έλλειψης των σχετικών δεδομένων. Η παραδοχή αυτή γίνεται με σκοπό να ξεπεραστεί η αδυναμία υπολογισμού του ΔS_{nat} χωρίς την εφαρμογή κάποιου υδρολογικού μοντέλου. Φυσικά, αυτό δημιουργεί απόκλιση στον υπολογισμό των ανανεώσιμων υδατικών πόρων η οποία πρέπει να ληφθεί υπόψη στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

4.2 Λεκάνη απορροής Guadalquivir



Σχήμα 4-2: Περιοχή λεκάνης απορροής Guadalquivir

Ο ποταμός Guadalquivir βρίσκεται στη νότια Ισπανία (Σχήμα 4-2), έχει μήκος 650 km και μέση ετήσια απορροή $7,230 \text{ hm}^3$. Η λεκάνη απορροής του καλύπτει μια περιοχή έκτασης $57,527 \text{ km}^2$ (13.4% της συνολικής επιφάνειας της Ισπανίας) (Berbel et al., 2011, Droogers and Immezeel, 2008). Στη λεκάνη επικρατεί μεσογειακό κλίμα με μέση θερμοκρασία τους 16.8°C και μέση ετήσια βροχόπτωση 596 mm. Η βροχόπτωση παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση τόσο στο χώρο όσο και στο χρόνο. Πιο συγκεκριμένα, στις χαμηλές, υψομετρικά, περιοχές η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι μικρότερη των 400 mm ενώ στα ορεινά ξεπερνά τα 1500 mm. Επίσης, παρατηρείται εποχική διακύμανση στη βροχόπτωση, καθώς η μεγαλύτερη ποσότητα βροχής εμφανίζεται κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών (Νοέμβριο έως Μάρτιο). Η εξατμισοδιαπνοή, αντίθετα, παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές στα χαμηλά υψόμετρα και μικρότερες τιμές στα μεγάλα υψόμετρα και επίσης κατά τη διάρκεια του χειμώνα είναι πολύ χαμηλή και κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού πολύ υψηλή. Ακόμη, τα υγρά έτη τείνουν να εμφανίζονται μαζί, όπως ακριβώς και τα ξηρά έτη,

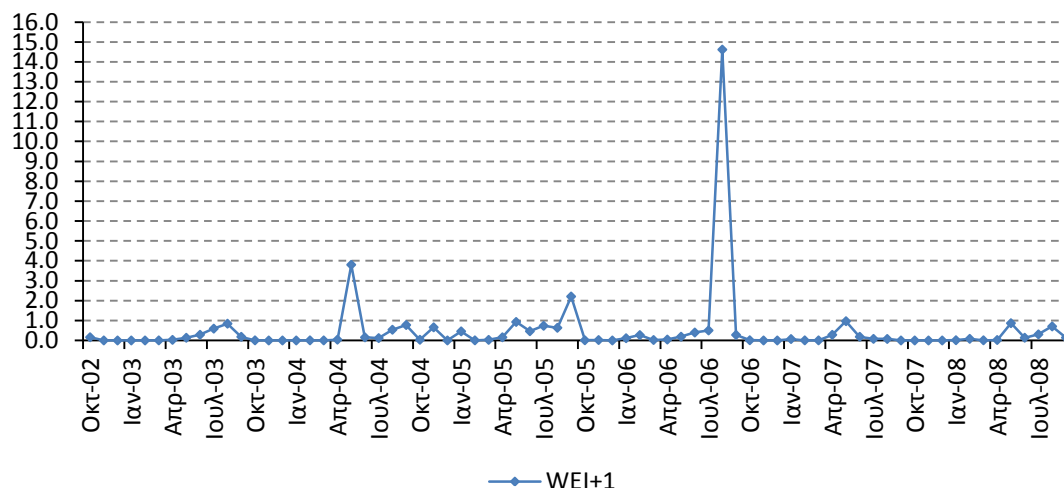
πράγμα που εντείνει τα φαινόμενα πλημμύρας και ξηρασίας αντίστοιχα (Blomquist et al., 2005, Bhat and Blomquist, 2001, Droogers and Immerzeel, 2008).

Η περιοχή χαρακτηρίζεται από έντονη αγροτική δραστηριότητα και μεγάλη αστικοποίηση. Η εικόνα αυτή αντικατοπτρίζεται απόλυτα στον καταμερισμό των χρήσεων νερού, όπου 85% χρησιμοποιείται για τη γεωργία, 11% για οικιακή χρήση, 3% για τη βιομηχανία και 1% για τον τουρισμό (Berbel et al., 2011). Η μεγαλύτερη έκταση που καλλιεργείται αποτελείται από ελιές, στα κεντρικά και ανατολικά της περιοχής καλλιεργούνται φρούτα και λαχανικά ενώ στα νότια υπάρχουν περιοχές όπου καλλιεργείται ρύζι. Ο ρυθμός ανάπτυξης του πληθυσμού στην περιοχή είναι μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο σε επίπεδο χώρας και για το λόγο αυτό οι απαιτήσεις για νερό από οικιακούς χρήστες είναι σημαντικές. Ακόμη, η αύξηση του πληθυσμού και η ανάπτυξη της βιομηχανίας δημιουργούν επιπλέον απαιτήσεις για ηλεκτρικό ρεύμα, οι οποίες, σε μεγάλο βαθμό, καλύπτονται από υδροηλεκτρικά έργα στην κύρια ροή του Guadalquivir (Bhat and Blomquist, 2001). Γενικά, η συγκέντρωση των αστικών και των γεωργικών δραστηριοτήτων στην κοιλάδα του ποταμού δημιουργεί δυσμενείς συνθήκες για την αξιοποίηση των υδατικών πόρων της περιοχής.

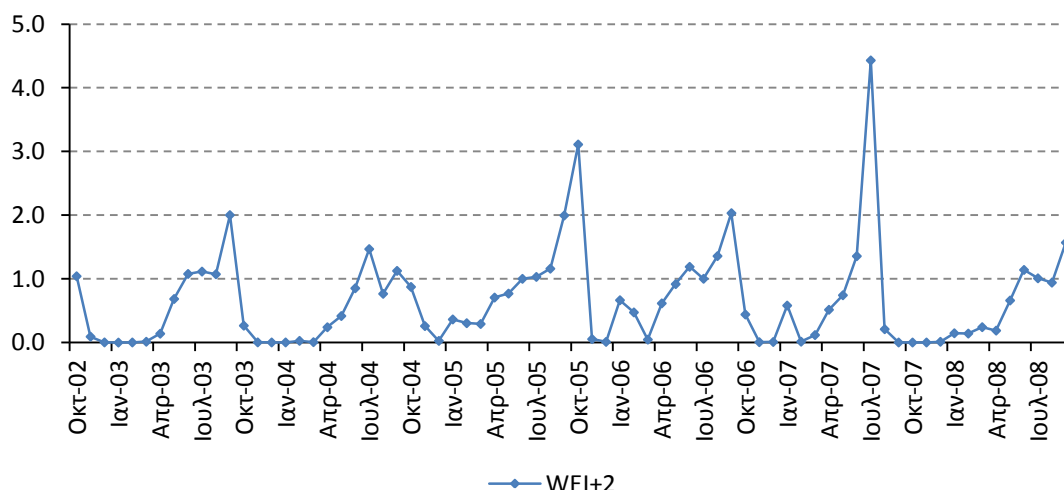
Στη λεκάνη απορροής του Guadalquivir εφαρμόζονται οι δύο εναλλακτικές επιλογές για τον υπολογισμό των ανανεώσιμων υδατικών πόρων (Σχέση 3-5 και 3-6) και υπολογίζονται δυο τιμές για τον WEI+ για κάθε μήνα (WEI+1 και WEI+2 αντίστοιχα). Η διακύμανση του δείκτη στο χρόνο για τις δυο εξισώσεις υπολογισμού φαίνεται στα Σχήματα 4-3 και 4-4.

Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι όταν ο δείκτης δίνει αποτέλεσμα >1 σημαίνει ότι οι ανανεώσιμοι υδατικοί πόροι του μήνα αυτού εξαντλήθηκαν και η κατανάλωση του νερού επηρέασε αποθέματα νερού τα οποία υπήρχαν στην περιοχή από τους προηγούμενους μήνες. Έτσι, ερμηνεύονται εννοιολογικά οι τιμές του δείκτη >1 .

Με την πρώτη εξίσωση (Σχήμα 4-3) παρατηρούνται κάποιες ακραίες τιμές (όπως η τιμή 14.6 του Αυγούστου 2006) οι οποίες εμποδίζουν την ανάδειξη της εποχικής διακύμανσης του δείκτη. Αντίθετα, με τη δεύτερη εξίσωση (Σχήμα 4-4) δεν παρατηρείται κάτι παρόμοιο.



Σχήμα 4-3: Δείκτης WEI+1 για την περιοχή λεκάνης απορροής του Guadalquivir για τη χρονική περίοδο 10/02-09/08

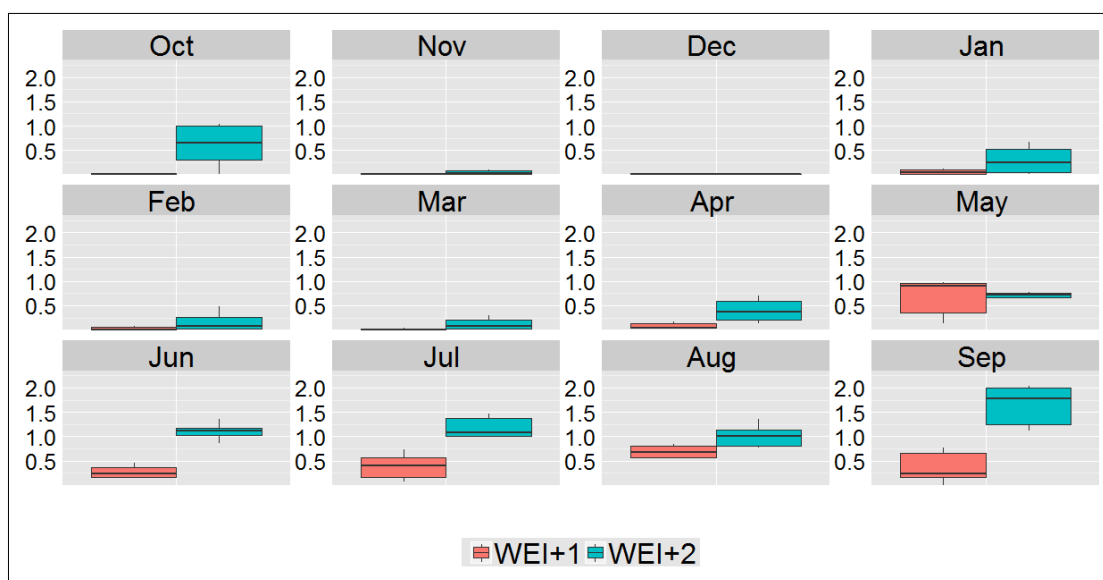


Σχήμα 4-4: Δείκτης WEI+1 για την περιοχή λεκάνης απορροής του Guadalquivir για τη χρονική περίοδο 10/02-09/08

Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από τους υπολογισμούς ομαδοποιούνται ανά μήνα και εξίσωση υπολογισμού, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4-5. Ως μέτρο της διασποράς των αποτελεσμάτων χρησιμοποιείται το διατεταρτημοριακό εύρος (IQR). Το διατεταρτημοριακό εύρος προκύπτει από τη διαφορά του τρίτου από το πρώτο τεταρτημόριο ($IQR=Q_3-Q_1$). Μεγάλες τιμές αυτού του δείκτη σημαίνουν ότι το πρώτο και το τρίτο τεταρτημόριο βρίσκονται σε απόσταση, δηλαδή παρουσιάζεται μεγάλη μεταβλητότητα (Μητρόπουλος, 2009). Έτσι, στο Σχήμα 4-5 απεικονίζονται το πρώτο και τρίτο τεταρτημόριο για κάθε μήνα και κάθε εξίσωση υπολογισμού του WEI+. Είναι φανερό

ότι η μεγαλύτερη εκμετάλλευση των ανανεώσιμων υδατικών πόρων συμβαίνει κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών. Η εικόνα αυτή είναι αναμενόμενη αφού πρόκειται για μια περιοχή με έντονη αγροτική δραστηριότητα και μεσογειακό κλίμα. Αυτό σημαίνει ότι οι μεγάλες ανάγκες για κατανάλωση νερού εμφανίζονται το καλοκαίρι ενώ ταυτόχρονα, λόγω κλίματος¹, οι ανανεώσιμοι υδατικοί πόροι είναι περιορισμένοι κατά τη διάρκεια της ίδιας περιόδου.

Οι δυο χρησιμοποιούμενες εξισώσεις για τον υπολογισμό του WEI+ δίνουν διαφορετικά αποτελέσματα και μάλιστα η πρώτη εξίσωση φαίνεται να δίνει μικρότερες τιμές σε σχέση με τη δεύτερη εξίσωση. Αυτό σημαίνει ότι οι ανανεώσιμοι υδατικοί πόροι οι οποίοι υπολογίζονται με την πρώτη επιλογή (Σχέση 3-5) είναι μεγαλύτεροι από τους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους που υπολογίζονται με τη δεύτερη επιλογή (Σχέση 3-6). Η απόκλιση αυτή, ενδεχομένως να οφείλεται στην παραδοχή ότι η φυσική μεταβολή στην αποθηκευτικότητα στη Σχέση 3-5 μπορεί να αντικατασταθεί από τη μεταβολή στην αποθηκευτικότητα των λιμνών και των ταμιευτήρων. Όπως φαίνεται η παραδοχή αυτή υποεκτιμά τη φυσική μεταβολή στην αποθηκευτικότητα του νερού.



Σχήμα 4-5: Δείκτης WEI+ ανά μήνα για την περιοχή λεκάνης απορροής του Guadalquivir με τις δυο εξισώσεις υπολογισμού

¹ Το κλίμα της περιοχής, όπως έχει ήδη αναφερθεί, χαρακτηρίζεται ως μεσογειακό και σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση Köppen–Geiger ανήκει στην κατηγορία Csb. Πρόκειται για ένα κλίμα με μέτριες χειμερινές θερμοκρασίες και άστατο, βροχερό καιρό κατά τη διάρκεια του χειμώνα ενώ τα καλοκαίρια είναι ζεστά και ξηρά (<http://en.wikipedia.org/>).

Κατόπιν, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα των παραμέτρων, τα οποία δίνονται σε μηνιαίο βήμα, υπολογίζονται οι τιμές του δείκτη WEI+1 και WEI+2 για χρονικό βήμα 6 μηνών και ενός έτους. Τα δυο εξάμηνα είναι Οκτώβριος-Μάρτιος και Απρίλιος-Σεπτέμβριος και πρόκειται για το υγρό και το ξηρό εξάμηνο του υδρολογικού έτους, αντίστοιχα. Οι υπολογισμοί γίνανε για τα 6 υδρολογικά έτη τα οποία εξετάζονται στην παρούσα εργασία και από τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται οι χαρακτηριστικές τιμές για κάθε χρονικό βήμα και για τις δυο εξισώσεις υπολογισμού (Πίνακας 4-1). Στις περιπτώσεις όπου στα αποτελέσματα εμφανίστηκαν ακραίες τιμές (δηλαδή τιμές $>Q_3+3*IQR$ ή $<Q_1-3*IQR$) λήφθηκε ως χαρακτηριστική τιμή η διάμεσος ενώ στις υπόλοιπες περιπτώσεις λήφθηκε η μέση τιμή.

Πίνακας 4-1: Δείκτης WEI+1 και WEI+2 για την περιοχή λεκάνης απορροής του Guadalquivir με χρονικό βήμα ενός μήνα, έξι μηνών και ενός έτους.

WEI+1				WEI+2			
Οκτ	1%	2%	46%	Οκτ	66%	20%	64%
Νοε	0.1%						
Δεκ	0.1%						
Ιαν	4%						
Φεβ	1%						
Μαρ	1%						
Απρ	10%	46%	89%	Απρ	40%		
Μαϊ	90%						
Ιουν	27%						
Ιουλ	39%						
Αυγ	67%						
Σεπ	23%						
Απρ	10%	46%	89%	Μαϊ	70%		
Μαϊ	90%						
Ιουν	27%						
Ιουλ	39%						
Αυγ	67%						
Σεπ	23%						

Ο παραπάνω πίνακας (Πίνακας 4-1) δείχνει με ξεκάθαρο τρόπο τη σημασία της χρονικής κλίμακας στην αξιολόγηση του δείκτη WEI+. Η ετήσια τιμή, σε καμία περίπτωση, δεν μπορεί να αποτυπώσει τη μεγάλη διακύμανση της κατανάλωσης των ανανεώσιμων υδατικών πόρων που συμβαίνει μέσα σε ένα έτος. Παρατηρείται, μάλιστα ότι η ετήσια τιμή του δείκτη είναι πιο κοντά στα αποτελέσματα της ξηρής περιόδου. Αντίστοιχα, τα εξάμηνα δημιουργούν μια άλλοτε δυσμενέστερη και άλλοτε ευμενέστερη εικόνα για την εξέλιξη της εκμετάλλευσης του νερού.

Στη συνέχεια, στο πλαίσιο της διερεύνησης της καταλληλότητας της χωρικής κλίμακας για το δείκτη WEI+ επιχειρήθηκε ο υπολογισμός του σε επίπεδο υπολεκάνης. Το υδατικό διαμέρισμα του Guadalquivir χωρίζεται σε 5 υπολεκάνες (Σχήμα 4-6), σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό σύστημα του δικτύου λεκανών απορροής και ποταμών (European Catchments and Rivers Network System-ECRINS ²). Οι υπολεκάνες αυτές ορίζονται ως περιοχές από τις οποίες όλες οι επιφανειακές απορροές ρέουν μέσα από μια σειρά ρεμάτων, ποταμών ή και λιμνών σε ένα συγκεκριμένο σημείο ενός υδάτινου σώματος.



Σχήμα 4-6: Υπολεκάνες στην περιοχή λεκάνης απορροής του Guadalquivir (κατά ECRINS)

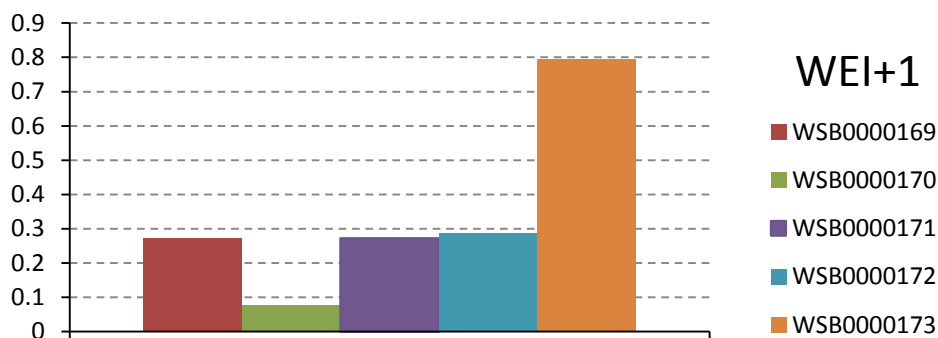
Τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του WEI+ σε επίπεδο υπολεκάνης δεν ήταν δυνατό να επαληθευτούν με τα αντίστοιχα δεδομένα για τη λεκάνη απορροής. Παρατηρήθηκαν αποκλίσεις στις εκροές προς τη θάλασσα και στα αποθέματα των λιμνών και των ταμιευτήρων και έτσι δεν ήταν δυνατό να χρησιμοποιηθούν τα αποτελέσματα για σύγκριση μεταξύ των υπολεκανών με τη λεκάνη απορροής.

Ωστόσο, εάν θεωρηθεί ότι τα δεδομένα των υπολεκανών διατηρούν τις μεταξύ τους σχέσεις επιρροής, μπορεί να γίνει μια σύγκριση των αποτελεσμάτων των υπολεκανών. Έτσι, στα Σχήματα 4-8 και 4-9 φαίνεται η πίεση που ασκείται στους υδατικούς πόρους της περιοχής σε ετήσια βάση και σε επίπεδο υπολεκάνης. Οι τιμές των που εμφανίζονται στα Σχήματα 4-8 και 4-9 είναι οι χαρακτηριστικές τιμές του δείκτη για ετήσια χρονική κλίμακα, οι οποίες προέκυψαν από τα 6 εξεταζόμενα έτη. Στις περιπτώσεις όπου στα αποτελέσματα

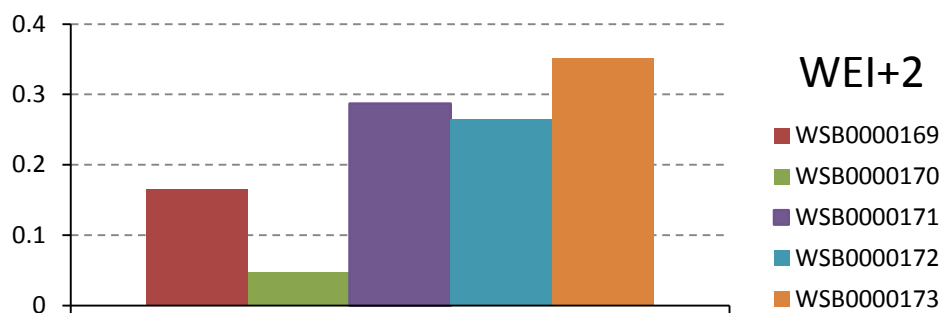
² Download link: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/european-catchments-and-rivers-network#tab-gis-data>

εμφανίστηκαν ακραίες τιμές (δηλαδή τιμές $>Q_3+3*IQR$ ή $<Q_1-3*IQR$) λήφθηκε ως χαρακτηριστική τιμή η διάμεσος ενώ στις υπόλοιπες περιπτώσεις λήφθηκε η μέση τιμή.

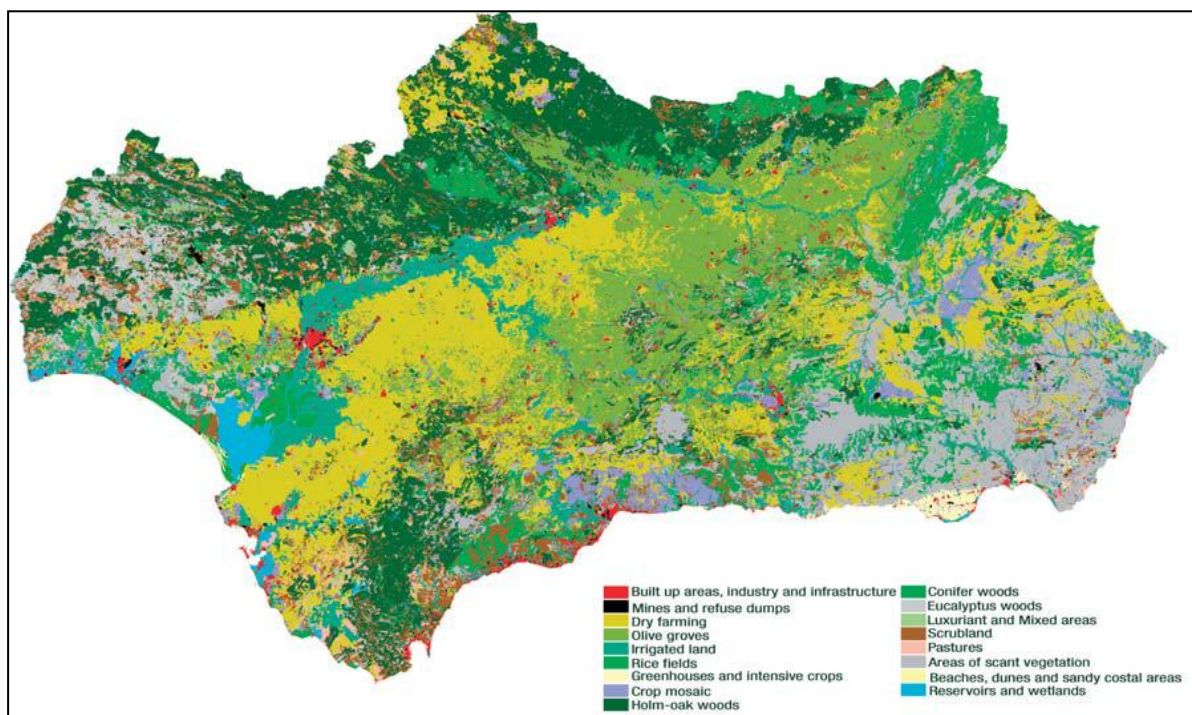
Παρατηρείται ότι η δεύτερη εξίσωση δίνει πιο συντηρητικά αποτελέσματα σε σχέση με την πρώτη, πράγμα που έρχεται σε αντίθεση με τα αντίστοιχα αποτελέσματα σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Αυτό συμβαίνει επειδή, όπως προαναφέρθηκε, τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τις υπολεκάνες εμφανίζουν αποκλίσεις από τα αντίστοιχα δεδομένα της λεκάνης απορροής. Από τα Σχήματα 4-8 και 4-9 φαίνεται ότι η υπολεκάνη WSB0000173 δέχεται την μεγαλύτερη πίεση στους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους. Αυτό συμβαίνει επειδή η υπολεκάνη αυτή βρίσκεται στα ανάντη του Guadalquivir και δεν δέχεται εισροές από άλλες περιοχές. Έτσι, οι ανανεώσιμοι υδατικοί πόροι είναι μειωμένοι σε σχέση με τις υπόλοιπες υπολεκάνες, και ταυτόχρονα οι απαιτήσεις για νερό είναι μικρές αφού πρόκειται κυρίως για ορεινές εκτάσεις. Αντίστοιχα, οι υπολεκάνες WSB0000171 και WSB0000172 δέχονται εισροές από τα ανάντη με αποτέλεσμα να ενισχύονται οι ανανεώσιμοι υδατικοί τους πόροι. Ταυτόχρονα όμως πρόκειται για τις περιοχές με τις πιο αυξημένες απαιτήσεις σε νερό αφού στις περιοχές αυτές υπάρχει έντονη αγροτική δραστηριότητα και μεγάλα αστικά κέντρα (Σχήμα 4-9).



Σχήμα 4-7: Ετήσια τιμή του δείκτη WEI+1 για τις υπολεκάνες της περιοχής λεκάνης απορροής του Guadalquivir

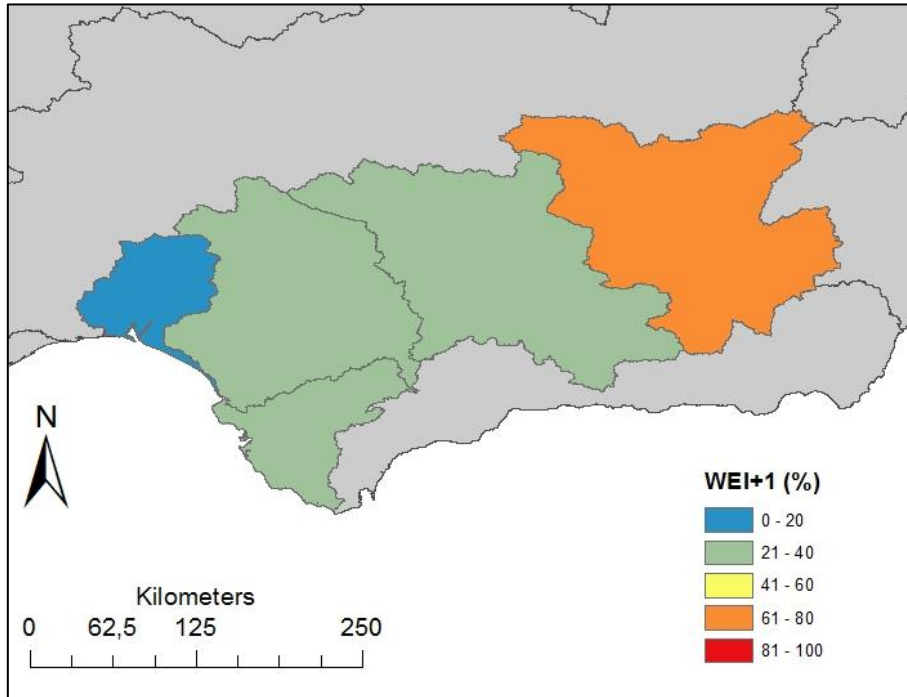


Σχήμα 4-8: Ετήσια τιμή του δείκτη WEI+1 για τις υπολεκάνες της περιοχής λεκάνης απορροής του Guadalquivir

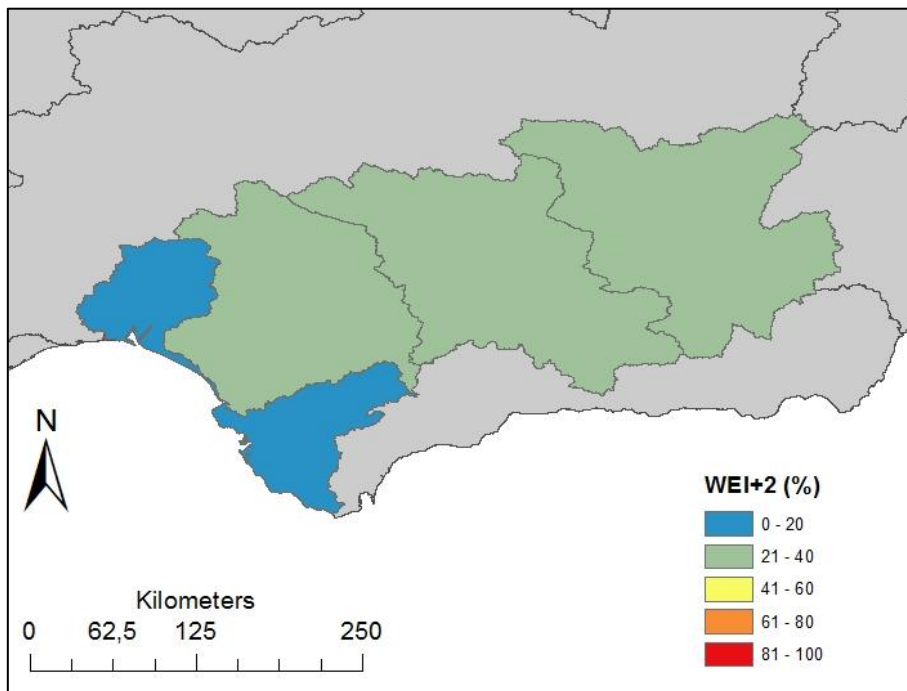


Σχήμα 4-9: Χρήσεις γης στην περιοχή της λεκάνης απορροής του Guadalquivir (Πηγή: *Droogers and Immerzeel, 2008*)

Είναι φανερό ότι η διερεύνηση του δείκτη WEI+ σε επίπεδο υπολεκάνης απορροής έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, αφού αναδεικνύει τις περιοχές στις οποίες ασκείται μεγάλη πίεση στους υδατικούς πόρους (Σχήμα 4-10 και 4-11). Αυτό μπορεί να είναι πολύ χρήσιμο για τη διαχείριση των υδατικών πόρων σε περιοχές κοντά σε αστικά κέντρα όπου μεγάλη κατανάλωση νερού γίνεται σε πολύ περιορισμένο χώρο.



Σχήμα 4-10: Χωρική απεικόνιση του ετήσιου δείκτη WEI+1 για τις υπολεκάνες της περιοχής της λεκάνης απορροής του Guadalquivir



Σχήμα 4-11: Χωρική απεικόνιση του ετήσιου δείκτη WEI+2 για τις υπολεκάνες της περιοχής της λεκάνης απορροής του Guadalquivir

4.3 Υδατικό διαμέρισμα Anglian

Το υδατικό διαμέρισμα Anglian καταλαμβάνει μια έκταση ίση με 27,890 km² στη νοτιοανατολική Αγγλία (Σχήμα 4-12) (Environment Agency, 2009). Η μέση θερμοκρασία της περιοχής κυμαίνεται μεταξύ 8 και 10°C. Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι περίπου 490 mm και έχει παρατηρηθεί να συμβαίνουν ακραία φαινόμενα βροχόπτωσης πιο συχνά κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού σε σχέση με το χειμώνα εξαιτίας κάποιων τυχαίων έντονων γεγονότων (Simpson, 2011, Jenkins et al., 2008). Συνολικά, όμως, η βροχόπτωση παρουσιάζει πολύ μικρή διακύμανση κατά τη διάρκεια του χρόνου και θεωρείται το πιο ξηρό υδατικό διαμέρισμα της Αγγλίας αφού δέχεται τη λιγότερη βροχόπτωση σε σχέση με τα 11 υδατικά διαμερίσματα της Αγγλίας και Ουαλίας (DEFRA, 2010).

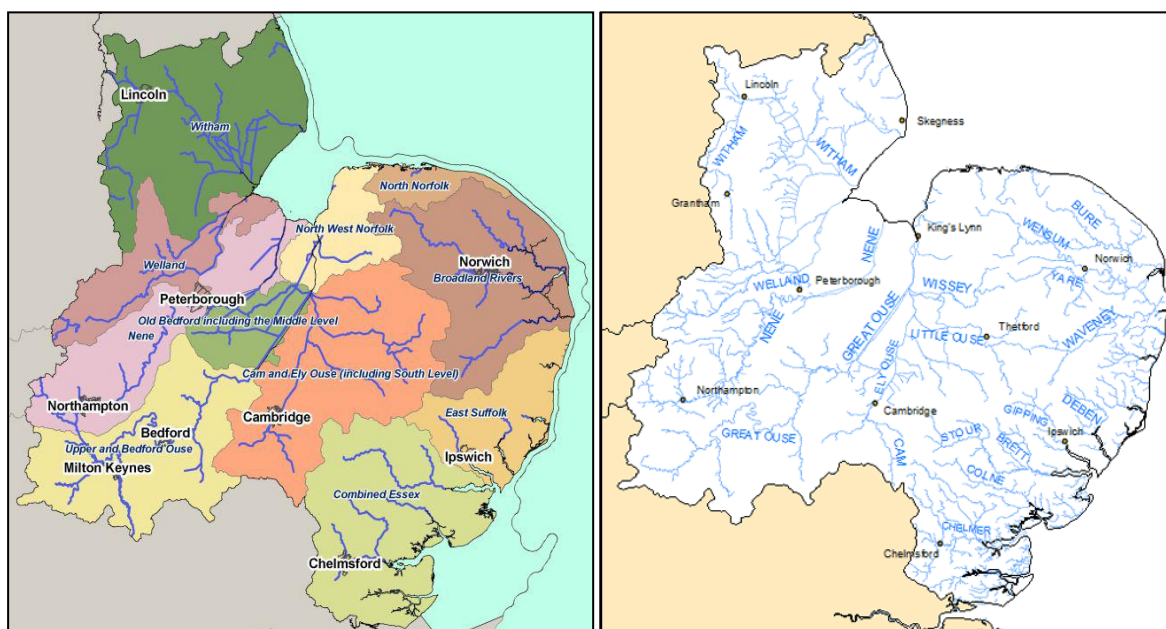


Σχήμα 4-12: Υδατικό διαμέρισμα Anglian

Το υδατικό διαμέρισμα Anglian περιλαμβάνει κάποιες μεγάλες λεκάνες απορροής στα βόρεια και νότια δυτικά τμήματά του, όπως τις Nene, Welland, Witham, Great Ouse και Ely Ouse καθώς επίσης και πολλές μικρότερες στη νοτιοανατολική πλευρά του, όπως τις Yare,

Bure, Waveney, Gipping, Blackwater, Chelmer, Stour και Colne (Σχήμα 4-13). Όλα τα ποτάμια εκβάλλουν στη Βόρεια Θάλασσα, στην ανατολική ακτή της Αγγλίας, ανάμεσα στις εκβολές του Τάμεση και του Humber.

Οι μεγαλύτερες λεκάνες απορροής απορρέουν ανατολικά της Αγγλίας και η περιοχή αποτελείται από γόνιμα εδάφη για καλλιέργειες. Οι μικρότερες λεκάνες απορροής που βρίσκονται στο Norfolk, Suffolk και το Essex καλύπτουν περιοχές μικρότερες των 500 km² η καθεμιά και οι δραστηριότητες στις περιοχές αυτές ποικίλουν ανάμεσα σε δασοκομία, βιομηχανία και τοπικά κοιτίδες έντονης αστικοποίησης, ενώ η γεωργία επικρατεί όλων (DEFRA, 2010).



Σχήμα 4-13: Κύριοι ποταμοί στο υδατικό διαμέρισμα Anglian (Πηγή:

<http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/> και DEFRA, 2010)

Πριν από τα τέλη της δεκαετίας του 1930 , μεγάλα τμήματα του υδατικού διαμερίσματος υπέστησαν αποστράγγιση με σκοπό τη δημιουργία κατοικήσιμων και καλλιεργήσιμων εκτάσεων. Μετά τη δεκαετία του 1940 μεγάλες εκτάσεις αποστραγγίστηκαν για να αυξήσουν κι άλλο το διαθέσιμο καλλιεργήσιμο έδαφος. Στα χρόνια που ακολούθησαν, η διαχείριση των υδάτων στην περιοχή, από την αποστράγγιση εκτάσεων για δημιουργία χωραφιών πέρασε στη λήψη μέτρων για την προστασία από τις πλημμύρες (DEFRA, 2010).

Το εν λόγω υδατικό διαμέρισμα είναι, κυρίως, αγροτικό και μάλιστα για τη γεωργία χρησιμοποιείται έκταση μεγαλύτερη από το μισό της συνολικής έκτασής του και πρόκειται

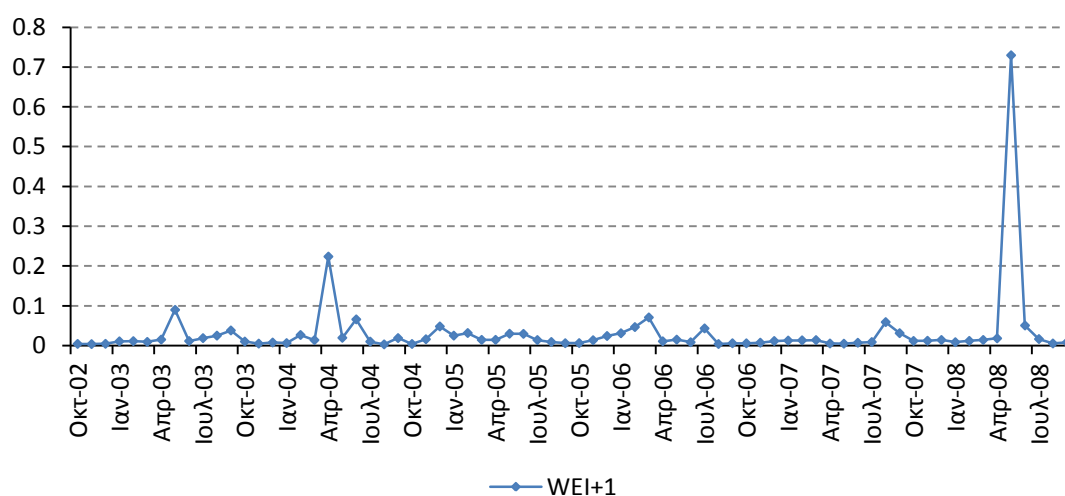
για μια από τις πιο παραγωγικές περιοχές του κόσμου. Είναι κυρίως γνωστή για την καλλιέργεια δημητριακών ενώ ταυτόχρονα στην περιοχή καλλιεργούνται κηπευτικά είδη, όπως φασόλια, πατάτες, καρότα, λουλούδια και θάμνοι καθώς και ζαχαρότευτλα (Environment Agency, 2009).

Στην περιοχή διαμένουν περίπου 5.2 εκατ. κάτοικοι οι οποίοι ζουν και εργάζονται σε μικρές ή μεσαίες πόλεις ενώ δεν υπάρχει κάποιο μεγάλο μητροπολιτικό κέντρο στην περιοχή.

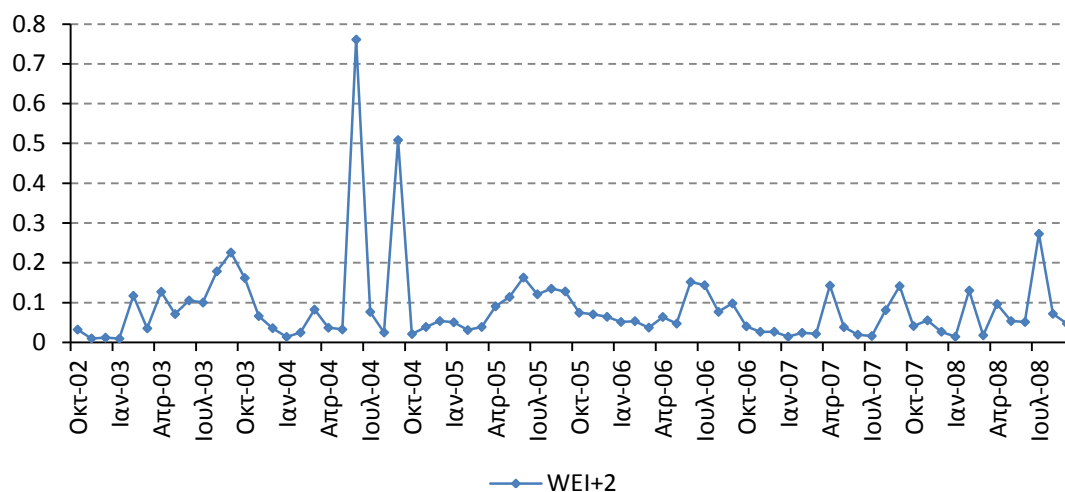
Η οικολογική αξία της περιοχής είναι ιδιαίτερα σημαντική. Μια πληθώρα σπάνιας χλωρίδας και πανίδας εντοπίζεται στο χερσαίο και υδάτινο ενδιαίτημά της. Για τον λόγο αυτό αποτελεί τον μεγαλύτερο προστατευόμενο υγρότοπο της Μεγάλης Βρετανίας.

Η πρόκληση στη διαχείριση των υδατικών πόρων της περιοχής αυτής έγκειται στην απαιτητική ζήτηση νερού από τη γεωργία και τις αστικές περιοχές σε συνδυασμό με τις χαμηλές βροχοπτώσεις. Ακόμα, η ύπαρξη περιοχών όπου τα πλημμυρικά φαινόμενα είναι συχνά δημιουργεί ακόμη μεγαλύτερες απαιτήσεις για την αποτελεσματική διαχείριση του νερού (Environment Agency, 2009).

Στο υδατικό διαμέρισμα Anglian εφαρμόστηκαν οι δυο εξισώσεις υπολογισμού για το δείκτη WEI+ (Σχέσεις 3-5 και 3-6) και στα Σχήματα 4-14 και 4-15 φαίνονται τα αποτελέσματα για όλους τους μήνες από τον Οκτώβριο του 2002 έως το Σεπτέμβριο του 2008.



Σχήμα 4-14: Δείκτης WEI+1 για το υδατικό διαμέρισμα Anglian για τη χρονική περίοδο 10/02-09/08



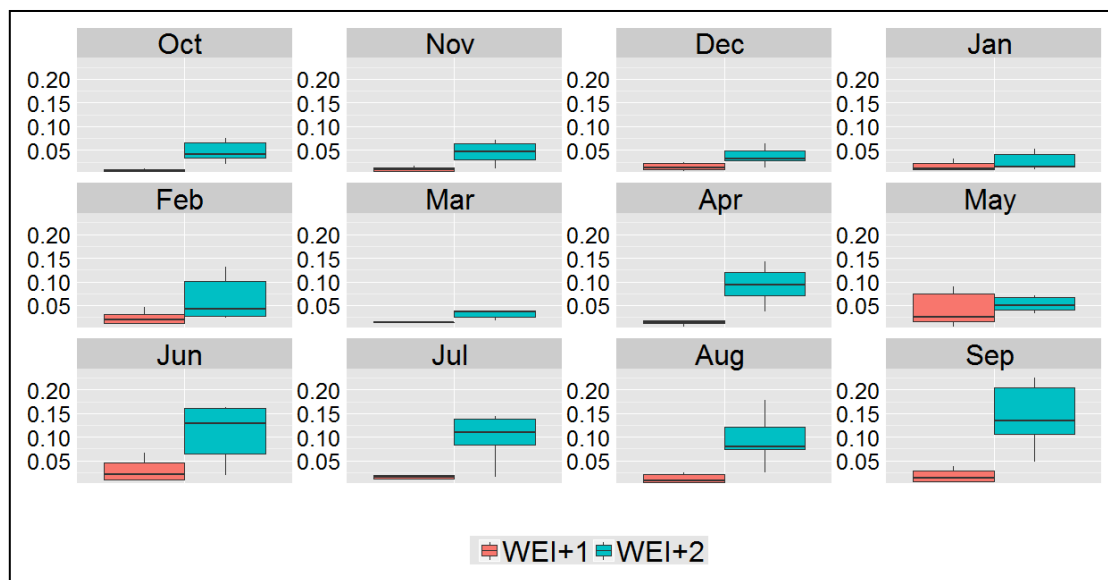
Σχήμα 4-15: Δείκτης WEI+2 για το υδατικό διαμέρισμα Anglian για τη χρονική περίοδο 10/02-09/08

Οι δυο χρησιμοποιούμενες εξισώσεις για τον υπολογισμό του WEI+ δίνουν διαφορετικά αποτελέσματα και μάλιστα η πρώτη εξίσωση φαίνεται να δίνει μικρότερες τιμές σε σχέση με τη δεύτερη (Σχήμα 4-16). Αυτό σημαίνει ότι οι ανανεώσιμοι υδατικοί πόροι οι οποίοι υπολογίζονται με την πρώτη επιλογή (Σχέση 3-5) είναι μεγαλύτεροι από τους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους που υπολογίζονται με τη δεύτερη επιλογή (Σχέση 3-6). Η απόκλιση αυτή εκτιμάται ότι οφείλεται στην παραδοχή ότι η φυσική μεταβολή στην αποθηκευτικότητα στη Σχέση 3-5 μπορεί να αντικατασταθεί από τη μεταβολή στην αποθηκευτικότητα των λιμνών και των ταμιευτήρων. Όπως φαίνεται, εκ του αποτελέσματος, η παραδοχή αυτή υποεκτιμά, ελαφρώς, τη φυσική μεταβολή στην αποθηκευτικότητα του νερού.

Τα εξαγόμενα αποτελέσματα δείχνουν μια σχετικά μικρή εκμετάλλευση των ανανεώσιμων υδατικών πόρων της περιοχής. Φυσικά, υπάρχει διακύμανση από μήνα σε μήνα όμως οι διαφορές είναι μικρές και αυτό οφείλεται στο κλίμα της περιοχής³ (Πίνακας 4-2). Η ετήσια τιμή μπορεί να θεωρηθεί ότι δίνει μια καλή εικόνα για τον δείκτη, ωστόσο δεν μπορεί να αποτυπώσει την απόκλιση των μηνών του ξηρού και του υγρού εξαμήνου του υδρολογικού έτους. Αντίθετα, οι τιμές του δείκτη για το υγρό και το ξηρό εξάμηνο δίνουν μια πολύ ικανοποιητική προσέγγιση της αξιοποίησης των ανανεώσιμων υδάτων της περιοχής μέσα στο χρόνο.

³ Το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται ως ωκεάνιο και ανήκει στην κατηγορία Cfb σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση κατά Köppen–Geiger. Το κλίμα αυτό χαρακτηρίζεται από θερμά καλοκαίρια και κρύους χειμώνες με μικρή διακύμανση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του έτους και οι βροχοπτώσεις είναι ομοιόμορφα κατανομημένες στο χρόνο (<http://en.wikipedia.org/>).

Ακόμα, παρατηρείται ότι η ετήσια τιμή του δείκτη με την πρώτη εξίσωση είναι ίση με την τιμή του δείκτη για την ξηρή περίοδο ενώ με τη δεύτερη εξίσωση η ετήσια τιμή προσεγγίζει περισσότερο την τιμή της υγρής περιόδου.

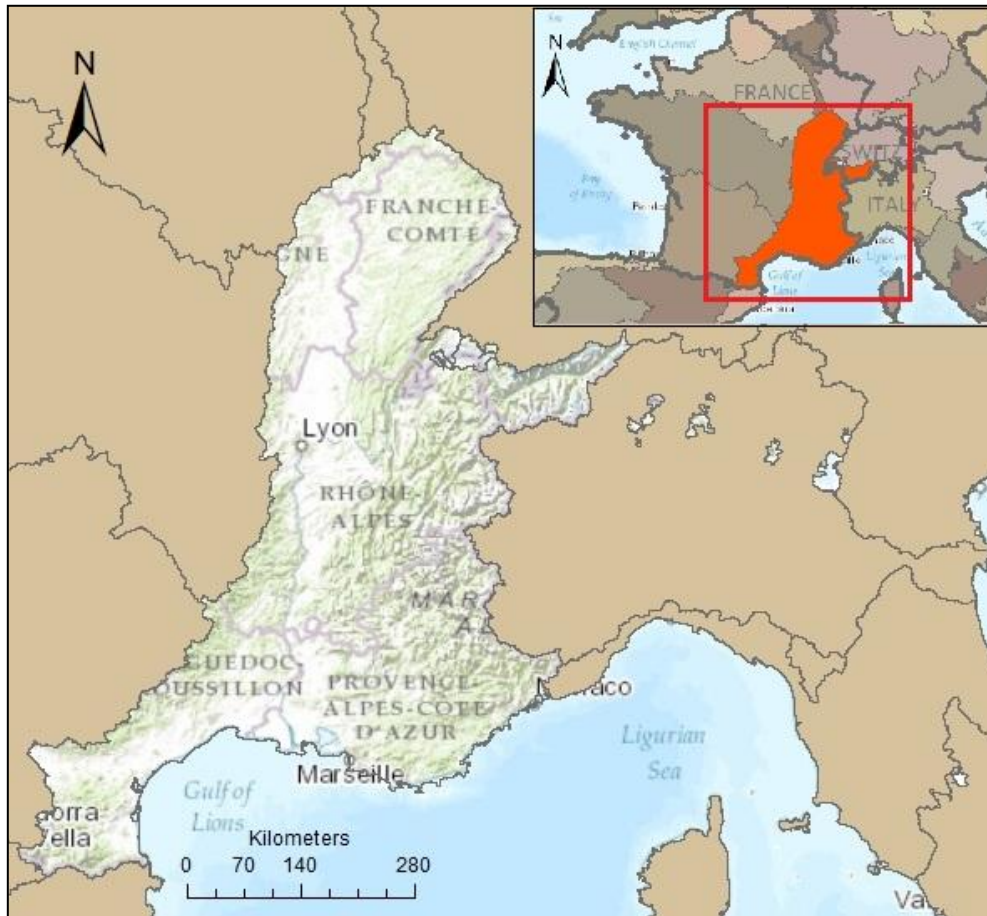


Σχήμα 4-16: Δείκτης WEI+ ανά μήνα για το υδατικό διαμέρισμα Anglian με τις δυο εξισώσεις υπολογισμού

Πίνακας 4-2: Δείκτης WEI+1 και WEI+2 για το υδατικό διαμέρισμα Anglian με χρονικό βήμα ενός μήνα, έξι μηνών και ενός έτους.

WEI+1				WEI+2			
Οκτ	1%	1%		Οκτ	4%	3%	
Νοε	1%			Νοε	4%		
Δεκ	2%			Δεκ	4%		
Ιαν	2%			Ιαν	3%		
Φεβ	2%			Φεβ	6%		
Μαρ	1%	2%		Μαρ	4%	4%	
Απρ	1%			Απρ	9%		
Μαϊ	2%	2%		Μαϊ	6%	8%	
Ιουν	3%			Ιουν	13%		
Ιουλ	2%			Ιουλ	12%		
Αυγ	2%			Αυγ	9%		
Σεπ	2%			Σεπ	13%		

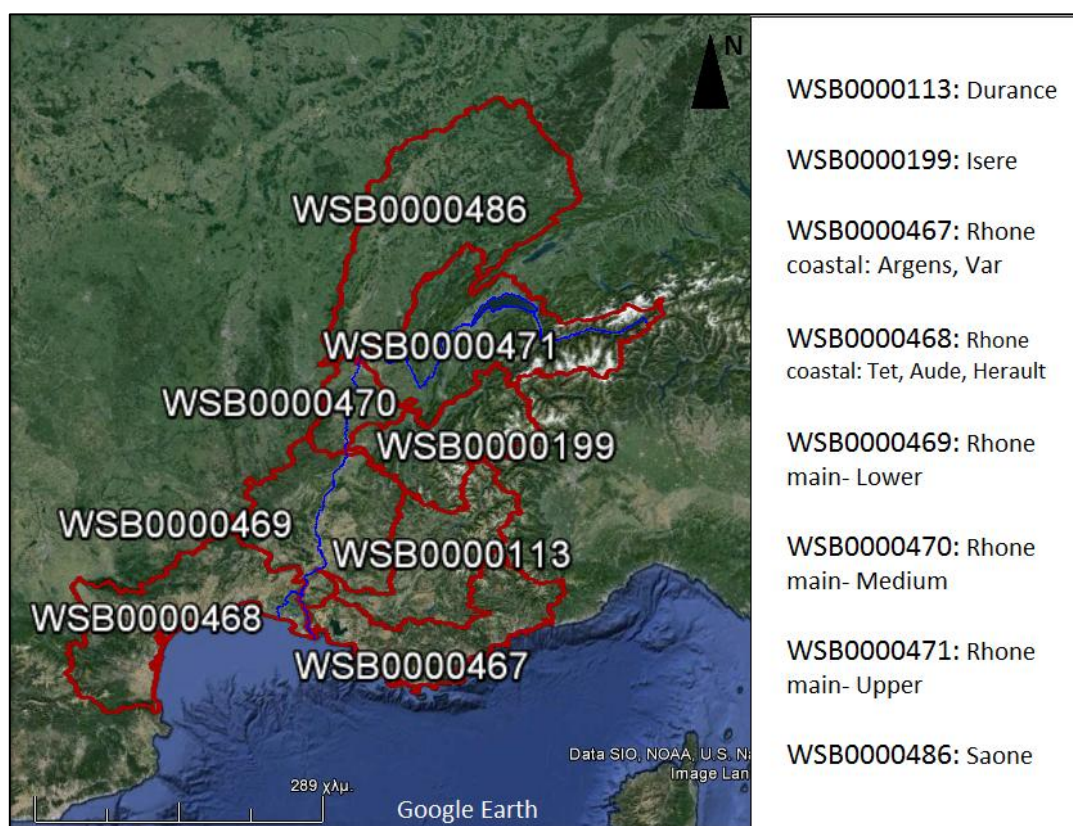
4.4 Λεκάνη απορροής του Rhône



Σχήμα 4-17: Η περιοχή λεκάνης απορροής του Rhône

Η λεκάνη απορροής του Rhône (Ροδανού) (Σχήμα 4-17) μοιράζεται μεταξύ Γαλλίας, Ελβετίας και Ιταλίας (το ιταλικό κομμάτι είναι αμελητέο). Η συνολική έκταση της είναι 127,912 km² από τα οποία το 94% βρίσκεται στη Γαλλία και το υπόλοιπο 6% στην Ελβετία. Το γαλλικό τμήμα της λεκάνης αποτελεί το 25% της έκτασης της Γαλλίας ενώ αντίστοιχα το ελβετικό τμήμα αποτελεί το 18% της έκτασης της Ελβετίας (European Catchments and Rivers Network System-ECRINS ^[4]). Το μήκος του ποταμού είναι περίπου 800 km και είναι ο μεγαλύτερος ποταμός ο οποίος εκβάλλει στη Μεσόγειο Θάλασσα μετά τον Νείλο. Πηγάζει από τον παγετώνα του Rhône στις κεντρικές Άλπεις. Απορρέει στη λίμνη της Γενεύης και εισέρχεται στη Γαλλία (Houston, 2012). Οι επιμέρους υπολεκάνες που έχουν οριστεί για την

περιοχή λεκάνης απορροής του Ροδανού (σύμφωνα με το European Catchments and Rivers Network System-ECRINS⁴) φαίνονται στο Σχήμα 4-18.



Σχήμα 4-18: Υπολεκάνες της περιοχής λεκάνης απορροής του Rhône (κατά ECRINS)

Το υδατικό διαμέρισμα του Rhône στη Γαλλία θεωρείται αρκετά πλούσιο σε υδατικούς πόρους αφού 42% των υδάτων της χώρας απορρέουν σε αυτό, περιλαμβάνει αρκετές λίμνες και περιέχει παγετώνες οι οποίοι εμπλουτίζουν τα διαθέσιμα νερά (Comite de bassin Rhône Mediterranee, 2008).

Στη λεκάνη απορροής του Rhône κατοικούν περίπου 16 εκατ. άνθρωποι, από τους οποίους τα 1.2 εκατ. βρίσκονται στην Ελβετία. Ο καταμερισμός του πληθυσμού αυτού στο γαλλικό τμήμα της λεκάνης παρουσιάζει χωρική ετερογένεια. Η έντονη αστικοποίηση στις κοιλάδες και γύρω από τη Μεσόγειο έχει προκαλέσει μεγάλη εξάπλωση των οικισμών με ταυτόχρονη ερημοποίηση κάποιων περιοχών (π.χ. Νότιες Άλπεις και περιοχές με μεγάλο υψόμετρο στα ανατολικά σύνορα). Η ετερογένεια αυτή στην κατανομή του πληθυσμού δημιουργεί

⁴ Download link: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/european-catchments-and-rivers-network#tab-gis-data>

επιπτώσεις στη διαχείριση των υδάτων της λεκάνης καθώς παρατηρείται συγκέντρωση των χρηστών και κατ' επέκταση της ζήτησης και των απορρίψεων σε συγκεκριμένες ζώνες.

Υπολογίζεται ότι το 70% του επιφανειακού νερού που απορρέει στη λεκάνη χρησιμοποιείται για τη γεωργία. Η γεωργία επικεντρώνεται κυρίως στην παραγωγή λαχανικών και φρούτων, κυρίως σταφυλιού (60% της γαλλικής παραγωγής) (Comite de bassin Rhone Mediterranee, 2008).

Η οικιακή χρήση και η βιομηχανία χρησιμοποιούν το 15% των επιφανειακών υδάτων. Η βιομηχανική δραστηριότητα της περιοχής παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία και δημιουργεί επιπλέον οφέλη για τις υποδομές και τα δίκτυα μεταφορών και επικοινωνίας μεταξύ βορρά και νότου στη Γαλλία (Comite de bassin Rhone Mediterranee, 2009).

Άλλες χρήσεις νερού περιλαμβάνουν την υδροηλεκτρική ενέργεια και την ψύξη θερμικών και πυρηνικών αντιδραστήρων. Αξίζει να αναφερθεί ότι η λεκάνη απορροής του Rhône παρέχει σχεδόν το 1/4 της πυρηνικής ενέργειας της Γαλλίας και περίπου το 60% της υδροηλεκτρικής ενέργειας (Stroffek and Simonnot, 2006).

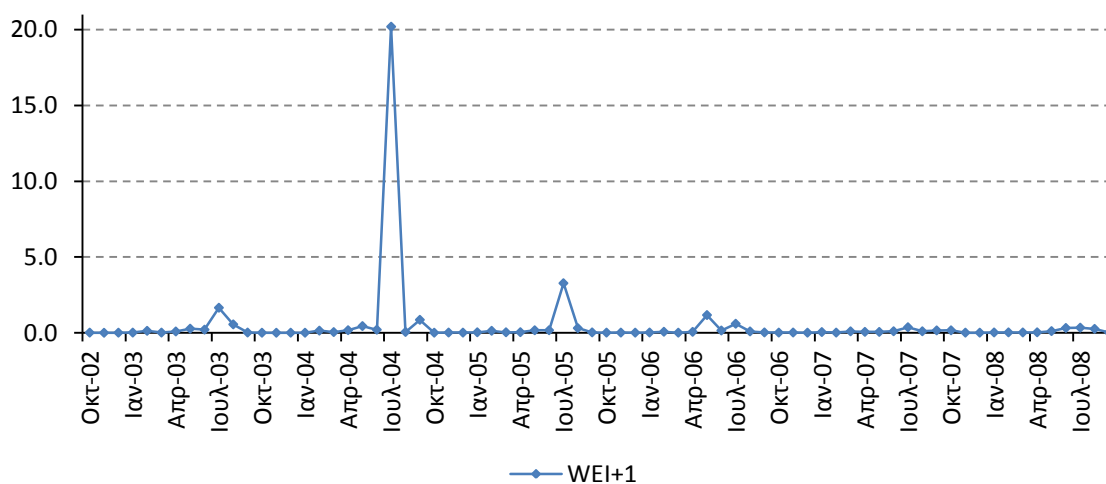
Επιπλέον, ο τουρισμός γνωρίζει, εδώ και καιρό, μεγάλη άνθιση στην περιοχή αφού συνδυάζει τις μεσογειακές ακτές με το βουνό. Ο εποχιακός πληθυσμός εκτιμάται στα 6.5 εκατ. τουρίστες, πράγμα που αυξάνει σημαντικά τον πληθυσμό κατά τη διάρκεια της τουριστικής περιόδου και συνεπώς τις πιέσεις στους υδατικούς πόρους (Comite de bassin Rhone Mediterranee, 2008).

Η εν λόγω λεκάνη απορροής χαρακτηρίζεται από χαμηλή χειμερινή απορροή εξαιτίας της δέσμευσης αξιόλογων όγκων νερού στα χιόνια. Αντίστοιχα, η ανοιξιότικη απορροή εμφανίζεται μεγάλη λόγω του χιονιού και του πάγου που λιώνει (Houston, 2012).

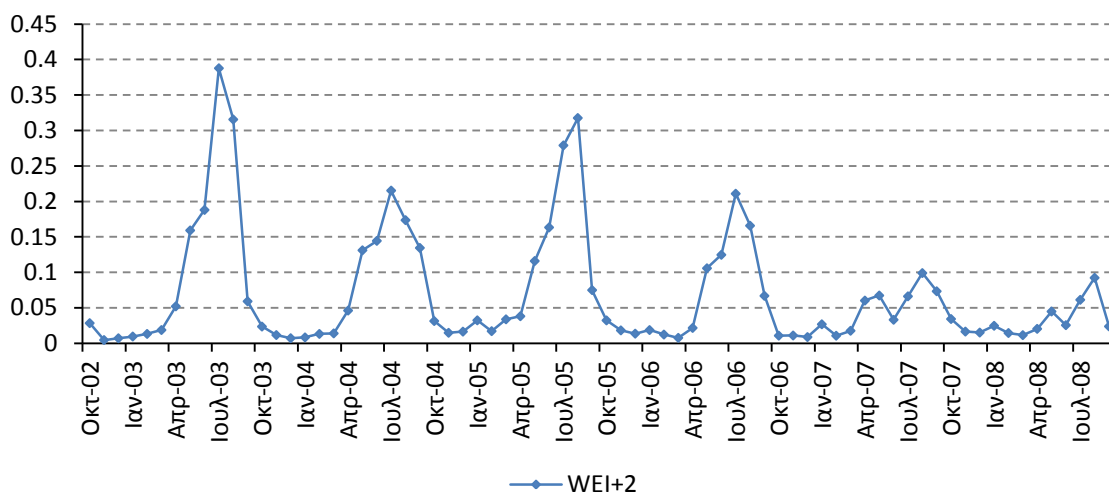
Το κλίμα της περιοχής παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία εξαιτίας των διαφορετικών επιρροών που δέχεται τόσο από τη Μεσόγειο όσο και από τις Άλπεις και χαρακτηρίζεται ως μεσογειακό και ηπειρωτικό. Τα καλοκαίρια, αν και ζεστά, είναι αρκετά υγρά ενώ οι χειμώνες είναι αρκετά κρύοι λόγω των βουνών. Φυσικά, τα καλοκαίρια μπορούν να γίνουν αρκετά ξηρά στο νότιο τμήμα της λεκάνης λόγω της μεσογειακής επιρροής. Η μέση

θερμοκρασία του καλοκαιριού είναι $19,6^{\circ}\text{C}$ και του χειμώνα $3,4^{\circ}\text{C}$. Η μέση ετήσια βροχόπτωση εκτιμάται 824.8 mm/έτος (www.regions-of-france.com).

Η εφαρμογή του δείκτη WEI+ στην περιοχή της λεκάνης απορροής του Rhône για την περίοδο μεταξύ του Οκτωβρίου του 2002 έως τον Σεπτέμβριο του 2008 έδωσε τα αποτελέσματα τα οποία απεικονίζονται στα Σχήματα 4-19 και 4-20. Η παραδοχή της αντικατάστασης της φυσικής μεταβολής στην αποθηκευτικότητα του νερού από τη μεταβολή στην αποθηκευτικότητα των λιμνών και των ταμιευτήρων στην πρώτη εξίσωση υπολογισμού των ανανεώσιμων υδάτων (Σχέση 3-5) φαίνεται ότι δεν είναι κατάλληλη για την περιοχή που εξετάζεται επειδή οι αποκλίσεις στα αποτελέσματα μεταξύ των δυο εξισώσεων υπολογισμού του WEI+ είναι μεγάλες. Με την πρώτη εξίσωση προκύπτουν ακραίες τιμές (π.χ. Ιούλιος 2004 και 2005) οι οποίες δεν αναδεικνύουν την εποχική διακύμανση του δείκτη. Αντίθετα, με τη δεύτερη εξίσωση είναι ξεκάθαρη η εποχικότητα στην εκμετάλλευση των ανανεώσιμων υδατικών πόρων και μάλιστα παρατηρείται μια τάση μείωσης του βαθμού εκμετάλλευσης τους με την πάροδο των χρόνων (Σχήμα 4-20).

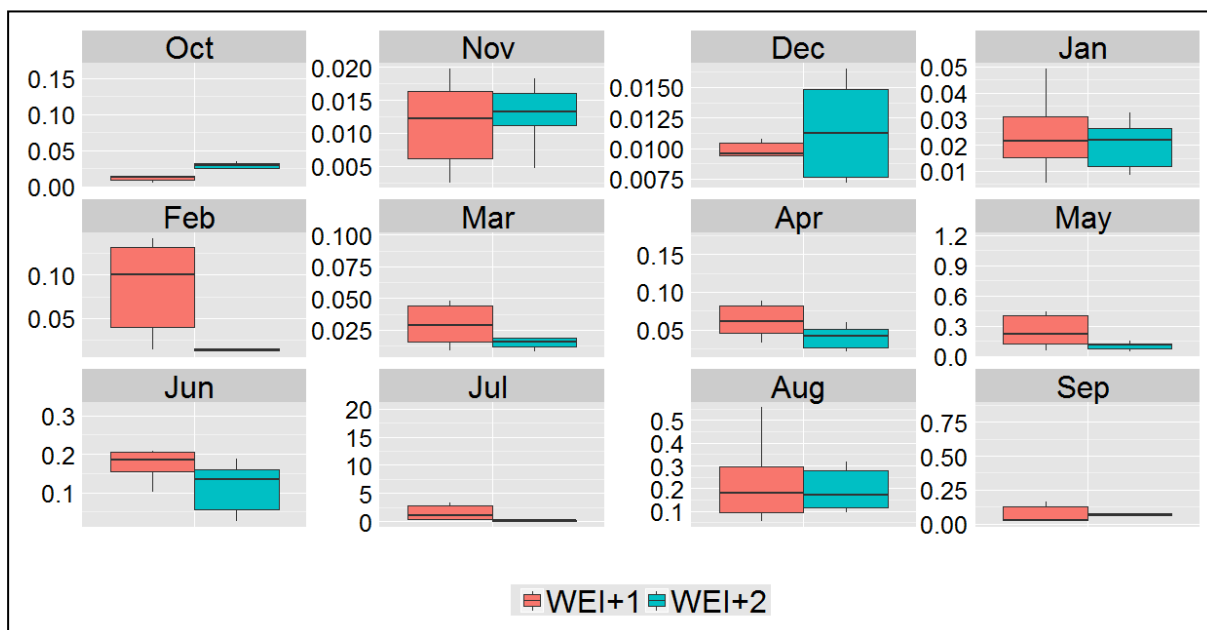


Σχήμα 4-19: Δείκτης WEI+1 για την περιοχή λεκάνης απορροής του Rhône για τη χρονική περίοδο 10/02-09/08



Σχήμα 4-20: Δείκτης WEI+1 για την περιοχή λεκάνης απορροής του Rhône για τη χρονική περίοδο 10/02-09/08

Στο Σχήμα 4-21 φαίνεται ότι ο δείκτης WEI+ παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια του χρόνου. Στα αποτελέσματα της πρώτης εξίσωσης οι διακυμάνσεις αυτές είναι πολύ έντονες, κυρίως μεταξύ καλοκαιριού και χειμώνα. Η δεύτερη εξίσωση θεωρείται ότι δίνει πιο αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα, επειδή όλες οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της λαμβάνονται αυτούσιες από την εφαρμογή Norouli. Από τα αποτελέσματα της δεύτερης εξίσωσης φαίνεται ότι οι ανανεώσιμοι υδατικοί πόροι υφίστανται μεγαλύτερες πιέσεις κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών. Αυτό είναι αναμενόμενο αφού η κατανάλωση νερού είναι πολύ αυξημένη το καλοκαίρι λόγω των απαιτήσεων άρδευσης των καλλιεργήσιμων εκτάσεων και του τουρισμού. Ωστόσο, ακόμα και στις πιο απαιτητικές συνθήκες, η εκμετάλλευση των ανανεώσιμων υδατικών πόρων δεν ξεπερνά το 30%, πράγμα που οφείλεται στην μεγάλη διαθεσιμότητα νερού στην περιοχή.



Σχήμα 4-21: Δείκτης WEI+ ανά μήνα για την περιοχή λεκάνης απορροής του Rhône με τις δυο εξισώσεις υπολογισμού

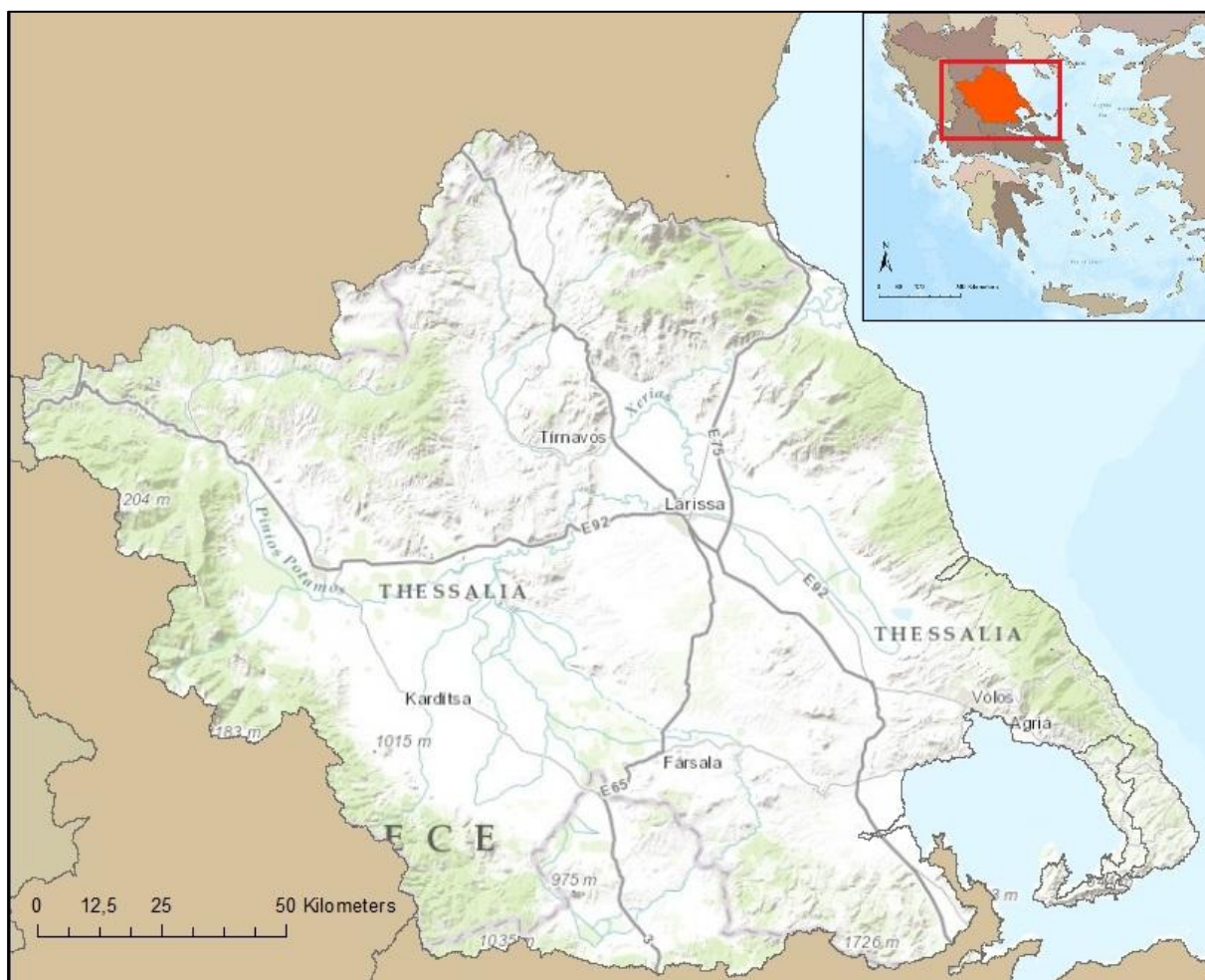
Εξετάζοντας την καταλληλότητα της χρονικής κλίμακας για τον υπολογισμό του δείκτη WEI+, παρουσιάζονται οι τιμές του δείκτη για χρονικό βήμα ενός μήνα, έξι μηνών και ενός έτους (Πίνακας 4-3). Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το εξάμηνο ή το έτος δεν μπορούν να αποδώσουν ικανοποιητικά τη διακύμανση της αξιοποίησης των υδατικών πόρων στο χρόνο όπως το χρονικό βήμα του ενός μήνα. Ωστόσο, το χρονικό βήμα των έξι μηνών μπορεί να αποτυπώσει την έντονη διαφορά που υπάρχει μεταξύ των δυο περιόδων.

Πίνακας 4-3: Δείκτης WEI+1 και WEI+2 για την περιοχή λεκάνης απορροής του Rhône με χρονικό βήμα ενός μήνα, έξι μηνών και ενός έτους.

WEI1				WEI2			
Οκτ	1%	2%	8%	Οκτ	3%	2%	6%
Νοε	1%						
Δεκ	1%						
Ιαν	2%						
Φεβ	9%						
Μαρ	4%						
Απρ	8%	30%	11%	Απρ	4%		
Μαϊ	37%			Μαϊ	10%		
Ιουν	19%			Ιουν	11%		
Ιουλ	113%			Ιουλ	20%		
Αυγ	23%			Αυγ	19%		
Σεπ	3%			Σεπ	7%		

Στο πλαίσιο της διερεύνησης για την καταλληλότητα της χωρικής κλίμακας επιχειρήθηκε η εφαρμογή του δείκτη WEI+ σε επίπεδο υπολεκάνης. Δυστυχώς αυτό κατέστη αδύνατο λόγω της ποιότητας των δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, στα δεδομένα για τις απορροές και τα αποθέματα νερού των λιμνών και των ταμιευτήρων παρατηρήθηκε μια συνεχώς αυξανόμενη τάση, η οποία δημιουργεί την υποψία ότι έχουν καταχωρηθεί αθροιστικές τιμές για τις παραμέτρους αυτές. Για το λόγο αυτό δεν παρουσιάζονται τα εξαγόμενα αποτελέσματα, αφού τα δεδομένα κρίθηκαν αναξιόπιστα.

4.5 Υδατικό διαμέρισμα Θεσσαλίας



Σχήμα 4-22: Υδατικό διαμέρισμα Θεσσαλίας

Το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας (Σχήμα 4-22) βρίσκεται στην κεντρική ηπειρωτική Ελλάδα και περιλαμβάνει τις λεκάνες απορροής του Πηνειού και των ρεμάτων Αλμυρού-Πηλίου (Σχήμα 4-23). Η συνολική έκτασή του είναι 13,136 km² και το μεγαλύτερο μέρος του το καταλαμβάνει η λεκάνη απορροής του Πηνειού. Τα ορεινά τμήματα του διαμερίσματος εκτείνονται περιμετρικά, ενώ οι κεντρικές περιοχές σχηματίζουν το Θεσσαλικό κάμπο. Ο Πηνειός με τους παραποτάμους του είναι ο μόνος μεγάλης ροής ποταμός που διαρρέει το εν λόγω υδατικό διαμέρισμα (Κ/ΞΙΑ Διαχείρισης Υδάτων Θεσσαλίας, Ηπείρου και Δυτικής Στερεάς, 2011).



Σχήμα 4-23: Λεκάνες απορροής του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας (Πηγή: Κ/ΞΙΑ Διαχείρισης Υδάτων Θεσσαλίας και Δυτικής Στερεάς, 2011)

Το κλίμα της περιοχής μπορεί να χαρακτηριστεί μεσογειακό στα ανατολικά, ηπειρωτικό στα κεντρικά και ορεινό στα δυτικά. Η μέση θερμοκρασία κυμαίνεται από 16-17°C με θερμότερους τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο και ψυχρότερους τους Δεκέμβριο μέχρι Φεβρουάριο. Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι 678 mm ενώ παρουσιάζεται πιο υψηλή στα μεγαλύτερα υψόμετρα και τα δυτικά και χαμηλότερη στις πεδινές εκτάσεις. Η χρονική κατανομή των βροχοπτώσεων παρουσιάζει μεγαλύτερες βροχοπτώσεις από τον Οκτώβριο έως τον Ιανουάριο και μικρότερες τον Ιούλιο και τον Αύγουστο (Κ/ΞΙΑ Διαχείρισης Υδάτων Θεσσαλίας, Ηπείρου και Δυτικής Στερεάς, 2011).

Στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας κατοικούν περίπου 750,000 κάτοικοι, οι οποίοι ζουν στα δυο μεγάλα αστικά κέντρα της περιοχής (τη Λάρισα και το Βόλο) καθώς και σε άλλα μικρότερα αστικά και ημιαστικά κέντρα.

Η σημαντικότερη δραστηριότητα της περιοχής είναι η γεωργία, η οποία αποτελεί σημαντικό κομμάτι της γεωργίας όλης της χώρας. Για το λόγο αυτό, η χρήση νερού για άρδευση φτάνει το 90,8%. Για την εξυπηρέτηση των αρδευτικών αναγκών έχουν πραγματοποιηθεί πολλά έργα στην περιοχή, όπως ταμιευτήρες, εκτροπή ποταμών από το γειτονικό υδατικό διαμέρισμα της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας. Ακόμη, σημαντικό έργο αποτελεί η επανασύσταση της λίμνης Κάρλας, η οποία αποσκοπεί στην ενίσχυση της άρδευσης, την

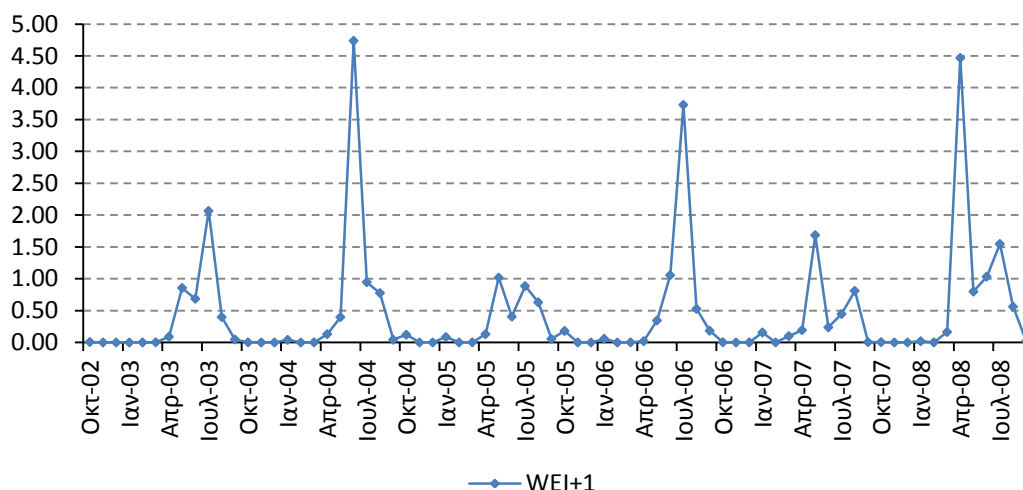
αντιπλημμυρική προστασία της περιοχής καθώς και την προστασία και αποκατάσταση του υπόγειου υδροφορέα.

Η απαίτηση νερού για αστική χρήση φτάνει το 6.8% και περιλαμβάνει και τις απαιτήσεις του τουρισμού της περιοχής. Η κτηνοτροφία καταναλώνει μόλις το 1% ενώ η βιομηχανία, η οποία ειδικεύεται στη μεταλλουργική βιομηχανία, καταναλώνει το 1.4% του νερού.

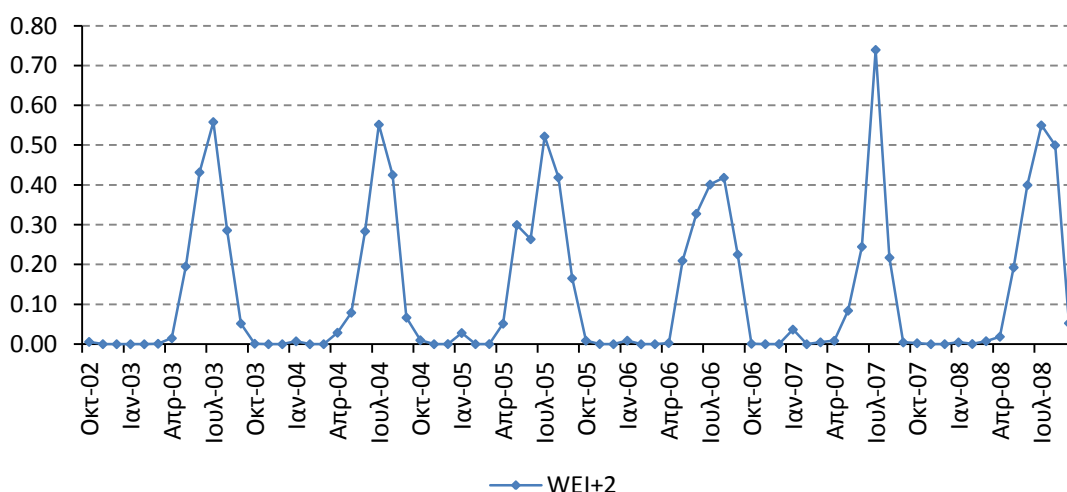
Οι διαθέσιμοι πόροι για την ικανοποίηση της ζήτησης των διαφορετικών χρήσεων είναι επιφανειακοί και υπόγειοι. Η γεωλογική δομή της περιοχής έχει συντελέσει στη δημιουργία εκτεταμένων υπόγειων υδροφορέων. Οι υπόγειοι αυτοί πόροι χρησιμοποιούνται σε πολύ μεγάλο βαθμό για την κάλυψη αναγκών στην περιοχή μέσω γεωτρήσεων και υδρομάστευσης πολλών πηγών. Οι επιφανειακοί πόροι περιλαμβάνουν, εκτός των άλλων λιμνών και ταμιευτήρων, τον ταμιευτήρα Πλαστήρα ο οποίος συγκεντρώνει νερά από το γειτονικό υδατικό διαμέρισμα της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας νερού (Κ/ΞΙΑ Διαχείρισης Υδάτων Θεσσαλίας, Ηπείρου και Δυτικής Στερεάς, 2011).

Πρέπει, τέλος, να σημειωθεί ότι το ίδιο το περιβάλλον έχει αυξημένες απαιτήσεις για τη διατήρηση της καλής κατάστασής του και μάλιστα πολύ σύνθετες για να εκφραστούν ποσοτικά όπως οι άλλες χρήσεις του νερού (Κ/ΞΙΑ Διαχείρισης Υδάτων Θεσσαλίας, Ηπείρου και Δυτικής Στερεάς, 2011).

Η απεικόνιση της πίεσης που ασκείται στους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους της περιοχής γίνεται μέσω του υπολογισμού του δείκτη WEI+. Η διακύμανση του δείκτη κατά τη διάρκεια του έτους είναι μεγάλη, όπως φαίνεται στα Σχήματα 4-24 και 4-25. Κατά τη διάρκεια των μηνών του καλοκαιριού ο δείκτης είναι σημαντικά υψηλότερος, πράγμα που οφείλεται στις υψηλές απαιτήσεις νερού λόγω άρδευσης και στα ξηρά καλοκαίρια λόγω κλίματος^[5].



Σχήμα 4-24: Δείκτης WEI+1 για το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας για τη χρονική περίοδο 10/02-09/08

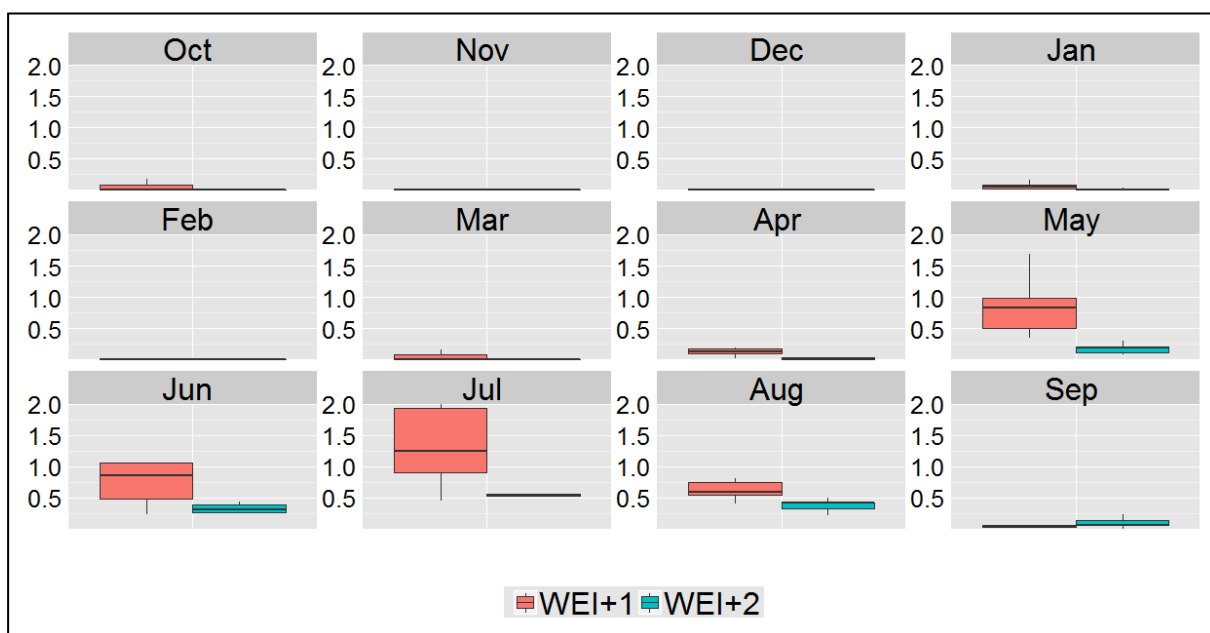


Σχήμα 4-25: Δείκτης WEI+2 για το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας για τη χρονική περίοδο 10/02-09/08

Ακόμη, τα αποτελέσματα εμφανίζουν μεγάλη απόκλιση μεταξύ τους, ανάλογα με την εξίσωση υπολογισμού που χρησιμοποιήθηκε (Σχήμα 4-26). Η πρώτη επιλογή για τον υπολογισμό των ανανεώσιμων υδατικών πόρων (Σχέση 3-5) έδωσε μεγαλύτερες τιμές για το δείκτη σε σχέση με τη δεύτερη επιλογή (Σχέση 3-6). Αυτό σημαίνει ότι στην πρώτη περίπτωση οι ανανεώσιμοι υδατικοί πόροι που υπολογίζονται είναι λιγότεροι από ότι στη δεύτερη περίπτωση. Η απόκλιση οφείλεται στο γεγονός ότι η πρώτη επιλογή (Σχέση 3-5) λαμβάνει υπόψιν κλιματολογικές παραμέτρους, όπως η κατακρήμνιση και η εξατμισοδιαπνοή. Έτσι, λόγω της πολύ μικρής κατακρήμνισης κατά τη διάρκεια του

καλοκαιριού και την ταυτόχρονη μεγάλη εξατμισοδιαπνοή, είναι λογικό να εμφανίζονται μειωμένοι οι υδατικοί πόροι.

Επιπλέον, είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι η μεταβολή στα αποθέματα νερού των λιμνών και των ταμιευτήρων δεν μπορεί να αποτυπώσει με σαφήνεια τη μεταβολή στα αποθέματα νερού τα οποία χρησιμοποιούνται στην περιοχή. Αυτό συμβαίνει επειδή υπάρχουν πολλές γεωτρήσεις, μέσω των οποίων αντλείται νερό για τη γεωργία, με αποτέλεσμα να εξαντλούνται οι υπόγειοι υδροφορείς οι οποίοι λειτουργούν ως υπόγειοι ταμιευτήρες, χωρίς αυτό να λαμβάνεται υπόψιν στον υπολογισμό του δείκτη WEI+. Ακόμη, στην περιοχή χρησιμοποιούνται αποθέματα της λίμνης Πλαστήρα, η οποία δημιουργήθηκε από την εκτροπή του Αχελώου προς το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να καταναλώνονται υδατικοί πόροι οι οποίοι δεν αποτελούν κομμάτι του υδρολογικού κύκλου της περιοχής και για το λόγο αυτό παρουσιάζεται μεγάλη απόκλιση στον υπολογισμό των ανανεώσιμων υδατικών πόρων της περιοχής.



Σχήμα 4-26: Δείκτης WEI+ ανά μήνα για το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας με τις δυο εξισώσεις υπολογισμού

Είναι φανερό ότι στην περιοχή της Θεσσαλίας υπάρχει ανισοκατανομή των υδατικών πόρων και της ζήτησής τους στο χρόνο. Όπως φαίνεται παρακάτω (Πίνακας 4-4), κατά τη διάρκεια του χειμώνα οι υδατικοί πόροι της περιοχής δεν δέχονται μεγάλη πίεση. Αντίθετα, κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών η εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πόρων είναι σημαντικά

μεγαλύτερη. Για το λόγο αυτό, ο υπολογισμός του δείκτη WEI+ σε ετήσιο χρονικό βήμα δεν μπορεί να αποτυπώσει αυτή τη μεταβολή. Ο υπολογισμός του δείκτη για τα δυο εξάμηνα του υδρολογικού έτους αποτυπώνει ικανοποιητικά την κατάσταση που επικρατεί στην περιοχή. Βέβαια, το χρονικό βήμα του ενός μήνα μπορεί να αποτελέσει ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο, επειδή οι κρίσιμες τιμές του δείκτη φαίνεται να εμφανίζονται σε συγκεκριμένους μήνες και όχι σε ολόκληρο εξάμηνο ή έτος.

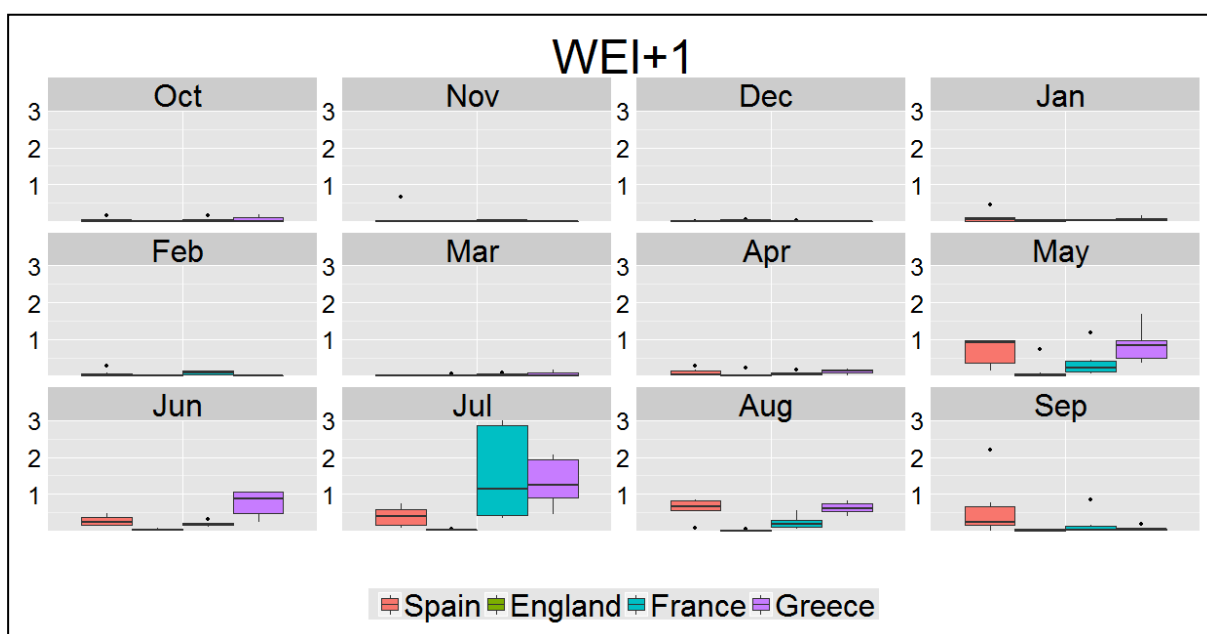
Πίνακας 4-4: Δείκτης WEI+1 και WEI+2 για το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας με χρονικό βήμα ενός μήνα, έξι μηνών και ενός έτους.

WEI1				WEI2			
Οκτ	5.34%	2%	46%	Οκτ	0.49%	0.4%	4%
Νοε	0.03%			Νοε	0.02%		
Δεκ	0.04%			Δεκ	0.02%		
Ιαν	6.03%			Ιαν	1.44%		
Φεβ	0.05%			Φεβ	0.01%		
Μαρ	4.57%			Μαρ	0.24%		
Απρ	13.08%	85%	12%	Απρ	2.10%	12%	4%
Μαϊ	85.06%			Μαϊ	17.68%		
Ιουν	85.99%			Ιουν	32.53%		
Ιουλ	160.39%			Ιουλ	55.08%		
Αυγ	61.77%			Αυγ	37.77%		
Σεπ	4.54%			Σεπ	9.45%		

4.6 Σύγκριση των αποτελεσμάτων για τις εξεταζόμενες περιοχές

Μετά την παρουσίαση και ανάλυση των εξαγόμενων αποτελεσμάτων για τις 4 περιοχές που εξετάστηκαν, γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων αυτών, ώστε να διαπιστωθεί η απόκλιση της εκμετάλλευσης των ανανεώσιμων υδατικών πόρων μεταξύ περιοχών οι οποίες έχουν διαφορετικό κλίμα, διαφορετικές δραστηριότητες και διαφορετική προσέγγιση στη διαχείριση υδατικών πόρων.

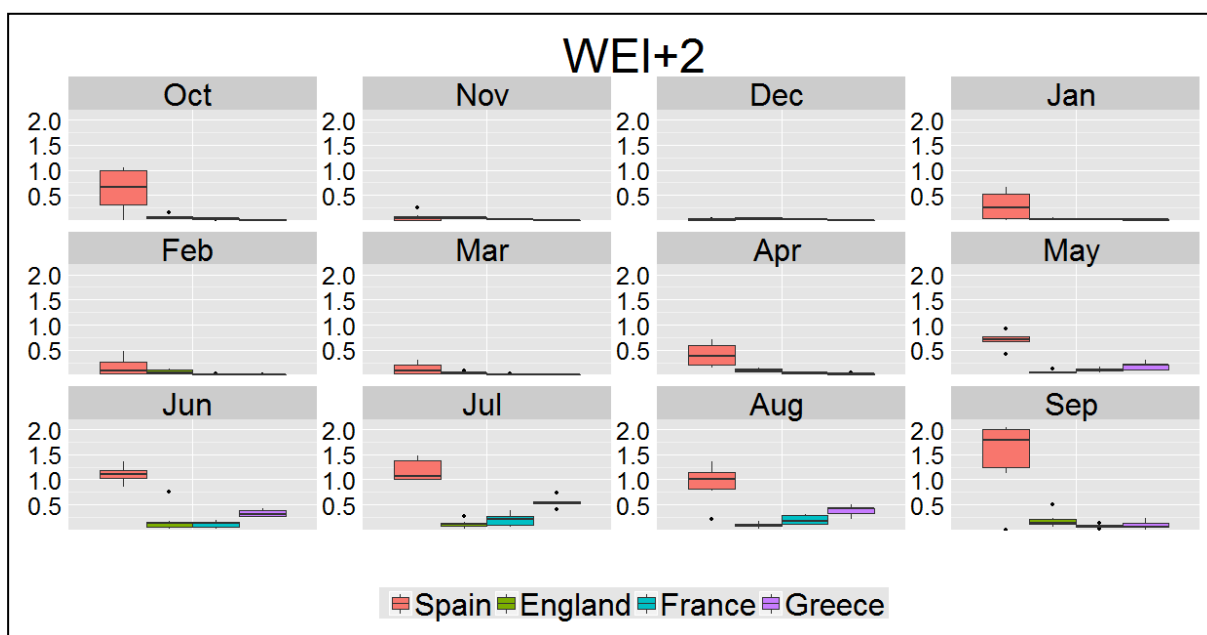
Αρχικά, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του δείκτη WEI+ για κάθε μήνα και περιοχή για τις δυο εξισώσεις υπολογισμού των ανανεώσιμων υδατικών πόρων (Σχήμα 4-27 και 4-28, αντίστοιχα).



Σχήμα 4-27: Μηνιαίος δείκτης WEI+ για όλες τις περιοχές μελέτης με την πρώτη εξίσωση υπολογισμού

Στην πρώτη εξίσωση υπολογισμού (Σχήμα 4-27), η οποία λαμβάνει υπόψιν κλιματολογικές παραμέτρους (κατακρήμνιση, εξατμισοδιαπνοή) παρατηρείται μεγάλη απόκλιση των αποτελεσμάτων ανάλογα με την περιοχή. Η Ισπανία και η Ελλάδα εμφανίζουν μεγάλες τιμές του δείκτη WEI+ κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών, πράγμα που οφείλεται στις μειωμένες βροχοπτώσεις και την αυξημένη εξατμισοδιαπνοή που συμβαίνουν κατά την περίοδο αυτή. Αντίστοιχα, στη Γαλλία παρατηρείται αυξημένη αξιοποίηση των υδατικών πόρων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού σε σύγκριση με το χειμώνα. Ο Ιούλιος φαίνεται να δίνει πολύ δυσμενή αποτελέσματα για τη λεκάνη απορροής του Rhône. Ωστόσο, η

διακύμανση του δείκτη και η πίεση που ασκείται στην περιοχή δεν είναι τόσο μεγάλη όσο φαίνεται στο Σχήμα 4-27. Πρόκειται για μεμονωμένες τιμές (Ιούλιος 2004 και 2005) οι οποίες επηρεάζουν υπερβολικά την ανάλυση των αποτελεσμάτων επειδή το εξεταζόμενο χρονικό εύρος είναι μικρό (6 έτη). Στην Αγγλία δεν παρουσιάζονται έντονες διακυμάνσεις στην πίεση που ασκείται στους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους κατά τη διάρκεια του έτους, πράγμα που οφείλεται, σε μεγάλο βαθμό, στην ομοιόμορφη κατανομή των βροχοπτώσεων που παρατηρούνται στην περιοχή.

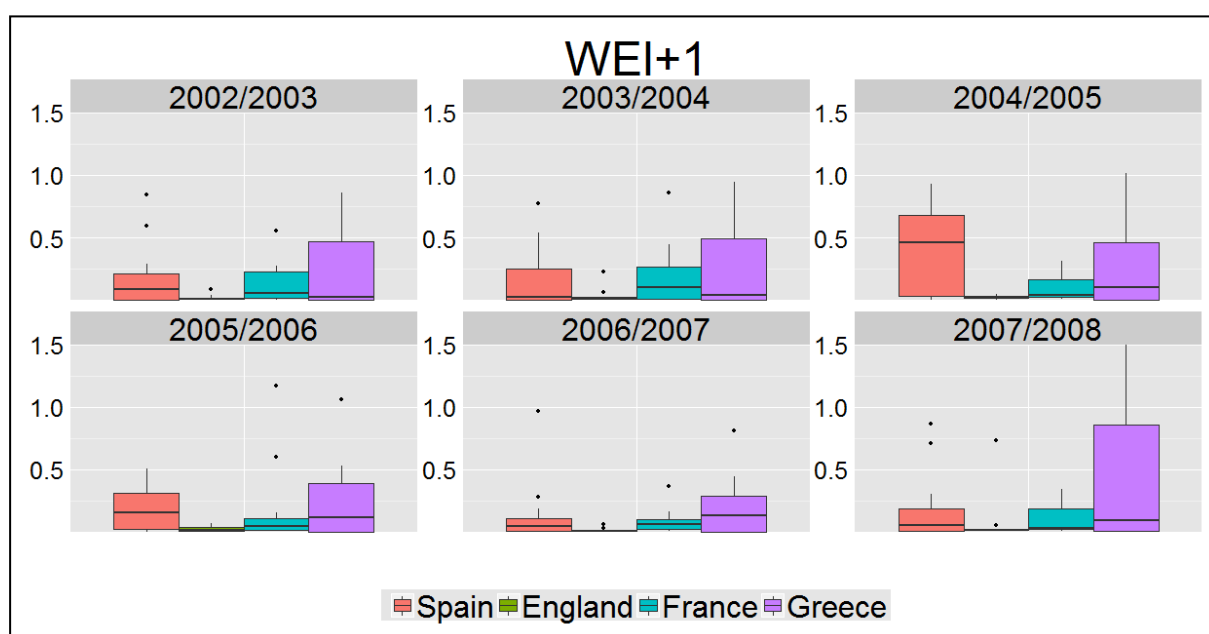


Σχήμα 4-28: Μηνιαίος δείκτης WEI+ για όλες τις περιοχές μελέτης με τη δεύτερη εξίσωση υπολογισμού

Τα αποτελέσματα του δείκτη WEI+ με τη δεύτερη εξίσωση υπολογισμού (Σχήμα 4-28) παρουσιάζουν παρόμοια εικόνα με τα αποτελέσματα της πρώτης εξίσωσης. Ωστόσο, φαίνεται ότι τα αποτελέσματα είναι πιο δυσμενή για την Ισπανία, καθώς ο δείκτης προκύπτει >1 για όλους τους καλοκαιρινούς μήνες. Λαμβάνοντας υπόψιν ότι πρόκειται για μια περιοχή στην οποία αναπτύσσεται έντονη αγροτική δραστηριότητα, είναι αναμενόμενο να εμφανίζονται μεγάλες πιέσεις στους υδατικούς πόρους κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού λόγω της άρδευσης. Αντίστοιχα, ο δείκτης WEI+ εμφανίζεται αυξημένος το καλοκαίρι στην Ελλάδα για τον ίδιο λόγο. Στη Γαλλία ο δείκτης παρουσιάζει μικρή αύξηση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού όμως οι πιέσεις δε φαίνεται να είναι πολύ μεγάλες, αφού η περιοχή είναι πλούσια σε υδατικούς πόρους. Η Αγγλία δεν εμφανίζει μεγάλη διακύμανση στα αποτελέσματα του δείκτη κατά τη διάρκεια του έτους.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του δείκτη WEI+ για κάθε ένα από τα 6 υδρολογικά έτη που εξετάζονται (Σχήμα 4-29 και 4-30). Για κάθε περιοχή ελήφθησαν οι 12 τιμές του δείκτη οι οποίες υπολογίστηκαν για κάθε μήνα του υδρολογικού έτους. Έτσι, στα Σχήματα 4-29 και 4-30 το εύρος των κουτιών δείχνει τη μεταβλητότητα του δείκτη μέσα στο χρόνο (Q_3-Q_1).

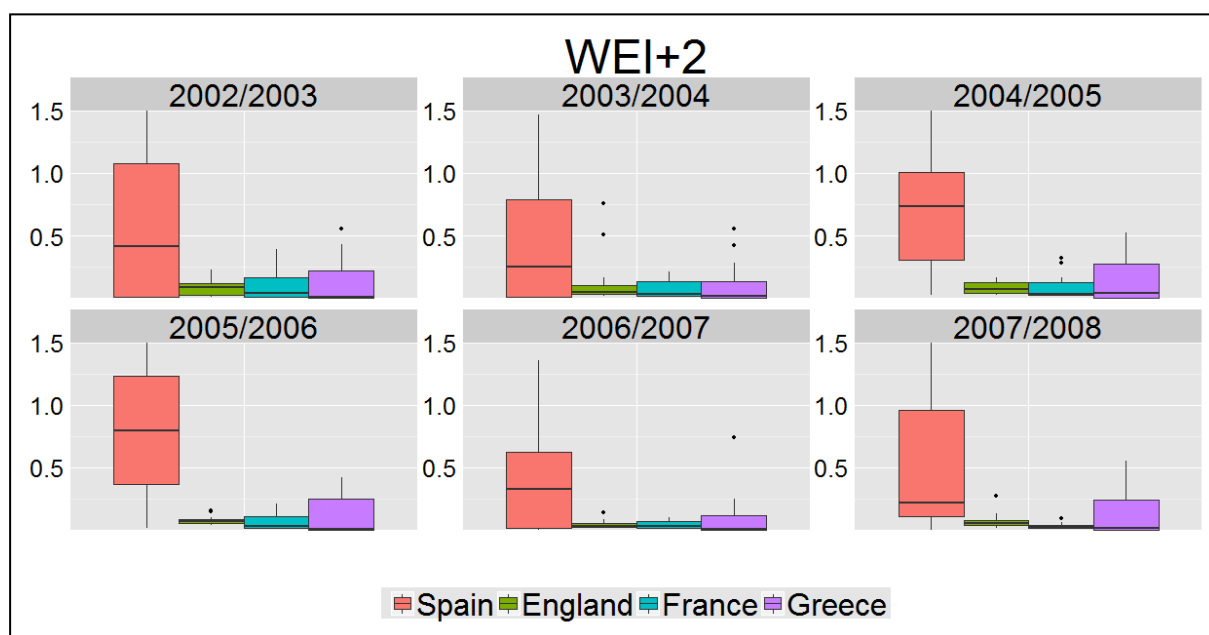
Με την πρώτη εξίσωση υπολογισμού η μεγαλύτερη μεταβλητότητα εμφανίζεται στην Ελλάδα και την Ισπανία και λιγότερο στην Γαλλία. Στην Αγγλία η μεταβλητότητα του δείκτη κατά τη διάρκεια του έτους είναι πολύ μικρή (Σχήμα 4-29).



Σχήμα 4-29: Δείκτης WEI+ για όλες τις περιοχές μελέτης με την πρώτη εξίσωση υπολογισμού ανά υδρολογικό έτος

Στη δεύτερη εξίσωση υπολογισμού (Σχήμα 4-30) παρατηρείται πολύ έντονη μεταβλητότητα του δείκτη WEI+ για την Ισπανία (μεγαλύτερη από αυτή που παρουσιάζεται στην πρώτη εξίσωση υπολογισμού). Με τη δεύτερη εξίσωση φαίνεται ότι στην Ισπανία η διακύμανση του δείκτη είναι πολύ μεγάλη μέσα στο χρόνο δηλαδή οι τιμές του δείκτη εμφανίζουν μεγάλες διαφορές από μήνα σε μήνα. Στην Ελλάδα παρατηρείται, επίσης, διακύμανση στις τιμές του δείκτη μέσα στο χρόνο αλλά μικρότερη σε σχέση με τα αντίστοιχα αποτελέσματα από την πρώτη εξίσωση. Στη Γαλλία, η μεταβλητότητα του δείκτη είναι μικρότερη από την Ισπανία και την Ελλάδα και φαίνεται να μειώνεται με την πάροδο των ετών. Αυτή η τάση δεν αποτυπώνεται στα αποτελέσματα της πρώτης εξίσωσης για τη Γαλλία αλλά

παρατηρείται μόνο στη δεύτερη. Φυσικά, τα εξεταζόμενα χρόνια είναι λίγα για να αποτυπώσουν με αξιοπιστία μια σαφή τάση για τα αποτελέσματα που εξάγονται.



Σχήμα 4-30: Δείκτης WEI+ για όλες τις περιοχές μελέτης με τη δεύτερη εξίσωση υπολογισμού ανά υδρολογικό έτος

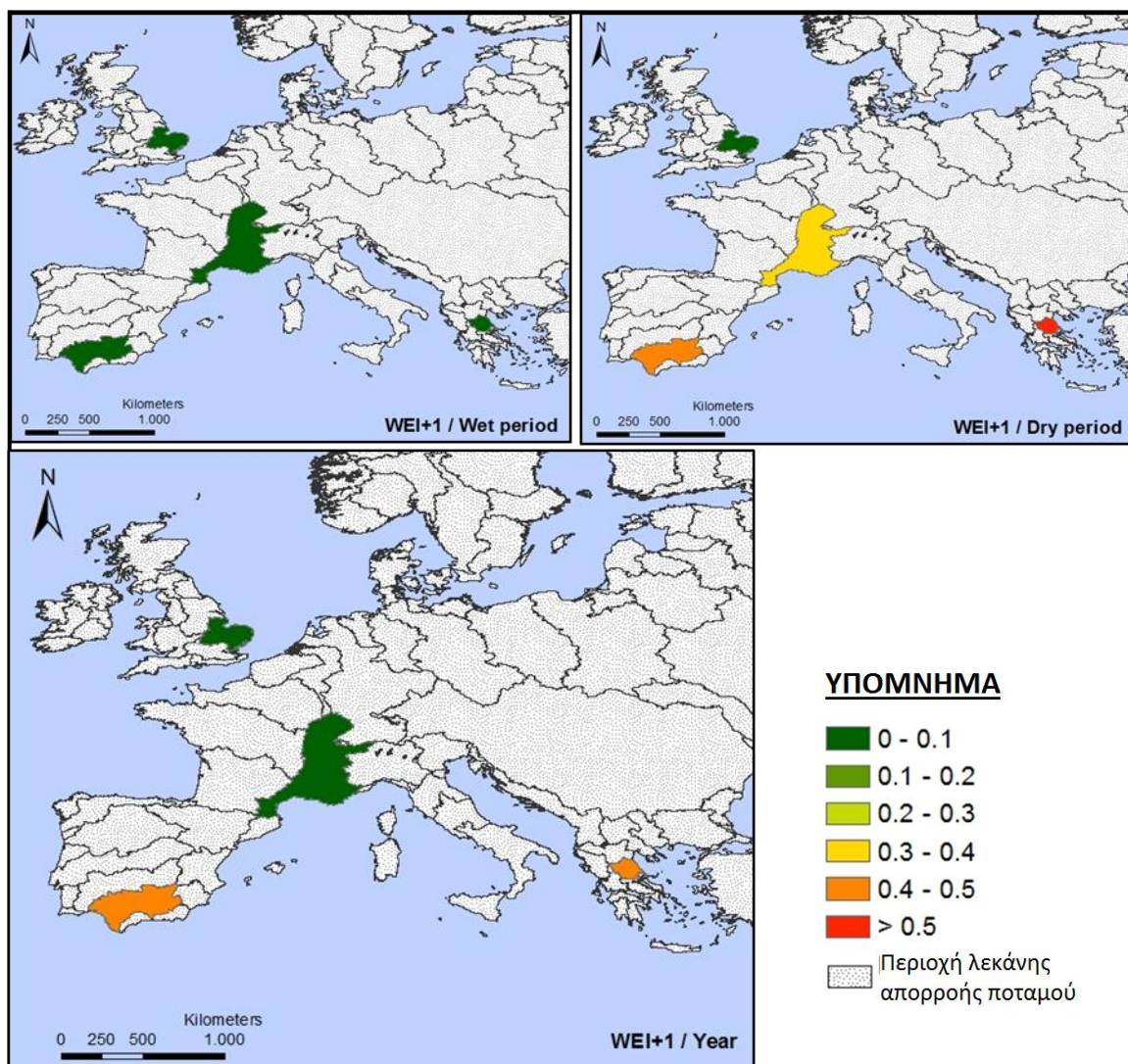
Κατόπιν, καταρτίζονται κατάλληλοι χάρτες στους οποίους απεικονίζονται τα αποτελέσματα του δείκτη. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε χάρτη έχει ως σκοπό την άμεση οπτικοποίηση της κατάστασης που περιγράφεται στο Κεφάλαιο αυτό.

Στο Σχήμα 4-31 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής της πρώτης εξίσωσης του δείκτη WEI+ για την υγρή και ξηρή περίοδο (Οκτώβριος-Μάρτιος, Απρίλιος-Σεπτέμβριος, αντίστοιχα) και για ολόκληρο το υδρολογικό έτος. Οι τιμές οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του χάρτη αφορούν στις χαρακτηριστικές τιμές για την κάθε χρονική περίοδο. Ως χαρακτηριστική τιμή λήφθηκε η μέση τιμή των αποτελεσμάτων αλλά όπου εμφανίστηκαν ακραίες τιμές ($<Q_1 - IQR$ ή $>Q_3 + IQR$) χρησιμοποιήθηκε η διάμεσος.

Τα όρια του δείκτη WEI+ δεν έχουν θεσπιστεί ώστε να γίνεται άμεση κατηγοριοποίηση ανάλογα με το αποτέλεσμα (Faegermann, 2012). Για το λόγο αυτό, ο διαχωρισμός των κλάσεων στο υπόμνημα του Σχήματος 4-31 έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να αναδεικνύονται οι διαφορές του δείκτη από περίοδο σε περίοδο και από περιοχή σε περιοχή, χωρίς να γίνεται χαρακτηρισμός της πίεση που ασκείται στους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους (π.χ. υψηλή, μέση, χαμηλή).

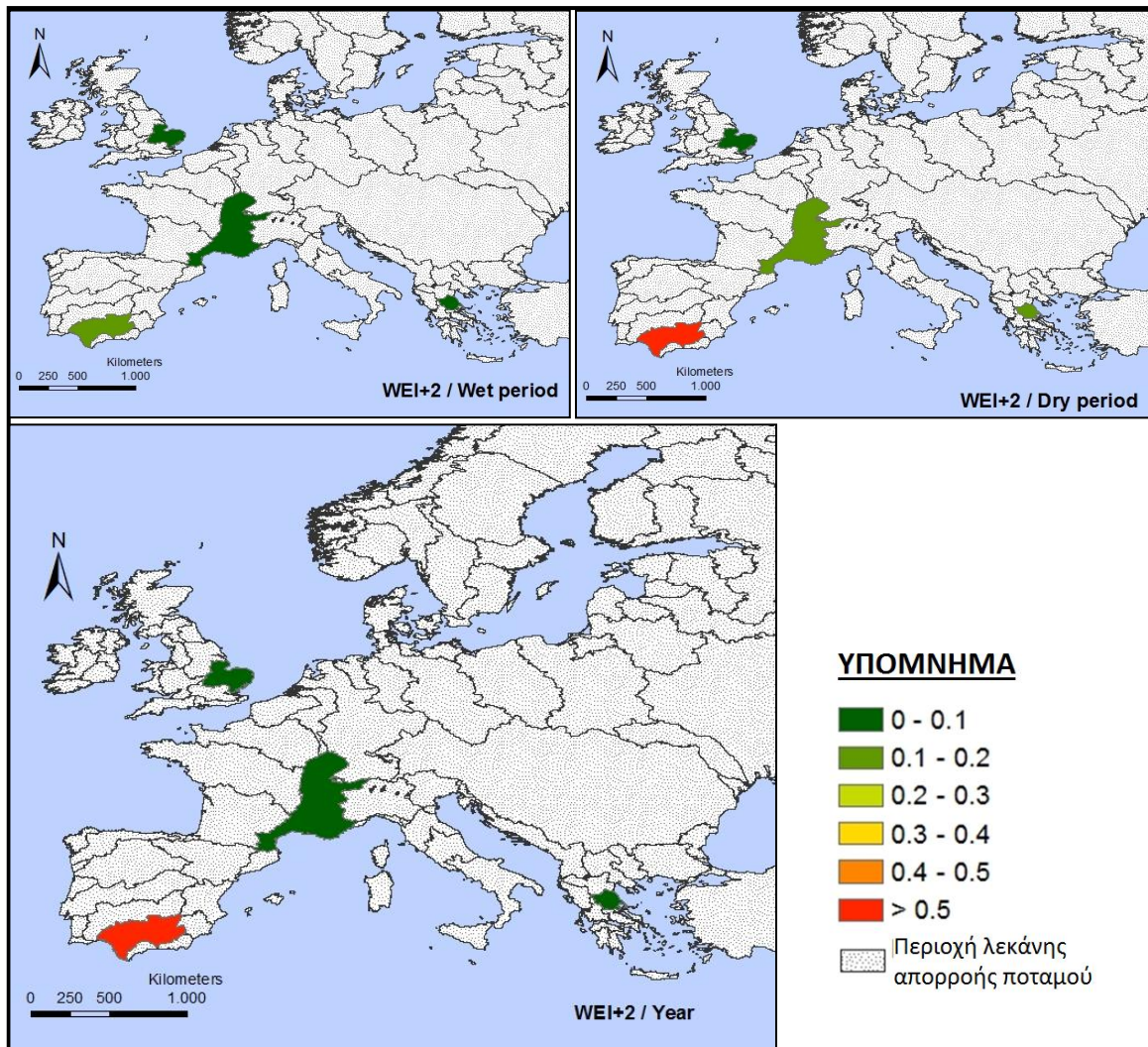
Παρατηρείται ότι κατά την υγρή περίοδο όλες οι περιοχές παρουσιάζουν μικρή εκμετάλλευση των ανανεώσιμων υδατικών πόρων. Αντίθετα, κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου οι εξεταζόμενες περιοχές στη Γαλλία, την Ισπανία και την Ελλάδα εμφανίζουν αύξηση του δείκτη WEI+1. Φαίνεται, μάλιστα, ότι στην Ελλάδα γίνεται η μεγαλύτερη εκμετάλλευση των ανανεώσιμων υδάτων κατά την ξηρή περίοδο. Η απόκλιση των αποτελεσμάτων ανάμεσα στις εξεταζόμενες περιοχές οφείλεται στο κλίμα, τη διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων και τις δραστηριότητες κάθε περιοχής, όπως αυτά έχουν περιγραφεί στο Κεφάλαιο 4.

Η χρονική κλίμακα του ενός υδρολογικού έτους δίνει πιο ομοιόμορφη εικόνα στα αποτελέσματα, χωρίς όμως να εμποδίζει την ανάδειξη των περιοχών οι οποίες παρουσιάζουν υψηλότερη εκμετάλλευση των ανανεώσιμων υδατικών πόρων (Σχήμα 4-31). Η εξεταζόμενη περιοχή στην Αγγλία διατηρεί χαμηλά ποσοστά εκμετάλλευσης κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο και αυτό αντικατοπτρίζεται και στην ετήσια χρονική κλίμακα. Στη Γαλλία, αν και παρουσιάζεται αυξημένη εκμετάλλευση των ανανεώσιμων υδατικών πόρων κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, η ετήσια τιμή του δείκτη WEI+1 δεν είναι μεγάλη, πράγμα που οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην αφθονία των υδάτων της περιοχής. Η Ισπανία και η Ελλάδα φαίνεται να έχουν μεγαλύτερα ποσοστά εκμετάλλευσης σε ετήσια χρονική βάση και αυτό οφείλεται στη μεγάλη εκμετάλλευση των ανανεώσιμων υδατικών πόρων κατά την ξηρή περίοδο, όπου οι απαιτήσεις είναι υψηλές και οι ανανεώσιμοι υδατικοί πόροι περιορισμένοι.



Σχήμα 4-31: Χωρική απεικόνιση του δείκτη WEI+1 για την υγρή και ξηρή περίοδο και το υδρολογικό έτος

Η δεύτερη εξίσωση υπολογισμού (Σχήμα 4-32) δίνει παρόμοια αποτελέσματα με την πρώτη, αλλά όχι σε όλες τις περιπτώσεις. Η εξεταζόμενη περιοχή στην Ισπανία παρουσιάζεται με πιο δυσμενή αποτελέσματα σε σχέση με την πρώτη εξίσωση. Αντίθετα, η Θεσσαλία στην Ελλάδα φαίνεται ότι δεν κάνει έντονη εκμετάλλευση των ανανεώσιμων υδατικών πόρων κατά την ξηρή περίοδο, όπως υπολογίστηκε με την πρώτη εξίσωση. Οι αποκλίσεις αυτές δημιουργούν μια αντιφατική εικόνα σχετικά με τα αποτελέσματα του δείκτη WEI+. Τίθεται λοιπόν το ζήτημα της καταλληλότητας εφαρμογής και των δυο εξισώσεων στις συγκεκριμένες περιοχές. Στη Γαλλία και την Αγγλία οι διαφορές των αποτελεσμάτων των δυο εξισώσεων δεν είναι μεγάλες, εκτός από την ξηρή περίοδο της περιοχής λεκάνης απορροής του Rhone στη Γαλλία, όπου η δεύτερη εξίσωση παρουσιάζει πιο ευμενή εικόνα για την εκμετάλλευση των ανανεώσιμων υδατικών πόρων σε σχέση με την πρώτη εξίσωση.



Σχήμα 4-32: Χωρική απεικόνιση του δείκτη WEI+2 για την υγρή και ξηρή περίοδο και το υδρολογικό έτος

Κεφάλαιο 5ο : Συμπεράσματα - Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η προσπάθεια εφαρμογής του δείκτη WEI+ σε τέσσερις περιοχές της Ευρώπης απέφερε κάποια χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με τους περιορισμούς στους οποίους υπόκειται ο δείκτης, τις αδυναμίες που παρουσιάζει καθώς και τη σημαντικότητα των αποτελεσμάτων που εξάγονται μέσω αυτού. Απόρροια όλων αυτών είναι ο εντοπισμός πεδίων τα οποία χρήζουν περαιτέρω έρευνας και μελέτης στο μέλλον.

5.1 Δεδομένα

Αρχικά, είναι αναγκαίο να επισημανθεί ότι η διαθεσιμότητα και η ποιότητα των δεδομένων τα οποία χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του δείκτη WEI+ αποτελούν κρίσιμο παράγοντα για την επιτυχή εφαρμογή του. Η έλλειψη δεδομένων, τα οποία να είναι πλήρη στο χώρο και το χρόνο, είναι ο βασικός περιοριστικός παράγοντας για τον υπολογισμό του WEI+.

Η αναζήτηση κατάλληλων δεδομένων για όλες τις παραμέτρους που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του WEI+ δεν είναι εύκολη διαδικασία. Οι υποχρεώσεις των κρατών-μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, οι οποίες προκύπτουν από την Οδηγία 2000/60 της Ε.Ε., σχετικά με την παρακολούθηση των υδάτων και την αναφορά των μετρούμενων στοιχείων δεν καλύπτονται πλήρως από τα υπάρχοντα δεδομένα. Η αναφορά των στοιχείων που αφορούν στο σύνολο των παραμέτρων είναι ελλιπής. Για το λόγο αυτό, στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από την εφαρμογή Norolu System2. Τα δεδομένα, τα οποία είναι διαθέσιμα μέσω της εφαρμογής αυτής, είναι σαφώς πιο πλήρη, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν παρουσιάζουν ελλείψεις. Οι ελλείψεις αυτές συμπληρώθηκαν με λογικές παραδοχές ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός του δείκτη WEI+.

Οι παραδοχές οι οποίες γίνονται για τη συμπλήρωση των δεδομένων εισάγουν σε αυτά αβεβαιότητα. Η αβεβαιότητα αυτή μετακυλιέται, φυσικά, στα αποτελέσματα που εξάγονται. Έτσι, η αξιοπιστία των δεδομένων καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την αξιοπιστία των τελικών αποτελεσμάτων. Στην εφαρμογή Norolu, πολλά δεδομένα έχουν προκύψει από κατάλληλα μοντέλα ή άλλες διαδικασίες (ΕΕΑ,2013).

5.2 Εξίσωση υπολογισμού

Κατόπιν, η εφαρμογή των δυο εξισώσεων υπολογισμού του WEI+ ανέδειξε αποκλίσεις στα αποτελέσματα, ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη εξίσωση. Κατ' αρχάς, η παραδοχή ότι η φυσική μεταβολή στην αποθηκευτικότητα (ΔS_{nat}) του νερού μπορεί να αντικατασταθεί από τη μεταβολή στην αποθηκευτικότητα των λιμνών και των ταμιευτήρων (ΔS_{art}) δημιουργεί αβεβαιότητα ως προς τα αποτελέσματα της πρώτης εξίσωσης. Στην πρώτη εξίσωση υπολογισμού των ανανεώσιμων υδατικών πόρων χρησιμοποιούνται παράμετροι οι οποίες αφορούν στις φυσικές διεργασίες του υδρολογικού κύκλου, όπως η κατακρήμνιση και η εξατμισοδιαπνοή. Η φυσική μεταβολή στην αποθηκευτικότητα απαιτεί, συνήθως, τη χρήση κάποιου υδρολογικού μοντέλου και για το λόγο αυτό αντικαθίσταται στους υπολογισμούς με τη μεταβολή στην αποθηκευτικότητα των λιμνών και των ταμιευτήρων.

Η δεύτερη εξίσωση υπολογισμού επιτρέπει την εκτίμηση των ανανεώσιμων υδατικών πόρων μέσω της απορροής και των όγκων νερού οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Αυτός ο τρόπος υπολογισμού εμπεριέχει, έμμεσα, την επίδραση του κλίματος στους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους μέσω της μέτρησης της εκροής. Η μεταβολή στην αποθηκευτικότητα των λιμνών και των ταμιευτήρων είναι μια παράμετρος η οποία πρέπει να εκτιμάται με προσοχή, αφού σε περιπτώσεις όπου υπάρχει μεταφορά νερού από άλλες περιοχές ή αφαλάτωση πρέπει να γίνονται κατάλληλες διορθώσεις για να χρησιμοποιηθεί στην εξίσωση. Πλεονέκτημα της δεύτερης εξίσωσης θεωρείται το γεγονός ότι όλες οι παράμετροι λαμβάνονται απ' ευθείας από τα δεδομένα και δεν χρειάζονται περαιτέρω παραδοχές, όπως στην πρώτη εξίσωση.

Τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από τις δυο εξισώσεις υπολογισμού παρουσιάζουν άλλοτε μικρές και άλλοτε μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ τους. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση της Θεσσαλίας, όπου οι δυο εξισώσεις έδωσαν τελείως διαφορετική εικόνα για την εκμετάλλευση των ανανεώσιμων υδατικών πόρων της περιοχής (Κεφάλαιο 4). Εφόσον οι δυο εξισώσεις είναι ισοδύναμες ως προς την αποδοχή τους από τους αρμόδιους φορείς, η επιλογή της κατάλληλης εξίσωσης για κάθε περιοχή πρέπει να γίνεται με βάση τις ιδιαίτερες συνθήκες που παρουσιάζει ο κάθε τόπος και τα διαθέσιμα στοιχεία τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κάθε περίπτωση. Δεν είναι, δηλαδή, ξεκάθαρο εξ' αρχής

ποια από τις δυο εξισώσεις μπορεί να αποτυπώσει πιο ρεαλιστικά τους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους μιας περιοχής.

5.3 Χρονική κλίμακα

Η χρονική κλίμακα που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό και την ανάλυση του δείκτη WEI+ μπορεί να ποικίλει, ανάλογα με το σκοπό εξέτασης του δείκτη. Ο υπολογισμός του δείκτη σε μηνιαίο βήμα δίνει μια ξεκάθαρη εικόνα για τις περιόδους όπου τα ανανεώσιμα ύδατα υφίστανται μεγάλη πίεση. Το μηνιαίο βήμα, ωστόσο, μπορεί να προκαλέσει την εμφάνιση αρνητικών τιμών στους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους (EEA, 2013) όπως για παράδειγμα κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών όπου συμβαίνει να παρατηρείται κατακρήμνιση μικρότερη από την εξατμισοδιαπνοή. Ακόμη, συμβαίνει σε πολλές περιπτώσεις ο δείκτης WEI+ να υπολογίζεται >1 . Αυτό σημαίνει ότι η κατανάλωση του νερού ξεπέρασε τους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους για το μήνα αυτό και ότι καταναλώθηκαν μόνιμα αποθέματα. Τα μόνιμα αποθέματα, όμως, αφορούν σε όγκους νερού οι οποίοι μεταβάλλονται με αργό ρυθμό στο χρόνο. Έτσι, η ετήσια χρονική κλίμακα αποτυπώνει πιο ολοκληρωμένα την κατανάλωση των ανανεώσιμων υδατικών πόρων, αφού κατά τη διάρκεια του υδρολογικού έτους οι ανανεώσιμοι υδατικοί πόροι μεταβάλλονται αλλά στο τέλος του υδρολογικού έτους τα αποθέματα έχουν επανέλθει στην αρχική κατάσταση.

Η μηνιαία χρονική κλίμακα μπορεί να τονίσει την ανισοκατανομή των ανανεώσιμων υδατικών πόρων και της ζήτησης του νερού κατά τη διάρκεια του υδρολογικού έτους. Όμως αυτό δε σημαίνει ότι επειδή κάποιοι μήνες έχουν μειωμένους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους, τα αποθέματα τα οποία χρησιμοποιούνται σε αυτές τις περιόδους ανήκουν στα μόνιμα αποθέματα νερού της περιοχής. Είναι, μάλιστα, πιο πιθανό να πρόκειται για ανανεώσιμους υδατικούς πόρους οι οποίοι εμφανίζονται κατά τη διάρκεια του υδρολογικού έτους.

Προτείνεται λοιπόν, ο δείκτης WEI+ να συνοδεύεται από ένα βοηθητικό δείκτη ο οποίος να αποτυπώνει την επιρροή των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στο συνολικά διαθέσιμο νερό. Με τον τρόπο αυτό θα είναι πιο ξεκάθαρη η πίεση που ασκείται στους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους και στα μόνιμα αποθέματα νερού.

Ακόμη, εξετάστηκε η χρονική κλίμακα του υγρού και ξηρού εξαμήνου του έτους. Η κλίμακα αυτή δίνει ξεκάθαρη εικόνα για την ανισοκατανομή στο χρόνο της εμφάνισης των ανανεώσιμων υδατικών πόρων και των χρήσεων του νερού.

5.4 Χωρική κλίμακα

Στη συνέχεια, γίνεται αναφορά στη σημασία της χωρικής κλίμακας που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του δείκτη WEI+. Η Οδηγία 2000/60 της Ε.Ε. ορίζει ως βασική μονάδα την περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού. Ωστόσο, κάποιες φορές είναι χρήσιμο να γίνεται ανάλυση σε πιο λεπτομερή χωρική κλίμακα (π.χ. υπολεκάνες) ώστε να αποτυπώνονται οι πιέσεις που ασκούνται στους υδατικούς πόρους από δραστηριότητες οι οποίες εκτείνονται σε περιορισμένο χώρο. Για παράδειγμα, στην περίπτωση μεγάλων αστικών κέντρων, η κατανάλωση νερού συγκεντρώνεται σε μικρό χώρο αλλά είναι σημαντική. Η περιοχή λεκάνης απορροής μπορεί να μην επηρεάζεται αισθητά, όμως η υπολεκάνη μπορεί να υφίσταται πολύ έντονη πίεση. Για το λόγο αυτό, προτείνεται, όπου είναι δυνατό, να γίνεται ο υπολογισμός του WEI+ σε επίπεδο υπολεκάνης για να εντοπίζονται οι ευάλωτες περιοχές. Πρόκειται για ένα χρήσιμο εργαλείο για την διαμόρφωση περιβαλλοντικής πολιτικής αφού αναδεικνύει τα προβλήματα και τις ανάγκες μιας περιοχής στον χώρο όπου εμφανίζονται.

5.5 Μελλοντική έρευνα

Η μελέτη και η έρευνα σχετικά με τον δείκτη WEI+ βρίσκεται ακόμη σε εξέλιξη και έχει ακόμη πολλά εκκρεμή ζητήματα να λύσει.

Αρχικά, η επιλογή της κατάλληλης εξίσωσης υπολογισμού του δείκτη για κάθε περίπτωση χρειάζεται αποσαφήνιση σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο θα πρέπει να γίνεται. Ίσως είναι σκόπιμο να μελετηθεί η εφαρμογή της κάθε εξίσωσης σε κάθε λεκάνη απορροής και να αξιολογηθεί η καταλληλότητα εφαρμογής της ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κάθε τύπου. Με τον τρόπο αυτό θα μπορούσε να δημιουργηθεί ένα χρήσιμο εργαλείο το οποίο θα δίνει πιο σαφείς οδηγίες για την εφαρμογή του δείκτη σε κάθε περιοχή.

Ακόμη, σημαντική βελτίωση στη χρήση της πρώτης εξίσωσης θα αποτελούσε η χρήση υδρολογικών μοντέλων για την εκτίμηση της φυσικής μεταβολής της αποθηκευτικότητας του νερού για κάθε περιοχή. Με τον τρόπο αυτό θα αναιρούταν η παραδοχή

αντικατάστασης της φυσική μεταβολής στην αποθηκευτικότητα με τη μεταβολή στην αποθηκευτικότητα των λιμνών και των ταμιευτήρων.

Φυσικά, η εφαρμογή των παραπάνω προτάσεων απαιτεί συνεργασία των αρμόδιων φορέων από όλα τα κράτη-μέλη της Ε.Ε. και σημαντικό όγκο δουλειάς ο οποίος απαιτεί πολύ χρόνο.

Πιο ρεαλιστικές προσεγγίσεις σχετικά με τη μελέτη η οποία μπορεί να γίνει σχετικά με τον WEI+ αφορούν στην αναζήτηση και θέσπιση ορίων, τα οποία θα κατηγοριοποιούν την πίεση η οποία ασκείται στους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους με βάση τα εξαγόμενα αποτελέσματα. Παρόμοιες προσπάθειες έχουν ήδη γίνει (Environment Agency and Natural Resources, 2013) όμως δεν έχουν θεσπιστεί ακόμη επίσημα όρια για τον δείκτη, αφήνοντας έτσι χώρο για περεταίρω έρευνα πάνω σε αυτό το αντικείμενο.

Ακόμα, ενδιαφέρον παρουσιάζει η συσχέτιση του δείκτη WEI+ με άλλους δείκτες που αφορούν στη διαθεσιμότητα και χρήση των υδατικών πόρων, με σκοπό τη δημιουργία πληρέστερης εικόνας της υφιστάμενης κατάστασης. Για παράδειγμα, θα μπορούσε να εξεταστεί η σχέση του WEI+ με το ρυθμό κατανάλωσης του νερού και από αυτή τη συσχέτιση να προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα για την επίδραση της κατανάλωσης νερού και της σημασίας της στον υπολογισμό του δείκτη WEI+.

Τέλος, προτείνεται η χρήση στοχαστικών μοντέλων για την παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών για τις παραμέτρους που χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό του δείκτη. Μέσω αυτών των χρονοσειρών μπορεί να γίνει ανάλυση των περιπτώσεων όπου ο δείκτης προκύπτει αρνητικός ή μεγαλύτερος της μονάδας και να αποδοθεί η φυσική ερμηνεία των τιμών αυτών.

Κεφάλαιο 6ο : Βιβλιογραφικές αναφορές

Ξένη Βιβλιογραφία

Berbel, J., J. Martin-Ortega and P. Mesa, *A Cost-Effectiveness Analysis of Water-Saving Measures for the Water Framework Directive: the Case of Guadalquivir River Basin in Southern Spain*, *Water Resources Management*, vol. 25, issue 2, pages 623-640, 2011

Bhat, A. and W. Blomquist, *Policy, politics and water management in the Guadalquivir River Basin, Spain*, *Water Resources Management*, vol. 40, W08S07, 2004

Blomquist, W., C. Giansante, A. Bhat and K. Kemper, *Institutional and Policy Analysis of River Basin Management- The Guadalquivir River Basin, Spain*, *World Bank Policy Research Working Paper 3526*, February 2005

Comite de bassin Rhone Mediterranee , *Schema Directeur d' Amenagement et de Gestion des Eaux 2010-2015, Consultation de public*, 2008 (Available from: <http://www.consultation.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/sdage-documents/introduction.php>) [accessed 16/4/2015]

Comite de bassin Rhone Mediterranee, *Schema Directeur d' Amenagement et de Gestion des Eaux 2010-2015- Documents d'Accompagnement, Bassin Rhone-Mediterranee*, 2009 (Available from: <http://www.consultation.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/sdage-documents/introduction.php>)

Department for Environment Food and Rural Affairs, *Eel Management plans for the United Kingdom, Anglian River Basin District*, March 2010 (Available from: www.defra.gov.uk)

Droogers, P. and W. Immerzeel, *Water Resources Guadalquivir Basin, Spain*, 2008 (Available from: <http://www.futurewater.nl/esawat/upload/guadalquivir.pdf>)

Dupont, P., J.-L. Simonnot and C. Lasnier, *Rhône Méditerranée River Basin District- POM: process and implementation*, « EURO-RIOB 2008 », Sibiu, Roumanie, 2008

EMWIS (Euro-Mediterranean Water Information System), *State of the art on Drought & Water Scarcity in the Mediterranean: Monitoring water scarcity and drought in the*

Mediterranean Synthesis note, November 2010 (Available from: http://www.semide.net/topics/WaterScarcity/wsd_synthesis_finaldraft.pdf) [accessed: 20/4/15]

Environment Agency, *River Basin Management Plan, Anglian River Basin District*, Environment Agency, December 2009

EEA (European Environment Agency), *European Catchments and Rivers Network System ECRINS*, 2013 (Available from: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/european-catchments-and-rivers-network#tab-gis-data>) [accessed 22/3/2015]

EEA (European Environment Agency), *EEA Catchments and Rivers Network System ECRINS v1.1, Rationales, building and improving for widening uses to Water Accounts and WISE applications*, EEA Technical report, No 7/2012, 2012 (Available from: file:///C:/Users/alex/Downloads/EEA%20Catchments%20and%20Rivers%20Network%20System%20ECRINSv1_1.pdf)

EEA (European Environmental Agency), *EEA core set of indicators Guide*, EEA Technical report. No 1/2005, 2005

EEA (European Environmental Agency), *Results and lessons from implementing the Water Assets Accounts in the EEA area*, EEA Technical report. No 7/2013, 2013

European Parliament & Council, *Water Framework Directive*, OJL 327, 22 December 2000, pp. 1-73

European Rivers Network, *Guadalquivir Basin*, <http://www.rivernet.org/guadalq/basic.htm> [accessed 22/3/1015]

European Topic Centre Inland, coastal, marine waters, *Content related SoE review- Background document for 2014 Freshwater Eionet Workshop,-Developing an efficient and sustainable way forward on the Eionet water data flows: Review of water data flows and data handling processes*, 2014 (EEA/NSV/13/002-ETC/ICM)

Faergemann, H., *Update on Water Scarcity and Droughts indicator development*, 2012 (Available from: <https://circabc.europa.eu/>)

Houston, A., *The Rhone River Basin*, Civil, Architectural and Environmental Engineering-The University of Texas at Austin, Daene C. McKinney, 2012 (Available from: [http://www.caee.utexas.edu/prof/mckinney/ce397/Topics/Rhone/Rhone\(2012\).pdf](http://www.caee.utexas.edu/prof/mckinney/ce397/Topics/Rhone/Rhone(2012).pdf))

[accessed 16/4/2015]

Jenkins, G., M. Perry and J. Prior, *The climate of the United Kingdom and recent trends*, Met Office Hadley Centre, Exeter, UK, 2008

Nagy, M., K. Lenz, G. Windhofer, J. Furst and B. Fribourg-Blanc, *Data Collection Manual for the OECD/Eurostat Joint Questionnaire on Inland Waters Tables 1-7 - Concepts, definitions, current practices, evaluations and recommendations - Version 2.2*, Eurostat, September 2008

Simpson, I., *Precipitation variability across the UK: Observations and model simulations*, thesis submitted for the Degree of Philosophy at the University of East Anglia, Norwich, July 2011

Stroffek, S. and J.-L. Simonnot, *Is there some incompatibility between Water Uses and Water Framework Directive?- current works in progress with focus on the hydroelectric use of water in the Rhône-Méditerranée District*, Conference International pour l'application de la Directive-Cadre Européenne sur l'Eau, Megeve, France, 2006

United Nations, *SEEA-Water System of Environmental-Economic Accounting for Water*, Department of Economic and Social Affairs -Statistics Division, New York, 2012

Ελληνική Βιβλιογραφία

Κ/ΞΙΑ Διαχείρισης Υδάτων Θεσσαλίας, Ηπείρου και Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, *Κατάρτιση Σχεδίων Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών των Υδατικών Διαμερισμάτων Θεσσαλίας, Ηπείρου και Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, σύμφωνα με τις Προδιαγραφές της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ, κατ' εφαρμογή του Ν.3199/2003 και του Π.Δ.51/2007 - ΕΚΘΕΣΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΣΗΜΑΝΤΙΚΩΝ ΘΕΜΑΤΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΝΕΡΩΝ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ*, Οκτώβριος 2011

Μιμίκου, Μ. και Μπαλτάς Ε., *Τεχνική Υδρολογία*, 4η Έκδοση, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2006

Μητρόπουλος, Ι., Διαφάνειες μαθήματος *Εισαγωγή στη στατιστική των επιχειρήσεων*, Τμήμα Διοίκησης Επιχειρήσεων Πάτρας, Εργαστήριο Λήψης Αποφάσεων & Επιχειρησιακού Προγραμματισμού, Τμήμα Διοίκησης Επιχειρήσεων Πάτρας, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας, 2009

Διαδικτυακοί Ιστότοποι

Υ.Π.Α.Π.ΕΝ. - <http://www.ypeka.gr/>

ΕΕΑ - <http://www.eea.europa.eu/>

EIONET - <http://cdr.eionet.europa.eu/>

Environment Agency - <http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/>

ESRI-Living Atlas of the World -

<http://doc.arcgis.com/en/living-atlas/item/?itemId=d5e02a0c1f2b4ec399823fdd3c2fdebd>

Eurostat - <http://ec.europa.eu/eurostat>

<http://doc.arcgis.com/en/living-atlas/item/?itemId=d5e02a0c1f2b4ec399823fdd3c2fdebd>

Köppen climate classification -

http://en.wikipedia.org/wiki/K%C3%B6ppen_climate_classification

Regions of France - Rhone-Alpes Weather and Climate - http://www.regions-of-france.com/regions/rhone_alpes/weather/ [accessed 16/4/2015]