

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΠΙΘΑΝΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΑΠΟ  
ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΟΔΗΓΙΑΣ – ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΟΥΣ  
ΥΔΑΤΙΚΟΥΣ ΠΟΡΟΥΣ, 2000/60/ΕΚ, ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ  
ΤΟΥ ΤΟΕΒ ΠΗΝΕΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ANNA A. ΒΑΣΙΛΑΚΗ

ΑΘΗΝΑ

2014

## ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΠΙΘΑΝΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΟΔΗΓΙΑΣ – ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΥΔΑΤΙΚΟΥΣ ΠΟΡΟΥΣ, 2000/60/ΕΚ, ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΤΟΕΒ ΠΗΝΕΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ANNA A. ΒΑΣΙΛΑΚΗ

### **Επταμελής Εξεταστική Επιτροπή:**

Καμπάς Αθανάσιος, Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Αγροτικής Οικονομίας & Ανάπτυξης, Γ.Π.Α. (Επιβλέπων).

Ροζάκης Στυλιανός, Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Αγροτικής Οικονομίας & Ανάπτυξης, Γ.Π.Α. (Μέλος τριμελούς επιτροπής).

Δέρκας Νικόλαος, Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Γ.Π.Α. (Μέλος τριμελούς επιτροπής).

Μπίθας Κωνσταντίνος, Αναπληρωτής Καθηγητής Τμήματος Οικονομικής και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Πάντειο Πανεπιστήμιο.

Μακρόπουλος Χρήστος, Επίκουρος Καθηγητής Σχολής Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

Καραβίτης Χρήστος, Επίκουρος Καθηγητής Τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Γ.Π.Α.

Λατινόπουλος Διονύσιος, Λέκτορας Τμήματος Μηχανικών Χωροταξίας και Ανάπτυξης Α.Π.Θ.

ΑΘΗΝΑ

2014

## Περίληψη

Αναγνωρίζοντας το νερό ως κοινωνικό αγαθό, αναντικατάστατο για την επιβίωση, την υγεία και την οικονομική ανάπτυξη, η εκτεταμένη έλλειψη και ρύπανσή του απειλούν σήμερα πολλές περιοχές. Η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) κατανοώντας τη σπουδαιότητα της προστασίας και διατήρησης του υδάτινου περιβάλλοντος προχώρησε από νωρίς στη θέσπιση σχετικού νομοθετικού πλαισίου, που έπειτα από πολλές αναθεωρήσεις του κατέληξε στην Οδηγία – πλαίσιο για του υδατικούς πόρους 2000/60/ Ε.Κ. Το άρθρο 9 της Οδηγίας - πλαίσιο αναγνωρίζει το νερό ως οικονομικό αγαθό και αναφέρεται στη έννοια της ανάκτησης του πλήρους κόστους του (χρηματοοικονομικό, περιβαλλοντικό και έλλειψης / πόρου). Επίσης, ορίζει ως μέσο για την ανάκτηση του κόστους αυτού τις μεθόδους τιμολόγησής του. Καθώς οι μέθοδοι αυτές δεν επιτυγχάνουν του ίδιους στόχους, η παρούσα εργασία καλείται να υπολογίσει την αποτελεσματικότητά τους. Η καινοτομία της έγκειται στο ότι οι μέθοδοι τιμολόγησης υπολογίζονται με βάση την ανάκτηση του πλήρους κόστους του νερού.

Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε το αρδευτικό δίκτυο του Τοπικού Οργανισμού Εγγείων Βελτιώσεων (Τ.Ο.Ε.Β.) Πηνειού Θεσσαλίας και ο χρονικός ορίζοντας της έρευνας εκτείνεται στα πλέον πρόσφατα στοιχεία (έτη 2009 – 2010). Η χρησιμοποιούμενη μεθοδολογία διακρίνεται σε τρία επιμέρους στάδια. Στο πρώτο γίνεται συνδυασμός των γεωργικών δραστηριοτήτων ανά τύπο εδάφους με τη βοήθεια των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων και των χαρτών φυτικής κάλυψης και εδάφους της περιοχής. Στο δεύτερο στάδιο επιδιώκεται η βιοφυσική προσομοίωση της φυτικής παραγωγής και ακολουθεί η διαδικασία της «μεταμοντελοποίησης» (metamodeling), ώστε να προσδιοριστούν οι συναρτήσεις παραγωγής. Στο τρίτο και τελευταίο επίπεδο, συνδυάζονται οι συναρτήσεις παραγωγής, με τα δευτερογενή δεδομένα, τα μέτρα της πολιτικής και το σενάριο εφαρμογής της Οδηγίας 2000/60/ Ε.Κ. προκειμένου να γίνει η εκτίμηση της αποτελεσματικότητας της πολιτικής. Προφανώς, το υπόδειγμα εμπεριέχει τους κατάλληλους περιορισμούς, που εγγράφουν τις χωρικές και χρονικές ιδιαιτερότητες της προσομοίωσης που επιχειρείται στην εν λόγω ερευνητική εργασία. Για παράδειγμα, υπάρχουν περιορισμοί αναφορικά με την έκταση της γεωργικής γης, τη διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων, τις ιδιαιτερότητες της ισχύουσας Κοινής

Αγροτικής Πολιτικής και τις περιβαλλοντικές απαιτήσεις μιας πολυλειτουργικής γεωργίας.

Τα αποτελέσματα της ακολουθούμενης μεθοδολογίας έδειξαν πως δεν είναι δυνατή η εξαγωγή ενιαίων συμπερασμάτων σχετικά με τις διαφορετικές μεθόδους τιμολόγησης του αρδευτικού νερού. Δηλαδή η εκάστοτε μέθοδος μπορεί να υπερτερεί σε ένα σημείο, π.χ. εξοικονόμηση του νερού, όχι όμως και σε όλα τα υπόλοιπα που εξετάζονται. Ακόμα, καθώς οι μέθοδοι τιμολόγησης ελέγχονται βάσει ακριβότερης και φθηνότερης εκδοχής, η μεταξύ τους σύγκριση δείχνει πως μια μέθοδος που υστερεί σε ένα σημείο στη πρώτη εκδοχή δεν υστερεί εξίσου και στη δεύτερη. Εντέλει διαπιστώνεται πως ανάλογα με το στόχο που τίθεται κάθε φορά, επιλέγεται η κατάλληλη μέθοδος χρέωσης του νερού.

Η παρούσα μελέτη κλείνει επισημαίνοντας πως τα ανωτέρω συμπεράσματα ίσως διαφοροποιούνταν εφόσον η ανάλυση γινόταν σε επίπεδο γεωργικών εκμεταλλεύσεων. Κάτι τέτοιο θα επέτρεπε όχι μόνο τον υπολογισμό περαιτέρω δεικτών ανά εξεταζόμενη μέθοδο τιμολόγησης, αλλά και την εκτίμηση επιπλέον μεθόδων, όπως οι κλιμακωτές χρεώσεις και η τιμολόγηση Ramsey.

**Λέξεις κλειδιά:** Οδηγία – πλαίσιο για το νερό 2000/60/EK, τιμολόγηση αρδευτικού νερού, ανάκτηση συνολικού κόστους, οικονομικό μοντέλο, βιοφυσική προσομοίωση, υδατικό ισοζύγιο, T.O.E.B. Πηνειού.

## Abstract

Water is a social good, which cannot be substituted and plays a crucial role in survival, health and economic development. So, the extended shortage and pollution of water threaten many areas. Understanding the significance of protection and conservation of the water environment, the European Union instituted early a relevant legislative framework. These regulations were reviewed again and again until 2000, when they were summed up in the Water Framework Directive (WFD) 2000/60/EU. Article 9 recognizes water as an economic good and refers to the principle of total cost (financial, environmental, scarcity / resource) recovery. As it is defined in the same Article, the tool for the total cost recovery is the pricing methods of water. As these methods do not achieve the same targets, this thesis measures their effectiveness. The innovation of this research is that the pricing methods of irrigation water are estimated according to the total cost recovery.

The study area is represented by an irrigation network which is managed by the Local Organization for Land Reclamation of Pinios in Thessaly - Central Greece and the time reference of the research is the years 2009 - 2010. The methodology which is used in the study area involves three different stages. The first step is the combination of the relevant land cover and soil type by the use of Geographical Informational Systems (G.I.S.) and the corresponding maps. The next step is the biophysical simulation of the growth for the major crops and the process of metamodeling in order to specify the production functions. At the last step, the production functions are combined with the secondary data, the policy measures and the different water pricing scenarios according to Directive 2000/60/EU and the effectiveness of every pricing method is estimated. The model also contains the appropriate limitations about land and time. For example, there are limitations about the total agricultural land, the availability of water resources, the current measures of Common Agricultural Policy and the environmental challenges of the agriculture.

According to the model's solution there aren't uniform results for the different water pricing methods. This consists in that a method has an advantage over another, i.e. in water saving, but not in every estimated index. Furthermore, as the methods are estimated for an expensive and a cheap scenario, the comparison among them shows that a method which shows disadvantages according to an index for the first scenario,

it isn't the same for the other one. It is concluded that the choice of the suitable method is proportionate to the placed target.

The above mentioned conclusions could be differentiated as the research takes place in the level of agricultural farms. It gives the opportunity to estimate more indexes per pricing method and more pricing methods, as Block – rating and Ramsey.

**Keywords:** Water Framework Directive 2000/60/EU, irrigation water pricing, full cost recovery, economic model, biophysical simulation, water balance, Pinios Local Organization of Land Reclamation.

## Ευχαριστίες

Οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον κ. Καμπά Αθ., γιατί ήταν εκείνος που μου άνοιξε το δρόμο για τη διατριβή αυτή. Επίσης, τον ευχαριστώ για την επίβλεψη και την ηθική υποστήριξη καθόλη τη διάρκεια αυτής της επίπονης πορείας. Χωρίς τη βοήθειά του σε επιστημονικό, ψυχολογικό και πρακτικό επίπεδο, η επίτευξη του στόχου θα ήταν αμφίβολη.

Ευχαριστώ θερμά τους κ. Ροζάκη Στ. και Δέρκα Ν., ως μέλη της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής, καθώς και τους Μπίθα Κ., Μακρόπουλο Χ., Καραβίτη Χ. και Λατινόπουλο Δ. που δέχτηκαν να είναι μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής και να αφιερώσουν χρόνο σε αυτή την εργασία.

Ευχαριστώ, επίσης, τον κ. Αραμπατζή Β., διευθυντή του Τοπικού Οργανισμού Εγγείων Βελτιώσεων Πηνείου για την πολύτιμη βοήθειά του και την παροχή των σχετικών στοιχείων της έρευνας.

Ευχαριστώ το Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών για την οικονομική στήριξή του κατά τα τρία πρώτα έτη πραγματοποίησης της παρούσας εργασίας μέσω χορήγησης σχετικής υποτροφίας.

Ευχαριστώ θερμά τους υπευθύνους του Προγράμματος LIFE – Hydrosense: «Καινοτόμες τεχνολογίες ακριβείας για την βελγτιτοποίηση της άρδευσης και της ολοκληρωμένης διαχείρισης των αγροσυστημάτων σε συνθήκες έλλειψης νερού», στο πλαίσιο του οποίου εκπονήθηκε η παρούσα εργασία. Τους ευχαριστώ τόσο για την οικονομική υποστήριξη, όσο και για την παροχή στοιχείων.

Ευχαριστώ τους συναδέλφους κ. Πετσάκο Α., κ. Βασιλόπουλο Α. και κα Στεφοπούλου Α. για τη συμβολή τους στην διερεύνηση ορισμένων σημείων της παρούσας εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου για την ανεξάντλητη υπομονή και την απεριόριστη συμπαράσταση όλη αυτή τη δύσκολη περίοδο.

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>14</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Η ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ .....</b>	<b>18</b>
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	18
2.2 ΑΝΑΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑΣ.....	18
2.2.1 Πρώτη περίοδος .....	19
2.2.2 Δεύτερη περίοδος.....	20
2.2.3 Τρίτη περίοδος.....	22
2.3 Η ΟΔΗΓΙΑ 2000/60/ΕΚ .....	23
2.3.1 Στόχοι της Οδηγίας .....	23
2.3.2 Οργάνωση της Οδηγίας .....	24
2.3.3 Μέτρα της Οδηγίας .....	25
2.3.4 Αρχές της Οδηγίας.....	26
2.3.5 Καινοτομίες της Οδηγίας .....	29
2.3.6 Κόστος – Χρονοδιάγραμμα εφαρμογής της Οδηγίας .....	30
2.4 ΕΝΑΡΜΟΝΙΣΗ ΜΕ ΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΔΙΚΑΙΟ .....	32
2.5 ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	33
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΤΟΥ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ.....</b>	<b>34</b>
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	34
3.2 ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΟΥ .....	35
3.3 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΟΥ .....	39
3.3.1 Μέθοδοι που αποκαλύπτουν προτίμηση ή βασίζονται στην αγορά.....	39
3.3.1.1 Η μέθοδος κόστους ταξιδιού (Travel Cost Method, TCM) ή μέθοδος κατασκευής μοντέλων σχετικά με τη ζήτηση για αναψυχή (Recreation Demand Models, RDM).....	40
3.3.1.2 Η μέθοδος της ωφελμιστικής τιμολόγησης (Hedonic Pricing Method, HPM) .....	41
3.3.1.3 Η μέθοδος της αμυντικής συμπεριφοράς (Defensive or Averting Behavior Method) .....	42
3.3.1.4 Η μέθοδος του κόστους υποβάθμισης ενός περιβαλλοντικού αγαθού (Damage Cost Method) .....	43
3.3.1.5 Η μέθοδος των χαμένων αποτελεσμάτων (Lost Output Approach) .....	44
3.3.2 Μέθοδοι που εκμαιεύουν τη διάθεση των ατόμων για πληρωμή ή αποζημίωση για υποθετικές αλλαγές της ποιότητας του περιβάλλοντος.....	45
3.3.2.1 Η μέθοδος αποτίμησης σε υποθετικές συνθήκες (Contingent Valuation Method, CVM) ..	45
3.3.2.2 Η μέθοδος της δήλωσης των προτιμήσεων μέσω επιλογών (Choice Modeling or Conjoint Analysis or Stated Preference) .....	46
3.3.2.2.1 Η μέθοδος της υποθετικής κατάταξης (Contingent Ranking, CR).....	48
3.3.2.2.2 Η μέθοδος του πειράματος επιλογής (Choice Experiment) .....	49
3.3.2.2.3 Η μέθοδος της υποθετικής βαθμολόγησης (Contingent Rating).....	50
3.3.2.2.4 Η μέθοδος των συνδυαστικών συγκρίσεων ή των βαθμολογημένων συγκρίσεων (Paired comparisons or graded pairs or rated pairs) .....	50
3.4 ΚΟΣΤΟΣ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΩΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΟΡΟΥ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΟΥ.....	51
3.4.1 Μέθοδος υπολογισμού με βάση το κόστος της καλύτερης δυνατής εναλλακτικής πηγής νερού .....	53
3.4.2 Μέθοδος υπολογισμού με βάση τη μέθοδο των χαμένων αποτελεσμάτων .....	53
3.5 ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	54
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ .....</b>	<b>55</b>
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	55
4.2 ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΝΕΡΟΥ.....	55
4.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ .....	57
4.3.1 Ογκομετρικές μέθοδοι τιμολόγησης του νερού .....	57



4.3.1.1	Τιμολόγηση με ενιαία τιμή .....	57
4.3.1.1.1	Τιμολόγηση με βάση το οριακό κόστος του νερού (marginal cost pricing).....	57
4.3.1.1.2	Τιμολόγηση με βάση το μέσο κόστος του νερού (average cost pricing).....	62
4.3.1.2	Τιμολόγηση με πολλαπλές τιμές.....	63
4.3.1.2.1	Τιμολόγηση με πολλαπλή χρέωση (multi – part rate system).....	63
4.3.1.2.2	Μη γραμμική ή μεταβλητή μοναδιαία τιμολόγηση (non-linear pricing / variable unit pricing).....	65
4.3.1.2.3	Τιμολόγηση με χρεώσεις ανά κλίμακα κατανάλωσης (block – rate pricing).....	66
4.3.1.2.4	Τιμολόγηση με βάση ανώτατες ποσότητες νερού (Quotas pricing).....	68
4.3.2	Μη ογκομετρικές μέθοδοι τιμολόγησης του νερού .....	69
4.3.2.1	Τιμολόγηση με βάση το παραγόμενο προϊόν (output pricing).....	70
4.3.2.2	Τιμολόγηση με βάση τους χρησιμοποιούμενους συντελεστές παραγωγής – εισροές (Input pricing).....	70
4.3.2.3	Τιμολόγηση με βάση την καλλιεργούμενη έκταση (Area – based pricing).....	70
4.3.2.4	Τιμολόγηση υπό συνθήκες ασύμμετρης πληροφόρησης.....	71
4.3.3	Μέθοδοι κατανομής του νερού βασιζόμενες στην αγορά .....	72
4.4	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ.....	74
4.5	ΕΠΙΛΟΓΟΣ .....	76
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΜΕΘΟΔΩΝ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗΣ .....</b>		<b>78</b>
5.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	78
5.2	Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗΣ .....	78
5.3	ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗΣ .....	80
5.3.1	Βιοοικονομικά μοντέλα και μοντέλα μαθηματικού προγραμματισμού .....	80
5.3.2	Πολυκριτηριακή Ανάλυση .....	87
5.3.3	Περιβάλλουσα ανάλυση δεδομένων.....	90
5.4	ΕΠΙΛΟΓΟΣ .....	95
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ.....</b>		<b>96</b>
6.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	96
6.2	ΜΟΝΤΕΛΑ / ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΡΕΥΝΑ .....	96
6.2.1	Βιοφυσικό μοντέλο .....	99
6.2.1.1	Γενικά .....	99
6.2.1.2	Το βιοφυσικό μοντέλο DNDC.....	101
6.2.1.3	Εισαγωγή δεδομένων .....	102
6.2.1.4	Αποτελέσματα .....	105
6.2.1.5	Μεταμοντέλο .....	105
6.2.1.6	Συναρτήσεις παραγωγής .....	106
6.2.1.7	Συναρτήσεις νιτρικών .....	107
6.2.1.8	Συναρτήσεις δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα .....	108
6.2.1.9	Συναρτήσεις έκλυσης αμμωνίας.....	108
6.2.2	Υδρολογικό μοντέλο / Υδατικό ισοζύγιο.....	109
6.2.2.1	Καθορισμός της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς (ή βάσης), $ET_o$ .....	116
6.2.2.2	Επιλογή του συντελεστή καλλιέργειας, $k_c$ .....	117
6.2.2.3	Υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, $ET_c$ .....	118
6.2.3	Υπολογισμός πλήρους κόστους αρδευτικού νερού.....	120
6.2.3.1	Υπολογισμός χρηματοοικονομικού κόστους αρδευτικού νερού.....	120
6.2.3.2	Υπολογισμός περιβαλλοντικού κόστους αρδευτικού νερού .....	120
6.2.3.3	Υπολογισμός κόστους έλλειψης αρδευτικού νερού.....	122
6.2.3.4	Ανάκτηση κόστους.....	123
6.2.4	Οικονομικό μοντέλο.....	124
6.2.4.1	Αντικειμενική συνάρτηση .....	124
6.2.4.2	Περιορισμοί .....	126
6.2.4.3	Εναλλαγή καλλιεργειών.....	127
6.2.4.4	Σενάρια εφαρμογής της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ .....	127
6.3	ΕΠΙΛΟΓΟΣ .....	129
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΔΕΔΟΜΕΝΑ .....</b>		<b>130</b>

7.1	ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ .....	130
7.2	ΒΙΟΦΥΣΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ .....	135
7.2.1	Δεδομένα .....	135
7.2.2	Αποτελέσματα .....	138
7.2.3	Συναρτήσεις παραγωγής .....	138
7.2.4	Συναρτήσεις νιτρικών ( $NO_3$ ) .....	140
7.2.5	Συναρτήσεις δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα ( $CO_2$ ).....	142
7.2.6	Συναρτήσεις έκλυσης αμμωνίας ( $NH_3$ ).....	143
7.3	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ .....	145
7.3.1	Αντικειμενική συνάρτηση .....	145
7.3.2	Περιορισμοί .....	148
7.3.3	Εναλλαγή καλλιεργειών.....	149
7.3.4	Αποτελέσματα επίλυσης οικονομικού μοντέλου για το βασικό σενاريو.....	150
7.3.5	Υπολογισμός περιβαλλοντικού κόστους του αρδευτικού νερού .....	153
7.3.6	Προσδιορισμός υδατικού ισοζυγίου Τ.Ο.Ε.Β. Πηνειού και υπολογισμός κόστους έλλειψης του αρδευτικού νερού .....	156
7.3.7	Σενάρια εφαρμογής της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ .....	160
7.4	ΕΠΙΛΟΓΟΣ .....	161
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....</b>		<b>162</b>
8.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	162
8.2	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑ ΜΕΘΟΔΟ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΟΥ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	162
8.2.1	Κατ' έκταση χρέωση .....	162
8.2.2	Ογκομετρική τιμολόγηση.....	164
8.2.3	Διπλή χρέωση .....	166
8.2.3.1	Με τη χρήση του οριακού κόστους .....	166
8.2.3.2	Με τη χρήση του μέσου κόστους.....	168
8.2.4	Βασικές διαπιστώσεις.....	170
8.2.4.1	Χρήση της γης .....	173
8.2.4.2	Συνολικό ακαθάριστο κέρδος .....	173
8.2.4.3	Συνολικές απαιτήσεις σε νερό .....	174
8.2.4.4	Συνολικές απαιτήσεις σε λίπασμα .....	175
8.2.4.5	Συνεισφορά των αρδευόμενων καλλιεργειών σε νιτρικά .....	176
8.2.4.6	Υδατικό ισοζύγιο .....	177
8.2.4.7	Δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα .....	179
8.2.4.8	Έκλυση αμμωνίας .....	179
8.2.4.9	Ανάκτηση κόστους.....	179
8.2.4.10	Δείκτες ελαστικότητας εξοικονόμησης νερού και ανάκτησης κόστους .....	180
8.2.5	Ανάλυση ευαισθησίας.....	182
8.2.6	Σύνοψη αποτελεσμάτων .....	187
8.3	ΕΠΙΛΟΓΟΣ .....	189
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>		<b>190</b>
9.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	190
9.2	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ .....	190
9.3	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ .....	192
9.4	ΕΠΙΛΟΓΟΣ .....	193
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....</b>		<b>194</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....</b>		<b>211</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1:ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΙ ΣΤΑΔΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΟΔΗΓΙΑΣ 2000/60/ΕΚ .....	29
ΠΙΝΑΚΑΣ 2 ΕΠΙΔΟΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΝΑ ΕΠΙΔΙΩΚΟΜΕΝΟ ΣΤΟΧΟ .....	75
ΠΙΝΑΚΑΣ 3 ΤΡΟΠΟΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΜΕΘΟΔΩΝ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΥΤΩΝ ΓΙΑ ΑΥΞΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΤΙΜΗΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ .....	93
ΠΙΝΑΚΑΣ 4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑ ΕΙΔΟΣ ΒΙΟΦΥΣΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ .....	100
ΠΙΝΑΚΑΣ 5 ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΔΑΦΟΥΣ Τ.Ο.Ε.Β. ΠΗΝΕΙΟΥ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΑΣΗ.....	134
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 ΈΚΤΑΣΗ ΚΥΡΙΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΕΝΤΟΣ ΤΩΝ ΟΡΙΩΝ ΤΟΥ Τ.Ο.Ε.Β. ΠΗΝΕΙΟΥ .....	135
ΠΙΝΑΚΑΣ 7 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΝΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΟ ΕΙΔΟΣ ΚΑΙ ΕΔΑΦΙΚΟ ΤΥΠΟ. ....	140
ΠΙΝΑΚΑΣ 8 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΟ ΕΙΔΟΣ ΚΑΙ ΕΔΑΦΙΚΟ ΤΥΠΟ. ....	142
ΠΙΝΑΚΑΣ 9 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ ΔΕΣΜΕΥΣΗΣ CO <sub>2</sub> ΑΝΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΟ ΕΙΔΟΣ ΚΑΙ ΕΔΑΦΙΚΟ ΤΥΠΟ. ....	143
ΠΙΝΑΚΑΣ 10 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ ΕΚΛΥΣΗΣ NH <sub>3</sub> ΑΝΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΟ ΕΙΔΟΣ ΚΑΙ ΕΔΑΦΙΚΟ ΤΥΠΟ. ....	145
ΠΙΝΑΚΑΣ 11 ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ ΑΝΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΟ ΕΙΔΟΣ ΣΤΟΝ Τ.Ο.Ε.Β. ΠΗΝΕΙΟΥ.....	147
ΠΙΝΑΚΑΣ 12 ΤΙΜΕΣ ΑΝΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟ ΠΡΟΪΟΝ.....	148
ΠΙΝΑΚΑΣ 13 ΈΚΤΑΣΗ ΑΓΡΟΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΩΝ ΖΩΝΩΝ ΑΝΑ ΕΔΑΦΙΚΟ ΤΥΠΟ ΣΤΟΝ Τ.Ο.Ε.Β. ΠΗΝΕΙΟΥ .....	149
ΠΙΝΑΚΑΣ 14 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΑΡΑΤΗΡΟΥΜΕΝΗΣ ΚΑΙ ΆΡΙΣΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΗΣ ΕΚΤΑΣΗΣ ΣΤΟ ΒΑΣΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ .....	152
ΠΙΝΑΚΑΣ 15 ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΒΑΣΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ .....	153
ΠΙΝΑΚΑΣ 16 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΑΣΙΚΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ .....	153
ΠΙΝΑΚΑΣ 17 ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ ΑΝΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΟ ΕΙΔΟΣ ΣΤΟΝ Τ.Ο.Ε.Β. ΠΗΝΕΙΟΥ.....	159
ΠΙΝΑΚΑΣ 18 ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ Τ.Ο.Ε.Β. ΠΗΝΕΙΟΥ .....	159
ΠΙΝΑΚΑΣ 19 ΜΟΝΑΔΙΑΙΟ ΚΑΙ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΛΕΙΨΗΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΑΝΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΛΥΣΗ ....	160
ΠΙΝΑΚΑΣ 20 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΔΑΦΩΝ ΑΝΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΟ ΕΙΔΟΣ ΚΑΙ ΕΔΑΦΙΚΟ ΤΥΠΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤ' ΕΚΤΑΣΗ ΧΡΕΩΣΗ .....	164
ΠΙΝΑΚΑΣ 21 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΠΟ ΤΗΝ ΚΑΤ' ΕΚΤΑΣΗ ΧΡΕΩΣΗ .....	165
ΠΙΝΑΚΑΣ 22 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΔΑΦΩΝ ΑΝΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΟ ΕΙΔΟΣ ΚΑΙ ΕΔΑΦΙΚΟ ΤΥΠΟ ΥΠΟ ΤΗΝ ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ.....	165
ΠΙΝΑΚΑΣ 23 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	165
ΠΙΝΑΚΑΣ 24 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΔΑΦΩΝ ΑΝΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΟ ΕΙΔΟΣ ΚΑΙ ΕΔΑΦΙΚΟ ΤΥΠΟ ΥΠΟ ΤΗ ΔΙΠΛΗ ΧΡΕΩΣΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΟΡΙΑΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ.....	167
ΠΙΝΑΚΑΣ 25 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΔΙΠΛΗΣ ΧΡΕΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΟΡΙΑΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ .....	168
ΠΙΝΑΚΑΣ 26 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΔΑΦΩΝ ΑΝΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΟ ΕΙΔΟΣ ΚΑΙ ΕΔΑΦΙΚΟ ΤΥΠΟ ΥΠΟ ΤΗ ΔΙΠΛΗ ΧΡΕΩΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ.....	169
ΠΙΝΑΚΑΣ 27 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΔΙΠΛΗΣ ΧΡΕΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΣΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ .....	170
ΠΙΝΑΚΑΣ 28 ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ ΥΠΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΟΥ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	171
ΠΙΝΑΚΑΣ 29 ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΟΥ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	172
ΠΙΝΑΚΑΣ 30 ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΑΝΑ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗΣ .....	181
ΠΙΝΑΚΑΣ 31 ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΑΝΑ ΜΕΘΟΔΟ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	182
ΠΙΝΑΚΑΣ 32 ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΑΥΞΗΣΗ ΜΗΔΙΚΗΣ ΚΑΤΑ 10% .....	184
ΠΙΝΑΚΑΣ 33 ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΑΥΞΗΣΗ ΜΗΔΙΚΗΣ ΚΑΤΑ 15% .....	185
ΠΙΝΑΚΑΣ 34 ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΑΝΑ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΜΗΔΙΚΗΣ ΚΑΤΑ 10% ΚΑΙ 15% .....	186
ΠΙΝΑΚΑΣ 35 ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΣΤΟΧΩΝ.....	192

ΠΙΝΑΚΑΣ 36	ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΚΟΙΝΟΤΙΚΗΣ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΥΔΑΤΙΚΟΥΣ ΠΟΡΟΥΣ .....	213
ΠΙΝΑΚΑΣ 37	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ Τ.Ο.Ε.Β. ΠΗΝΕΙΟΥ .....	215
ΠΙΝΑΚΑΣ 38	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΤΛΙΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΥ ΝΕΡΟΥ Τ.Ο.Ε.Β. ΠΗΝΕΙΟΥ.....	216
ΠΙΝΑΚΑΣ 39	ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	219
ΠΙΝΑΚΑΣ 40	ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ .....	220
ΠΙΝΑΚΑΣ 41	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΗΔΙΚΗΣ ΣΕ ΑΡΓΙΛΩΔΕΣ ΕΔΑΦΟΣ.....	224
ΠΙΝΑΚΑΣ 42	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΗΔΙΚΗΣ ΣΕ ΑΡΓΙΟΠΗΛΩΔΕΣ ΕΔΑΦΟΣ.....	225
ΠΙΝΑΚΑΣ 43	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΗΔΙΚΗΣ ΣΕ ΙΛΥΟΠΗΛΩΔΕΣ ΕΔΑΦΟΣ .....	225
ΠΙΝΑΚΑΣ 44	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΒΑΜΒΑΚΟΣ ΣΕ ΑΡΓΙΛΩΔΕΣ ΕΔΑΦΟΣ.....	227
ΠΙΝΑΚΑΣ 45	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΒΑΜΒΑΚΟΣ ΣΕ ΑΡΓΙΟΠΗΛΩΔΕΣ ΕΔΑΦΟΣ .....	228
ΠΙΝΑΚΑΣ 46	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΒΑΜΒΑΚΟΣ ΣΕ ΙΛΥΟΠΗΛΩΔΕΣ ΕΔΑΦΟΣ .....	229
ΠΙΝΑΚΑΣ 47	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΥ ΣΕ ΑΡΓΙΛΩΔΕΣ ΕΔΑΦΟΣ .....	230
ΠΙΝΑΚΑΣ 48	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΥ ΣΕ ΑΡΓΙΟΠΗΛΩΔΕΣ ΕΔΑΦΟΣ .....	231
ΠΙΝΑΚΑΣ 49	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΥ ΣΕ ΙΛΥΟΠΗΛΩΔΕΣ ΕΔΑΦΟΣ .....	232
ΠΙΝΑΚΑΣ 50	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΡΙΘΗΣ ΣΕ ΑΡΓΙΛΩΔΕΣ ΕΔΑΦΟΣ .....	233
ΠΙΝΑΚΑΣ 51	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΡΙΘΗΣ ΣΕ ΑΡΓΙΟΠΗΛΩΔΕΣ ΕΔΑΦΟΣ.....	234
ΠΙΝΑΚΑΣ 52	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΡΙΘΗΣ ΣΕ ΙΛΥΟΠΗΛΩΔΕΣ ΕΔΑΦΟΣ .....	235
ΠΙΝΑΚΑΣ 53	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΣΙΤΟΥ ΣΕ ΑΡΓΙΛΩΔΕΣ ΕΔΑΦΟΣ .....	236
ΠΙΝΑΚΑΣ 54	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΣΙΤΟΥ ΣΕ ΑΡΓΙΟΠΗΛΩΔΕΣ ΕΔΑΦΟΣ .....	237
ΠΙΝΑΚΑΣ 55	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΣΙΤΟΥ ΣΕ ΙΛΥΟΠΗΛΩΔΕΣ ΕΔΑΦΟΣ.....	238
ΠΙΝΑΚΑΣ 56	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ Ρ – ΤΕΣΤ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ .....	239
ΠΙΝΑΚΑΣ 57	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ Ρ – ΤΕΣΤ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΝΙΤΡΙΚΩΝ (NO <sub>3</sub> ) .....	239
ΠΙΝΑΚΑΣ 58	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ Ρ – ΤΕΣΤ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΔΕΣΜΕΥΣΗΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO <sub>2</sub> ) .....	240
ΠΙΝΑΚΑΣ 59	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ Ρ – ΤΕΣΤ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΕΚΛΥΣΗΣ ΑΜΜΩΝΙΑΣ (NH <sub>3</sub> ) .....	240
ΠΙΝΑΚΑΣ 60	ΦΥΤΙΚΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ, ΣΤΑΔΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΔΟΙ ΓΙΑ ΤΑ ΚΥΡΙΟΤΕΡΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΑ ΕΙΔΗ ΣΤΟΝ Τ.Ο.Ε.Β. ΠΗΝΕΙΟΥ .....	241
ΠΙΝΑΚΑΣ 61	ΑΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ 2009 Τ.Ο.Ε.Β. ΠΗΝΕΙΟΥ .....	241
ΠΙΝΑΚΑΣ 62	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΚΑΘΑΡΙΣΤΟΥ ΚΕΡΔΟΥΣ, ΕΦΑΡΜΟΖΟΜΕΝΩΝ ΠΟΣΟΤΗΤΩΝ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΛΠΑΣΜΑΤΟΣ ΑΝΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΕΔΑΦΙΚΟ ΤΥΠΟ ΤΟΥ ΒΑΣΙΚΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ.....	242
ΠΙΝΑΚΑΣ 63	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΝΙΤΡΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΚΑΙ ΒΑΘΙΑΣ ΔΙΗΘΗΣΗΣ ΑΝΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΕΔΑΦΙΚΟ ΤΥΠΟ ΤΟΥ ΒΑΣΙΚΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ .....	244
ΠΙΝΑΚΑΣ 64	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΕΣΜΕΥΣΗΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΑΝΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΕΔΑΦΙΚΟ ΤΥΠΟ ΤΟΥ ΒΑΣΙΚΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ .....	245
ΠΙΝΑΚΑΣ 65	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΚΛΥΣΗΣ ΑΜΜΩΝΙΑΣ ΑΝΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΕΔΑΦΙΚΟ ΤΥΠΟ ΤΟΥ ΒΑΣΙΚΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ .....	246
ΠΙΝΑΚΑΣ 66	ΣΤΟΙΧΕΙΑ Τ.Ο.Ε.Β. ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΟΥ ΟΡΙΑΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΤΟΥ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	247
ΠΙΝΑΚΑΣ 67	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΟΥ ΟΡΙΑΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΤΟΥ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	248

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1 ΕΙΔΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΝΕΡΟΥ .....	34
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2 ΚΟΣΤΟΣ ΝΕΡΟΥ ΩΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΟΡΟΥ .....	51
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3 ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΟΡΙΑΚΟ ΚΟΣΤΟΣ .....	60
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4 ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ.....	62
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ ΜΟΝΑΔΙΑΙΑΣ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗΣ .....	65
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΑΚΟΛΟΥΘΟΥΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΡΕΥΝΑ .....	98
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ .....	111

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1 Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΒΙΦΥΣΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ DNDC.....	102
ΕΙΚΟΝΑ 2 ΣΤΑΔΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΤΥΠΩΝ ΦΥΤΩΝ .....	118
ΕΙΚΟΝΑ 3 ΟΡΙΑ ΚΑΙ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ Τ.Ο.Ε.Β. ΠΗΝΕΙΟΥ .....	133
ΕΙΚΟΝΑ 4 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΕΔΑΦΩΝ ΕΝΤΟΣ ΤΩΝ ΟΡΙΩΝ ΤΟΥ Τ.Ο.Ε.Β. ΠΗΝΕΙΟΥ .....	217
ΕΙΚΟΝΑ 5 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΩΝ ΕΙΔΩΝ ΑΝΑ ΕΔΑΦΙΚΟ ΤΥΠΟ .....	218
ΕΙΚΟΝΑ 6 ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ ΧΑΡΤΩΝ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ .....	219
ΕΙΚΟΝΑ 7 ΑΓΡΟΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΣΤΑ ΟΡΙΑ ΤΟΥ Τ.Ο.Ε.Β. ΠΗΝΕΙΟΥ .....	242

## Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Η αξία του νερού για τη ζωή είναι αναμφισβήτητη, καθώς τόσο η επιβίωση του ανθρώπου, όσο και η συνέχεια του περιβάλλοντος εξαρτώνται από την εξασφάλιση ικανοποιητικής ποσότητας και καλής ποιότητας νερού. Για το λόγο αυτό θεωρείται αγαθό, στο οποίο όλοι πρέπει να έχουν πρόσβαση. Ταυτόχρονα όμως υπάρχει η τάση να αντιμετωπίζεται και ως δεδομένο, γεγονός που οδήγησε πολλές περιοχές του πλανήτη να αντιμετωπίζουν σοβαρές ελλείψεις νερού και άλλες έντονα προβλήματα ρύπανσής του. Η εξέλιξη αυτή έφερε στο προσκήνιο την ανάγκη για αναγνώριση του νερού ως οικονομικό αγαθό προκειμένου να επιτευχθεί η αποτελεσματική χρήση του, να εξασφαλιστεί η διατήρηση των αποθεμάτων του και να προστατευθούν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του.

Με γνώμονα τις σκέψεις αυτές η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) υιοθέτησε από πολύ νωρίς – αρχές δεκαετίας του '70 - το κατάλληλο νομοθετικό πλαίσιο για τους υδατικούς πόρους. Το σύνολο των ρυθμίσεων αυτών αναθεωρήθηκε και αναδιαμορφώθηκε ξανά και ξανά, ώσπου το 2000 συνοψίστηκε στην Οδηγία – 2000/60/ΕΚ για τους υδατικούς πόρους. Αυτή όρισε το πλαίσιο κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων και το καινοτόμο στοιχείο της αποτέλεσε ο συνδυασμός ποιοτικών, ποσοτικών και οικολογικών στόχων για την προστασία των υδατικών οικοσυστημάτων και η επίτευξη της «καλής κατάστασης» όλων των υδατικών σωμάτων. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως για πρώτη φορά στην πολιτική της Ε.Ε. για το περιβάλλον, ένα νομικό κείμενο προτείνει οικονομικές αρχές και οικονομικά εργαλεία ως βασικά μέτρα για την επίτευξη συγκεκριμένων περιβαλλοντικών στόχων. Με τον τρόπο αυτό η Οδηγία δημιουργεί μια μοναδική ευκαιρία, και ταυτόχρονα πρόκληση, για το συνδυασμό της εμπειρικής έρευνας με την ανάπτυξη πολιτικών διαχείρισης και προστασίας των υδατικών πόρων. Εκτενής αναφορά στο σύνολο του νομοθετικού πλαισίου για τους υδατικούς πόρους επιχειρείται στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο της παρούσας.

Καθώς το Άρθρο 9 της Οδηγίας – πλαίσιο αναγνωρίζει το νερό ως οικονομικό αγαθό και αναφέρεται στην ανάκτηση του πλήρους κόστους του, το 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο προσεγγίζει την έννοια αυτή. Συγκεκριμένα αναλύεται το τριπλό περιεχόμενο του

κόστους αυτού: χρηματοοικονομικό, περιβαλλοντικό και κόστος πόρου ή έλλειψης και οι πιθανοί τρόποι υπολογισμού του.

Ωστόσο, η Οδηγία θέτει ως μέσο για την ανάκτηση του πλήρους κόστους του νερού την τιμολόγησή του. Έτσι, στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο προσεγγίζονται οι κυριότερες μέθοδοι τιμολόγησης του αρδευτικού νερού και επιχειρείται σύγκρισή τους με βάση τους επιδιωκόμενους στόχους και τα αποτελέσματα που μπορούν να επιτύχουν.

Όπως το 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο κατέληξε, φάνηκε πως η επιλογή μιας ορισμένης μεθόδου προκειμένου να επιτευχθεί κάποιος προκαθορισμένος στόχος είναι εξαιρετικά δύσκολη και γίνεται ακόμη δυσκολότερη όταν υπάρχουν πολλές και συχνά αντικρουόμενες μεταξύ τους επιδιώξεις. Το ερώτημα που προκύπτει, λοιπόν, είναι ποια μέθοδος τιμολόγησης θεωρείται καταλληλότερη και ποια τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών τρόπων τιμολόγησης του αρδευτικού νερού. Το θέμα αυτό προσεγγίζεται από το 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο της παρούσας, που αναφέρεται στην αποτελεσματικότητα των μεθόδων τιμολόγησης του νερού. Στο ίδιο σημείο αναλύονται και οι πιθανοί τρόποι εκτίμησής της, που στηρίζονται είτε στην ανάπτυξη βιοοικονομικών μοντέλων και μοντέλων μαθηματικού προγραμματισμού, είτε στην πολυκριτηριακή ανάλυση και την περιβάλλουσα ανάλυση δεδομένων.

Λαμβάνοντας υπόψη τα ανωτέρω, η παρούσα διδακτορική διατριβή, επιχειρεί τη σύγκριση μεταξύ των οικονομικών εργαλείων – και συγκεκριμένα των μεθόδων τιμολόγησης του αρδευτικού νερού- ως προς την αποτελεσματικότητά τους. Η καινοτομία της εργασίας αυτής έγκειται στο ότι η σύγκριση γίνεται μεταξύ όλων των πιθανά εφαρμοζόμενων στην περιοχή μελέτης μεθόδων τιμολόγησης του αρδευτικού νερού, οι οποίες προσδιορίζονται με βάση την ανάκτηση του πλήρους κόστους του νερού, όπως αυτό υπολογίζεται στην παρούσα εργασία. Πιο αναλυτικά, η σύγκριση διενεργείται με γνώμονα στην αρχή της ανάκτησης του πλήρους κόστους του νερού, που παρά το γεγονός ότι έχει εξεταστεί και από άλλους ερευνητές (Loehman 2008; Ward and Pulido-Velazquez 2009; Molinos-Senante, Hernandez-Sancho et al. 2012), εντούτοις δεν υπάρχει καποια εργασία στην οποία να υπολογίζεται το πλήρες κόστος του νερού (χρηματοοικονομικό, περιβαλλοντικό και πόρου) για την ίδια χρονική περίοδο. Μόνη εξαίρεση αποτελεί η εργασία των (Brown, Martinez et al. 2010), που

υπολογίζει το κόστος πόρου και περιβαλλοντικό βάσει της έννοιας «emergy»<sup>1</sup>. Ωστόσο, η ανάλυση στην παρούσα εργασία είναι κυρίως οικονομική.

Ουσιαστικά, το κύριο ερευνητικό ενδιαφέρον παρουσιάζεται στη μελέτη της σχέσης μεταξύ της τιμής του νερού άρδευσης και των αποφάσεων σχετικά με τις χρήσεις της γεωργικής γης. Έχοντας κατά νου την παρατήρηση αυτή, γίνεται προσπάθεια ανάλυσης των αλλαγών στις χρήσεις της γης ανάλογα με την κοστολόγηση του νερού άρδευσης όπως αυτή λαμβάνει χώρα υπό την εφαρμογή της Οδηγίας 2000/60/Ε.Ε. Επειδή η διαδικασία αυτή είναι πολυεπίπεδη και πολυπαραγοντική λαμβάνοντας υπόψη οικονομικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικά χαρακτηριστικά και πώς αυτά επηρεάζονται από την εφαρμογή διαφορετικών πολιτικών άρδευσης, γίνεται χρήση ενός υποδείγματος προσέγγισης της συμπεριφοράς των γεωργών και πιο συγκεκριμένα των συναρτήσεων παραγωγής τους, προκειμένου να εκτιμηθεί η αποτελεσματικότητα της εφαρμοζόμενης πολιτικής.

Λαμβάνοντας υπόψη λοιπόν τη σχετική βιβλιογραφία, το 6<sup>ο</sup> Κεφάλαιο αναφέρεται στην επιλογή της κατάλληλης μεθοδολογίας από την παρούσα εργασία. Συγκεκριμένα, η σύγκριση των μεθόδων τιμολόγησης του αρδευτικού νερού βάσει οικονομικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων επιχειρείται από την ανάπτυξη τριών διαφορετικών μοντέλων: ενός υδρολογικού, ενός βιοφυσικού και ενός οικονομικού. Τα μοντέλα αυτά συνδέονται μεταξύ τους και καταλήγουν στη μετρηση της αποτελεσματικότητας της εφαρμοζόμενης πολιτικής τιμολόγησης.

Το 7<sup>ο</sup> Κεφάλαιο συγκεντρώνει τα εμπειρικά δεδομένα που απαιτούνται για την εφαρμογή της ανωτέρω περιγραφόμενης μεθοδολογίας. Την περιοχή – μελέτης αποτελεί το συλλογικό αρδευτικό δίκτυο του Τοπικού Οργανισμού Εγγείων Βελτιώσεων (Τ.Ο.Ε.Β.) Πηνειού Θεσσαλίας. Η επιλογή αυτή βασίστηκε αφενός στο ότι η περιοχή αυτή έχει ανεπαρκείς υδατικούς πόρους που δεν καλύπτουν τις απαιτήσεις σε αρδευτικό νερό των υφιστάμενων καλλιεργειών και γι' αυτό απαιτείται η άσκηση ειδικής διαχειριστικής πολιτικής, και αφετέρου στη διαθεσιμότητα των στοιχείων στην εν λόγω περιοχή. Ο χρονικός ορίζοντας της έρευνας εκτείνεται στα πλέον πρόσφατα στοιχεία που είναι αυτά των ετών 2009 - 2010.

Το σύνολο των αποτελεσμάτων της παρούσας έρευνας συγκεντρώνεται στο 8<sup>ο</sup> Κεφάλαιο. Αναλυτικότερα, αυτό περιλαμβάνει τις λύσεις του οικονομικού μοντέλου υπό τις διαφορετικές μεθόδους τιμολόγησης του νερού. Από τα στοιχεία αυτά

---

<sup>1</sup> Υπό τον όρο αυτό μετράται η ενέργεια, ο χρόνος και τα υλικά που επενδύονται σε ένα αγαθό, όσο μεγαλύτερη είναι η αξία του.



επιχειρείται η εξαγωγή σχετικών συμπερασμάτων και η καταγραφή των επιπτώσεών τους σε οικονομικό και περιβαλλοντικό επίπεδο.

Η παρούσα κλείνει με το 9<sup>ο</sup> Κεφάλαιο, το οποίο συνοψίζει τα αποτελέσματα της έρευνας και αναφέρει επιπλέον θέματα που καλούνται να απαντηθούν σε μελλοντικές εργασίες.

## Κεφάλαιο 2. Η νομοθεσία των υδατικών πόρων

### 2.1 Εισαγωγή

Με δεδομένη την αξία του νερού, τόσο για επιβίωση όσο και για κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει, από πολύ νωρίς, προχωρήσει στη νομοθετική ρύθμιση των αναγκαίων ενεργειών και μέτρων που στοχεύουν στην ορθολογική διαχείριση και χρήση του. Οι σχετικές Οδηγίες θεσπίστηκαν ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του '70 αποτελώντας, μάλιστα, «τις πρώτες ρυθμιστικές παρεμβάσεις στο πεδίο του ευρωπαϊκού δικαίου περιβάλλοντος» (Καραγεώργου 2003).

Σύμφωνα με τους Kallis & Butler (2001), το νομικό πλαίσιο που αφορά στους υδατικούς πόρους είναι το πλέον περιεκτικό στο σύνολο της Ευρωπαϊκής περιβαλλοντικής πολιτικής. Η βασική διαφορά του με τη νομοθεσία για άλλους φυσικούς πόρους (ατμόσφαιρα, έδαφος), αποτελεί το γεγονός ότι «αφενός καλείται να αντιμετωπίσει τα προβλήματα της ρύπανσης και της υπεράντλησης των υδάτων και αφετέρου οι πολλαπλές χρήσεις του νερού (ύδρευση, άρδευση, ναυσιπλοΐα, υδροηλεκτρική ενέργεια, ψάρεμα) καθιστούν την ενιαία και συνεκτική διαχείρισή του δύσκολη» (Φαρμάκη 2007).

### 2.2 Ανακόπηση της νομοθεσίας

Η εξέλιξη της Ευρωπαϊκής νομοθεσίας για τους υδατικούς πόρους δείχνει τη στροφή από το στόχο της προστασίας της δημόσιας υγείας στη διατήρηση του περιβάλλοντος και από την αναζήτηση λύσεων αφού προκύψουν περιβαλλοντικά προβλήματα σε προληπτικές λύσεις ολοκληρωμένης διαχείρισης. Οι σχετικές Οδηγίες (βλ. Πίνακας 36) μπορούν να διαχωριστούν με βάση «τόσο χρονολογικά κριτήρια, όσο και το περιεχόμενό τους» (Φαρμάκη 2007), σε τρία «κύματα» (Kaika 2003) ή «τύπους» (Boymanns 2002) ή «φάσεις» (Φαρμάκη 2007) ή «περιόδους» (Kallis and Butler 2001).

### 2.2.1 Πρώτη περίοδος

Οι νομοθετικές ρυθμίσεις του πρώτου κύκλου βασίστηκαν «στις κατευθυντήριες γραμμές του Πρώτου Προγράμματος Δράσης (1973 – 1976) για το περιβάλλον» (Φαρμάκη 2007), βάσει του οποίου το νερό αποτελεί προτεραιότητα της περιβαλλοντικής πολιτικής. Η περίοδος αυτή χρονικά ξεκινά το 1973 (Kallis and Nijkamp 2000; Φαρμάκη 2007) ή το 1975 (Kaika 2003; White and Howe 2003 ) και φτάνει έως το 1980 (Kallis and Nijkamp 2000; Φαρμάκη 2007) ή το 1986 (Kallis and Butler 2001), περιλαμβάνοντας έτσι τα τρία πρώτα περιβαλλοντικά προγράμματα.

Κατά τον Somsen (1990), η Ευρωπαϊκή πολιτική των υδάτων βασίστηκε σε δύο πυλώνες, οι οποίοι έθεσαν τις κατευθυντήριες γραμμές. Αφενός, το ενδιαφέρον στράφηκε στη διασφάλιση μιας ελάχιστα αποδεκτής ποιότητας για διάφορες χρήσεις και τύπους υδάτων μέσω των αντίστοιχων περιβαλλοντικών προτύπων (environmental quality standards). Και αφετέρου, δόθηκε σημασία στην αποφυγή ή στον περιορισμό των εκπομπών συγκεκριμένων προϊόντων και ουσιών στα ύδατα μέσω της θέσπισης ανώτατων ορίων εκπομπής ουσιών (emission limit values). Η βασική διαφορά της περιβαλλοντικής και ρυθμιστικής προσέγγισης έγκειται στο ότι η μεν πρώτη αφορά στην ποιότητα των υδατικών σωμάτων, η δε δεύτερη σχετίζεται με την ποιότητα των εκπομπών.

Ο ποιοτικός στόχος τέθηκε προκειμένου να διασφαλιστεί η δημόσια υγεία στα όρια της Ευρωπαϊκής Κοινότητας (Ε.Κ.) και μέσο επίτευξής του αποτέλεσαν οι Οδηγίες σχετικά με τις διάφορες χρήσεις του νερού. Τα πρώτα νομοθετήματα της κατηγορίας αυτής ήρθαν μόλις το 1975 και 1976 με τις Οδηγίες 75/440/ΕΟΚ και 76/160/ΕΟΚ. Η μεν Οδηγία 75/440/ΕΟΚ, αφορούσε την ποιότητα των επιφανειακών υδάτων που χρησιμοποιούνταν ως πόσιμες πηγές. Μετεξέλιξη της Οδηγίας αυτής υπήρξε η 80/778/ΕΟΚ για το πόσιμο νερό με διευρυμένους ποιοτικούς στόχους. Η δε 76/160/ΕΟΚ αναφερόταν στα ύδατα κολύμβησης, θέτοντας αυστηρά ποιοτικά κριτήρια και ορίζοντας μεθόδους μέτρησης της ποιότητάς τους. Τέλος, στην κατηγορία αυτή συμπεριλαμβάνονται και οι Οδηγίες 78/659/ΕΟΚ και 79/923/ΕΟΚ, σχετικά με την ποιότητα των υδάτων για την ζωή των ιχθύων και των οστρακοειδών.

Εκτός από τον κοινό στόχο των παραπάνω Οδηγιών, εξίσου κοινή υπήρξε και η δομή τους. Χαρακτηριστικό τους ήταν πως βασίζονταν σε ειδικές παραμέτρους (φυσικές, χημικές, μικροβιολογικές) για τις οποίες είχαν οριστεί ανώτατα αποδεκτά

όρια ανά παράμετρο και χρήση ύδατος. Με τα εργαλεία αυτά τα κράτη – μέλη ήταν υπεύθυνα για το σχεδιασμό και την εφαρμογή ειδικών μέτρων για την προστασία της ποιότητας των υδάτων.

Ακολούθησε η δεύτερη κατηγορία νομοθετικών ρυθμίσεων, που περιελάμβανε τις Οδηγίες για τη ρύπανση των υδάτων. Πρώτο νομοθετικό κείμενο αποτέλεσε η Οδηγία 76/464/ΕΟΚ και αφορούσε στην εξάλειψη ή μείωση της ρύπανσης των υδάτων από ορισμένες επικίνδυνες ουσίες, όπως αυτές ορίζονται στις Λίστες I και II. Στο πλαίσιο εφαρμογής της Οδηγίας αυτής, υιοθετήθηκαν μερικές «θυγατρικές», που αφορούσαν στη θέσπιση ορίων για ορισμένες ουσίες (π.χ. η 82/176/ΕΟΚ, η 83/513/ΕΟΚ, η 84/156/ΕΟΚ, η 84/491/ΕΟΚ, η 86/280/ΕΟΚ, η 88/347/ΕΟΚ και η 90/415/ΕΟΚ)<sup>2</sup>. Συνέχεια της Οδηγίας 76/464/ΕΟΚ αποτέλεσε η 80/68/ΕΟΚ, που ουσιαστικά συμπλήρωνε την πρώτη και αφορούσε στη μείωση των εκπομπών στα υπόγεια ύδατα. Αυτή κινούνταν στην ίδια φιλοσοφία με την προηγούμενη, θέτοντας όμως, αυστηρότερους στόχους, μιας και αναφερόταν στα πιο ευαίσθητα και ευπρόσβλητα υδάτινα σώματα.

Η επιτυχία και αποτελεσματικότητα των Οδηγιών του πρώτου «κύματος» δεν ήταν δεδομένες, καθώς κατά τους Kallis & Butler (2001), ήταν άμεσα συνυφασμένες με τους στόχους, την απήχισή τους στο κοινό και την οικονομική επιβάρυνση που συνεπαγόταν η εφαρμογή τους. Όσες αφορούσαν ευαίσθητες και εύκολα αντιληπτές χρήσεις του νερού (π.χ. για το πόσιμο νερό ή για τα ύδατα κολύμβησης) έγειραν το δημόσιο ενδιαφέρον και ως εκ τούτου πέτυχαν το σκοπό τους. Αντιθέτως, εκείνες με λιγότερο ξεκάθαρους στόχους (π.χ. για τη ζωή των ιχθύων και των οστρακοειδών) ή δύσκολα αντιληπτές από το κοινό (π.χ. για την εξάλειψη της ρύπανσης), δεν είχαν τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Τέλος, όταν η κάλυψη του κόστους για τη βελτίωση των υδατικών πόρων γινόταν από το δημόσιο, η αποδοχή και εφαρμογή των Οδηγιών ήταν ευκολότερη.

### 2.2.2 Δεύτερη περίοδος

Όμως, «από τα μέσα της δεκαετίας του '80 ήταν γενικά παραδεκτό πως η χρήση ενιαίων πολιτικών για τους υδατικούς πόρους ήταν απαραίτητη και τη δεκαετία του '90 η ανάγκη για ολοκληρωμένη αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων

---

<sup>2</sup> Βλ. Πίνακα 36 Παραρτήματος

αναδείχθηκε εντονότερα» (Boymanns 2002). Το πλαίσιο αυτό σηματοδοτούσε τη μετάβαση στην επόμενη περίοδο, η οποία εκτείνεται χρονικά από το 1987 (Kallis and Butler 2001) ή το 1988 (Φαρμάκη 2007) έως το 1992 (Kallis and Butler 2001) ή το 1995 (Φαρμάκη 2007). Σημαντικό ρόλο στην φάση αυτή έπαιξε η Συνθήκη του Μάαστριχ καθώς έθετε τη βάση της κοινής περιβαλλοντικής πολιτικής στα όρια της Ε.Κ.. Η πρόληψη της ρύπανσης των υδατικών σωμάτων στην πηγή (prevention at source) στηρίχθηκε στο τέταρτο περιβαλλοντικό πρόγραμμα και αποτέλεσε τον πυρήνα των Οδηγιών που θα επακολουθούσαν.

Η πολιτική του κύματος αυτού ουσιαστικά δεν αντικαθιστούσε τη νομοθεσία της πρώτης περιόδου, αλλά τη συμπλήρωνε με την υιοθέτηση νέων εργαλείων για την επίτευξη των προγενέστερων στόχων (Aubin and Varone 2002). Ως εκ τούτου, οι νομοθετικές ρυθμίσεις της δεύτερης περιόδου στρέφονταν, για πρώτη φορά, όχι μόνο στη θέσπιση αποδεκτών ποιοτικών ορίων για το νερό, αλλά και στον έλεγχο των επιπέδων εκπομπής (emission limit values) ως μέσο για την επίτευξη των κριτηρίων αυτών (Kaika 2003). Οι σημαντικότερες Οδηγίες αφορούσαν τις κύριες πηγές ποιοτικής υποβάθμισης των υδατικών σωμάτων: τη ρύπανση αστικής (Οδηγία 91/271/ΕΟΚ) και γεωργικής (Οδηγία 91/676/ΕΟΚ) προέλευσης. Η μεν πρώτη, έθετε τους κανόνες για τη συλλογή, επεξεργασία και απόρριψη λυμάτων αστικής και βιομηχανικής προέλευσης. Η δε δεύτερη, στόχευε στην προστασία των νερών από τα νιτρικά ιόντα της γεωργικής δραστηριότητας. Ως φαίνεται, ο έλεγχος της διάχυτης γεωργικής ρύπανσης ήταν δυσκολότερος έναντι της σημειακής και πιο ελεγχόμενης αστικής. Για το λόγο αυτό ενώ μέσο εφαρμογής της πρώτης ήταν η θέσπιση κανόνων για τη δημιουργία των κατάλληλων υποδομών επεξεργασίας λυμάτων, το εργαλείο της δεύτερης ήταν τα «προγράμματα ορθών περιβαλλοντικών πρακτικών» (Kallis and Butler 2001). Παράλληλα με τις Οδηγίες αυτές, θεσπίστηκαν και άλλες που είχαν έμμεσο αντίκτυπο στην ποιότητα και διαχείριση του νερού, όπως η 91/414/ΕΟΚ, η 91/692/ΕΟΚ, η 92/43/ΕΟΚ, η 96/61/ΕΟΚ και οι αναφορές της Ε.Κ. του 1996 (European Commission Reports)<sup>3</sup>. Τέλος, η Οδηγία 98/83/ΕΚ αφορούσε την ποιότητα του νερού για ανθρώπινη κατανάλωση και αποτέλεσε αναθεώρηση της 80/778/ΕΟΚ.

«Η σταδιακή εξέλιξη της νομοθεσίας των υδατικών πόρων με γνώμονα την αντιμετώπιση των προβλημάτων που παρουσιάζουν, οδήγησε σε μια πολύπλοκη εικόνα των σχετικών νομοθετημάτων με διαφορετικές και συχνά αντικρουόμενες

---

<sup>3</sup> Βλ. Πίνακα 36 Παραρτήματος

μεθοδολογίες, ορισμούς και στόχους» (Kallis and Nijkamp 2000). Στο ίδιο συνηγορεί και η Καραγεώργου (2003), η οποία χαρακτηρίζει το ευρωπαϊκό δίκαιο προστασίας των υδατικών πόρων έως το 2000 ως «μωσαϊκό ρυθμίσεων» με αποσπασματικό χαρακτήρα, ενδογενείς αντιφάσεις και έλλειψη συστηματικής αφετηρίας. Η φύση της ευρωπαϊκής πολιτικής των υδάτων, σύντομα, οδήγησε στην αναγνώριση της ανάγκης για ολοκληρωμένη στρατηγική, που να καλύπτει θέματα ποιότητας, ποσότητας και ρύπανσης του νερού.

### 2.2.3 Τρίτη περίοδος

Όπως η Kaika (2003) υποστηρίζει, «η απόφαση για ριζοσπαστική μεταρρύθμιση της Κοινοτικής νομοθεσίας των υδατικών πόρων δεν ήρθε απρόσμενα, αλλά ήταν μια απάντηση σε ένα ταχέως εξελισσόμενο πολιτικό, οικονομικό και κοινωνικό πλαίσιο». Ωστόσο, όπως οι Aubin & Varone (2002) αναφέρουν, πηγή έμπνευσης για τη θέσπιση νέας νομοθεσίας αποτέλεσαν οι Συμβάσεις Ραμσάρ (1971) και Ελσίνκι (1992), που αφορούσαν τη θέσπιση ενιαίας (σε εθνικό και διεθνές επίπεδο) πολιτικής για την προστασία των οικοτόπων και των ποταμών και λιμνών, αντίστοιχα. Η αντίληψη πως το νερό είναι κοινό αγαθό δημιούργησε την ανάγκη για περιφερειακές και διακρατικές συμφωνίες σχετικά με τη διαχείρισή του και την ανάπτυξη νέων θεσμών που θα επιτύχουν τις συμφωνίες αυτές. Ως εκ τούτου η αναμόρφωση του επιπέδου λήψης των αποφάσεων και η συμμετοχή του ευρύτερου κοινού σε αυτές κρίθηκαν ως επιβεβλημένες. Επιπλέον, αναγνωρίστηκε το νερό ως «οικονομικό αγαθό» (ICWE 1992 ) και αναδείχθηκε η σημασία του στην οικονομική ανάπτυξη, οπότε η ολοκληρωμένη διαχείρισή του έγινε επιτακτική. Τέλος, το ολοένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για την προστασία του περιβάλλοντος και τη σωστή διαχείρισή του, έθεσαν την βελτίωση της ποιότητας του νερού ως κύριο άξονα της επερχόμενης πολιτικής. Στο πλαίσιο αυτό αναπτύχθηκε η νομοθεσία του τρίτου «κύματος».

Αφετηρία της τρίτης περιόδου αποτελεί το πέμπτο περιβαλλοντικό πρόγραμμα δράσης (1993 – 1996) που προσπαθεί «να καλύψει τη διάσταση μεταξύ των οικονομικών και των περιβαλλοντικών στόχων της Κοινότητας» (Somsen 1992). Η λήξη της περιόδου αυτής δεν έχει επέλθει ακόμη, καθώς περιλαμβάνει και το έκτο περιβαλλοντικό πρόγραμμα (2000), το οποίο χρονικά εκτείνεται έως και σήμερα

(Kallis and Butler 2001). Η χάραξη της νέας πολιτικής για τους υδατικούς πόρους έγινε με γνώμονα τις έννοιες της «αειφόρου ανάπτυξης», της «ολοκληρωμένης διαχείρισης» και της «επικουρικότητας». Στο κλίμα αυτό, δημιουργήθηκε η Οδηγία πλαίσιο για τους υδατικούς πόρους 2000/60/ΕΚ, που όπως φαίνεται ήταν «παιδί του καιρού της».

## **2.3 Η Οδηγία 2000/60/ΕΚ**

### **2.3.1 Στόχοι της Οδηγίας**

Η Οδηγία – πλαίσιο για το νερό αποτελεί μια ολοκληρωμένη και καινοτόμο προσπάθεια προστασίας και διαχείρισης των υδατικών πόρων των κρατών-μελών της Ε.Ε. Σκοπός της, σύμφωνα με το Άρθρο 1, είναι η θέσπιση πλαισίου για την προστασία των επιφανειακών, υπόγειων, μεταβατικών<sup>4</sup> και παράκτιων υδάτων. Από τη διάταξη αυτή φαίνεται η πρόθεση της Ε.Κ. να θεσπίσει ένα ενιαίο πλαίσιο Ευρωπαϊκής πολιτικής για τη διαχείριση του συνόλου των υδατικών σωμάτων, εν αντιθέσει με τις προγενέστερες Οδηγίες που διακρίνονταν για τον αποσπασματικό τους χαρακτήρα. Προκειμένου για την επίτευξη του σκοπού αυτού, στο Άρθρο 4 της Οδηγίας αποσαφηνίζονται οι περιβαλλοντικοί στόχοι με γνώμονα την «καλή οικολογική κατάσταση» των υδάτων της Ε.Ε. έως το τέλος του 2015 (Borja and Elliott 2007).

Οι στόχοι είναι διακριτοί για τρεις κατηγορίες υδάτων: τα επιφανειακά, τα υπόγεια και τις προστατευόμενες περιοχές. Ως προς την πρώτη κατηγορία, το ενδιαφέρον στρέφεται στην ποιότητα και στόχος είναι η επίτευξη καλής οικολογικής και χημικής κατάστασης<sup>5</sup> βάσει βιολογικών, υδρομορφολογικών και φυσικοχημικών χαρακτηριστικών. Για τα υπόγεια νερά το βάρος πέφτει, αφενός, στην ποιότητα που εκτιμάται σύμφωνα με χημικές παραμέτρους<sup>6</sup>, αφετέρου στην ποσότητα έτσι ώστε να εξασφαλίζεται πως η στάθμη των υδάτων δεν εξαντλείται από το μακροπρόθεσμο ετήσιο μέσο όρο άντλησης. Παράλληλα, οι Kallis & Butler (2001) συμπληρώνουν ως

---

<sup>4</sup> Συστήματα επιφανειακών υδάτων πλησίον του στομίου ποταμών τα οποία είναι εν μέρει αλμυρά λόγω της γειτνίασής τους με παράκτια ύδατα αλλά τα οποία επηρεάζονται ουσιαστικά από ρεύματα γλυκού νερού.

<sup>5</sup> Βλ. Παράρτημα Οδηγίας V.1.

<sup>6</sup> Βλ. Παράρτημα Οδηγίας V.2.

στόχους την αποτροπή χειροτέρευσης της κατάστασης όλων των υδάτων και τη μη άμεση έκχυση ουσιών στα υπόγεια ύδατα. Αυτοί είναι δυνατό να επιτευχθούν με την εφαρμογή των κατάλληλων μέτρων και την εξαίρεση ορισμένων δραστηριοτήτων σε κάποιες περιοχές, αντίστοιχα. Όσον αφορά τις προστατευόμενες περιοχές, η καλή κατάσταση και η αποτροπή της περαιτέρω ποιοτικής υποβάθμισης, είναι οι ελάχιστες απαιτήσεις που πρέπει να ισχύουν, καθώς όπου κρίνεται απαραίτητο, πρέπει να τίθενται και αυστηρότερα όρια. Οι περιοχές αυτές περιλαμβάνουν όχι μόνο τις ήδη χαρακτηρισμένες ως προστατευόμενες (π.χ. Natura, πόσιμο νερό, νερά κολύμβησης, ευπρόσβλητες με νιτρικά ζώνες), αλλά και όσες προστατεύουν υδρόβια είδη οικονομικής σημασίας ή χρησιμοποιούνται για ψυχαγωγικές δραστηριότητες. Τέλος, όπως οι Kallis & Butler (2001) υποστηρίζουν, η εξασφάλιση των υδατικών αποθεμάτων για τις μελλοντικές γενιές παρά το ότι δεν αναφέρεται σαφώς, αποτελεί σκοπό της Οδηγίας.

### 2.3.2 Οργάνωση της Οδηγίας

Ο κύριος μηχανισμός μέσω του οποίου η Οδηγία – πλαίσιο επιχειρεί να επιτύχει τους στόχους της, όπως ορίζει το Άρθρο 3, αποτελεί η λεκάνη απορροής ποταμού (river basin districts). Αυτή είναι η βασική μονάδα σχεδιασμού και διαχείρισης, γεγονός που επιτρέπει την επιβολή κοινών μέτρων για το σύνολο των υδάτων που ανήκουν στο ίδιο οικολογικό, υδρολογικό και υδρογεωλογικό σύστημα. Τα κράτη – μέλη οφείλουν να κάνουν τις κατάλληλες διοικητικές ρυθμίσεις, συμπεριλαμβανομένου του προσδιορισμού των αρμόδιων διαχειριστικών αρχών, προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι της Οδηγίας για κάθε λεκάνη απορροής. Οι υποχρεώσεις επεκτείνονται και για τις λεκάνες απορροής πέραν του εδάφους της Κοινότητας, που ορίζονται ως διασυνοριακές και διαχειρίζονται από ένα διεθνή οργανισμό.

Κατά τους White and Howe (2003 ), η ολοκληρωμένη θεώρηση των ποταμών και λιμνών ως ενιαίες φυσικές, γεωγραφικές και υδρολογικές μονάδες, αντίθετες με τις παλαιότερες διοικητικές και πολιτικές, αποτελεί βασική καινοτομία της Οδηγίας, η οποία μπορεί να έχει σημαντικό αντίκτυπο στη διαχείριση των υδάτων. Στο ίδιο συνηγορεί και η Καραγεώργου (2003) επισημαίνοντας πως το νέο μοντέλο διαχείρισης πλεονεκτεί καθώς λαμβάνει υπόψη του τις διαφορετικές μορφές, χρήσεις



και επιπτώσεις από ανθρώπινες δραστηριότητες στο νερό, στο πλαίσιο μιας ευρύτατης γεωγραφικά περιοχής.

Εντός των ορίων των λεκανών απορροής, σύμφωνα με το Άρθρο 13, η εκάστοτε αρμόδια αρχή είναι υπεύθυνη για την κατάρτιση και εφαρμογή ενός εξαετούς Σχεδίου Διαχείρισης. Αυτό, πρωτίστως, περιλαμβάνει τη γενική περιγραφή των χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής, με ταυτόχρονη χαρτογράφηση των υδάτων, τις σημαντικές ανθρωπογενείς πιέσεις κι επιπτώσεις τους στο νερό των λεκανών και την οικονομική ανάλυση της χρήσης των υδάτων· υλοποιώντας έτσι τις απαιτήσεις του Άρθρου 5. Ακολούθως, στα Σχέδια Διαχείρισης προσδιορίζονται και χαρτογραφούνται οι περιοχές, που χρήζουν ειδικής προστασίας, όπως το Άρθρο 6 και το Παράρτημα IV ορίζουν. Επιπλέον στοιχεία που περιέχουν τα Διαχειριστικά Σχέδια αποτελούν αφενός ο προσδιορισμός των υδατικών συστημάτων που χρησιμοποιούνται ή προορίζονται για υδροληψία (Άρθρο 7) και αφετέρου η παρακολούθηση της κατάστασης των νερών της λεκάνης (Άρθρο 8). Τέλος, στα Σχέδια αποσαφηνίζονται τα μέτρα για την ανάκτηση του κόστους ( Άρθρο 9) και τα προγράμματα μέτρων για την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων (Άρθρο 11).

Η αρμόδια διαχειριστική αρχή καθίσταται υπεύθυνη παρακολούθησης των Σχεδίων. Συγκεκριμένα, ο έλεγχος της εφαρμογής των μέτρων και της υλοποίησης των στόχων, αποτελούν βασικά σημεία της Οδηγίας. Σημαντικό ρόλο στην εκπόνηση, αναθεώρηση (ανά εξαετία) και ενημέρωση των Σχεδίων παίζει η ενεργός συμμετοχή όλων των εμπλεκόμενων φορέων και του κοινού (Άρθρο 14). Η συμμετοχή είναι αμφίδρομη καθώς το κράτος είναι υποχρεωμένο να ανακοινώνει το διαχειριστικό πρόγραμμα και να το θέτει στη διάθεση του κοινού, το οποίο διατυπώνει τις παρατηρήσεις του.

### 2.3.3 Μέτρα της Οδηγίας

Το κύριο εργαλείο της ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδατικών πόρων αποτελούν τα προγράμματα μέτρων (Άρθρο 11) και τα Σχέδια Διαχείρισης (Άρθρο 13). Τα τελευταία περιλαμβάνουν ικανοποιητικό αριθμό «βασικών» και, όπου απαιτείται, «συμπληρωματικών» μέτρων.

Τα μεν «βασικά» μέτρα αφορούν στις στοιχειώδεις απαιτήσεις της Οδηγίας που πρέπει να πληρούνται. Κυρίως αναφέρονται στην εφαρμογή της υπάρχουσας

νομοθεσίας για τους υδατικούς πόρους. Στην περίπτωση που τα αποτελέσματα της εφαρμογής αυτής δεν οδηγούν στην «καλή» κατάσταση των υδάτων, επιβάλλονται επιπλέον μέτρα. Τα τελευταία αφορούν στη διαφύλαξη της ποιότητας των υδάτων, στους ελέγχους των επιπέδων ρύπανσής τους και στην εφαρμογή της ανάκτησης του πλήρους κόστους των επιχειρήσεων παροχής νερού.

Τα δε «συμπληρωματικά» μέτρα, καταρτίζονται και τίθενται σε εφαρμογή επιπλέον των «βασικών», με σκοπό την επίτευξη των στόχων της Οδηγίας (Άρθρο 4). Στην κατηγορία αυτή, σύμφωνα με το μέρος Β του Παραρτήματος VI της Οδηγίας, περιλαμβάνονται νομοθετικά, διοικητικά, οικονομικά ή φορολογικά και λοιπά μέσα.

#### 2.3.4 Αρχές της Οδηγίας

Η Οδηγία – πλαίσιο για το νερό στηρίχθηκε στις αρχές περιβαλλοντικής πολιτικής που έχουν από πολύ νωρίς θεσπιστεί στα όρια της Κοινότητας. Η πρώτη αναφορά στις αρχές αυτές γίνεται το 1973 στο Πρώτο Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα Δράσης, το οποίο συνδέει το στόχο της οικονομικής ανάπτυξης της Ε.Ε. με τη διασφάλιση της ποιότητας του περιβάλλοντος. Το Δεύτερο και Τρίτο Πρόγραμμα επαναβεβαιώνουν την ύπαρξη των αρχών αυτών, με το Τρίτο να τονίζει την ανάγκη ενσωμάτωσης περιβαλλοντικών συνιστωσών σε άλλους τομείς πολιτικής. Τέλος, το Τέταρτο Πρόγραμμα, υιοθετώντας τις αρχές αυτές, επιχειρεί την αποτίμηση των επιπτώσεων της ευρωπαϊκής περιβαλλοντικής πολιτικής. Με γνώμονα το τελευταίο Πρόγραμμα και βάσει των αρχών αυτών αναπτύσσεται και η Οδηγία 2000/60/ΕΚ.

Η «αρχή της αειφορίας» αποτελεί την κεντρική επιδίωξη της Οδηγίας. Σύμφωνα με την αρχή αυτή, η διαχείριση των υδατικών πόρων πρέπει να γίνεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να μην εξαντλούνται τα όρια αποδοχής και να μην υπερκεράζεται η φέρουσα ικανότητα των οικοσυστημάτων εξαιτίας της εισαγωγής επικίνδυνων ουσιών και της κατανάλωσης των φυσικών διαθεσίμων. Τα στοιχεία αυτά συνοψίζονται στο δεύτερο στόχο της Οδηγίας (Άρθρο1,β), όπου προωθείται η βιώσιμη χρήση του νερού και η μακροπρόθεσμη προστασία των διαθέσιμων υδατικών πόρων.

Μια άλλη αρχή που διέπει τους παραπάνω στόχους είναι «η αρχή της συνδυαστικής προσέγγισης». Η προσέγγιση της αρχής αυτής είναι διττή, καθώς ορισμένοι (Aubin and Varone 2002) αναφέρονται στο συνδυασμό μεταξύ των

ποιοτικών στόχων και των ορίων εκπομπής, και κάποιιοι (Καραγεώργου 2003) στην ταυτόχρονη διασφάλιση ικανοποιητικής ποιότητας και ποσότητας νερού. Αναλυτικότερα και σύμφωνα με τους Aubin and Varone (2002), οι ποιοτικοί στόχοι αφενός αποτελούν τα μέσα για την αποτίμηση της δύναμης των προκαθορισμένων ορίων των τιμών εκπομπής και αφετέρου εκτιμούν την αναγκαιότητα για τη λήψη αυστηρότερων ορίων. Επίσης, η σύνδεση της αρχής με την επιδίωξη ποιοτικών και ποσοτικών στόχων θεωρείται εξίσου επιτυχής, καθώς η Οδηγία προωθεί τη διατήρηση καλής ποιότητας νερού και την εξασφάλιση της διαθεσιμότητας του, η οποία προσδιορίζεται από ποσοτικά και διαχειριστικά κριτήρια. Όπως η Καραγεώργου (2003) αναφέρει, το βασικό της πλεονέκτημα έναντι των λεγόμενων “μεμονωμένων” στρατηγικών έγκειται στο γεγονός ότι μπορεί να διασφαλίσει αποτελεσματικότερη προστασία σε σχέση με αυτές. Κι αυτό αφενός γιατί η στρατηγική που στοχεύει αποκλειστικά στον έλεγχο των εκπομπών δεν είναι αποτελεσματική όσον αφορά στις σωρευτικές περιβαλλοντικές ζημίες, όπως αυτές που προκαλούνται από την συνδυαστική απόρριψη οργανικών και ανόργανων ουσιών στα ύδατα· αφετέρου η στρατηγική της τήρησης μόνο των ποιοτικών περιβαλλοντικών στόχων, καθώς δεν στηρίζεται σε συγκεκριμένες σταθερές παραμέτρους ενέχει τον κίνδυνο να οδηγήσει σε καταστάσεις επικίνδυνες για τη δημόσια υγεία ή σημαντική υποβάθμιση του περιβάλλοντος (Καραγεώργου 2003).

Επιπλέον, η Οδηγία – πλαίσιο βασίζεται στην «αρχή της ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδάτων». Σύμφωνα με τους (Aubin and Varone 2002), τα στοιχεία που σκιαγραφούν λεπτομερώς την αρχή αυτή είναι: α) η θεώρηση του νερού ως ενιαίου φυσικού πόρου, β) οι συντονισμένες διαχειριστικές ενέργειες συνεπείς προς τις ευρωπαϊκές Οδηγίες για το νερό στο σύνολο των λεκανών απορροής εντός των ορίων των κρατών μελών, και γ) η ανάμιξη όλων των εμπλεκόμενων στη διαχείριση του νερού στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων.

Εξίσου σημαντική για την υλοποίηση των στόχων της Οδηγίας είναι η «αρχή της αυτονομίας». Σύμφωνα με αυτή, προωθείται η αποκεντρωμένη δράση που αφήνει στο κάθε κράτος-μέλος την υποχρέωση της θέσπισης μηχανισμών εφαρμογής της Οδηγίας με την Κοινότητα να αναλαμβάνει πρωτοβουλία μόνο στην περίπτωση που τα μέτρα κριθούν ανεπαρκή. Όπως αναφέρεται στο Άρθρο 3, τα κράτη-μέλη προσδιορίζουν τις αρμόδιες αρχές που θα αναλάβουν την εφαρμογή της Οδηγίας και καλούνται να επιτύχουν τους περιβαλλοντικούς της στόχους (Άρθρο 4). Όμως, «η αρχή μπορεί να αρθεί στην περίπτωση των διασυνοριακών υδατικών σωμάτων,

καθώς η νομοθεσία του ενός κράτους δεν είναι δεσμευτική για το άλλο, οπότε η Κοινότητα αναλαμβάνει το συντονισμό των εμπλεκόμενων μελών προκειμένου επιτευχθούν οι στόχοι της» (Kilper and Albrecht 2009).

Τέλος, το Άρθρο 9 της Οδηγίας εισάγει την «αρχή της ανάκτησης του πλήρους κόστους» του νερού, σύμφωνα με την οποία προωθείται ο ισοσκελισμός του συνολικού κόστους με τα έσοδα από την πώληση του νερού. Το μεν συνολικό κόστος περιλαμβάνει εκτός του οικονομικού, το περιβαλλοντικό και το κόστος φυσικών πόρων, τα δε έσοδα αναφέρονται στην τιμή, στους φόρους και σε λοιπές χρεώσεις ή εισφορές που πληρώνουν οι χρήστες του νερού. Η ανάκτηση του κόστους βασίζεται στην «αρχή ο ρυπαίνων πληρώνει» σύμφωνα με την οποία όσοι προκαλούν περιβαλλοντικές βλάβες, θα πρέπει να επωμίζονται το κόστος αποφυγής ή αντιστάθμισής τους και «ικανοποιεί τρεις βασικές λειτουργίες την ενημερωτική, την καθοδηγητική ή κινήτρων και την οικονομική» (Unnerstall 2007). Αναλυτικότερα, κατά τους Unnerstall & Messner (2007) η *ενημερωτική λειτουργία* συνίσταται στο γεγονός ότι οι καταναλωτές των υπηρεσιών ύδατος γνωρίζουν το συνολικό κόστος που προκαλείται από την κατανάλωση και τη χρήση του νερού, γεγονός που τους οδηγεί σε ορθολογιστική κατανάλωση. Η *καθοδηγητική λειτουργία* ή *λειτουργία κινήτρων* συνδέεται στενά με την πρώτη. Οι χρήστες χρεώνονται για το σύνολο του άμεσου και έμμεσου κόστους του νερού που χρησιμοποιούν, συμπεριλαμβανομένων του κόστους της άντλησης, της διανομής και της διάθεσης στο περιβάλλον και του κόστους των φυσικών πόρων, οπότε είναι σε θέση να αποφασίσουν εάν η αποπληρωμή του κόστους αυτού είναι δικαιολογημένη για τη συγκεκριμένη χρήση ή είναι προτιμότερο να χρησιμοποιήσουν τα χρήματα αυτά για κάτι άλλο (αρχή του κόστους ευκαιρίας). Η χρέωση του πλήρους κόστους στους χρήστες οδηγεί έτσι σε πιο αποτελεσματική χρήση του νερού. Τέλος, η *οικονομική λειτουργία* βασίζεται στο γεγονός ότι η χρέωση των χρηστών νερού δημιουργεί επιπλέον οικονομικούς πόρους για τη μακροπρόθεσμη διατήρηση των υπηρεσιών ύδατος και για τη χρηματοδότηση μέτρων σύμφωνα με τη προστασία των υδατικών πόρων». Όπως, φαίνεται και οι τρεις λειτουργίες της ανάκτησης του κόστους οδηγούν σε ορθολογικότερη κατανάλωση του νερού, που αποτελεί στόχο της Οδηγίας.

Βάσει των πιο πάνω αρχών, η Οδηγία θέτει ουσιαστικά ως βασική της προτεραιότητα τη βελτίωση και προστασία των υδατικών πόρων και των εξηρημένων από αυτά οικοσυστημάτων, προκειμένου να επιτευχθεί η αειφόρος χρήση τους. Ωστόσο, ορισμένες από τις προαναφερόμενες αρχές, δεν αποτελούν μόνο

τις κατευθυντήριες γραμμές της Οδηγίας, αλλά μπορούν να χαρακτηριστούν και ως τα καινοτόμα στοιχεία της.

### 2.3.5 Καινοτομίες της Οδηγίας

Καθώς η Οδηγία 2000/60/EK είναι η πρώτη στο πλαίσιο των περιβαλλοντικών Οδηγιών της Ε.Ε. που αναφέρεται στην ανάκτηση του κόστους ενός περιβαλλοντικού αγαθού, φαίνεται πως καινοτομεί. Σύμφωνα με το Άρθρο 9 τα κράτη-μέλη υποχρεούνται να ασκήσουν τις κατάλληλες πολιτικές τιμολόγησης του νερού ώστε να επιτύχουν τους περιβαλλοντικούς στόχους της Οδηγίας. Εξάλλου, η αποτελεσματική χρήση των υδατικών πόρων και η λήψη των σωστών αποφάσεων σχετικά με τη διανομή τους στις διάφορες χρήσεις τους, αποτελούν βασικές επιδιώξεις της τιμολόγησής τους (Rogers 1992). Η εφαρμογή των πολιτικών τιμολόγησης, όπως ανωτέρω αναφέρθηκε, γίνεται σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού (Άρθρο 3) γεγονός που αποτελεί επιπλέον καινοτόμο στοιχείο της Οδηγίας. Επίσης, η υιοθέτηση της συνδυαστικής προσέγγισης ως προς τον έλεγχο της ρύπανσης καθορίζοντας τόσο όρια εκπομπών ρύπων όσο και στόχους για την επίτευξη της επιθυμητής ποιότητας των υδατικών σωμάτων (επιφανειακών, μεταβατικών, παράκτιων και υπόγειων) αποτελεί σημείο διαφοροποίησης της Οδηγίας από τις προηγούμενες οι οποίες βασίζονταν στην «αρχή της παράλληλης προσέγγισης και έδιναν την επιλογή ανάμεσα σε όρια εκπομπής και ποιοτικούς περιβαλλοντικούς στόχους» (Καραγεώργου 2003). Τέλος, καινοτομία της Οδηγίας αποτελεί και το Άρθρο 14, κατά το οποίο προωθείται η ενεργός συμμετοχή του κοινού και η δημόσια διαβούλευση των διαχειριστικών σχεδίων. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με προηγούμενες Οδηγίες οι οποίες επέτρεπαν είτε την ανταλλαγή των πληροφοριών σε επίπεδο κρατών – μελών μέσω εκθέσεων (π.χ. 77/795/ΕΟΚ, 91/692/ΕΟΚ), είτε τη συλλογή πληροφοριών που δεν κοινοποιούνταν (π.χ. 80/68/ΕΟΚ) ή την παροχή πληροφοριών προς τους καταναλωτές (π.χ. 98/83/ΕΚ).

### 2.3.6 Κόστος – Χρονοδιάγραμμα εφαρμογής της Οδηγίας

Ένα εξίσου ενδιαφέρον σημείο στη γενικότερη προσέγγιση της Οδηγίας αποτελούν αφενός το κόστος και αφετέρου το χρονοδιάγραμμα εφαρμογής της. Ως προς το συνολικό κόστος επίτευξης των στόχων της Οδηγίας, οι Kallis & Butler (2001) το θεωρούν υψηλό και αναφέρονται στην τριπλή διάστασή του: διοικητικό, παρακολούθησης και εφαρμογής.

Το διοικητικό κόστος αφορά στα συνολικά έξοδα (εγκατάστασης και λειτουργίας) για την προσαρμογή των κρατών – μελών στις νέες διοικητικές μονάδες (Λεκάνες Απορροής), στο κόστος προετοιμασίας των προγραμμάτων μέτρων, καθώς και στο κόστος εφαρμογής της αρχής ανάκτησης του πλήρους κόστους του νερού. Αυτό το κομμάτι του κόστους αναμένεται ιδιαίτερος υψηλό για τα κράτη – μέλη χωρίς κάποιες βασικές διοικητικές υποδομές, ενώ οι Kallis & Butler (2001) θεωρούν πως οι μόνες χώρες που μπορούν να προσαρμοστούν με χαμηλότερο κόστος είναι οι: Γαλλία, Αγγλία, Ουαλία, και έως έναν βαθμό, οι Σκανδιναβικές χώρες και η Γερμανία. Το κόστος παρακολούθησης της οικολογικής κατάστασης των υδατικών σωμάτων, σύμφωνα με τους Kallis & Butler (2001) αναμένεται να αποτελεί σημαντικό τμήμα του συνολικού κόστους της Οδηγίας, ιδίως σε χώρες με περιορισμένες υπάρχουσες δυνατότητες παρακολούθησης. Τέλος, το κόστος εφαρμογής σχετίζεται με τις απαραίτητες ενέργειες για την επίτευξη των στόχων της Οδηγίας (Kallis and Butler 2001). Εντούτοις, καθώς δεν υπάρχουν στοιχεία της κατάστασης των υδατικών σωμάτων της Ε.Ε., καθίσταται εξαιρετικά δύσκολος ο εκ των προτέρων υπολογισμός του συνολικού κόστους της Οδηγίας.

Εξίσου σημαντικός παράγοντας στην εφαρμογή της Οδηγίας είναι το ακολουθούμενο χρονοδιάγραμμα. Οι Kallis & Butler (2001), συνηγορούν πως αν και όσο πιο αυστηρό είναι τόσο μεγαλύτερο κόστος επιφέρει, εντούτοις η χαλάρωσή του μπορεί να οδηγήσει σε αναβολή εφαρμογής της Οδηγίας, δεδομένου του μη υποχρεωτικού χαρακτήρα των στόχων της. Τα στάδια και ο χρόνος εφαρμογής της Οδηγίας παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1:Χρονοδιάγραμμα και στάδια εφαρμογής της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ

Έτος	Στάδια εφαρμογής	Αναφορά
2000	Έναρξη ισχύος Οδηγίας	Άρθρο 25
2003	Εναρμόνιση με το εθνικό δίκαιο Συντονισμός διοικητικών ρυθμίσεων σε περιοχές λεκάνης απορροής ποταμού	Άρθρο 24 Άρθρο 3
2004	Χαρακτηρισμός των λεκανών απορροής ποταμού Δημιουργία μητρώου προστατευόμενων περιοχών Επανεξέταση καταλόγου ουσιών προτεραιότητας	Άρθρο 5 Άρθρο 6 Άρθρο 16
2006	Παρακολούθηση της κατάστασης των υδάτων Έναρξη διαβουλεύσεων με το κοινό	Άρθρο 8 Άρθρο 14
2007	Κατάργηση των Οδηγιών: 75/440/ΕΟΚ, 77/795/ΕΟΚ, 79/869/ΕΟΚ	Άρθρο 22
2009	Δημοσίευση των σχεδίων διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού Κατάρτιση προγράμματος μέτρων	Άρθρο 13 Άρθρο 11
2010	Εφαρμογή της αρχής ανάκτησης του πλήρους κόστους των υπηρεσιών ύδατος	Άρθρο 9
2012	Εφαρμογή προγράμματος μέτρων Εφαρμογή της συνδυασμένης προσέγγισης για σημειακές και διάχυτες πηγές ρύπανσης Υποβολή ενδιάμεσης έκθεσης σχετικά με της πρόοδο της εφαρμογής του προγράμματος μέτρων	Άρθρο 11 Άρθρο 10 Άρθρο 15
2013	Κατάργηση των Οδηγιών: 78/659/ΕΟΚ, 79/923/ΕΟΚ, 80/68/ΕΟΚ, 76/464/ΕΟΚ	Άρθρο 22
2015	Επίτευξη της καλής κατάστασης των υδατικών σωμάτων	Άρθρο 4
2019	Επανεξέταση της Οδηγίας και προτάσεις τροποποίησής της	Άρθρο 19
2021	Αναθεώρηση σχεδίων διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού	Άρθρο 13

Πηγή: (Aubin and Varone 2002)

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 1 Πίνακας 1 η Οδηγία έχει ένα αρκετά απαιτητικό χρονοδιάγραμμα. Το χρονικό διάστημα από την έναρξη ισχύος της Οδηγίας έως το 2009 μπορεί να θεωρηθεί ως προπαρασκευαστικό, καθώς τα κράτη – μέλη οφείλουν να προβούν στις απαραίτητες ενέργειες προκειμένου να δημιουργήσουν τις κατάλληλες συνθήκες για την εφαρμογή της Οδηγίας. Από το 2010 έως το 2015 οφείλουν να εφαρμόσουν και να επιτύχουν τους περιβαλλοντικούς στόχους της κοινοτικής νομοθεσίας. Παρέκκλιση από τα προγραμματισμένα χρονικά περιθώρια υπάρχουν μόνο σε περιπτώσεις όπου δικαιολογούνται εξαιτίας τεχνικών δυσκολιών, υψηλού κόστους και αντίξοων φυσικών συνθηκών (Άρθ. 4, παρ.4). Οι παρατάσεις μπορεί να είναι έως δυο και να αφορούν αντίστοιχες αναθεωρήσεις των σχεδίων διαχείρισης λεκανών απορροής που γίνονται ανά εξαετία (Άρθ. 13), επομένως το τελικό χρονικό περιθώριο επίτευξης των στόχων της Οδηγίας είναι μέχρι το 2027.

## 2.4 Εναρμόνιση με το ελληνικό δίκαιο

Ο Νόμος 3199/2003 (ΦΕΚ Α΄280/9.12.2003) περί «Προστασίας και διαχείρισης των υδάτων» αποτελεί το εθνικό θεσμικό πλαίσιο εναρμόνισης με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ. Ο παραλληλισμός των δυο νομικών κειμένων καταδεικνύει πως επιχειρείται πλήρης ενσωμάτωση ορισμένων σημείων της Οδηγίας στο Νόμο, όπως στο Άρθρο 2 που αναπτύσσονται οι ορισμοί διάφορων εννοιών και στις δυο περιπτώσεις. Οι απαιτήσεις του Άρθρου 3 της Οδηγίας σχετικά με τον προσδιορισμό των αρμόδιων διοικητικών αρχών για τους υδατικούς πόρους προσεγγίζεται από τον Νόμο στο κεφάλαιο Β΄ και στα Άρθρα 3 – 6. Αναλυτικότερα, οι φορείς που συστήνονται είναι: α) η Εθνική Επιτροπή Υδάτων (Άρθ. 3), β) η Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων (Άρθ. 4), γ) η Διεύθυνση Υδάτων της Περιφέρειας (Άρθ. 5) και δ) το Περιφερειακό Συμβούλιο Υδάτων (Άρθ. 6). Τα Σχέδια Διαχείρισης των λεκανών απορροής, τα Προγράμματα Μέτρων και οι Στρατηγικές κατά της ρύπανσης των υδάτων όπως αυτά ορίζονται στα Άρθρα 13, 11 και 16 της Οδηγίας αντίστοιχα, ενσωματώνονται στο κεφάλαιο Γ΄ και στα Άρθρα 7, 8 και 9 του Νόμου. Το ζήτημα της ανάκτησης του κόστους των υπηρεσιών ύδατος (Άρθρο 9 Οδηγίας) τίθεται στο Άρθρο 12 του Νόμου. Τέλος, η επιβολή των κυρώσεων, όπως αυτή ορίζεται στο Άρθρο 23 της Οδηγίας, γίνεται από το κεφάλαιο Ε΄ και τα Άρθρα 13 και 14 του Νόμου.

Παρά το γεγονός της ενσωμάτωσης κάποιων κεφαλαίων της Οδηγίας, ο Νόμος φαίνεται να είναι ελλιπής. Βασική παράλειψή του είναι η μη δήλωση του στόχου του, καθώς η καλή οικολογική κατάσταση των υδάτων αναφέρεται χωρίς όμως να ορίζεται σαφώς ως στόχος. Ακόμη μια αδυναμία του Νόμου αποτελεί η συνοπτική αναφορά (Άρθ. 5, Παρ. 5, Εδάφιο στ΄) στις διαδικασίες συμμετοχής και δημόσιας διαβούλευσης με το κοινό, όπου δεν παρέχεται πρόσβαση σε όλα τα γενικά έγγραφα και δεν αναφέρεται τίποτε για τα αντίστοιχα βοηθητικά όπως αυτά προσεγγίζονται από το Άρθρο 14 της Οδηγίας. Καθώς, και σε άλλα σημεία του Νόμου (π.χ. Άρθ. 5, 7, 8, 12) υπάρχουν κενά, για τα οποία γίνεται παραπομπή σε επερχόμενο Προεδρικό Διάταγμα (Άρθ. 15 παρ.1), μπορεί να θεωρηθεί πως πλήρης ενσωμάτωση της Οδηγίας – πλαίσιο για τους υδατικούς πόρους στο εθνικό δίκαιο έγινε μόλις το 2007 με το Προεδρικό Διάταγμα 51/2007 (ΦΕΚ Α 54/8.3.2007).



## 2.5 Επίλογος

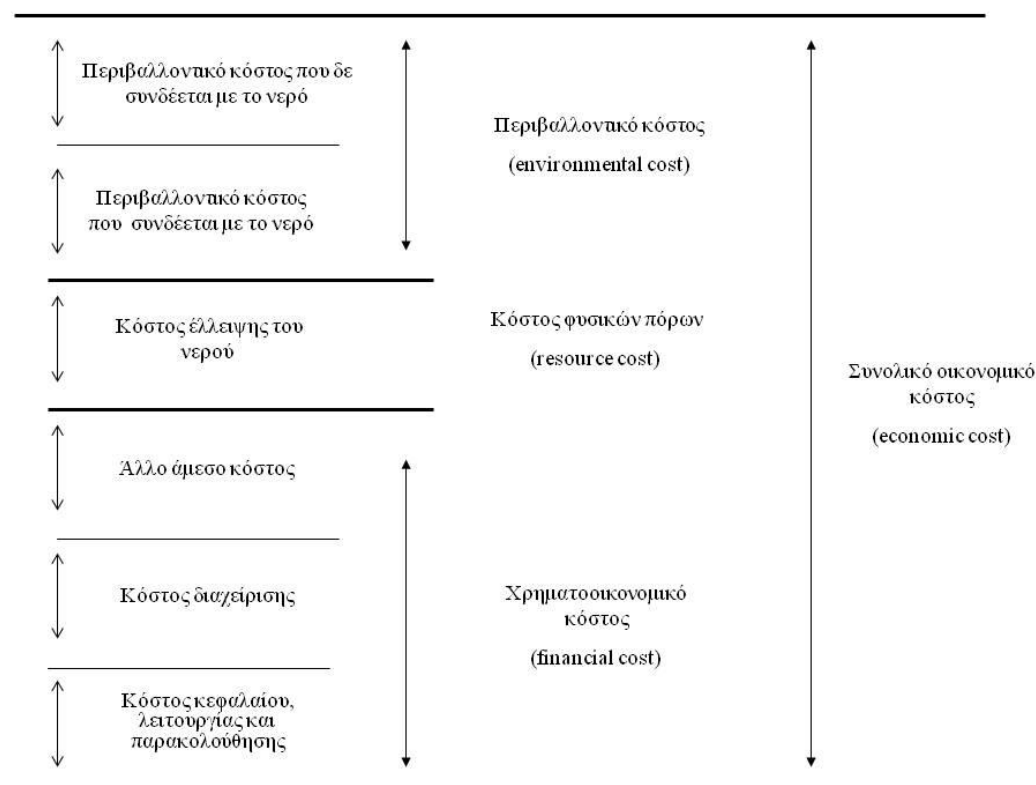
Η Οδηγία 2000/60/ΕΚ αποτελεί ένα καινοτόμο στρατηγικό θεσμικό πλαίσιο για την προστασία των υδατικών πόρων με στόχο την ολοκληρωμένη διαχείρισή τους σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού και με γνώμονα την αρχή της αειφορίας. Παρέχει τη βάση για τη χάραξη και υλοποίηση από πλευράς των κρατών – μελών μιας βιώσιμης πολιτικής για τους υδατικούς πόρους, με την έννοια ότι θα διασφαλίζεται διαχρονικά η ικανοποίηση των αναγκών σε νερό, σε συνδυασμό ωστόσο με την προστασία και διατήρηση των υδατικών οικοσυστημάτων μέσω της επίτευξης του στόχου της καλής κατάστασής τους. Το εθνικό δίκαιο εναρμονιζόμενο με την Ευρωπαϊκή Οδηγία προωθεί τη λήψη διάφορων μέτρων με κυριότερο όλων την ανάκτηση του πλήρους κόστους του νερού, η οποία επιτυγχάνεται διαμέσου της τιμολόγησης του νερού για κάθε χρήση.

## Κεφάλαιο 3. Το κόστος του αρδευτικού νερού

### 3.1 Εισαγωγή

Στο Άρθρο 9 της Οδηγίας - πλαίσιο 2000/60/ΕΚ, το νερό αναγνωρίζεται ως οικονομικό αγαθό και η ανάκτηση του πλήρους κόστους του τίθεται ως προϋπόθεση για την επίτευξη των στόχων της Οδηγίας. Το οικονομικό κόστος (economic cost) του νερού αφορά ολόκληρη την κοινωνία και σύμφωνα με τα συνοδευτικά έγγραφα της Οδηγίας (WATECO 2003) περιλαμβάνει τα: χρηματοοικονομικό (financial), περιβαλλοντικό (environmental) και κόστος πόρου ή έλλειψης (resource/scarcity). Τα παραπάνω είδη κόστους αποτυπώνονται στο Διάγραμμα 1.

Διάγραμμα 1 Είδη κόστους νερού



Πηγή: (WATECO 2003).

### 3.2 Χρηματοοικονομικό κόστος αρδευτικού νερού και τρόποι υπολογισμού του

Το *χρηματοοικονομικό κόστος* προέρχεται από τη διαδικασία σύλληψης και διανομής του νερού και αφορά τον κάθε χρήστη ξεχωριστά. Καθώς κάθε διαδικασία συνδέεται με ορισμένες δαπάνες, το κόστος αυτό διακρίνεται:

1. Στο *κόστος λειτουργίας (operating cost)*, που περιλαμβάνει το σύνολο των εξόδων μιας υπηρεσίας παροχής νερού προκειμένου να λειτουργήσει, π.χ. μισθοί προσωπικού, έξοδα υλικών κ.ά.
2. Στο *κόστος συντήρησης (maintenance cost)*, που περιλαμβάνει το συνολικό κόστος για τη συντήρηση των υπαρχόντων και των νέων περιουσιακών στοιχείων της υπηρεσίας παροχής νερού σε καλή κατάσταση έως το τέλος της ωφέλιμης ζωής τους.
3. Στο *κόστος διοίκησης (administrative cost)*, που αντιστοιχεί στο σύνολο των εξόδων που σχετίζονται με τη διαχείριση των υδατικών πόρων, π.χ. κόστος παροχής ή ελέγχου των μετρητών, κόστος έρευνας κ.ά.
4. Στο *άλλο άμεσο κόστος (other direct cost)*, που περιλαμβάνει κυρίως έξοδα οφειλόμενα σε απώλειες της παραγωγής εξαιτίας περιοριστικών μέτρων, π.χ. μείωση της γεωργικής παραγωγής εξαιτίας της δέσμευσης μιας περιοχής για τα έργα υποδομής.
5. Στο *κόστος κεφαλαίου (capital charge)*, που διακρίνεται σε α) *κόστος νέων επενδύσεων και των σχετικών με αυτές εξόδων*, π.χ. νόμιμοι φόροι, έξοδα έναρξης, έξοδα προετοιμασίας, β) *το κόστος της απόσβεσης των περιουσιακών στοιχείων της υπηρεσίας παροχής νερού για τη μελλοντική αντικατάστασή τους*, και γ) *το κόστος ευκαιρίας του κεφαλαίου*, δηλαδή η διαφορά μεταξύ των κερδών του από την παρούσα χρήση του κεφαλαίου και την αμέσως επόμενη εναλλακτική.

Προκειμένου να υπολογιστεί το κόστος λειτουργίας, παρακολούθησης και διαχείρισης μιας επιχείρησης παροχής νερού οι σχετικές πληροφορίες αντλούνται από τον ισολογισμό και το λογαριασμό εσόδων - εξόδων της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου. Σε αυτούς αναφέρονται αναλυτικά το λειτουργικό και διαχειριστικό κόστος της επιχείρησης, οι αποσβέσεις, οι φόροι και τα τέλη. Καθώς το άλλο άμεσο κόστος αναφέρεται στις απώλειες στην γεωργική παραγωγή, είναι δυνατό να υπολογισθεί

από τον πολλαπλασιασμό της ποσότητας του παραγόμενου προϊόντος που χάθηκε επί την τιμή πώλησής του.

Επίσης, το κόστος των νέων επενδύσεων και των σχετικών με αυτές εξόδων υπολογίζεται με τη μέθοδο του Ετήσιου Ισοδύναμου Κόστους. Η μέθοδος αυτή επιτρέπει τη μετατροπή της Καθαρής Παρούσας Αξίας (Κ.Π.Α. - Net Present Value, NPV) μιας νέας επένδυσης σε ένα ετήσιο ποσό ή ενοίκιο ίδιας αξίας. Για να γίνει η μετατροπή αυτή απαιτείται η καταγραφή του κόστους των νέων επενδύσεων και του χρόνου που αυτές συνέβησαν, ο υπολογισμός της Κ.Π.Α. των επενδύσεων με τη χρήση του προεξοφλητικού επιτοκίου και η μετατροπή της στο Ετήσιο Ισοδύναμο Κόστος (Annual Equivalent Cost, AEC) γίνεται με τη βοήθεια της:

$$AEC = \frac{NPV * i}{(1 - (1 + i)^{-lifetime})} \quad (1)$$

όπου:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{PV_n}{(1 + i)^n}, \text{ η Καθαρή Παρούσα Αξία}$$

$i$  το επιτόκιο

$lifetime$  η διάρκεια ζωής του κεφαλαιουχικού εξοπλισμού.

Επιπλέον, το κόστος της απόσβεσης των πάγιων περιουσιακών στοιχείων της υπηρεσίας παροχής νερού αντιπροσωπεύει τη μείωση της αξίας τους ως συνέπεια λειτουργικής φθοράς, οικονομικής απαξίωσης ή απλής παρόδου του χρόνου. Ο υπολογισμός του κόστους αυτού μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους:

1. να ληφθεί από τον ισολογισμό
2. με τη μέθοδο υπολογισμού σταθερής απόσβεσης, σύμφωνα με την οποία, η απόσβεση ισούται με την αξία απόκτησης του πάγιου περιουσιακού στοιχείου πολλαπλασιασμένη με το συντελεστή απόσβεσης<sup>7</sup>

<sup>7</sup> Οι συντελεστές απόσβεσης της αξίας των πάγιων περιουσιακών στοιχείων ορίζονται βάσει του Π.Δ. 299/4-11-2003 (ΦΕΚ 255/4.11.2003). Σύμφωνα με το άρθρο 31 του Ν.2238/1994, για τον υπολογισμό των αποσβέσεων στα πάγια περιουσιακά στοιχεία που ανήκουν στην ίδια κατηγορία, οι επιχειρήσεις μπορούν να επιλέγουν και να χρησιμοποιούν είτε τον κατώτερο είτε τον ανώτερο συντελεστή απόσβεσης είτε οποιονδήποτε άλλο ενδιάμεσο συντελεστή μεταξύ κατώτερου και ανώτερου και με την προϋπόθεση ότι ο συντελεστής που επιλέγεται θα χρησιμοποιείται σταθερά μέχρι την πλήρη απόσβεση των πιο πάνω παγίων στοιχείων.

Σε μια περισσότερο απλοποιημένη προσέγγιση (ENVECO, *et al.*, 2009), η λογιστική διάρκεια ζωής των παγίων περιουσιακών στοιχείων λαμβάνεται ίση με 60 έτη για έργα αποχέτευσης, 70 έτη για τα έργα ύδρευσης και 80 έτη για τα έργα άρδευσης. Επομένως, οι αντίστοιχοι συντελεστές απόσβεσης είναι 0,017 (1/60) για έργα αποχέτευσης, 0,014 (1/70) για έργα ύδρευσης και 0,013 (1/80) για έργα άρδευσης. Μια πιο συντηρητική και ρεαλιστική εκδοχή είναι η λογιστική διάρκεια ζωής των παγίων περιουσιακών στοιχείων να ληφθεί ίση με 30 έως 50 έτη.

3. με τη μέθοδο υπολογισμού φθίνουσας απόσβεσης, σύμφωνα με την οποία, η απόσβεση ισούται με την αξία απόκτησης του πάγιου περιουσιακού στοιχείου πολλαπλασιασμένη με το συντελεστή απόσβεσης και με το τρία (3). Η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοστεί για τα μηχανήματα και το λοιπό μηχανολογικό και τεχνικό εξοπλισμό των επιχειρήσεων παροχής νερού.

Τέλος, όσον αφορά το κόστος ευκαιρίας του κεφαλαίου, αυτό αναφέρεται στο διαφυγόν κέρδος που προκύπτει όταν το κεφάλαιο απορροφάται από μια χρήση αντί της αμέσως επόμενης καλύτερης εναλλακτικής του. Ο υπολογισμός του είναι δύσκολος και εξαρτάται από τα κέρδη των εναλλακτικών επενδύσεων. Ένας πρακτικός τρόπος υπολογισμού του είναι η εξίσωσή του με την απόδοση των μακροπρόθεσμων ομολόγων του κράτους, η οποία διαμορφώνεται κυρίως βάσει των μέσων επιπέδων επιτοκίων στην ευρωζώνη, προσαυξημένα με τα περιθώρια (spreads) που ισχύουν για το κάθε κράτος (ENVECO, DRAXIS et al. 2009).

Συνολικά, το χρηματοοικονομικό κόστος υπολογίζεται ως το άθροισμα των ετήσιων εξόδων και σύμφωνα με τον τύπο:

$$T_{financial}C = OMC + AdmC + AEC + DepreciationC \quad (2)$$

όπου:

$T_{financial}C$  το συνολικό χρηματοοικονομικό κόστος του νερού

$OMC$  το ετήσιο κόστος λειτουργίας και παρακολούθησης της επιχείρησης

$AdmC$  το κόστος διαχείρισης της επιχείρησης

$AEC$  το ετήσιο ισοδύναμο κόστος κεφαλαίου της επιχείρησης

$DepreciationC$  το κόστος της απόσβεσης των πάγιων περιουσιακών στοιχείων της επιχείρησης.

Όπως η παραπάνω ανάλυση δείχνει και πολλοί υποστηρίζουν (Easter and Liu 2005), το χρηματοοικονομικό κόστος είναι εύκολα υπολογίσιμο και γι' αυτό στη διαδικασία ανάκτησης του συνολικού κόστους του αρδευτικού νερού είναι το μόνο που λαμβάνεται υπόψη. Αντιθέτως, ο υπολογισμός του περιβαλλοντικού και φυσικών πόρων κόστους, περιγράφεται από πολλούς (Heinz, Pulido-Velazquez et al. 2007; Ward and Pulido-Velazquez 2009) ως το πλέον προκλητικό σημείο της Οδηγίας – πλαίσιο.

Εξίσου ενδιαφέρουσα είναι η διάκριση του χρηματοοικονομικού κόστους σε σταθερό και μεταβλητό, η οποία αν και δε σχετίζεται με την ανάκτηση του πλήρους κόστους του νερού, κρίνεται καθοριστική για την ανάλυση των μεθόδων τιμολόγησής

του που θα ακολουθήσει. Το μεν σταθερό είναι ανεξάρτητο της καταναλισκόμενης ποσότητας νερού και οφείλεται στη χρήση των σταθερών συντελεστών παραγωγής. Συγκεκριμένα, περιλαμβάνει το ενοίκιο, την αμοιβή της εργασίας του μόνιμου προσωπικού, διάφορα πάγια τέλη, τις επενδύσεις σε αρδευτικά συστήματα και τις ετήσιες δαπάνες (απόσβεση, ασφάλιστρα, συντήρηση και τόκοι) των διαφόρων μορφών του σταθερού κεφαλαίου. Το δε μεταβλητό κόστος είναι το σύνολο της αμοιβής ή της αξίας των χρησιμοποιούμενων μεταβλητών συντελεστών για την παροχή του νερού. Περιλαμβάνει την αμοιβή της εργασίας του εποχικού προσωπικού, αμοιβές και έξοδα τρίτων, την αξία των πρώτων υλών, τις διάφορες τρέχουσες δαπάνες, φόρους και τέλη και γενικά όλα εκείνα τα έξοδα της υπηρεσίας παροχής του νερού που ποικίλουν ανάλογα με την καταναλισκόμενη ποσότητα νερού.

Ωστόσο, το χρηματοοικονομικό κόστος του νερού δεν περιλαμβάνει τις παρελθούσες επενδύσεις στα αρδευτικά δίκτυα, καθώς αυτές αποτελούν «ξεπερασμένα έξοδα (sunk costs)»<sup>8</sup> (Molle and Berkoff 2007). Στο ίδιο συμφωνούν και οι Ward & Michelsen (2002), που εξηγούν την οικονομική αρχή για την παράβλεψη των «ξεπερασμένων εξόδων» στην εκτίμηση του κόστους του νερού. Αναλυτικότερα, οι ίδιοι Ward & Michelsen (2002) αναφέρουν πως τα έξοδα αυτά είναι ανεξάρτητα των μελλοντικών αποφάσεων και παραλείπονται στο σχεδιασμό πολιτικής για το νερό. Οι μελλοντικές αποφάσεις στηρίζονται στα υπολογιζόμενα επιπλέον έξοδα της προτεινόμενης ενέργειας, που τείνουν να εξισορροπηθούν από τα επιπλέον οφέλη της. Ουσιαστικά, το σύνολο του κόστους και του οφέλους που υπάρχει με και χωρίς την προτεινόμενη ενέργεια πρέπει να παραλείπεται και οι μελλοντικές αποφάσεις να στηρίζονται εξ ολοκλήρου στη διαφορά κόστους οφέλους που η εξεταζόμενη ενέργεια δημιουργεί. Όσον αφορά στην πολιτική του νερού, στην περίπτωση της πολύ βραχυχρόνιας<sup>9</sup> περιόδου προσαρμογής, το συνολικό κόστος πριν

---

<sup>8</sup> Αυτά περιλαμβάνουν παρελθούσες υφιστάμενες δαπάνες, που δεν ανακτώνται και στηρίζονται στην οικονομική αρχή πως όποια δαπάνη αφορά στο παρελθόν πρέπει να αγνοείται. Για το λόγο αυτό τα ξεπερασμένα έξοδα δε μπορούν να ανακτηθούν από μια μελλοντική ενέργεια.

<sup>9</sup> Κατά την περίοδο αυτή η εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού υπολογίζεται για την αρδευτική περίοδο μετά τη σπορά και τα έξοδα προετοιμασίας του εδάφους, σποράς, λίπανσης, καλλιέργειας και εργατικού δυναμικού θεωρούνται ξεπερασμένα και δεν ανακτώνται. Μιας και το κόστος αυτό δε λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό της αξίας του νερού, αυτή είναι υψηλότερη σε σχέση με τη βραχυχρόνια και μακροχρόνια περίοδο. Η αξία του νερού στην πολύ βραχυχρόνια περίοδο ισούται με τη συνολική ακαθάριστη αξία του παραγόμενου προϊόντος μειωμένη κατά τα συνολικά έξοδα μετά τη σπορά.

και κατά τη σπορά και του αντίστοιχου απασχλούμενου εργατικού δυναμικού παραβλέπεται, καθώς θεωρείται ξεπερασμένο.

### **3.3 Περιβαλλοντικό κόστος αρδευτικού νερού και τρόποι υπολογισμού του**

Το *περιβαλλοντικό κόστος* του αρδευτικού νερού αντιπροσωπεύει το συνολικό κόστος της ζημιάς που προκαλείται στο περιβάλλον και στα οικοσυστήματα (π.χ. υπεράντληση, ρύπανση υδάτων, διάβρωση εδαφών) από τις διάφορες χρήσεις του νερού. Οι Baldock, et al. (2000) αναλύουν εκτενώς τις επιπτώσεις αυτές στην Ευρώπη. Ο υπολογισμός του κόστους αυτού, όπως ο Brouwer (2004) προτείνει και οι Riegels, et al. (2011) αναφέρουν, συνίσταται στη μέτρηση του χαμένου περιβαλλοντικού οφέλους μέσω μεθόδων εκτίμησης των περιβαλλοντικών αγαθών. Οι μέθοδοι αυτές διακρίνονται σε δυο κατηγορίες:

1. στις μεθόδους που αποκαλύπτουν την προτίμηση ή βασίζονται στην αγορά (*revealed preference or market-based methods*), και
2. στις μεθόδους που εκμαιεύουν τη διάθεση των ατόμων για πληρωμή ή αποζημίωση για υποθετικές αλλαγές της ποιότητας του περιβάλλοντος (*stated or expressed preference methods*).

#### **3.3.1 Μέθοδοι που αποκαλύπτουν προτίμηση ή βασίζονται στην αγορά**

Οι μέθοδοι αυτές χρησιμοποιούν τις στατιστικές τεχνικές προκειμένου να εξάγουν την προτίμηση των καταναλωτών για τα περιβαλλοντικά αγαθά και στηρίζονται στα πραγματικά έξοδα που κάνουν γι' αυτά. Αναλυτικότερα, η καθαρή επιθυμία πληρωμής ενός μη εμπορεύσιμου περιβαλλοντικού αγαθού εξάγεται από τις διαφορές των δαπανών των εμπορεύσιμων αγαθών. Η επιθυμία αυτή, κατά τον Young (2005), ποικίλει αναλόγως του επιπέδου των περιβαλλοντικών υπηρεσιών υπό σταθερές συνθήκες και μέσω αυτής προκύπτει η αξία των περιβαλλοντικών αγαθών.

Ο ίδιος, (Young 2005), αναφέρει ως κυριότερα είδη των μεθόδων αυτών τα εξής:

1. Μέθοδος κόστους ταξιδιού (Travel Cost Method, TCM) ή μέθοδος κατασκευής μοντέλων σχετικά με τη ζήτηση για αναψυχή (Recreation Demand Models, RDM)
2. Μέθοδος της ωφελιμιστικής τιμολόγησης (Hedonic Pricing Method, HPM)
3. Μέθοδος της αμυντικής συμπεριφοράς (Defensive or Averting Behavior Method)
4. Μέθοδος του κόστους καταστροφής ενός περιβαλλοντικού αγαθού (Damage Cost Method)
5. Μέθοδος των χαμένων αποτελεσμάτων (Lost Output Approach) (Pearce 2006).

### 3.3.1.1 Η μέθοδος κόστους ταξιδιού (Travel Cost Method, TCM) ή μέθοδος κατασκευής μοντέλων σχετικά με τη ζήτηση για αναψυχή (Recreation Demand Models, RDM)

Η μέθοδος αυτή, χρησιμοποιεί το κόστος του ταξιδιού ή της πρόσβασης σε ένα χώρο αναψυχής ως μέτρο της αξίας των περιβαλλοντικών αγαθών αυτού. Η εκτίμηση της αξίας αυτής στηρίζεται στην κατασκευή μοντέλων σχετικά με τη ζήτηση για αναψυχή και περιστρέφεται γύρω από την ιδέα πως η βελτίωση / επιδείνωση της ποιότητας του ενισχύει / μειώνει τις δυνατότητες αναψυχής. Σύμφωνα με το συνοδευτικό έγγραφο (WATECO 2003) της Οδηγίας 2000/60/EK, τα παραπάνω μοντέλα εστιάζουν στις επιλογές για ταξίδια ή επισκέψεις σε περιοχές για λόγους αναψυχής και μετρούν το επίπεδο ικανοποίησης, τον χρόνο και τα χρήματα που δαπανώνται σε σύγκριση με τη δραστηριότητα, υποθέτοντας πως ο καταναλωτής τα συσχετίζει με την πρόσβαση στα περιβαλλοντικά αγαθά της περιοχής.

Ο Young (2005) διακρίνει δυο διαφορετικές περιπτώσεις: α) την *ανεξάρτητη μέθοδο κόστους ταξιδιού*, και β) τη *μέθοδο κόστους ταξιδιού ανά ζώνη*. Αν και οι δύο μετρούν τη ζήτηση των περιβαλλοντικών αγαθών με τον ετήσιο αριθμό ταξιδιών κατά κεφαλή, η μεν πρώτη εντός ενός χώρου αναψυχής, η δε δεύτερη εντός μιας συγκεκριμένης γεωγραφικής ζώνης<sup>10</sup>. Φυσικά, ο αριθμός των επισκέψεων επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως το κόστος και η διάρκεια ταξιδιού, η ποιότητα του χώρου αναψυχής, ο διαθέσιμος χρόνος του επισκέπτη, το εισόδημα, το

<sup>10</sup> Οι ζώνες καθορίζονται με τη διαίρεση των περιοχών γύρω από το χώρο αναψυχής με τέτοιο τρόπο ώστε το μέσο κόστος ταξιδιού να είναι ίσο σε κάθε ζώνη. Αυτό επιτυγχάνεται αν οι ζώνες χαραχθούν με τέτοιο τρόπο ώστε να αποτελούν ομόκεντρους κύκλους γύρω από το χώρο αναψυχής ή με βάση τις χιλιομετρικές αποστάσεις ή το χρόνο ταξιδιού.



κόστος ευκαιρίας του χρόνου ταξιδιού και τη διαθεσιμότητα υποκατάστατων χώρων αναψυχής.

Όσον αφορά στο νερό, «η ποιότητα του χώρου, του οποίου αποτελεί τμήμα, αντικατοπτρίζει την ποιότητα και την ποσότητα του νερού» (Young 2005). Προκειμένου να υπολογιστεί η αξία του νερού, εκτιμάται η συνεισφορά του στην συνολική αξία του χώρου μέσω της *πολλαπλής ανάλυσης του χώρου αναψυχής (multiple site analysis)*.

Αν και η μέθοδος κόστους ταξιδιού θεωρείται πως μετρά την προτίμηση για ένα περιβαλλοντικό αγαθό αποτελεσματικά, η χρήση της στον υπολογισμό της αξίας του νερού κρίνεται από τον Young (2005) ιδιαίτερος προβληματική. Αυτό έγκειται στο ότι τα αποτελέσματά της δεν είναι άμεσα αξιοποιήσιμα, καθώς απαιτούν τη χρήση πολύπλοκων οικονομετρικών μεθόδων, η δαπάνη διεξαγωγής της έρευνας είναι ιδιαίτερος υψηλή και στηρίζεται στη μέτρηση της πρότερης εμπειρίας των επισκεπτών και όχι της μελλοντικής.

### 3.3.1.2 Η μέθοδος της ωφελμιστικής τιμολόγησης (*Hedonic Pricing Method, HPM*)

Η παραπάνω μέθοδος στηρίζει τον υπολογισμό της αξίας ενός μη εμπορεύσιμου αγαθού στην παρατήρηση ενός σχετικού με αυτό εμπορεύσιμου, δια μέσω του οποίου το πρώτο τίθεται εμμέσως σε αγοραπωλησία (Pearce 2006). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, το κάθε εμπορεύσιμο αγαθό έχει κάποια χαρακτηριστικά για τα οποία ο καταναλωτής εκφράζει οριακή επιθυμία να πληρώσει. Η τιμή, λοιπόν, του αγαθού συναρτάται της επιθυμίας για πληρωμή καθενός εξ αυτών και σύμφωνα με τον Young (2005) προσδιορίζεται με στατιστικές μεθόδους.

Όσον αφορά στα περιβαλλοντικά αγαθά, η μέθοδος αυτή συναρτά την αξία τους με τα δεδομένα στην αγορά κατοικιών. Εντούτοις, η εκτίμηση της αξίας των φυσικών πόρων με τη μέθοδο αυτή, απαιτεί χρόνο, χρήμα και ικανότητες χειρισμού οικονομετρικών υποδειγμάτων (Merrett 1997; Young 2005; Pearce 2006). Επίσης, ο προσδιορισμός του μεγέθους της αγοράς κατοικίας θεωρείται καθοριστικός και κατά τον Palmquist (1992) είναι προτιμότερο να υποεκτιμηθεί η έκταση των αγορών παρά να υπερεκτιμηθεί. Τέλος, ο Young (2005) συμπληρώνει πως η χρήση της μεθόδου δεν προτείνεται στις αναπτυσσόμενες χώρες, καθώς οι αγορές κατοικιών δε λειτουργούν αποτελεσματικά και τα δεδομένα κρίνονται ανεπαρκή.

### 3.3.1.3 Η μέθοδος της αμυντικής συμπεριφοράς (*Defensive or Averting Behavior Method*)

Η μέθοδος αυτή αναπτύσσεται γύρω από την ιδέα ότι οι άνθρωποι υπόκεινται σε ορισμένα έξοδα προκειμένου να αποφύγουν κάποιες αρνητικές περιβαλλοντικές συνέπειες. Όπως οι Turner, et al. (2004) επισημαίνουν, η τέλεια υποκατάσταση αποτελεί τη βασική αρχή της. Αναλυτικότερα, η τεχνική αυτή εστιάζει στον υπολογισμό του κόστους αγοράς ενός υποκατάστατου αγαθού εξαιτίας της περιβαλλοντικής αλλαγής. Η αξία ανά μονάδα αλλαγής του περιβαλλοντικού χαρακτηριστικού υπολογίζεται βάσει του οριακού ρυθμού υποκατάστασης μεταξύ του περιβαλλοντικού αγαθού και του υποκατάστατου χρησιμοποιώντας γνωστά ή παρατηρήσιμα δεδομένα καταναλωσης. Ο οριακός λόγος υποκατάστασης πολλαπλασιάζεται με την τιμή του υποκατάστατου αγαθού, από όπου προκύπτει η αξία ανά μονάδα αλλαγής του περιβαλλοντικού χαρακτηριστικού. Κατά τους Whitehead & Houtven (1997) η μέθοδος αυτή αποτελεί ένα σωστό μέτρο της επιθυμίας για πληρωμή (Willingness To Pay).

Ωστόσο, η μέθοδος της αμυντικής συμπεριφοράς ενέχει και ορισμένα μειονεκτήματα. Πρώτον, οι παρατηρούμενες αλλαγές στην αμυντική συμπεριφορά ως αντίδραση στην αλλαγή της ποιότητας του περιβαλλοντικού αγαθού δεν είναι απαραίτητο ότι θα το αποκαταστήσουν στην πρότερη κατάστασή του (Whitehead and Houtven 1997), καθώς τα δυο αγαθά δεν είναι τέλεια υποκατάστατα (Turner, Georgiou et al. 2004) και κατά τον Pearce (2006) κανένα εμπορεύσιμο αγαθό δεν μπορεί να εξαλείψει πλήρως τις όποιες αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Δεύτερον, οι άνθρωποι μπορεί να υιοθετήσουν περισσότερες της μιας δράσεις προκειμένου να αποφύγουν μια περιβαλλοντική αλλαγή ή σύμφωνα με τον Pearce (2006) το ίδιο εμπορεύσιμο αγαθό να εξυπηρετεί την άρση περισσότερων περιβαλλοντικών επιπτώσεων, με αποτέλεσμα η επιθυμία για πληρωμή να υποεκτιμάται ή να υπερεκτιμάται. Επίσης, στην περίπτωση που η αλλαγή του περιβαλλοντικού αγαθού επιφέρει ταυτοχρόνως κι άλλες αλλαγές στη συμπεριφορά των ατόμων, τα έξοδα της αμυντικής συμπεριφοράς δεν αποτυπώνονται πλήρως με αποτέλεσμα η επιθυμία για πληρωμή να υποεκτιμάται (Whitehead and Houtven 1997). Παρά ταύτα η μέθοδος αυτή μπορεί να υπολογίσει τα κατώτερα και ανώτερα όρια της επιθυμίας για πληρωμή βασιζόμενη σύμφωνα με τους Cropper & Freeman (1991) στα εξής δεδομένα: μετρήσεις της σοβαρότητας, συχνότητας και διάρκειας

των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, επίπεδα έκθεσης στη ρύπανση για κάθε εμπλεκόμενο, δεδομένα για πιθανή αμυντική συμπεριφορά και αντίστοιχου κόστους και σχετικά δημογραφικά δεδομένα. Τρίτον, η αμυντική συμπεριφορά μπορεί να έχει ταυτόχρονα και ευεργετικά αποτελέσματα που δε λαμβάνονται υπόψη, όπως για παράδειγμα η αγορά εμφιαλωμένου νερού προκειμένου να αποφευχθεί η κατανάλωση ρυπασμένου νερού ταυτόχρονα εξασφαλίζει ανώτερης γεύσης προϊόν (Turner, Georgiou et al. 2004)

Παρά το γεγονός πως αυτή η μέθοδος κυρίως εφαρμόζεται στην εξέταση της ανθρώπινης υγείας στις όποιες περιβαλλοντικές αλλαγές, εντούτοις οι Abdalla, et al. (1992) τη χρησιμοποίησαν για να διερευνήσουν τις αντιδράσεις των καταναλωτών στη ρύπανση του υπόγειου νερού. Επίσης, υιοθετήθηκε από ένα ερευνητικό πρόγραμμα (WaterStrategyMan\_Project 2004) προκειμένου να υπολογίσει το περιβαλλοντικό κόστος του νερού το οποίο και εξισώθηκε με το κόστος πρόληψης ή μετριασμού των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την εφαρμογή άρδευσης.

#### *3.3.1.4 Η μέθοδος του κόστους υποβάθμισης ενός περιβαλλοντικού αγαθού (Damage Cost Method)*

Η μέθοδος αυτή μοιάζει με την προηγούμενη, με τη διαφορά πως εδώ υπολογίζεται η επιθυμία για πληρωμή και όχι οι καθεαυτό δαπάνες προκειμένου να αποφευχθούν οι αρνητικές περιβαλλοντικές συνέπειες. Συγκεκριμένα για το νερό εκτιμάται το κόστος που προκαλείται από την υποβάθμιση των βιολογικών ή χημικών χαρακτηριστικών του λόγω ρύπανσής του (Young 2005) και το περιβαλλοντικό κόστος του εξισώνεται με το κόστος αποκατάστασης της ποιότητάς του στην πρότερη «καλή» κατάσταση.

Μια περίπτωση εφαρμογής της παραπάνω μεθόδου αποτελεί η προσέγγιση των ENVECO, et al. (2009) Πιο αναλυτικά, στη μελέτη αυτή το περιβαλλοντικό κόστος εξαιτίας ρύπανσης από οργανικό φορτίο και θρεπτικά εξισώνεται με το χρηματοοικονομικό κόστος παραγωγής ανακυκλωμένου νερού. Αντιστοίχως, το περιβαλλοντικό κόστος εξαιτίας ρύπανσης από ουσίες προτεραιότητας<sup>11</sup> ισούται με το κόστος επεξεργασίας του νερού από βαρέα μέταλλα και / ή φυτοφάρμακα. Τέλος,

---

<sup>11</sup> Όπως αυτές ορίζονται βάσει της Απόφασης 2455/2001/EK και περιλαμβάνουν συνολικά 33 ουσίες ανάμεσα στις οποίες μόλυβδος, υδράργυρος, νικέλιο, κάδμιο και τα παράγωγά τους.

το περιβαλλοντικό κόστος από τη μη ύπαρξη οικολογικής παροχής νερού<sup>12</sup> που χρησιμοποιείται για άρδευση ισούται με το κόστος παραγωγής ανακυκλωμένου νερού.

Άλλη μια εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου αποτελεί η μελέτη των Ando & Khanna (2004), οι οποίοι υπολογίζουν το περιβαλλοντικό κόστος του νερού στην πολιτεία της Minnesota με βάση το κόστος απορρύπανσης του υπόγειου νερού. Τέλος, οι Martinez, et al. (2010) εκτιμούν τη διαφορά του ενεργειακού ισοζυγίου σε ένα υδάτινο σώμα πριν και μετά τη ζημιά και προτείνουν την εκτίμηση του περιβαλλοντικού κόστους εξισώνοντάς το με το κόστος ανάκτησης.

### 3.3.1.5 Η μέθοδος των χαμένων αποτελεσμάτων (*Lost Output Approach*)

Αυτή μοιάζει με τη μέθοδο της αμυντικής συμπεριφοράς ως προς το ότι χρησιμοποιεί σαν μέτρο της αξίας του περιβαλλοντικού αγαθού τις τιμές της αγοράς, χωρίς ωστόσο να απαιτεί πραγματική συναλλαγή δια μέσου της οποίας επιβάλλεται το κόστος των χαμένων κερδών. Αντ' αυτού, όπως ο Pearce (2006) επισημαίνει, ως μέτρο του κόστους λαμβάνεται μια παρατηρούμενη ή υπολογιζόμενη τιμή, η οποία επιβάλλεται στην επικείμενη συναλλαγή. Η μέθοδος στηρίζεται στην αποδόμηση της εκτίμησης των σχέσεων ανάμεσα στις οικονομικές επιπτώσεις και το εκτιμώμενο περιβαλλοντικό αγαθό και κατά τον Pearce (2006) αναφέρονται ως σχέσεις έκθεσης – αντίδρασης που απαιτούν λεπτομερή δεδομένα σχετικά με τις οικονομικές επιπτώσεις και την υπολογιζόμενη φυσική έκθεση. Όπως ο Pearce (2006) αναφέρει, η κύρια δυσκολία της μεθόδου αποτελεί η απουσία αξιόπιστης απόδειξης των διαδοχικών φυσικών σχέσεων. Παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου αποτελεί η ατμοσφαιρική ρύπανση, η οποία συνδέεται με τις αυξημένες ποσότητες όζοντος στο έδαφος, που οδηγούν σε μείωση της γεωργικής παραγωγής. Η αρνητική επίπτωση της ρύπανσης μπορεί να προσδιοριστεί με βάση τη μειωμένη παραγωγή και τις τιμές των γεωργικών προϊόντων. Στην περίπτωση αυτή, δεν απαιτείται εκτίμηση της πολύπλοκης σχέσης μεταξύ επιπέδου όζοντος και οικονομικών επιπτώσεων, καθώς ο υπολογισμός των χαμένων κερδών γίνεται με βάση τα μειωμένα κέρδη των γεωργικών προϊόντων.

---

<sup>12</sup> Η οικολογική παροχή νερού είναι η ποσότητα του νερού που υποχρεωτικά πρέπει να απελευθερώνεται στη λεκάνη αορροής προκειμένου να διατηρηθεί η ισορροπία του οικοσυστήματος. Συνήθως ισούται με το 30% της καλοκαιρινής ποσότητας του νερού στην κοίτη του ποταμού.

### 3.3.2 Μέθοδοι που εκμαιεύουν τη διάθεση των ατόμων για πληρωμή ή αποζημίωση για υποθετικές αλλαγές της ποιότητας του περιβάλλοντος

Οι μέθοδοι που ανήκουν στην κατηγορία αυτή βασίζονται στην άμεση ερώτηση των ατόμων σχετικά με τα χρηματικά ποσά που θα κατέβαλαν για υποθετική βελτίωση ή αποφυγή της επιδείνωσης της κατάστασης ενός περιβαλλοντικού αγαθού. Σύμφωνα με τον Pearce (2006) η εφαρμογή τους στηρίζεται σε κατάλληλα διαμορφωμένα ερωτηματολόγια, που περιγράφουν την υποθετική αγορά στην οποία διακινείται το υπό εξέταση αγαθό. Η επιλογή των ερωτηθέντων είναι τυχαία και οι ερωτήσεις υποβάλλονται λαμβάνοντας την ύπαρξη της αγοράς ως πραγματική.

Τα κυριότερα είδη των παραπάνω μεθόδων περιλαμβάνουν τα εξής:

1. Μέθοδος αποτίμησης σε υποθετικές συνθήκες (Contingent Valuation Method, CVM)
2. Μέθοδος της δήλωσης των προτιμήσεων μέσω επιλογών (Choice Modeling, CM, or Conjoint Analysis or Stated Preference):
  - i. Μέθοδος της υποθετικής κατάταξης (Contingent Ranking, CR)
  - ii. Μέθοδος του πειράματος επιλογής (Choice Experiment, CE)
  - iii. Μέθοδος της υποθετικής βαθμολόγησης (Contingent Rating)
  - iv. Μέθοδος των συνδυαστικών συγκρίσεων ή των βαθμολογημένων συγκρίσεων (Paired comparisons or graded pairs or rated pairs)

#### 3.3.2.1 *Η μέθοδος αποτίμησης σε υποθετικές συνθήκες (Contingent Valuation Method, CVM)*

Η μέθοδος αυτή θεωρείται ως η πλέον διαδεδομένη για να εκτιμήσει την επιθυμία για πληρωμή ενός ατόμου προκειμένου να μετακινηθεί από μια δεδομένη κατάσταση σε μια υποθετικά πιο επιθυμητή μέσω ερωτήσεων. Η επιτυχία της μεθόδου βασίζεται κυρίως στο σχεδιασμό του κατάλληλου ερωτηματολογίου, που κατά τους Turner, et al. (2004) περιλαμβάνει τρία σημεία. Πρώτον, το ερωτηματολόγιο παρέχει τις απαραίτητες εξηγήσεις σχετικά με το εξεταζόμενο περιβαλλοντικό θέμα καθώς και περαιτέρω πληροφορίες σχετικά με τις αλλαγές στην ποιότητα του περιβάλλοντος. Δεύτερον, περιλαμβάνει ερωτήσεις σχετικά με την επιθυμία για πληρωμή ή αποδοχή (Willingness To Accept). Τρίτον, περιέχει ερωτήσεις σχετικά με την κοινωνική και οικονομική θέση των ερωτώμενων, που

επιτρέπουν τον έλεγχο της αξιοπιστίας των απαντήσεων σχετικά με την επιθυμία για πληρωμή ή αποδοχή. Όπως ο Pearce (2006) επισημαίνει η πρόκληση βρίσκεται στο να θεωρηθεί το εξεταζόμενο σενάριο πλήρως κατανοητό, αληθοφανές και σημαντικό στους ερωτώμενους προκειμένου να δώσουν αξιόπιστες απαντήσεις.

Πολλοί ερευνητές (Young 2005; Brouwer 2006; Pearce 2006) συνηγορούν πως το κύριο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι πως επιτρέπει την εκτίμηση της επιθυμίας για πληρωμή για όλα σχεδόν τα μη αγοραία – περιβαλλοντικά αγαθά. Αντιθέτως, βασικό μειονέκτημά της αποτελεί το ότι εξάγει συμπεράσματα για τιμές που δεν αναφέρονται σε παρατηρούμενες ή προβλεπόμενες συναλλαγές στην αγορά, αλλά σε υποθετικές (Merrett 1997) γεγονόσ που οδηγεί πολλές φορές σε μεροληπτικά αποτελέσματα (Pearce 2006). Επιπλέον, η υποθετική φύση των αλλαγών και των επιπτώσεών τους προκαλεί προβλήματα κατανόησης στους ερωτώμενους (Pearce 2006), με αποτέλεσμα τα ποσοστά ανταπόκρισης συχνά να είναι χαμηλά (Merrett 1997). Τέλος, η μέθοδος ενέχει πολλά από τα μειονεκτήματα που προέρχονται από τη χρήση ερωτηματολογίων, όπως η μη δυνατότητα αποσαφήνισης των ερωτήσεων, η μη απάντηση ή αναληθής απάντηση των ερωτώμενων κ.ά.

Παρά τα όποια μειονεκτήματα της μεθόδου αυτής, αρκετοί είναι οι ερευνητές που τη χρησιμοποίησαν προκειμένου να εκτιμήσουν την επιθυμία για πληρωμή προκειμένου για αλλαγές στην ποιότητα του νερού. Για παράδειγμα, οι Sun, et al. (1992) υπολόγισαν την επιθυμία για πληρωμή προκειμένου να αποφευχθεί η ρύπανση του υπόγειου νερού από τα φυτοφάρμακα και τα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται στη γεωργία. Επίσης, οι Boyle, et al. (1994) παρουσιάζουν μια μετα-ανάλυση των αποτελεσμάτων αποτίμησης σε υποθετικές συνθήκες και μετρούν την επιθυμία πληρωμής για την αποφυγή ρύπανσης του υπόγειου νερού, που όπως επισημαίνουν παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις μεταξύ των διαφορετικών εφαρμογών της. Επιπλέον, οι Birol, et al. (2006) χρησιμοποίησαν τη μέθοδο αυτή στην αποτίμηση του περιβαλλοντικού κόστους του νερού.

### 3.3.2.2 *Η μέθοδος της δήλωσης των προτιμήσεων μέσω επιλογών (Choice Modeling or Conjoint Analysis or Stated Preference)*

Κεντρική ιδέα της μεθόδου αυτής αποτελεί η παρουσίαση ενός συνόλου δράσεων για κάθε μια εκ των οποίων περιγράφονται το κόστος, το σύνολο των χαρακτηριστικών και των συνεπειών που προκύπτουν από την επιλογή της και η

κατάταξή τους με βάση την πλέον προτιμητέα. Σύμφωνα με τους Blamey, et al. (1999), μέσω της τεχνικής αυτής, ουσιαστικά, εκτιμάται η χρησιμότητα / αξία κάθε μιας από τις εναλλακτικές δράσεις.

Τα στάδια εφαρμογής της μεθόδου δήλωσης προτιμήσεων μέσω επιλογών κατά τους Hanley, et al. (2001) είναι τα εξής έξι:

α) επιλογή των χαρακτηριστικών του υπό εξέταση αγαθού. Αυτή βασίζεται στην ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας, στην άποψη των εμπλεκομένων στην έρευνα ατόμων καθώς και των επιστημόνων μέσω των οποίων προσδιορίζονται τα χαρακτηριστικά που επηρεάζονται από την εφαρμοζόμενη πολιτική.

β) εκτίμηση των επιπέδων των χαρακτηριστικών. Αυτά πρέπει να είναι εφικτά, ρεαλιστικά και να εκτείνονται σύμφωνα με το εύρος των επιθυμιών των ερωτώμενων. Η εκλογή των επιπέδων βασίζεται σε ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας, απόψεις ειδικών, πιλοτικές μελέτες και στα χαρακτηριστικά των ερωτώμενων. Συνήθως ανάμεσα στα επίπεδα περιλαμβάνεται και το βασικό (αρχική κατάσταση ερωτώμενων).

γ) επιλογή του πειραματικού σχεδίου. Η επιλογή της κατάλληλης στατιστικής αναφέρεται στο συνδυασμό των επιπέδων των χαρακτηριστικών σε ένα αριθμό εναλλακτικών σεναρίων που παρουσιάζονται στους ερωτώμενους. Τα *πολυπαραγοντικά* σχέδια επιτρέπουν την εκτίμηση των επιπτώσεων των χαρακτηριστικών ανάλογα με τις επιλογές: περιλαμβάνει τις επιπτώσεις κάθε χαρακτηριστικού ξεχωριστά και το βαθμό στον οποίο η κάθε συμπεριφορά συνδέεται με πολλά χαρακτηριστικά (αλληλεπίδραση). Τα *ολιγοπαραγοντικά* σχέδια μειώνουν τον αριθμό των σεναρίων, ωστόσο μειώνεται και η αποτελεσματικότητα τους στην εκτίμηση της επιθυμίας για πληρωμή.

δ) ομαδοποίηση των επιλογών προκειμένου να παρουσιαστούν στους ερωτώμενους.

ε) μέτρηση των προτιμήσεων μέσω επιλογής της κατάλληλης τεχνικής: πειράματος επιλογής, κατάταξης ή βαθμολόγησης.

στ) διαδικασία εκτίμησης μέσω παλινδρόμησης με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων ή της μέγιστης πιθανότητας (logit, probit, ordered logit, nested logit, panel data models, κ.ά.).

Οι διαφορετικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται διαφέρουν ως προς τον τρόπο παράθεσης των απαντήσεων, τις χρησιμοποιούμενες στατιστικές μεθόδους και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων (Blamey, Gordon et al. 1999). Οι κύριες παραλλαγές της, λοιπόν, είναι: α) η υποθετική κατάταξη, β) τα πειράματα επιλογής, γ) η

υποθετική βαθμολόγηση και δ) οι συνδυαστικές συγκρίσεις. Όπως ο Pearce (2006) αναφέρει, οι τεχνικές αυτές διαφέρουν ως προς την ποιότητα των πληροφοριών που εκμαιεύουν, το βαθμό πολυπλοκότητας και το βαθμό σύγκλισης των υπολογισμών της επιθυμίας για πληρωμή με τα συνήθη μέτρα μεταβολής της ευημερίας.

Πολλοί υποστηρίζουν (Young 2005; Pearce 2006) πως η μέθοδος της δήλωσης των προτιμήσεων μέσω επιλογών πλεονεκτεί έναντι της μεθόδου αποτίμησης σε υποθετικές συνθήκες. Παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου αυτής αποτελεί η εργασία των Blamey, et al. (1999), οι οποίοι προσπαθούν να εκτιμήσουν τις προτιμήσεις των ερωτώμενων όπως αυτές διαμορφώνονται ανάλογα με τις διαφορετικές εναλλακτικές επιλογές προσφοράς νερού (αύξηση προσφοράς, μείωση ζήτησης και συνδυασμός των δυο).

#### 3.3.2.2.1 Η μέθοδος της υποθετικής κατάταξης (Contingent Ranking, CR)

Η μέθοδος αυτή, όπως το όνομά της αποκαλύπτει, ζητά από τους ερωτώμενους να κατατάξουν κατά σειρά προτίμησης διάφορες εναλλακτικές επιλογές (συμπεριλαμβανομένου και του βασικού σεναρίου), που διαφέρουν ως προς ορισμένα χαρακτηριστικά και την τιμή τους και μοιάζουν όμοιες στον ερωτώμενο. Ουσιαστικά, μπορεί να ιδωθεί ως μια διαδικασία διαδοχικών επιλογών, όπου οι ερωτώμενοι πρώτα επιλέγουν την πλέον προτιμώμενη κατάσταση, την εξαιρούν από το σύνολο των επιλογών, προσδιορίζουν την επικρατέστερη του νέου συνόλου κ.ο.κ. Στην περίπτωση της επιλογής του βασικού σεναρίου, η εκτίμηση της ευημερίας δεν είναι ακριβής (Hanley, Mourato et al. 2001). Καθώς, δηλαδή, το βασικό σενάριο επιλέγεται και άρα αποκλείεται από τις επόμενες επιλογές, όπως αυτές παρουσιάζονται στον ερωτώμενο, δεν υπάρχει πληροφόρηση σχετικά με την πραγματική προτίμηση των ερωτώμενων, αλλά μιας υποθετικής όπως προκύπτει βάσει των επιλογών που απομένουν. Στην περίπτωση επιλογής του βασικού σεναρίου, σύμφωνα με τους Hanley, et al. (2001) όλα τα υπόλοιπα σενάρια θα πρέπει να απομακρύνονται από τη διαδικασία εκτίμησης.

Κατά τους Whitehead & Houtven (1997) η πλήρης κατάταξη των επιλογών αποτελεί δύσκολη διαδικασία, καθώς τα χρησιμοποιούμενα στατιστικά μοντέλα συχνά αποτελούν φτωχές απαραστάσεις της πραγματικότητας που καταλήγουν σε ανακριβείς υπολογισμούς της αξίας του περιβαλλοντικού αγαθού. Επίσης, ο Brouwer (2006) αναφέρει πως παρά την ευρεία εφαρμογή τους, δεν είναι σαφές αν μπορούν να



εφαρμοστούν για περιβαλλοντικά αγαθά και ο Pearce (2006) επισημαίνει δυσκολία στην κατάταξη των επιλογών με πολλά χαρακτηριστικά και πολλά επίπεδα.

Οι Bateman, et al. (2006) επιχειρούν σύγκριση μεταξύ της μεθόδου αποτίμησης σε υποθετικές συνθήκες (CV) και υποθετικής κατάταξης (CR) μέσω της εφαρμογής τους στην εκτίμηση των βελτιώσεων της ποιότητας του νερού ενός ποταμού. Οι ίδιοι καταλήγουν αφενός πως η επιθυμία για πληρωμή που εκτιμάται από τη μέθοδο CR είναι υψηλότερη έναντι της CV καθώς οι ανοικτές ερωτήσεις της CV μεθόδου παράγουν χαμηλότερες τιμές, και αφετέρου πως οι απαντήσεις στη CR μέθοδο είναι σημαντικά περισσότερες καθώς η CV ενέχει τη δυσκολία των ανοικτών ερωτήσεων και της υποθετικής φύσης τους.

#### 3.3.2.2.2 Η μέθοδος του πειράματος επιλογής (Choice Experiment)

Η μέθοδος αυτή ζητά από τους ερωτώμενους να επιλέξουν μεταξύ δυο ή περισσότερων εναλλακτικών καταστάσεων με τα ίδια χαρακτηριστικά, συμπεριλαμβανομένης και της τιμής, αλλά με διαφορετικές διαβαθμίσεις. Ανάμεσα στα εξεταζόμενα σενάρια περιλαμβάνεται και το βασικό σενάριο ή σενάριο «μη αλλαγών» (baseline scenario or status-quo or do-nothing scenario). Κατά τους Hanley, et al. (2001) η ύπαρξη του σεναρίου αυτού εξυπηρετεί προκειμένου να αντικατοπτρίσει την τρέχουσα κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο ερωτώμενος βάσει της οποίας παράγονται συνεπή αποτελέσματα με όρους οικονομικής ευημερίας.

Η κεντρική ιδέα γύρω από την οποία αναπτύσσεται η μέθοδος της υποθετικής κατάταξης ομοιάζει με την αντίστοιχη των πειραμάτων επιλογής. Όμως, η βασική διαφορά μεταξύ των δυο μεθόδων είναι ότι η υποθετική κατάταξη παρέχει πληροφορίες σχετικά με το πώς οι ερωτώμενοι κατατάσσουν όλα τα εναλλακτικά σενάρια. Με άλλα λόγια, η υποθετική κατάταξη είναι δυνατό να αποσυντεθεί σε μια ομάδα πειραμάτων επιλογής. Η υποθετική κατάταξη παρέχει περισσότερες πληροφορίες από ότι τα πειράματα επιλογής και ως εκ τούτου, όπως ο Brouwer (2006) αναφέρει, οδηγεί σε περισσότερο αξιόπιστα και ακριβή αποτελέσματα. Ο ίδιος (Brouwer 2006) καταλήγει πως η εφαρμογή της είναι ευρεία, καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί σχεδόν για κάθε περιβαλλοντικό αγαθό και εξάγει συμπεράσματα για την αξία μη χρήσης του. Στην περίπτωση του νερού οι Martin-Ortega, et al. (2011) χρησιμοποιούν την παραπάνω μέθοδο προκειμένου να υπολογίσουν το περιβαλλοντικό κόστος του. Επίσης και άλλοι ερευνητές (Poirier and Fleuret 2010)

χρησιμοποιούν τη μέθοδο των πειραμάτων επιλογής προκειμένου να εκτιμήσουν τις προτιμήσεις των κατοίκων σε αλλαγές της ποιότητας του νερού σε μια λεκάνη απορροής στη Γαλλία στο πλαίσιο των μέτρων που υιοθετήθηκαν από την εφαρμογή της Οδηγίας 2000/60/EK.

#### 3.3.2.2.3 Η μέθοδος της υποθετικής βαθμολόγησης (Contingent Rating)

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή παρουσιάζεται στους ερωτώμενους ένας αριθμός σεναρίων, τα οποία πρέπει να βαθμολογηθούν ανεξάρτητα σε κλίμακα σημαντικότητας ή αριθμητική. Τα βαθμολογημένα δεδομένα αναλύονται και η κλίμακα σημαντικότητας μετατρέπεται σε κλίμακα χρησιμότητας. Όπως οι Hanley, et al. (2001) επισημαίνουν, η τεχνική αυτή δεν περιλαμβάνει την άμεση σύγκριση μεταξύ των εναλλακτικών επιλογών και επομένως δεν υπάρχει καμία θεωρητική σύνδεση ανάμεσα στις βαθμονομημένες προτιμήσεις και τις οικονομικές επιλογές.

Ωστόσο, ο Pearce (2006) εκτιμά πως η μέθοδος αυτή δεν παράγει συνεπείς μετρήσεις της οικονομικής ευημερίας, καθώς υποθέτει πως τα εναλλακτικά σενάρια είναι συγκρίσιμα για τους ερωτώμενους, γεγονός που μπορεί να μην ισχύει. Στο ίδιο συνηγορούν και οι Hanley, et al. (2001), που όπως αναφέρουν παρά τη μεγάλη δημοτικότητα της μεθόδου, χρησιμοποιείται ελάχιστα για τα περιβαλλοντικά αγαθά, κυρίως εξαιτίας των υποθέσεων που χρησιμοποιούνται προκειμένου να μετατραπεί η βαθμονόμηση σε χρησιμότητα, η οποία δεν επιτρέπει την παραγωγή συνεπών εκτιμήσεων.

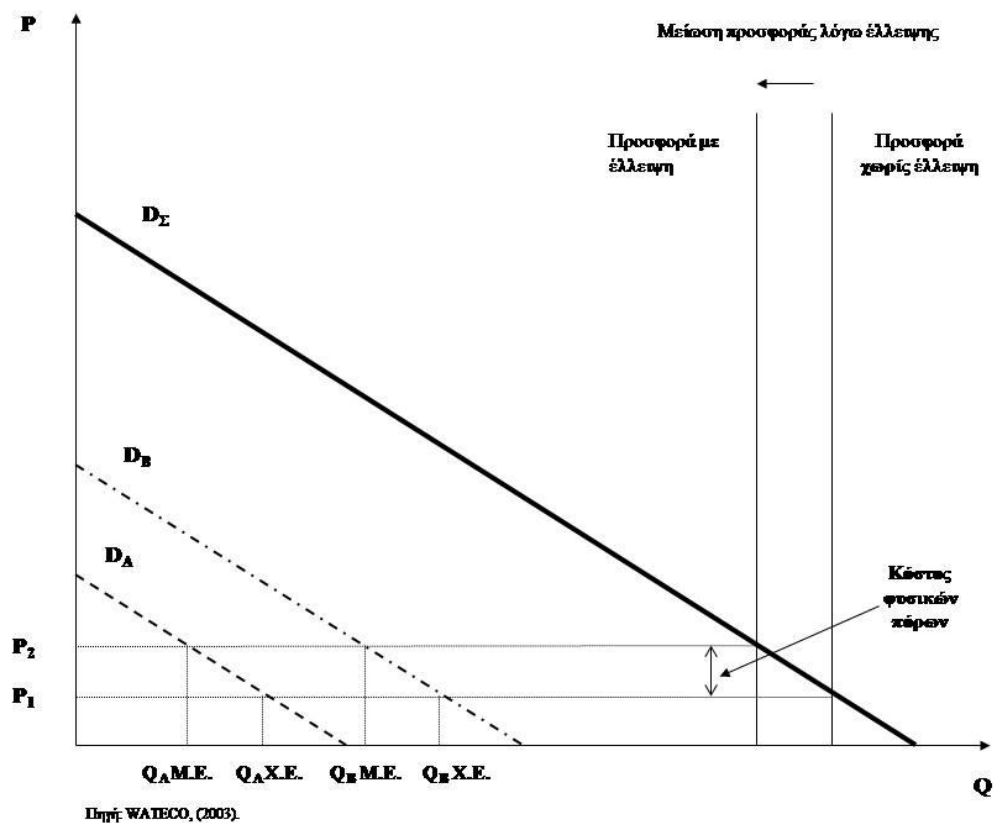
#### 3.3.2.2.4 Η μέθοδος των συνδυαστικών συγκρίσεων ή των βαθμολογημένων συγκρίσεων (Paired comparisons or graded pairs or rated pairs)

Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει στους ερωτώμενους δυο επιλογές εκ των οποίων καλούνται να επιλέξουν τη μια και να δηλώσουν την προτίμησή τους σε κλίμακα σημαντικότητας ή αριθμητική. Αξιοσημείωτο είναι ότι η μέθοδος αυτή πρέπει πάντα να περιλαμβάνει το βασικό σενάριο προκειμένου τα αποτελέσματα να είναι συνεπή με τη θεωρία της ευημερίας (Hanley, Mourato et al. 2001). Καθώς η μέθοδος αυτή συνδυάζει στοιχεία της υποθετικής βαθμολόγησης και των πειραμάτων επιλογής, επιχειρεί να εξάγει περισσότερες πληροφορίες από την απλή κατάταξη των εναλλακτικών σεναρίων (Pearce 2006).

### 3.4 Κόστος αρδευτικού νερού ως φυσικού πόρου και τρόποι υπολογισμού του

Το κόστος του νερού ως φυσικού πόρου αντιπροσωπεύει το συνολικό κόστος των ευκαιριών που χάνονται από τη χρησιμοποίησή του σε άλλες χρήσεις, εξαιτίας της μείωσης του πέραν ενός φυσικού ρυθμού αναπλήρωσης ή ανάκτησής του. Συνεπώς, όταν το νερό βρίσκεται σε αφθονία, το κόστος αυτό είναι μηδενικό, γιατί ικανοποιείται η ζήτηση όλων των χρηστών του. Αντιθέτως, όταν η ποσότητα του νερού είναι περιορισμένη, τότε το κόστος πόρου υφίσταται και η τιμή του ισούται με αυτήν που ορίζεται όταν η συνολική ζήτηση ισούται με τη συνολική προσφορά. Το συνοδευτικό στην Οδηγία 2000/60/ΕΚ έγγραφο (WATECO 2003) το υπολογίζει ως τη διαφορά μεταξύ της τιμής του νερού όταν βρίσκεται σε έλλειψη και της κανονικής τιμής, όταν είναι άφθονο, όπως απεικονίζεται στο Διάγραμμα 2.

Διάγραμμα 2 Κόστος νερού ως φυσικού πόρου



Όπου:

$P_1$ : η τιμή του νερού όταν βρίσκεται σε αφθονία

$P_2$ : η τιμή του νερού όταν βρίσκεται σε έλλειψη

$D_A$ : η ζήτηση του χρήστη A

$D_B$ : η ζήτηση του χρήστη B

$D_S$ : η συνολική ζήτηση των χρηστών

$Q_A$  M.E.: η ζητούμενη ποσότητα του χρήστη A όταν το νερό βρίσκεται σε έλλειψη

$Q_A$  X.E.: η ζητούμενη ποσότητα του χρήστη A όταν το νερό βρίσκεται σε αφθονία

$Q_B$  M.E.: η ζητούμενη ποσότητα του χρήστη B όταν το νερό βρίσκεται σε έλλειψη

$Q_B$  X.E.: η ζητούμενη ποσότητα του χρήστη B όταν το νερό βρίσκεται σε αφθονία

Ωστόσο, ο Brouwer (2004) –όπως οι Riegels, et al. (2011) αναφέρουν- επεκτείνει τον ορισμό του κόστους του νερού ως φυσικού πόρου προτείνοντας να συμπεριλαμβάνει όχι μόνο το κόστος εξαιτίας της μείωσης του νερού πέραν του φυσικού ρυθμού αναπλήρωσής του, αλλά και το κόστος που προκύπτει από την αναποτελεσματική κατανομή του από τις υπηρεσίες παροχής νερού. Το τελευταίο, όπως ο Brouwer (2004) αναφέρει, μετράται με όρους χαμένων καθαρών κερδών (κόστος ευκαιρίας). Για τους Riegels, et al. (2011), το κόστος του νερού ως φυσικού πόρου ορίζεται ως η διαφορά του μέσου ετήσιου καθαρού κέρδους των χρηστών του νερού όταν αυτό βρίσκεται στο αρχικό οικολογικό επίπεδο και σε αυτό που επιτυγχάνεται μετά την υλοποίηση των στόχων της Οδηγίας – πλαίσιο. Αυτού του είδους το κόστος, αναφέρεται και ως η επιθυμία για πληρωμή προκειμένου να αποφευχθεί το ρίσκο μη αναστρέψιμων ζημιών που επηρεάζουν την ποιότητα ή την ποσότητα του νερού (Ward and Pulido-Velazquez 2009).

Από την άλλη μεριά, ένας επιπλέον ορισμός του κόστους νερού ως φυσικού πόρου, που χρησιμοποιείται από την Οδηγία – πλαίσιο, είναι ισοδύναμος του κόστους έλλειψης, όπως αυτό περιγράφεται στην οικονομική φυσικών πόρων. Οι Moncur & Pollock (1989) εξηγούν, πως το κόστος νερού ως φυσικού πόρου αναφέρεται στην παρούσα αξία των μελλοντικών θυσιών που σχετίζονται με την παρούσα χρήση ενός ελλειμματικού πόρου. Σύμφωνα με την Koundouri (2004), το κατώτερο όριο κόστους έλλειψης αντικατοπτρίζει το ποσό που είναι διατεθειμένος να δεχτεί ως αποζημίωση ο πωλητής του φυσικού πόρου (Willingness to accept) λόγω της επικείμενης έλλειψης.

### 3.4.1 Μέθοδος υπολογισμού με βάση το κόστος της καλύτερης δυνατής εναλλακτικής πηγής νερού

Επιλέγοντας τον υπολογισμό του κόστους του νερού ως φυσικού πόρου με βάση το κόστος σπανιότητάς του και σύμφωνα με τους Moncur & Pollock (1988), η εκτίμηση βασίζεται στον τύπο:

$$SR = \frac{C_2 - C_1}{e^{r(T-t)}} \quad (3)$$

όπου  $SR$  είναι το κόστος σπανιότητας,  $C_1$  το οριακό κόστος άντλησης νερού έως το  $T$ ,  $C_2$  το οριακό κόστος άντλησης πέραν του  $T$  όπου η υπηρεσία παροχής πρέπει να χρησιμοποιήσει μια εναλλακτική πηγή νερού για να καλύψει το έλλειμμα και  $r$  ο παράγοντας προεξόφλησης. Επομένως, το μοναδιαίο κόστος σπανιότητας ισούται με το μοναδιαίο κόστος της καλύτερης δυνατής εναλλακτικής πηγής νερού, λεγόμενης και τεχνολογίας αποτροπής (backstop technology), που χρησιμοποιείται για να καλύψει το έλλειμμα, και άρα το κόστος του αρδευτικού νερού ως φυσικού πόρου ή έλλειψης υπολογίζεται ως το γινόμενο του παραπάνω κόστους επί το έλλειμμα. Οι συνηθέστερες τεχνολογίες αποτροπής είναι η ανακύκλωση, η αφαλάτωση, η μεταφορά από πλεονασματικές περιοχές, η επεξεργασία κ.ά.

Η μεθοδολογία αυτή προτείνεται και ακολουθείται και από μελέτη του Οικονομικού Πανεπιστημίου Αθηνών (Κουντούρη 2008) σχετικά με την οικονομική ανάλυση της χρήσης του ύδατος στα 14 υδατικά διαμερίσματα της χώρας. Στο πλαίσιο της εργασίας αυτής, για όποιο υδατικό διαμέρισμα η ετήσια άντληση υπερβαίνει το μέσο ετήσιο εμπλουτισμό του νερού που χρησιμοποιείται για άρδευση, το κόστος αναπλήρωσης/αντικατάστασης εκτιμάται βάσει του κόστους παραγωγής ανακυκλωμένου νερού.

### 3.4.2 Μέθοδος υπολογισμού με βάση τη μέθοδο των χαμένων αποτελεσμάτων

Στην περίπτωση του νερού, ο υπολογισμός του κόστους νερού ως φυσικού πόρου στηρίζεται στις απώλειες των κερδών που προκύπτουν στο σύστημα επειδή διαθέτει ένα κυβικό μέτρο νερού λιγότερο. Αναλυτικότερα, το κόστος έλλειψης ισούται με τη διαφορά των μέσων ετήσιων καθαρών κερδών των χρηστών νερού όταν

διαθέτουν μια μονάδα νερού επιπλέον και όχι. Η προσέγγιση αυτή ακολουθείται από διάφορους ερευνητές (WL | Delft Hydraulics 2004; Riegels, Jensen et al. 2011).

Βεβαίως, η εκτίμηση του κόστους στις δυο παραπάνω περιπτώσεις διαφέρει. Στη μεν πρώτη εργασία (WL | Delft Hydraulics 2004), η αξία του νερού για τα διάφορα είδη καλλιέργειας υπολογίζεται διαιρώντας το καθαρό κέρδος ανά τύπο καλλιέργειας προς τις απαιτήσεις σε νερό. Το έλλειμμα του νερού πολλαπλασιασμένο επί την προαναφερόμενη αξία του νερού δίνει τις θεωρητικές απώλειες κερδών από τη χρήση του νερού για άρδευση. Προκειμένου να αιτιολογηθούν οι διαφορές στην απόδοση και οι ιδιωτικές αντλήσεις υπόγειων υδάτων, οι πραγματικές απώλειες κερδών εκτιμώνται ως το  $\frac{1}{2}$  των θεωρητικών απωλειών. Οι πραγματικές απώλειες κερδών αποτελούν το κόστος του νερού ως φυσικού πόρου.

Στη δε περίπτωση των Riegels, et al. (Riegels, Jensen et al. 2011) το κόστος του νερού ως φυσικού πόρου υπολογίζεται με βάση την απώλεια κερδών εξαιτίας της εφαρμογής των περιβαλλοντικών στόχων της Οδηγίας – πλαίσιο. Η ανάλυση γίνεται με βάση ένα υδρο-οικονομικό μοντέλο, μέσω του οποίου επιχειρείται η εύρεση της ζητούμενης ποσότητας του νερού που ικανοποιεί τις απαιτήσεις της Οδηγίας και ελαχιστοποιεί το κόστος παροχής νερού στους χρήστες του. Η διαφορά των καθαρών κερδών μεταξύ της υπάρχουσας κατάστασης και αυτής που προκύπτει από το μοντέλο, αποτελεί το κόστος του νερού ως φυσικού πόρου.

### 3.5 Επίλογος

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, φαίνεται πως ο υπολογισμός του «τριπλού» κόστους του νερού δεν είναι εύκολη υπόθεση. Ίσως γι' αυτό στη διαδικασία ανάκτησής του το μόνο που λαμβάνεται υπόψη είναι το χρηματοοικονομικό κόστος. Ωστόσο, η απλοποίηση αυτή εξαιρεί αφενός το περιβαλλοντικό και αφετέρου το κόστος του νερού ως φυσικού πόρου. Οπότε, στη μεν πρώτη περίπτωση η ζημιά των υδατικών οικοσυστημάτων από τις χρήσεις του νερού και στη δε δεύτερη η μείωσή του πέραν του φυσικού ρυθμού αναπλήρωσής του δε λαμβάνονται υπόψη. Ωστόσο, στην παρούσα εργασία παρά τις όποιες δυσκολίες υπολογισμού όταν γίνεται αναφορά στην ανάκτηση του κόστους του νερού εννοείται του πλήρους κόστους όπως άλλωστε και η Οδηγία – πλαίσιο ορίζει.

## Κεφάλαιο 4. Τιμολόγηση του αρδευτικού νερού

### 4.1 Εισαγωγή

Η Οδηγία 2000/60/EK προτείνει την τιμολόγηση του νερού ως το κύριο εργαλείο άσκησης πολιτικής για τους υδατικούς πόρους, καθώς σύμφωνα με πολλούς (Johansson 2000; Molle and Berkoff 2007) αποτελεί το καταλληλότερο μέσο διατήρησης των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών του νερού και ενίσχυσης της αποδοτικότερης χρησιμοποίησής του. Ως εκ τούτου, στη διεθνή βιβλιογραφία μέχρι σήμερα έχει αναπτυχθεί πλήθος διαφορετικών μεθόδων τιμολόγησης που η κάθε μια καλείται να επιτύχει κάποιο προκαθορισμένο στόχο. Στο κεφάλαιο αυτό προσεγγίζονται οι κυριότερες μέθοδοι και επιχειρείται σύγκρισή τους με βάση τα αποτελέσματα που μπορούν να επιτύχουν.

### 4.2 Τιμολόγηση νερού

Η τιμολόγηση του νερού καλείται να παίξει τρεις βασικούς ρόλους ως εργαλείο άσκησης α) νομισματικής, β) οικονομικής και γ) περιβαλλοντικής πολιτικής. Ο πρώτος ρόλος, όπως πολλοί αναφέρουν (Cornish, Bosworth et al. 2004; Dinar and Saleth 2005; Molle and Berkoff 2007; Perry 2009), αφορά στη λήψη μέτρων για την ανάκτηση του συνολικού χρηματοοικονομικού κόστους του νερού. Ως οικονομικό εργαλείο επιχειρεί να καλύψει το κόστος φυσικών πόρων του νερού και να επιτύχει αποτελεσματικότερη χρησιμοποίησή του. Αναλυτικότερα, οι Cornish, et al. (2004), Dinar & Saleth (2005), Molle & Berkoff (2007) και Perry (2009) αναφέρουν την προσεκτικότερη διαχείριση και διατήρηση του νερού, την παρότρυνση των γεωργών για την καλλιέργεια φυτών με μικρότερες απαιτήσεις σε νερό και την επένδυση σε τεχνολογίες που περιορίζουν την κατανάλωσή του και την ανακατανομή του νερού σε χρήσεις με υψηλότερη αξία, ως ορισμένους μόνο στόχους της οικονομικής πολιτικής του νερού. Επίσης, η τιμολόγηση ως περιβαλλοντικό εργαλείο ουσιαστικά στοχεύει στην παροχή κινήτρων για βελτίωση της ποιότητας και μείωση των επιπέδων ρύπανσης του νερού. Τέλος, στους παραπάνω τρεις ρόλους οι Cornish, et al. (2004)

προσθέτουν επιπλέον ένα, που περιλαμβάνει στόχους κοινωνικού περιεχομένου<sup>13</sup>. Είναι όμως μόνον αυτά τα τρία ή τέσσερα σημεία που καλείται να επιτύχει η τιμολόγηση του νερού;

Η απάντηση είναι αρνητική, και στηρίζεται στη θεώρηση των στόχων της, όπως αυτοί προσεγγίζονται από τους Warmath (2005) και Griffin (2006). Πρώτο από' όλα, η τιμή του νερού οφείλει να οδηγεί σε επάρκεια και σταθερότητα (από έτος σε έτος) εσόδων για την υπηρεσία παροχής και να ικανοποιεί όλους τους στόχους της. Ως εκ τούτου, αν η μεγιστοποίηση των κερδών αποτελεί προτεραιότητά της, η χρέωση του νερού πρέπει να είναι οικονομικά αποδοτική. Ωστόσο, καθώς οι τιμές δεν αφορούν μόνο τις υπηρεσίες παροχής αλλά και τους καταναλωτές του νερού, πρέπει να ικανοποιούν ταυτόχρονα και τους δικούς τους στόχους. Για παράδειγμα οι χρεώσεις του νερού πρέπει να προωθούν την ανταγωνιστικότητα και την οικονομική ανάπτυξή τους. Παράλληλα, οφείλουν να διασφαλίζουν ισότητα και δικαιοσύνη μέσω ανεκτών για τους καταναλωτές χρεώσεων και να είναι σύμφωνες με την ισχύουσα νομοθεσία. Επιπλέον, οι χρεώσεις πρέπει να μη διακυμαίνονται έντονα για τους χρήστες και να λαμβάνουν υπόψη τις επιπτώσεις που έχουν σε αυτούς. Επίσης, τόσο για τους καταναλωτές όσο και για τους άλλους εμπλεκόμενους φορείς, ο τρόπος υπολογισμού της τιμής του νερού οφείλει να γίνεται εύκολα αντιληπτός και η εφαρμογή της μεθόδου τιμολόγησης να είναι απλή. Τέλος, για το κοινό όφελος πρέπει να οδηγεί σε περιβαλλοντική αποδοτικότητα, δηλαδή να διασφαλίζει τη διατήρηση του νερού στο βαθμό που προάγει την άριστη χρήση των διαθέσιμων ποσοτήτων του.

Ωστόσο, εύλογα στο σημείο αυτό γεννάται το ερώτημα σχετικά με το ποια τιμή του νερού μπορεί να παίξει σωστά τους παραπάνω ρόλους και να επιτύχει τους προαναφερόμενους στόχους. Με γνώμονα τα παραπάνω και διερεύνηση της σχετικής βιβλιογραφίας προσεγγίζονται εν συνεχεία διάφορες μέθοδοι υπολογισμού της τιμής του νερού και αναλύονται οι στόχοι που αυτές ικανοποιούν σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό.

---

<sup>13</sup> Ως τέτοιους οι Cornish, et al. (2004) για παράδειγμα αναφέρουν τη δημιουργία ενός φόρου (benefit tax), ο οποίος θα βαρύνει μεν την κατανάλωση του νερού, θα χρησιμοποιείται δε ως έσοδο σε κάποιο άλλο τομέα πολιτικής π.χ. παιδεία κ.ά.



## 4.3 Μέθοδοι τιμολόγησης του νερού

Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου τιμολόγησης του νερού γίνεται ανάλογα με τις οικονομικές και φυσικές συνθήκες που επικρατούν, αλλά και τους στόχους που κάθε φορά έχουν τεθεί. Ως κυριότερους εξ αυτών οι Howe (2005) και Hellegers & Perry (2006) αναφέρουν την οικονομική αποδοτικότητα, την ανάκτηση του συνολικού κόστους του νερού και την εξασφάλιση ισότητας. Προκειμένου να εξεταστούν οι μέθοδοι αυτές και η απόδοσή τους έναντι των επιδιωκόμενων στόχων είναι χρήσιμη μια πρώτη κατηγοριοποίησή τους σε ογκομετρικές, μη ογκομετρικές και βασιζόμενες στη λειτουργία της αγοράς.

### 4.3.1 Ογκομετρικές μέθοδοι τιμολόγησης του νερού

Οι ογκομετρικές μέθοδοι τιμολόγησης του νερού υπολογίζουν την τιμή του ανά μονάδα όγκου που παρέχεται στο σημείο όπου λαμβάνεται η μέτρηση. Βέβαια κάτι τέτοιο απαιτεί αφ' ενός πληροφορίες σχετικά με τον όγκο του νερού που χρησιμοποιεί ο κάθε χρήστης ή ένα σύνολο χρηστών και αφ' ετέρου μια κεντρική υπηρεσία διαχείρισης του νερού, η οποία θα θέτει την τιμή, θα έχει την επίβλεψη και θα συλλέγει τις αμοιβές, όπως οι Bosworth, et al. (2002) αναφέρουν.

Οι μέθοδοι αυτές διαχωρίζονται σε αυτές που χρησιμοποιούν μια ενιαία τιμή κατ' όγκο νερού και όσες χρησιμοποιούν πολλαπλές τιμές. Στην μεν πρώτη κατηγορία ανήκουν η τιμολόγηση με βάση το οριακό κόστος του νερού και η τιμολόγηση με βάση το μέσο κόστος του νερού. Η δε δεύτερη περιλαμβάνει την τιμολόγηση με πολλαπλή χρέωση, τη μη γραμμική ή μεταβλητή μοναδιαία τιμολόγηση, την τιμολόγηση με χρεώσεις ανά κλίμακα κατανάλωσης και την τιμολόγηση υπό συνθήκες ασύμμετρης πληροφόρησης.

#### 4.3.1.1 *Τιμολόγηση με ενιαία τιμή*

##### 4.3.1.1.1 Τιμολόγηση με βάση το οριακό κόστος του νερού (marginal cost pricing)

Η *τιμολόγηση του νερού με βάση το οριακό κόστος* του είναι η πλέον διαδεδομένη ογκομετρική μέθοδος τιμολόγησης στη διεθνή βιβλιογραφία και, η τιμή μιας μονάδας νερού ισούται με το οριακό κόστος παροχής της τελευταίας μονάδας του. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην αρχή της μεγιστοποίησης των κερδών που

ισχύει όταν το οριακό έσοδο εξισώνεται με το οριακό κόστος. Καθώς το οριακό έσοδο αποτελεί την τιμή του προϊόντος, ουσιαστικά επιδιώκεται η ισότητα μεταξύ τιμής και οριακού κόστους.

Αναλυτικότερα, η προσέγγιση της μεθόδου αυτής γίνεται με βάση τους Tsur, et al. (2004) και Griffin (2001), οι οποίοι αναφέρουν ως αποτελεσματική την τιμή του νερού που μεγιστοποιεί το συνολικό πλεόνασμα και ισούται με το οριακό κόστος. Με τον όρο συνολικό πλεόνασμα εννοείται το άθροισμα του πλεονάσματος της υπηρεσίας παροχής νερού και του καταναλωτή - γεωργού.

Το μεν πλεόνασμα της υπηρεσίας παροχής νερού αποτελεί το καθαρό κέρδος από τη συμμετοχή της στις συναλλαγές της αγοράς νερού, και πιο συγκεκριμένα στη σύλληψη, επεξεργασία και διανομή του στους τελικούς καταναλωτές. Ως εκ τούτου, το συνολικό μεταβλητό κόστος παροχής νερού προέρχεται από τη συνάρτηση

$VC\left(\sum_i Q_i^w | \dots\right)$ , όπου  $Q_i^w$  είναι η ποσότητα του νερού που παρέχεται στην  $i$

καλλιέργεια. Καθώς η υπηρεσία παρέχει νερό σε τιμή  $P^w$ , προσπαθεί να μεγιστοποιήσει τα κέρδη της, που περιγράφονται από τη σχέση:

$P^w \sum_i Q_i^w - VC\left(\sum_i Q_i^w | \dots\right)$  (4). Το κέρδος αυτό, οι Tsur, et al. (2004) το

χαρακτηρίζουν ως λειτουργικό, καθώς συνολικό θεωρούν αυτό που προκύπτει από την αφαίρεση μεταξύ συνολικών εσόδων και συνολικού κόστους. Η σχέση (4) υπόκειται στον περιορισμό  $\sum_i Q_i^w \leq \bar{W}$  (5), όπου  $\bar{W}$  είναι η συνολικά διαθέσιμη από την υπηρεσία παροχής ποσότητα του νερού.

Το δε πλεόνασμα του γεωργού – καταναλωτή, περιγράφεται ως το κέρδος των γεωργών από την κατανάλωση της ποσότητας του νερού και δίνεται από τη σχέση:  $\max\left[B_i(Q_i^w) - P^w Q_i^w\right] \forall i$  (6), όπου  $B_i$  είναι το όφελος του γεωργού από την κατανάλωση  $Q_i^w$  ποσότητας νερού.

Το πρόβλημα μεγιστοποίησης που ορίζεται από τις σχέσεις (4) – (6) αποτελεί πρόβλημα πολλαπλής αριστοποίησης, καθώς περιέχει ένα πρόβλημα αριστοποίησης στους περιορισμούς (εσωτερικό πρόβλημα) (Anandalingam and Apprey 1991). Πιθανή λύση του προβλήματος αυτού αποτελεί η αντικατάσταση των περιορισμών με τη χρήση των συνθηκών Karush-Kuhn-Tucker (Luo, Pang et al. 1996). Καθώς πρόκειται για αποτελεσματική τιμολόγηση του νερού, τα οριακά έσοδα των χρηστών

εξισώνονται με την τιμή του. Αντικαθιστώντας έτσι τον περιορισμό (6) με τη σχέση  $B'(Q_i^w) = P^w$ , η συνάρτηση Lagrange του μετασχηματισμένου προβλήματος γράφεται ως εξής:

$$L = \left[ P^w \sum_i Q_i^w - C \left( \sum_i Q_i^w | \dots \right) \right] + \sum_i \lambda_i^1 (P^w - B'(Q_i^w)) + \lambda \left( \bar{W} - \sum_i Q_i^w \right) \quad (7)$$

Όπου  $\lambda_i^1$  και  $\lambda$  αποτελούν τις σκιώδεις τιμές των περιορισμών (6) και (5). Ακολούθως, οι συνθήκες πρώτης τάξης για την ύπαρξη μέγιστου αποδίδεται από τις σχέσεις:

$$\frac{\partial L}{\partial Q_i^w} = P^w - C \left( \sum_i Q_i^w | \dots \right) / \partial Q_i^w - \lambda_i^1 B''(Q_i^w) - \lambda \leq 0, \quad \text{για } Q_i^w \geq 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial L}{\partial P^w} = \left( \sum_i Q_i^w + \sum_i \lambda_i^1 \right) \leq 0 \quad \text{για } P^w \geq 0 \quad (9)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_i^1} = \left[ P^w - B'(Q_i^w) \right] \geq 0 \quad \text{για } \lambda_i^1 \geq 0 \quad (10)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = \bar{W} - \sum_i Q_i^w \geq 0 \quad \text{για } \lambda \geq 0 \quad (11)$$

Εξετάζοντας τη λύση, προκύπτει η σχέση:  $\sum_i Q_i^w = 0$ , ώστε η μόνη περίπτωση να ικανοποιούνται οι συνθήκες πρώτης τάξης (9) και (10) ταυτοχρόνως είναι να ισχύει ότι  $\lambda_i^1 = 0$ . Αντικαθιστώντας στο (8) και για θετικές ποσότητες νερού,  $Q_i^w > 0$ , η τιμή του νερού διαμορφώνεται ως εξής:

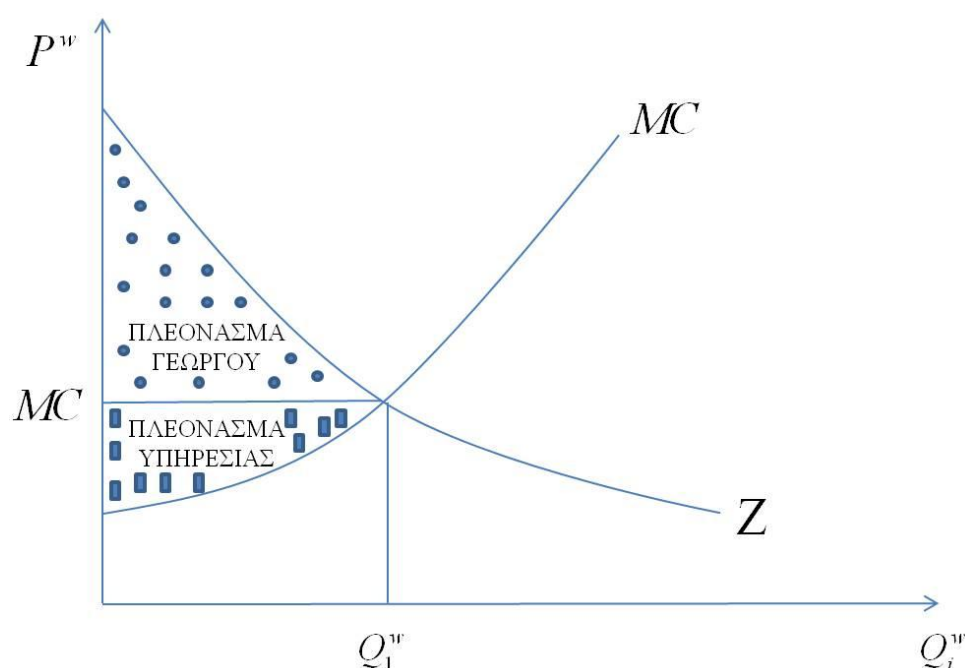
$$P^w = \partial C \left( \sum_i Q_i^w | \dots \right) / \partial Q_i^w + \lambda \quad (12).$$

Η σκιώδης τιμή  $\lambda$  αποτελεί το κόστος ευκαιρίας του νερού, που για την υπηρεσία παροχής αντιπροσωπεύει τη συνεπαγόμενη αύξηση των κερδών της από την αύξηση της διαθέσιμης ποσότητας κατά μια μονάδα. Το κόστος αυτό αποκαλείται είτε ως οριακό κόστος χρήστη, είτε ως οριακή αξία του νερού, ανάλογα με το αν αναφέρεται σε υπόγειο ή επιφανειακό νερό (Griffin 2001).

Επιχειρώντας τη διαγραμματική απεικόνιση της τιμολόγησης αυτής (βλ. Διάγραμμα 3), η σκιασμένη (με ορθογώνια) περιοχή μεταξύ της τιμής αγοράς και της βραχυχρόνιας καμπύλης προσφοράς αντιπροσωπεύει το πλεόνασμα και επομένως τα βραχυχρόνια κέρδη της επιχείρησης. Ωστόσο, οι Zilberman & Schoengold (2005) συμπληρώνουν πως αναλόγως του σχήματος της καμπύλης οριακού κόστους, η

επιχείρηση παροχής νερού ενδέχεται να μη μπορεί να καλύψει το συνολικό σταθερό της κόστος. Αντιστοίχως, η περιοχή (με κύκλους) κάτω από την καμπύλη ζήτησης και πάνω από την τιμή της αγοράς δείχνει το πλεόνασμα, δηλαδή το κέρδος των γεωργών. Συνολικά, λοιπόν, η περιοχή μεταξύ καμπύλης ζήτησης και προσφοράς αντιπροσωπεύει τη συνολική κοινωνική ευημερία, η οποία στο σημείο ισορροπίας μεγιστοποιείται. Στο ίδιο σημείο και υπό ορισμένες συνθήκες (πλήρης πληροφόρηση, απουσία εξωτερικοτήτων, πλήρης ανταγωνισμός, πλήρη σταθερότητα και μη αυξανόμενες αποδόσεις κλίμακας), επιτυγχάνεται αποτελεσματική κατά Pareto κατανομή του νερού (Johansson 2005).

Διάγραμμα 3 Τιμολόγηση του νερού με βάση το οριακό κόστος



Πηγή: Tsur, et al. (2004).

Καθώς η τιμολόγηση με βάση το οριακό κόστος οδηγεί σε οικονομική αποδοτικότητα, κατά πολλούς (Dinar, Rosegrant et al. 1997; Mohayidin, Attari et al. 2009) αποτελεί το κυριότερο πλεονέκτημά της. Ωστόσο ο Sampath (1992) συμπληρώνει πως η μέθοδος αυτή συντελεί στην καλύτερη διαχείριση του περιβάλλοντος λόγω της επιδίωξης των γεωργών να περιορίσουν το κόστος της άρδευσης και κατ' επέκταση την καταναλισκόμενη ποσότητα νερού.

Παρά ταύτα, η τιμολόγηση με βάση το οριακό κόστος του νερού παρουσιάζει και ορισμένες αδυναμίες. Κατά πολλούς (Dinar, Rosegrant et al. 1997; Johansson, Tsur et al. 2002) το μεγαλύτερο μειονέκτημα της μεθόδου σχετίζεται με τον ορισμό του οριακού κόστους και τη δυσκολία υπολογισμού του. Όπως οι Dinar, et al. (1997) σημειώνουν, το οριακό κόστος είναι πολυδιάστατο μέγεθος καθώς ποικίλει ανάλογα με την ποιότητα, την ποσότητα, την τοποθεσία άντλησης, τη μόνιμη ή προσωρινή αύξηση της ζήτησης, το βραχυχρόνιο ή μακροχρόνιο ορίζοντα για τον οποίο υπολογίζεται. Στα παραπάνω οι Spulber & Sabbaghi (1994), όπως οι Mohayidin, et al. (2009) αναφέρουν, προσθέτουν πως αυτή η μέθοδος χρέωσης δίνει μικρή σημασία σε θέματα ισότητας. Επιπλέον, ο Sampath (1992) επισημαίνει πως δε δίνεται σημασία ούτε σε ζητήματα αναδιανομής του εισοδήματος και αγροτικής ανάπτυξης, με αποτέλεσμα σε περιόδους έλλειψης νερού, εάν οι τιμές αυξηθούν στο απαιτούμενο επίπεδο, οι χαμηλές εισοδηματικές ομάδες να επηρεαστούν αρνητικά. Επίσης, οι Dinar, et al. (1997) εξηγούν πως στην πράξη η τιμολόγηση με βάση το οριακό κόστος είναι δύσκολο να εφαρμοστεί καθώς απαιτεί παρακολούθηση του συστήματος, που είναι απαιτητική από άποψη κόστους και δύσκολη στη διαχείριση. Ακόμα πιο απαιτητικό είναι το σύστημα αυτό σε επίπεδο πληροφοριών, προκειμένου να καθοριστεί η τιμή του νερού. Σε περίπτωση που οι τιμές είναι πολύ χαμηλές, αφ' ενός θα υπάρξει υπερκατανάλωση, αφ' ετέρου οι υπηρεσίες παροχής νερού θα χρειαστεί να επιδοτηθούν για να συνεχίσουν να λειτουργούν, ενώ αν οι τιμές είναι αρκετά υψηλές θα είναι άδικο στην εφαρμογή του. Ακόμη, το πλεονέκτημα της αποδοτικότητας που παρουσιάζει η μέθοδος μπορεί να αρθεί εξαιτίας της ύπαρξης διαφόρων στρεβλώσεων που σχετίζονται με το αρδευτικό νερό. Ως τέτοιες από τους Johansson, et al. (2002) αναφέρονται η ύπαρξη εξωτερικοτήτων και οικονομιών κλίμακας, η έλλειψη του νερού, η ασύμμετρη πληροφόρηση, το κόστος εφαρμογής της μεθόδου τιμολόγησης και, το ότι το νερό είναι δημόσιο αγαθό. Τέλος, η μη εξασφάλιση επαρκών εσόδων που να ισοσκελίζουν τα έξοδα της υπηρεσίας παροχής νερού προστίθεται από τους Garcia & Reynaud (2004) ως ένα ακόμη μειονέκτημα της μεθόδου.

Η τιμολόγηση του νερού με βάση το οριακό κόστος του εφαρμόζεται σε διάφορα μέρη, όπως Ιορδανία, Μεξικό, Μαρόκο, Αυστραλία, Ινδία, Αγγλία, Γαλλία, Η.Π.Α., Ισραήλ κ.ά. Ο Johansson (2000) αναφέρει πως στις τέσσερις πρώτες περιπτώσεις γίνεται προσπάθεια κάλυψης τμήματος των εξόδων λειτουργίας και παρακολούθησης, ενώ στις πέντε τελευταίες κάλυψη τμήματος των εξόδων

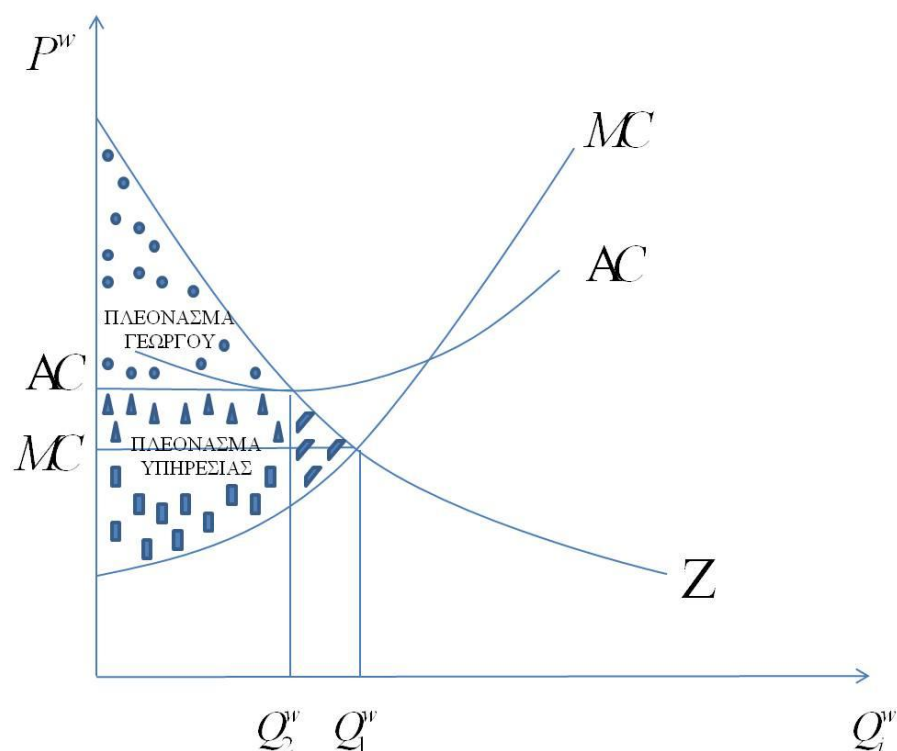
λειτουργίας και παρακολούθησης καθώς και τμήματος της απόσβεσης του παγίου κεφαλαίου.

#### 4.3.1.1.2 Τιμολόγηση με βάση το μέσο κόστος του νερού (average cost pricing)

Η τιμολόγηση του νερού με βάση το μέσο κόστος του είναι η μέθοδος εκείνη που εξισώνει την τιμή του νερού με το μέσο κόστος του. Αυτή αναπτύχθηκε προκειμένου να απαντήσει στο ερώτημα «αν η τιμή του νερού πρέπει να είναι τέτοια ώστε να ισοσκελίζεται ο προϋπολογισμός της υπηρεσίας παροχής νερού, συμπεριλαμβανομένου και του σταθερού κόστους», το οποίο προκύπτει από την τιμολόγηση του νερού με βάση το οριακό κόστος.

Η προσέγγιση της τιμολόγησης με βάση το μέσο κόστος στηρίζεται στο Διάγραμμα 4, όπου το νέο σημείο ισορροπίας είναι αυτό μεταξύ καμπύλης ζήτησης και καμπύλης μέσου κόστους, στο οποίο τα έσοδα ισοσκελίζονται με τα έξοδα.

Διάγραμμα 4 Τιμολόγηση νερού με βάση το μέσο κόστος



Πηγή: Tsur, et al. (2004).

Ωστόσο, η παραπάνω μέθοδος οδηγεί μεν σε επάρκεια εσόδων, ανακτώντας το συνολικό κόστος του νερού, υστερεί δε ως προς την οικονομική αποτελεσματικότητα. Αυτό αποδεικνύεται συγκρίνοντας το Διάγραμμα 3 με το Διάγραμμα 4, όπου στη μεν

τιμολόγηση με βάση το οριακό κόστος το συνολικό πλεόνασμα ισούται με ολόκληρη τη σκιασμένη περιοχή, στη δε περίπτωση του μέσου κόστους το αντίστοιχο μέγεθος είναι μικρότερο. Αναλυτικότερα, η μετακίνηση από το ένα είδος χρέωσης στο άλλο, οδηγεί σε μείωση του πλεονάσματος των γεωργών ίση με το ανώτερο τρίγωνο της περιοχής με τα διαγώνια τραπέζια συν την περιοχή με τα τρίγωνα. Παράλληλα, το πλεόνασμα της υπηρεσίας παροχής νερού μειώνεται κατά το κατώτερο τρίγωνο της περιοχής με τα διαγώνια τραπέζια και αυξάνεται κατά την περιοχή με τα τρίγωνα του Διαγράμματος 4. Επομένως, η συνολική ευημερία υφίσταται μείωση ίση με την περιοχή με τα διαγώνια τραπέζια.

Η τιμολόγηση με βάση το μέσο κόστος έρχεται, λοιπόν, να καλύψει ορισμένα από τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει η χρέωση με το οριακό κόστος. Για παράδειγμα, η εξασφάλιση επαρκών εσόδων για την υπηρεσία παροχής νερού, ο εύκολος τρόπος υπολογισμού του μέσου κόστους και η ευκολία εφαρμογής αποτελούν ορισμένα από τα κυριότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου. Ωστόσο, η μη εξασφάλιση ισότητας και οικονομικής αποτελεσματικότητας και οι αρκετά υψηλές χρεώσεις, συγκαταλέγονται ανάμεσα στα μειονεκτήματά της.

#### 4.3.1.2 Τιμολόγηση με πολλαπλές τιμές

Καθώς κάθε μια από τις μεθόδους τιμολόγησης με ενιαία τιμή οδηγεί σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό στον ένα ή τον άλλο στόχο, η επιλογή μίας εξ αυτών που ταυτοχρόνως να επιτυγχάνει πολλαπλά αποτελέσματα καθίσταται δύσκολη. Το πρόβλημα αυτό καλούνται να λύσουν οι χρεώσεις του νερού με πολλαπλές τιμές. Αυτές υπηρετούν ταυτοχρόνως πολλούς στόχους ανάμεσα στους οποίους η οικονομική αποδοτικότητα, ο ισοσκελισμός εσόδων - εξόδων και έως ένα βαθμό η ισότητα (Griffin 2001).

##### 4.3.1.2.1 Τιμολόγηση με πολλαπλή χρέωση (multi – part rate system)

Η τιμολόγηση του νερού με πολλαπλή χρέωση, όπως το όνομά της αποκαλύπτει, αποτελείται από επιμέρους χρεώσεις, που καλούνται να επιτύχουν έναν ορισμένο στόχο. Δηλαδή, το κάθε ποσό οφείλει να καλύψει και μια δαπάνη. Για παράδειγμα, ο Griffin (2001) προτείνει μια χρέωση, που περιλαμβάνει ένα εφάπαξ ποσό, μια πάγια και μια ογκομετρική χρέωση. Οι δυο σταθερές χρεώσεις -εφάπαξ και πάγια- επιτρέπουν την αποδοτική κατανομή των πόρων που σχετίζονται με την παροχή του

νερού (π.χ. συνδέσεις) πλην του νερού και καλύπτουν το συνολικό κόστος της εγκατάστασης μιας νέας σύνδεσης και τα έξοδα σύνδεσης του νερού αντιστοίχως. Η ογκομετρική χρέωση γίνεται με βάση μια τιμή που οδηγεί σε αποδοτική κατανομή και ανάκτηση του κόστους. Τέλος, υιοθετείται μια παράμετρος εξισορρόπησης του προϋπολογισμού,  $\bar{w}$ , που εισάγεται ως ένα υποκατάστατο της τιμολόγησης με βάση το μέσο κόστος και συνήθως χρησιμοποιείται για την εξισορρόπηση του προϋπολογισμού της υπηρεσίας. Η γενική μορφή της χρέωσης δίνεται από τον ακόλουθο τύπο  $Bill_n = M + p * (w_n - \bar{w})$ . Υπό τις κατάλληλες συνθήκες η τιμολόγηση με πολλαπλή χρέωση είναι δυνατό να οδηγήσει τους καταναλωτές σε οικονομικά αποδοτική χρήση του νερού και την υπηρεσία παροχής σε επάρκεια εσόδων. Τέλος, η ισότητα εξασφαλίζεται από τον προσδιορισμό του επιπέδου  $\bar{w}$  για κάθε καταναλωτή ξεχωριστά.

Γύρω από την ίδια ιδέα περιστρέφεται και το σύστημα της διπλής χρέωσης με βάση το οριακό κόστος που προτείνεται από τον Moriguchi (1996). Σύμφωνα με αυτό προτείνεται μια ογκομετρική χρέωση ίση με το οριακό κόστος και μια σταθερή χρέωση που καλείται να καλύψει όλα τα υπόλοιπα έξοδα της υπηρεσίας παροχής νερού.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι η ανάκτηση του πλήρους κόστους και η επίτευξη μειωμένης κατανάλωσης (Griffin 2001; Easter and Liu 2005). Συγκεκριμένα, το τμήμα εκείνο της χρέωσης που στηρίζεται στο οριακό κόστος ενθαρρύνει τη μικρότερη κατανάλωση του νερού, ενώ το πάγιο τμήμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί προκειμένου να αντισταθμιστούν ορισμένες ζημιές και να διασφαλίσει ένα σίγουρο έσοδο ανεξάρτητο από την ποσότητα του νερού που διανέμεται.

Εντούτοις, στα μειονεκτήματα της μεθόδου συγκαταλέγεται η δυσκολία υπολογισμού της τελικής τιμής του νερού και εφαρμογής της. Επίσης, η μέθοδος αυτή δε γίνεται εύκολα αντιληπτή από τους γεωργούς – καναλωτές, που πρόκειται να καταβάλουν το αντίτιμο. Τέλος, κατά τους Easter & Liu (2005) αποτελεί ένα τρόπο τιμολόγησης με υψηλό διαχειριστικό κόστος, ίσως κατά κάτι υψηλότερο από τις μεθόδους μονής χρέωσης.

Η μέθοδος της τιμολόγησης με διπλή χρέωση εφαρμόζεται στην Βραζιλία (Easter and Liu 2005), στην Ιορδανία, στο Ισραήλ και σε τρεις περιοχές της Ισπανίας (Cornish, Bosworth et al. 2004).



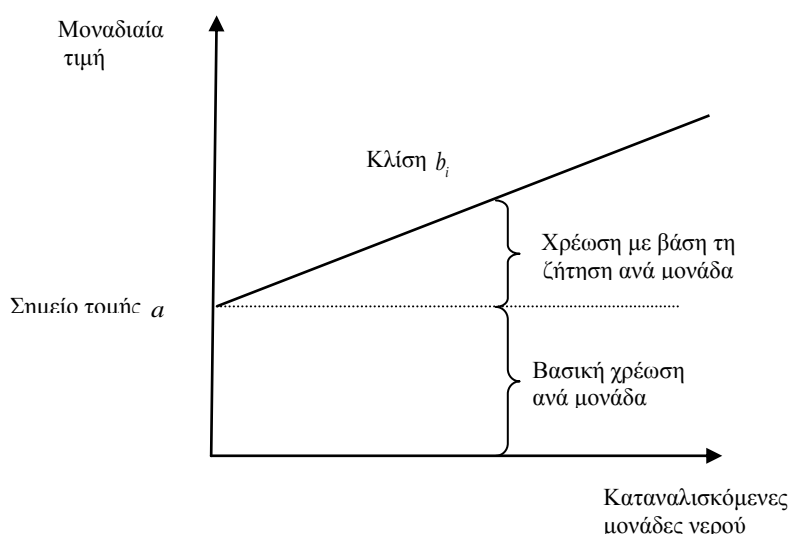
4.3.1.2.2 Μη γραμμική ή μεταβλητή μοναδιαία τιμολόγηση (non-linear pricing / variable unit pricing)

Η Loehman (2004; Loehman 2008) προτείνει ένα άλλο είδος μη γραμμικής χρέωσης, τη μεταβλητή μοναδιαία τιμολόγηση με στόχο την ταυτόχρονη επίτευξη επάρκειας εσόδων και οικονομικής αποτελεσματικότητας. Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει μια σχετικά απλή δομή που βασίζεται στην ίδια ανά μονάδα χρέωση για όλες τις καταναλισκόμενες μονάδες νερού και η συνολική χρέωση υπολογίζεται ως η μοναδιαία τιμή πολλαπλασιαζόμενη με τη συνολική κατανάλωση.

Η μεταβλητή μοναδιαία τιμολόγηση αποτελείται από δυο χρεώσεις: τη βασική μοναδιαία και τη μοναδιαία χρέωση με βάση τη ζήτηση και χρησιμοποιεί γραμμική συνάρτηση τιμής – ζήτησης της μορφής  $P = a + bQ$ . Όπως φαίνεται στο

Διάγραμμα 5, η βασική μοναδιαία χρέωση ισούται με την τιμή  $a$  του σημείου τομής και η μοναδιαία με βάση τη ζήτηση αποτελεί την κλίση  $b_i$  πολλαπλασιασμένη με το επίπεδο της κατανάλωσης.

Διάγραμμα 5 Απεικόνιση της μεταβλητής μοναδιαίας τιμολόγησης



Πηγή: (Loehman 2004; Loehman 2008)

Οι παράμετροι  $a$  και  $b_i$  καθορίζονται έτσι ώστε ταυτόχρονα να ικανοποιούν την οικονομική αποδοτικότητα και την ανάκτηση του κόστους του νερού στο σημείο ισορροπίας. Η μεν αποδοτική κατανομή προϋποθέτει η οριακή χρέωση να ισούται με το οριακό κόστος για κάθε χρήστη, δηλ.  $a + 2b_i w_i^* = MC(\sum w_i^*)$ . Η δε ανάκτηση του κόστους προϋποθέτει την εξίσωση των εσόδων και του συνολικού κόστους για την

υπηρεσία παροχής νερού  $\sum (a + b_i w_i^*) w_i^* = C^* (\sum w_i^*)$ . Επιλύοντας ταυτόχρονα τις δυο εξισώσεις για τα  $a$  και  $b$  προκύπτουν οι εξής τιμές:  $b_i = [MC^* - AC^*] / w_i^*$  και  $a = AC^* - (MC^* - AC^*)$  για κάθε χρήστη  $i$  και επίπεδο κατανάλωσης  $w_i^*$ .

Η Loehman (2004; Loehman 2008) επισημαίνει πως στη μέθοδο αυτή μπορούν να συμπεριληφθούν θέματα εξοικονόμησης και ποιότητας νερού, τροποποιώντας τους ανωτέρω υπολογισμούς αναλόγως. Ως εκ τούτου, η μεταβλητή μοναδιαία τιμολόγηση είναι δυνατό να επιτύχει ανάκτηση κόστους, εξοικονόμηση νερού, χρέωση των χρηστών αναλόγως της ποιότητας του προσφερόμενου νερού και αποδοτικότητα στην κατανομή του. Η ίδια αναφέρει πως η μέθοδος είναι ιδιαίτερος χρήσιμη στην περίπτωση του προσδιορισμού των χρεώσεων ανάλογα με το βαθμό ξηρασίας και πως οι παράμετροι που χρησιμοποιεί μπορούν να υπολογιστούν είτε υπό συνθήκες πλήρους πληροφόρησης – από τις σχέσεις ζητούμενης ποσότητας και κόστους – είτε με λιγότερα δεδομένα χρησιμοποιώντας παρελθούσες τιμές ζήτησης και κόστους.

#### 4.3.1.2.3 Τιμολόγηση με χρεώσεις ανά κλίμακα κατανάλωσης (block – rate pricing)

Η τιμολόγηση με χρεώσεις ανά κλίμακα κατανάλωσης χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη ενός κατώτατου και ενός ανώτατου ορίου κατανάλωσης και μια διαφορετική μοναδιαία χρέωση για την κατανάλωση κάθε κλίμακας. Σε αυτή διακρίνονται δυο περιπτώσεις: η κλιμακωτά αυξανόμενη (Increasing Block Tariff – IBT) και η κλιμακωτά μειούμενη τιμολόγηση (Decreasing Block Tariff – DBT). Στη μεν πρώτη περίπτωση η τιμή του νερού αυξάνεται ανάλογα με το επίπεδο της κατανάλωσης, στη δε δεύτερη η τιμή μειώνεται καθώς η κατανάλωση αυξάνεται.

##### α) Κλιμακωτά αυξανόμενη τιμολόγηση (Increasing Block Tariff – IBT)

Στο σύστημα κλιμακωτά αυξανόμενων χρεώσεων νερού η κατανάλωση χωρίζεται σε έναν αριθμό διακεκριμένων κλιμάκων, για κάθε μία από τις οποίες ορίζονται διαφορετικές αυξανόμενες τιμές. Δηλαδή, κάθε καταναλωτής χρεώνεται με μία σχετικά χαμηλή τιμή για κατανάλωση μέχρι μία συγκεκριμένη ποσότητα, η οποία καθορίζει το τέλος της πρώτης κλίμακας. Στη συνέχεια, εάν η καταναλισκόμενη ποσότητα είναι μεγαλύτερη, ο καταναλωτής χρεώνεται με μεγαλύτερη μοναδιαία τιμή μέχρι το τέλος της δεύτερης κλίμακας. Η τιμή είναι ακόμα μεγαλύτερη για την επόμενη κλίμακα κ.ο.κ. Σύμφωνα με τους Bar-Shira, et al. (2006), κύριος στόχος της μεθόδου είναι η παρακίνηση για μείωση της κατανάλωσης του νερού χωρίς την

επιβάρυνση των χρηστών με το πλήρες κόστος, που η τιμολόγηση με βάση το οριακό κόστος επιφέρει.

Ωστόσο, ιδιαίτερος ενδιαφέρουσα κρίνεται η επιλογή της χρέωσης ανά κλίμακα κατανάλωσης. Όπως οι Bar-Shira & Finkelshtain (2000) σημειώνουν οι χρήστες επιβαρύνονται με βάση το οριακό κόστος για οριακές ποσότητες νερού, υπό την προϋπόθεση ότι η μέση τιμή του νερού είναι μικρότερη. Αναλυτικότερα, όταν το οριακό κόστος παραγωγής του νερού εξισωθεί με την τιμή της τελευταίας κλίμακας κατανάλωσης, όπως οι ίδιοι (Bar-Shira and Finkelshtain 2000) επισημαίνουν, επιτυγχάνεται μεγιστοποίηση της κοινωνικής ευημερίας βραχυχρονίως<sup>14</sup>, ενώ μακροχρονίως το κοινωνικό πλεόνασμα παρουσιάζει ζημία.

Αυτή η μέθοδος φαίνεται να εξυπηρετεί τους βασικούς στόχους της τιμολόγησης του νερού. Συγκεκριμένα, οι Liu, et al. (2003) θεωρούν πως η δομή αυτή διευκολύνει την ανάκτηση κόστους γιατί όταν η τιμολόγηση είναι σταθερή (μία μοναδιαία τιμή ανεξάρτητη από την κατανάλωση), ενδέχεται τα νοικοκυριά χαμηλού εισοδήματος να μην μπορούν να ανταπεξέλθουν στις χρεώσεις της υπηρεσίας, και επομένως τα έσοδα να μην είναι επαρκή. Οι Liu, et al. (2003) προσθέτουν πως παρέχει κίνητρα για εξοικονόμηση καθώς, θεωρούν ότι η ελαστικότητα της ζήτησης που αντιστοιχεί στις μεγάλες κλίμακες είναι μεγαλύτερη από αυτή των χαμηλότερων κλιμάκων, με αποτέλεσμα τη μείωση της συνολικής κατανάλωσης. Επιπλέον, προωθεί την κοινωνική δικαιοσύνη αφού οι περισσότερο εύποροι καταναλωτές λόγω της ενδοεπιδότησης έχουν τη δυνατότητα να ανταπεξέλθουν στις χρεώσεις που αντιστοιχούν σε κάποια στοιχειώδη ποσότητα νερού που θεωρείται βασικό ανθρώπινο δικαίωμα (Liu, Savenije et al. 2003). Στην άποψη αυτή συνηγορούν οι Dudu & Chumi (2008) εκτιμώντας πως οι χρεώσεις που επιβάλλονται είναι υψηλές, αλλά κοινωνικά αποδεκτές και συντελούν στο να παραμένουν οι μικρές γεωργικές εκμεταλλεύσεις βιώσιμες. Τέλος, στα παραπάνω οι Easter & Liu (2005) επισημαίνουν πως η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις που το νερό είναι σπάνιο, τα εισοδήματα των γεωργών είναι χαμηλά και οι χρεώσεις του νερού είναι υψηλές σε σχέση με το καθαρό γεωργικό εισόδημα.

Ωστόσο, ορισμένοι ερευνητές (Boland and Whittington 2003) υποστηρίζουν ότι στην πραγματικότητα η δομή των κλιμακωτά αυξανόμενων χρεώσεων δεν εξυπηρετεί ικανοποιητικά τους παραπάνω στόχους. Αναλυτικότερα, οι Boland & Whittington

---

<sup>14</sup> με τους γεωργούς να αντιμετωπίζουν ζημία και να πρέπει να επιδοτηθούν.

(2003) αναφέρουν ως βασικές αδυναμίες την έλλειψη δικαιοσύνης και οικονομικής αποδοτικότητας, τη δυσκολία καθορισμού της πρώτης κλίμακας και εφαρμογής, την πολυπλοκότητά και το πρόβλημα των κοινών συνδέσεων.

Η τιμολόγηση αυτή είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη, τόσο στις χώρες του ΟΟΣΑ (και στην Ελλάδα), όσο και στις αναπτυσσόμενες χώρες. Εφαρμόζεται, επίσης, στις γεωργικές περιοχές με εξελιγμένη τεχνολογία παρακολούθησης του συστήματος, όπως για παράδειγμα στο Ισραήλ και στην Καλιφόρνια» (Bosworth, Cornish et al. 2002).

β) Κλιμακωτά μειούμενη τιμολόγηση (Decreasing Block Tariff – DBT)

Σε αντίθεση με τις κλιμακωτά αυξανόμενες τιμές, το σύστημα των κλιμακωτά μειούμενων τιμών βασίζεται στην οικονομική αρχή ότι τα αγαθά με μεγάλη αξία πρέπει να είναι ακριβότερα από αυτά με χαμηλότερη. Επομένως, το νερό τιμολογείται με υψηλές τιμές για χρήσεις στις οποίες έχει μεγάλη αξία, και χαμηλότερα για χρήσεις στις οποίες έχει μικρότερη.

Ωστόσο, οι Gracia, et al.(2001) επισημαίνουν πως σε όρους κοινωνικής δικαιοσύνης το σύστημα αυτό δεν είναι αποδεκτό, καθώς οι καταναλωτές χαμηλού εισοδήματος και μικρής κατανάλωσης πληρώνουν αναλογικά περισσότερο από αυτούς που μπορούν να αντεπεξέλθουν σε υψηλότερες χρεώσεις.

Παρά ταύτα, σε ορισμένες περιπτώσεις το σύστημα των κλιμακωτά μειούμενων τιμών παρουσιάζει ορισμένα πλεονεκτήματα. Ενδεικτικά, ο Griffin (2006) αναφέρει πως οι μεγάλοι χρήστες του νερού έχουν σταθερή κατανάλωση νερού, αντίθετα με τους μικρούς, που συντελούν στην έξαρση της ζήτησης στα διαστήματα αιχμής και έτσι προκαλούν υψηλότερο μέσο και οριακό κόστος. Στα παραπάνω, ο ίδιος (Griffin 2006) προσθέτει πως η δομή των κλιμακωτά αυξανόμενων χρεώσεων ενθαρρύνει καταναλωτές που έχουν πρόσβαση σε άλλες πηγές νερού (π.χ. ιδιωτικές γεωτρήσεις) να στραφούν σε αυτές, γεγονός που μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα επάρκειας εσόδων στο φορέα παροχής υπηρεσιών και αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι κίνδυνοι αυτοί αποσοβούνται με τις κλιμακωτά μειούμενες χρεώσεις.

4.3.1.2.4 Τιμολόγηση με βάση ανώτατες ποσότητες νερού (Quotas pricing)

Ο τρόπος λειτουργίας της μεθόδου τιμολόγησης με βάση ανώτατες ποσότητες νερού που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από ένα γεωργό σε συγκεκριμένη τιμή, παρομοιάζεται με τη μέθοδο τιμολόγησης με κλιμακωτά αυξανόμενες χρεώσεις. Στην

πραγματικότητα, όπως οι Easter and Liu (2005) επισημαίνουν, οι ανώτατες ποσότητες αποτελούν μια ακραία περίπτωση αυξανόμενων ομαδοποιημένων χρεώσεων και παρουσιάζουν δυο διαφορετικούς τρόπους εφαρμογής. Όπως οι ίδιοι (Easter and Liu 2005) αναφέρουν, είτε υπάρχει ένα σύστημα σταθερών ανώτατων ποσοτήτων άντλησης νερού από τους υπόγειους υδροφορείς που προσδιορίζεται με βάση ένα ετήσιο ποσοστό καθορισμένο αναλογικά με την καλλιεργούμενη έκταση του κάθε γεωργού, είτε γίνεται σταθερή κατανομή των δικαιωμάτων του νερού σε διαφορετικές πηγές, καθώς οι χρήστες μοιράζονται νερό από την ίδια πηγή.

Η σύγκριση της επιβολής τιμών σε σχέση με την ύπαρξη ανώτατων παρεχόμενων ποσοτήτων νερού, αναδεικνύει ορισμένα σημεία υπεροχής των δεύτερων έναντι των πρώτων. Αναλυτικότερα, η επιβολή ανώτατων ποσοτήτων θεωρείται περισσότερο διαφανής διαδικασία (Molle and Berkoff 2007; Molle 2009), εξασφαλίζει την ισότητα όταν η προσφορά είναι ανεπαρκής (Tsur and Dinar 1995), είναι εύκολη στη διαχείρισή της με σχετικά μειωμένο κόστος εφαρμογής (Molle and Berkoff 2007; Molle 2009), δίνει τη δυνατότητα εύκολης προσαρμογής της ποσότητας του νερού ανάλογα με τους υπόλοιπους μεταβλητούς συντελεστές παραγωγής (Molle 2009) και οδηγεί στις μικρότερες απώλειες εισοδήματος (Molle 2009). Ωστόσο, όπως ο Molle (2009) αναφέρει, η μέθοδος δεν επιτυγχάνει οικονομική αποδοτικότητα και δεν έχει την απαραίτητη ευελιξία προσαρμογής σε μεταβαλλόμενες συνθήκες (εκ νέου καθορισμός ανώτατων ποσοτήτων, π.χ. Ισραήλ).

Παρά ταύτα, η μέθοδος αυτή εμφανίζεται ως η μόνη λύση για τη διαχείριση της έλλειψης του νερού γεγονός που την κάνει πολύ δημοφιλή σε διάφορες περιοχές. Αναλυτικότερα, οι ανώτατες ποσότητες χρησιμοποιούνται σε διάφορες περιοχές της Γαλλίας (Cornish, Bosworth et al. 2004), στη Μαχαράστρα της Ινδίας (Easter and Liu 2005), στο Μαρόκο, στην κοιλάδα της Ιορδανίας, στη Καπιτανάτα της νότιας Ιταλίας, στη λεκάνη Γκουανταλκιβίρ της Ισπανίας, στις Η.Π.Α., στο Περού, στην Κίνα, στον Καναδά, στην Αυστραλία και στο Μεξικό (Molle 2009).

#### 4.3.2 Μη ογκομετρικές μέθοδοι τιμολόγησης του νερού

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι μέθοδοι τιμολόγησης που δε χρησιμοποιούν τον καταναλισκόμενο όγκο νερού για να χρεώσουν τους χρήστες, αλλά η χρέωση βασίζεται σε άλλα στοιχεία και συνήθως χρησιμοποιούνται στο γεωργικό τομέα.

#### *4.3.2.1 Τιμολόγηση με βάση το παραγόμενο προϊόν (output pricing)*

Η μέθοδος τιμολόγησης με βάση το παραγόμενο προϊόν χρεώνει μια αμοιβή για κάθε μονάδα παραγόμενου προϊόντος ανά χρήστη γεγονός που κατά τον Johansson (2000) απαιτεί μεν γνώση του όγκου παραγωγής, αποφεύγει δε την ανάγκη μέτρησης του καταναλισκόμενου νερού. Καθώς, λοιπόν, η παραγόμενη ποσότητα προϊόντος είναι άμεσα υπολογίσιμη, οι Bosworth, et al. (2002) τη θεωρούν εύκολα εφαρμόσιμη.

#### *4.3.2.2 Τιμολόγηση με βάση τους χρησιμοποιούμενους συντελεστές παραγωγής – εισροές (Input pricing)*

Σύμφωνα με τη μέθοδο τιμολόγησης που στηρίζεται στις εισροές, ο γεωργός πληρώνει για το νερό άρδευσης έμμεσα μέσω υψηλότερων τιμών για τους συντελεστές παραγωγής που αγοράζει από το κράτος ή το διαχειριστή του νερού. Ο Johansson (2000) παρομοιάζει τη μέθοδο αυτή με ένα είδος φόρου που επιβάλλεται ανά μονάδα καταναλισκόμενης εισροής. Και καθώς οι ποσότητες των χρησιμοποιούμενων συντελεστών παραγωγής είναι άμεσα υπολογίσιμες, οι Bosworth, et al. (2002), τη θεωρούν εύκολη στην εφαρμογή.

#### *4.3.2.3 Τιμολόγηση με βάση την καλλιεργούμενη έκταση (Area – based pricing)*

Η μέθοδος τιμολόγησης που βασίζεται στην καλλιεργούμενη έκταση είναι η πλέον κοινή στο γεωργικό τομέα, καθώς σχετικές έρευνες (Johansson 2000) έδειξαν πως περισσότερες από το 60% των περιπτώσεων σε παγκόσμια κλίμακα τη χρησιμοποιούν. Σύμφωνα με αυτή, οι γεωργοί υποχρεούνται να πληρώσουν μια σταθερή χρέωση ανά μονάδα αρδευόμενης έκτασης, που σύμφωνα με τους Bosworth, et al. (2002), συχνά εξαρτάται από το επιλεγμένο καλλιεργούμενο είδος, τη συχνότητα των αρδεύσεων, τη μέθοδο άρδευσης και την εποχή. Κατά τους Easter & Liu (2005), η χρέωση προσδιορίζεται από τη διαίρεση της συνολικής αρδευόμενης έκτασης με το συνολικό κόστος λειτουργίας και παρακολούθησης της υπηρεσίας παροχής νερού, που συνήθως ισούται με το μέσο κόστος του νερού.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η ευκολία στον υπολογισμό της χρέωσης, τα χαμηλότερα έξοδα εφαρμογής της σε σχέση με τις ογκομετρικές μεθόδους και ότι γίνεται εύκολα αντιληπτή από τους γεωργούς. Στα παραπάνω οι Easter & Liu (2005) προσθέτουν πως μέσω των χρεώσεων αυτών μπορεί να

επιτευχθεί πλήρης ανάκτηση του συνολικού κόστους, εφόσον η χρέωση ανά στρέμμα ισούται με το μέσο κόστος.

Ένα από τα βασικότερα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι η αλόγιστη κατανάλωση του νερού, καθώς το οριακό κόστος μιας επιπλέον μονάδας νερού ανά στρέμμα είναι μηδέν. Επομένως, όπως οι Easter & Liu (2005) αναφέρουν, η ζήτηση του νερού είναι υψηλότερη από την αντίστοιχη των ογκομετρικών μεθόδων, οπότε είναι πιθανό να οδηγήσει σε υπερκατανάλωση.

Η τιμολόγηση του νερού με βάση την αρδευόμενη έκταση χρησιμοποιείται στην Ισπανία (Cornish, Bosworth et al. 2004), στην Κίνα, στην Ινδία, στο Ιράκ, στο Μεξικό, στη Νιγηρία, στο Πακιστάν, στο Περού, στις Φιλιππίνες, στη Ζιμπάμπουε (Johansson 2000), στο Βιετνάμ, στην Τουρκία, στην Αργεντινή, στην Ελλάδα, στην Ιαπωνία, και στο Σουδάν (Molle and Berkoff 2007).

Πολλές, όμως, είναι και οι περιπτώσεις που χρησιμοποιούν εκτατικές και ογκομετρικές μεθόδους τιμολόγησης του νερού ταυτοχρόνως. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το σύστημα warabandi στο Πακιστάν και στην περιοχή Haryana της Ινδίας. Στις περιοχές αυτές οι μετρήσεις του χρησιμοποιούμενου νερού άρδευσης γίνονται ανά ημέρα, ώρα και διάρκεια παροχής αναλογικά με την αρδευόμενη έκταση (Johansson 2000).

#### *4.3.2.4 Τιμολόγηση υπό συνθήκες ασύμμετρης πληροφόρησης*

Μια επιπλέον μη ογκομετρική μέθοδος τιμολόγησης του νερού αποτελεί αυτή που χρησιμοποιείται υπό συνθήκες ασύμμετρης πληροφόρησης. Δηλαδή, η χρέωση του νερού βασίζεται σε μη μετρήσιμες καταναλισκόμενες ποσότητες νερού καθώς και άγνωστες αρδευτικές μεθόδους.

Σε αυτές τις συνθήκες, οι Smith & Tsur (1997) προτείνουν μια μέθοδο τιμολόγησης η οποία εξαρτάται από την παραγόμενη ποσότητα προϊόντων και συγκεκριμένα, στην επιβολή μη γραμμικών φόρων επ' αυτής. Η μέθοδος αναπτύσσεται γύρω από την ιδέα πως μέσω μιας γνωστής συνάρτησης παραγωγής οι εισροές που δε μπορούν να μετρηθούν (π.χ. νερό) μετατρέπονται σε ποσότητες εκροών, που εύκολα μπορούν να μετρηθούν.

Παρά την προφανή καινοτομία του συστήματος των Smith & Tsur (1997), αυτό παρουσιάζει δυο βασικά προβλήματα. Αφενός, το θεωρητικό πρόβλημα της μακροχρόνιας ανισορροπίας που χαρακτηρίζει τη φορολογία προϊόντος όταν μέσω

αυτής επιδιώκεται ρύθμιση των εισροών ή των ρύπων (Spulber 1985) και αφετέρου, το πρακτικό πρόβλημα της μέτρησης των ποσοτήτων των παραγόμενων προϊόντων, που είναι αρκετά δαπανηρή. Προκειμένου να αρθούν οι αδυναμίες αυτές, οι Dinar & Mody (2004), προτείνουν μια παραλλαγή της μεθόδου, η οποία μπορεί να γραφεί ως

εξής:  $P_w = a + MC\gamma_i$ , όπου  $\gamma_i = \frac{\sum_j d_j \beta_{ij}}{\sum_j \beta_{ij}}$  είναι ο σταθμικός μέσος όρος των

αναγκών των καλλιεργειών σε νερό  $d_j$ , σταθμισμένες με την ποσότητα των καλλιεργούμενων εκτάσεων  $\beta_{ij}$ .

#### 4.3.3 Μέθοδοι κατανομής του νερού βασιζόμενες στην αγορά

Εκτός των ογκομετρικών και μη μεθόδων τιμολόγησης, η κατανομή του νερού μπορεί να γίνει με βάση τη λειτουργία των αγορών του. Οι τελευταίες αναδύθηκαν πρόσφατα εξαιτίας της αναποτελεσματικότητας των προηγούμενων και στηρίζονται στην έννοια των «υδατικών δικαιωμάτων» (water rights), προκειμένου να καθορίσουν την τιμή του πόρου αυτού. Ως ανταλλάξιμο υδατικό δικαίωμα ο Johansson (2000) ορίζει την άδεια χρησιμοποίησης μιας προκαθορισμένης ποσότητας νερού και την εξουσιοδότηση της πώλησής του σε μια καθορισμένη αγορά. Κατά τους Easter & Liu (2005) το νερό διατίθεται σε τιμή που προκύπτει από το σημείο ισορροπίας προσφοράς και ζήτησης και ποικίλει κατά τη διάρκεια του έτους.

Ωστόσο, η σωστή λειτουργία των αγορών του νερού γίνεται υπό ορισμένες προϋποθέσεις. Ανάμεσα σε αυτές οι Dudu & Chumi (2008) αναφέρουν το σαφή προσδιορισμό των δικαιωμάτων νερού και την επαρκή πληροφόρηση του κοινού σχετικά με την προσφορά και τη ζήτησή του. Σε αυτά οι Easter & Liu (2005) προσθέτουν την ύπαρξη ενός ξεκάθαρα και κατανοητού συνόλου κανόνων για την εμπορία του νερού, ενός οργανισμού που αναλαμβάνει τη διανομή του νερού, δικαστικού σώματος που ελέγχει τις διαδικασίες εμπορίας και επιλύει τις όποιες διαφορές, και ενός καλά ανεπτυγμένου συστήματος παρακολούθησης για τον έλεγχο της μεταφοράς νερού στους δικαιούχους.

Επιπλέον, οι αγορές νερού μπορεί να είναι επίσημα αναγνωρισμένες ή μη. Οι πρώτες για να λειτουργήσουν απαιτούν την ύπαρξη δικαιωμάτων νερού που μπορούν να τεθούν σε αγοραπωλησία, γεγονός εξαιρετικά δύσκολο, κατά τον Johansson



(2000), όταν αυτά ανήκουν στο δημόσιο. Οι δεύτερες δρουν κυρίως όταν υπάρχει έλλειψη ή οι κυβερνήσεις αποτυγχάνουν να ανταποκριθούν στις αλλαγές της ζήτησης του (Johansson, Tsur et al. 2002). Τέτοιου είδους αγορές εμπορεύονται πλεονάσματα υπόγειου ή επιφανειακού νερού σε δεδομένη χρονική στιγμή μεταξύ ενός γεωργού και της γειτονικής γεωργικής εκμετάλλευσης ή πόλης (Johansson 2000).

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των αγορών, όπως οι Bosworth, et al. (2002) επισημαίνουν, είναι πως η ύπαρξη μεταβιβάσιμων αποθεμάτων νερού επιφέρει επιπλέον εισόδημα στους γεωργούς. Οι Dinar, et al. (1997) προσθέτουν πως εξίσου σημαντικά είναι τα οφέλη και για τους αγοραστές, καθώς διασφαλίζουν τη διαθεσιμότητα του νερού. Επίσης, οι ίδιοι (Dinar, Rosegrant et al. 1997) αναφέρουν, πως όταν η εμπορία του νερού γίνεται μεταξύ του γεωργικού και του αστικού τομέα, το περιβάλλον ωφελείται διπλά: αφ' ενός, η αγορά του νερού προωθεί την αποτελεσματικότητα της χρήσης του στη γεωργία και τη μειωμένη ρύπανση που προκαλείται από τις αρδεύσεις, αφ' ετέρου οι γεωργοί αντέχουν οικονομικά το κόστος που προκαλεί η ύπαρξη εξωτερικοτήτων και μπορούν να αντεπεξέλθουν στο υψηλότερο κοινωνικό κόστος που σχετίζεται με τη ρύπανση του νερού. Ένα ακόμη θετικό σημείο της ύπαρξης αγορών αποτελεί η μέγιστη προσαρμοστικότητα που παρουσιάζουν σε σχέση με τις αλλαγές στις τιμές των καλλιεργειών και στην αξία του νερού καθώς αλλάζει η ζήτηση (Dinar, Rosegrant et al. 1997). Τέλος, οι Meinzen-Dick & Rosegrant (1997) θεωρούν εξίσου σημαντική την παροχή αποζημιώσεων σε όσους δεν χρησιμοποιούν πλέον το νερό, κάτι που δε συμβαίνει όταν η κατανομή του γίνεται δημόσια και μεταφέρεται από τον ένα χρήστη στον άλλο.

Ωστόσο, τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του νερού κάνουν τη λειτουργία των αγορών του να παρουσιάζει ορισμένες δυσκολίες. Ανάμεσα σε αυτές οι Dinar, et al. (1997) συμπεριλαμβάνουν την ανάγκη μέτρησης του καταναλισκόμενου νερού, το σαφή καθορισμό των δικαιωμάτων νερού, την ανάγκη επιβολής κανόνων σχετικά με τις αντλήσεις του νερού, την επένδυση σε τεχνολογίες παρακολούθησης, τη θεώρηση της πώλησης του νερού ως αντιδεοντολογικής, τη δημιουργία εξωτερικοτήτων και την υποβάθμιση του περιβάλλοντος - στην περίπτωση που μετακινηθούν ποσότητες νερού από τη γεωργία στις αστικές και βιομηχανικές χρήσεις. Και όπως, ο Merrett (1997) αναφέρει, το εμπόριο νερού μπορεί να αναδιανείμει το νερό με τέτοιο τρόπο ώστε ενώ πριν δεν χρησιμοποιούνταν τώρα να βρίσκεται σε πλήρη χρήση, με αποτέλεσμα τη μείωση των αποθεμάτων του. Στα παραπάνω οι Young & Haveman

(1985) επισημαίνουν πως οι αγορές του νερού δεν είναι καλά οργανωμένες, γεγονός που οφείλεται στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του νερού<sup>15</sup>.

Αγορές νερού λειτουργούν σε διάφορα μέρη, όπως στο βόρειο Κολοράντο, στις περιοχές Αλικάντε και Ταραγκόν της Ισπανίας, στην περιοχή Καρίρι στη βόρειο Βραζιλία (Easter and Liu 2005). Επιπλέον, επίσημα αναγνωρισμένες είναι οι αγορές που λειτουργούν στην Καλιφόρνια, στο Τέξας, στην Ισπανία και στην Αυστραλία (Murray – Darling Basin)» (Bosworth, Cornish et al. 2002). Τέλος, παραδείγματα μη αναγνωρισμένων αγορών νερού αποτελούν αυτές που λειτουργούν στη νότια Ασία (Ινδία), στο Πακιστάν, στο Μεξικό, στο Μπαγκλαντές (Johansson 2000) και στη Χιλή (Cornish, Bosworth et al. 2004).

#### **4.4 Σύγκριση μεθόδων τιμολόγησης νερού**

Στο σημείο αυτό κρίνεται ενδιαφέρουσα η σύγκριση των μεθόδων τιμολόγησης του νερού με βάση τους στόχους και το βαθμό στον οποίο τους επιτυγχάνουν. Με βάση την ανωτέρω ανάλυση, ανάμεσα στους κυριότερους σκοπούς περιλαμβάνονται η ανάκτηση του κόστους, η περιβαλλοντική αποτελεσματικότητα (εξοικονόμηση νερού), η οικονομική αποτελεσματικότητα (ορθολογική κατανομή των πόρων), η ισότητα – κοινωνική δικαιοσύνη και η ευκολία υπολογισμού και εφαρμογής. Η συνολική επίδοση της κάθε μεθόδου έναντι των προαναφερθέντων στόχων συνοψίζεται στον Πίνακα 2.

---

<sup>15</sup> Ως κυριότερα εξ αυτών επισημαίνουν: το αεικίνητο, την αστάθεια στην παρεχόμενη ποσότητα, το μεγάλο όγκο του, τις ιδιότητές του να διαλύει διάφορους ρυπαντές, τη διαδοχική χρήση του από πολλούς χρήστες, τη συμπληρωματικότητα των χρήσεών του και τις πολλές φορές αντικρουόμενες αξίες του ως πολιτιστικό και κοινωνικό αγαθό.

Πίνακας 2 Επίδοση μεθόδων τιμολόγησης ανά επιδιωκόμενο στόχο

<b>Μέθοδοι τιμολόγησης</b> \ <b>Στόχοι</b>	<i>Ανάκτηση κόστους</i>	<i>Περιβαλλοντική αποτελεσματικότητα (εξοικονόμηση νερού)</i>	<i>Οικονομική αποτελεσματικότητα (ορθολογική κατανομή πόρων)</i>	<i>Ισότητα</i>	<i>Ευκολία υπολογισμού και εφαρμογής</i>
<b>1. Ογκομετρικές</b>					
<u>1.1 Τιμολόγηση με ενιαία τιμή:</u>					
1.1.1 Τιμολόγηση με βάση το οριακό κόστος	;	OXI	NAI	OXI	Μέτρια περίπλοκη
1.1.2 Τιμολόγηση με βάση το μέσο κόστος	NAI	OXI	OXI	OXI	Εύκολη
<u>1.2 Τιμολόγηση με πολλαπλές τιμές:</u>					
1.2.1 Αύξουσα κλιμακωτή	;	NAI	;	NAI	Περίπλοκη
1.2.2 Φθίνουσα κλιμακωτή	;	OXI	;	NAI	Περίπλοκη
1.2.3 Πολλαπλή χρέωση	NAI	NAI	NAI	NAI	Μέτρια περίπλοκη
1.2.4 Μη γραμμική τιμολόγηση	NAI	NAI	NAI	NAI	Μέτρια περίπλοκη
<b>2. Μη ογκομετρικές</b>	OXI	OXI	OXI	NAI	Εύκολη

Πηγή: Συγγραφέως

Προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος της ανάκτησης του κόστους του νερού μπορούν να χρησιμοποιηθούν: α) η τιμολόγηση με βάση το οριακό κόστος εφόσον το μέσο κόστος είναι αυξανόμενο ή δίνεται επιδότηση στις υπηρεσίες παροχής νερού, β) η τιμολόγηση με βάση το μέσο κόστος, γ) η τιμολόγηση με πολλαπλές χρεώσεις και δ) η μεταβλητή μοναδιαία τιμολόγηση, καθώς οι (γ) και (δ) εμπεριέχουν το μέσο κόστος.

Εάν στόχο αποτελεί η εξοικονόμηση του νερού οι μέθοδοι που προτιμώνται είναι η αύξουσα κλιμακωτή τιμολόγηση ή η τιμολόγηση με πολλαπλές χρεώσεις ή η μεταβλητή μοναδιαία τιμολόγηση, αφού είναι οι μοναδικές που παρέχουν κίνητρα στους χρήστες για μειωμένη κατανάλωση.

Στην περίπτωση που έχει σημασία η αποδοτική κατανομή του νερού, δηλαδή η μεγιστοποίηση της κοινωνικής ευημερίας με δεδομένες ποσότητες νερού και χρήση της υπάρχουσας τεχνολογίας κρίνεται χρήσιμη η εφαρμογή της τιμολόγησης σύμφωνα με το οριακό κόστος ή τις πολλαπλές χρεώσεις ή της μεταβλητής μοναδιαίας τιμολόγησης.

Ο στόχος της ισότητας, δηλαδή της δίκαιης κατανομής του νερού μεταξύ των διαφορετικών οικονομικά κοινωνικών ομάδων, εξασφαλίζεται μέσω των μεθόδων τιμολόγησης με πολλαπλές τιμές και των μη ογκομετρικών μεθόδων.

Τέλος, αν η επιλογή της κατάλληλης ή μη μεθόδου τιμολόγησης του νερού γίνει με βάση το κριτήριο της ευκολίας υπολογισμού και εφαρμογής της, οι πλέον εύκολες θεωρούνται οι μη ογκομετρικές (στηρίζονται σε εύκολα μετρήσιμα στοιχεία) και η τιμολόγηση με το μέσο κόστος (στηρίζεται στο κόστος και την προσφορά). Αμέσως επόμενη επιλογή αποτελούν η τιμολόγηση με βάση το οριακό κόστος, των πολλαπλών χρεώσεων και της μεταβλητής μοναδιαίας τιμολόγησης. Τελευταίες στην κατάταξη είναι οι μέθοδοι των κλιμακωτών χρεώσεων που χαρακτηρίζονται ως ιδιαίτερος περίπλοκος.

## **4.5 Επίλογος**

Από τα παραπάνω φαίνεται πως η επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου προκειμένου να επιτευχθεί ο εκάστοτε επιδιωκόμενος στόχος είναι ιδιαίτερος σημαντική. Κι αυτό γιατί οι μέθοδοι δε διαφέρουν μόνο ως προς τους στόχους που επιτυγχάνουν, αλλά και ως προς το βαθμό στον οποίο τους ικανοποιούν. Πολλές

φορές, λοιπόν, ο συνδυασμός πολλών στόχων που διαφέρουν μεταξύ τους με τη χρήση μιας ενιαίας πολιτικής τιμολόγησης καθίσταται εξαιρετικά δύσκολος. Για το λόγο αυτό είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί ένα μείγμα μεθόδων τιμολόγησης (π.χ. συνδυασμός ογκομετρικής και κατ' έκταση τιμολόγησης) προκειμένου να καλυφθεί μεγαλύτερο φάσμα στόχων.

## Κεφάλαιο 5. Αποτελεσματικότητα μεθόδων τιμολόγησης

### 5.1 Εισαγωγή

Η εξέταση των μεθόδων τιμολόγησης του αρδευτικού νερού έδειξε, η επιλογή της μιας ή της άλλης μεθόδου προκειμένου να επιτευχθεί κάποιος προκαθορισμένος στόχος είναι εξαιρετικά δύσκολη. Κάτι τέτοιο γίνεται ακόμη δυσκολότερο αν συνυπολογίσει κανείς πως πολλές φορές δεν υπάρχει μία μόνο επιδίωξη, αλλά πολλές και συχνά αντικρουόμενες μεταξύ τους. Για το λόγο αυτό η σχετική βιβλιογραφία αναφέρεται στην αποτελεσματικότητα των μεθόδων και στη μέτρησή της. Το ζήτημα αυτό επιχειρεί να προσεγγίσει το παρόν κεφάλαιο, στο οποίο αναλύεται η έννοια της αποτελεσματικότητας και οι τρόποι μέτρησής της.

### 5.2 Η έννοια της αποτελεσματικότητας των μεθόδων τιμολόγησης

Ο όρος «αποτελεσματικότητα» που χαρακτηρίζει τις μεθόδους τιμολόγησης του αρδευτικού νερού είναι πολυδιάστατος, καθώς περικλείει πλήθος εννοιών. Ουσιαστικά, αποτελεί μια «ομπρέλα» κάτω από την οποία βρίσκονται όλοι οι διαφορετικοί στόχοι των μεθόδων αυτών. Πιο αναλυτικά, περιλαμβάνει την οικονομική και περιβαλλοντική αποτελεσματικότητα, την αποδοτικότητα και την ισότητα. Η οικονομική αποτελεσματικότητα αναφέρεται στην ορθολογική κατανομή των πόρων και η περιβαλλοντική στην εξοικονόμηση του νερού. Η αποδοτικότητα αφορά στην ανάκτηση του κόστους και η ισότητα στη δίκαιη κατανομή του στους χρήστες του νερού. Επομένως, η αποτελεσματικότητα αποτελεί μια συνισταμένη που μπορεί όχι μόνο να χαρακτηρίσει μια μέθοδο τιμολόγησης, αλλά και να χρησιμοποιηθεί ως μέτρο σύγκρισής της με άλλες.

Η μέτρηση της αποτελεσματικότητας των μεθόδων τιμολόγησης κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική, καθώς ο τρόπος χρέωσης ωθεί τους γεωργούς στην υιοθέτηση διαφορετικών συμπεριφορών, που προσαρμόζονται ανάλογα με την εκάστοτε χρέωση του αρδευτικού νερού. Χαρακτηριστικά αναφέρονται οι περιπτώσεις αλλαγής του εντατικού ορίου, του παραγωγικού προτύπου ή εκτατικού ορίου παραγωγής και η

τεχνολογική προσαρμογή σε νέα δεδομένα. Όπως χαρακτηριστικά οι Oxley, *et al.* (2002) επισημαίνουν, οι αποφάσεις των γεωργών σχετικά με το παραγωγικό πρότυπο που θα υιοθετήσουν επηρεάζονται από την αλληλεπίδραση μεταξύ των προτιμήσεων και στόχων και των φυσικών περιβαλλοντικών ιδιαιτεροτήτων της περιοχής τους. Αναλυτικότερα και προκειμένου να αναπαραστήσουν τις αλληλεπιδράσεις αυτές μεταξύ των ανθρώπινων χαρακτηριστικών και του φυσικού περιβάλλοντος, οι ίδιοι (Oxley, Jeffrey *et al.* 2002) αναφέρουν τρία είδη κριτηρίων στα οποία οι γεωργοί βασίζουν τις αποφάσεις τους για τις χρήσεις της γης τους, λαμβάνοντας υπόψη τους το καθεστώς τιμολόγησης του νερού: τα ήπια<sup>16</sup> (soft criteria), τα φυσικά<sup>17</sup> (natural criteria) και τα δυναμικά<sup>18</sup> κριτήρια (dynamic criteria). Επομένως, η μέτρηση της αποτελεσματικότητας των μεθόδων χρέωσης γίνεται μέσω του υπολογισμού των μεταβολών που υφίστανται τα ήπια, φυσικά και δυναμικά κριτήρια από την υιοθέτηση της μιας ή της άλλης τιμολόγησης του νερού.

Η σχετική βιβλιογραφία αναφέρει πλήθος τρόπων μέτρησης της αποτελεσματικότητας, με σημαντικότερους τα βιο-οικονομικά μοντέλα (Bio-economic modeling) και τα μοντέλα μαθηματικού προγραμματισμού (Discrete Stochastic, Positive, Dynamic), την πολυκριτηριακή ανάλυση (Multi-criteria Decision Making MCDM) και την περιβάλλουσα ανάλυση δεδομένων (Data Envelopment Analysis - DEA).

---

<sup>16</sup> Τα ήπια κριτήρια περιγράφουν χαρακτηριστικά όπως ο βαθμός πολυαπασχόλησης, το επίπεδο οικονομικής ευημερίας, τα πολιτισμικά χαρακτηριστικά, το μέσο μέγεθος της γεωργικής εκμετάλλευσης, οι νέες τεχνολογίες, η διαθεσιμότητα και ο τύπος του εργατικού δυναμικού, οι νέες τεχνολογίες, οι ασθένειες των καλλιεργειών κ.ά.

<sup>17</sup> Τα φυσικά κριτήρια ορίζουν τους περιβαλλοντικούς περιορισμούς εντός των οποίων οι γεωργοί οφείλουν να λάβουν τις οικονομικές τους αποφάσεις. Αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν το υψόμετρο, την κλίση και τη θέση προς τον ήλιο, το βαθμό βροχοπτώσεων, τη θερμοκρασία, τον τύπο του εδάφους, την απόσταση από τις αγορές, την ύπαρξη ή μη αναβαθμίδων και τα χαρακτηριστικά των επικρατούντων στην περιοχή ανέμων.

<sup>18</sup> Τα δυναμικά κριτήρια διαφοροποιούνται από γεωργό σε γεωργό και αλλάζουν ως αποτέλεσμα των κοινωνικών - πολιτισμικών και περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών. Αυτά περιλαμβάνουν τον τύπο της καλλιέργειας, τον τρόπο άρδευσης, την προέλευση του νερού άρδευσης, τη χρήση αγροχημικών και τις επενδύσεις σε τουριστικές ή άλλες υπηρεσίες.

## 5.3 Τρόποι μέτρησης της αποτελεσματικότητας των μεθόδων τιμολόγησης

### 5.3.1 Βιοοικονομικά μοντέλα και μοντέλα μαθηματικού προγραμματισμού

Η χρήση βιο-οικονομικών μοντέλων προτείνεται από πολλούς (Ortega, de Juan et al. 2004; Mouratiadou, Russell et al. 2008) προκειμένου να προσδιοριστεί η αποτελεσματικότητα, δηλαδή οι επιπτώσεις των διάφορων πολιτικών τιμολόγησης του αρδευτικού νερού. Τα μοντέλα αυτά συνδυάζουν το μαθηματικό προγραμματισμό με τη βιοφυσική προσομοίωση και όπως οι Ruben, et al. (1998) επισημαίνουν, έχουν αναπτυχθεί προκειμένου να ενσωματώσουν αγρο-οικολογικές και κοινωνικο-οικονομικές πληροφορίες στην ανάλυση επιπτώσεων των αγροτικών πολιτικών στην αειφορική χρήση της γης.

Τα βιοφυσικά μοντέλα διαχειρίζονται τις επιπτώσεις των καιρικών συνθηκών, των εδαφολογικών τύπων, των εισροών, των καλλιεργητικών πρακτικών και των μεταξύ τους σχέσεων στη γεωργική παραγωγή. Στη συνέχεια και αφού προσδιοριστούν οι φυσικές σχέσεις, εισέρχονται ως δεδομένες στα μοντέλα μαθηματικού προγραμματισμού. Αυτά χρησιμοποιούνται για να επιτευχθεί η βέλτιστη κατανομή των εισροών μιας γεωργικής εκμετάλλευσης στις διάφορες δραστηριότητες της διαμέσου μιας αντικειμενικής συνάρτησης που υπόκειται σε τεχνικούς, αγρονομικούς, οικονομικούς και πολιτικούς περιορισμούς. Από το συνδυασμό των δυο προσδιορίζονται τα διάφορα οικονομικά χαρακτηριστικά και το πώς αυτά επηρεάζονται από τις φυσικές μεταβλητές.

Οι Ruben, et al. (1998) συνοψίζουν τα κυριότερα στοιχεία της βιο – οικονομικής ανάλυσης, ανάμεσα στα οποία συγκαταλέγονται η δυνατότητα προσέγγισης της τεχνολογικής επιλογής, η διασύνδεση της εφαρμοζόμενης πολιτικής με τη συμπεριφορά των γεωργών και η εκτίμηση της αποτελεσματικότητας των εφαρμοζόμενων πολιτικών. Επίσης, για το ίδιο θέμα οι Neufeldt, et al. (2006) αναφέρουν πως τα μοντέλα επιτρέπουν τον προσδιορισμό όχι μόνο των οικονομικών, αλλά και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την άσκηση των διαφορετικών πολιτικών. Ωστόσο, όπως οι Ruben, et al. (1998) επισημαίνουν, το κάθε βιοοικονομικό μοντέλο παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αναφορικά



με το βαθμό επίτευξης των παραπάνω στόχων, γεγονός που δικαιολογεί την ανάπτυξη πλήθους διαφορετικών μοντέλων.

Στην περίπτωση της μέτρησης της αποτελεσματικότητας των μεθόδων τιμολόγησης του αρδευτικού νερού, το μεν βιοφυσικό μοντέλο προσομοιάζει την παραγωγική διαδικασία και υπολογίζει τη συνάρτηση παραγωγής του νερού, δηλαδή τη σχέση μεταξύ της χρησιμοποιούμενης ποσότητας νερού και του παραγόμενου προϊόντος. Το δε οικονομικό συνδέει το κόστος άρδευσης (τιμή νερού) με το κέρδος από την αυξημένη παραγωγικότητα προκειμένου να υπολογίσει τη βέλτιστη οικονομικά εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού, ορίζοντάς την ως το κριτήριο για να επιτευχθεί το μέγιστο κέρδος. Στο νερό δίνονται διάφορες τιμές, από τη μεταβολή των οποίων ελέγχεται η συνακόλουθη αλλαγή του κέρδους, που καλείται να μετρήσει την αποτελεσματικότητα.

Οι Janssen & van Ittersum (2007) συνοψίζουν τα κύρια πλεονεκτήματα των βιο-οικονομικών μοντέλων και ανάμεσά τους αναφέρουν ότι προσομοιάζουν τις γεωργικές εκμεταλλεύσεις με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, καθώς βασίζονται σε προβλήματα αριστοποίησης υπό περιορισμούς, δίνουν τη δυνατότητα να ληφθούν υπόψη ταυτοχρόνως πολλές δραστηριότητες, περιορισμοί και νέες παραγωγικές τεχνικές, τα αποτελέσματα των αλλαγών των παραμέτρων μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν διαμέσου της ανάλυσης ευαισθησίας, και, τέλος, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για βραχυχρόνιες και μακροχρόνιες προβλέψεις.

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα της χρήσης των βιοοικονομικών μοντέλων στον υπολογισμό της αποτελεσματικότητας της ογκομετρικής χρέωσης του αρδευτικού νερού με ενιαία τιμή, οι μεν Ortega, et al (2004) καταλήγουν πως αύξηση της τιμής συνεπάγεται μείωση του ακαθάριστου κέρδους της γεωργικής εκμετάλλευσης, οι δε García-Vila, et al. (2009) σημειώνουν μείωση του καθαρού γεωργικού εισοδήματος και της καταναλισκόμενης ποσότητας νερού. Επιπλέον, οι García-Vila & Fereres (2012) επισημαίνουν πως διπλασιασμός της ογκομετρικής χρέωσης του νερού συνεπάγεται μικρή μείωση της ζητούμενης ποσότητας νερού και το καλλιεργητικό πρότυπο παραμένει αμετάβλητο. Τέλος, οι Scheierling, et al.(2004) χρησιμοποιούν ένα βιοοικονομικό μοντέλο προκειμένου να υπολογίσουν τις αυξήσεις στην τιμή του νερού υπό την κατ' έκταση τιμολόγηση και συμπεραίνουν πως οδηγεί σε μειωμένες απαιτήσεις σε νερό και μειωμένο καθαρό εισόδημα.

Μια διαφορετική προσέγγιση των βιοοικονομικών μοντέλων αποτελούν τα υδροοικονομικά. Τα τελευταία μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη μέτρηση της

αποτελεσματικότητας των μεθόδων τιμολόγησης του αρδευτικού νερού, καθώς επιδιώκουν την προσομοίωση της υδρολογικής κατάστασης των λεκανών απορροής με την ταυτόχρονη ενσωμάτωση οικονομικών παραμέτρων τις οποίες αριστοποιούν. Εκτενής αναφορά στα υδροοικονομικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται στα κράτη – μέλη της Ε.Ε., σύμφωνα με τους Heinz, et al. (2007), έγινε στα συνέδρια της Κοπεγχάγης (Krejcik November 2004) και της Βαλένσια (Heinz January 2006) καθώς και από τους Pulido-Velazquez, et al. (2008). Τέλος, οι Balali, et al. (2011) με τη χρήση ενός τέτοιου μοντέλου επιχειρούν τον υπολογισμό των επιπτώσεων της αύξησης των ογκομετρικών χρεώσεων του νερού στο υδατικό ισοζύγιο της περιοχής μελέτης. Πιο αναλυτικά, επισημαίνουν πως αύξηση της τιμής οδηγεί σε μείωση της ζητούμενης ποσότητας υπόγειου νερού και θετικό υδατικό ισοζύγιο.

Απομονώνοντας από τα βιοοικονομικά μοντέλα μόνο τα οικονομικά και με βάση τη σχετική βιβλιογραφία (Varela-Ortega, Sumpsi et al. 1998; Berbel and Gómez-Limón 2000; Dono, Giraldo et al. 2010), συχνά συναντάται η χρήση των μοντέλων μαθηματικού προγραμματισμού προκειμένου να υπολογιστεί η αποτελεσματικότητα των μεθόδων τιμολόγησης του νερού και να συγκριθούν μεταξύ τους. Σύμφωνα με τον Young (2005) τα μοντέλα αυτά προσομοιώνουν την ιδανικότερη κατανομή του νερού άρδευσης και άλλων συντελεστών παραγωγής μεταξύ των διάφορων τύπων καλλιεργειών ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τους συνδυασμούς των καλλιεργειών και του χρησιμοποιούμενου νερού και του ανάλογου καθαρού κέρδους που αυτά δίνουν. Συνήθως λειτουργούν υπό διάφορους περιορισμούς, όπως τεχνικοί (διαθέσιμη ποσότητα νερού, διαθέσιμη γη, εργατικό δυναμικό, εξοπλισμός, παραγωγικές δυνατότητες), οικονομικοί (τιμές εισροών και εκροών, επιτόκια), νομισματικοί (ρευστότητα, δάνεια) και πολιτικοί (Κοινή Αγροτική Πολιτική, Οδηγία – πλαίσιο για το νερό, ανώτατη παραγόμενη ποσότητα, επιδοτήσεις).

Τα μοντέλα του μαθηματικού προγραμματισμού μπορεί να είναι στατικά ή δυναμικά, ανάλογα με το αν οι μεταβλητές του παραμένουν σταθερές με το χρόνο ή όχι αντιστοίχως. Τα δυναμικά μοντέλα διακρίνονται σε συνεχή, διακριτά και μικτά, εφόσον οι μεταβλητές τους αλλάζουν χρονικά με συνεχή τρόπο (σε συγκεκριμένο χρονικό εύρος), με ασυνεχή τρόπο ή συνδυασμό των δυο προηγούμενων περιπτώσεων.

Για παράδειγμα οι Varela-Ortega, et al. (1998) χρησιμοποιούν το γραμμικό μαθηματικό προγραμματισμό προκειμένου να συγκρίνουν την ογκομετρική μέθοδο τιμολόγησης με ενιαία τιμή με τις κλιμακωτές χρεώσεις. Συνοψίζοντας τα αποτελέσματά τους Varela-Ortega, et al. (1998) φαίνεται πως η ογκομετρική τιμολόγηση οδηγεί σε μεγαλύτερη μείωση του γεωργικού εισοδήματος και παρέχει μεγαλύτερα έσοδα στις υπηρεσίες παροχής νερού, ενώ η εξοικονόμηση νερού είναι μεγαλύτερη στις κλιμακωτές χρεώσεις.

Οι Berbel & Gómez-Limón (2000) χρησιμοποιούν τα μοντέλα μαθηματικού προγραμματισμού προκειμένου να διαπιστώσουν τις συνέπειες της αυξημένης τιμής του νερού υπό την ογκομετρική μέθοδο τιμολόγησης με ενιαία τιμή. Οι ίδιοι καταλήγουν πως οδηγεί σε μείωση του γεωργικού εισοδήματος, περιορισμό της ποικιλίας των καλλιεργούμενων ειδών, μείωση της ζήτησης για εργατικό δυναμικό και της χρήσης λιπασμάτων. Προκειμένου για την ίδια σύγκριση υπό συνθήκες αβεβαιότητας και μη οι Doppler, et al. (2002) καταλήγουν πως ενδεχόμενη αύξηση της τιμής συνεπάγεται μείωση της καταναλισκόμενης ποσότητας, του γεωργικού εισοδήματος και της γεωργικής γης. Τέλος, στην ίδια άποψη συνηγορούν και οι Scardigno & Bazzani (2008), που χρησιμοποιούν ένα γραμμικό μοντέλο για να ελέγξουν τις επιπτώσεις διάφορων πολιτικών. Όπως διευκρινίζουν, αύξηση της τιμής του νερού οδηγεί σε μείωση της ζήτησης και του γεωργικού εισοδήματος.

Επιπλέον, ο Djanibekov (2008) χρησιμοποιεί το μαθηματικό προγραμματισμό για να ελέγξει τις επιπτώσεις της αυξημένης χρέωσης του αρδευτικού νερού ανά καλλιεργούμενη έκταση. Όπως τα αποτελέσματα της ανάλυσης δείχνουν, αυξημένες χρεώσεις οδηγούν σε αλλαγή στο καλλιεργητικό πρότυπο με στροφή προς λιγότερο υδροβόρες καλλιέργειες, μείωση της παραγόμενης ποσότητας εξαιτίας μείωσης της καλλιεργούμενης έκτασης, μείωση του εργατικού δυναμικού, μείωση του εισοδήματος των αγροτικών νοικοκυριών και μείωση της κοινωνικής ευημερίας της αγροτικής περιοχής όπου εφαρμόστηκε η τιμολόγηση.

Ακόμα, οι Huang, et al. (2008) με τη χρήση ενός μοντέλου μεγιστοποίησης του κέρδους υπό περιορισμούς, επιδιώκουν να εντοπίσουν τις επιπτώσεις των αυξημένων χρεώσεων κατ' όγκο με ενιαία τιμή. Από την παραπάνω ανάλυση καταλήγουν πως αύξηση της τιμής του νερού οδηγεί σε εξοικονόμησή του, μειωμένη παραγωγή και σε μειωμένο γεωργικό εισόδημα.

Ωστόσο, παρά την ευρεία χρήση των μοντέλων αυτών οι Iglesias & Blanco (2008) επισημαίνουν δυο βασικά μειονεκτήματα, που περιστρέφονται γύρω από την

ανάγκη αφ' ενός προσθήκης αυστηρών περιορισμών προκειμένου να αποφευχθούν οι πολύ εξειδικευμένες λύσεις και αφ' ετέρου βαθμονόμησης των αποτελεσμάτων για να αντιπροσωπεύουν την πραγματικότητα. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε περιορισμένη δυνατότητα των μοντέλων να χρησιμοποιηθούν στην αποτίμηση των επιπτώσεων πολιτικών σε αρκετές περιπτώσεις. Επιπλέον, καθώς η σχέση εισροών – εκροών θεωρείται σταθερή και υποθέτουν ίδια συμπεριφορά όλων των γεωργών και χρήση μιας «μέσης» τεχνολογίας, οι Spleman, et al. (2008) συμπεραίνουν πως μπορεί να οδηγήσουν σε εσφαλμένα συμπεράσματα.

Ένας τρόπος για να αποφευχθούν τα παραπάνω προβλήματα είναι η χρήση μοντέλων θετικού προγραμματισμού. Όταν αυτά χρησιμοποιούνται στη διερεύνηση των επιπτώσεων των εφαρμοζόμενων πολιτικών, οι Iglesias & Blanco (2008) επισημαίνουν πως πλεονεκτούν, καθώς επιτρέπουν την αυτόματη βαθμονόμηση<sup>19</sup>, άρα και αποτύπωση της πραγματικότητας, έχουν ανάγκη λιγότερων δεδομένων και μπορούν να ενσωματώσουν τις συνεχείς αλλαγές των εξωγενών παραμέτρων. Ωστόσο, περιορίζουν τη μελέτη στην παρατηρούμενη κατάσταση και δεν επιτρέπουν την ενσωμάτωση νέων δραστηριοτήτων ή τεχνολογιών. Το μειονέκτημα αυτό προσπαθούν να επιλύσουν οι Iglesias & Blanco (2008) με τη χρήση μιας δευτεροβάθμιας συνάρτησης κόστους που επιτρέπει στο μοντέλο την πιθανότητα υιοθέτησης καινούριων τεχνολογιών / δραστηριοτήτων μέσω της υπόθεσης ότι τα οριακά έσοδα είναι ίσα με τα οριακά κόστη στο αρχικό σενάριο.

Έχοντας υπόψη τα παραπάνω, οι Iglesias & Blanco (2008) επιχειρούν τον υπολογισμό της αποτελεσματικότητας της ογκομετρικής μεθόδου τιμολόγησης του αρδευτικού νερού με ενιαία τιμή για διαφορετικά επίπεδα τιμών. Τελικά καταλήγουν στο ότι αύξηση της τιμής συνεπάγεται μείωση της καταναλισκόμενης ποσότητας του νερού και του γεωργικού εισοδήματος. Επίσης συμπεραίνουν πως το νερό και το εργατικό δυναμικό είναι συμπληρωματικά αγαθά ιδιαίτερα για χαμηλές τιμές του νερού και ότι ως προς τις υπηρεσίες παροχής νερού, οι μειώσεις στη χρησιμοποιούμενη ποσότητα και η ανάκτηση του κόστους γίνονται αντικρουόμενοι στόχοι πάνω από μια ορισμένη τιμή του νερού.

---

<sup>19</sup> υπό την υπόθεση ότι μη παρατηρούμενα χαρακτηριστικά επιδρούν στη συμπεριφορά των γεωργών και επηρεάζουν τις αποφάσεις τους σχετικά με την κατανομή της γης. Οπότε, το μοντέλο αφήνεται ελεύθερο να παράγει τα δικά του αποτελέσματα για το βασικό σενάριο χωρίς τη χρήση ειδικών περιορισμών.

Χρησιμοποιώντας το θετικό προγραμματισμό, οι He, et al. (2004) υπολογίζουν τις επιπτώσεις της κατ' όγκο χρέωσης του νερού με ενιαία τιμή. Ανάμεσα στα αποτελέσματα αναφέρουν πως αύξηση της τιμής οδηγεί σε μείωση της καταναλισκόμενης ποσότητας νερού, παρά το γεγονός ότι η ζήτηση είναι έντονα ανελαστική και σε μείωση του παραγόμενου προϊόντος. Επίσης, με το ίδιο μοντέλο οι He, et al. (2004) μετράνε τις συνέπειες επιβολής φόρου επί των υπολοίπων εισροών (αζωτούχο λίπασμα, ενέργεια, ζιζανιοκτόνο) και επισημαίνουν πως αύξηση των φόρων οδηγεί σε μείωση της ποσότητας του νερού. Τέλος, στο ίδιο συγκλίνει και η ανάλυση της επιβολής αυξημένης φορολογίας επί των προϊόντων (He, Tyner et al. 2004).

Μια ακόμη περίπτωση χρήσης του θετικού προγραμματισμού στον εντοπισμό των οικονομικών και κοινωνικών επιπτώσεων των μεθόδων τιμολόγησης του αρδευτικού νερού αποτελεί η προσέγγιση των Gallego-Ayala (2012). Μέσω του μοντέλου αυτού επιχειρείται σύγκριση μεταξύ της ογκομετρικής, κατ' έκταση και διπλής χρέωσης, που αποτελεί συνδυασμό των δυο προηγούμενων. Τα αποτελέσματα δείχνουν πως αύξηση των χρεώσεων, για όλες τις μεθόδους, οδηγεί σε αύξηση των ξηρικών καλλιεργειών, μείωση της καταναλισκόμενης ποσότητας νερού, του νιτρικού φορτίου, του φωσφόρου και των ωρών εργασίας του εργατικού δυναμικού. Καθώς οι μεταβολές των επιπτώσεων της εκάστοτε μεθόδου για τις διαφορετικές τιμές του νερού εξαρτώνται από το κάθε μετρήσιμο χαρακτηριστικό και την περιοχή εφαρμογής, προτείνεται ο υπολογισμός ενός ενιαίου δείκτη. Ο τελευταίος υιοθετείται προκειμένου να καταγραφεί ενιαία κατάταξη των μεθόδων, γεγονός που δεν επιβεβαιώνεται σε καμία περίπτωση.

Επιπλέον μια μέθοδος που καλείται να αντιμετωπίσει τα μειονεκτήματα του γραμμικού μαθηματικού προγραμματισμού είναι η χρήση των δυναμικών μη γραμμικών μονέλων. Παράδειγμα εφαρμογής αποτελεί το δυναμικό μη γραμμικό μοντέλο που χρησιμοποιούν οι Ward & Pulido-Velazquez (2009). Αυτό μεγιστοποιεί την καθαρή παρούσα αξία σε μια λεκάνη απορροής προκειμένου να συγκρίνει τη διπλή χρέωση και την τιμολόγηση με βάση το οριακό κόστος. Οι περιπτώσεις αυτές εξετάζονται υποθέτοντας πως υπάρχει μεταφορά νερού από το γεωργικό στον αστικό τομέα και καταλήγουν στο ότι η τιμολόγηση με βάση το οριακό κόστος οδηγεί σε αυξημένη οικονομική αποδοτικότητα και ανάκτηση κόστους έναντι της διπλής

χρέωσης. Ακριβώς αντίστροφη επίδοση παρουσιάζουν οι δύο μέθοδοι ως προς την ισότητα, που εκτιμάται με βάση το πλεόνασμα του καταναλωτή.

Μια τελευταία μεθοδολογία που αναφέρεται (Mejvas, Varela-Ortega et al. 2004; Noéme and Fragoso 2004) στη βιβλιογραφία σχετικά με την ανάλυση των επιπτώσεων της εφαρμογής διαφορετικών πολιτικών τιμολόγησης του νερού και προσπαθεί να άρει τα μειονεκτήματα του μαθηματικού προγραμματισμού, είναι η χρήση των διακριτών στοχαστικών μοντέλων<sup>20</sup>. Η μέθοδος αυτή επιτρέπει την προσέγγιση μιας διαδικασίας πολλαπλών αποφάσεων κατά την οποία αυτός που τις λαμβάνει αλλάζει απόψεις τυχαία κατά τη διάρκεια του χρόνου και καθώς γίνονται διάφορες οικονομικές επιλογές. Το μοντέλο μεγιστοποιεί το προσδοκώμενο εισόδημα των γεωργών υπό διαφορετικούς περιορισμούς (τεχνολογικούς, οικονομικούς και πολιτικούς).

Οι Noéme & Fragoso (2004) επιχειρούν σύγκριση της ογκομετρικής μεθόδου τιμολόγησης με ενιαία τιμή για διαφορετικά επίπεδα τιμών του αρδευτικού νερού και καταλήγουν πως αύξηση της τιμής συνεπάγεται μείωση της χρησιμοποιούμενης ποσότητας, της αρδευόμενης γης και του γεωργικού εισοδήματος. Τα αποτελέσματα αυτά συγκλίνουν με τα αντίστοιχα των Mejvas, et al.(2004).

Παρά τις όποιες προσπάθειες προσέγγισης των μοντέλων μαθηματικού προγραμματισμού, σε καμία περίπτωση δεν αντιμετωπίζεται το μειονέκτημα της υπεραπλούστευσης της πραγματικότητας. Συγκεκριμένα, το πρόβλημα αυτό ανακύπτει από την υπόθεση της λήψης αποφάσεων με γνώμονα τη μεγιστοποίηση του κέρδους, γεγονός στο οποίο αντίκειται πληθώρα εργασιών (Gómez-Limón and Berbel 2000; Bazzani, Pasquale et al. 2004; Gómez-Limón and Martínez 2004; Bazzani 2005) που υποστηρίζει πως η συμπεριφορά των γεωργών εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Στην περίπτωση, λοιπόν, που χρησιμοποιηθεί ο μαθηματικός προγραμματισμός για να διερευνηθούν οι αντιδράσεις των γεωργών σε ένα μέτρο πολιτικής, τα αποτελέσματα μπορεί να είναι παραπλανητικά. Πρακτικά, αυτό σημαίνει πως η ex-ante ανάλυση αγροτικών ή αγροπεριβαλλοντικών πολιτικών θα είναι εσφαλμένη και τα μέτρα πολιτικής θα αποτύχουν. Η πλέον κατάλληλη

---

<sup>20</sup> Τα διακριτά στοχαστικά μοντέλα έχουν μεταβλητές που αλλάζουν με χρονικά ασυνεχή τρόπο και τουλάχιστον μια εξ αυτών είναι τυχαία. Ως εκ τούτου, τα αποτελέσματα συχνά αποτελούν προσεγγίσεις του υπό μελέτη συστήματος και όχι ακριβή αναπαράστασή του.

προσέγγιση για την αποφυγή του προβλήματος αυτού είναι η χρήση της πολυκριτηριακής ανάλυσης που επιτρέπει την ανάλυση της συμπεριφοράς των γεωργών βάσει πολλών στόχων τους.

### 5.3.2 Πολυκριτηριακή Ανάλυση

Η χρησιμοποίηση της πολυκριτηριακής ανάλυσης στην εξέταση των πιθανών επιπτώσεων των διαφορετικών μεθόδων τιμολόγησης του αρδευτικού νερού προτείνεται από πολλούς ερευνητές (Gómez-Limón and Berbel 2000; Bazzani, Pasquale et al. 2004; Gómez-Limón and Martínez 2004; Bazzani 2005). Κατά τους Gomez-Limon & Riesgo (2004), η μεθοδολογία στηρίζεται στη θεωρία χρησιμότητας με βάση πολλαπλά χαρακτηριστικά (Multi-Attribute Utility Theory, MAUT), σύμφωνα με την οποία η αντικειμενική συνάρτηση που τίθεται προς αριστοποίηση είναι μια συνάρτηση χρησιμότητας που αποτελείται από επιμέρους χαρακτηριστικά που επιθυμεί ο γεωργός να βελτιστοποιήσει. Η αριστοποίηση της συνολικής χρησιμότητας γίνεται μέσω της αριστοποίησης των επιμέρους χρησιμοτήτων που αντιστοιχούν σε κάθε ένα από τα προαναφερόμενα χαρακτηριστικά. Έτσι, λαμβάνονται υπόψη όλοι οι παράγοντες που επιδρούν στη λήψη των αποφάσεων των γεωργών όπως το ρίσκο, η εξάρτηση από το ξένο εργατικό δυναμικό, οι επενδύσεις, τα πάγια κόστη, ο ελεύθερος χρόνος και τα χρέη της γεωργικής εκμετάλλευσης (Hazell and Norton 1986).

Μια προσπάθεια μέτρησης της αποτελεσματικότητας των μεθόδων τιμολόγησης του αρδευτικού νερού με τη χρήση της πολυκριτηριακής ανάλυσης επιχειρούν οι Gómez-Limón & Berbel (2000). Αυτοί εξετάζουν την περίπτωση της ογκομετρικής τιμολόγησης του νερού με ενιαία τιμή για διαφορετικά επίπεδα τιμών. Όπως, προκύπτει αύξηση της τιμής του νερού, μειώνει τη ζήτησή του, το γεωργικό εισόδημα, την απασχόληση και την καταναλισκόμενη ποσότητα λιπασμάτων, ενώ αυξάνει τα έσοδα της υπηρεσίας παροχής νερού.

Σε παρόμοια συμπεράσματα καταλήγουν και οι Gomez-Limon, et al. (2002), καθώς διαμέσου της ίδιας διαδικασίας προκύπτει ότι αύξηση της τιμής του νερού συνεπάγεται μείωση της καταναλισκόμενης ποσότητάς του, της ζήτησης εργατικού δυναμικού, του γεωργικού εισοδήματος και της χρήσης λιπασμάτων.

Ακόμη, οι Bazzani, et al (2004) μέσω της πολυκριτηριακής ανάλυσης, συγκρίνουν την αλληλεπίδραση της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής και της εφαρμογής της Οδηγίας – πλαίσιο για το νερό υπό δυο διαφορετικές ογκομετρικές τιμές του νερού, για να καταλήξουν πως αυξανόμενη τιμή συνεπάγεται μειωμένη ζήτηση.

Επίσης, οι Gómez-Limón & Martínez (2004) εξετάζουν την περίπτωση της ογκομετρικής χρέωσης του νερού με ενιαία τιμή για διαφορετικές τιμές και από τη σύγκριση προκύπτει πως αύξηση της τιμής συνεπάγεται μείωση της καταναλισκόμενης ποσότητας, της απασχόλησης και του κέρδους των γεωργών.

Οι Gomez-Limon & Riesgo (2004) χρησιμοποιούν την πολυκριτηριακή ανάλυση προκειμένου να συγκρίνουν ογκομετρικές χρεώσεις; α) που καλύπτουν το χρηματοοικονομικό κόστος παροχής νερού, β) που καλύπτουν το συνολικό κόστος του νερού και γ) που είναι επιδοτούμενες. Τα αποτελέσματά τους συνοψίζονται στα εξής: α) μεγαλύτερη εξοικονόμηση νερού επιτυγχάνεται με τη δεύτερη χρέωση, μικρότερη με την πρώτη και ακόμα μικρότερη με την τρίτη, β) οι μεγαλύτερες απώλειες του εισοδήματος συμβαίνουν στην υψηλότερη χρέωση, γ) στην υψηλότερη χρέωση, η μείωση του εργατικού δυναμικού στο γεωργικό τομέα είναι μεγαλύτερη, και δ) η σχέση μεταξύ τιμής και εκπομπής νιτρικών στο περιβάλλον είναι αντιστρόφως ανάλογη.

Ο Bazzani (2005) στηρίζεται στην πολυκριτηριακή ανάλυση και κατασκευάζει ένα πρόγραμμα (Decision Support for Irrigation tool – DSIRR) μέσω του οποίου δίνει διαφορετικές τιμές στο νερό με βάση την ογκομετρική χρέωση με ενιαία τιμή και συγκρίνει τα αποτελέσματά τους. Όπως προκύπτει, αύξηση της τιμής συνεπάγεται μείωση της καταναλισκόμενης ποσότητας, του γεωργικού εισοδήματος και της χρήσης των νιτρικών και των ζιζανιοκτόνων και αύξηση των εσόδων της υπηρεσίας παροχής νερού.

Επιπλέον, χρησιμοποιώντας το ίδιο πρόγραμμα ο Bazzani (2005) συγκρίνει την περίπτωση της επιβολής ενιαίας τιμής για το νερό στο επίπεδο της ανάκτησης του κόστους με την ογκομετρική τιμολόγηση του νερού. Από τη μελέτη προκύπτει πως στην πρώτη περίπτωση ανακτάται το κόστος, αλλά δεν επιτυγχάνεται εξοικονόμηση του νερού. Αντιθέτως, με τη δεύτερη μέθοδο, μειώνεται η κατανάλωση, αλλά ταυτοχρόνως μειώνονται το γεωργικό εισόδημα, η απασχόληση και η αρδευόμενη γη, ενώ αυξάνονται τα έσοδα της υπηρεσίας παροχής του νερού.

Οι Bartolini, et al. (2007) με τη χρήση της πολυκριτηριακής ανάλυσης συγκρίνουν διάφορα σενάρια πολιτικών υπό την πραγματική τιμή του νερού και για



διπλάσια τιμή του. Από τη μελέτη προκύπτει ότι αύξηση της τιμής συνεπάγεται μείωση της καταναλισκόμενης ποσότητας του νερού και του κέρδους των γεωργών, αλλαγές στη χρήση του νερού και στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ωστόσο, επισημαίνεται ότι τα αποτελέσματα της πολιτικής του νερού είναι λιγότερο έντονα συγκριτικά με αυτά της αγροτικής πολιτικής.

Παραπλήσια έρευνα πραγματοποιούν και οι Manos, et al. (2007), τα αποτελέσματα της οποίας δείχνουν πως αύξηση της τιμής συνεπάγεται μείωση της καταναλισκόμενης ποσότητας, του γεωργικού εισοδήματος, της απασχόλησης, της χρήσης των λιπασμάτων, της ρύπανσης από μη σημειακές πηγές με χημικές ουσίες και καμία μεταβολή στο επίπεδο της καταναλισκόμενης ενέργειας.

Ακόμη, οι Saraiva & Pinheiro (2007) με την πολυκριτηριακή ανάλυση συγκρίνουν την μη ογκομετρική τιμολόγηση με ενιαία τιμή, την ογκομετρική τιμολόγηση και την επιβολή ανώτατων ποσοτήτων νερού. Τα αποτελέσματα δείχνουν πως στην περίπτωση της ογκομετρικής τιμολόγησης, αύξηση της τιμής συνεπάγεται μείωση της κατανάλωσης, του γεωργικού εισοδήματος, της απασχόλησης και στροφή της παραγωγής σε λιγότερο υδροβόρες καλλιέργειες. Όσον αφορά στην επιβολή ανώτατων ποσοτήτων νερού, αύξηση της τιμής του νερού οδηγεί σε μείωση της καταναλισκόμενης ποσότητας, του γεωργικού εισοδήματος και της απασχόλησης και στροφή της παραγωγής σε λιγότερο υδροβόρες καλλιέργειες. Τέλος, η χρήση των ενιαίων τιμών δεν επιφέρει καμία αλλαγή στην καταναλισκόμενη ποσότητα του νερού. Επίσης, δεν επιδρά άμεσα στην απασχόληση, καθώς οι γεωργοί θα ζητούν εργατικό δυναμικό για τις αρδευόμενες καλλιέργειες όσο τα κέρδη από κάθε μία υπερβαίνουν την ενιαία τιμή του νερού, ενώ πέραν αυτού του σημείου η άρδευση σταματά και το εργατικό δυναμικό μειώνεται. Η ενιαία τιμή μειώνει εξίσου την κερδοφορία των αρδευόμενων καλλιεργειών και οδηγεί σε εγκατάλειψη των λιγότερο επικερδών και όχι των λιγότερο υδροβόρων. Από τα ανωτέρω καταλήγουν πως ανάλογα με το στόχο επιλέγεται και η κατάλληλη μέθοδος τιμολόγησης του νερού. Όταν πρόκειται για εξοικονόμηση του νερού προτιμάται η επιβολή ανώτατων ποσοτήτων, για αποδοτικότητα στη χρήση του νερού χρησιμοποιείται η ογκομετρική μέθοδος τιμολόγησης και για έσοδα της υπηρεσίας παροχής νερού ή ανάκτηση του πλήρους κόστους προτιμάται η ογκομετρική με ενιαία τιμή μέθοδος.

Εντούτοις, η πολυκριτηριακή ανάλυση προϋποθέτει ότι η σημασία του κάθε χαρακτηριστικού είναι γνωστή και μπορεί να επιτευχθεί κατάταξή τους με βάση το

πλέον προτιμητέο. Όμως, σε ορισμένες περιπτώσεις ο προσδιορισμός της σημασίας του κάθε κριτηρίου είναι σχετικά δύσκολος, οπότε από τη βιβλιογραφία προτείνονται μη παραμετρικές μέθοδοι. Τέτοια μέθοδος είναι η περιβάλλουσα ανάλυση δεδομένων, η οποία σύμφωνα με τους Giannoccaro, et al. (2008), δεν απαιτεί εκ των προτέρων υποθέσεις, καθώς η έμφαση δίνεται στην αποδοτικότητα της παραγωγικής διαδικασίας, που ορίζεται ως ο λόγος εισροών – εκροών.

### 5.3.3 Περιβάλλουσα ανάλυση δεδομένων

Μια επιπλέον μεθοδολογία που χρησιμοποιείται στη βιβλιογραφία (Giannoccaro, Proserpi et al. 2008; Spleeman, Frija et al. 2008) προκειμένου να υπολογιστεί η αποτελεσματικότητα των μεθόδων τιμολόγησης του αρδευτικού νερού είναι η περιβάλλουσα ανάλυση δεδομένων. Σύμφωνα με τους Charnes, et al. (November 1978) ουσιαστικά πρόκειται για μια μη παραμετρική μεθοδολογία βασισμένη σε μοντέλα γραμμικού προγραμματισμού, η οποία επιτυγχάνει να εκτιμήσει ποσοτικά την μέγιστη τιμή της σχετικής αποδοτικότητας των παραγωγικών μονάδων (Μονάδων Απόφασης - Decision Making Units - DMUs), οι οποίες λειτουργούν σε ένα ενιαίο πλαίσιο, είναι συγκρίσιμες, ομοιογενείς και καταναλώνουν τις ίδιες πολλαπλές εισροές για να παράγουν τις ίδιες πολλαπλές εκροές. Τόσο οι εισροές όσο και οι εκροές είναι ποικιλόμορφες, μετρήσιμες σε διαφορετικές συνήθως κλίμακες μέτρησης και ορίζονται αναλόγως της φύσης του προβλήματος και της διαθεσιμότητας των δεδομένων. Οι εισροές αποτελούν «αγαθά» προς εξοικονόμηση (μικρότερα επίπεδα κατανάλωσης είναι περισσότερο επιθυμητά), οι δε εκροές «αγαθά» προς μεγιστοποίηση (μεγαλύτερα επίπεδα παραγωγής είναι περισσότερο επιθυμητά). Η ύπαρξη πολλαπλών εισροών και εκροών καθιστά τις συγκρίσεις των μονάδων δύσκολες, δεδομένου ότι μια μονάδα είναι δυνατόν να υπερέχει άλλων σε μερικές μόνο εισροές ή εκροές, αλλά ταυτοχρόνως να υστερεί σε άλλες.

Στην περίπτωση των μεθόδων τιμολόγησης του νερού, η περιβάλλουσα ανάλυση δεδομένων καλείται να μετρήσει τις επιπτώσεις των πολιτικών τιμολόγησης του νερού, λαμβάνοντας υπόψη τις δυνατότητες υποκατάστασης των εισροών, την περιβαλλοντική αποτελεσματικότητα (χρήση λιπασμάτων και ζιζανιοκτόνων) και την κοινωνικο-οικονομική αποτελεσματικότητα (χρήση εργατικού δυναμικού, κέρδος γεωργικής εκμετάλλευσης και συνολική γεωργική παραγωγή).

Πιο αναλυτικά, οι Spleman, et al. (2008) αναφέρουν πως η μέθοδος αυτή μετρά την τεχνική, διανεμητική και οικονομική αποτελεσματικότητα των γεωργικών εκμεταλλεύσεων του δείγματος. Με τον όρο τεχνική, ορίζεται η δυνατότητα των γεωργικών εκμεταλλεύσεων να χρησιμοποιήσουν τις ελάχιστες δυνατές ποσότητες εισροών προκειμένου να παράγουν συγκεκριμένες ποσότητες εκροών. Ο όρος διανεμητική, προσεγγίζει το βαθμό στον οποίο οι εισροές χρησιμοποιούνται σε βέλτιστες ποσότητες, με δεδομένες τις τιμές εισροών και εκροών. Και τέλος, η οικονομική αποτελεί το άθροισμα τεχνικής και διανεμητικής.

Κατά τη σύγκριση, με την περιβάλλουσα ανάλυση δεδομένων, της ογκομετρικής μεθόδου τιμολόγησης για διαφορετικές τιμές οι Spleman, et al. (2008) καταλήγουν πως αύξηση της τιμής συνεπάγεται μείωση της καταναλισκόμενης ποσότητας του νερού και του ακαθάριστου κέρδους της γεωργικής εκμετάλλευσης. Για την ίδια περίπτωση, οι Spleman, et al. (2008) συμπεραίνουν πως αύξηση της τιμής του νερού μειώνει την καταναλισκόμενη ποσότητά του και αυξάνει τις υπόλοιπες εισροές.

Οι Giannoccaro, et al. (2008) για να υπολογίσουν την τεχνική και περιβαλλοντική αποδοτικότητα των πολιτικών τιμολόγησης του νερού, χρησιμοποιούν την τροποποιημένη περιβάλλουσα ανάλυση δεδομένων δύο σταδίων. Αρχικά, προτείνουν την κατασκευή ενός μοντέλου μαθηματικού προγραμματισμού διαμέσου του οποίου γίνεται ο υπολογισμός του ακαθάριστου κέρδους για συγκεκριμένες εισροές. Διαμέσου του μοντέλου αυτού γίνεται προσομοίωση των διαφόρων πολιτικών τιμολόγησης του νερού και της ποσότητας που διανέμεται σε κάθε γεωργική εκμετάλλευση. Από τη λύση του μοντέλου αυτού υπολογίζεται η σχέση εισροών – επιθυμητών εκροών – ανεπιθύμητων εκροών. Οι μεταβλητές αυτές αναλύονται στη συνέχεια με την περιβάλλουσα ανάλυση δεδομένων δύο σταδίων και κατηγοριοποιούνται σε οικονομικά (π.χ. κέρδος, προστιθέμενη αξία), περιβαλλοντικά επιθυμητά (π.χ. εξοικονόμηση νερού) και περιβαλλοντικά ανεπιθύμητα (π.χ. ρύπανση) αποτελέσματα. Κατά το πρώτο στάδιο υπολογίζεται η τεχνική αποδοτικότητα των πολιτικών από τη σχέση εκροών – εισροών των οποίων ο λόγος είναι μικρότερος ή ίσος της μονάδας. Κατά το δεύτερο στάδιο υπολογίζεται η περιβαλλοντική αποδοτικότητα από το λόγο των επιθυμητών και μη εκροών. Τέλος, οι διάφορες πολιτικές τιμολόγησης του αρδευτικού νερού συγκρίνονται με βάση την τεχνική, περιβαλλοντική και ολική αποδοτικότητά τους.

Με τη χρήση της παραπάνω μεθόδου οι Giannoccaro, et al. (2008) επιχειρούν σύγκριση της ογκομετρικής μεθόδου τιμολόγησης, με την κλιμακωτά αυξανόμενη, την επιβολή φόρου επί των εισροών, τη χρέωση με βάση την έκταση, τη χρέωση με βάση τις εκροές και η επιβολή ανώτατων ποσοτήτων. Τελικά, συμπεραίνουν ότι η ογκομετρική μέθοδος τιμολόγησης είναι η πλέον αποδοτική (οικονομικά και τεχνικά), γεγονός όμως που εξαρτάται από το επίπεδο των τιμών. Αμέσως μετά κατατάσσεται η τιμολόγηση των εισροών, ακολουθεί η τιμολόγηση των εκροών, η επιβολή ανώτατων ποσοτήτων και υπολείπεται όλων η τιμολόγηση ανά στρέμμα καλλιεργούμενης έκτασης.

Από την παραπάνω ανάλυση γίνεται σαφές πως δεν υπάρχει μια και μόνο μέθοδος μέτρησης της αποτελεσματικότητας των μεθόδων τιμολόγησης του αρδευτικού νερού που να επιτυγχάνει τα επιθυμητά αποτελέσματα χωρίς να υστερεί σε κάτι. Εντούτοις, δεδομένων των εκάστοτε συνθηκών της έρευνας, όπως ο χρόνος, ο τόπος, το κόστος, η διαθεσιμότητα των δεδομένων κ.ά., επιλέγεται κάθε φορά η κατάλληλη μέθοδος. Εξίσου ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός πως ακόμη και όταν επιλεγεί μια συγκεκριμένη μεθοδολογία τα αποτελέσματα ως προς την αποτελεσματικότητα των μεθόδων τιμολόγησης μπορεί να συγκλίνουν ή να αποκλίνουν, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και τις συνθήκες της έρευνας. Συνοπτικά, η παραπάνω ανάλυση παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3 Τρόποι σύγκρισης μεθόδων τιμολόγησης αρδευτικού νερού και αποτελέσματα αυτών για αυξήσεις της τιμής του νερού

Συγγραφείς (ημερομηνία)	Χρησιμοποιούμενη μεθοδολογία	Συγκρινόμενες μέθοδοι τιμολόγησης	Αποτελέσματα			
			Οικονομικά	Κοινωνικά	Περιβαλλοντικά	Αγροτικό τοπίο - Βιοποικιλότητα
(Ortega, de Juan et al. 2004)	Βιοοικονομικό μοντέλο	Ογκομετρική με ενιαία τιμή	Μείωση ακαθάριστου κέρδους	-	-	-
(García-Vila, Fereres et al. 2009)	Βιοοικονομικό μοντέλο	Ογκομετρική με ενιαία τιμή	Μείωση καθαρού εισοδήματος	-	Μείωση κατανάλωσης νερού	-
(García-Vila and Fereres 2012)	Βιοοικονομικό μοντέλο	Ογκομετρική με ενιαία τιμή		-	Μείωση κατανάλωσης νερού	Αμετάβλητο καλλιεργητικό πρότυπο
(Scheierling, Young et al. 2004)	Βιοοικονομικό μοντέλο	Κατ' έκταση	Μείωση καθαρού εισοδήματος	-	Μείωση κατανάλωσης νερού	-
(Balali, Khalilian et al. 2011)	Βιοοικονομικό μοντέλο	Ογκομετρική με ενιαία τιμή	-	-	Μείωση ζήτησης υπόγειου νερού Θετικό υδατικό ισοζύγιο	-
(Varela-Ortega, Sumpsi et al. 1998)	Μαθηματικός προγραμματισμός	Ογκομετρική με ενιαία τιμή Κλιμακωτά αυξουσα	Μείωση γεωργικού εισοδήματος Μεγαλύτερα έσοδα υπηρεσίας	-	Μείωση κατανάλωσης νερού	-
(Berbel and Gómez-Limón 2000)	Μαθηματικός προγραμματισμός	Ογκομετρική με ενιαία τιμή	Μείωση γεωργικού εισοδήματος	Μείωση εργατικού δυναμικού	Μείωση λιπασμάτων	Περιορισμός ποικιλιών καλλιεργούμενων ειδών
(Doppler, Salman et al. 2002)	Μαθηματικός προγραμματισμός	Ογκομετρική με ενιαία τιμή	Μείωση γεωργικού εισοδήματος	-	Μείωση κατανάλωσης νερού	Μείωση γεωργικής γης
(Scardigno and Bazzani 2008)	Μαθηματικός προγραμματισμός	Ογκομετρική με ενιαία τιμή	Μείωση γεωργικού εισοδήματος	-	Μείωση κατανάλωσης νερού	-
(Djanibekov 2008)	Μαθηματικός προγραμματισμός	Κατ' έκταση	Μείωση γεωργικού εισοδήματος	Μείωση εργατικού δυναμικού Μείωση κοινωνικής ευημερίας	-	Περιορισμός υδροβόρων καλ/γείων Μείωση καλλιεργούμενης έκτασης
(Huang, Rozelle et al. 2008)	Μαθηματικός προγραμματισμός	Ογκομετρική με ενιαία τιμή	Μείωση γεωργικού εισοδήματος	-	Μείωση κατανάλωσης νερού	Μείωση παραγόμενου προϊόντος
(Iglesias and Blanco 2008)	Θετικός προγραμματισμός	Ογκομετρική με ενιαία τιμή	Μείωση γεωργικού εισοδήματος	-	Μείωση κατανάλωσης νερού	-
(He, Tyner et al. 2004)	Θετικός προγραμματισμός	Ογκομετρική με ενιαία τιμή	-	-	Μείωση κατανάλωσης νερού	Μείωση παραγόμενου προϊόντος
(Gallego-Ayala 2012)	Θετικός προγραμματισμός	Ογκομετρική με ενιαία τιμή Κατ' έκταση Διπλή χρέωση	-	Μείωση ωρών εργασίας εργατικού δυναμικού	Μείωση κατανάλωσης νερού, νιτρικού φορτίου, φωσφόρου	Αύξηση ξηρικών καλ/γείων
(Ward and Pulido-Velazquez 2009)	Δυναμικός μη γραμμικός	Ογκομετρική με βάση το οριακό	Η οριακή χρέωση προωθεί την οικονομική αποδοτικότητα και την ανάκτηση του κόστους	Η διπλή χρέωση προωθεί την ισότητα	-	-

	προγραμματισμός	κόστος Διπλή χρέωση				
(Noéme and Fragoso 2004)	Διακριτός στοχαστικός προγραμματισμός	Ογκομετρική με ενιαία τιμή	Μείωση γεωργικού εισοδήματος	-	Μείωση κατανάλωσης νερού	Μείωση αρδευόμενης γης
(Mejvas, Varela-Ortega et al. 2004)	Διακριτός στοχαστικός προγραμματισμός	Ογκομετρική με ενιαία τιμή	Μείωση γεωργικού εισοδήματος	-	Μείωση κατανάλωσης νερού	Μείωση αρδευόμενης γης
(Gómez-Limón and Berbel 2000)	Πολυκριτηριακή ανάλυση	Ογκομετρική με ενιαία τιμή	Μείωση γεωργικού εισοδήματος Αύξηση εσόδων υπηρεσίας	Μείωση απασχόλησης	Μείωση κατανάλωσης νερού, χρήσης λιπασμάτων	-
(Gomez_Limon, Arriaza et al. 2002)	Πολυκριτηριακή ανάλυση	Ογκομετρική με ενιαία τιμή	Μείωση γεωργικού εισοδήματος	Μείωση ζήτησης εργατικού δυναμικού	Μείωση κατανάλωσης νερού, χρήσης λιπασμάτων	-
(Bazzani, Pasquale et al. 2004)	Πολυκριτηριακή ανάλυση	Ογκομετρική με ενιαία τιμή	-	-	Μείωση κατανάλωσης νερού	-
(Gómez-Limón and Martínez 2004)	Πολυκριτηριακή ανάλυση	Ογκομετρική με ενιαία τιμή	Μείωση κέρδους γεωργών	Μείωση απασχόλησης	Μείωση κατανάλωσης νερού	-
(Gomez-Limon and Riesgo 2004)	Πολυκριτηριακή ανάλυση	Ογκομετρική με ενιαία τιμή	Μείωση εισοδήματος γεωργών	Μείωση εργατικού δυναμικού	Μείωση κατανάλωσης νερού, νιτρικού φορτίου	-
(Bazzani 2005)	Πολυκριτηριακή ανάλυση	Ογκομετρική με ενιαία τιμή	Μείωση εισοδήματος γεωργών Αύξηση εσόδων υπηρεσίας	-	Μείωση κατανάλωσης νερού, χρήσης λιπασμάτων και ζιζανιοκτόνων	-
(Bartolini, Bazzani et al. 2007)	Πολυκριτηριακή ανάλυση	Ογκομετρική με ενιαία τιμή	Μείωση κέρδους γεωργών	-	Μείωση κατανάλωσης νερού	Αλλαγές χρήσης νερού
(Manos, Bournaris et al. 2007)	Πολυκριτηριακή ανάλυση	Ογκομετρική με ενιαία τιμή	Μείωση εισοδήματος γεωργών	Μείωση απασχόλησης	Μείωση κατανάλωσης νερού, χρήσης λιπασμάτων, ρύπανσης Καμία μεταβολή στην κατανάλωση ενέργειας	Αλλαγές χρήσης νερού
(Saraiva and Pinheiro 2007)	Πολυκριτηριακή ανάλυση	Μη ογκομετρική με ενιαία τιμή Ογκομετρική με ενιαία τιμή Επιβολή ανώτατων ποσοτήτων νερού	Η μη ογκομετρική χρέωση προωθεί την ανάκτηση του πλήρους κόστους Η ογκομετρική προωθεί την αποδοτικότητα	-	Οι ανώτατες ποσότητες προωθούν την εξοικονόμηση νερού	-
(Spleeman, Frija et al. 2008)	Περιβάλλουσα ανάλυση δεδομένων	Ογκομετρική με ενιαία τιμή	Μείωση ακαθάριστου κέρδους γεωργών	-	Μείωση κατανάλωσης νερού	-
(Spleeman, Buysse et al. 2008)	Περιβάλλουσα ανάλυση δεδομένων	Ογκομετρική με ενιαία τιμή	-	-	Μείωση κατανάλωσης νερού Αύξηση των υπόλοιπων εισροών	-
(Giannoccaro, Prospero et al. 2008)	Περιβάλλουσα ανάλυση δεδομένων	Κατ' έκταση Ογκομετρική με ενιαία τιμή Κλιμακωτά αύξουσα Ανώτατες ποσότητες	Η ογκομετρική προωθεί την οικονομική και τεχνική αποδοτικότητα	-	-	-

## 5.4 Επίλογος

Από την ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας προκύπτει πως υπάρχει κενό ως προς την εξέταση όλων των πιθανά εφαρμοζόμενων μεθόδων τιμολόγησης του αρδευτικού νερού σε μια περιοχή μελέτης, όπως αυτές προσδιορίζονται με βάση την αρχή της ανάκτησης του πλήρους κόστους του νερού. Αναλυτικότερα, στην παρούσα εργασία η σύγκριση των μεθόδων και η αποτύπωση των επιπτώσεών τους, σε οικονομικό, κοινωνικό και περιβαλλοντικό επίπεδο διενεργείται βασιζόμενη στην αρχή της ανάκτησης του πλήρους κόστους του νερού, που παρά το γεγονός ότι έχει εξεταστεί και από άλλους ερευνητές (Loehman 2008; Ward and Pulido-Velazquez 2009; Molinos-Senante, Hernandez-Sancho et al. 2012), εντούτοις δεν υπάρχει καποια εργασία στην οποία να υπολογίζεται το πλήρες κόστος του νερού (χρηματοοικονομικό, περιβαλλοντικό και πόρου) για την ίδια χρονική περίοδο. Μόνη εξαίρεση αποτελεί η εργασία των (Brown, Martinez et al. 2010), που υπολογίζει το κόστος πόρου και περιβαλλοντικό βάσει της έννοιας «emergy»<sup>21</sup>. Ωστόσο, η ανάλυση στην παρούσα εργασία είναι κυρίως οικονομική.

---

<sup>21</sup> Υπό τον όρο αυτό μετράται η ενέργεια, ο χρόνος και τα υλικά που επενδύονται σε ένα αγαθό, όσο μεγαλύτερη είναι η αξία του.

## Κεφάλαιο 6. Μεθοδολογική Προσέγγιση

### 6.1 Εισαγωγή

Λαμβάνοντας υπόψη την αλληλεπίδραση μεταξύ της εφαρμοζόμενης μεθόδου τιμολόγησης του αρδευτικού νερού, του ακολουθούμενου παραγωγικού προτύπου και των χρήσεων της γης, όπως οι Manos, et al. (2007) επισημαίνουν, στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η ακολουθούμενη μεθοδολογία για τη διερεύνηση της σχέσης αυτής. Καθώς πρόκειται για πολυεπίπεδη και πολυπαραγοντική διαδικασία που εξετάζει οικονομικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικά χαρακτηριστικά και πως αυτά επηρεάζονται από την εφαρμογή διαφορετικών πολιτικών άρδευσης, στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιούνται τρία διαφορετικά μοντέλα. Συγκεκριμένα, αναπτύσσονται ένα υδρολογικό, ένα βιοφυσικό και ένα οικονομικό μοντέλο, που συνδέονται μεταξύ τους και στοχεύουν στην εκτίμηση της αποτελεσματικότητας της εφαρμοζόμενης πολιτικής τιμολόγησης.

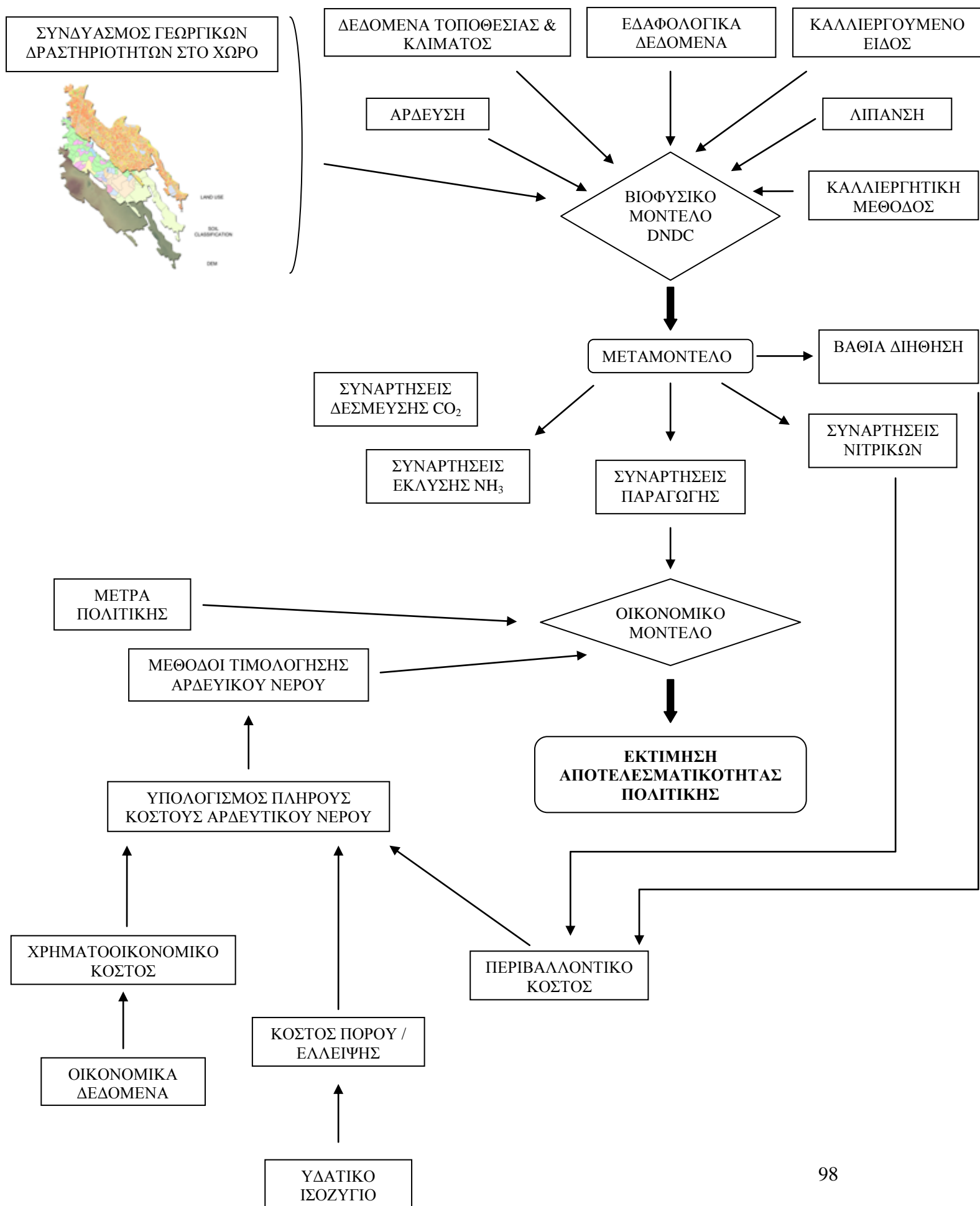
### 6.2 Μοντέλα / Μέθοδοι επεξεργασίας κατά την παρούσα έρευνα

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται και εφαρμόζεται στην περιοχή μελέτης περιλαμβάνει τρία επιμέρους στάδια. Σε πρώτη φάση, γίνεται συνδυασμός των γεωργικών δραστηριοτήτων ανά τύπο εδάφους με τη βοήθεια των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (G.I.S. – Geographic Information System) και των χαρτών φυτικής κάλυψης και εδάφους της περιοχής. Το δεύτερο στάδιο, επιδιώκει τη βιοφυσική προσομοίωση της φυτικής παραγωγής και ακολουθεί η διαδικασία της «μεταμοντελοποίησης» (metamodeling), ώστε να προσδιοριστούν οι συναρτήσεις παραγωγής. Το υπόδειγμα λειτουργεί υπό τους κατάλληλους περιορισμούς, οι οποίοι εγγράφουν τις χωρικές και χρονικές ιδιαιτερότητες της προσομοίωσης που επιχειρείται στην εν λόγω ερευνητική εργασία. Για παράδειγμα, υπάρχουν περιορισμοί αναφορικά με την έκταση της γεωργικής γης, την διαθεσιμότητα των



υδατικών πόρων, τις ιδιαιτερότητες της ισχύουσας Κοινής Αγροτικής Πολιτικής και περιβαλλοντικές απαιτήσεις μιας πολυλειτουργικής γεωργίας. Στο τρίτο και τελευταίο στάδιο, πρώτα υπολογίζεται το υδατικό ισοζύγιο της περιοχής μελέτης, ώστε να εξαχθούν τα δεδομένα για τα διάφορα σενάρια εφαρμογής της Οδηγίας 2000/60/Ε.Κ. Ακολούθως, αυτά συνδυάζονται με τις συναρτήσεις παραγωγής, τα δευτερογενή δεδομένα και τα μέτρα αγροτικής πολιτικής, ώστε να εκτιμηθεί η αποτελεσματικότητα της εκάστοτε μεθόδου τιμολόγησης του νερού. Η ανωτέρω διαδικασία παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 6 που ακολουθεί.

Διάγραμμα 6 Διάγραμμα Ροής ακολουθούμενης μεθοδολογίας στην παρούσα έρευνα



Το πρώτο στάδιο της ακολουθούμενης μεθοδολογίας περιλαμβάνει την επικάλυψη του ψηφιακού χάρτη της γεωγραφικής περιοχής (DEM) με τον εδαφολογικό χάρτη και τα δεδομένα φυτικής κάλυψης με τη βοήθεια του G.I.S. (βλ. Εικόνα 6 Παραρτήματος). Από την ανάλυση αυτή λαμβάνεται η χωρική κατανομή του συνδυασμού εδαφών – καλλιεργειών στην υπό εξέταση περιοχή. Τα αποτελέσματα αυτά τροφοδοτούν το επόμενο στάδιο, δηλαδή το μοντέλο βιοφυσικής προσομοίωσης της ανάπτυξης των φυτών.

## 6.2.1 Βιοφυσικό μοντέλο

### 6.2.1.1 Γενικά

Η χρήση των βιοφυσικών μοντέλων επιτρέπει την πλήρη κατανόηση της διαδικασίας ανάπτυξης των φυτών, καθώς και της διασύνδεσης της σχέσης ανάμεσα στα καλλιεργούμενα είδη και τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία ως συνέπεια κοινωνικο – οικονομικών παραγόντων (Ruben, Moll et al. 1998). Ουσιαστικά, τα μοντέλα αυτά αποτελούν ένα εργαλείο ποσοτικοποίησης των αλληλεπιδράσεων μεταξύ εδάφους – καλλιεργούμενου είδους – καιρικών συνθηκών – καλλιεργητικών πρακτικών, μέσω της ανάλυσης των φυσιολογικών, μετεωρολογικών, φυσικών και χημικών διεργασιών που επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών. Πρακτικά, τείνουν να υπολογίσουν τη ροή νερού, άνθρακα και αζώτου μεταξύ εδάφους και καλλιέργειας σε μια συγκεκριμένη καλλιεργητική περίοδο. Η χρησιμοποίηση των μοντέλων αυτών συστήνεται προκειμένου να καλυφθεί η έλλειψη εμπειρικών δεδομένων σχετικά με τις εισροές και τις εκροές (Llewelyn and Featherstone 1997).

Στη διεθνή βιβλιογραφία αναπτύσσεται πλήθος βιοφυσικών μοντέλων, που μπροούν να χρησιμοποιηθούν, ώστε να εξάγουν πληροφορίες σχετικά με τις παραπάνω σχέσεις. Χαρακτηριστικά, οι Verhagen, et al. (November 2001) αναφέρουν τα ANIMO (Agricultural Nitrogen MOdel), AquaCrop, CENTURY Grassland and agroecosystem dynamics model, CropSyst (a cropping system's simulation model), CNGRASxFUSSIM (A Simulation Model for Grassland Management), Daisy Model for the simulation of soil water and nitrogen dynamics in the crop-soil system, DNDC (Denitrification-Decomposition), DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer), EPIC (Erosion Productivity Impact Calculator), MOTOR (Modular description of Organic matter TurnOver), STICS (Simulateur multIdisciplinaire pour les Cultures Standard), SUCROS2 (Simple and Universal

CRop growth Simulator), SUNDIAL(Simulation of Nitrogen Dynamics in Arable Land), WAVE, κ.ά.

Τα παραπάνω εργαλεία προσομοίωσης συγκρινόμενα μεταξύ τους υπερτερούν ή υστερούν σε διάφορα σημεία. Συνοψίζοντας τους Πίνακες των Verhagen, et al. (November 2001) προκύπτει ο Πίνακας 4, που παραθέτει τα αποτελέσματα των διάφορων βιοφυσικών μοντέλων σχετικά με το έδαφος και τις καλλιέργειες. Ως προς το έδαφος αναφέρονται μετρήσεις συνολικής περιεκτικότητας άνθρακα και αζώτου, καθώς και της δυναμικής μεταξύ εδάφους και νερού. Ως προς τις καλλιέργειες παρέχονται πληροφορίες σχετικά με την προσλαμβανόμενη ποσότητα αζώτου και την παραγωγή ξηράς ουσίας.

Πίνακας 4 Αποτελέσματα ανά είδος βιοφυσικού μοντέλου

Αποτελέσματα Βιοφυσικά μοντέλα	Για το έδαφος			Για τις καλλιέργειες	
	Συνολικός C	Συνολικό N	Soil – water dynamics	Λαμβανόμενη ποσότητα N	Παραγωγή ξηράς ουσίας
ANIMO	+	+	+	+	-
AquaCrop	-	-	+	-	-
CENTURY	+	+	+	+	+
CropSyst	-	+	+	+	+
CNGRASxFUSSIM	+	+	+	+	+
DNDC	+	+	+	+	+
DSSAT	+	+	+	+	+
EPIC	+	+	+	+	+
MOTOR	+	+	-	+	+
STICS	-	+	+	+	-
SUCROS2	-	-	+	-	+
SUNDIAL	+	+	+	+	-
WAVE	+	+	+	+	+

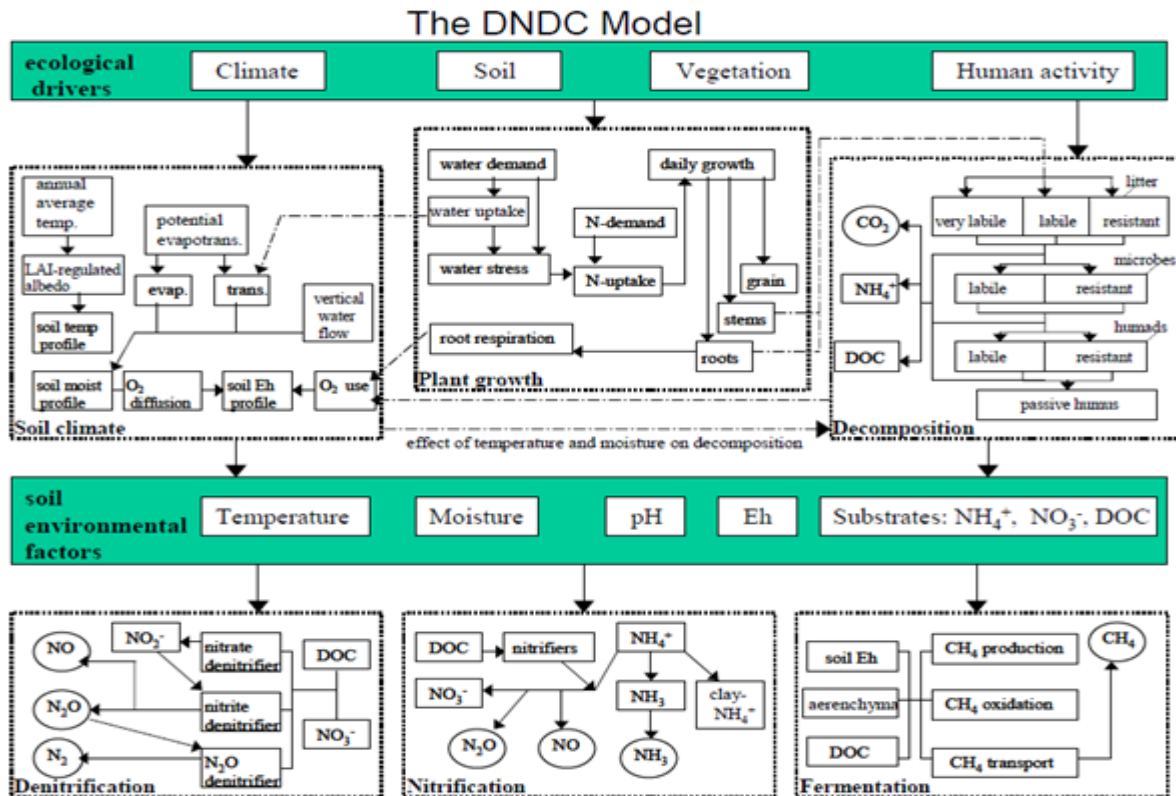
Πηγή: (Verhagen, Conijn et al. November 2001)

Στην παρούσα εργασία, επιλέχθηκε το μοντέλο DNDC (Denitrification- Decomposition), που όπως οι Li, et al. (2006) τονίζουν, έχει δοκιμαστεί από πολλούς ερευνητές διεθνώς κατά την τελευταία δεκαετία και έχει ελεγχθεί η αξιοπιστία του στην πρόβλεψη της παραγωγής διάφορων φυτικών ειδών, υπό ποικίλες καλλιεργητικές συνθήκες και σε διαφορετικές τοποθεσίες.

### 6.2.1.2 Το βιοφυσικό μοντέλο DNDC

Το πρόγραμμα προσομοίωσης DNDC (Denitrification-Decomposition) στηρίζεται σε ένα γενικό μοντέλο της βιοχημείας του άνθρακα και του αζώτου που εκλύονται στα γεωργικά οικοσυστήματα. Αυτά χρησιμοποιούνται στην πρόβλεψη της διάλυσης του άνθρακα, στην ανίχνευση εκπομπών αερίων, στον προσδιορισμό της γεωργικής παραγωγής και στη διήθηση του αζώτου. Σύμφωνα με το εγχειρίδιο χρήσης του προγράμματος (2009) η προσέγγιση γίνεται σε δυο επίπεδα. Το πρώτο τείνει να συνδυάσει οικολογικούς παράγοντες, όπως κλίμα, έδαφος, βλάστηση, ανθρωπογενής δραστηριότητα με εδαφικούς - περιβαλλοντικούς, π.χ. θερμοκρασία, υγρασία, pH, δυναμικό οξειδοαναγωγής ( $Eh$ ), κ.ά. Το δεύτερο στάδιο συσχετίζει τις εδαφικές - περιβαλλοντικές συνιστώσες με εδαφικές - βιοχημικές αντιδράσεις και αποτελείται από υπομοντέλα νιτροποίησης, απονιτροποίησης και ζύμωσης, βάσει των οποίων εκτιμώνται οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ( $CO_2$ ), μεθανίου ( $CH_4$ ), αμμωνίας ( $NH_3$ ), νιτρικού οξέος ( $NO$ ), νιτρώδους οξέος ( $N_2O$ ) και αζώτου ( $N_2$ ) από το σύστημα εδάφους – φυτού. Η παραμετροποίηση κάθε γεωχημικής και βιοχημικής αντίδρασης στηρίζεται στους νόμους της φυσικής, της χημείας και της βιολογίας, καθώς και σε εμπειρικές ισότητες εξαγόμενες από εργαστηριακές μελέτες. Ουσιαστικά, το μοντέλο δημιουργεί μια γέφυρα μεταξύ των βιοχημικών κύκλων του άνθρακα και του αζώτου και κάποιων βασικών οικολογικών χαρακτηριστικών (βλ. Εικόνα 1).

Εικόνα 1 Η δομή του βιφυσικού μοντέλου DNDC



Πηγή: University of New Hampshire (2009)

### 6.2.1.3 Εισαγωγή δεδομένων

Το μοντέλο στηρίζεται σε τέσσερις βασικούς οικολογικούς παράγοντες, που είναι: το κλίμα, οι φυσικές ιδιότητες του εδάφους, η βλάστηση και οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες (καλλιεργητικές τεχνικές). Με την εισαγωγή ορθών δεδομένων εξασφαλίζεται η επιτυχής προσομοίωση τόσο σε τοπικό (site mode) όσο και σε περιφερειακό επίπεδο (regional mode).

Σε τοπικό επίπεδο το σύνολο των πληροφοριών που εισέρχονται στο μοντέλο αφορούν κλιματικούς, εδαφικούς παράγοντες και καλλιεργητικές εργασίες. Οι τελευταίες καθορίζονται σαφώς μέσω οκτώ υπο-επιλογών, όπως το καλλιεργούμενο είδος και η αμειψισπορά, το βάθος άροσης, η λίπανση και η χρήση κοπριάς, η άρδευση, ο κατακλυσμός του εδάφους με νερό, το ξεβοτάνισμα, η βόσκηση και η κοπή των χόρτων. Στην αρχή κάθε προσομοιωμένου έτους, το DNDC πρώτα «διαβάζει» τα δεδομένα για το αντίστοιχο έτος και μετά εκτελεί τα υπο-μοντέλα με σειρά «μικροκλίμα εδάφους – ανάπτυξη φυτών – αποσύνθεση – νιτροποίηση – απονιτροποίηση – ζύμωση».

Αναλυτικότερα, το μικροκλίμα του εδάφους υπολογίζεται με βάση τα ημερήσια κλιματικά δεδομένα και τις ιδιότητες του εδάφους σε ωριαία βάση. Η ανάπτυξη των φυτών προσομοιάζεται από την ανταλλαγή νερού, C και N μεταξύ ατμόσφαιρας – φυτού - εδάφους βασιζόμενο στις κλιματικές συνθήκες, τις καλλιεργητικές πρακτικές και τις διαθέσιμες ποσότητες νερού και αζώτου σε ημερήσιο επίπεδο. Η αποσύνθεση, επίσης, υπολογίζεται σε ημερήσιο επίπεδο λαμβάνοντας υπόψη το μικροκλίμα του εδάφους και τη διαθεσιμότητα του αζώτου. Η νιτροποίηση και απονιτροποίηση προβλέπονται σε ωριαία βάση με κριτήριο τη δυναμική της αναερόβιας διαδικασίας και των σχετικών υποστρωμάτων. Στην περίπτωση που γίνεται κατακλυσμός του εδάφους με νερό, το DNDC παρακολουθεί τη μείωση του δυναμικού οξειδοαναγωγής του εδάφους ( $Eh$ ) που οφείλεται στις διαδοχικές μειώσεις των νιτρικών, νιτρωδών και θεικών αλάτων, ιόντων μαγγανίου και σιδήρου. Σε χαμηλές τιμές δυναμικού οξειδοαναγωγής, το υπο-μοντέλο της ζύμωσης ενεργοποιείται και υπολογίζει την παραγωγή μεθανίου σε ημερήσιο επίπεδο. Στο τέλος της προσομοίωσης, καταγράφονται οι ετήσιες ροές του άνθρακα και του αζώτου, η σοδειά και η ισορροπία του νερού για την προσομοιωθείσα περιοχή.

Σε περιφερειακό επίπεδο, το μοντέλο λαμβάνει πληροφορίες από μια σειρά βάσεων δεδομένων, που έχουν κατάλληλα προετοιμαστεί για το σκοπό αυτό και αποτελούνται από δυο κατηγορίες αρχείων: των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (GIS) και των βιβλιοθηκών. Τα μεν πρώτα διατηρούν όλες τις χωρικές πληροφορίες, όπως το όνομα/τοποθεσία, τα κλιματικά δεδομένα, τις ιδιότητες του εδάφους και τις καλλιεργούμενες εκτάσεις σε κάθε σημείο της εξεταζόμενης περιφέρειας. Στοιχεία χαρτογράφησης σε περιφερειακό επίπεδο είναι προαιρετικά. Τα δε αρχεία βιβλιοθηκών περιέχουν γενικές πληροφορίες, όπως φυσιολογικές/φαινολογικές παραμέτρους για τα φυτά, θερμικές/υδραυλικές παραμέτρους του εδάφους, καλλιεργητικές πρακτικές για τα φυτά και ημερήσια κλιματικά δεδομένα.

Προκειμένου να εφαρμοστεί το μοντέλο DNDC σε περιφερειακό επίπεδο, η εξεταζόμενη περιοχή χωρίζεται σε ένα αριθμό βασικών γεωγραφικών μονάδων (π.χ. πολύγωνα ή πλέγμα κελιών) με βάση τα διοικητικά ή άλλα όρια, ανάλογα με τη φύση των δεδομένων. Κάθε μονάδα προϋποθέτει ομοιογένεια ως προς τις εξεταζόμενες ιδιότητες (π.χ. κλίμα, έδαφος, κ.ά.). Το μοντέλο ολοκληρώνει την προσομοίωση διενεργώντας προσομοιώσεις για κάθε μονάδα της εξεταζόμενης περιοχής. Κατά τη

διάρκεια των προσομοιώσεων αυτών, το μοντέλο εισάγει τα στοιχεία των διαφορετικών αρχείων που έχουν αποθηκευτεί στις βάσεις δεδομένων και εν συνεχεία αναδιατάσσει τις πληροφορίες σε άλλα αρχεία με δομή ανάλογη αυτής που απαιτεί το μοντέλο.

Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε το τοπικό μοντέλο, καθώς πρόκειται για αναπαράσταση πειραμάτων αγρού με συγκεκριμένα εδαφικά χαρακτηριστικά. Αντιθέτως, το περιφερειακό μοντέλο προϋποθέτει την ύπαρξη μιας βάσης δεδομένων που να περιλαμβάνει επιπλέον στοιχεία Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων. Συγκεκριμένα, ο χάρτης της υπό εξέταση περιοχής υποδιαιρείται σε πολύγωνα, στα οποία επικρατούν διαφορετικές εδαφικές και κλιματικές συνθήκες. Κάτι τέτοιο θα απαιτούσε χάρτη με τις ακριβείς θέσεις στο χώρο των διαφόρων γεωργικών εκμεταλλεύσεων της περιοχής μελέτης και με τα αντίστοιχα κλιματικά και εδαφολογικά δεδομένα για κάθε μια απ' αυτές.

Αναλυτικότερα, οι παράμετροι που εισάγονται στο μοντέλο αφορούν δεδομένα σχετικά με το καλλιεργούμενο είδος, τη μέση ετήσια θερμοκρασία ( $^{\circ}\text{C}$ ), την ετήσια βροχόπτωση (mm), τη φαινόμενη πυκνότητα του εδάφους, το εδαφικό pH, την περιεκτικότητα του εδάφους σε πηλό, τη χρησιμοποιούμενη ποσότητα λιπάσματος αζώτου (kg N/ha/year), την προστιθέμενη ποσότητα κοπριάς (kg C/ha/year) και το δείκτη άρδευσης στην περιοχή μελέτης. Ο δείκτης άρδευσης αποτελεί μια αυτοματοποιημένη επιλογή που προσφέρει το DNDC και στηρίζεται στην έννοια του υδατικού στρες της καλλιέργειας. Ο συντελεστής αυτός παίρνει τιμές μεταξύ 0 και 1, με το πρώτο να αναφέρεται σε μηδενική και το δεύτερο σε άριστη άρδευση. Το μοντέλο εφαρμόζει αυτόματα την απαιτούμενη ποσότητα νερού ώστε να διατηρεί το συντελεστή υδατικού στρες σε μια τιμή που έχει προκαθοριστεί από τον χρήστη. Με αυτό τον τρόπο οι προσομοιώσεις καθίστανται πιο ρεαλιστικές, καθώς είναι δυνατό να εκτιμηθεί η συμπεριφορά της καλλιέργειας σε διαφορετικές συνθήκες εδαφικής υγρασίας, χωρίς να απαιτείται από τον αναλυτή να καθορίζει κάθε φορά ξεχωριστό πρόγραμμα άρδευσης.

Ωστόσο, η ακρίβεια της προσομοίωσης του μοντέλου DNDC έγκειται στην ευαισθησία των δεδομένων του και όταν αυτά στηρίζονται σε μέσους όρους οδηγούν σε αποκλίσεις (Leip, Marchi et al. 2008). Αυτό συμβαίνει γιατί ενσωματώνουν κλιματικές, εδαφικές και διαχειριστικές παραμέτρους που είναι μη γραμμικές. Επομένως, η εφαρμογή του μοντέλου σε τοπικό επίπεδο ενέχει μειονεκτήματα.



#### 6.2.1.4 Αποτελέσματα

Το σύνολο των αποτελεσμάτων σε τοπικό επίπεδο περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με την παραγωγή, το άζωτο, τον άνθρακα, το νερό και την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου. Συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα καταγράφονται σε μια σειρά αρχείων ανά καλλιεργούμενο είδος και τύπο εδάφους και αφορούν μόνο τις συνθήκες της εκάστοτε προσομοίωσης. Πιο αναλυτικά, η παραγόμενη ποσότητα προϊόντος υπολογίζεται σε κιλά ανά εκτάριο. Παράλληλα, αποτυπώνονται οι ετήσιες ροές αζώτου σε κιλά ανά εκτάριο, που περιλαμβάνουν τη διήθηση του συνολικού οργανικού εδαφικού αζώτου, την εξάτμιση της αμμωνίας ( $\text{NH}_3$ ), την εκπομπή υποξειδίου ( $\text{N}_2\text{O}$ ), μονοξειδίου ( $\text{NO}$ ) και διατομικού ( $\text{N}_2$ ) αζώτου. Ταυτοχρόνως, τα αποτελέσματα της ετήσιας ροής άνθρακα σε κιλά ανά εκτάριο, αναφέρονται στη συνολικά αποθηκευμένη ποσότητα οργανικού εδαφικού άνθρακα (SOC), στη διήθηση του διαλυμένου οργανικού άνθρακα (DOC), και στην εκπομπή μεθανίου ( $\text{CH}_4$ ). Η συνολική ποσότητα του νερού που εξέρχεται από το σύστημα φυτό – έδαφος αποτελείται από: την εξάτμιση από το έδαφος, τη βαθιά διήθηση και τη διαπνοή. Τέλος, τα αποτελέσματα των αερίων του θερμοκηπίου περιγράφουν την ετήσια ροή των τριών κυριότερων εξ αυτών, όπως το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), το μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) και υποξείδιο του αζώτου ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Οι ροές μετατρέπονται σε 100-ετείς δείκτες Global Warming Potentials (GWP), οι οποίοι μετρούν τη θερμότητα που εκλύεται στην ατμόσφαιρα από τα αέρια αυτά και δηλώνουν το ισοδύναμο του διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ). Η ετήσια συνεισφορά της προσομοιωθείσας περιοχής στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη ισούται με το καθαρό GWP και των τριών αερίων που εκλύονται από το σύστημα.

#### 6.2.1.5 Μεταμοντέλο

Καθώς το σύνθετο βιοφυσικό μοντέλο προσομοιώνει τη διαδικασία ανάπτυξης των φυτών, επιχειρώντας την προσέγγιση της πραγματικότητας, το μεταμοντέλο που ακολουθεί τείνει να ερμηνεύσει τα αποτελέσματά του. Ουσιαστικά, το μεταμοντέλο αποτελεί μοντέλο παλινδρόμησης που εξηγεί τη σχέση μεταξύ εισροών – εκροών, όπως αυτές εξάγονται από το βιοφυσικό μοντέλο (Bouzaher, Lakshminaryan et al. 1993). Στην παρούσα εργασία το μεταμοντέλο χρησιμοποιεί τα αποτελέσματα του βιοφυσικού μοντέλου ώστε να εξάγει τις συναρτήσεις παραγωγής, διήθησης νιτρικών,

δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα και έκλυσης αμμωνίας, διαδικασία που έχουν ακολουθήσει και άλλοι ερευνητές (Martinez and Albiac 2004).

#### 6.2.1.6 Συναρτήσεις παραγωγής

Η κύρια πληροφορία που αντλείται από τη χρήση των βιοφυσικών μοντέλων αφορά στην ποσοτικοποίηση της σχέσης μεταξύ χρησιμοποιούμενης ποσότητας νερού και παραγόμενου προϊόντος. Οι Vaux & Pruiitt (1983) επισημαίνουν, πως τέτοιου είδους αλληλεπιδράσεις εκφράζονται με τον όρο *συναρτήσεις παραγωγής του νερού*. Όπως πολλοί (Martin, Watts et al. 1984; Llewelyn and Featherstone 1997; García-Vila, Fereres et al. 2009) αναφέρουν, οι συναρτήσεις αυτές εξάγονται από τα αποτελέσματα του βιοφυσικού μοντέλου με τη χρήση μεθόδων παλινδρόμησης. Στην παρούσα εργασία η συνάρτηση παραγωγής προκύπτει ως η σχέση που συνδέει την παραγόμενη ποσότητα προϊόντος με τις χρησιμοποιούμενες ποσότητες νερού και λιπάσματος αζώτου.

Η επιλογή της κατάλληλης μορφής της συνάρτησης είναι σημαντική (Llewelyn and Featherstone 1997), καθώς υπόκειται σε διάφορους περιορισμούς. Ανάμεσα σε αυτούς, οι Vaux & Pruiitt (1983) επισημαίνουν ότι αφορούν συγκεκριμένη τοποθεσία και καλλιεργούμενο είδος. Στα ίδια συνηγορούν και οι Martin, et al. (1984), που τονίζουν πως οι συναρτήσεις αυτές είναι περισσότερο εμπειρικές και άρα δύσκολο να γενικευτούν, επομένως μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Για το ίδιο θέμα, οι Hexem & Heady (1978), όπως από τους Liu, et al. (2002) αναφέρεται, κάνουν λόγο για συναρτήσεις που βασίζονται σε συγκεκριμένες εδαφολογικές συνθήκες και τρόπους διαχείρισης του νερού.

Ανάμεσα στις διαφορετικές μορφές των συναρτήσεων αυτών, η σχετική βιβλιογραφία αναφέρει τις: γραμμική (Singh, Wolkewitz et al. 1987; Llewelyn and Featherstone 1997), δευτεροβάθμια (Vaux and Pruiitt 1983; Sharma and Alonso Neto 1986; Singh, Wolkewitz et al. 1987; Dinar, Rhoades et al. 1991; Llewelyn and Featherstone 1997), τριτοβάθμια (Singh, Wolkewitz et al. 1987), εκθετική (Singh, Wolkewitz et al. 1987), τετραγωνικής ρίζας (Singh, Wolkewitz et al. 1987; Llewelyn and Featherstone 1997), λογαριθμική (Dinar, Rhoades et al. 1991) και τρανσλογαριθμική. Από αυτές, στην παρούσα εργασία, εκτιμήθηκαν οι δευτεροβάθμια και τρανσλογαριθμική συνάρτησεις παραγωγής.

Προκειμένου να αποσαφηνιστεί το ποια από τις εξεταζόμενες μορφές αντικατοπτρίζει την πραγματικότητα καλύτερα, διενεργείται το P – τεστ, που είναι προτιμότερο στην περίπτωση των μη γραμμικών συναρτήσεων (Llewelyn and Featherstone 1997). Επίσης, όπως οι (Makinnon, White et al. 1983) αναφέρουν, ο έλεγχος αυτός είναι εξαιρετικά αποτελεσματικός, εφαρμόζεται εύκολα και ενδείκνυται στις περιπτώσεις που η εξαρτημένη μεταβλητή αποδίδεται με διαφορετική μορφή συνάρτησης στη μηδενική και μη υπόθεση. Καθώς, λοιπόν, ο έλεγχος αυτός επιτρέπει τη σύγκριση όλων των μορφών των συναρτήσεων με τη μηδενική υπόθεση, που κάθε φορά ισούται με μια διαφορετική μορφή συνάρτησης, επιτυγχάνεται αντιπαράθεση όλων των μορφών και επιλογή της καλύτερης δυνατής.

Το στάδιο υπολογισμού των συναρτήσεων παραγωγής είναι καθοριστικό στη ροή του οικονομικού μονέλου, όπως και οι Juan, et al. (1996) ισχυρίζονται. Οι συναρτήσεις αυτές καθώς συνδέουν την παραγόμενη ποσότητα προϊόντος με τις εισροές επηρεάζουν τα αποτελέσματα του μοντέλου για τα διάφορα εξεταζόμενα σεναρια. Ωστόσο, οι συναρτήσεις αυτές δεν είναι οι μόνες που λαμβάνονται υπόψη στην παρούσα εργασία καθώς σύμφωνα με τους Leip, et al. (2008) η γεωργική δραστηριότητα ευθύνεται για την περιβαλλοντική ανησυχία που προκαλεί η αυξημένη συγκέντρωση νιτρικών στο νερό, η εκπομπή αμμωνίας στην ατμόσφαιρα και η συνεισφορά στην αυξημένη συγκέντρωση αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα.

#### *6.2.1.7 Συναρτήσεις νιτρικών*

Πολλοί ερευνητές (Moreno, Cayuela et al. 1996; Acutis, Ducco et al. 2000; Barros, Isidoro et al. 2012) επισημαίνουν πως η διήθηση νιτρικών στις αρδευόμενες εκτάσεις εξαρτάται από τα εδαφολογικά και κλιματικά χαρακτηριστικά, το καλλιεργητικό πρότυπο και τη διαχείριση νερού και λιπάσματος αζώτου. Αυτά ακριβώς είναι και τα στοιχεία που συνδέει το μοντέλο προσομοίωσης DNDC (Li, Farahbakhshazad et al. 2006). Στην παρούσα εργασία τα στοιχεία που τείνουν να συσχετιστούν μέσω του μεταμοντέλου για να εξαχθούν οι συναρτήσεις νιτρικών είναι οι χρησιμοποιούμενες ποσότητες λιπάσματος αζώτου και νερού με την διηθούμενη ποσότητα νιτρικών. Όπως οι Bouzaher, et al. (1993) εξετάζουν δυο μορφές συναρτήσεων μη σημειακής ρύπανσης του νερού, τις γραμμικές και μη, έτσι και στην παρούσα έρευνα η διερεύνηση της μορφής των συναρτήσεων νιτρικών γίνεται συγκρίνοντας τις: γραμμική, δευτεροβάθμια, τετραγωνικής ρίζας και τριών ειδών

ημιλογαριθμική. Η σύγκριση μεταξύ των συναρτήσεων αυτών στηρίζεται στις τιμές των P – τεστ και F – τεστ, επιλέγοντας, τελικά, αυτή που παρουσιάζει τις υψηλότερες τιμές. Οι συναρτήσεις αυτές χρησιμοποιούνται αφενός στον υπολογισμό του περιβαλλοντικού κόστους του νερού και αφετέρου του παραγόμενου νιτρικού φορτίου ανά εξεταζόμενο σενάριο τιμολόγησης.

#### *6.2.1.8 Συναρτήσεις δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα*

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) είναι ένα από τα τρία σημαντικότερα αέρια του θερμοκηπίου (Chu, Hosen et al. 2007) και σύμφωνα με τους Snyder, et al. (2009) παράγεται σε μεγαλύτερες ποσότητες έναντι των άλλων δυο στις καλλιεργούμενες εκτάσεις. Κύρια αιτία έκλυσης ατμοσφαιρικού CO<sub>2</sub> στις περιοχές αυτές αποτελεί η αζωτούχος λίπανση, όπως οι Drury, et al. (1998) επισημαίνουν και οι Chu, et al. (2007) αναφέρουν. Ως εκ τούτου, τα αποτελέσματα του DNDC που επιχειρείται να συνδεθούν στην παρούσα εργασία είναι οι χρησιμοποιούμενες ποσότητες λιπάσματος και νερού με τη δεσμευόμενη ποσότητα ατμοσφαιρικού CO<sub>2</sub>. Η προαναφερόμενη διασύνδεση γίνεται μέσω συναρτήσεων και οι εξεταζόμενες μορφές στην παρούσα εργασία είναι η δευτεροβάθμια και η ημιλογαριθμική. Αυτά τα δυο είδη συναρτήσεων συγκρίνονται μεταξύ τους βάσει των τιμών του P - τεστ και η μεγαλύτερη τιμή καθορίζει την επιλογή. Οι σχέσεις αυτές χρησιμοποιούνται για στον προσδιορισμό της δεσμευόμενης ποσότητας ατμοσφαιρικού CO<sub>2</sub> ανά εξεταζόμενο σενάριο τιμολόγησης του αρδευτικού νερού.

#### *6.2.1.9 Συναρτήσεις έκλυσης αμμωνίας*

Όπως οι Harrison & Webb (2001) αναφέρουν, σύμφωνα με τον Anonymous (1994) η γεωργία ευθύνεται για την έκλυση αμμωνίας σε ποσοστό 80 - 90%, εκ του οποίου το 10 - 20% προέρχεται από τα αζωτούχα λιπάσματα. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει την ύπαρξη συσχέτισης ανάμεσα στις χρησιμοποιούμενες ποσότητες λιπάσματος και εκλυόμενης αμμωνίας. Η σχέση αυτή επηρεάζεται, επίσης, από τον τύπο του εδάφους, τις κλιματικές συνθήκες, τη χρησιμοποιούμενη ποσότητα νερού, τον τύπο και το ρυθμό εφαρμογής του λιπάσματος (Harrison and Webb 2001). Αναγνωρίζοντας τους παραπάνω παράγοντες, οι Xu, et al. (2012) τείνουν να διερευνήσουν τη διασύνδεση μεταξύ εκλυόμενης ποσότητας αμμωνίας και

διαφορετικών συνθηκών άρδευσης και αζωτούχου λίπανσης. Με αφορμή τις επισημάνσεις αυτές, στην παρούσα εργασία συσχετίζονται οι χρησιμοποιούμενες ποσότητες λιπάσματος και νερού με τις παραγόμενες ποσότητες αμμωνίας, προκειμένου να εξαχθούν οι αντίστοιχες συναρτήσεις. Οι μορφές που εξετάζονται είναι η δευτεροβάθμια, όπως και οι Xu, et al. (2012), και η ημιλογαριθμική. Η μεταξύ τους σύγκριση γίνεται με βάση το P – τεστ, προκειμένου να επιλεγεί η καταλληλότερη μορφή. Οι συναρτήσεις αυτές χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της εκλυόμενης ποσότητας αμμωνίας ανά εξεταζόμενο σενάριο τιμολόγησης του αρδευτικού νερού.

### 6.2.2 Υδρολογικό μοντέλο / Υδατικό ισοζύγιο

Το υδρολογικό μοντέλο χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία προκειμένου να υπολογιστεί το κόστος φυσικών πόρων του νερού, όπως αυτό έχει οριστεί στο Κεφάλαιο 3, και επομένως να προσδιοριστούν τα διάφορα εξεταζόμενα σενάρια μεθόδων τιμολόγησης του αρδευτικού νερού. Δευτερευόντως, μέσω του μοντέλου αυτού εκτιμάται το υδατικό ισοζύγιο ανά εξεταζόμενο σενάριο, γεγονός που επιτρέπει τη σύγκριση μεταξύ των πολιτικών. Με τον όρο υδατικό ισοζύγιο της υπό εξέταση περιοχής υποδηλώνεται η ισορροπία μεταξύ εισροών και εκροών νερού στα όριά της και κατά τον Weight (2004) στηρίζεται στην αρχή διατήρησης της μάζας.

Στις μεν εισροές του νερού συγκαταλέγονται: α) η βροχοπτώση, β) η άρδευση και γ) η τριχοειδής ανύψωση. Όσον αφορά στη βροχοπτώση, η ένταση και η διάρκειά της είναι καθοριστικές για την ποσότητα του νερού που εισέρχεται από το έδαφος στο ριζόστρωμα. Η άρδευση μπορεί να προέρχεται από αντλήσεις επιφανειακών ή υπόγειων νερών και συσχετίζεται με το ρυθμό εφαρμογής του νερού στην επιφάνεια του εδάφους, την υγρασία του εδάφους, την ταχύτητα διήθησης και την αρδευτική δόση. Τέλος, η τριχοειδής ανύψωση του νερού μπορεί να συνυπολογιστεί ως εισροή στο φυτό στην περίπτωση που ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται σχετικά κοντά στο ριζόστρωμα.

Στις δε εκροές του νερού περιλαμβάνονται: α) η επιφανειακή απορροή, β) η βαθιά διήθηση και γ) η εξατμισοδιαπνοή. Η επιφανειακή απορροή οφείλεται είτε σε μεγάλης έντασης και διάρκειας βροχοπτώση, είτε σε υπερβολική άρδευση, και είναι μεγαλύτερη όταν οι εκτάσεις παρουσιάζουν κλίση. Η βαθιά διήθηση αποδίδεται

κυρίως σε έντονη βροχόπτωση και / ή άρδευση. Τέλος, η εξατμισοδιαπνοή αναφέρεται στο σύνθετο φαινόμενο της απώλειας του νερού από το φυτό με τη διαπνοή διαμέσου των ιστών του, μέσω των στοματίων του φυλλώματος με τη μορφή υδρατμών και ανταλλαγής αερίων, με την εξάτμιση της υγρασίας από την επιφάνεια του φυλλώματος και την εξάτμιση του νερού από τη γυμνή επιφάνεια του εδάφους.

Ο προσδιορισμός του υδατικού ισοζυγίου στη διεθνή βιβλιογραφία γίνεται με διάφορους τρόπους. Άλλοτε στηρίζεται σε ένα σύνθετο υδρολογικό μοντέλο, που επιλύεται μέσω κάποιου υπολογιστικού πακέτου (Getirana, Espinoza et al. 2011), και άλλοτε σε χρονολογικά δεδομένα (Sinyukovich 2008). Ωστόσο, ένας απλούστερος τρόπος υπολογισμού του υδατικού ισοζυγίου που προτείνεται από πολλούς (Perry 2007; Liu, Li et al. 2010; Abrahao, Causape et al. 2011; Chen and Zhao 2011; Haie and Keller 2012), στηρίζεται στην αρχή της εξίσωσης εισροών – εκροών στα όρια της υδρολογικής λεκάνης και περιγράφεται από τη σχέση:

$$P + VA = RF + ET + \Delta S \quad (13)$$

όπου  $P$  η συνολική βροχόπτωση,  $VA$  η ποσότητα επιφανειακού νερού που αντλείται,  $RF$  η ποσότητα του νερού που επιστρέφει στο υδατόρεμα,  $ET$  η εξατμισοδιαπνοή και  $\Delta S$  η διαφορά του αποθέματος υπόγειου νερού. Η σχέση αυτή αποτυπώνεται στο Διάγραμμα 7.

Ουσιαστικά η αλλαγή αποθέματος υπόγειου νερού αναφέρεται στη διαφορά βαθιάς διήθησης και άντλησης και δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta S = DP - GA \quad (14)$$

όπου  $DP$  η βαθιά διήθηση και  $GA$  η ποσότητα του υπόγειου νερού που αντλείται.

Η συνολική βροχόπτωση (ετήσια) περιγράφεται ως το άθροισμα της ωφέλιμης βροχόπτωσης  $P_E$ , του κλάσματος της συνολικής βροχόπτωσης  $P$  που επιστρέφει στο ποτάμι ως επιφανειακή απορροή  $R_1$  και του κλάσματος εκείνου που διηθείται βαθιά  $DP_1$ , δηλαδή

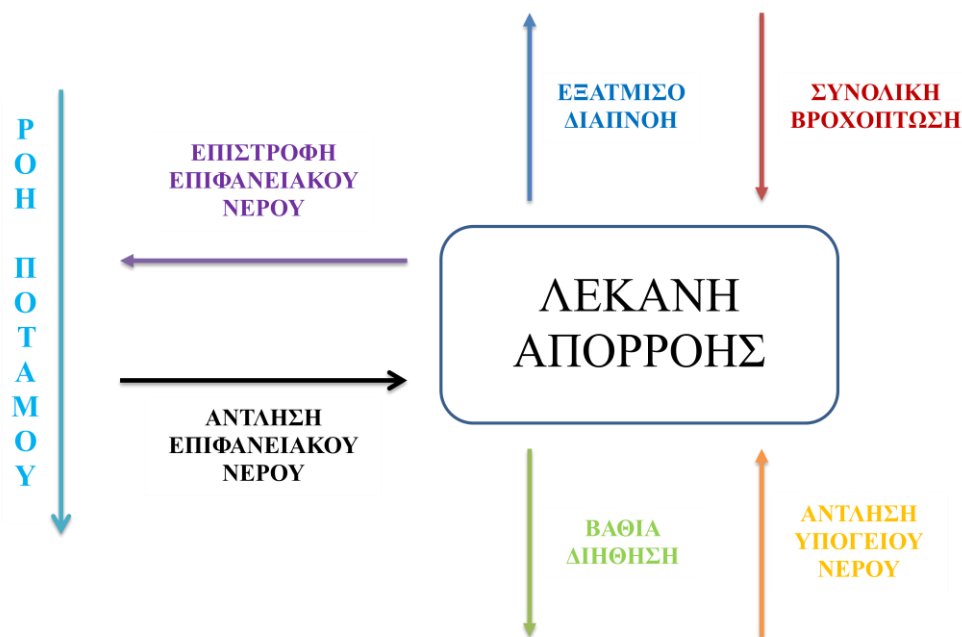
$$P = P_E + R_1 + DP_1 \quad (15).$$

Η ωφέλιμη βροχόπτωση,  $P_E$ , υπολογίζεται βάσει της μεθόδου που αναπτύσσεται από την USDA Soil Conservation Service, ως εξής:

$$P_e = \begin{cases} p_i \frac{125 - 0,2p_i}{125}, & \text{για } p_i \leq 250mm \\ 125 + 0,1p_i & \text{για } p_i > 250mm \end{cases} \quad (16)$$

όπου  $p_i$  και  $p_e$  είναι η μηνιαία συνολική και ωφέλιμη βροχόπτωση αντιστοίχως. Η παραπάνω σχέση έχει υιοθετηθεί και από άλλους ερευνητές (Tsanis and Naoum 2003; Loukas, Mylopoulos et al. 2007).

Διάγραμμα 7 Αποτύπωση υδατικού ισοζυγίου στη λεκάνη



Πηγή: Haie and Keller (2012)

Η ποσότητα του επιφανειακού,  $VA$ , και υπόγειου,  $GA$ , νερού που αντλείται καταλήγει στο συλλογικό δίκτυο άρδευσης της περιοχής. Ως εκ τούτου ισχύει η σχέση:

$$VA + GA = W_A + CL \quad (17)$$

όπου  $W_A$  το διαθέσιμο για άρδευση νερό και  $CL$  οι απώλειες των αρδευτικών καναλιών. Η επιφανειακή και υπόγεια άντληση υπολογίζονται βάσει των χαρακτηριστικών των αντλιών που λειτουργούν στην περιοχή μελέτης και αφορούν στοιχεία όπως η ισχύς (σε  $hp$  ή  $kW$ ), η παροχή νερού (σε  $m^3/hr$ ) και η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος (σε  $kWh$ ).

Αναλυτικότερα, οι ανωτέρω υπολογισμοί απαιτούν τέσσερα βήματα. Πρώτ' απ' όλα, μετατρέπεται η ισχύς κάθε αντλίας από ίππους ( $hp$ ) σε κιλοβατ ( $kW$ ), βάσει της σχέσης:  $1hp = 0,736kW$  (18). Ακολούθως, προσδιορίζεται ο χρόνος λειτουργίας της

(σε  $hr$ ) ως ο λόγος της καταναλισκόμενης ενέργειας (σε  $kWh$ ) προς την υποδύναμη (σε  $kW$ ), δηλαδή

$$\text{operation time} = \frac{\text{energy consumption}}{\text{power}} \quad (19).$$

Η συνολικά παρεχόμενη ποσότητα νερού ανά αντλία (σε  $m^3$ ) υπολογίζεται από το γινόμενο της παροχής (σε  $m^3 / hr$ ) με το χρόνο λειτουργίας (σε  $hr$ ), όπως αυτός υπολογίστηκε στο δεύτερο βήμα, και αποδίδεται από τη σχέση:

$$\text{Water volume} = \text{operation time} * \text{flowrate} \quad (20).$$

Τέλος, προσθέτοντας τις επιμέρους προσφερόμενες ποσότητες νερού κάθε αντλίας, προκύπτει η συνολική προσφερόμενη ποσότητα (σε  $m^3$ ) στα όρια της εξεταζόμενης περιοχής.

Πρακτικά, προκειμένου να καλυφθούν οι αρδευτικές ανάγκες της καλλιέργειας πρέπει να προσφερθεί μεγαλύτερη ποσότητα νερού, γεγονός που οφείλεται στην ύπαρξη απωλειών. Δηλαδή, μόνο μέρος του νερού που λαμβάνεται από μια πηγή (ποτάμι, πηγάδι - φρέατο, ταμιευτήρας) φτάνει στη ζώνη των ριζών των φυτών, καθώς η υπόλοιπη ποσότητα χάνεται κατά τη μεταφορά διαμέσου καναλιών και κατά την εφαρμογή της άρδευσης στο χωράφι (Brouwer, Prins et al. 1989). Αναλυτικότερα, αν η καλλιεργούμενη έκταση βρίσκεται εντός αρδευτικού δικτύου, το νερό που παρέχεται στην αρχή μέχρι να φτάσει στην συγκεκριμένη έκταση μειώνεται εξαιτίας εγγενών απωλειών που παρουσιάζονται σε κάθε αρδευτικό δίκτυο. Αλλά και ο όγκος του νερού που φτάνει τελικά στην καλλιεργούμενη έκταση δεν αποθηκεύεται εξολοκλήρου στο ριζόστρωμα καθώς μέρος του νερού απορρέει επιφανειακά ή / και διηθείται βαθιά κάτω από τη ζώνη αυτή. Όπως ο Παπαζαφειρίου (1999) επισημαίνει, το ύψος των απωλειών εξαρτάται από τη σχεδίαση, την κατασκευή και διαχείριση του αρδευτικού δικτύου, όπως και από τη μέθοδο άρδευσης, την επιδεξιότητα και την εμπειρία του αρδευτή.

Το ποσοστό από το ολικό νερό που δίνεται για άρδευση το οποίο αποθηκεύεται στο έδαφος στη ζώνη του ριζοστρώματος και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από την καλλιέργεια λέγεται αποδοτικότητα άρδευσης,  $E$  (Παπαζαφειρίου 1999). Ως αποδοτικότητα, κατά τους Burt, et al. (1997), ορίζεται ο λόγος της συνολικής ποσότητας του νερού που οδηγείται σε ωφέλιμες χρήσεις προς το συνολικό όγκο του νερού που εφαρμόζεται μεν για άρδευση, διαφύγει δε εκτός των εφαρμοζόμενων ορίων. Αυτή, όπως ο Howell (2003) υποστηρίζει, επιδρά στα οικονομικά της



άρδευσης, στην απαιτούμενη ποσότητα νερού για την άρδευση μιας συγκεκριμένης έκτασης, στη χωρική ομοιομορφία του καλλιεργούμενου είδους και της παραγωγής του, στην ποσότητα του νερού που διηθείται κάτω από την ζώνη των ριζών του φυτού, στην ποσότητα του νερού που επιστρέφει στις επιφανειακές πηγές για χρήσεις κατάντη ή σε υπόγειους υδροφορείς που τροφοδοτούν άλλες χρήσεις και στην ποσότητα του νερού που χάνεται σε μη ανανεώσιμες πηγές. Στο ίδιο πλαίσιο κινούνται και οι Kim & Schaible (2000), που επισημαίνουν τη διαφορά στα οικονομικά οφέλη που προκύπτουν από τη χρήση του νερού όταν χρησιμοποιείται η εφαρμοζόμενη και η πραγματικά καταναλισκόμενη ποσότητα νερού.

Καθώς η αποδοτικότητα της άρδευσης,  $E$ , καθορίζει την ποσότητα του νερού που πρέπει να διατεθεί για κανονική άρδευση των καλλιεργειών, κρίνεται απαραίτητη κατά τη μελέτη του αρδευτικού δικτύου (Παπαζαφειρίου 1999) και, κατά τον Jensen (2007), διακρίνεται στις αποδοτικότητες μεταφοράς,  $E_{cd}$  (Conveyance and Distribution Efficiency) και εφαρμογής,  $E_f$  (Field application Efficiency). Σχηματικά τα δυο αυτά είδη αποδίδονται από τους Pereira, et al. (2009).<sup>22</sup>

Η αποδοτικότητα μεταφοράς,  $E_{cd}$ <sup>23</sup>, αφορά στην κίνηση του νερού δια μέσου των αγωγών. Συγκεκριμένα, είναι ο λόγος του νερού που φτάνει στα όρια των χωραφιών προς το νερό που παροχετεύτηκε στην αρχή του δικτύου διανομής (Παπαζαφειρίου 1999). Οι απώλειες των καναλιών  $CL$ , περιλαμβάνουν τις απώλειες λόγω εξάτμισης,  $E_L$ , και διαρροών,  $SE$ , γεγονός που περιγράφεται από τη σχέση:

$$CL = E_L + SE \quad (21).$$

Αντιστοίχως οι απώλειες εξαιτίας διαρροών αποτελούνται από αυτές που καταλήγουν στο ποτάμι μέσω επιφανειακής και υπο-επιφανειακής απορροής,  $R_2$ , και αυτές που διηθούνται βαθιά,  $DP_2$ , δηλαδή:

$$SE = R_2 + DP_2 \quad (22).$$

<sup>22</sup> Βλ. σελ. 223.

<sup>23</sup> Υπολογίζεται με βάση τον τύπο:  $E_{cd} = \frac{Q_f}{Q_m}$ , όπου:  $Q_f$  είναι η ποσότητα του νερού που φτάνει στα όρια του χωραφίου και  $Q_m$  είναι η ποσότητα του νερού που παροχετεύεται από τον ταμιευτήρα προς το αρχικό δίκτυο.

Η αποδοτικότητα εφαρμογής,  $E_f$ <sup>24</sup>, αναφέρεται στην κίνηση του νερού από την υδροληψία του αγρού έως την αποθήκευσή του στο ριζόστρωμα των καλλιεργειών (Τσακίρης Απρίλιος 2004). Ουσιαστικά, οι απώλειες εφαρμογής οφείλονται στην εξάτμιση, την επιφανειακή απορροή και τη βαθιά διήθηση και κατά τον Τσακίρη (Απρίλιος 2004) εξαρτώνται κυρίως από τη μεθοδο άρδευσης, τις συνθήκες εδάφους και ατμόσφαιρας, καθώς και από την εμπειρία και το ήθος των γεωργών στη χρησιμοποίηση του αρδευτικού νερού. Στην παρούσα εργασία το μέγεθος αυτό λαμβάνεται υπόψη στην κατασκευή του οικονομικού μοντέλου που ακολουθεί.

Αναφερόμενοι στην ποσότητα του νερού που επιστρέφει,  $RF$ , αυτή προκύπτει από το άθροισμα της επιφανειακής απορροής από τη γεωργική γη και των ποσοτήτων  $R_1 + R_2$ , δηλαδή της επιφανειακής απορροής της βροχόπτωσης και των απωλειών των καναλιών. Αντιστοίχως, η συνολική βαθιά διήθηση,  $DP$ , ισούται με τη βαθιά διήθηση της γεωργικής γης συν το άθροισμα  $DP_1 + DP_2$ , που αποτελεί τη βαθιά διήθηση της βροχόπτωσης και των απωλειών των καναλιών.

Στην παρούσα εργασία και σύμφωνα με τον ορισμό του FAO Irrigation and drainage paper 56 (Allen et al., 1998), οι απαιτήσεις των καλλιεργειών σε νερό κάτω από τυπικές συνθήκες, λαμβάνονται ως ισοδύναμες με το ρυθμό εξατμισοδιαπνοής ενός υγιούς φυτού που αναπτύσσεται κάτω από βέλτιστες εδαφικές συνθήκες, δηλαδή επαρκή εδαφική γονιμότητα και ποσότητα νερού προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή παραγωγή του. Όπως και ανωτέρω αναφέρθηκε, η εξατμισοδιαπνοή δηλώνει το συνδυασμό δυο διαφορετικών διαδικασιών: της διαπνοής των φυτών και της εξάτμισης από το ακάλυπτο έδαφος και της παρακράτησης του νερού από το φύλλωμα και τους ιστούς (με μορφή σταγόνων) κατά τη διάρκεια μιας ορισμένης περιόδου. Η διαπνοή είναι το αποτέλεσμα βιοφυσικών διεργασιών και η εξάτμιση αποτελεί ένα φυσικό φαινόμενο. Αναφέρονται, όμως, μαζί καθώς ο διαχωρισμός τους είναι δύσκολος και λαμβάνονται ως μια ενιαία μεταβλητή. Σε περίπτωση που στο γυμνό έδαφος υπάρχει διαθέσιμο νερό, η εξάτμιση από ένα καλλιεργούμενο έδαφος καθορίζεται κυρίως από το ποσοστό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους. Το ποσοστό αυτό μειώνεται καθώς το φυτό

<sup>24</sup> Σύμφωνα με τον Παπαζαφειρίου (1999), ορίζεται ως ο λόγος του νερού που αποθηκεύεται στο έδαφος στη ζώνη του ριζοστρώματος των καλλιεργειών και είναι 100% διαθέσιμο για την κάλυψη των αναγκών εξατμισοδιαπνοής,  $SM$ , προς το νερό που εφαρμόζεται στο χωράφι, δηλ.  $Q_f \cdot E_f = \frac{SM}{Q_f}$ .

αναπτύσσεται και σκιάζει ολοένα και περισσότερο την ακάλυπτη επιφάνεια του εδάφους. Όταν το φυτό είναι μικρό, το νερό κυρίως χάνεται μέσω της εδαφικής εξάτμισης, αλλά καθώς το φυτό αναπτύσσεται και καλύπτει το έδαφος, η διαπνοή γίνεται η κύρια διαδικασία απώλειας νερού.

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής κατά τον Τσακίρη (Απρίλιος 2004) είναι το κλίμα, το είδος και το στάδιο αναπτύξεως των καλλιεργειών, οι γεωγραφικές συνθήκες, η κατάσταση του αγρού, η διαχείριση του νερού, η μέθοδος αρδύσεως, το μέγεθος της αρδευόμενης εκτάσεως και το έδαφος (καμπύλη διαθεσιμότητας της εδαφικής υγρασίας). Κατατάσσοντάς τους σε κατηγορίες, αυτοί περιλαμβάνουν φυσικούς, βιολογικούς και φυτικούς. Αναλυτικότερα, στην πρώτη ομάδα παραμέτρων συγκαταλέγονται η ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία του αέρα, η σχετική υγρασία του αέρα, η ταχύτητα του ανέμου και το γεωγραφικό πλάτος. Η δεύτερη κατηγορία αναφέρεται στα χαρακτηριστικά της ανάπτυξης των καλλιεργούμενων φυτών και κυρίως στην κριτική ή κρίσιμη περίοδο. Ως τέτοια νοείται η χρονική περίοδος κατά την οποία η καλλιέργεια παρουσιάζει μεγαλύτερες απαιτήσεις σε νερό και σε θρεπτικά στοιχεία και είναι χαρακτηριστική του κάθε είδους. Στην τρίτη κατηγορία ανήκουν οι φυτικοί συντελεστές που περιλαμβάνουν την ανακλαστικότητα (λευκάυγεια - albedo) της καλλιέργειας, το ποσοστό κάλυψης του εδάφους από το φυτό, το ύψος των φυτών, το βάθος και η πυκνότητα του ριζικού συστήματος και το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας. Τέλος, παράγοντες όπως η αλατότητα του εδάφους, η μειωμένη γονιμότητα, η περιορισμένη εφαρμογή λίπανσης, η παρουσία αδιαπέρατων εδαφικών στρωμάτων, η απουσία ελέγχου των ασθενειών των φυτών, τα ζιζάνια και η πτωχή διαχείριση του εδάφους μπορούν να περιορίσουν την ανάπτυξη του φυτού και να μειώσουν την εξατμισοδιαπνοή.

Ο υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών σε νερό πραγματοποιείται σε τρία στάδια: α) στον καθορισμό της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς (ή βάσης),  $ET_o$ , β) στην επιλογή του φυτικού συντελεστή επιλογή του συντελεστή καλλιέργειας,  $k_c$ , και γ) στον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας,  $ET_c$ .

### 6.2.2.1 Καθορισμός της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς (ή βάσης), $ET_o$

Οι μέθοδοι υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς ποικίλουν<sup>25</sup>. Εντούτοις η μέθοδος των Penman-Monteith θεωρείται μέχρι στιγμής η ακριβέστερη κάτω από όλες τις κλιματικές συνθήκες (Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη and Βαγενάς 2003). Στην άποψη αυτή συγκλίνουν και άλλοι ερευνητές (Pereira and Smith 1989; Smith, Allen et al. 1989; Allen, Smith et al. 1994), όπως ο Παπαζαφειρίου (1999) επισημαίνει, οι οποίοι προτείνουν αυτή τη μέθοδο ως το κύριο εργαλείο υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής βάσης από χορτοτάπητα και για τον προσδιορισμό των φυτικών συντελεστών των καλλιεργειών. Ακόμα, οι Alexiou, et al. (26 - 31 May 2002) συμπληρώνουν πως η μέθοδος κρίνεται αποτελεσματική στον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας υπό τις καιρικές συνθήκες της Κεντρικής Ελλάδας.

Σύμφωνα με τη μέθοδο Penman-Monteith η εξατμισοδιαπνοή βάσης υπολογίζεται από τα μετεωρολογικά δεδομένα και πιο συγκεκριμένα, απαιτεί στοιχεία ακτινοβολίας, θερμοκρασίας του αέρα, υγρασίας του αέρα και ταχύτητας του ανέμου. Όλα τα παραπάνω εισάγονται στη σχέση:

$$ET_o = \frac{0,408\Delta \left( (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a) \right)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (23)$$

όπου:  $ET_o$  η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (σε  $mm \ day^{-1}$ ),  $R_n$  η πυκνότητα ροής καθαρής ακτινοβολίας στη φυτική επιφάνεια (σε  $MJ \ m^{-2} \ day^{-1}$ ),  $G$  η πυκνότητα ροής θερμότητας του εδάφους (σε  $MJ \ m^{-2} \ day^{-1}$ ),  $T$  η μέση ημερήσια θερμοκρασία του αέρα σε ύψος 2m (σε  $^{\circ}C$ ),  $u_2$  η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 2m (σε  $m \ s^{-1}$ ),  $e_s$  η μέση τάση κορεσμένων υδρατμών (σε  $kPa$ ),  $e_a$  η πραγματική τάση των υδρατμών (σε  $kPa$ ),  $\Delta$  η κλίση της καμπύλης κορεσμού (σε  $kPa \ ^{\circ}C^{-1}$ ),  $\gamma$  η ψυχομετρική σταθερά (σε  $kPa \ ^{\circ}C^{-1}$ ).

Η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς θεωρείται εξαιρετικά χρήσιμο μέγεθος καθώς επιτρέπει συγκρίσεις μεταξύ τιμών εξατμισοδιαπνοής διαφορετικών περιόδων του έτους.

<sup>25</sup> Ενδεικτικά αναφέρονται οι μέθοδοι Blaney – Criddle, Makkink, Penman, η συνδυασμένη Penman – Monteith και του Εξατμισμέτρου Λεκάνης Τύπου A (Allen et al., 1998).

#### 6.2.2.2 Επιλογή του συντελεστή καλλιέργειας, $k_c$

Ο συντελεστής καλλιέργειας,  $k_c$ , είναι χαρακτηριστικός του κάθε καλλιεργούμενου είδους και υποδεικνύει σφαιρική επιρροή τεσσάρων βασικών χαρακτηριστικών που τον διαφοροποιούν από την καλλιέργεια αναφοράς. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι:

*Το ύψος της καλλιέργειας*, το οποίο επηρεάζει τον όρο της αεροδυναμικής αντίστασης,  $ra$ , (ο οποίος εισάγεται στην εκτίμηση εξατμισοδιαπνοής αναφοράς με την μέθοδο Penman–Monteith) και την στροβιλώδη μεταφορά των υδρατμών από την καλλιέργεια στην ατμόσφαιρα.

*Η ανακλαστικότητα  $a$  (albedo) της φυτοκόμης και του εδάφους* η οποία επηρεάζεται από το βαθμό φυτοκάλυψης και της κατάστασης επιφανειακής υγρασίας του εδάφους. Η ανακλαστικότητα έχει άμεση επιρροή στην ροή της καθαρής ακτινοβολίας  $R_n$ , η οποία θεωρείται η βασική πηγή ενέργειας στη διαδικασία εξάτμισης.

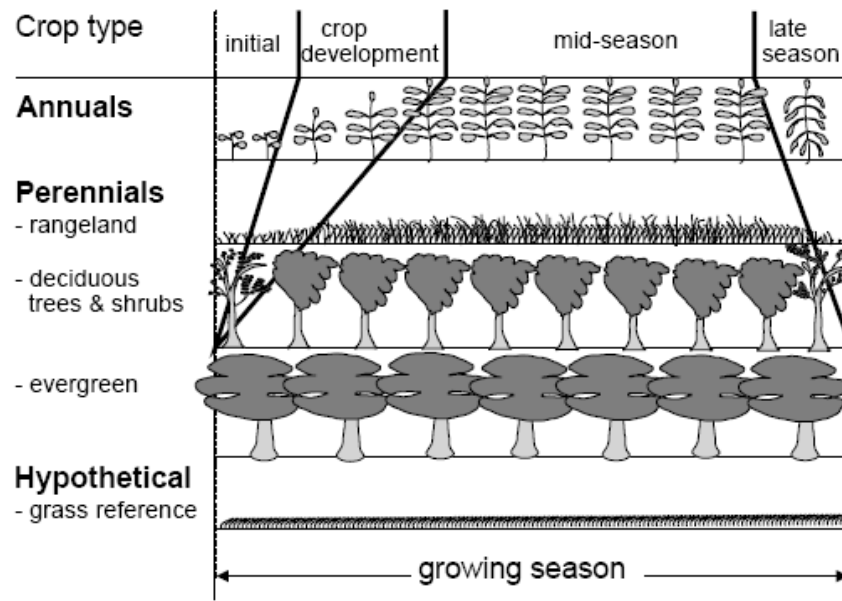
*Η αντίσταση της φυτοκόμης* στην μεταφορά των υδρατμών από την καλλιέργεια στο περιβάλλον η οποία επηρεάζεται από την επιφάνεια του φυλλώματος (αριθμός στοματίων), την ηλικία των φύλλων και τον έλεγχο και ρυθμό του ανοίγματος των στοματίων.

*Η εξάτμιση από το έδαφος* και ειδικότερα στη περίπτωση έκθεσης του εδάφους (γυμνό έδαφος ανάμεσα στις γραμμές των φυτών, απόσταση φύτευσης κ.λ.π.).

Καθώς το φυτό αναπτύσσεται, η κάλυψη του εδάφους, το ύψος του φυτού και η φυλλική επιφάνεια αλλάζουν. Οι μεταβολές αυτές επιφέρουν αλλαγές στην εξατμισοδιαπνοή, οι οποίες συνεπάγονται διαφορές στην τιμή του συντελεστή καλλιέργειας,  $k_c$ , για κάθε καλλιέργεια ανά στάδιο ανάπτυξης. Η βλαστική περίοδος των φυτών διακρίνεται σε τέσσερα επιμέρους στάδια: το αρχικό, τη φάση ανάπτυξης του φυτού, τη μέση φάση και την τελική φάση. Η

Εικόνα 2 απεικονίζει την αλληλουχία και την αναλογία των σταδίων αυτών για διαφορετικούς τύπους φυτών.

Εικόνα 2 Στάδια ανάπτυξης διαφορετικών τύπων φυτών



Πηγή: (FAO 1984)

Ο συντελεστής καλλιέργειας είναι αδιάστατος αριθμός και η τιμή του προσδιορίζεται από πειραματικά δεδομένα. Σύμφωνα δε με τον Παπαζαφειρίου (1999), οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή του είναι τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας, η εποχή σποράς ή φύτευσης, ο ρυθμός ανάπτυξης της καλλιέργειας, η διάρκεια της βλαστικής περιόδου και οι εδαφικές και κλιματικές συνθήκες. Οι συντελεστές αυτοί για τα καλλιεργούμενα είδη στην Ελλάδα παρουσιάζονται σε ειδικά προσαρμοσμένους πίνακες στις ελληνικές συνθήκες.

### 6.2.2.3 Υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, $ET_c$

Η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας,  $ET_c$ , είναι η ένταση με την οποία το νερό, εφόσον είναι άμεσα διαθέσιμο, απομακρύνεται από τις εδαφικές και φυτικές επιφάνειες μιας καλλιέργειας που αναπτύσσεται δυναμικά (είναι δηλαδή ελεύθερη από ασθένειες και οποιουσδήποτε άλλους παράγοντες ανασχετικούς της ανάπτυξης και έχει στη διάθεσή της όλα τα απαιτούμενα θρεπτικά συστατικά) και επιτυγχάνει το μέγιστο της ανάπτυξης και απόδοσης κάτω από τις επικρατούσες συνθήκες του

περιβάλλοντος στο οποίο αναπτύσσεται (Jensen, M.E., et al., 1990). Αυτή σαφώς διαφέρει από την τιμή της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς,  $ET_o$ , καθώς η κάλυψη του εδάφους, η φυτική κάλυψη και η αεροδυναμική αντοχή της κάθε καλλιέργειας διαφέρουν από αυτή της καλλιέργειας αναφοράς. Οι επιπτώσεις στα χαρακτηριστικά που διακρίνουν τα καλλιεργούμενα είδη από την καλλιέργεια αναφοράς ενσωματώνονται στο συντελεστή καλλιέργειας,  $k_c$ . Οι τρόποι μέτρησης της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας διακρίνονται σε άμεσους και έμμεσους. Στους μεν πρώτους συγκαταλέγονται η μέθοδος των διαδοχικών δειγματοληψιών, η μέθοδος του υδατικού ισοζυγίου και η μέθοδος του λυσίμετρου, στους δε δεύτερους περιλαμβάνεται ο υπολογισμός με βάση την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (Allen et al., 1998).

Καθώς οι απαιτήσεις των άμεσων μεθόδων ξεφεύγουν από τους σκοπούς της παρούσας εργασίας, επιλέχθηκε ο προσδιορισμός της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας με βάση τη σχέση:

$$ET_c = k_c \cdot ET_o \quad (24)$$

όπου  $ET_c$  η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας (σε  $mm\ day^{-1}$ ),  $k_c$  ο συντελεστής συγκεκριμένης καλλιέργειας σε συγκεκριμένο στάδιο ανάπτυξης υπό συγκεκριμένες συνθήκες εδαφικής υγρασίας,  $ET_o$  η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς (σε  $mm\ day^{-1}$ ).

Στον τελικό υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου, η μεν βαθιά διήθηση της γεωργικής γης υπολογίζεται κάθε φορά ενδογενώς βάσει των αποτελεσμάτων του μοντέλου, η δε εξατμισοδιαπνοή των καλλιεργειών αναπροσαρμόζεται εξωγενώς. Αναλυτικότερα, οι (Loukas, Myloroulos et al. 2007) προτείνουν τον προσδιορισμό των αρδευτικών αναγκών του καλλιεργούμενου είδους βάσει της σχέσης:

$$NIR = ET_o^{New} - P_E \quad (25)$$

όπου  $NIR$  (Near Irrigation Requirements) οι αρδευτικές ανάγκες του φυτού και για την παρούσα εργασία συμπίπτει με τον όρο  $WR_{ij}$ ,  $ET_o^{New}$  η νέα εξατμισοδιαπνοή αναφοράς, και  $P_E$  η ωφέλιμη βροχόπτωση. Μετασχηματίζοντας τη σχέση (25) στην:

$$ET_c^{New} = k_c \left( P_E \sum_j l_{ij} + \frac{\sum_j l_{ij} WR_{ij}}{\sum_j l_{ij}} \sum_j l_{ij} \right) \quad (26)$$



όπου  $ET_c^{New}$  η νέα εξατμισοδιαπνοή των καλλιεργειών,  $k_c$  ο φυτικός συντελεστής,  $l_{ij}$  η γη ανά καλλιεργούμενο είδος  $i$  και τύπο εδάφους  $j$ ,  $WR_{ij}$  οι απαιτήσεις των καλλιεργειών σε αρδευτικό νερό, όπως αυτές προκύπτουν από την επίλυση του μοντέλου. Αυτές οι απαιτήσεις διαφέρουν από την πραγματικά χρησιμοποιούμενη ποσότητα του νερού εξαιτίας της ελλειμματικής άρδευσης και της ύπαρξης εξατμισοδιαπνοής.

Η ανωτέρω διαδικασία οδηγεί στον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου της εξεταζόμενης περιοχής. Όταν αυτό είναι ελλειμματικό, όπως στο Κεφάλαιο 3 αναφέρθηκε, τότε υπολογίζεται κόστος έλλειψης / φυσικών πόρων για το νερό.

### 6.2.3 Υπολογισμός πλήρους κόστους αρδευτικού νερού

Στην παρούσα εργασία η εκτίμηση του πλήρους κόστους του αρδευτικού νερού είναι απαραίτητη προκειμένου να προσδιοριστούν οι διαφορετικές μέθοδοι τιμολόγησης του αρδευτικού νερού, και κατ' επεκταση τα ποικίλα σενάρια εφαρμογής της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ.

#### *6.2.3.1 Υπολογισμός χρηματοοικονομικού κόστους αρδευτικού νερού*

Ο καθορισμός του χρηματοοικονομικού κόστους μπορεί να θεωρηθεί ως το πλέον εύκολο και άμεσο βήμα υπολογισμού του συνολικού κόστους. Αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι απαιτεί οικονομικά δεδομένα σχετικά με τα πραγματοποιημένα έξοδα του οργανισμού διαχείρισης του αρδευτικού νερού στην περιοχή μελέτης κατά τη διάρκεια του εξεταζόμενου έτους.

#### *6.2.3.2 Υπολογισμός περιβαλλοντικού κόστους αρδευτικού νερού*

Το πλέον δύσκολο κομμάτι του συνολικού κόστους αποτελεί αναμφίβολα ο υπολογισμός του περιβαλλοντικού κόστους. Όπως στη σχετική βιβλιογραφία αναφέρεται (Geng, Girard et al. 1996; Karyotis, Panagopoulos et al. 2002; Molénat, Durand et al. 2002; Papaioannou, Dovriki et al. 2010; Stamatis, Parpodis et al. 2011), η εντατικοποίηση της γεωργίας, με την αυξημένη χρήση λιπασμάτων και αρδευτικού νερού, οδήγησε σε υποβάθμιση της ποιότητας των επιφανειακών και υπόγειων νερών. Ως εκ τούτου, πρώτο βήμα στον υπολογισμό του περιβαλλοντικού κόστους αποτελεί

ο καθορισμός των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων της άρδευσης. Ακολούθως, η ποσοτικοποίηση του κόστους αυτού στηρίζεται στην εκτίμηση της σχετικής ζημιάς που προκαλείται στο περιβάλλον από την αρδευόμενη γεωργία.

Με τη μέθοδο εκτίμησης του κόστους της περιβαλλοντικής ζημιάς, ουσιαστικά, υπολογίζεται το κόστος αποκατάστασης του φυσικού πόρου στην αρχική του κατάσταση προκειμένου να μετρηθεί η διαφορά των κερδών από τη μείωση του περιβαλλοντικού κόστους. Συνθήτως το κόστος της ζημιάς είναι χαμηλότερο της επιθυμίας για πληρωμή και συχνά γίνεται ευκολότερα αντιληπτό από μη οικονομολόγους (Dickie 2003). Ωστόσο, εάν το κόστος ζημιάς δεν περιλαμβάνει μόνο το κόστος αποκατάστασης των πόρων στην πρότερη κατάστασή τους, αλλά και την ενδιάμεση απώλεια της αξίας του περιβαλλοντικού αγαθού από τη στιγμή της ζημιάς έως τη στιγμή της αποκατάστασης, τότε θεωρείται προτιμότερος ο υπολογισμός της επιθυμίας για πληρωμή (Jones and Pease 1997). Καθώς κάτι τέτοιο απαιτεί περισσότερο χρονοβόρες διαδικασίες που ξεφεύγουν από το σκοπό της εργασίας αυτής, στο εξής με τον όρο περιβαλλοντικό κόστος εννοείται το κόστος αποκατάστασης της ζημιάς.

Καθώς κύρια πηγή μη σημειακής ρύπανσης των αγροτικών περιοχών θεωρείται η επιβάνση των υπόγειων υδροφορέων με νιτρικά, αυτή είναι και η μοναδική παράμετρος που λαμβάνεται υπόψη στην παρούσα εργασία. Οι διάφοροι μηχανισμοί μεταφοράς των νιτρικών προσεγγίζονται αναλυτικά και αποδίδονται σχηματικά από τους Geng, et al. (1996). Ουσιαστικά, στον υπολογισμό της περιβαλλοντικής ζημιάς λαμβάνονται υπόψη η βαθιά διήθηση και η έκλυση νιτρικών στο περιβάλλον μέσω αυτής, όπως και οι Παπαϊοαννου, et al. (2010) προτείνουν. Η βαθιά διήθηση των νιτρικών γεωργικής προέλευσης σχετίζεται με διάφορους παράγοντες όπως η αλλαγή των χρήσεων γης, η αποτελεσματική βροχόπτωση, οι αρδευτικές μέθοδοι και ο χρόνος επανάκτησης της ισορροπίας των υπόγειων υδροφορέων (Karyotis, Panagopoulos et al. 2002).

Αναλυτικότερα η μέθοδος υπολογισμού του περιβαλλοντικού κόστους της αρδευόμενης γεωργίας στηρίζεται στην πρόταση των Ando & Khanna (2004) σχετικά με την εκτίμηση της ζημιάς από τη ρύπανση του υπόγειου υδροφόρου στην πολιτεία της Minnesota. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται μια παραλλαγή της, που αποδίδεται από τη σχέση:

$$EC = V_1 * AC * \alpha \quad (27)$$

όπου  $EC$  το περιβαλλοντικό κόστος,  $V_1$  η ποσότητα του νερού που έχει υποστεί ρύπανση,  $AC$  το μέσο κόστος της επιπλέον χρέωσης του πόσιμου νερού εξαιτίας των περιβαλλοντικών ζημιών και  $\alpha$  η ενδεχόμενη συνεισφορά της αρδευόμενης γεωργίας στη ρύπανση των υπόγειων νερών. Συγκεκριμένα, το  $AC$  ορίζεται ως η διαφορά του μέσου κόστους αποκατάστασης του νερού και του μέσου κόστους παροχής πόσιμου νερού.

Ωστόσο, πιθανό σφάλμα της μεθόδου αυτής, που συνήθως οδηγεί σε υπερεκτίμηση της ζημιάς, προέρχεται από την υπόθεση της χρήσης ολόκληρου του αποθέματος υπόγειου νερού για ύδρευση. Επιπλέον, οι περιβαλλοντικές ζημιές υπολογίζονται στη βάση όλης της ποσότητας του νερού που έχει ρυπανθεί, παρά το ότι μπορεί να υπάρχουν περιπτώσεις υπό τις οποίες μόνο ένα τμήμα του νερού αυτού να αντλείται ανά έτος. Στην προσπάθεια άρσης των προβλημάτων αυτών, ο προαναφερόμενος τύπος μετασχηματίζεται στον:

$$EC = V_2 * \alpha * \beta * TC \quad (28)$$

όπου  $V_2$  ο όγκος του υπόγειου νερού που αντλείται και χρήζει απορρύπανσης,  $\beta$  η αναλογία της έκτασης της εξεταζόμενης περιοχής συγκριτικά με την υπολεκάνη στην οποία ανήκει και  $TC$  το μέσο κόστος απορρύπανσης του νερού. Η σχέση αυτή υποδηλώνει δυο πράγματα που πρέπει να αποσαφηνιστούν: α) την ομοιόμορφη ανατροφοδότηση του υπόγειου υδροφόρου από την έκταση που βρίσκεται πάνω από αυτόν, και β) την εξομοίωση του καλλιεργητικού προτύπου της γεωργικής γης ολόκληρης της λεκάνης με το ακολουθούμενο στην περιοχή μελέτης.

### 6.2.3.3 Υπολογισμός κόστους έλλειψης αρδευτικού νερού

Ο υπολογισμός του κόστους του νερού ως φυσικού πόρου προκύπτει ως το γινόμενο του ελλείμματος επί το μοναδιαίο κόστος της καλύτερης εναλλακτικής πηγής αρδευτικού νερού. Στην παρούσα εργασία ως καλύτερη εναλλακτική θεωρείται η επίλυση του προβλήματος της έλλειψης μέσω λήψης των κατάλληλων μέτρων, δεδομένου ότι η αφαλάτωση και η μεταφορά νερού έχουν αμφίβολα αποτελέσματα και δεν είναι πολιτικά αποδεκτές (Close 1998; Margaritis, Galogiannis et al. 2006).

#### 6.2.3.4 Ανάκτηση κόστους

Καθώς βασικό στόχο της Οδηγίας 2000/60/EK αποτελεί η ανάκτηση του πλήρους κόστους του νερού, τμήμα της σύγκρισης των μεθόδων τιμολόγησης του αρδευτικού νερού που επιχειρείται από την παρούσα, αποτελεί και ο υπολογισμός του ποσοστού ανάκτησης ( $CRR$ ). Αυτό ορίζεται ως ο λόγος των συνολικών εσόδων ( $TR$ ) της υπηρεσίας παροχής νερού προς το συνολικό κόστος του ( $TC$ ) και εκφράζεται από τη σχέση:

$$CRR = \frac{TR}{TC} \quad (29)$$

Ένα επιπλέον σημείο σύγκρισης των μεθόδων τιμολόγησης αποτελούν και οι δείκτες ελαστικότητας εξοικονόμησης νερού και ανάκτησης κόστους, που θεωρούνται παραλλαγή της έννοιας της ελαστικότητας. Ο πρώτος, σύμφωνα με τους Kampas, et al. (2012), ο δείκτης αυτός εκφράζει την ποσότητα του νερού που εξοικονομείται για κάθε μονάδα ακαθάριστου κέρδους που θυσιάζεται και ορίζεται από τη σχέση:

$$E_{VMI} = \frac{\Delta W}{\Delta GM} \frac{(GM_i + GM_j)}{(W_i + W_j)} \quad (30)$$

όπου  $\Delta W$  η αλλαγή της εφαρμοζόμενης ποσότητας νερού ως αποτέλεσμα της μεταβολής των τιμών του,  $\Delta GM$  η αλλαγή του ακαθάριστου κέρδους που χάνεται προκειμένου να εξοικονομηθεί η προαναφερόμενη ποσότητα νερού,  $W_i$ ,  $W_j$  οι απαιτούμενες ποσότητες νερού και  $GM_i$ ,  $GM_j$  το ακαθάριστο κέρδος ανά διαφορετική τιμή του νερού.

Βασιζόμενοι στην παραπάνω ιδέα και αντικαθιστώντας την εξοικονομούμενη ποσότητα νερού με το δείκτη ανάκτησης του κόστους, προκύπτει η ελαστικότητα ανάκτησης κόστους. Αντιστοίχως, η έννοια αυτή εκφράζει το ποσοστό ανάκτησης κόστους που επιτυγχάνεται για κάθε μονάδα ακαθάριστου κέρδους που θυσιάζεται. Επομένως, ορίζεται ως:

$$E'_{VMI} = \frac{\Delta CRR}{\Delta GM} \frac{(GM_i + GM_j)}{(CRR_i + CRR_j)} \quad (31)$$

όπου  $\Delta CRR$  η διαφορά του ποσοστού ανάκτησης κόστους ως αποτέλεσμα της μεταβολής των τιμών του νερού,  $\Delta GM$  η αλλαγή του ακαθάριστου κέρδους που χάνεται προκειμένου να ανακτηθεί μεγαλύτερο ποσοστό κόστους,  $CRR_i$ ,  $CRR_j$  τα

ποσοστά ανάκτησης κόστους και  $GM_i$ ,  $GM_j$  το ακαθάριστο κέρδος ανά διαφορετική τιμή του νερού.

#### 6.2.4 Οικονομικό μοντέλο

Η ενσωμάτωση της περιβαλλοντικής διάστασης στο οικονομικό μοντέλο παραγωγής επιτρέπει τη ρεαλιστική προσομοίωση των χαρακτηριστικών του κλίματος, του εδάφους και του παραγωγικού προτύπου της εξεταζόμενης περιοχής (Leip, Marchi et al. 2008). Ο συνδυασμός του βιοφυσικού μοντέλου με το οικονομικό επιτρέπει, επίσης, την αποτύπωση των οικονομικών και περιβαλλοντικών πολιτικών και την ταυτόχρονη εκτίμηση των επιπτώσεών τους στη χρήση της γης, στις εισροές και εκροές, στην υιοθέτηση νέας τεχνολογίας από τους γεωργούς, στην ευημερία των γεωργών και στη διατηρησιμότητα των πόρων (Ruben, Moll et al. 1998). Ο συνδυασμός των δυο μοντέλων στην παρούσα εργασία πραγματοποιείται με την ενσωμάτωση των συναρτήσεων παραγωγής, όπως αυτές προκύπτουν από τη βιοφυσική προσομοίωση, στο οικονομικό, προσέγγιση ευρέως διαδεδομένη στη σχετική βιβλιογραφία.

##### 6.2.4.1 Αντικειμενική συνάρτηση

Το οικονομικό μοντέλο αριστοποίησης που αναπτύσσεται στηρίζεται αφενός στη θεώρηση ολόκληρης της εξεταζόμενης περιοχής ως μια ενιαία γεωργική εκμετάλλευση, αφετέρου στην παραδοχή της μεγιστοποίησης του οικονομικού κέρδους από τη γεωργική δραστηριότητα υπό ορισμένους περιορισμούς. Επιπροσθέτως, τα οικονομικά οφέλη προσδιορίζονται μέσω του δείκτη του Ακαθάριστου Κέρδους, ο οποίος κρίνεται από πολλούς (Sumpsi, Amador et al. 1997; Berbel and Gómez-Limón 2000) επαρκής και κατάλληλος. Ουσιαστικά, αυτό το μη γραμμικό μοντέλο τείνει να μεγιστοποιήσει το Ακαθάριστο Κέρδος στην περιοχή μελέτης κατά το εξεταζόμενο έτος, μέγεθος που περιγράφεται από την παρακάτω σχέση:

$$\text{Max. } GM = TR - TC \quad (32)$$

όπου  $GM$  ακαθάριστο κέρδος (σε €),  $TC$  συνολικό κόστος (σε €) και  $TR$  συνολικά έσοδα (σε €).

Αναλυτικότερα, το μεν συνολικό κόστος υπολογίζεται με βάση τη συνάρτηση:

$$TC = \sum_i [C_i^f + C_i^w + VE_i \cdot \sum_j l_{ij}] \quad (33)$$

όπου  $j$  ο τύπος εδάφους,  $i$  το καλλιεργούμενο είδος,  $C_i^f$  η συνάρτηση κόστους λίπανσης ανά καλλιέργεια (σε €),  $C_i^w$  η συνάρτηση κόστους άρδευσης ανά καλλιέργεια (σε €),  $VE_i$  οι μεταβλητές δαπάνες καλλιέργειας (μη συμπεριλαμβανομένων των τελών άρδευσης και του κόστους του αζώτου) (σε €/ha) και  $l_{ij}$  η καλλιεργούμενη έκταση ανά καλλιεργούμενο είδος (σε ha).

Η συνάρτηση του κόστους λίπανσης προσδιορίζεται από τον τύπο:

$$C_i^f = \sum_j P^f \cdot Q_{ij}^f \cdot l_{ij} \quad (34)$$

όπου  $P^f$  η τιμή του αζώτου (σε €/kg) και η συνάρτηση του κόστους άρδευσης ανά καλλιέργεια για το βασικό σενάριο, δηλαδή στην περίπτωση αποτύπωσης της υπάρχουσας κατάστασης, εκτιμάται με βάση τη σχέση:

$$C_i^w = \sum_j P^w \cdot l_{ij} \quad (35)$$

όπου  $P^w$  η χρέωση του νερού (σε €/ha).

Τα δε συνολικά έσοδα περιγράφονται από τη σχέση:

$$TR = \sum_i [(P_i \cdot \sum_j y_{ij} l_{ij}) + (S_i \cdot \sum_j l_{ij})] \quad (36)$$

όπου  $P_i$  η τιμή παραγόμενου προϊόντος (σε €/kg),  $y_{ij}$  η ποσότητα παραγόμενου προϊόντος (σε kg/ha) και  $S_i$  το ποσό της επιδότησης ανά καλλιέργεια (σε €/ha). Η παραγόμενη ποσότητα προϊόντος προσδιορίζεται με βάση τις συναρτήσεις παραγωγής που προκύπτουν από το βιοφυσικό μοντέλο και είναι της μορφής:

$$y_{ij} = \beta_{ij}^0 + \beta_{ij}^1 \cdot Q_{ij}^w + \beta_{ij}^2 \cdot Q_{ij}^f + \beta_{ij}^3 \cdot Q_{ij}^w \cdot Q_{ij}^f + \beta_{ij}^4 \cdot (Q_{ij}^w)^2 + \beta_{ij}^5 \cdot (Q_{ij}^f)^2 \quad (37)$$

όπου  $Q_{ij}^w$  η ποσότητα του νερού (σε m<sup>3</sup>/ha),  $Q_{ij}^f$  η ποσότητα αζώτου (σε kg/ha),  $\beta_{ij}^0$  συντελεστής που δείχνει την παραγόμενη ποσότητα προϊόντος για μηδενικές εισροές,  $\beta_{ij}^1$  και  $\beta_{ij}^4$  συντελεστές που αναπαριστούν την επίδραση της αλλαγής της ποσότητας του νερού στην παραγόμενη ποσότητα προϊόντος,  $\beta_{ij}^2$  και  $\beta_{ij}^5$  συντελεστές που αναπαριστούν την επίδραση της αλλαγής της ποσότητας του αζώτου στην παραγόμενη ποσότητα προϊόντος και  $\beta_{ij}^3$  συντελεστής που μετρά την αντίδραση του προϊόντος στην ταυτόχρονη μεταβολή των ποσοτήτων νερού και αζώτου.

#### 6.2.4.2 Περιορισμοί

Οι περιορισμοί που τίθενται στο οικονομικό μοντέλο σχετίζονται με τη διαθεσιμότητα της γης, τις παραγωγικές ζώνες και τις εφαρμοζόμενες ποσότητες νερού και λιπάσματος.

Όσον αφορά τη διαθεσιμότητα της γης, αυτή γενικά περιγράφεται από τη σχέση:  $\sum_i \sum_j l_{ij} \leq L$  (38), όπου  $L$  η συνολικά διαθέσιμη καλλιεργούμενη έκταση (σε ha) στην περιοχή μελέτης. Αυτή υποδεικνύει πως το σύνολο της γης που διαμοιράζεται ανάμεσα στα διάφορα καλλιεργούμενα είδη και εδάφη δε μπορεί να υπερβαίνει τη συνολικά διαθέσιμη καλλιεργούμενη έκταση της εξεταζόμενης περιοχής.

Εξειδικεύοντας περισσότερο τη σχέση αυτή με βάση την άρδευση, προσδιορίζεται η σχέση:  $\sum_k \sum_j l_{k,j} \leq IL$  (39), που υποδηλώνει πως η συνολική αρδευόμενη έκταση ανά είδος αρδευόμενης καλλιέργειας,  $k$ , και εδάφους δε μπορεί να υπερβαίνει το σύνολο της αρδευθείσας, δηλαδή της δυνάμενης να αρδευτεί. Στη σχέση αυτή ο όρος  $IL$  παριστάνει τη συνολική έκταση που μπορεί να αρδευτεί.

Επιπλέον, η καλλιεργούμενη έκταση περιορίζεται βάσει του εδαφικού τύπου, ενσωματώνοντας στο μοντέλο τις ανισότητες ανάμεσα στις συνολικές καλλιεργούμενες εκτάσεις ανά εδαφικό τύπο και στις αντίστοιχες υπάρχουσες συνολικές εκτάσεις γης ανά τύπο εδάφους. Αυτά περιγράφονται από τη σχέση:  $\sum_i l_{i,j} \leq L_j$  (40), όπου  $L_j$  η συνολικά διαθέσιμη έκταση ανά τύπο εδάφους (σε ha).

Ακόμη, στο οικονομικό μοντέλο τίθενται περιορισμοί, που αναπαριστούν τις παραγωγικές ζώνες της εξεταζόμενης περιοχής. Ουσιαστικά, πρόκειται για την επιλογή της κατάλληλης καλλιέργειας ανάλογα με τις επικρατούσες εδαφοκλιματικές συνθήκες της περιοχής (Pereira 1982). Ο προσδιορισμός των ζωνών αυτών απαιτεί πρώτα τον καθορισμό των υδατικών περιορισμών εντός της περιοχής έρευνας και ακολούθως, το συνδυασμό τους με τον εδαφολογικό και τον ψηφιακό χάρτη της γεωγραφικής περιοχής (DEM). Το αποτέλεσμα του παραπάνω συνδυασμού είναι η αποσαφήνιση του κατάλληλου καλλιεργούμενου είδους ανάλογα με τους υδατικούς, εδαφολογικούς και υψομετρικούς περιορισμούς (Tsiros, Domenikiotis et al. 2009). Μια πολύ γενικευμένη αποτύπωση των παραπάνω περιορισμών δίνεται από τη σχέση:

$\sum_j \sum_z PZ_{jz} = L$  (41), όπου  $PZ_{jz}$  οι παραγωγικές ζώνες ανά εδαφικό τύπο και

παραγωγική ζώνη  $z$ . Η σχέση αυτή υποδηλώνει πως η συνολική καλλιεργούμενη γη ανά παραγωγική ζώνη και εδαφικό τύπο δε μπορεί να υπερβαίνει τη συνολικά διαθέσιμη έκταση.

Ακόμη, στην παρούσα εργασία λαμβάνονται υπόψη περιορισμοί που αφορούν τις κατώτερες και ανώτερες ποσότητες παραγόμενου προϊόντος, εφαρμοζόμενου νερού και αζώτου ανά καλλιεργούμενο είδος. Αυτοί εξυπηρετούν, κυρίως, τη βαθμονόμηση του μοντέλου, παρά οποιοδήποτε άλλο σκοπό και γενικά περιγράφονται από τις παρακάτω σχέσεις:  $A \leq y_{ij} \leq B$  (42),  $\Gamma \leq Q_{ij}^w \leq \Delta$  (43) και  $E \leq Q_{ij}^f \leq Z$  (44), όπου  $A$ ,  $B$ ,  $\Gamma$ ,  $\Delta$ ,  $E$  και  $Z$  οι κατώτερες και ανώτερες ποσότητες προϊόντος, εφαρμοζόμενου νερού και αζώτου, αντίστοιχα.

Τέλος, το μοντέλο περιλαμβάνει ορισμένες μεταβλητές, όπως οι  $l_{ij}$ ,  $y_{ij}$ ,  $Q_{ij}^f$ ,  $Q_{ij}^w$ , που οφείλουν να είναι θετικές και ως εκ τούτου προκύπτουν οι αντίστοιχοι περιορισμοί.

#### 6.2.4.3 .Εναλλαγή καλλιεργειών

Προκειμένου να αποτυπωθεί πιστά το υπάρχον καλλιεργητικό πρότυπο και να αναπαραχθεί μέσω του οικονομικού μοντέλου υιοθετούνται περιορισμοί σχετικοί με την εναλλαγή των καλλιεργειών. Αυτοί αφορούν, ουσιαστικά, τη διαδοχή των διάφορων φυτικών ειδών σε συγκεκριμένη έκταση κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Παρά το ότι οι αποφάσεις σχετικά με την εναλλαγή αυτή μπορούν να παραχθούν μηχανικά βάσει κάποιου μοντέλου (Dury, Schaller et al. 2011; Schonhart, Schmid et al. 2011), στην παρούσα εργασία προσδιορίζονται απλά με τη χρήση των κατάλληλων περιορισμών.

#### 6.2.4.4 Σενάρια εφαρμογής της Οδηγίας 2000/60/EK

Τα εξεταζόμενα σενάρια εφαρμογής της Οδηγίας – πλαίσιο για το νερό διαφέρουν μεταξύ τους αφενός ως προς τη μέθοδο τιμολόγησης του αρδευτικού νερού και αφετέρου ως προς το ύψος των χρεώσεων. Η εκτίμηση των σεναρίων αυτών βασίζεται στην ανάκτηση του πλήρους κόστους του νερού, όπως άλλωστε και



η Οδηγία επιβάλλει. Συγκεκριμένα, βάσει του συνολικού κόστους του νερού στην εξεταζόμενη περιοχή προσδιορίζεται το ύψος της εκάστοτε χρέωσης / τιμής του νερού.

Όσον αφορά στη συνάρτηση κόστους του νερού, αυτή διαφοροποιείται ανάλογα με την εξεταζόμενη μέθοδο τιμολόγησης και η (35) προσαρμόζεται αντιστοίχως. Αναλυτικότερα, στην ογκομετρική μέθοδο τιμολόγησης, το συνολικό κόστος του νερού κατανέμεται ανά κυβικό μέτρο και προκειμένου το οικονομικό μοντέλο να επιλυθεί για το σενάριο αυτό, η συνάρτηση υπολογισμού του αρδευτικού κόστους μετασχηματίζεται από την (35) στη (45):

$$TC = \sum_i [\sum_j P^f \cdot Q_{ij}^f \cdot l_{ij} + \sum_j P^w \cdot \frac{Q_{ij}^w}{E_f} \cdot l_{ij} + VE_i \cdot \sum_j l_{ij}] \quad (45)$$

όπου  $E_f$  η αποδοτικότητα εφαρμογής. Η επιλογή αυτή, βασίζεται στην επισήμανση των Dinar & Mody (2004) σχετικά με την ανάγκη διασύνδεσης μεταξύ στην αποδοτικότητα εφαρμογής και την τιμολόγηση του αρδευτικού νερού.

Το διπλό σύστημα τιμολόγησης, που υιοθετείται στην παρούσα εργασία, αποτελεί μια παραλλαγή αυτού που προτείνουν οι Dinar & Mody (2004). Συγκεκριμένα, αναφέρεται στην επιβολή μιας χρέωσης ανά εκτάριο καλλιεργούμενης έκτασης, η οποία επιχειρεί την ανάκτηση ενός μέρους του συνολικού κόστους του νερού, και μιας κατ' όγκο χρησιμοποιούμενου νερού, που σχετίζεται με την ανάκτηση του χρηματοοικονομικού κόστους του. Στο σενάριο αυτό διακρίνονται δυο περιπτώσεις: α) με τη χρήση του οριακού κόστους και β) με τη χρήση του μέσου κόστους.

Στην περίπτωση της διπλής χρέωσης με τη χρήση του οριακού κόστους, το μεν περιβαλλοντικό και φυσικών πόρων κόστος του νερού τείνουν να ανακτηθούν μέσω μιας κατ' έκταση, το δε χρηματοοικονομικό κόστος μέσω μιας ογκομετρικής χρέωσης. Η ογκομετρική χρέωση προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό του οριακού κόστους με τον καταναλισκόμενο όγκο νερού. Τη μέθοδο αυτή προτείνει και ο Moriguchi (1996), που όπως επισημαίνει μπορεί να θεωρηθεί πιο ευέλικτη έναντι της απλής ογκομετρικής με βάση το οριακό κόστος.

Ο υπολογισμός του οριακού κόστους βασίζεται στη μεθοδολογία που προτείνει η Loehman (2008). Σύμφωνα με αυτή, το κόστος του νερού περιγράφεται από τη λογαριθμική συνάρτηση της μορφής  $\ln Cost = \ln x + z \ln Q^w$  (46), όπου  $Cost$  το κόστος παρακολούθησης και λειτουργίας των Τ.Ο.Ε.Β.,  $x$  και  $z$  σταθερές και  $Q_w$  οι

απαιτήσεις σε αρδευτικό νερό. Η (46) προσδιορίζεται μέσω της παλινδρόμησης των στοιχείων κόστους και κατανάλωσης νερού από όπου τελικά προκύπτει και το οριακό κόστος.

Προκειμένου να επιλυθεί το οικονομικό μοντέλο για το σενάριο αυτό χρειάζεται ο μετασχηματισμός της σχέσης (35) στην:

$$TC = \sum_i [\sum_j P^f \cdot Q_{ij}^f \cdot l_{ij} + \sum_j (P^w \cdot l_{ij} + MC \cdot \frac{Q_{ij}^w}{E_f} \cdot l_{ij}) + VE_i \cdot \sum_j l_{ij}] \quad (47)$$

όπου  $MC$  το οριακό κόστος του νερού.

Η τιμολόγηση του νερού μέσω της διπλής χρέωσης με τη χρήση του μέσου κόστους, επιχειρεί ανάκτηση του περιβαλλοντικού και φυσικών πόρων κόστους του νερού μέσω της κατ' έκταση χρέωσης και μέσω της ογκομετρικής του χρηματοοικονομικού κόστους. Και στην περίπτωση αυτού του σεναρίου, το μοντέλο αναπροσαρμόζεται προκειμένου να ενσωματώσει τη διπλή χρέωση του αρδευτικού νερού. συγκεκριμένα, η σχέση (35) αναπροσαρμόζεται στην:

$$TC = \sum_i [\sum_j P^f \cdot Q_{ij}^f \cdot l_{ij} + \sum_j (P^w \cdot l_{ij} + AC \cdot \frac{Q_{ij}^w}{E_f} \cdot l_{ij}) + VE_i \cdot \sum_j l_{ij}] \quad (48)$$

όπου  $AC$  το μέσο κόστος του νερού.

### 6.3 Επίλογος

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω, ο συνδυασμός των τριών μοντέλων δίνει τη δυνατότητα προσέγγισης οικονομικών, κοινωνικών, περιβαλλοντικών και υδρολογικών χαρακτηριστικών, που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της εφαρμοζόμενης πολιτικής τιμολόγησης. Το οικονομικό μοντέλο που καλείται να υπολογίσει με διάφορες παραμέτρους την αποτελεσματικότητα αυτή, τροποποιείται κατάλληλα και προσαρμόζεται ανάλογα με τα διαφορετικά εξεταζόμενα σενάρια και επικρατούσες συνθήκες.

## Κεφάλαιο 7. Δεδομένα

Την επιλογή της κατάλληλης μεθοδολογίας ακολουθεί η εφαρμογή σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Το παρόν Κεφάλαιο, λοιπόν, καλείται να καταγράψει τα απαιτούμενα εμπειρικά δεδομένα από την περιοχή αυτή που χρησιμοποιούνται στην εφαρμογή των μοντέλων του Κεφαλαίου 6. Απώτερο σκοπό του αποτελεί η εξαγωγή των αποτελεσμάτων του βασικού σεναρίου, που αποτελούν το μέτρο σύγκρισης με τα περαιτέρω αποτελέσματα της έρευνας.

### 7.1 Ερευνητική περιοχή

Με γνώμονα την Οδηγία 2000/60/EK, την κατάλληλη χωρική μονάδα για το σχεδιασμό διαχειριστικών μέτρων για τους υδατικούς πόρους αποτελεί η λεκάνη απορροής ποταμού. Καθώς, όμως, στο επίπεδο αυτό η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της άρδευσης καθίσταται εξαιρετικά περίπλοκη, μιας και απαιτεί την συνεκτίμηση δύσκολων διοικητικών και κοινωνικοοικονομικών παραμέτρων, η ανάλυση γίνεται σε διαφορετικό επίπεδο. Ως εκ τούτου, η παρούσα εργασία χρησιμοποιεί ένα συλλογικό αρδευτικό δίκτυο, που εξυπηρετεί τις απαιτήσεις της μεθοδολογίας και αναπαριστά τη μικρότερη δυνατή διαχειριστική μονάδα για το σχεδιασμό και την εφαρμογή πολιτικής για το νερό. Με την επιλογή αυτή αντί για υδρολογική λεκάνη εξασφαλίζονται μεν η απαιτούμενη διαφάνεια και ισότητα στο σχεδιασμό της πολιτικής βάσει της εκτίμησης του πλήρους κόστους του νερού, θυσιάζεται δε η ακρίβεια των υπολογισμών. Παρά ταύτα, όπως οι Keessen, et al. (2010) επισημαίνουν, η Οδηγία αφήνει περιθώρια ευελιξίας στα κράτη – μέλη, ώστε να διαλέξουν ανάμεσα στους διαφορετικούς τρόπους εφαρμογής της.

Αναλυτικότερα, το αρδευτικό δίκτυο που επιλέχθηκε βρίσκεται βόρεια της Στερεάς Ελλάδας και συγκεκριμένα στη Θεσσαλία, που αποτελεί το όγδοο κατά σειρά υδατικό διαμέρισμα<sup>26</sup> της χώρας. Τη διαχείριση του δικτύου αυτού έχει

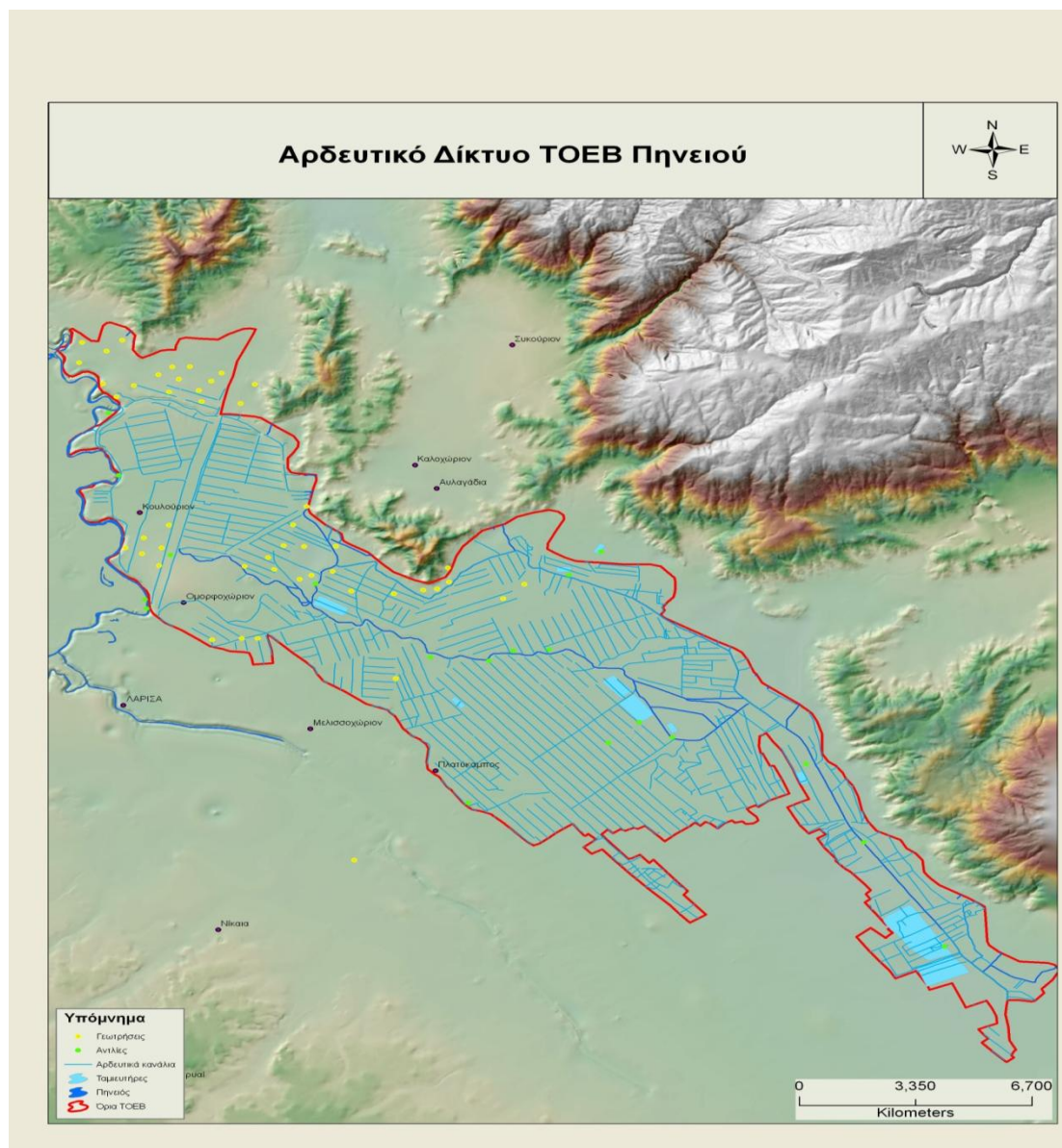
---

<sup>26</sup> Στην Ελλάδα υπάρχουν συνολικά 14 υδατικά διαμερίσματα: 01 Δυτικής Πελοποννήσου, 02 Βόρειας Πελοποννήσου, 03 Ανατολικής Πελοποννήσου, 04 Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, 05 Ηπείρου, 06

αναλάβει ο Τοπικός Οργανισμός Εγγείων Βελτιώσεων (Τ.Ο.Ε.Β.) Πηνειού, που θεωρείται ως ένας από τους πλέον οργανωμένους οργανισμούς που διαθέτει επάρκεια στοιχείων. Η συνολική έκταση του Τ.Ο.Ε.Β. φτάνει τα 19.294,2 ha. Το αρδευτικό δίκτυο (βλ. Εικόνα 3) εκτείνεται σε ολόκληρη την περιοχή όπου και παρέχει αρδευτικό νερό επιφανειακής και υπόγειας προέλευσης.

Το μεν επιφανειακό νερό προέρχεται είτε από τα πέντε αντλιοστάσια του Πηνειού, με μέσο βάθος άντλησης τα 4 – 5m, είτε από τους δέκα ταμιευτήρες. Το δε υπόγειο νερό αντλείται από τις γεωτρήσεις που ανήκουν στη δικαιοδοσία του οργανισμού (σε σύνολο 57 λειτουργούν οι 35 με μέσο βάθος άντλησης τα 50m). Τα χαρακτηριστικά των αντλιών παρατίθενται αναλυτικά στους Πίνακες 37 και 38 του Παραρτήματος. Σύμφωνα με τα στοιχεία αυτά προκύπτει πως το 97% του αρδευτικού νερού προέρχεται από τον Πηνειό και μόλις το 3% από τις γεωτρήσεις.

Εικόνα 3 Όρια και αρδευτικό δίκτυο Τ.Ο.Ε.Β. Πηνειού



Πηγή: Επεξεργασία εδαφολογικών χαρτών και δεδομένων Τ.Ο.Ε.Β.

Η μηχανική σύσταση της εδαφικής κατατομής εντός των ορίων του Τ.Ο.Ε.Β. διακρίνεται σε τρία τμήματα ανάλογα με το βάθος του εδάφους: α) στο επιφανειακό για βάθος 0 – 25cm, β) στο υπέδαφος για βάθος 25 – 75cm, και γ) στο υπόστρωμα για βάθος 75 – 150cm. Το έδαφος της περιοχής αυτής έχει ταξινομηθεί ως προς τη σύστασή του και το βάθος του μόνο κατά το 82,71% της συνολικής του έκτασης, όπως φαίνεται στον Πίνακα 5. Η Εικόνα 4 του Παραρτήματος παρουσιάζει την κατανομή του επιφανειακού εδάφους ανά εδαφικό τύπο της εξεταζόμενης περιοχής.

Πίνακας 5 Ποσοστιαία κατανομή εδάφους Τ.Ο.Ε.Β. Πηγείου ανάλογα με τη μηχανική του σύσταση

Δομή εδάφους	Ποσοστιαία κατανομή (%)
C <sup>27</sup> – C – CL	32,54
CL <sup>28</sup> – C – CL	11,34
CL – CL – CL	22,53
SiL <sup>29</sup> – CL – CL	13,11
SiL – SiL – CL	2,37
SiL – SiL - SiL	13,94
CL – SiL - SiL	4,17

Πηγή: Επεξεργασία δεδομένων εδαφολογικών χαρτών

Σύμφωνα με τα στοιχεία του εξεταζόμενου έτους (2010), τα βασικά καλλιεργούμενα είδη στα όρια του Τ.Ο.Ε.Β. είναι η μηδική, το χειμερινό σιτάρι, ο αραβόσιτος και το βαμβάκι. Αυτά καλύπτουν το 92,1% του συνολικού εδάφους του, δηλ. 17.775,6 ha ενώ οι υπόλοιπες εκτάσεις (το 7,9%, δηλ. 1.518,6 ha) καλύπτονται με ζαχαρότευτλα, τομάτα και καρπούζια. Αναλυτικά οι εκτάσεις που καταλαμβάνουν ανά εδαφικό τύπο παρουσιάζονται στον Πίνακα 6. Όπως φαίνεται, τα 17.074,5 ha, δηλ. το 88,5% του συνολικού εδάφους καλύπτεται με αρδευόμενες καλλιέργειες, ενώ οι ξηρικές φτάνουν μόλις τα 2.219,7 ha, δηλ. το 11,5%. Η κατανομή των καλλιεργειών αυτών ανά εδαφικό τύπο στην περιοχή μελέτης αποτυπώνεται στην Εικόνα 5 του Παραρτήματος.

<sup>27</sup> Clay: Αργιλώδες έδαφος

<sup>28</sup> ClayLoam: Αργιλοπηλώδες έδαφος

<sup>29</sup> SiltyLoam: Ιλυοπηλώδες έδαφος

Πίνακας 6 Έκταση κύριων καλλιεργειών εντός των ορίων του Τ.Ο.Ε.Β. Πηνειού

Καλλιεργούμενο είδος	Τύπος εδάφους	Έκταση (ha)	Ποσοστιαία κατανομή καλλιεργειών ανά εδαφικό τυπο	Ποσοστιαία κατανομή κύριων καλλιεργειών στη συνολική έκταση του Τ.Ο.Ε.Β.
Μηδική	C	459,1	32,3%	
Μηδική	CL	625,0	44,0%	
Μηδική	SiL	336,3	23,7%	
<i>Σύνολο</i>		<i>1.420,4</i>		8,0%
Σκληρό σιτάρι	C	430,3	29,6%	
Σκληρό σιτάρι	CL	641,0	44,1%	
Σκληρό σιτάρι	SiL	380,7	26,2%	
<i>Σύνολο</i>		<i>1.452,0</i>		8,2%
Αραβόσιτος	C	107,5	31,2%	
Αραβόσιτος	CL	148,3	43,1%	
Αραβόσιτος	SiL	88,5	25,7%	
<i>Σύνολο</i>		<i>344,3</i>		1,9%
Βαμβάκι	C	4.906,7	33,7%	
Βαμβάκι	CL	6.059,0	41,6%	
Βαμβάκι	SiL	3.593,2	24,7%	
<i>Σύνολο</i>		<i>14.558,9</i>		81,9%
<i>Συνολική έκταση κύριων καλλιεργειών</i>		<i>17.775,6</i>		
Ζαχαρότευτλα		366,3		
Τομάτα		357,4		
Καρπούζια		27,2		
<i>Συνολική έκταση Τ.Ο.Ε.Β.</i>		<i>19.294,2</i>		

Πηγή: Υπολογισμοί βάσει των δεδομένων του Τ.Ο.Ε.Β.

Οι μετεωρολογικές συνθήκες που ισχύουν στην ερευνητική περιοχή και λαμβάνονται υπόψη στο υδατικό ισοζύγιο προέρχονται από το μετεωρολογικό σταθμό της Λάρισας (Γεωγραφικό πλάτος: 39,38 και Γεωγραφικό μήκος: 22,25). Στον Πίνακα 39 του Παραρτήματος παρουσιάζονται αναλυτικά οι μέσες μηνιαίες τιμές διάφορων μετεωρολογικών παραμέτρων που χρησιμοποιούνται, όπως η βροχόπτωση, η μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, ο άνεμος, η ηλιοφάνεια και η ηλιακή ακτινοβολία.

## 7.2 Βιοφυσικό μοντέλο

### 7.2.1 Δεδομένα

Το βιοφυσικό μοντέλο κλήθηκε να προσομοιώσει την ανάπτυξη των πέντε κυριότερων καλλιεργειών (βάμβακος, αραβοσίτου, μηδικής, σίτου και κριθής) για τους τρεις εδαφικούς τύπους (C, CL και SiL) εντός των ορίων του Τ.Ο.Ε.Β. Πηνειού. Για τα μεν αρδευόμενα είδη (3) και όλα τα εδάφη (3), πραγματοποιήθηκαν 40 προσομοιώσεις, διαφοροποιώντας κάθε φορά την εφαρμοζόμενη ποσότητα αρδευτικού νερού και αζώτου, δηλαδή συνολικά εκτελέστηκαν 360 προσομοιώσεις. Για τα δε ξηρικά είδη (2) και όλα τα εδάφη (3), εφαρμόστηκαν 30 διαφορετικές ποσότητες λιπάσματος, με αποτέλεσμα τις 180 προσομοιώσεις. Αθροίζοντας τα παραπάνω, φαίνεται πως τα αποτελέσματα του μοντέλου αυτού παράγονται από 540 παρατηρήσεις.

Προκειμένου να εφαρμοστεί η περιγραφόμενη στο Κεφάλαιο 6 μέθοδος εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της αρδευόμενης γεωργίας, το πρώτο βήμα αποτέλεσε η επικάλυψη του ψηφιακού χάρτη της περιοχής μελέτης (DEM), με τον εδαφολογικό και το χάρτη φυτικής κάλυψης<sup>30</sup> (βλ. Εικόνα 6 Παραρτήματος). Αυτό επιτρέπει τη χωρική κατανομή των συνδυασμών καλλιεργειών και εδαφών του Τ.Ο.Ε.Β. Πηνειού, που αποτελεί δεδομένο για το βιοφυσικό μοντέλο DNDC.

Επιπλέον στοιχεία που απαιτούνται για την εφαρμογή του μοντέλου αυτού, αφορούν εδαφολογικές, κλιματικές και αγρονομικές παραμέτρους. Σχετικά με το έδαφος λαμβάνονται υπόψη ο εδαφικός τύπος και η ποσοστιαία κατανομή, η φαινόμενη πυκνότητα, η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία και το pH. Αναλυτικότερα, για τις προσομοιώσεις επιλέχτηκαν συνολικά 3 τύποι εδαφών, που αντανακλούν τις υπάρχουσες συνθήκες. Οι τιμές της φαινόμενης πυκνότητας (bulk density) καθορίστηκαν ενδεικτικά<sup>31</sup>, στο 1,21 για το αργιλώδες, στο 1,31 για το αργιλοπηλώδες και στο 1,27 για το ιλοπηλώδες έδαφος. Η επιλογή του pH και της περιεκτικότητας σε οργανική ουσία βασίστηκαν σε τυπικές για την ερευνητική περιοχή τιμές, που αντιστοίχως είναι 8,2 και 1,5%. Όλες οι υπόλοιπες παράμετροι του

<sup>30</sup> Όλοι οι απαιτούμενοι χάρτες λήφθηκαν από το ερευνητικό πρόγραμμα “Hydrosense”, <http://www.hydrosense.org>

<sup>31</sup> Με τη χρήση του αντίστοιχου εργαλείου της:

[http://www.pedosphere.com/resources/bulkdensity/triangle\\_us.cfm](http://www.pedosphere.com/resources/bulkdensity/triangle_us.cfm)



εδάφους (π.χ. πορώδες, περιεκτικότητα σε άργιλο, κλίση κ.ά.) παρέμειναν αμετάβλητες λόγω έλλειψης περαιτέρω στοιχείων.

Τα μετεωρολογικά στοιχεία που απαιτούνται από το DNDC αφορούν στα: ύψος βροχόπτωσης, μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία σε ημερήσιο επίπεδο. Τα δεδομένα αυτά αντλήθηκαν από την ECA&D<sup>32</sup> (European Climate Assessment & Dataset), που προσφέρει ημερήσιες μετρήσεις για την περίοδο 1976 - 2009, από μετεωρολογικούς σταθμούς εγκατεστημένους σε διάφορες περιοχές της Ευρώπης και της Ελλάδας. Ειδικότερα, επιλέχθηκε ο σταθμός της Λάρισας και το έτος 2005, που ήταν και η τελευταία χρονιά της βάσης με πλήρως πιστοποιημένα μετεωρολογικά δεδομένα έως τη στιγμή πραγματοποίησης των προσομοιώσεων. Αναλυτική παρουσίαση των στοιχείων αυτών γίνεται στον Πίνακα 40 του Παραρτήματος.

Οι αγρονομικές μεταβλητές που χρειάζεται να οριστούν στο βιοφυσικό μοντέλο περιλαμβάνουν τις επιλογές άρδευσης, μηχανικής κατεργασίας και αζωτούχου λίπανσης. Όσον αφορά την άρδευση, χρησιμοποιήθηκε η αυτοματοποιημένη επιλογή που προσφέρει το DNDC και στηρίχθηκε στην έννοια του υδατικού στρες της καλλιέργειας. Ο συντελεστής αυτός παίρνει τιμές μεταξύ 0 και 1, με το μεν πρώτο να αναφέρεται σε μηδενική άρδευση, το δε δεύτερο σε άριστη. Το μοντέλο εφαρμόζει αυτόματα την απαιτούμενη ποσότητα νερού ώστε να διατηρεί το συντελεστή υδατικού στρες σε μια τιμή προκαθορισμένη από το χρήστη. Με τον τρόπο αυτό οι προσομοιώσεις καθίστανται ρεαλιστικότερες, καθώς είναι δυνατό να εκτιμηθεί η συμπεριφορά της καλλιέργειας σε διαφορετικές συνθήκες εδαφικής υγρασίας, χωρίς να απαιτείται από τον αναλυτή να ορίζει κάθε φορά ξεχωριστό πρόγραμμα άρδευσης.

Αναλυτικότερα, για την καλλιέργεια βαμβακιού η τιμή υδατικού στρες που επιλέχθηκε διακυμάνθηκε μεταξύ 0 και 0,7. Η μηδενική τιμή του συντελεστή αυτού αντιστοιχεί σε ξηρική καλλιέργεια βαμβακιού. Αντιθέτως, η μέγιστη τιμή που εφαρμόστηκε δεν επέτρεπε στο μοντέλο να ακολουθήσει πλήρη άρδευση στην καλλιέργεια αυτή, γεγονός που δικαιολογείται καθώς στην πράξη επιζητείται ένα ποσοστό υδατικού στρες προκειμένου να αναπτυχθεί ένας ελάχιστος αριθμός καρυδιών ικανών να δώσουν παραγωγή. Πιο συγκεκριμένα, η Ελλάδα θεωρείται το βορειότερο όριο της ζώνης παραγωγής του βαμβακιού, με αποτέλεσμα η καλλιέργεια να μην μπορεί να υποστηρίξει μεγάλο αριθμό καρυδιών ανά φυτό, γιατί δεν προλαβαίνουν να ολοκληρώσουν το βιολογικό τους κύκλο και συνεπώς δεν ανοίγουν.

---

<sup>32</sup> <http://eca.knmi.nl/dailydata/index.php>

Έτσι, προτιμάται η ανάπτυξη μικρού αριθμού καρυδιών (3 - 4), η οποία επιτυγχάνεται μέσω ελαφρού υδατικού στρες στα αρχικά στάδια της βλαστικής περιόδου (Δαναλάτος 2011).

Επίσης, για την καλλιέργεια μηδικής ο συντελεστής υδατικού στρες έλαβε τιμές από 0,1 έως 0,9 και για την καλλιέργεια αραβοσίτου από 0,3 έως 1. Οι καλλιέργειες κριθής και σίτου, καθώς είναι ξηρικές εκτιμήθηκαν για μηδενική τιμή υδατικού στρες.

Όσον αφορά τις επιλογές μηχανικής κατεργασίας του εδάφους και λίπανσης, που προσφέρει το DNDC, επιλέχθηκαν μέση άροση βάθους 20εκ. και εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης<sup>33</sup> για όλες τις καλλιέργειες. Ειδικότερα, για τις ξηρικές καλλιέργειες (σιτάρι, κριθάρι) αποφασίστηκε μια μόνο λίπανση που πραγματοποιείται ταυτόχρονα με τη σπορά. Η επιλογή αυτή βασίζεται σε αποτελέσματα πειραμάτων στο αγρόκτημα του Α.Π.Θ. τα οποία έδειξαν πως η τμηματική λίπανση δεν επιφέρει αύξηση των αποδόσεων, με αποτέλεσμα να προτείνεται η εφαρμογή όλης της ποσότητας λιπάσματος κατά τη σπορά (Παπακώστα - Τασοπούλου 2008). Οι συνιστώμενες ποσότητες αζώτου που επιλέχθηκαν ανά καλλιεργούμενο είδος είναι οι εξής: βαμβάκι 120 – 160 kgr/ha, αραβόσιτος 200 – 260 kgr/ha, μηδική 50 – 150 kgr/ha, σιτάρι και κριθάρι 80 – 120 kgr/ha.

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί πως το DNDC δε διακρίνει την καλλιέργεια σίτου σε σκληρή και μαλακή, αλλά ανάλογα με την εποχή σποράς σε χειμερινή και ανοιξιάτικη. Καθώς λοιπόν, στην Ελλάδα το σιτάρι σπείρεται αποκλειστικά φθινόπωρο – χειμώνα (Καραμάνος 1994), η προσομοίωση της καλλιέργειας αυτής προσαρμόστηκε αναλόγως (επιλογή χειμερινής σποράς).

Τέλος, ως προς τις παραμέτρους των καλλιεργειών, αυτές παρέμειναν ως έχουν στη βάση δεδομένων του DNDC, λόγω έλλειψης στοιχείων. Οι μόνες μεταβολές αφορούν τη μέγιστη δυνατή απόδοση του κάθε είδους (δυναμικό παραγωγής), που τροποποιήθηκε κατάλληλα ώστε να αντιπροσωπεύει καλύτερα τις ελληνικές συνθήκες. Οι ακριβείς τιμές στηρίχθηκαν σε εμπειρικά δεδομένα αποδόσεων που είναι διαθέσιμα σε διάφορες βάσεις δεδομένων (π.χ. ΔΙΓΕΛΠ, FADN, RICA)<sup>34</sup>. Ωστόσο, οι καταγεγραμμένες αποδόσεις σε βάσεις τεχνικοοικονομικών δεδομένων εκμεταλλεύσεων (π.χ. ΔΙΓΕΛΠ) για ορισμένες καλλιέργειες διαφέρουν από αυτό που

<sup>33</sup> Με τη μορφή νιτρικής αμμωνίας για όλες τις καλλιέργειες πλην της μηδικής που επιλέχθηκε φωσφορικής μορφής λίπασμα.

<sup>34</sup> Δίκτυο Γεωργικής Λογιστικής Παρακολούθησης, Farm Accountancy Data Network.

το DNDC ορίζει. Για το λόγο αυτό, η μέγιστη απόδοση της μηδικής υπολογίστηκε βάσει μιας πιο πολύπλοκης διαδικασίας, όπως αυτή περιγράφεται στο Παράρτημα.

### 7.2.2 Αποτελέσματα

Με βάση τα ως άνω δεδομένα, παράγονται αποτελέσματα (βλ. Πίνακες 41 έως 55 του Παραρτήματος) σχετικά με την παραγόμενη ποσότητα προϊόντος, τις χρησιμοποιούμενες ποσότητες αρδευτικού νερού και λιπάσματος, την ποσότητα νιτρικών που διηθούνται βαθιά, τη δεσμευόμενη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα και την εκλυόμενη ποσότητα αμμωνίας ανά καλλιεργούμενο είδος και εδαφικό τύπο. Συνδυάζοντας ορισμένες μεταβλητές εξ αυτών, μέσω της διαδικασίας της μεταμοντελοποίησης, παράγονται οι συναρτήσεις παραγωγής προϊόντος, νιτρικών, δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα και έκλυσης αμμωνίας.

### 7.2.3 Συναρτήσεις παραγωγής

Ο συνδυασμός των χρησιμοποιούμενων ποσοτήτων αρδευτικού νερού, λιπάσματος και παραγόμενου προϊόντος, οδηγεί στις συναρτήσεις παραγωγής ανά καλλιεργούμενο είδος και εδαφικό τύπο. Δυο μορφές τέτοιων συναρτήσεων εξετάστηκαν: η δευτεροβάθμια και η τρανσλογαριθμική, όπως αυτές περιγράφονται από τις σχέσεις:

$$y_{ij} = \beta_{ij}^0 + \beta_{ij}^1 \cdot Q_{ij}^w + \beta_{ij}^2 \cdot Q_{ij}^f + \beta_{ij}^3 \cdot Q_{ij}^w \cdot Q_{ij}^f + \beta_{ij}^4 \cdot (Q_{ij}^w)^2 + \beta_{ij}^5 \cdot (Q_{ij}^f)^2 \quad (49)$$

και

$$y_{ij} = \beta_{ij}^0 + \beta_{ij}^1 \cdot \ln(Q_{ij}^w) + \beta_{ij}^2 \cdot \ln(Q_{ij}^f) + \beta_{ij}^3 \cdot \ln(Q_{ij}^w \cdot Q_{ij}^f) + \beta_{ij}^4 \cdot \ln(Q_{ij}^w)^2 + \beta_{ij}^5 \cdot \ln(Q_{ij}^f)^2 \quad (50)$$

αντίστοιχα, όπου:  $y_{ij}$  η ποσότητα παραγόμενου προϊόντος,  $\beta_{ij}^0$  συντελεστής που δείχνει την παραγόμενη ποσότητα προϊόντος για μηδενικές εισροές,  $\beta_{ij}^1$  και  $\beta_{ij}^4$  η επίδραση της εφαρμοζόμενης ποσότητας αρδευτικού νερού στην ποσότητα του προϊόντος,  $\beta_{ij}^2$  και  $\beta_{ij}^5$  η επίδραση της εφαρμοζόμενης ποσότητας αζώτου στην ποσότητα του προϊόντος,  $\beta_{ij}^3$  η ταυτόχρονη επίδραση της εφαρμοζόμενης ποσότητας νερού και αζώτου στην ποσότητα προϊόντος,  $Q_{ij}^w$  η εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού και  $Q_{ij}^f$  η εφαρμοζόμενη ποσότητα αζώτου.

Όπως στο Κεφάλαιο 6 αναφέρθηκε, μεταξύ των δυο παραπάνω μορφών της συνάρτησης παραγωγής είναι αναγκαίο να διενεργηθεί το P – τεστ, ώστε να επιλεγθεί αυτή που αποτυπώνει καλύτερα την πραγματικότητα. Έπειτα από την αντιπαράθεση των αποτελεσμάτων αυτών (βλ. Πίνακα 56 Παραρτήματος) επιλέχθηκε η δευτεροβάθμια μορφή της συνάρτησης παραγωγής για όλα τα καλλιεργούμενα είδη και εδαφικούς τύπους. Η επιλογή αυτή ισχυροποιείται και από το ότι τόσο οι συντελεστές προσδιορισμού  $R^2$ , όσο και οι διορθωμένοι συντελεστές προσδιορισμού  $\bar{R}^2$ , της δευτεροβάθμιας συνάρτησης παραγωγής όλων των καλλιεργούμενων ειδών για όλα τα εδάφη είναι υψηλότεροι έναντι της τρανσλογαριθμικής μορφής.

Αναλυτικότερα, οι συντελεστές των δευτεροβάθμιων συναρτήσεων παραγωγής, που εισάγονται στο οικονομικό μοντέλο, διαμορφώνονται όπως φαίνεται στον Πίνακα 7.

Πίνακας 7 Συντελεστές συναρτήσεων παραγωγής ανά καλλιεργούμενο είδος και εδαφικό τύπο.

Καλλιεργούμενο είδος	Τύπος εδάφους	$\beta_{ij}^0$	$\beta_{ij}^1$	$\beta_{ij}^2$	$\beta_{ij}^3$	$\beta_{ij}^4$	$\beta_{ij}^5$
Μηδική	C	6936,1000 (12,68)**	0,8290 (2,22)*	31,3000 (3,95)**	0,0020 (0,65)	-0,0001000 (6,27)**	-0,0220 (1,39)
Μηδική	CL	7144,8000 (13,84)**	0,8290 (2,22)*	31,3000 (3,95)**	0,0020 (0,65)	-0,0001000 (6,27)**	-0,0220 (1,39)
Μηδική	SiL	7391,5000 (13,36)**	0,8290 (2,22)*	31,3000 (3,95)**	0,0020 (0,65)	-0,0001000 (6,27)**	-0,0220 (1,39)
Βαμβάκι	C	1214,8099 (15,28)**	0,1148 (3,28)**	19,3877 (10,56)**	0,0019 (9,78)**	-0,0000172 (3,91)**	-0,0767 (5,84)**
Βαμβάκι	CL	1988,8332 (20,95)**	-0,0328 (0,79)	17,0072 (7,75)**	0,0020 (8,75)**	0,0000077 (1,49)	-0,1118 (7,11)**
Βαμβάκι	SiL	2007,6947 (18,35)**	-0,0032 (0,07)	15,5660 (6,16)**	0,0021 (8,02)**	0,0000063 (1,07)	-0,1078 (5,95)**
Αραβόσιτος	C	3825,9910 (4,61)**	0,7550 (1,99)	56,1851 (16,55)**	0,0060 (12,18)**	-0,0001000 (2,77)**	-0,1530 (19,32)**
Αραβόσιτος	CL	5348,5764 (6,51)**	0,9249 (2,50)*	46,7851 (13,87)**	0,0057 (11,84)**	-0,0001000 (2,54)*	-0,1522 (19,31)**
Αραβόσιτος	SiL	5203,7372 (5,29)**	1,1230 (2,59)*	43,9828 (10,86)**	0,0057 (10,11)**	-0,0001000 (2,34)*	-0,1549 (16,38)**
Κριθάρι	C	835,5505 (64,47)**	-	10,4429 (21,71)**	-	-	0,0157 (4,16)**
Κριθάρι	CL	1467,7718 (113,52)**	-	8,16780 (17,02)**	-	-	0,0410 (10,92)**
Κριθάρι	SiL	1588,0882 (30,54)**	-	8,94990 (4,64)**	-	-	0,0362 (2,39)*
Σιτάρι	C	1924,1034 (227,01)**	-	16,5064 (75,03)**	-	-	-0,0244 (19,88)**
Σιτάρι	CL	1480,1891 (118,29)**	-	21,3132 (65,62)**	-	-	-0,0353 (19,48)**

Σιτάρι	SiL	1965,8353 (81,49)**	-	15,9892 (25,51)**	-	-	0,0135 (3,86)**
--------	-----	------------------------	---	----------------------	---	---	--------------------

Πηγή: Αποτελέσματα μεταμοντέλου.

\*  $p < 0,05$  και \*\*  $p < 0,01$ .

#### 7.2.4 Συναρτήσεις νιτρικών (NO<sub>3</sub>)

Τα αποτελέσματα που συσχετίζονται για να εξαχθούν οι συναρτήσεις νιτρικών είναι οι εφαρμοζόμενες ποσότητες λιπάσματος αζώτου και νερού με την διηθούμενη ποσότητα νιτρικών. Η επιλογή της καταλληλότερης μορφής των συναρτήσεων αυτών διερευνάται ανάμεσα στις: γραμμική, δευτεροβάθμια, τετραγωνικής ρίζας και τριών ειδών ημιλογαριθμική, όπως αυτές αποτυπώνονται στις σχέσεις:

$$\text{γραμμική: } N_{ij} = \gamma_{ij}^1 + \gamma_{ij}^2 \cdot Q_{ij}^w + \gamma_{ij}^3 \cdot Q_{ij}^f \quad (51)$$

δευτεροβάθμια:

$$N_{ij} = \gamma_{ij}^1 + \gamma_{ij}^2 \cdot Q_{ij}^w + \gamma_{ij}^3 \cdot Q_{ij}^f + \gamma_{ij}^4 \cdot Q_{ij}^w \cdot Q_{ij}^f + \gamma_{ij}^5 \cdot (Q_{ij}^w)^2 + \gamma_{ij}^6 \cdot (Q_{ij}^f)^2 \quad (52)$$

τετραγωνική ρίζα:

$$N_{ij} = \gamma_{ij}^1 + \gamma_{ij}^2 \cdot Q_{ij}^w + \gamma_{ij}^3 \cdot Q_{ij}^f + \gamma_{ij}^4 \cdot (Q_{ij}^w \cdot Q_{ij}^f)^{1/2} + \gamma_{ij}^5 \cdot (Q_{ij}^w)^{1/2} + \gamma_{ij}^6 \cdot (Q_{ij}^f)^{1/2} \quad (53)$$

$$\text{ημιλογαριθμική Α: } \ln(N_{ij}) = \gamma_{ij}^1 + \gamma_{ij}^2 \cdot Q_{ij}^w + \gamma_{ij}^3 \cdot Q_{ij}^f \quad (54)$$

ημιλογαριθμική Β:

$$\ln(N_{ij}) = \gamma_{ij}^1 + \gamma_{ij}^2 \cdot Q_{ij}^w + \gamma_{ij}^3 \cdot Q_{ij}^f + \gamma_{ij}^4 \cdot Q_{ij}^w \cdot Q_{ij}^f + \gamma_{ij}^5 \cdot (Q_{ij}^w)^2 + \gamma_{ij}^6 \cdot (Q_{ij}^f)^2 \quad (55)$$

ημιλογαριθμική Γ:

$$\ln(N_{ij}) = \gamma_{ij}^1 + \gamma_{ij}^2 \cdot Q_{ij}^w + \gamma_{ij}^3 \cdot Q_{ij}^f + \gamma_{ij}^4 \cdot (Q_{ij}^w \cdot Q_{ij}^f)^{1/2} + \gamma_{ij}^5 \cdot (Q_{ij}^w)^{1/2} + \gamma_{ij}^6 \cdot (Q_{ij}^f)^{1/2} \quad (56)$$

όπου  $N_{ij}$  η ποσότητα του παραγόμενου νιτρικού φορτίου ανά καλλιεργούμενο είδος και τύπο εδάφους,  $\gamma_{ij}^1$  συντελεστής που δείχνει την παραγόμενη ποσότητα νιτρικού φορτίου για μηδενικές εισροές,  $\gamma_{ij}^2$  και  $\gamma_{ij}^5$  η επίδραση της εφαρμοζόμενης ποσότητας αρδευτικού νερού στην ποσότητα νιτρικού φορτίου,  $\gamma_{ij}^3$  και  $\gamma_{ij}^6$  η επίδραση της εφαρμοζόμενης ποσότητας αζώτου στην ποσότητα νιτρικού φορτίου,  $\gamma_{ij}^4$  η ταυτόχρονη επίδραση της εφαρμοζόμενης ποσότητας νερού και αζώτου στην ποσότητα νιτρικού φορτίου,  $Q_{ij}^w$  η εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού και  $Q_{ij}^f$  η εφαρμοζόμενη ποσότητα αζώτου.

Η σύγκριση μεταξύ των συναρτήσεων βάσει των τιμών των P – τεστ και F – τεστ (βλ. Πίνακα 57 Παραρτήματος), οδηγούν στην επιλογή της δευτεροβάθμιας

μορφής συνάρτησης για όλα τα καλλιεργούμενα είδη και τύπους εδαφών. Επίσης, συγκρίνοντας τους συντελεστές προσδιορισμού  $R^2$  και τους διορθωμένους συντελεστές προσδιορισμού  $\bar{R}^2$  των παραπάνω μορφών συναρτήσεων νιτρικών, η επιλογή της δευτεροβάθμιας συνάρτησης παραγωγής ισχυροποιείται. Αυτό οφείλεται στο ότι οι συντελεστές παρουσιάζουν μεγαλύτερη τιμή για τη δευτεροβάθμια συνάρτηση, γεγονός που καταδεικνύει τη μεγαλύτερη ερμηνευτική ικανότητά της έναντι των υπολοίπων.

Επομένως, οι συντελεστές των δευτεροβάθμιων συναρτήσεων νιτρικών, που χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό του περιβαλλοντικού κόστους του νερού και του παραγόμενου νιτρικού φορτίου ανά εξεταζόμενο σενάριο τιμολόγησης, για κάθε καλλιεργούμενο είδος και τύπο εδάφους παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.

Πίνακας 8 Συντελεστές συναρτήσεων νιτρικών ανά καλλιεργούμενο είδος και εδαφικό τύπο.

Καλλιεργούμενο είδος	Τύπος εδάφους	$\gamma_{ij}^1$	$\gamma_{ij}^2$	$\gamma_{ij}^3$	$\gamma_{ij}^4$	$\gamma_{ij}^5$	$\gamma_{ij}^6$
Μηδική	C	9,675 (16,42)**	0,000371 (1,62)	0,002365 (0,28)	-0,000001389 (1,65)	-0,000000025200 (1,01)	0,000272 (6,18)**
Μηδική	CL	9,498 (19,11)**	0,000130 (0,68)	0,013620 (1,91)	-0,000001455 (2,06)*	0,00000009572 (0,45)	0,000249 (6,64)**
Μηδική	SiL	16,624 (16,42)**	0,000435 (1,62)	0,064693 (0,28)	-0,000002929 (1,65)	-0,00000009525 (1,01)	0,000523 (6,18)**
Βαμβάκι	C	2,961947 (30,35)**	-0,000074 (1,72)	0,0003372 (0,15)	-0,000000821 (3,44)**	0,0000000942 (8,70)**	0,0000912 (2,83)**
Βαμβάκι	CL	5,020511 (35,28)**	-0,0000862 (1,39)	0,0014402 (0,44)	-0,0000106 (3,06)**	0,0000000946 (6,11)**	0,0001632 (3,46)**
Βαμβάκι	SiL	6,557333 (34,33)**	-0,0001007 (1,22)	0,0032045 (0,73)	-0,00000141 (3,07)**	0,000000109 (5,31)**	0,0002049 (3,24)**
Αραβόσιτος	C	5,747702 (11,41)**	-0,0011268 (4,90)**	-0,000706 (0,34)	-0,00000178 (5,97)**	0,000000347 (6,48)**	0,0000807 (8,39)**
Αραβόσιτος	CL	7,232008 (19,16)**	-0,0008618 (5,07)**	-0,0000305 (0,02)	-0,00000211 (9,54)**	0,000000256 (6,54)**	0,0001099 (15,17)**
Αραβόσιτος	SiL	9,987186 (18,62)**	-0,0013915 (5,89)**	0,0016254 (0,74)	-0,00000279 (9,03)**	0,000000389 (7,31)**	0,0001542 (14,95)**
Κριθάρι	C	2,700954 (91,59)**	-	-0,0057713 (5,27)**	-	-	0,000116 (6,77)**
Κριθάρι	CL	3,689893 (76,50)**	-	-0,0177631 (9,92)**	-	-	0,0004495 (16,03)**
Κριθάρι	SiL	4,891 (17,03)**	-	-0,041 (3,80)**	-	-	0,001 (5,65)**
Σιτάρι	C	2,700954 (91,59)**	-	-0,0057713 (5,27)**	-	-	0,000116 (6,77)**
Σιτάρι	CL	3,689893 (76,50)**	-	-0,0177631 (9,92)**	-	-	0,0004495 (16,03)**
Σιτάρι	SiL	4,891 (17,03)**	-	-0,041 (3,80)**	-	-	0,001 (5,65)**

Πηγή: Αποτελέσματα μεταμοντέλου

\*  $p < 0,05$  και \*\*  $p < 0,01$ .

### 7.2.5 Συναρτήσεις δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>)

Ο συνδυασμός των εφαρμοζόμενων ποσοτήτων λιπάσματος και νερού, καθώς και της δεσμευόμενης ποσότητας διοξειδίου του άνθρακα από την ατμόσφαιρα, οδηγεί στον προσδιορισμό των συναρτήσεων δέσμευσης CO<sub>2</sub>. Αναλυτικότερα, οι μορφές που εξετάζονται είναι η δευτεροβάθμια και η ημιλογαριθμική, όπως οι σχέσεις (57) και (58) περιγράφουν:

$$\text{δευτεροβάθμια: } C_{ij} = \delta_{ij}^1 + \delta_{ij}^2 \cdot Q_{ij}^w + \delta_{ij}^3 \cdot Q_{ij}^f + \delta_{ij}^4 \cdot Q_{ij}^w \cdot Q_{ij}^f + \delta_{ij}^5 \cdot (Q_{ij}^w)^2 + \delta_{ij}^6 \cdot (Q_{ij}^f)^2 \quad (57)$$

ημιλογαριθμική:

$$\ln(C_{ij}) = \delta_{ij}^1 + \delta_{ij}^2 \cdot Q_{ij}^w + \delta_{ij}^3 \cdot Q_{ij}^f + \delta_{ij}^4 \cdot Q_{ij}^w \cdot Q_{ij}^f + \delta_{ij}^5 \cdot (Q_{ij}^w)^2 + \delta_{ij}^6 \cdot (Q_{ij}^f)^2 \quad (58)$$

όπου  $C_{ij}$  η ποσότητα του δεσμευόμενου CO<sub>2</sub> ανά καλλιεργούμενο είδος και τύπο εδάφους,  $\delta_{ij}^1$  συντελεστής που δείχνει την δεσμευόμενη ποσότητα CO<sub>2</sub> για μηδενικές εισροές,  $\delta_{ij}^2$  και  $\delta_{ij}^5$  η επίδραση της εφαρμοζόμενης ποσότητας αρδευτικού νερού στην ποσότητα CO<sub>2</sub>,  $\delta_{ij}^3$  και  $\delta_{ij}^6$  η επίδραση της εφαρμοζόμενης ποσότητας αζώτου στην ποσότητα CO<sub>2</sub>,  $\delta_{ij}^4$  η ταυτόχρονη επίδραση της εφαρμοζόμενης ποσότητας νερού και αζώτου στην ποσότητα CO<sub>2</sub>,  $Q_{ij}^w$  η εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού και  $Q_{ij}^f$  η εφαρμοζόμενη ποσότητα αζώτου.

Διενεργώντας για τις μορφές αυτές το P – τεστ (βλ. Πίνακα 58 Παραρτήματος), επιλέγεται η δευτεροβάθμια ως καταλληλότερη. Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγει και η σύγκριση μεταξύ των συντελεστών προσδιορισμού  $R^2$ , και των διορθωμένων συντελεστών προσδιορισμού  $\bar{R}^2$ , που για τη δευτεροβάθμια συνάρτηση δέσμευσης CO<sub>2</sub> είναι υψηλότεροι έναντι της ημιλογαριθμικής μορφής.

Τελικά, οι δευτεροβάθμιες συναρτήσεις που χρησιμοποιούνται στον προσδιορισμό της δεσμευόμενης ποσότητας ατμοσφαιρικού CO<sub>2</sub> ανά εξεταζόμενο σενάριο τιμολόγησης του αρδευτικού νερού, ανά καλλιεργούμενο είδος και εδαφικό τύπο διαμορφώνονται όπως περιγράφεται στον Πίνακα 9.

Πίνακας 9 Συντελεστές συναρτήσεων δέσμευσης CO<sub>2</sub> ανά καλλιεργούμενο είδος και εδαφικό τύπο.

Καλλιεργούμενο είδος	Τύπος εδάφους	$\delta_{ij}^1$	$\delta_{ij}^2$	$\delta_{ij}^3$	$\delta_{ij}^4$	$\delta_{ij}^5$	$\delta_{ij}^6$
Μηδική	C	201,2829 (1,93)	-0,1923 (4,73)**	0,4776 (0,32)	0,0005 (3,32)**	0,000023000 (5,24)**	-0,0112 (1,43)

Μηδική	CL	169,4504 (1,71)	-0,1809 (4,74)**	0,2099 (0,15)	0,0005 (3,34)**	0,000021200 (5,14)**	-0,0093 (1,25)
Μηδική	SiL	104,873 (0,97)	-0,1775 (4,31)**	1,0847 (0,70)	0,0004 (2,36)*	0,000020989 (4,83)**	-0,0131 (1,61)
Βαμβάκι	C	-1386,1234 (90,93)**	0,0204 (3,03)**	4,1315 (11,73)**	0,0004 (10,79)**	-0,0000044996 (5,32)**	-0,0164 (6,50)**
Βαμβάκι	CL	-1649,9849 (81,88)**	0,0083 (0,94)	3,6017 (7,73)**	0,0004 (8,33)**	-0,000005812 (5,30)**	-0,0238 (7,15)**
Βαμβάκι	SiL	-1763,2757 (80,19)**	0,0081 (0,85)	3,2668 (6,43)**	0,0004 (7,90)**	-0,0000056476 (4,80)**	-0,0227 (6,23)**
Αραβόσιτος	C	-510,4382 (1,70)	0,2806 (2,05)*	19,5479 (15,90)**	0,0021 (12,00)**	-0,0000469545 (2,94)**	-0,0552 (19,24)**
Αραβόσιτος	CL	-785,7821 (2,50)*	0,5271 (3,73)**	16,8494 (13,09)**	0,002 (11,08)**	-0,0001 (4,24)**	-0,0564 (18,74)**
Αραβόσιτος	SiL	-1050,1014 (2,76)**	0,5878 (3,50)**	15,8847 (10,13)**	0,002 (9,13)**	-0,0001 (3,64)**	-0,057 (15,55)**
Κριθάρι	C	-329,8052 (33,06)**	-	7,9977 (21,60)**	-	-	0,0121 (4,16)**
Κριθάρι	CL	-218,7183 (22,35)**	-	6,1828 (17,02)**	-	-	0,0313 (10,99)**
Κριθάρι	SiL	-215,8216 (10,20)**	-	7,3796 (9,40)**	-	-	0,0231 (3,75)**
Σιτάρι	C	-430,5776 (297,77)**	-	2,9037 (77,37)**	-	-	-0,0042 (20,19)**
Σιτάρι	CL	-356,1487 (166,73)**	-	3,7722 (68,04)**	-	-	-0,0062 (19,90)**
Σιτάρι	SiL	-441,6632 (54,29)**	-	3,1187 (14,76)**	-	-	-0,004 (3,43)**

Πηγή: Αποτελέσματα μεταμοντέλου

\*  $p < 0,05$  και \*\*  $p < 0,01$ .

### 7.2.6 Συναρτήσεις έκλυσης αμμωνίας (NH<sub>3</sub>)

Οι συναρτήσεις αυτές προέρχονται από τη συσχέτιση ανάμεσα στις εφαρμοζόμενες ποσότητες λιπάσματος και νερού και στις εκλυόμενες ποσότητες αμμωνίας και εξετάζονται οι δευτεροβάθμια και η ημιλογαριθμική μορφή, δηλαδή οι: δευτεροβάθμια:

$$H_{ij} = \varepsilon_{ij}^1 + \varepsilon_{ij}^2 \cdot Q_{ij}^w + \varepsilon_{ij}^3 \cdot Q_{ij}^f + \varepsilon_{ij}^4 \cdot Q_{ij}^w \cdot Q_{ij}^f + \varepsilon_{ij}^5 \cdot (Q_{ij}^w)^2 + \varepsilon_{ij}^6 \cdot (Q_{ij}^f)^2 \quad (59)$$

ημιλογαριθμική:

$$\ln(H_{ij}) = \varepsilon_{ij}^1 + \varepsilon_{ij}^2 \cdot Q_{ij}^w + \varepsilon_{ij}^3 \cdot Q_{ij}^f + \varepsilon_{ij}^4 \cdot Q_{ij}^w \cdot Q_{ij}^f + \varepsilon_{ij}^5 \cdot (Q_{ij}^w)^2 + \varepsilon_{ij}^6 \cdot (Q_{ij}^f)^2 \quad (60)$$

όπου  $H_{ij}$  η ποσότητα της εκλυόμενης αμμωνίας ανά καλλιεργούμενο είδος και τύπο εδάφους,  $\varepsilon_{ij}^1$  συντελεστής που δείχνει την εκλυόμενη ποσότητα NH<sub>3</sub> για μηδενικές εισροές,  $\varepsilon_{ij}^2$  και  $\varepsilon_{ij}^5$  η επίδραση της εφαρμοζόμενης ποσότητας αρδευτικού νερού στην ποσότητα NH<sub>3</sub>,  $\varepsilon_{ij}^3$  και  $\varepsilon_{ij}^6$  η επίδραση της εφαρμοζόμενης ποσότητας αζώτου



στην ποσότητα  $NH_3$ ,  $\varepsilon_{ij}^4$  η ταυτόχρονη επίδραση της εφαρμοζόμενης ποσότητας νερού και αζώτου στην ποσότητα  $NH_3$ ,  $Q_{ij}^w$  η εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού και  $Q_{ij}^f$  η εφαρμοζόμενη ποσότητα αζώτου.

Η σύγκριση των δυο αυτών μορφών βάσει του P – τεστ (βλ. Πίνακα 59 Παραρτήματος), οδηγεί στην επιλογή της καταλληλότερης μορφής της συνάρτησης, που είναι η δευτεροβάθμια. Παρόμοιο αποτέλεσμα δίνει και η σύγκριση μεταξύ των συντελεστών προσδιορισμού  $R^2$ , και των διορθωμένων συντελεστών προσδιορισμού  $\bar{R}^2$ , που για τη δευτεροβάθμια συνάρτηση έκλυσης  $NH_3$  είναι υψηλότεροι έναντι της ημιλογαριθμικής μορφής.

Οι συντελεστές των συναρτήσεων έκλυσης αμμωνίας που χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό της εκλυόμενης ποσότητας ανά εξεταζόμενο σενάριο τιμολόγησης του αρδευτικού νερού, ανά καλλιεργούμενο είδος και τύπο εδάφους διαμορφώνονται ως φαίνεται στον Πίνακα 10.

Πίνακας 10 Συντελεστές συναρτήσεων έκλυσης  $NH_3$  ανά καλλιεργούμενο είδος και εδαφικό τύπο.

Καλλιεργούμενο είδος	Τύπος εδάφους	$\varepsilon_{ij}^1$	$\varepsilon_{ij}^2$	$\varepsilon_{ij}^3$	$\varepsilon_{ij}^4$	$\varepsilon_{ij}^5$	$\varepsilon_{ij}^6$
Μηδική	C	15,4018 (6,71)**	0,0028 (3,11)**	0,2936 (8,99)**	-0,0000326 (9,96)**	-0,0000001916 (1,97)	0,0033 (19,44)**
Μηδική	CL	22,3749 (5,33)**	-0,0039 (2,40)*	0,3685 (6,13)**	-0,000016 (2,69)*	0,000000629 (3,60)**	0,0024 (7,49)**
Μηδική	SiL	14,699 (2,98)**	-0,0049 (2,60)*	0,3196 (4,54)**	-0,0000093 (1,37)	0,0000006876 (3,48)**	0,0009 (2,50)*
Βαμβάκι	C	6,5828 (5,83)**	-0,0016 (3,22)**	0,1307 (5,01)**	-0,000026 (9,27)**	0,0000002577 (4,11)**	0,0011 (5,88)**
Βαμβάκι	CL	9,0485 (11,32)**	-0,0015 (4,21)**	0,1656 (8,96)**	-0,0000224 (11,55)**	0,0000002338 (5,38)**	0,0012 (8,85)**
Βαμβάκι	SiL	9,7768 (11,31)**	-0,0014 (3,83)**	0,1811 (9,06)**	-0,0000231 (11,10)**	0,0000002057 (4,45)**	0,0009 (6,50)**
Αραβόσιτος	C	9,7286 (2,47)*	-0,0062 (3,43)**	0,2419 (15,00)**	-0,0000298 (12,74)**	0,000001048 (5,00)**	0,0005 (14,60)**
Αραβόσιτος	CL	13,9951 (4,05)**	-0,0068 (4,39)**	0,2804 (19,76)**	-0,0000150 (7,41)**	0,00000096989 (5,42)**	0,0003 (8,35)**
Αραβόσιτος	SiL	9,9616 (3,91)**	-0,0038 (3,41)**	0,2767 (26,37)**	-0,0000183 (12,49)**	0,0000006142 (4,86)**	0,0002 (8,37)**
Κριθάρι	C	1,3673 (10,02)**	-	0,1317 (25,99)**	-	-	0,0006 (16,35)**
Κριθάρι	CL	1,9058 (10,05)**	-	0,1909 (27,12)**	-	-	0,0006 (10,40)**
Κριθάρι	SiL	2,0678 (9,66)**	-	0,1915 (24,11)**	-	-	0,0004 (6,04)**
Σιτάρι	C	-2,6217 (5,74)**	-	0,899 (75,90)**	-	-	0,0014 (20,93)**
Σιτάρι	CL	-2,0774 (4,52)**	-	0,6355 (53,25)**	-	-	0,0019 (27,89)**

Σιτάρι	SiL	-2,3107 (4,46)**	-	0,8469 (62,97)**	-	-	-0,0011 (14,57)**
--------	-----	---------------------	---	---------------------	---	---	----------------------

Πηγή: Αποτελέσματα μεταμοντέλου

\*  $p < 0,05$  και \*\*  $p < 0,01$ .

## 7.3 Οικονομικό μοντέλο

### 7.3.1 Αντικειμενική συνάρτηση

Όπως σημειώθηκε στο Κεφάλαιο 6, το οικονομικό μοντέλο που αναπτύσσεται για την εξεταζόμενη περιοχή επιδιώκει τη μεγιστοποίηση του Ακαθάριστου Κέρδους από τη γεωργική δραστηριότητα, γεγονός που αποτυπώνεται στη σχέση (32). Σε αυτή, ο δείκτης  $i$  αφορά στο καλλιεργούμενο είδος, που για την παρούσα αποτελούν το βαμβάκι, ο αραβόσιτος, η μηδική, το σιτάρι, το κριθάρι και η υποχρεωτική αγρανάπαυση. Η καλλιέργεια του βαμβακιού διακρίθηκε σε τρεις κατηγορίες, οι δυο εκ των οποίων αφορούν τον τρόπο άρδευσης (στάγδην ή καταιονισμός) και η τρίτη τη λήψη επιδότησης. Αντιστοίχως, η καλλιέργεια του αραβοσίτου διαχωρίστηκε μόνο ανάλογα με τον τύπο άρδευσης, ενώ η καλλιέργεια της μηδικής θεωρήθηκε πως αρδεύεται μόνο με καταιονισμό. Ο δείκτης  $j$  αφορά τον εδαφικό τύπο και στην περιοχή μελέτης αποτελούν το αργιλώδες, το αργιλοπηλώδες και το ιλυοπηλώδες έδαφος.

Στη σχέση (34), το κόστος της λίπανσης υπολογίζεται με βάση την τιμή του αζώτου,  $P^f$ , και όχι την τιμή του λιπάσματος. Από τους δείκτες ΟΔΓΕ για τη Θεσσαλία και το έτος 2005 (πλέον πρόσφατα στοιχεία) λαμβάνεται η τιμή της φωσφορικής αμμωνίας (22 – 11 – 0), στα 0,20 €/kgf. Εάν η τιμή αυτή αποπληθωριστεί, προκειμένου να προσαρμοστεί στο εξεταζόμενο έτος (2009), διαμορώνεται στα 0,39 €/kgf. Ακολουθώντας και με βάση την περιεκτικότητα του λιπάσματος σε άζωτο (22 kgf), εκτιμάται η τιμή του αζώτου που κυμαίνεται στα 1,76 €/kgf. Η ποσότητα του εφαρμοζόμενου αζώτου,  $Q_{ij}^f$  ανά εκτάριο καλλιέργειας και η καλλιεργούμενη έκταση,  $l_{ij}$  εκτιμώνται από τη λύση του μοντέλου.

Το κόστος της άρδευσης προσδιορίζεται βάσει της τιμής<sup>35</sup> / χρέωσης<sup>36</sup> του νερού,  $P^w$  και της  $l_{ij}$  καλλιεργούμενης έκτασης ανά αρδευόμενο είδος. Για να

<sup>35</sup> Ο όρος τιμή νερού αναφέρεται στην τιμή του ανά εφαρμοζόμενο κυβικό μέτρο.

υπολογιστεί η χρέωση του νερού για το βασικό σενάριο, πρέπει να εκτιμηθεί το χρηματοοικονομικό κόστος του νερού. Κάτι τέτοιο απαιτεί στοιχεία σχετικά με τα έξοδα του Τ.Ο.Ε.Β. κατά τη διάρκεια του εξεταζόμενου έτους. Τα δεδομένα αυτά αντλήθηκαν από τον απολογισμό του οργανισμού το 2009 (βλ. Πίνακα 61 Παραρτήματος), ο οποίος ελέγχθηκε ως προς τη συνέπειά του βάσει προηγούμενων απολογισμών και την ακρίβειά του ως προς τις δαπάνες που περιλαμβάνει. Αυτές, εκτιμήθηκαν στα 1.584.051,63€, που αποτελεί και το χρηματοοικονομικό κόστος του αρδευτικού νερού. Διαιρώντας τα συνολικά έξοδα του Τ.Ο.Ε.Β. με τη συνολική αρδευόμενη έκταση (17.074,5 ha), βάσει της γεωγραφικής απεικόνισης της περιοχής, η χρέωση του νερού ανέρχεται στα 92,77 €/ha. Η έκταση των αρδευόμενων καλλιεργούμενων ειδών υπολογίζεται από τη λύση του μοντέλου. Στο σημείο αυτό, αξίζει να αναφερθεί και η διάκριση των εξόδων σε σταθερά και μεταβλητά, που θεωρείται εξίσου χρήσιμη για τον προσδιορισμό των άλλων σεναρίων. Η εξέταση των στοιχείων αυτών έδειξε πως τα μεν σταθερά ανήλθαν στα 1.006.134,68€ (63,5%), τα δε μεταβλητά στα 577.916,95€ (36,5%).

Το τελευταίο τμήμα της συνάρτησης συνολικού κόστους αφορά τις μεταβλητές δαπάνες καλλιέργειας,  $VE_i$ , που δεν περιλαμβάνουν τα αρδευτικά τέλη και το κόστος του λιπάσματος, μιας και αυτά υπολογίζονται ως ανωτέρω. Οι δαπάνες αυτές, λαμβάνονται από τους Πίνακες της ΟΔΓΕ για το νομό Θεσσαλίας, με τα πλέον πρόσφατα στοιχεία να αφορούν το έτος 2002. Οι τιμές αυτές προσαρμόζονται στο εξεταζόμενο έτος (2009) βάσει αποπληθωριστών της Στατιστικής Υπηρεσίας και διαμορφώνονται όπως φαίνεται στον Πίνακα 11. Οι καλλιέργειες αραβοσίτου και βάμβακος που αρδεύονται με συστήματα στάγδην, επιβαρύνονται με το κόστος εφαρμογής του συστήματος αυτού και κυμαίνεται στα 280 €/ha (Kampas, Petsakos et al. 2012).

Πίνακας 11 Μεταβλητές Δαπάνες ανά καλλιεργούμενο είδος στον Τ.Ο.Ε.Β. Πηνειού

<b>Καλλιεργούμενο είδος</b>	<b>Μεταβλητές δαπάνες (€/ha)</b>
Βαμβάκι – στάγδην	927,4
Βαμβάκι - καταιονισμος	647,4
Βαμβάκι – καταιονισμος - επιδοτούμενο	647,4
Αραβόσιτος - στάγδην	1055,1
Αραβόσιτος - καταιονισμός	775,1
Μηδική	736,5

<sup>36</sup> Ο όρος χρέωση νερού αναφέρεται στη χρέωση του ανά αρδευόμενο καλλιεργούμενο εκτάριο.

Σιτάρι	207,2
Κριθάρι	152,1
Υποχρεωτική αγρανάπαυση	0

Πηγή: Στοιχεία ΟΔΓΕ και υπολογισμοί στοιχείων Τ.Ο.Ε.Β.

Τα δε συνολικά έσοδα, που σύμφωνα με το Κεφάλαιο 6 προσδιορίζονται από τη σχέση (36), αποτελούνται από δυο τμήματα: τα προερχόμενα από την πώληση των παραγόμενων προϊόντων και από τις επιδοτήσεις ανά καλλιέργεια. Η εκτίμηση του πρώτου τμήματος προέρχεται από τον πολλαπλασιασμό της τιμής του προϊόντος,  $P_i$ , με την συνολική παραγόμενη ποσότητα. Η τιμή λαμβάνεται από Πίνακες του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης για το έτος 2009 και διαμορφώνεται σύμφωνα με τον Πίνακα 12. Η παραγόμενη ποσότητα προκύπτει από τις ανωτέρω προσδιοριζόμενες συναρτήσεις παραγωγής.

Πίνακας 12 Τιμές ανά παραγόμενο προϊόν

Παραγόμενο προϊόν	Τιμή (€/kgr)
Βαμβάκι	0,60
Αραβόσιτος	0,17
Μηδική	0,15
Σιτάρι	0,16
Κριθάρι	0,14
Υποχρεωτική αγρανάπαυση	0

Πηγή: Στοιχεία Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης

Το δεύτερο τμήμα που αφορά την επιδότηση ανά εκτάριο καλλιέργειας,  $S_i$ , αφορά μόνο τα είδη που συνέχισαν να επιδοτούνται το έτος 2009 και σύμφωνα με τα στοιχεία του ΟΠΕΚΕΠΕ (Παράρτημα Καρδίτσας) περιλαμβάνουν το βαμβάκι και το σκληρό σιτάρι. Το ύψος των επιδοτήσεων κυμαίνεται στα 805,6 €/ha και 85,8 €/ha για τις δυο καλλιέργειες αντίστοιχα. Επίσης, στο πλαίσιο του μέτρου της βελτίωσης του περιβάλλοντος και της υπαίθρου και του υπομέτρου των γεωργοπεριβαλλοντικών δράσεων για την προστασία των υδατικών πόρων και σύμφωνα με την ΚΥΑ 239591/2009, η Θεσσαλία υπόκειται σε πρόγραμμα για την προστασία των ευαίσθητων σε νιτρικά περιοχών. Για το λόγο αυτό, κάθε εκτάριο έκτασης που τίθεται σε υποχρεωτική αγρανάπαυση επιδοτείται κατά μέσο όρο με 454,3€/ha.

### 7.3.2 Περιορισμοί

Οι περιορισμοί του οικονομικού μοντέλου που σχετίζονται με τη διαθεσιμότητα της γης αφορούν τη συνολική γη,  $L$ , αλλά και τη συνολική αρδευθείσα έκταση,  $IL$ . Η μεν πρώτη ισούται με 19.294,2 ha, η δε δεύτερη με 17.074,5 ha. Επιπλέον περιορισμοί τίθενται βάσει της διαθέσιμης καλλιεργούμενης έκτασης ανά εδαφικό τύπο και διαμορφώνονται ως εξής: στο αργιλώδες έδαφος 6.278,33 ha, στο αργιλοπηλώδες 9.064,42 ha και στο ιλυοπηλώδες 3.951,45 ha.

Όσον αφορά στις παραγωγικές ζώνες ανά εδαφικό τύπο, οι περιορισμοί προέρχονται από την απομόνωση των δεδομένων που αφορούν την εξεταζόμενη περιοχή (βλ. Εικόνα 7 Παραρτήματος) από το σύνολο της Θεσσαλίας, όπως αυτό παρουσιάζεται από τους Tsiros, et al. (2009). Συγκεκριμένα, διαμορφώνονται τρεις ζώνες, οι οποίες χαρακτηρίζονται ως σίτου - βάμβακος (Ζώνη 1), σίτου – οριακή βάμβακος (Ζώνη 2) και ακατάλληλη (Ζώνη 3). Στη ζώνη 1 επιτρέπεται η καλλιέργεια οποιουδήποτε είδους, στη ζώνη 2 βαμβάκι και σιτάρι και στην 3 δεν επιτρέπεται καμία καλλιέργεια. Επιπλέον, οι ζώνες διακρίνονται ανά εδαφικό τύπο, με αποτέλεσμα οι περιορισμοί να αφορούν τις εκτάσεις ανά εδαφικό τύπο και παραγωγική ζώνη που δε μπορούν οι καλλιέργειες να υπερβαίνουν. Αναλυτικότερα, οι περιορισμοί διαμορφώνονται, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 13.

Πίνακας 13 Έκταση αγροκλιματικών παραγωγικών ζωνών ανά εδαφικό τύπο στον Γ.Ο.Ε.Β. Πηνειού

Αγροκλιματική παραγωγική ζώνη	Εδαφικός Τύπος	Έκταση (ha)
Σίτου - βάμβακος	Αργιλώδες	154,4
Σίτου - βάμβακος	Αργιλοπηλώδες	222,9
Σίτου - βάμβακος	Ιλυοπηλώδες	97,2
Σίτου – οριακή βάμβακος	Αργιλώδες	5.551,2
Σίτου – οριακή βάμβακος	Αργιλοπηλώδες	8.014,6
Σίτου – οριακή βάμβακος	Ιλυοπηλώδες	3.493,8
Ακατάλληλη	Αργιλώδες	572,7
Ακατάλληλη	Αργιλοπηλώδες	826,9
Ακατάλληλη	Ιλυοπηλώδες	360,5

Πηγή: Επεξεργασία δεδομένων εδαφολογικών χαρτών και στοιχείων από Tsiros, et al. (2009)

Ακόμη, στο σημείο αυτό πρέπει να επισημανθούν οι περιορισμοί που αφορούν την καλλιέργεια του επιδοτούμενου βαμβακιού. Ο πρώτος και κύριος περιορισμός

προέρχεται από την προϋπόθεση που τίθεται προκειμένου να ληφθεί η επιδότηση και αφορά την παραγόμενη ποσότητα βάμβακος, η οποία πρέπει να υπερβαίνει τα 2.000 kg/ha. Στην παρούσα εργασία, καθώς θεωρείται πως το είδος αυτό καλλιεργείται μόνο για να ληφθεί η επιδότηση, ορίζεται ακριβώς ίση με το μέγεθος αυτό. Επίσης, βάσει των αναγκών των φυτών, όπως προέκυψαν από το υδατικό ισοζύγιο της περιοχής, η ποσότητα του αρδευτικού νερού ισούται με 5.983 m<sup>3</sup>/ha. Με δεδομένα τα παραπάνω και έπειτα από την επίλυση των συναρτήσεων παραγωγής για το βαμβάκι ανά εδαφικό τύπο, προσδιορίζεται η εφαρμοζόμενη ποσότητα αζώτου. Αυτή διαμορφώνεται στα 51,1 kg/ha για το αργιλώδες, στα 20,8 kg/ha για το αργιλοπλώδες και στα 19,3 kg/ha για το ιλυοπηλώδες έδαφος.

Τέλος, οι περιορισμοί που αφορούν τις κατώτερες και ανώτερες ποσότητες προϊόντος, εφαρμοζόμενου νερού και αζώτου προσαρμόζονται αναλόγως στις τοπικές συνθήκες.

### 7.3.3 Εναλλαγή καλλιεργειών

Οι περιορισμοί που αφορούν την εναλλαγή των φυτικών ειδών κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Σύμφωνα με τους Δαλιάνη (1983) και Καραμάνο (1999), η προτεινόμενη αμειψισπορά στην περιοχή μελέτης είναι: βαμβάκι – αραβόσιτος – σιτάρι – μηδική – κριθάρι. Οι περιορισμοί, λοιπόν, προσαρμόζονται ανάλογα και διαμορφώνονται ως εξής:

$$\sum_j I_{SAj} = PZ_{3j} \quad (61), \text{ όπου } SA \text{ η έκταση που καλύπτει η υποχρεωτική αγρανάπαυση}$$

και  $PZ_3$  η έκταση που καλύπτει η ακατάλληλη παραγωγική ζώνη (Ζώνη 3).

$$\sum_j I_{Cj} \leq 0,83 \sum_j PZ_{2j} \quad (62), \text{ όπου } C \text{ η έκταση που καλύπτει η καλλιέργεια βάμβακος}$$

και  $PZ_2$  η έκταση που καλύπτει η παραγωγική ζώνη 2 (σίτου – οριακή βάμβακος). Η επιλογή του περιορισμού αυτού βασίζεται στην ανάγκη βαθμονόμησης του μοντέλου, προκειμένου το αρχικό σενάριο να αποτυπώνει τις καλλιεργούμενες εκτάσεις όπως αυτές παρατηρούνται στην περιοχή μελέτης.

$$\sum_j I_{Bj} \geq 0,05 \sum_j I_{Wj} \quad (63), \text{ όπου } B \text{ η έκταση που καλύπτει η καλλιέργεια κριθής και}$$

$W$  η αντίστοιχη έκταση του σίτου. Ο περιορισμός αυτός βοηθά το μοντέλο να επιλέξει την καλλιέργεια κριθής.

$\sum_j l_{Mj} \leq \sum_j PZ_{1j}$  (64), όπου  $M$  η έκταση που καλύπτει η καλλιέργεια αραβοσίτου και

$PZ_1$  η έκταση που καλύπτει η παραγωγική ζώνη 1 (σίτου - βάμβακος). Ο περιορισμός αυτός ουσιαστικά επιτρέπει την καλλιέργεια του αραβοσίτου μόνο στην ζώνη 1, καθώς οι συνθήκες εντός αυτής κρίνονται καταλληλότερες.

$\sum_j l_{Wj} \leq \sum_j l_{Aj}$  (65), όπου  $A$  η έκταση που καλύπτει η καλλιέργεια μηδικής. Ο

περιορισμός αυτός τίθεται προκειμένου να αποτρέψει το μοντέλο να καλύψει ολόκληρη την παραγωγική γη με μηδική.

$\sum_j l_{C3j} \leq 0,05 \sum_j (l_{C1j} + l_{C2j})$  (66), όπου  $C1$ ,  $C2$  και  $C3$  οι εκτάσεις που καλύπτει το

βαμβάκι όταν αρδεύεται στάγδην, με καταιονισμό και με καταιονισμό και ταυτόχρονη επιδότηση της καλλιέργειάς του.

$\sum_j l_{Wj} + \sum_j l_{Bj} + \sum_j l_{Aj} \leq 0,5 \sum_j PZ_{2j}$  (67).

#### 7.3.4 Αποτελέσματα επίλυσης οικονομικού μοντέλου για το βασικό σενάριο

Η επίλυση του οικονομικού μοντέλου πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του υπολογιστικού συστήματος GAMS (General Algebraic Modeling System) και του επιλυτή Conopt3 βάσει του αντίστοιχου κώδικα, όπως παρουσιάζεται στο τέλος του Παραρτήματος της παρούσας εργασίας. Η επίλυση της αριστοποίησης του μοντέλου αυτού για το βασικό σενάριο καταλήγει στον υπολογισμό των εκτάσεων (άριστων) όπως αυτές παρουσιάζονται στον Πίνακα 14.

Πίνακας 14 Σύγκριση Παρατηρούμενης και Άριστης καλλιεργούμενης έκτασης στο Βασικό Σενάριο

Καλλιεργούμενο είδος <sup>37</sup>	Τύπος εδάφους	Καλλιεργούμενη έκταση		
		Παρατηρούμενη (σε ha)	Άριστη (σε ha)	Απόκλιση <sup>38</sup>
Μηδική	C	459,1		
Μηδική	CL	625,0	1.420,4	
Μηδική	SiL	336,3		
<i>Σύνολο μηδικής</i>		<i>1.420,4</i>	<i>1.420,4</i>	<b>0,0%</b>
Σιτάρι	C	430,3		
Σιτάρι	CL	641,0		
Σιτάρι	SiL	380,7	1.409,3	
<i>Σύνολο σιταριού</i>		<i>1.452,0</i>	<i>1.409,3</i>	<b>-0,2%</b>
Κριθάρι	C			
Κριθάρι	CL			
Κριθάρι	SiL		70,5	
<i>Σύνολο κριθαριού</i>		<i>-</i>	<i>70,5</i>	<b>0,4%</b>
Αραβόσιτος	C	107,5	154,4	
Αραβόσιτος	CL	148,3	222,9	
Αραβόσιτος	SiL	88,5	97,2	
<i>Σύνολο αραβόσιτου</i>		<i>344,2</i>	<i>474,5</i>	<b>1,0%</b>
Βαμβάκι	C	4.906,7	5.551,2	
Βαμβάκι	CL	6.059,0	6.594,2	
Βαμβάκι	SiL	3.593,2	2.014,1	
<i>Σύνολο βαμβακιού</i>		<i>14.558,9</i>	<i>14.159,5</i>	<b>-2,2%</b>
<b>Σύνολο</b>		<b>17.775,6</b>	<b>17.534,1</b>	

Πηγή: Λύση οικονομικού μοντέλου για το βασικό σενάριο.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 14, η σύγκριση μεταξύ των παρατηρούμενων στην περιοχή μελέτης (βάσει στοιχείων του Τ.Ο.Ε.Β. Πηνειού) και των άριστων εκτάσεων καταδεικνύει πολύ μικρές αποκλίσεις μεταξύ τους. Αναλυτικότερα και όσον αφορά στις επιμέρους καλλιέργειες, το βαμβάκι σε άριστες συνθήκες συνολικά μειώνεται, γεγονός που οφείλεται στη μείωση της έκτασης που καταλαμβάνει η καλλιέργεια στο ιλοπηλώδες έδαφος. Το σιτάρι παρουσιάζει συγκέντρωση ολόκληρης της καλλιέργειάς του στο ιλοπηλώδες έδαφος και απόκλιση της τάξης του -0,2%. Ταυτοχρόνως εμφανίζεται καλλιέργεια κριθαριού, που αθροιστικά με την καλλιέργεια σίτου συμβάλλει σε αύξηση 2% των ξηρικών καλλιεργειών της περιοχής. Η έκταση

<sup>37</sup> Όλες οι άριστες εκτάσεις των αρδευόμενων ειδών εξυπηρετούνται με συστήματα καταιονισμού.

<sup>38</sup> Υπολογίζονται βάσει του  $x^I = \frac{\sum_i |x_i| l_i}{\sum_i l_i}$ , όπου  $x_i$  η απόκλιση σε απόλυτο αριθμό και  $l_i$  η γη ανά καλλιεργούμενο είδος.



της μηδικής παραμένει συνολικά αμετάβλητη, με συγκέντρωσή της στο αργιλοπηλώδες έδαφος. Τέλος, η άριστη έκταση αραβοσίτου αποκλίνει από την παρατηρούμενη έκταση κατά 1% γεγονός που οφείλεται σε αυξήσεις σε όλους τους εδαφικούς τύπους και κυρίως στο αργιλοπηλώδες έδαφος. Συνοψίζοντας, φαίνεται πως οι λύσεις του μοντέλου ως προς τις καλλιεργούμενες εκτάσεις επηρεάζονται σημαντικά από τους σχετικούς περιορισμούς του.

Η λύση του βασικού μοντέλου παράγει περαιτέρω στοιχεία σχετικά με την παραγόμενη ποσότητα και το ακαθάριστο κέρδος ανά καλλιέργεια. Τα δεδομένα αυτά παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 15 και φαίνεται να είναι συγκρίσιμα με τα αντίστοιχα που προκύπτουν για τη Θεσσαλία από τους Kampas, et al. (2012).

Πίνακας 15 Περιγραφικά στατιστικά δεδομένα βασικού μοντέλου

<b>Καλλιεργούμενο είδος</b>	<b>Μέση παραγόμενη ποσότητα (kgr/ha)</b>	<b>Μέσο Ακαθάριστο Κέρδος (€/ha)</b>
Βαμβάκι	3.409,4	1.094,4
Αραβόσιτος	11.000,0	897,8
Σιτάρι	3.429,8	251,3
Κριθάρι	1.681,2	65,7
Μηδική	11.575,4	783,9

Πηγή: Λύση οικονομικού μοντέλου για το βασικό σενάριο

Επιπλέον αποτελέσματα, που προκύπτουν από τη λύση του μοντέλου, αφορούν το μέγιστο ακαθάριστο κέρδος των γεωργών της περιοχής από την καλλιέργεια των φυτικών ειδών του Πίνακα 14 και τις συνολικές εφαρμοζόμενες ποσότητες νερού και λιπάσματος. Η χρησιμοποίηση των στοιχείων αυτών στις συναρτήσεις παραγωγής νιτρικών, όπως αυτές περιγράφηκαν παραπάνω, υπολογίζει το παραγόμενο νιτρικό φορτίο της περιοχής μελέτης. Επίσης, από τα δεδομένα της μέσης διηθούμενης ποσότητας νερού που παράγονται από τις προσομοιώσεις του DNDC υπολογίζεται η μέση βαθιά διήθηση. Συγκεντρωτικά, τα ανωτέρω παρουσιάζονται στον Πίνακα 16 και αναλυτικότερα ανά καλλιεργούμενο είδος και εδαφικό τύπο, στους Πίνακες 62 έως 65 του Παραρτήματος.

Πίνακας 16 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα βασικού σεναρίου

<b>Μεταβλητή</b>	<b>Εκτιμώμενη Τιμή</b>
Ακαθάριστο κέρδος	18,2 εκατ. €
Εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού	116,1 εκατ. m <sup>3</sup>
Εφαρμοζόμενη ποσότητα λιπάσματος	2,1 εκατ. kgr

Νιτρικό φορτίο	0,1 εκατ. kgr
Βαθιά διήθηση	6,9 εκατ. m <sup>3</sup>
Δεσμευόμενη ποσότητα CO <sub>2</sub>	17,0 εκατ. kgr
Εκλυόμενη ποσότητα NH <sub>3</sub>	0,6 εκατ. χγρ.

Πηγή: Λύση οικονομικού μοντέλου για το βασικό σενάριο

Το βασικό σενάριο, και πιο συγκεκριμένα τα αποτελέσματά του, αποτελούν την αφετηρία για τον υπολογισμό των τιμών / χρεώσεων του αρδευτικού νερού υπό τις διαφορετικές μεθόδους τιμολόγησής του. Αυτές οι διαφορετικές περιπτώσεις αποτελούν τα εξεταζόμενα από την παρούσα εργασία σενάρια που το οικονομικό μοντέλο καλείται να επιλύσει. Ο προσδιορισμός των σεναρίων αυτών απαιτεί την εκτίμηση του συνολικού κόστους του νερού, και συγκεκριμένα του χρηματοοικονομικού, περιβαλλοντικού και έλλειψης. Καθώς η εκτίμηση του πρώτου έχει προηγηθεί, απομένει ο υπολογισμός των άλλων δυο.

### 7.3.5 Υπολογισμός περιβαλλοντικού κόστους του αρδευτικού νερού

Με βάση την ακολουθούμενη μεθοδολογία του Κεφαλαίου 6 και καθώς η κύρια πηγή ρύπανσης του νερού στην εξεταζόμενη περιοχή αποτελούν τα νιτρικά, το πρώτο βήμα στον προσδιορισμό του περιβαλλοντικού κόστους αφορά τον υπολογισμό του νιτρικού φορτίου κατ' όγκο διηθούμενου νερού που προέρχεται από την υπάρχουσα φυτική κάλυψη, δηλαδή των αποτελεσμάτων του Πίνακα 16. Ακολούθως και προκειμένου να οριστεί η συγκέντρωση νιτρικού φορτίου<sup>39</sup>, γίνεται διαίρεση των δυο τιμών (νιτρικού φορτίου και όγκου διηθούμενου νερού), που οδηγεί σε 17,93mg/l.

Ωστόσο, η εκτίμηση αυτή αφορά τη συνολική συγκέντρωση στην περιοχή μελέτης, δηλαδή τόσο τις αρδευόμενες όσο και τις ξηρικές καλλιέργειες. Καθώς, όμως, ο προσδιορισμός του περιβαλλοντικού κόστους του αρδευτικού νερού αφορά μόνο τα αρδευόμενα είδη, και προκειμένου να αποφευχθεί ο διπλός υπολογισμός, κρίνεται αναγκαία η απομόνωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που οφείλονται σε αυτά. Για το λόγο αυτό, στην παρούσα εργασία υιοθετήθηκε η λογική της ανάλυσης «με» και «χωρίς» (Ward and Michelsen 2002). Σύμφωνα με αυτή, πρώτα υπολογίζεται η διήθηση νιτρικού φορτίου για την υπάρχουσα φυτική κάλυψη της περιοχής (συμπεριλαμβανομένων ξηρικών και αρδευόμενων καλλιεργειών). Στη

<sup>39</sup> Μετράται ως mg νιτρικών ανά lt διηθούμενου νερού.

συνέχεια, αποκλείονται τα αρδευόμενα είδη και υπολογίζεται η διήθηση νιτρικών μόνο για τις ξηρικές καλλιέργειες (σίτου και κριθής). Από τη διαφορά των δυο προέρχεται η συνεισφορά της αρδευόμενης γεωργίας στο διηθούμενο νιτρικό φορτίο, που στο εξής θα αποκαλείται ως ενδεχόμενη.

Με στόχο την εκτίμηση της ενδεχομενης συνεισφοράς, απαιτείται η σύγκριση μεταξύ της παραπάνω υπολογιζόμενης συγκέντρωσης και της αντίστοιχης που προέρχεται από την καλλιέργεια μόνο ξηρικών ειδών. Για το λόγο αυτό, η επίλυση του βασικού μοντέλου πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας ως μόνες καλλιέργειες το σιτάρι και το κριθάρι και μηδενίζοντας τις τιμές των αρδευόμενων καλλιεργειών. Η εδαφική κάλυψη που προέκυψε ως άριστη, έπειτα από την επίλυση του σεναρίου αυτού, περιελάμβανε ως μόνη καλλιέργεια το σιτάρι εκτεινόμενο σε 5.705,59 ha, 8.237,52 ha και 3.590,98 ha αργιλώδους, αργιλοπηλώδους και ιλοπηλώδους εδάφους αντίστοιχως. Πολλαπλασιάζοντας τις εκτάσεις αυτές με τη μέση βαθιά διήθηση, όπως αυτή προκύπτει από το βιοφυσικό μοντέλο DNDC, η πιθανή συνολική διήθηση μόνο των ξηρικών καλλιεργειών αγγίζει τα 6.259.424,60 m<sup>3</sup>. Με βάση τις χρησιμοποιούμενες ποσότητες λιπάσματος, όπως αυτές υπολογίζονται από την επίλυση του οικονομικού μοντέλου, και ανέρχονται στα 100, 80 και 50 kg/ha ανά τύπο εδάφους (αργιλώδους, αργιλοπηλώδους και ιλοπηλώδους αντίστοιχα) προσδιορίζεται το συνολικό φορτίο νιτρικών στα 80.302,93 kg. Η συγκέντρωση των νιτρικών ισούται με 12,83 mg/l.

Η ενδεχόμενη συνεισφορά της αρδευόμενης γεωργίας στη συγκέντρωση νιτρικών προσδιορίζεται από τη σχέση:  $a = \frac{(N_{in} - N_f)}{N_{in}}$  (68), όπου  $a$  η ενδεχόμενη συνεισφορά της αρδευόμενης γεωργίας,  $N_{in}$  η συγκέντρωση νιτρικών για την υπάρχουσα φυτική κάλυψη και  $N_f$  η συγκέντρωση νιτρικών για τις ξηρικές καλλιέργειες. Από την εφαρμογή της σχέσης αυτής για την περιοχή μελέτης προκύπτει πως η ενδεχόμενη συνεισφορά των αρδευόμενων καλλιεργειών στη συγκέντρωση νιτρικών για το βασικό σενάριο ισούται με 28,44%.

Για τη μείωση ή/και απομάκρυνση του νιτρικού φορτίου από το νερό είναι απαραίτητη η εφαρμογή των κατάλληλων μεθόδων επεξεργασίας, που σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία (Reeves 1972; Khin 2004; Ahn 2006; Peng 2006; Birgand 2007) ποικίλλουν. Σύμφωνα με τα στοιχεία των Gratziou & Chrisochoidou (2011) σχετικά με το κόστος της κάθε μεθόδου κατ' όγκο καθαριζόμενου νερού και

επιλέγοντας ως πλέον οικονομικά αποτελεσματικές τις μεθόδους χρήσης ενεργού ιλύος και απονιτροποίησης δυο σταδίων, το μοναδιαίο κόστος απομάκρυνσης νιτρικών ανέρχεται στα 1,3 €/m<sup>3</sup>.

Με βάση τα ανωτέρω και για να υπολογιστεί το μέσο κόστος της επιπλέον χρέωσης του πόσιμου νερού εξαιτίας των περιβαλλοντικών ζημιών, *AC*, αντλούνται στοιχεία από τον προϋπολογισμό της Δημοτικής Επιχείρησης Ύδρευσης & Αποχέτευσης Λάρισας<sup>40</sup> για το έτος 2010. Συγκεκριμένα, από αυτόν λαμβάνεται το μέσο κόστος παροχής πόσιμου νερού, που φτάνει τα 0,93 €/ m<sup>3</sup>. Ως εκ τούτου, το *AC*, που ορίζεται ως η διαφορά του μέσου κόστους αποκατάστασης του νερού και του μέσου κόστους παροχής πόσιμου νερού, ισούται με 0,37 €/ m<sup>3</sup>.

Στο σημείο αυτό οφείλει να προσδιοριστεί ο όγκος του υπόγειου νερού που πρόκειται να αντληθεί και να χρησιμοποιηθεί ως πόσιμο και άρα χρειάζεται να επεξεργαστεί. Κι αυτό καθώς το πόσιμο νερό που καλύπτει τις ανάγκες της Λάρισας (πλησιέστερης αστικής περιοχής στην εξεταζόμενη) καλύπτεται εξολοκλήρου από αντλήσεις υπόγειου νερού. Με δεδομένο πως η συνολική κατανάλωση της Λάρισας κυμαίνεται από 18 εκατ. m<sup>3</sup><sup>41</sup> έως 24,6 εκατ. m<sup>3</sup> (Κουτσογιάννης Δ. and A. 2008) νερού, στην παρούσα εργασία λαμβάνεται μια μέση ποσότητα ίση με 21,3 εκατ. m<sup>3</sup>.

Ένα ακόμη στοιχείο που πρέπει να συνυπολογιστεί αποτελεί το ποσοστό της έκτασης της περιοχής μελέτης στη συνολική έκταση της υδρολογικής υπολεκάνης της Λάρισας. Με δεδομένο πως ο Τ.Ο.Ε.Β. Πηνειού εκτείνεται κατά 19.294,2 ha και η υπολεκάνη της Λάρισας κατά 236.000 ha., η πρώτη φαίνεται πως καταλαμβάνει το 8,18% της δεύτερης.

Ωστόσο, οι παραπάνω προσεγγίσεις προαπαιτούν δυο βασικές υποθέσεις. Αφενός την ομοιόμορφη αναπλήρωση του υπόγειου υδροφορέα σε όλη την υδρολογική λεκάνη (Pena-Haro S., Pulido-Velazquez M. et al. 2009) και αφετέρου την ακολουθία του ίδιου καλλιεργητικού προτύπου σε ολόκληρη την υδρολογική λεκάνη. Η δεύτερη υπόθεση είναι αρκετά ρεαλιστική γεγονός που αποδεικνύουν οι στατιστικές της χρήσης γης της περιοχής.

Εφαρμόζοντας τα παραπάνω δεδομένα στις σχέσεις υπολογισμού του περιβαλλοντικού κόστους, (27) και (28), όπως περιγράφονται στο Κεφάλαιο 6, προκύπτει το περιβαλλοντικό κόστος του νερού, που εκτιμάται στα 643.719,62 € και 720.432,72 €, αντίστοιχα.

<sup>40</sup> <http://www.deyal.gr/oikonomika-stoixeia/proipologismos.html>

<sup>41</sup> <http://www.deyal.gr>

### 7.3.6 Προσδιορισμός υδατικού ισοζυγίου Τ.Ο.Ε.Β. Πηγειού και υπολογισμός κόστους έλλειψης του αρδευτικού νερού

Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 6, ο προσδιορισμός του υδατικού ισοζυγίου της εξεταζόμενης περιοχής απαιτεί την εκτίμηση αφενός της προσφερόμενης και αφετέρου της ζητούμενης ποσότητας εντός των ορίων της. Το μεν πρώτο τμήμα θεωρείται το πλέον εύκολο, καθώς βασίζεται στα χαρακτηριστικά των αντλιών που υπάρχουν στην περιοχή μελέτης και αναφέρονται στους Πίνακες 37 και 38 του Παραρτήματος. Έπειτα από τους σχετικούς υπολογισμούς, η ποσότητα του αντλούμενου επιφανειακού νερού,  $VA$ , ισούται με  $151.236.848 \text{ m}^3$  και του αντίστοιχου υπόγειου,  $GA$ , με  $3.759.597 \text{ m}^3$ . Συνολικά στα όρια του Τ.Ο.Ε.Β. παρέχονται  $154.996.445 \text{ m}^3$ , με το 97,6% να προέρχεται από τον Πηγειό και το 2,4% από τις γεωτρήσεις του οργανισμού.

Παρά ταύτα, το συνολικά προσφερόμενο νερό υπόκειται στις απώλειες των καναλιών  $CL$ , που προσδιορίζονται από την αποδοτικότητα μεταφοράς,  $E_{cd}$ . Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα του ερευνητικού προγράμματος “i-adapt”<sup>42</sup>, η αποδοτικότητα ισούται με 0,7, ενώ βάσει των εκτιμήσεων άλλων ερευνητών (Loukas, Myloroulos et al. 2007; Makropoulos and Mimikou 2012) ισούται με 0,6. Στην παρούσα για την αποδοτικότητα μεταφοράς επιλέχθηκε η δεύτερη και πιο συντηρητική τιμή, η οποία οδηγεί σε συνολικές απώλειες,  $CL$ , που φτάνουν τα  $61.998.577,7 \text{ m}^3$ .

Όμως, ένα ποσοστό των συνολικών απωλειών εξαμιρίζεται,  $E_L$ , και ένα άλλο διαρρέει,  $SE$ . Η εκτίμηση του πρώτου στηρίχθηκε σε επιτόπιες μετρήσεις των Makropoulos & Mimikou (2012), που αναφέρουν πως το ποσοστό των εξαμιζόμενων απωλειών ισούται με 1%. Δηλαδή, στην παρούσα εργασία οι απώλειες αυτές είναι ίσες με  $619.985,8 \text{ m}^3$ . Ωστόσο, οι απώλειες εξαιτίας διαρροής διακρίνονται σε αυτές που καταλήγουν στο ποτάμι μέσω είτε επιφανειακής, είτε υπο-επιφανειακής απορροής,  $R_2$ , και σε αυτές που διηθούνται βαθιά  $DP_2$ . Με δεδομένο ότι ο συνολικός ρυθμός διήθησης στην εξεταζόμενη περιοχή αγγίζει το 14,96% (Makropoulos and Mimikou 2012), οι απώλειες που διηθούνται βαθιά φτάνουν τα  $9.237.788,1 \text{ m}^3$ . Τέλος, οι απώλειες που απορρέουν εκτιμώνται από τη διαφορά μεταξύ συνολικών, εξαμιζόμενων και διηθούμενων απωλειών στα  $52.140.803,9 \text{ m}^3$ .

<sup>42</sup> <http://i-adapt.gr>

Επιπλέον, στη συνολική προσφερόμενη ποσότητα νερού προστίθεται η βροχόπτωση, και συγκεκριμένα η ωφέλιμη βροχόπτωση,  $P_E$  στην περιοχή μελέτης. Λαμβάνοντας τη βροχόπτωση στην περιοχή ίση με  $4.943 \text{ m}^3/\text{ha}$  και την ωφέλιμη βροχόπτωση ίση με  $4.469 \text{ m}^3/\text{ha}$  και με βάση τη συνολική καλλιεργούμενη έκταση, που προκύπτει από τη λύση του οικονομικού μοντέλου, στα  $17.534,1 \text{ ha}$ , η συνολική και η ωφέλιμη βροχόπτωση ισούνται με  $86.671.006,9 \text{ m}^3$  και  $78.367.083,5 \text{ m}^3$  αντίστοιχα. Οι απώλειες, λοιπόν, της βροχόπτωσης αγγίζουν τα  $8.303.923,4 \text{ m}^3$ . Το ποσοστό της βροχόπτωσης που διηθείται βαθιά υπό τις υφιστάμενες τοπικές συνθήκες διακυμαίνεται μεταξύ του 5% με 15% της ποσότητας ανατροφοδότησης του συστήματος (Koukidou and Panagoroulos 2010), με το μέσο όρο αυτού (10%) να λαμβάνεται υπόψη στην παρούσα εργασία.

Από την άλλη μεριά, οι εκροές νερού από τα όρια του Τ.Ο.Ε.Β. Πηγειού αναφέρεται στη συνολική βαθιά διήθηση, επιφανειακή απορροή και εξατμισοδιαπνοή των καλλιεργούμενων ειδών. Όσον αφορά τη συνολική βαθιά διήθηση,  $DP$ , αποτελείται από το αντίστοιχο μέγεθος της γεωργικής δραστηριότητας συν της βροχόπτωσης συν των απωλειών των καναλιών,  $DP_1 + DP_2$ . Ο προσδιορισμός της βαθιάς διήθησης από τη γεωργική δραστηριότητα γίνεται βάσει της υπολογιζόμενης μέσω του DNDC μέσης διήθησης ανά καλλιεργούμενο είδος και τύπο εδάφους (βλ. Πίνακα 63 Παραρτήματος) και φτάνει τα  $6.847.510,2 \text{ m}^3$ . Αν σε αυτό το ποσό προστεθούν οι απώλειες που διηθούνται βαθιά και ισούνται με  $9.237.788,1 \text{ m}^3$ , τελικά οι συνολική βαθιά διηθούμενη ποσότητα νερού αγγίζει το  $16.085.298,3 \text{ m}^3$ .

Ακολούθως, ο προσδιορισμός της συνολικής επιφανειακής απορροής απαιτεί την εκτίμηση αυτής που προέρχεται από τη γεωργική δραστηριότητα στην περιοχή, τις απώλειες των καναλιών και την βροχόπτωση. Καθώς αναφέρθηκε ανωτέρω, η επιφανειακή απορροή των απωλειών των καναλιών ισούται με  $52.140.803,9 \text{ m}^3$ . Ακόμα, η επιφανειακή απορροή που οφείλεται στη βροχόπτωση υπολογίζεται έμμεσα, από τη διαφορά ανάμεσα στις συνολικές απώλειες της βροχόπτωσης και της βαθιά διηθούμενης βροχόπτωσης. Η τελευταία προσδιορίζεται ως το 10% (Koukidou and Panagoroulos 2010) της συνολικής βαθιάς διήθησης. Από τους υπολογισμούς αυτούς προκύπτει επιφανειακή απορροή της τάξης των  $6.695.393,6 \text{ m}^3$  από τη βροχόπτωση. Οπότε, η συνολική επιφανειακή απορροή ισούται με  $58.836.197,4 \text{ m}^3$ .

Τέλος, η εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής αφορά στην εκτίμηση του μεγέθους αυτού που προέρχεται από τη γεωργική δραστηριότητα και από τις απώλειες των

καναλιών. Η διαδικασία υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών στηρίζεται στην εκτίμηση του μεγέθους της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς, η οποία βασίζεται στα δεδομένα του Πίνακα 60 του Παραρτήματος. Σε αυτόν αναφέρονται αναλυτικά στοιχεία σχετικά με τους φυτικούς συντελεστές, τη διάρκεια των σταδίων ανάπτυξης των φυτών και την καλλιεργητική περίοδο, όπως αυτά αντλήθηκαν από τοπικούς γεωργούς. Από τους σχετικούς υπολογισμούς προκύπτει η εξατμισοδιαπνοή ανά καλλιεργούμενο είδος, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 17.

Πίνακας 17 Εξατμισοδιαπνοή ανά καλλιεργούμενο είδος στον Τ.Ο.Ε.Β. Πηνειού

Καλλιεργούμενο είδος	Εξατμισοδιαπνοή (m <sup>3</sup> /ha)	Καλλιεργούμενη εκταση (ha)	Συνολική εξατμισοδιαπνοή (m <sup>3</sup> )
Μηδική	6.370	1.420,4	9.047.820,6
Βαμβάκι	5.983	14.159, 5	84.720.966,5
Αραβόσιτος	6.210	474, 5	2.946.458,7
Σιτάρι - Κριθάρι	2.830	1.479,8	4.187.684,0
Σύνολο		17.534,1	100.902.929,8

Πηγή: Υπολογισμοί συγγραφέως

Επομένως, η συνολική εξάτμιση αγγίζει τα 101.522.915,5 m<sup>3</sup>.

Συγκεντρώνοντας όλα τις προαναφερόμενες εισροές και εκροές νερού στα όρια του Τ.Ο.Ε.Β. εκτιμάται το συνολικό ισοζύγιο. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 18 και όπως καταδεικνύουν, η περιοχή παρουσιάζει έλλειμμα της τάξης των 5.079.461,2 m<sup>3</sup>, το οποίο στην πραγματικότητα καλύπτεται πιθανώς από παράνομες γεωτρήσεις.

Πίνακας 18 Υδατικό Ισοζύγιο Τ.Ο.Ε.Β. Πηνειού

Εισροές (εκατ. m <sup>3</sup> )		Εκροές (εκατ. m <sup>3</sup> )	
Ωφέλιμη βροχόπτωση	78,367	Εξάτμιση	101,523
Άντληση επιφανειακού νερού	90,742	Επιφανειακή απορροή	58,836
Άντληση υπόγειου νερού	2,255	Βαθιά διήθηση	16,085
Σύνολο	171,364	Σύνολο	176,444
Έλλειμμα		<b>-5,079</b>	

Πηγή: Υπολογισμοί συγγραφέως

Καθώς, το κόστος έλλειψης του νερού υπολογίζεται από τον πολλαπλασιασμό του ελλείμματος και του μοναδιαίου κόστους καλύτερης εναλλακτικής πηγής νερού,

το μόνο που απομένει είναι ο προσδιορισμός του δεύτερου. Δεδομένου ότι η αποκατάσταση του ελλείμματος πρέπει να γίνεται με τρόπο που να στοχεύει στην οριστική επίλυση του προβλήματος, ούτε η αφαλάτωση, αλλά ούτε και η μεταφορά νερού θεωρούνται καλές εναλλακτικές λύσεις. Συγκεκριμένα για τη μεταφορά νερού πολλοί (Close 1998; Margaris, Galogiannis et al. 2006) επισημαίνουν πως είναι αμφισβητήσιμη και πολιτικά μη αποδεκτή. Επομένως, στην παρούσα εργασία η κατανάλωση επαναχρησιμοποιούμενου νερού θεωρήθηκε ως η καλύτερη εναλλακτική. Βάσει των αποτελεσμάτων του ερευνητικού προγράμματος “i-adapt”, προκύπτει πως το μοναδιαίο κόστος χρήσης επαναχρησιμοποιούμενου νερού κυμαίνεται από 0,083 €/m<sup>3</sup> έως 0,195 €/m<sup>3</sup> αναλόγως της διαθέσιμης τεχνικής εφαρμογής και των πιθανών αρδευτικών αναγκών (Makropoulos and Mimikou 2012). Το μοναδιαίο κόστος ανά εναλλακτική λύση, καθώς και το κόστος έλλειψης του νερού συνοψίζονται στον Πίνακα 19. Ωστόσο οι δυο ακραίες τιμές είναι αυτές που λαμβάνονται υπόψη στην παρούσα εργασία.

Πίνακας 19 Μοναδιαίο και συνολικό κόστος έλλειψης του νερού ανά εναλλακτική λύση

Τεχνική επιλογή \ Αρδευτική επιλογή	Περιορισμένη άρδευση <sup>43</sup>		Μη περιορισμένη άρδευση <sup>44</sup>	
	Μοναδιαίο (€/m <sup>3</sup> )	Συνολικό (€)	Μοναδιαίο (€/m <sup>3</sup> )	Συνολικό (€)
Με κατασκευή ταμιευτήρων	0,141	716.204,03	0,195	990.494,93
Χωρίς κατασκευή ταμιευτήρων	0,083	421.595,28	0,089	452.072,05

Πηγή: Στοιχεία ερευνητικού προγράμματος “i-adapt” και υπολογισμοί συγγραφέως

Αθροίζοντας τα τρία είδη κόστους με βάση τις ανώτερες και κατώτερες τιμές τους, προκύπτει το ελάχιστο και μέγιστο συνολικό κόστος, που ανέρχεται στα 2.649.366,53 € και 3.294.979,28 € αντιστοίχως.

<sup>43</sup> Άρδευση μη εδωδιμων καλλιεργειών

<sup>44</sup> Άρδευση εδωδιμων καλλιεργειών



### 7.3.7 Σενάρια εφαρμογής της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ

Όπως αναλυτικά αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 6, τα εξεταζόμενα σενάρια εφαρμογής της Οδηγίας – πλαίσιο για το νερό αφορούν στις διαφορετικές μεθόδους τιμολόγησης του αρδευτικού νερού και ο προσδιορισμός τους βασίζεται στο ύψος του συνολικού κόστους του νερού, όπως αυτό υπολογίστηκε ανωτέρω.

Στην περίπτωση της κατ' έκταση χρέωσης του νερού, τα δυο επιμέρους σενάρια (φθηνότερο και ακριβότερο) υπολογίζονται κατανέμοντας το συνολικό κόστος του νερού ανά εκτάριο αρδευόμενης καλλιεργούμενης έκτασης στην περιοχή μελέτης. Ως εκ τούτου, η χρέωση του αρδευτικού νερού υπό τη φθηνότερη εκδοχή του σεναρίου αυτού ανέρχεται στα 155,17 €/ha<sup>45</sup>. Ακολουθώντας την ίδια λογική, η χρέωση του νερού για το ακριβότερο σενάριο ισούται με 192,98 €/ha.

Η ογκομετρική τιμολόγηση του νερού αναφέρεται στο συνολικό κόστος του νερού, όπως αυτό προσδιορίστηκε προηγουμένως, κατανεμημένο ανά κυβικό μέτρο παρεχόμενου αρδευτικού νερού στην περιοχή μελέτης από τον ΤΟΕΒ Πηνειού. Συγκεκριμένα, υπό το φθηνότερο σενάριο, η τιμή του νερού ανέρχεται στο 0,028 €/m<sup>3</sup><sup>46</sup> και υπό το ακριβότερο στο 0,035 €/m<sup>3</sup>.

Η διπλή χρέωση με τη χρήση του οριακού κόστους αποτελείται από μια σταθερή χρέωση ανά εκτάριο καλλιεργούμενης έκτασης, που για τα μεν φθηνότερη περίπτωση ανέρχεται στα 62,39 €/ha<sup>47</sup> και για την ακριβότερη στα 100,20 €/ha<sup>48</sup>. Για τον προσδιορισμό του μεταβλητού μέρους της χρέωσης αυτής, απαιτείται ο υπολογισμός του οριακού κόστους του νερού. Αυτό εκτιμάται από τη συνάρτηση (46), που προσδιορίζεται μέσω της παλινδρόμησης των στοιχείων κόστους και κατανάλωσης νερού δεκαεσσάρων Τ.Ο.Ε.Β. της Θεσσαλίας (βλ. Πίνακα 66 Παραρτήματος). Τα αποτελέσματα συγκεντρώνονται στον Πίνακα 67 του

---

<sup>45</sup> Προκύπτει από τη διαίρεση του ελάχιστου συνολικού κόστους του νερού με την αρδευόμενη έκταση στην περιοχή μελέτης, που προσδιορίζεται από τη γεωγραφική απεικόνισή της μέσω GIS.

<sup>46</sup> Η τιμή αυτή προκύπτει από το λόγο του ελάχιστου συνολικού κόστους του νερού προς το συνολικό όγκο του παρεχόμενου νερού από τον ΤΟΕΒ Πηνειού (92.997.866,6 m<sup>3</sup>).

<sup>47</sup> Όπως δίνει η διαίρεση του ελάχιστου περιβαλλοντικού και φυσικών πόρων κόστους του νερού για το βασικό σενάριο με την αρδευόμενη έκταση της περιοχής μελέτης, που προκύπτει από την γεωγραφική απεικόνιση μέσω GIS.

<sup>48</sup> Όπως φαίνεται από τη διαίρεση του μέγιστου περιβαλλοντικού και φυσικών πόρων κόστους του νερού για το βασικό σενάριο με την αρδευόμενη έκταση της περιοχής μελέτης, όπως υπολογίζεται από την γεωγραφική απεικόνιση μέσω GIS.

Παραρτήματος και με αντικατάσταση αυτών στη σχέση (46), προκύπτει το οριακό κόστος, που ανέρχεται στα 0,0146 €.

Στη διπλή χρέωση με τη χρήση του μέσου κόστους, το μεν σταθερό μέρος διαμορφώνεται όπως στη διπλή χρέωση με βάση το οριακό κόστος, το δε μεταβλητό απαιτεί τον υπολογισμό του μέσου χρηματοοικονομικού κόστους του νερού. Το τελευταίο προσδιορίζεται από τη διαίρεση του συνολικού χρηματοοικονομικού κόστους (1.584.051,6 €) με τον προσφερόμενο από τον Τ.Ο.Ε.Β. Πηνειού όγκο νερού (92.997.866,6 m<sup>3</sup>) και αγγίζει τα 0,017 €.

## **7.4 Επίλογος**

Τα αποτελέσματα της λύσης του οικονομικού μοντέλου για το βασικό σενάριο έχουν διπλό ρόλο. Αφενός, είναι αυτά που καθορίζουν τα εξεταζόμενα σενάρια εφαρμογής της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ, καθώς ορίζουν τις διαφορετικές χρεώσεις του αρδευτικού νερού. Αφετέρου, χρησιμεύουν ως μέτρο σύγκρισης των σεναρίων αυτών για την εξαγωγή σχετικών συμπερασμάτων.

## Κεφάλαιο 8. Αποτελέσματα

### 8.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο ακολουθεί παράθεση και ανάλυση των αποτελεσμάτων της έρευνας. Ως τέτοια αναφέρονται οι λύσεις οικονομικού μοντέλου, όπως αυτό προσαρμόζεται ανάλογα με τις διαφορετικές μεθόδους τιμολόγησης του αρδευτικού νερού μορφών του. Από τις λύσεις αυτές εξάγονται συμπεράσματα για τις μεθόδους τιμολόγησης, καθώς και διατυπώνονται οι τυχόν επιπτώσεις τους στην οικονομία, την κοινωνία και το περιβάλλον.

### 8.2 Αποτελέσματα ανά μέθοδο τιμολόγησης του αρδευτικού νερού

Συνοψίζοντας τις μεθόδους τιμολόγησης του αρδευτικού νερού, όπως αυτές προσεγγίστηκαν στο Κεφάλαιο 6, στην παρούσα εργασία εξετάστηκαν οι κατ' έκταση, κατ' όγκο και διπλή χρέωση δυο τύπων. Οι μέθοδοι αυτές διερευνήθηκαν υπό δυο ακραίες περιπτώσεις, τη φθηνότερη και την ακριβότερη ως προς την εφαρμοζόμενη τιμή του νερού και όπως αυτή προέκυψε βάσει του ελάχιστου και μέγιστου συνολικού κόστους του.

#### 8.2.1 Κατ' έκταση χρέωση

Η επίλυση του οικονομικού μοντέλου με βάση την κατ' έκταση τιμολόγηση του νερού για τις δυο ακραίες περιπτώσεις (ακριβότερη και φθηνότερη), όπως προσδιορίζονται στο Κεφάλαιο 7, οδηγεί στην άριστη κατανομή των εδαφών όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 20.

Πίνακας 20 Κατανομή εδαφών ανά καλλιεργούμενο είδος και εδαφικό τύπο για την κατ' έκταση χρέωση

Καλλιεργούμενο είδος	Τύπος εδάφους	Καλλιεργούμενη έκταση κατ' έκταση χρέωσης (σε ha)	
		Φθηνότερη (155,2 €/ha)	Ακριβότερη (193,0 €/ha)
Βαμβάκι - στάγδην	CL	6.721,8	6.567,4
Βαμβάκι - καταιονισμός	C	5.551,2	5.705,6
Βαμβάκι - καταιονισμός	SiL	1.886,5	1.886,5
<i>Σύνολο βαμβακιού</i>		<i>14.159,5</i>	<i>14.159,5</i>
Αραβόσιτος - καταιονισμός	C	154,4	-
Αραβόσιτος - καταιονισμός	CL	222,9	222,9
<i>Σύνολο αραβοσίτου</i>		<i>377,3</i>	<i>222,9</i>
Σιτάρι	CL	1.231,3	1.378,3
Κριθάρι	CL	61,6	68,9
Μηδική	SiL	1.704,6	1.704,6
<b>Σύνολο</b>		<b>17.534,1</b>	<b>17.534,1</b>

Πηγή: Λύση οικονομικού μοντέλου για την κατ' έκταση χρέωση

Από μια πρώτη σύγκριση των Πινάκων 14 και 20 προκύπτει πως η συνολική καλλιεργούμενη έκταση παραμένει αμετάβλητη μεταξύ βασικού και κατ' έκταση σεναρίου, φθηνότερου και ακριβότερου. Επίσης, το σύνολο της γης που καλύπτεται με βαμβάκι παραμένει το ίδιο και στα τρία σενάρια, με μόνη διαφορά τη μετάβαση από την καλλιέργεια με καταιονισμό στη στάγδην στην κατ' έκταση χρέωση. Στη μεν περίπτωση του φθηνότερου κατ' έκταση σεναρίου, η καλλιέργεια του αραβοσίτου μειώνεται κατά 20%, ενώ οι καλλιέργειες σίτου και κριθής μειώνονται μόλις κατά 13% σε σύγκριση με το βασικό σενάριο. Συγκρίνοντας τους Πίνακες 14 και 20 για το ακριβότερο σενάριο, προκύπτουν μειώσεις των καλλιεργειών του αραβοσίτου, σίτου και κριθής που κυμαίνονται στα 53%, 2% και 2% αντίστοιχα. Τέλος, η καλλιέργεια μηδικής στο κατ' έκταση σενάριο αυξάνεται κατά 20%, εξαντλώντας τον αντίστοιχο περιορισμό για αύξηση της καλλιέργειας έως το 20% της αρχικής έκτασης.

Περαιτέρω αποτελέσματα, αφορούν το ακαθάριστο κέρδος, τις εφαρμοζόμενες ποσότητες νερού και λιπάσματος, το παραγόμενο νιτρικό φορτίο, το διηθούμενο όγκο νερού, τη δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα, την έκλυση αμμωνίας και το υδατικό ισοζύγιο της περιοχής μελέτης. Όλα τα στοιχεία και για τις δυο εκδοχές του σεναρίου αυτού συγκεντρώνονται στον Πίνακα 21.

Πίνακας 21 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υπό την κατ' έκταση χρέωση

Μεταβλητή	Κατ' έκταση χρέωση	
	Φθηνότερη (155,2 €/ha)	Ακριβότερη (193,0 €/ha)
Ακαθάριστο κέρδος	15,42 εκατ. €	14,77 εκατ. €
Εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού	107,13 εκατ. m <sup>3</sup>	106,01 εκατ. m <sup>3</sup>
Εφαρμοζόμενη ποσότητα λιπάσματος	2,05 εκατ. kgr	2,05 εκατ. kgr
Νιτρικό φορτίο	0,14 εκατ. kgr	0,13 εκατ. kgr
Βαθιά διήθηση	6,96 εκατ. m <sup>3</sup>	6,95 εκατ. m <sup>3</sup>
Δεσμευόμενη ποσότητα CO <sub>2</sub>	16,96 εκατ. kgr	17,13 εκατ. kgr
Εκλυόμενη ποσότητα NH <sub>3</sub>	0,57 εκατ. kgr	0,58 εκατ. kgr
Υδατικό Ισοζύγιο	- 6,80 εκατ. m <sup>3</sup>	- 6,23 εκατ. m <sup>3</sup>

Πηγή: Λύση οικονομικού μοντέλου για την κατ' έκταση χρέωση

Υπολογίζοντας τη συγκέντρωση νιτρικών από τα στοιχεία του Πίνακας 21, για μεν τη φθηνότερη εκδοχή φτάνει τα 20,15mg/l, για δε την ακριβότερη ισούται με 20,11mg/l. Εκτιμώντας από αυτά την ενδεχόμενη συνεισφορά των αρδευόμενων καλλιεργειών (σχέση 68), ανέρχεται στο 36,34% και στο 36,20% για το φθηνότερο και ακριβότερο σενάριο, αντίστοιχα.

### 8.2.2 Ογκομετρική τιμολόγηση

Μετά την επίλυση του οικονομικού μοντέλου για την τιμολόγηση αυτή, η κατανομή του εδάφους ανά καλλιεργούμενο είδος, που επιτυγχάνεται από τη λύση του οικονομικού μοντέλου για τη φθηνότερη και ακριβότερη ογκομετρική χρέωση διαμορφώνεται όπως ο Πίνακας 22 δείχνει.

Πίνακας 22 Κατανομή εδαφών ανά καλλιεργούμενο είδος και εδαφικό τύπο υπό την ογκομετρική τιμολόγηση

Καλλιεργούμενο είδος	Τύπος εδάφους	Καλλιεργούμενη έκταση υπό την ογκομετρική τιμολόγηση (σε ha)	
		Φθηνότερη (0,028 €/m <sup>3</sup> )	Ακριβότερη (0,035 €/m <sup>3</sup> )
Βαμβάκι - στάγδην	CL	6.721,8	5.017,3
Βαμβάκι - καταιονισμός	C	5.551,2	5.551,2
Βαμβάκι - καταιονισμός	SiL	1.886,5	3.591,0
<i>Σύνολο βαμβακιού</i>		<i>14.159, 5</i>	<i>14.159, 5</i>
Αραβόσιτος - καταιονισμός	C	154,4	154,4
Αραβόσιτος - καταιονισμός	CL	222,9	222,9
<i>Σύνολο αραβοσίτου</i>		<i>377,3</i>	<i>377,3</i>
Σιτάρι	CL	1.231,3	1.231,3

Κριθάρι	CL	61,6	61,6
Μηδική	SiL	1.704,5	-
Μηδική	CL	-	1.704,5
<b>Σύνολο</b>		<b>17.534,1</b>	<b>17.534,1</b>

Πηγή: Λύση οικονομικού μοντέλου υπό την ογκομετρική χρέωση.

Συγκρίνοντας τα παραπάνω αποτελέσματα (Πίνακας 22) με τα αντίστοιχα του βασικού σεναρίου (Πίνακας 14), προκύπτει πως η συνολική καλλιεργούμενη έκταση παραμένει αμετάβλητη. Αναλυτικότερα, στο φθηνότερο ογκομετρικό σενάριο, η καλλιέργεια του βαμβακιού καλύπτει συνολικά την ίδια έκταση, με τη διαφορά ότι το 47,5% του συνόλου αλλάζει σύστημα άρδευσης από τον καταιονισμό στο στάγδην, ενώ στο ακριβότερο σενάριο το αντίστοιχο ποσοστό φτάνει το 35,4%. Οι καλλιέργειες αραβοσίτου, σίτου και κριθής υπόκεινται σε μειώσεις της τάξης του 20%, 13% και 13%, αντίστοιχα και της μηδικής σε αύξηση κατά 17%. Η εικόνα αυτή επαναλαμβάνεται και για τις δυο εξεταζόμενες εκδοχές (φθηνότερη και ακριβότερη). Καθώς τα παραπάνω αποτελέσματα μοιάζουν με τα αντίστοιχα της φθηνότερης κατ' έκταση χρέωσης, το γεγονός αυτό μπορεί να χαρακτηριστεί ως αδυναμία του μοντέλου.

Επιπλέον, στον Πίνακα 23 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ογκομετρικής τιμολόγησης, όπως το ακαθάριστο κέρδος, οι εφαρμοζόμενες ποσότητες νερού και λιπάσματος, το παραγόμενο νιτρικό φορτίο, το διηθούμενο όγκο νερού, τη δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα και την έκλυση αμμωνίας, και για τις δυο εκδοχές του.

Πίνακας 23 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ογκομετρικής τιμολόγησης

Μεταβλητή	Ογκομετρική τιμολόγηση	
	Φθηνότερη (0,028 €/m <sup>3</sup> )	Ακριβότερη (0,035 €/m <sup>3</sup> )
Ακαθάριστο κέρδος <sup>49</sup>	15,25 εκατ. €	14,98 εκατ. €
Εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού	85,40 εκατ. m <sup>3</sup>	81,68 εκατ. m <sup>3</sup>
Εφαρμοζόμενη ποσότητα λιπάσματος	2,01 εκατ. kgr	1,99 εκατ. kgr
Νιτρικό φορτίο	0,13 εκατ. kgr	0,12 εκατ. kgr
Βαθιά διήθηση	6,96 εκατ. m <sup>3</sup>	6,88 εκατ. m <sup>3</sup>
Δεσμευόμενη ποσότητα CO <sub>2</sub>	16,91 εκατ. kgr	17,14 εκατ. kgr
Εκλυόμενη ποσότητα NH <sub>3</sub>	0,59 εκατ. kgr	0,63 εκατ. kgr
Υδατικό Ισοζύγιο	3,68 εκατ. m <sup>3</sup>	6,46 εκατ. m <sup>3</sup>

Πηγή: Λύση οικονομικού μοντέλου υπό την ογκομετρική χρέωση.

<sup>49</sup> Καθώς η χρησιμοποιούμενη ποσότητα του νερού είναι μικρότερη αυτής που μπορεί ο Τ.Ο.Ε.Β. να παράσχει στην εξεταζόμενη περιοχή, η οποία ανέρχεται στα 92.997.866,61 m<sup>3</sup>, το σύνολο του ζητούμενου νερού χρεώνεται με βάση την εξεταζόμενη μέθοδο τιμολόγησης.

Από τα δεδομένα του Πίνακα 23 η συγκέντρωση νιτρικών για την άριστη λύση του μοντέλου ισούται με 19,30 mg/lit και 17,54 mg/lit για το φθηνότερο και ακριβότερο σενάριο αντίστοιχα. Ως εκ τούτου, η ενδεχόμενη συνεισφορά των αρδευόμενων καλλιεργειών στη συγκέντρωση νιτρικών (σχέση 68) ανέρχεται στο 33,51% (φθηνότερο) και 26,86% (ακριβότερο).

### 8.2.3 Διπλή χρέωση

#### 8.2.3.1 Με τη χρήση του οριακού κόστους

Η λύση του οικονομικού μοντέλου υπό τη χρέωση αυτή δίνει την κατανομή των εδαφών ανά καλλιεργούμενο είδος όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 24 για το φθηνότερο και ακριβότερο σενάριο.

Πίνακας 24 Κατανομή εδαφών ανά καλλιεργούμενο είδος και εδαφικό τύπο υπό τη διπλή χρέωση με τη χρήση του οριακού κόστους

Καλλιεργούμενο είδος	Τύπος εδάφους	Καλλιεργούμενη έκταση υπό διπλή χρέωση με χρήση οριακού κόστους (σε ha)	
		Φθηνότερη (62,4 €/ha συν 0,0146 €/m <sup>3</sup> )	Ακριβότερη (100,2 €/ha συν 0,0146 €/m <sup>3</sup> )
Βαμβάκι - καταιονισμός	C	5.551,2	5.551,2
Βαμβάκι - καταιονισμός	CL	8.014,6	8.237,5
Βαμβάκι - καταιονισμός	SiL	593,7	370,8
<i>Σύνολο βαμβακιού</i>		<i>14.159,5</i>	<i>14.159,5</i>
Αραβόσιτος - καταιονισμός	C	154,4	154,4
Αραβόσιτος - καταιονισμός	CL	221,9	-
Αραβόσιτος - καταιονισμός	SiL	97,2	97,2
<i>Σύνολο αραβοσίτου</i>		<i>474,5</i>	<i>251,6</i>
Σιτάρι	SiL	1.138,7	-
Σιτάρι	CL	-	1.351,0
Κριθάρι	SiL	56,9	-
Κριθάρι	CL	-	67,6
Μηδική	SiL	1.704,5	1.704,5
<b>Σύνολο</b>		<b>17.534,1</b>	<b>17.534,1</b>

Πηγή: Λύση οικονομικού μοντέλου υπό τη διπλή χρέωση με τη χρήση του οριακού κόστους.

Μια πρώτη σύγκριση των ανωτέρω αποτελεσμάτων (Πίνακας 24) με τα αντίστοιχα του βασικού σεναρίου (Πίνακας 14) δείχνει πως η συνολική καλλιεργούμενη έκταση της περιοχής μελέτης είναι σταθερή, με ορισμένες μικροαλλαγές στις αντίστοιχες εκτάσεις που καταλαμβάνουν οι επιμέρους καλλιέργειες. Επίσης, η συνολική έκταση του βαμβακιού παραμένει αμετάβλητη, όμως η κατανομή στους διάφορους τύπους εδάφους διαφοροποιείται καθώς από την καλλιέργεια του 14,2% του συνόλου στο ιλυοπηλώδες έδαφος μειώνεται μόλις στο 4,2% για το φθηνότερο σενάριο και στο 2,6% του συνόλου για το ακριβότερο με ταυτόχρονη στροφή στο πιο παραγωγικό αργιλοπηλώδες. Όσον αφορά στην καλλιέργεια αραβοσίτου, αυτή σε σχέση με την αρχική υπό τη φθηνότερη εκδοχή παραμένει σταθερή, ενώ υπό την ακριβότερη μειώνεται κατά 47%, γεγονός που οφείλεται στην εγκατάλειψη συνόλου της καλλιέργειας στο αργιλοπηλώδες έδαφος. Οι ξηρικές καλλιέργειες στο μεν φθηνότερο σενάριο υπόκεινται σε μείωση της τάξης του 19%, στο δε ακριβότερο η μείωση είναι της τάξης του 4%. Η μηδική και στις δυο περιπτώσεις αυξάνει κατά 20% σε σχέση με το αρχικό σενάριο.

Τα περαιτέρω αποτελέσματα του μοντέλου για το υπό εξέταση σενάριο αφορούν το ακαθάριστο κέρδος, τις εφαρμοζόμενες ποσότητες νερού και λιπάσματος, το νιτρικό φορτίο, το διηθούμενο όγκο νερού, τη δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα και την έκλυση αμμωνίας. Τα αποτελέσματα αυτά και για τις δυο εκδοχές της διπλής χρέωσης με χρήση οριακού κόστους συνοψίζονται στον Πίνακα 25.

Πίνακας 25 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα σεναρίου διπλής χρέωσης με χρήση οριακού κόστους

Μεταβλητή	Διπλή χρέωση με χρήση οριακού κόστους	
	Φθηνότερη (62,4 €/ha συν 0,0146 €/m <sup>3</sup> )	Ακριβότερη (100,2 €/ha συν 0,0146 €/m <sup>3</sup> )
Ακαθάριστο κέρδος <sup>50</sup>	17,47 εκατ. €	16,71 εκατ. €
Εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού	103,13 εκατ. m <sup>3</sup>	101,90 εκατ. m <sup>3</sup>
Εφαρμοζόμενη ποσότητα λιπάσματος	2,00 εκατ. kgr	2,01 εκατ. kgr
Νιτρικό φορτίο	0,13 εκατ. kgr	0,13 εκατ. kgr
Βαθιά διήθηση	6,93 εκατ. m <sup>3</sup>	6,91 εκατ. m <sup>3</sup>
Δεσμευόμενη ποσότητα CO <sub>2</sub>	16,78 εκατ. kgr	17,04 εκατ. kgr
Εκλυόμενη ποσότητα NH <sub>3</sub>	0,57 εκατ. kgr	0,58 εκατ. kgr

<sup>50</sup> Καθώς η χρησιμοποιούμενη ποσότητα του νερού είναι μεγαλύτερη αυτής που μπορεί ο Τ.Ο.Ε.Β. να παράσχει στην εξεταζόμενη περιοχή, η οποία ανέρχεται στα 92.997.866,61 m<sup>3</sup>, με βάση την εξεταζόμενη μέθοδο τιμολόγησης χρεώνεται μόνο η ποσότητα αυτή και όχι το σύνολο του ζητούμενου νερού.



Υδατικό Ισοζύγιο	-0,72 εκατ. m <sup>3</sup>	-0,20 εκατ. m <sup>3</sup>
------------------	----------------------------	----------------------------

Πηγή: Λύση οικονομικού μοντέλου υπό τη διπλή χρέωση με τη χρήση του οριακού κόστους.

Λαμβάνοντας ως δεδομένα τα αποτελέσματα του Πίνακα 25, υπολογίζεται η συγκέντρωση των νιτρικών, που στην περίπτωση του φθηνότερου σεναρίου διαμορφώνεται στα 19,08 mg/lit, ενώ του ακριβότερου στα 19,06 mg/lit. Αντιστοίχως, η ενδεχόμενη συνεισφορά σε νιτρικά των αρδευόμενων καλλιεργειών (σχέση 68) ισούται με 32,76% και 32,67%.

#### 8.2.3.2 Με τη χρήση του μέσου κόστους

Έπειτα από τη λύση του μοντέλου γι' αυτή τη μέθοδο τιμολόγησης, η κατανομή των εδαφών ανά καλλιεργούμενο είδος και σύμφωνα με τη διπλή χρέωση με χρήση μέσου κόστους, διαμορφώνεται όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 26 για το φθηνότερο και ακριβότερο σενάριο.

Πίνακας 26 Κατανομή εδαφών ανά καλλιεργούμενο είδος και εδαφικό τύπο υπό τη διπλή χρέωση με βάση το μέσο κόστος

Καλλιεργούμενο είδος	Τύπος εδάφους	Καλλιεργούμενη έκταση υπό διπλή χρέωση με χρήση μέσου κόστους (σε ha)	
		Φθηνότερη (62,4 €/ha συν 0,017 €/m <sup>3</sup> )	Ακριβότερη (100,2 €/ha συν 0,017 €/m <sup>3</sup> )
Βαμβάκι - στάγδην	CL	-	5.017,3
Βαμβάκι - καταιονισμός	C	5.551,2	5.551,2
Βαμβάκι - καταιονισμός	CL	8.014,6	-
Βαμβάκι - καταιονισμός	SiL	593,7	3.591,0
<i>Σύνολο βαμβακιού</i>		<i>14.159,5</i>	<i>14.159,5</i>
Αραβόσιτος - καταιονισμός	C	154,4	154,4
Αραβόσιτος - καταιονισμός	CL	222,9	222,9
<i>Σύνολο αραβοσίτου</i>		<i>377,3</i>	<i>377,3</i>
Σιτάρι	SiL	1.231,3	-
Σιτάρι	CL	-	1.231,3
Κριθάρι	SiL	61,6	-
Κριθάρι	CL	-	61,6
Μηδική	SiL	1.704,5	-

Μηδική	CL	-	1.704,5
<b>Σύνολο</b>		<b>17.534,1</b>	<b>17.534,1</b>

Πηγή: Λύση οικονομικού μοντέλου για τη διπλή χρέωση με τη χρήση του μέσου κόστους.

Μια πρώτη σύγκριση των αποτελεσμάτων του Πίνακα 26 με τα αντίστοιχα του βασικού σεναρίου (Πίνακας 14), δείχνει πως η συνολική καλλιεργούμενη έκταση παραμένει αμετάβλητη. Ελέγχοντας, ωστόσο, την επιμέρους κατανομή της γης στα διάφορα καλλιεργούμενα είδη, παρουσιάζονται ορισμένες αλλαγές συγκριτικά με την αντίστοιχη του αρχικού σεναρίου. Η καλλιέργεια του βαμβακιού, υπό το φθηνότερο σενάριο, αν και παραμένει συνολικά σταθερή, η έκταση που καλύπτει το ιλυοπηλώδες έδαφος μειώνεται κατά 71% σε σχέση με την αρχική και αυτή του αργιλοπηλώδους εδάφους αυξάνεται κατά 22%. Ομοίως σταθερή παραμένει η συνολική έκταση του βαμβακιού υπό το ακριβότερο σενάριο, με μόνη διαφορά τη στροφή του 35,4% του συνόλου από τον καταιονισμό στη στάγδην άρδευση. Επίσης, η έκταση του αραβοσίτου υπόκειται σε μείωση της τάξης του 20%, που οφείλεται στην εγκατάλειψη των καλλιεργειών στο ιλυοπηλώδες έδαφος και στις δυο εκδοχές. Όσον αφορά τις ξηρικές καλλιέργειες, αυτές μειώνονται κατά 13%. Οι μειώσεις των καλλιεργειών αυτών φαίνεται να οδηγεί σε αύξηση της μηδικής κατά 20% σε σχέση με το βασικό σενάριο, καθώς αυτή είναι πιο προσοδοφόρα.

Πίνακας 27 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα σεναρίου διπλής χρέωσης με χρήση μέσου κόστους

Μεταβλητή	Διπλή χρέωση με χρήση μέσου κόστους	
	Φθηνότερη (62,4 €/ha συν 0,017 €/m <sup>3</sup> )	Ακριβότερη (100,2 €/ha συν 0,017 €/m <sup>3</sup> )
Ακαθάριστο κέρδος <sup>51</sup>	17,14 εκατ. €	15,01 εκατ. €
Εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού	100,34 εκατ. m <sup>3</sup>	96,34 εκατ. m <sup>3</sup>
Εφαρμοζόμενη ποσότητα λιπάσματος	1,99 εκατ. kgr	2,03 εκατ. kgr
Νιτρικό φορτίο	0,13 εκατ. kgr	0,12 εκατ. kgr
Βαθιά διήθηση	6,96 εκατ. m <sup>3</sup>	6,88 εκατ. m <sup>3</sup>
Δεσμευόμενη ποσότητα CO <sub>2</sub>	16,89 εκατ. kgr	16,99 εκατ. kgr

<sup>51</sup> Καθώς η χρησιμοποιούμενη ποσότητα του νερού είναι μεγαλύτερη αυτής που μπορεί ο Τ.Ο.Ε.Β. να παράσχει στην εξεταζόμενη περιοχή, η οποία ανέρχεται στα 92.997.866,61 m<sup>3</sup>, με βάση την εξεταζόμενη μέθοδο τιμολόγησης χρεώνεται μόνο η ποσότητα αυτή και όχι το σύνολο του ζητούμενου νερού.

Εκλυόμενη ποσότητα NH <sub>3</sub>	0,58 εκατ. kgr	0,62 εκατ. kgr
Υδατικό Ισοζύγιο	0,51 εκατ. m <sup>3</sup>	- 0,51 εκατ. m <sup>3</sup>

Πηγή: Λύση οικονομικού μοντέλου σεναρίου διπλής χρέωσης με χρήση μέσου κόστους

Χρησιμοποιώντας τα στοιχεία του Πίνακα 27 υπολογίζεται η συγκέντρωση νιτρικών, που για μεν το φθηνότερο σενάριο ισούται με 19,10 mg/l, για δε το ακριβότερο με 18,12 mg/l. Για αυτές τις δυο εκδοχές, η ενδεχόμενη συνεισφορά των αρδευόμενων καλλιεργειών σε νιτρικό φορτίο (σχέση 68) ανέρχεται σε 32,81% και 29,19%, αντίστοιχα.

#### 8.2.4 Βασικές διαπιστώσεις

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα του οικονομικού μοντέλου για τις διάφορες μεθόδους τιμολόγησης του αρδευτικού νερού, δίνεται η δυνατότητα σύγκρισης. Η παράθεση των συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων γίνεται στους Πίνακες 28 και 29, οι οποίοι παρουσιάζουν τη διαφοροποίηση στη χρήση της γης και τα αποτελέσματα ανά εξεταζόμενο δείκτη αντιστοίχως, για όλα τα σενάρια. Αυτά φαίνεται να έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον και να ωθούν την έρευνα στην εξαγωγή συμπερασμάτων ανά μέθοδο χρέωσης του αρδευτικού νερού.

Πίνακας 28 Καλλιεργούμενη έκταση υπό διαφορετικές μεθόδους τιμολόγησης του αρδευτικού νερού

Καλλιεργούμενο είδος	Τύπος εδάφους	Καλλιεργούμενη έκταση ανά εξεταζόμενο σενάριο (σε ha)								
		Βασικό	Κατ' έκταση		Ογκομετρική		Διπλή χρέωση			
			Φθηνότερο	Ακριβότερο	Φθηνότερο	Ακριβότερο	Βάσει οριακού κόστους		Βάσει μέσου κόστους	
							Φθηνότερο	Ακριβότερο	Φθηνότερο	Ακριβότερο
Μηδική	C									
Μηδική	CL	1.420,4				1.704,5				1.704,5
Μηδική	SiL		1.704,5	1.704,5	1.704,5		1.704,5	1.704,5	1.704,5	
<i>Σύνολο μηδικής</i>		<i>1.420,4</i>	<i>1.704,5</i>	<i>1.704,5</i>	<i>1.704,5</i>	<i>1.704,5</i>	<i>1.704,5</i>	<i>1.704,5</i>	<i>1.704,5</i>	<i>1.704,5</i>
Σιτάρι	C									
Σιτάρι	CL		1.231,3	1.378,3	1.231,3	1.231,3		1.351,0		1.231,3
Σιτάρι	SiL	1.409,3					1.138,7		1.231,3	
<i>Σύνολο σιταριού</i>		<i>1.409,3</i>	<i>1.231,3</i>	<i>1.378,2</i>	<i>1.231,3</i>	<i>1.231,3</i>	<i>1.138,7</i>	<i>1.351,0</i>	<i>1.231,3</i>	<i>1.231,3</i>
Κριθάρι	C									
Κριθάρι	CL		61,6	68,9	61,6	61,6		67,6		61,6
Κριθάρι	SiL	70,5					56,9		61,6	
<i>Σύνολο κριθαριού</i>		<i>70,5</i>	<i>61,6</i>	<i>68,9</i>	<i>61,6</i>	<i>61,6</i>	<i>56,9</i>	<i>67,6</i>	<i>61,6</i>	<i>61,6</i>
Αραβόσιτος - στάγδην	C									
Αραβόσιτος - στάγδην	CL									
Αραβόσιτος - στάγδην	SiL									
Αραβόσιτος - καταιονισμός	C	154,4	154,4		154,4	154,4	154,4	154,4	154,4	154,4
Αραβόσιτος - καταιονισμός	CL	222,9	222,9	222,9	222,9	222,9	221,9		222,9	222,9
Αραβόσιτος - καταιονισμός	SiL	97,2					97,2	97,2		
<i>Σύνολο αραβόσιτου</i>		<i>474,5</i>	<i>377,3</i>	<i>222,9</i>	<i>377,3</i>	<i>377,3</i>	<i>474,5</i>	<i>251,6</i>	<i>377,3</i>	<i>377,3</i>
Βαμβάκι - στάγδην	C									
Βαμβάκι - στάγδην	CL		6.721,8	6.567,4	6.721,8	5.017,3				5.017,3
Βαμβάκι - στάγδην	SiL									
Βαμβάκι - καταιονισμός	C	5.551,2	5.551,2	5.705,6	5.551,2	5.551,2	5.551,2	5.551,2	5.551,20	5.551,2
Βαμβάκι - καταιονισμός	CL	6.594,2					8.014,6	8.237,5	8.014,6	
Βαμβάκι - καταιονισμός	SiL	2.014,1	1.886,5	1.886,5	1.886,5	3.591,0	593,7	370,8	593,7	3.591,0
<i>Σύνολο βαμβακιού</i>		<i>14.159,5</i>	<i>14.159,5</i>	<i>14.159,5</i>	<i>14.159,5</i>	<i>14.159,5</i>	<i>14.159,5</i>	<i>14.159,5</i>	<i>14.159,5</i>	<i>14.159,5</i>
<b>Σύνολο</b>		<b>17.534,1</b>	<b>17.534,1</b>	<b>17.534,1</b>	<b>17.534,1</b>	<b>17.534,1</b>	<b>17.534,1</b>	<b>17.534,1</b>	<b>17.534,1</b>	<b>17.534,1</b>

Πηγή: Λύση οικονομικού μοντέλου

Πίνακας 29 Σύνοψη αποτελεσμάτων οικονομικού μοντέλου υπό διαφορετικές μεθόδους τιμολόγησης του αρδευτικού νερού

Σενάρια	Συνολικό ακαθάριστο κέρδος σε εκατ. €	% αλλαγή	Συνολικές απαιτήσεις σε νερό σε εκατ. m <sup>3</sup>	% αλλαγή	Συνολικές απαιτήσεις σε λίπασμα σε εκατ. kgr	% αλλαγή	Συνεισφορά αρδευόμενων καλλιιεργειών σε νιτρικά	% αλλαγή	Υδατικό ισοζύγιο σε εκατ. m <sup>3</sup>	% αλλαγή	Δέσμευση CO <sub>2</sub> σε εκατ. kgr	% αλλαγή	Έκλυση NH <sub>3</sub> σε εκατ. kgr	% αλλαγή	
Αρχικό	18,19		116,13		2,05		28,44%		-5,08		17,04		0,61		
Φθινότερο	Κατ' έκταση	15,42	-15%	107,13	-8%	2,05	0%	36,34%	28%	-6,80	34%	16,96	-1%	0,58	-5%
	Διπλή χρέωση – Οριακό κόστος	17,47	-4%	103,13	-11%	2,00	-3%	32,76%	15%	-0,72	-86%	16,78	-2%	0,57	-7%
	Διπλή χρέωση – Μέσο κόστος	17,14	-6%	100,34	-14%	2,00	-3%	32,81%	15%	0,51	-110%	16,89	-1%	0,58	-5%
	Ογκομετρική	15,25	-16%	85,40	-26%	2,01	-2%	33,51%	18%	3,68	-172%	16,91	-1%	0,59	-3%
Ακριβότερο	Κατ' έκταση	14,77	-19%	106,01	-9%	2,05	0%	36,20%	27%	-6,23	23%	17,13	1%	0,58	-5%
	Διπλή χρέωση – Οριακό κόστος	16,71	-8%	101,90	-12%	2,01	-2%	32,67%	15%	-0,20	-96%	17,04	0%	0,58	-4%
	Διπλή χρέωση – Μέσο κόστος	15,01	-18%	96,34	-17%	2,03	-1%	29,19%	3%	-0,51	-90%	16,99	0%	0,62	1%
	Ογκομετρική	14,98	-18%	81,68	-30%	1,99	-3%	26,86%	-6%	6,46	-227%	17,14	1%	0,63	3%

Πηγή: Λύση οικονομικού μοντέλου

#### 8.2.4.1 Χρήση της γης

Η συνολική καλλιεργούμενη έκταση παραμένει σταθερή για όλες τις μεθόδους τιμολόγησης του νερού. Παρά ταύτα, η κατανομή της γης σε αρδευόμενα και ξηρικά είδη μεταβάλλεται μεταξύ των εξεταζόμενων σεναρίων. Αξίζει να επισημανθεί πως παρά την όποια τιμολόγηση του νερού, η συνολική αρδευόμενη έκταση δείχνει οριακή αύξηση που κυμαίνεται από 0,2% έως 2%, ενώ η ξηρική μειώνεται οριακά από 2,2% έως 19%. Κάτι τέτοιο δε θεωρείται παράδοξο, αφού όπως οι Dinar & Mody (2004) επισημαίνουν, αύξηση της τιμής του νερού συχνά οδηγεί σε επέκταση της αρδευόμενης γης προκειμένου να εξισορροπηθούν οι έντονες μειώσεις του γεωργικού εισοδήματος. Αντιθέτως, για το ίδιο θέμα, ο Gallego-Ayala (2012), αναφέρει πως όσο μεγαλύτερες είναι οι χρεώσεις του νερού (στις κατ' έκταση, ογκομετρική και διπλή τιμολόγηση), τόσο αυξάνεται το ποσοστό των ξηρικών εκτάσεων και μειώνεται το αντίστοιχο ποσοστό των αρδευόμενων. Παρά ταύτα, στην παρούσα εργασία οι όποιες αυξήσεις των αρδευόμενων καλλιεργειών οφείλονται κυρίως στην αύξηση της μηδικής, η οποία εξαντλεί το περιθώριο που ο σχετικός περιορισμός<sup>52</sup> της αφήνει. Επιπλέον, οι αντίστοιχες μειώσεις των ξηρικών ειδών που επισημαίνονται αφορούν την εναλλαγή μεταξύ αυτών και της καλλιέργειας αραβοσίτου. Τέλος, οι αυξήσεις των αρδευόμενων και οι μειώσεις των ξηρικών είναι μικρότερες για τα ακριβότερα και μεγαλύτερες για τα φθηνότερα σενάρια. Γεγονός που αντιτίθεται στα αποτελέσματα των García-Vila, et al. (2009), που όπως αναφέρουν αύξηση της τιμής του αρδευτικού νερού οδηγεί σε αμετάβλητο καλλιεργητικό πρότυπο.

#### 8.2.4.2 Συνολικό ακαθάριστο κέρδος

Μελετώντας τη στήλη του Πίνακα 29 που αφορά στο συνολικό ακαθάριστο κέρδος των γεωργών της εξεταζόμενης περιοχής φαίνεται πως η επίδραση της αύξησης των τιμών του νερού είναι μονότονη καθώς οι αυξήσεις τους συνεπάγονται μειώσεις του κέρδους σε όλα τα σενάρια, αποτέλεσμα στο οποίο συνηγορούν και άλλοι ερευνητές (Riesgo and Gomez-Limon 2006; Gallego-Ayala 2012). Οι μειώσεις αυτές κυμαίνονται από 4% έως 19% και οφείλονται στις αντίστοιχες πτώσεις του κέρδους των επιμέρους καλλιεργειών, που κυμαίνονται από 4% έως 57%. Αυτές δεν είναι δυνατό να αντισταθμιστούν από τις ελάχιστες αυξήσεις του κέρδους – κατά 2% έως 16% - από τη μηδική. Η πτώση του κέρδους δικαιολογείται αφενός από τον

---

<sup>52</sup> Η καλλιέργεια μηδικής μπορεί να αυξηθεί έως 20% της αρχικής έκτασης.

Πίνακα 28 που δείχνει αντίστοιχες μειώσεις των καλλιεργούμενων εκτάσεων για τα ακριβότερα εξεταζόμενα σενάρια και αφετέρου από τις αυξημένες χρεώσεις του αρδευτικού νερού.

Η μέθοδος τιμολόγησης του νερού που οδηγεί στις μικρότερες μειώσεις του συνολικού ακαθάριστου κέρδους και στις δυο εξεταζόμενες περιπτώσεις –φθηνότερη και ακριβότερη- είναι η διπλή χρέωση με βάση το οριακό κόστος. Εν συνεχεία, δεύτερη έρχεται η διπλή χρέωση με βάση το μέσο κόστος κατατάσσοντας τις μεθόδους τιμολόγησης κατά αύξουσα σειρά ως προς τις μειώσεις του κέρδους που προκαλούν. Αναλόγως, ο Gallego-Ayala (2012) καταλήγει πως μόνο στη μια εκ των δυο εξεταζόμενων περιοχών μελέτης, η διπλή χρέωση επιφέρει μεγαλύτερη μείωση στο ακαθάριστο κέρδος έναντι της ογκομετρικής και κατ' έκταση τιμολόγησης.

Όσον αφορά τις χρεώσεις κατ' όγκο και κατ' έκταση, η ανωτέρω κατάταξη καθίσταται αδύνατη, καθώς παρουσιάζουν αντίστροφη θέση στα δυο εξεταζόμενα σενάρια. Αναλυτικότερα, η κατ' έκταση στη φθηνότερη περίπτωση οδηγεί σε μικρότερες μειώσεις του ακαθάριστου κέρδους έναντι της κατ' όγκο, εικόνα που αντιστρέφεται για την ακριβότερη χρέωση. Η ασυνέπεια αυτή μπορεί να αιτιολογηθεί αν παρατηρήσει κανείς τα επιμέρους αποτελέσματα που παράγονται από τη λύση του οικονομικού μοντέλου για τα δυο σενάρια. Πιο συγκεκριμένα, στη μεν φθηνότερη περίπτωση αν και η εδαφική κάλυψη είναι ακριβώς η ίδια και για στις δυο περιπτώσεις, οι ποσότητες των εισροών είναι μειωμένες στην κατ' όγκο χρέωση με αποτέλεσμα να οδηγούν σε μειωμένη παραγωγή και άρα μειωμένο ακαθάριστο κέρδος ανά καλλιεργούμενο είδος. Στη δε ακριβότερη περίπτωση, η κατ' έκταση χρέωση οδηγεί σε μειωμένο συνολικό ακαθάριστο κέρδος έναντι της κατ' όγκο, καθώς εγκαταλείπεται μέρος της καλλιέργειας αραβοσίτου και οι μειώσεις του ακαθάριστου κέρδους δεν αντισταθμίζονται από κάποια άλλη καλλιέργεια.

#### 8.2.4.3 Συνολικές απαιτήσεις σε νερό

Περνώντας στη δεύτερη στήλη του συγκεντρωτικού Πίνακα 29, όπου παρουσιάζονται οι απαιτήσεις των καλλιεργειών σε νερό ανά σενάριο τιμολόγησής του, φαίνεται πως η αύξηση της χρέωσης του νερού οδηγεί σε μείωση της καταναλισκόμενης ποσότητας, αποτέλεσμα στο οποίο και άλλοι συγκλίνουν (Varela-Ortega, Sumpsi et al. 1998; Gomez\_Limon, Arriaza et al. 2002; Riesgo and Gomez-Limon 2006; Bartolini, Bazzani et al. 2007; Gallego-Ayala 2012). Επίσης, όπως οι

Balali, et al (2011) επισημαίνουν, καθώς η χρέωση / τιμή του νερού αυξάνεται, τόσο το ύψος του αντλούμενου υπόγειου νερού μειώνεται υπό την ογκομετρική χρέωση. Στην παρούσα εργασία, αυξάνοντας την τιμή κατά 67%<sup>53</sup>, δηλαδή υπό τα φθηνότερα εξεταζόμενα σενάρια, η ποσότητα του νερού μειώνεται από 8% έως 26%. Αντιστοίχως, για τα ακριβότερα σενάρια η αύξηση της τιμής αγγίζει το 108%<sup>54</sup> και η μείωση της κατανάλωσης κυμαίνεται από 9% έως 30%. Ωστόσο, παρά τις μεγάλες αυξήσεις της τιμής, η ποσότητα του νερού μειώνεται ελάχιστα.

Εξετάζοντας την ανταπόκριση των αυξημένων χρεώσεων του νερού στη μείωση της ζητούμενης ποσότητάς του φαίνεται πως μεταξύ των σεναρίων υπάρχει συνέπεια. Πιο συγκεκριμένα, από τον Πίνακα 29 φαίνεται πως τόσο στις φθηνότερες, όσο και στις ακριβότερες περιπτώσεις η κατάταξη των μεθόδων κατά αύξουσα σειρά απαιτήσεων νερού είναι η ίδια. Αναλυτικότερα, η κατ' έκταση χρέωση οδηγεί στη μεγαλύτερη ζήτηση νερού, η διπλή χρέωση με βάση το οριακό κόστος την ακολουθεί και η διπλή χρέωση με βάση το μέσο κόστος και κατ' όγκο χρέωση έπονται. Αξιοσημείωτο, τέλος, είναι ότι σε όλες τις περιπτώσεις η ανά εκτάριο ζητούμενη ποσότητα του νερού είναι μειωμένη σε σύγκριση με το αρχικό σενάριο.

#### 8.2.4.4 Συνολικές απαιτήσεις σε λίπασμα

Η τρίτη στήλη του Πίνακα 29 αναφέρεται στις συνολικές ποσότητες λιπάσματος που χρησιμοποιούνται στην περιοχή μελέτης ανάλογα με τη μέθοδο τιμολόγησης του νερού. Μια πρώτη ματιά δείχνει μείωση της κατανάλωσης λιπάσματος σε όλα τα σενάρια πλην της κατ' έκταση χρέωσης, στην οποία παραμένει στα αρχικά επίπεδα. Αντίστοιχα, μείωση της ποσότητας του λιπάσματος με αύξηση των τιμών του νερού αναφέρεται και από άλλους ερευνητές (Gómez-Limón and Berbel 2000; Gomez\_Limon, Arriaza et al. 2002; Gomez-Limon and Riesgo 2004; Bazzani 2005). Ωστόσο, στα υπόλοιπα σενάρια τιμολόγησης και σύμφωνα με τον Πίνακα 29, οι μειώσεις σε λίπασμα είναι μικρές της τάξης του 1% έως 3%. Επίσης, ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι αν και οι δυο εξεταζόμενες εισροές (λίπασμα και νερό) βαίνουν μειούμενες, εντούτοις δεν υπάρχει συνέπεια στην πτωτική πορεία τους μεταξύ των εξεταζόμενων σεναρίων. Δηλαδή, όταν μειώνεται η ποσότητα του

<sup>53</sup> Από 92,77 €/ha σε 155,17 €/ha στην κατ' έκταση χρέωση και από 0,017 €/m<sup>3</sup> σε 0,028 €/m<sup>3</sup> στην κατ' όγκο.

<sup>54</sup> Από 92,77 €/ha σε 192,98 €/ha στην κατ' έκταση χρέωση και από 0,017 €/m<sup>3</sup> σε 0,035€/m<sup>3</sup> στην κατ' όγκο.



νερού σε ένα σενάριο τιμολόγησης αυτό δε σημαίνει πως μειώνεται και η ποσότητα του λιπάσματος Τέλος, δε μπορεί να εξαχθεί συμπέρασμα συσχέτισης της μειωμένης κατανάλωσης λιπάσματος και της τιμής του νερού, καθώς στις περισσότερες περιπτώσεις οι μειώσεις είναι μεγαλύτερες στα φθηνότερα και όχι στα ακριβότερα σενάρια.

#### 8.2.4.5 Συνεισφορά των αρδευόμενων καλλιεργειών σε νιτρικά

Προχωρώντας στην ανάλυση της τέταρτης στήλης του Πίνακα 29, η οποία αναφέρεται στο ποσοστό των νιτρικών που προέρχονται μόνο από τα αρδευόμενα καλλιεργούμενα είδη ανά μέθοδο τιμολόγησης του αρδευτικού νερού, σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις δείχνει να αυξάνει. Το αποτέλεσμα αυτό αντιτίθεται σε ορισμένους (Gomez-Limon and Riesgo 2004; Gallego-Ayala 2012), οι οποίοι καταλήγουν πως αύξηση της τιμής του νερού συνεπάγεται μείωση του νιτρικού φορτίου. Βεβαίως το αποτέλεσμα της παρούσας εργασίας θα μπορούσε να χαρακτηριστεί παράδοξο κοιτάζοντας μόνο τις συνολικές απαιτήσεις σε νερό και λίπασμα και συνεκτιμώντας την πτωτική τους τάση, όπως κάποιοι αναφέρουν (Gehl, Schmidt et al. 2005; Sun, Hu K. et al. 2012). Ωστόσο, κάτι τέτοιο δε φαίνεται να ισχύει καθώς το ποσοστό των νιτρικών δείχνει να επηρεάζεται έντονα τόσο από τα είδη όσο και από τα εδάφη που καλλιεργούνται. Ο σημαντικός ρόλος των φυτικών ειδών στη διήθηση των νιτρικών επισημαίνεται και από τους Jego, et al. (2008).

Πιο αναλυτικά, η κατ' έκταση χρέωση του νερού παρουσιάζει τις μεγαλύτερες αυξήσεις στη συνεισφορά των νιτρικών της τάξης του 27% με 28% στην ακριβότερη και φθηνότερη περίπτωση αντίστοιχα. Οι αυξήσεις αυτές οφείλονται στην αύξηση αφενός των συνολικών νιτρικών και αφετέρου της συνολικής διήθησης που παράγονται στην περιοχή μελέτης και κατά κύριο λόγο προκύπτουν από την καλλιέργεια μηδικής στο ιλυοπηλώδες έδαφος έναντι του αργιλοπηλώδους στο βασικό σενάριο.

Όσον αφορά στη διπλή χρέωση με βάση το μέσο κόστος, αυτή παρουσιάζει αυξήσεις του ποσοστού των νιτρικών των αρδευόμενων καλλιεργειών κατά 3% και 15% στη φθηνότερη και ακριβότερη εκδοχή. Όπως και στο προηγούμενο σενάριο έτσι και σε αυτό, υπάρχει αύξηση της συνολικής ποσότητας των νιτρικών και της συνολικής διήθησης. Στη μεν φθηνότερη περίπτωση, η αύξηση δείχνει να οφείλεται κυρίως στην αύξηση της έκτασης της μηδικής και στην καλλιέργειά της στο

ιλυοπηλώδες έδαφος. Στη δε ακριβότερη, η προαναφερόμενη αύξηση αιτιολογείται περισσότερο από την αύξηση της καλλιέργειας βαμβακιού στο ιλυοπηλώδες έδαφος και λιγότερο στην αύξηση της έκτασης της καλλιέργειας μηδικής.

Ακολούθως, το σενάριο της διπλής χρέωσης με βάση το οριακό κόστος παρουσιάζει αυξήσεις του ποσοστού των νιτρικών των αρδευόμενων ειδών και στις δυο εκδοχές του κατά 15%. Οι προαναφερόμενες αυξήσεις οφείλονται στις αυξημένες τιμές της συνολικής διήθησης και νιτρικών στην περιοχή μελέτης. Και στο σενάριο αυτό, υπαίτια των αυξήσεων παραμένει η καλλιέργεια μεγαλύτερων εκτάσεων μηδικής και μάλιστα σε ιλυοπηλώδες έδαφος.

Το τελευταίο σενάριο, που αφορά στην ογκομετρική χρέωση, για μεν τη μικρότερη τιμή παρουσιάζει αύξηση (18%) της συνεισφοράς των αρδευόμενων σε νιτρικά και για δε τη μεγαλύτερη μείωση (6%). Στη φθηνότερη εκδοχή, δηλαδή, η αύξηση οφείλεται σε αντίστοιχες αυξήσεις του συνολικού νιτρικού φορτίου και διήθησης εξαιτίας της καλλιέργειας περισσότερης μηδικής σε ιλυοπηλώδες έδαφος. Στην ακριβότερη περίπτωση, η πτώση αιτιολογείται αφενός από μείωση του συνολικού νιτρικού φορτίου και αφετέρου αύξηση της συνολικής διήθησης. Αυτές κατά κύριο λόγο οφείλονται στη μείωση της έκτασης των ξηρικών και της καλλιέργειάς τους στο αργιλοπηλώδες έδαφος και στην αύξηση των εκτάσεων βαμβακιού και μηδικής στο ιλυοπηλώδες έδαφος που παρουσιάζει μεγαλύτερη διήθηση.

Συνοψίζοντας τις ανωτέρω περιπτώσεις, φαίνεται πως ανάμεσα στα ακριβότερα και φθηνότερα σενάρια δεν υπάρχει συνέπεια ως προς την κατάταξή τους κατά φθίνουσα σειρά με βάση τη συνεισφορά σε νιτρικά.

#### 8.2.4.6 Υδατικό ισοζύγιο

Η πέμπτη στήλη του Πίνακα 29 αφορά στη σύνοψη των αποτελεσμάτων του υδατικού ισοζυγίου για το εκάστοτε σενάριο τιμολόγησης του αρδευτικού νερού. Ως φαίνεται για τις περισσότερες περιπτώσεις είναι πλεονασματικό ή ελαφρά ελλειμματικό, με μόνη εξαίρεση την κατ' έκταση χρέωση του νερού, για την οποία το υδατικό ισοζύγιο είναι έντονα ελλειμματικό.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση του κατ' έκταση σεναρίου, καθώς αποτελεί το μόνο στο οποίο παρατηρείται αύξηση του ελλείμματος κατά 34% και 23% στο φθηνότερο και ακριβότερο σενάριο αντίστοιχα. Η παραπάνω

παρατήρηση αποκτά μεγαλύτερη σημασία κοιτάζοντας τις απαιτήσεις σε νερό που μειώνονται κατά 8% και 9% αντιστοίχως. Ωστόσο, το μεγαλύτερο έλλειμμα οφείλεται κυρίως σε δυο παράγοντες. Αφενός στην αυξημένη εξατμισοδιαπνοή κυρίως λόγω επέκτασης της καλλιέργειας μηδικής κατά 20%, και αφετέρου στη μεγαλύτερη συνολική διήθηση στην περιοχή μελέτης, αυξήσεις που φαίνεται πως δεν αντισταθμίζονται από τις μειωμένες απαιτήσεις σε νερό.

Στην περίπτωση της διπλής χρέωσης με βάση το μέσο κόστος, το ισοζύγιο για τη μεν φθηνότερη εκδοχή είναι πλεονασματικό, για τη δε ακριβότερη είναι ελαφρά ελλειμματικό. Μάλιστα, η μείωση του ελλείμματος είναι αντιστρόφως ανάλογη της αύξησης της τιμής του νερού. Αυτό αιτιολογείται από τη μεγαλύτερη μείωση της συνολικής εξατμισοδιαπνοής στην περίπτωση της φθηνότερης έναντι της ακριβότερης χρέωσης. και τη μεγαλύτερη αύξηση της βαθιάς διήθησης στο ακριβότερο σενάριο έναντι του φθηνότερου.

Όσον αφορά στη διπλή χρέωση με βάση το οριακό κόστος το ισοζύγιο είναι ελαφρά ελλειμματικό και στις δύο εκδοχές. Μελετώντας τα επιμέρους στοιχεία υπολογισμού του ισοζυγίου, η παραπάνω εικόνα αιτιολογείται από τη μείωση της συνολικής εξατμισοδιαπνοής και την ταυτόχρονη αύξηση της συνολικής διήθησης στις παραπάνω περιπτώσεις έναντι του αρχικού σεναρίου. Επίσης, από τον Πίνακα 29 φαίνεται πως η μείωση του ελλείμματος είναι ανάλογη της αύξησης της τιμής του νερού.

Τέλος, για την ογκομετρική χρέωση το υδατικό ισοζύγιο παρουσιάζει πλεόνασμα και μάλιστα για τη μεγαλύτερη τιμή του νερού είναι εντονότερο. Αυτό οφείλεται στη μειωμένη συνολική εξατμισοδιαπνοή και βαθιά διήθηση του ακριβότερου σεναρίου σε σχέση με το φθηνότερο.

Συγκεντρώνοντας τα παραπάνω αποτελέσματα και συγκρίνοντάς τα με τα αντίστοιχα της δεύτερης στήλης, σχετικά με τις συνολικές απαιτήσεις σε νερό, δεν υπάρχει συνέπεια ως προς την κατάταξη των μεθόδων τιμολόγησης κατά φθίνουσα σειρά. Επίσης, έλλειψη συνέπειας ως προς τη φθίνουσα κατάταξη του υδατικού ισοζυγίου εμφανίζουν οι μέθοδοι χρέωσης ανάμεσα στα ακριβότερα και φθηνότερα σενάρια των διπλών χρεώσεων με βάση το οριακό και μέσο κόστος.

#### 8.2.4.7 Δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα

Η έκτη κατά σειρά στήλη του Πίνακα 29 αφορά στην απορρόφηση του διοξειδίου του άνθρακα από την ατμόσφαιρα. Στη μεταβολή του μεγέθους αυτού ανά μέθοδο τιμολόγησης ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι στα φθηνότερα εξεταζόμενα σενάρια παρατηρείται μείωση του απορροφούμενου διοξειδίου του άνθρακα κατά 1% έως 2%. Αντιθέτως, αυξήσεις των χρεώσεων οδηγούν σε μικρές αυξήσεις της απορρόφησης έως και 1%. Ωστόσο, οι αυξομειώσεις αυτές μπορεί να θεωρηθούν αμελητέες και κυρίως οφείλονται στις διαφορετικές ποσότητες εισροών και καλλιεργούμενων εκτάσεων, που τα διάφορα σενάρια χρησιμοποιούν.

#### 8.2.4.8 Έκλυση αμμωνίας

Η ποσότητα της αμμωνίας που εκλύεται στην περιοχή μελέτης ανα εξεταζόμενο σενάριο τιμολόγησης του αρδευτικού νερού δίνεται στην έβδομη στήλη του Πίνακα 29. Μια προσεκτική ματιά του μεγέθους αυτού δείχνει πως δε διαπιστώνεται συνέπεια ως προς την κατάταξη των μεθόδων κατά αύξουσα εκλυόμενη ποσότητα αμμωνίας μεταξύ φθηνότερων και ακριβότερων σεναρίων, παρά μόνο στην περίπτωση της κατ' όγκο χρέωσης του νερού. Εξίσου ενδιαφέρον παρουσιάζει το ότι φθηνότερες χρεώσεις του νερού οδηγούν σε μείωση της εκλυόμενης ποσότητας αμμωνίας. Αντιθέτως αύξηση των χρεώσεων οδηγεί άλλοτε σε έκλυση μεγαλύτερων και άλλοτε μικρότερων ποσοτήτων. Οι αυξομειώσεις αυτές οφείλονται τόσο στις διαφορετικές ποσότητες εισροών, όσο και καλλιεργούμενων εκτάσεων μεταξύ των διαφορετικών σεναρίων τιμολόγησης του νερού. Επομένως η εξαγωγή γενικευμένων συμπερασμάτων σχετικά με τη σχέση χρέωσης νερού και έκλυσης αμμωνίας, καθίσταται δύσκολη.

#### 8.2.4.9 Ανάκτηση κόστους

Υπολογίζοντας το ποσοστό ανάκτησης του κόστους για τις διάφορες μεθόδους τιμολόγησης του νερού, προκύπτουν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 30.

Πίνακας 30 Ποσοστό ανάκτησης κόστους ανά εξεταζόμενο σενάριο τιμολόγησης

Σενάρια	Ποσοστό ανάκτησης κόστους	
	Φθηνότερο σενάριο	Ακριβότερο σενάριο
<i>Αρχικό</i>	56,2%	45,2%
<i>Κατ' έκταση</i>	95,1%	94,2%
<i>Διπλή χρέωση – Οριακό κόστος</i>	89,7%	90,2%
<i>Διπλή χρέωση – Μέσο κόστος</i>	97,9%	97,4%
<i>Ογκομετρική χρέωση</i>	91,8%	87,8%

Πηγή: Υπολογισμοί βάσει των αποτελεσμάτων του μοντέλου

Παρατήρηση του Πίνακα 30 δείχνει εξαιρετικά χαμηλά ποσοστά ανάκτησης κόστους υπό το αρχικό σενάριο τιμολόγησης, που αγγίζουν μόλις το 45% με 55% για το ακριβότερο και φθηνότερο κόστος νερού αντιστοίχως. Αντιθέτως συνεκτίμηση του συνολικού κόστους του νερού στον καθορισμό των χρεώσεών του, φαίνεται να οδηγεί σε αρκετά υψηλά ποσοστά ανάκτησής του, που κυμαίνονται από 88% έως 98%.

Αναλυτικότερα, η χρέωση του νερού που συνεπάγεται τη μεγαλύτερη ανάκτηση κόστους είναι η διπλή με βάση το μέσο κόστος. Ωστόσο, όταν η τιμή του νερού γίνεται μεγαλύτερη το ποσοστό ανάκτησης παρουσιάζει μικρή μείωση. Στο αμέσως μικρότερο ποσοστό ανάκτησης οδηγεί η κατ' έκταση χρέωση. Όσον αφορά τις άλλες δύο μεθόδους τιμολόγησης δεν παρουσιάζουν ενιαία εικόνα ως προς την ανάκτηση μεταξύ στις φθηνότερες και ακριβότερες εκδοχές τους. Αναλυτικότερα, στα φθηνότερα σενάρια, η κατ' όγκο τιμολόγηση οδηγεί σε υψηλότερο ποσοστό ανάκτησης έναντι της διπλής με βάση το οριακό κόστος, εικόνα που αντιστρέφεται στα ακριβότερα σενάρια. Τέλος, οι Ward & Pulido-Velazquez (2009) αναφέρουν πως η ογκομετρική τιμολόγηση με βάση το οριακό κόστος είναι περισσότερο αποτελεσματική στην ανάκτηση του κόστους.

#### 8.2.4.10 Δείκτες ελαστικότητας εξοικονόμησης νερού και ανάκτησης κόστους

Υπολογίζοντας τις ελαστικότητες εξοικονόμησης νερού και ανάκτησης κόστους για τις εξεταζόμενες μεθόδους τιμολόγησης του νερού, προκύπτουν οι τιμές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 31 που ακολουθεί.

Πίνακας 31 Ελαστικότητα εξοικονόμησης νερού και ανάκτησης κόστους ανά μέθοδο τιμολόγησης του νερού

Σενάρια		Ελαστικότητα Εξοικονόμησης Νερού	Ελαστικότητα Ανάκτησης Κόστους
Φθηνότερα	Κατ' έκταση	0,49	3,12
	Διπλή χρέωση –Οριακό κόστος	2,90	11,23
	Διπλή χρέωση – Μέσο κόστος	2,44	9,05
	Κατ' όγκο	1,73	2,73
Ακριβότερα	Κατ' έκταση	0,44	3,39
	Διπλή χρέωση –Οριακό κόστος	1,53	7,80
	Διπλή χρέωση – Μέσο κόστος	0,97	3,81
	Κατ' όγκο	1,80	3,30

Πηγή: Υπολογισμοί βάσει των αποτελεσμάτων του μοντέλου

Εξετάζοντας το δείκτη της ελαστικότητας εξοικονόμησης νερού για τα μεν φθηνότερα σενάρια φαίνεται πως η διπλή χρέωση με βάση το οριακό κόστος είναι η πλέον αποδοτική. Αυτό σημαίνει πως θυσιάζοντας μόλις 1 € εξοικονομούνται 2,90 m<sup>3</sup> νερού. Ανάμεσα στα δε ακριβότερα σενάρια τη μεγαλύτερη εξοικονόμηση νερού επιφέρει η ογκομετρική χρέωση. Ωστόσο, και στις δυο εκδοχές –ακριβότερες και φθηνότερες- η λιγότερο αποδοτική είναι η κατ' έκταση χρέωση. Τέλος, ενδιαφέρον είναι ότι όσο αυξάνουν οι χρεώσεις, μειώνεται η ελαστικότητα εξοικονόμησης και άρα η αποδοτικότητα εξοικονόμησης νερού όλων των μεθόδων πλην της ογκομετρικής, που παρουσιάζει αντίστροφη εικόνα. Η τάση αυτή της κατ' όγκο τιμολόγησης συγκλίνει με τα αποτελέσματα των Kampas, *et al.* (2012).

Όσον αφορά στην ελαστικότητα ανάκτησης κόστους, για κάθε μονάδα ακαθάριστου κέρδους που θυσιάζεται, η ανάκτηση του κόστους αυξάνεται κατά 3% έως 11%. Τόσο για τα φθηνότερα όσο και για τα ακριβότερα σενάρια, η μεγαλύτερη αύξηση του ποσοστού ανάκτησης κόστους υφίσταται στη διπλή χρέωση με βάση το οριακό κόστος. Αντιθέτως, η μικρότερη αύξηση του ποσοστού ανάκτησης προκύπτει από την ογκομετρική τιμολόγηση. Γενικά, φαίνεται να υπάρχει αντιστοιχία στην κατάταξη των μεθόδων τιμολόγησης με βάση την ελαστικότητα ανάκτησης κόστους μεταξύ φθηνότερων και ακριβότερων σεναρίων. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως για

τις δυο εξεταζόμενες ελαστικότητες, οι μέθοδοι τιμολόγησης δεν παρουσιάζουν την ίδια κατάταξη ούτε στα φθηνότερα, ούτε στα ακριβότερα σενάρια.

### 8.2.5 Ανάλυση ευαισθησίας

Ωστόσο, ενδιαφέρον παρουσιάζει η εξέταση των αποτελεσμάτων του οικονομικού μοντέλου στις τροποποιήσεις των περιορισμών του. Όσοι αφορούν τις καλλιεργούμενες εκτάσεις χρησιμοποιούνται για να εκφράσουν άλλοτε την ακολουθούμενη αμειψισπορά και άλλοτε τις παραγωγικές ζώνες και ως εκ τούτου δε μπορούν να τροποποιηθούν. Ο μόνος περιορισμός που επιδέχεται αλλαγής αποτελεί το περιθώριο αύξησης της καλλιέργειας μηδικής συγκριτικά με την αρχική έκταση που αυτή καταλαμβάνει. Συγκεκριμένα, εξετάζονται οι περιπτώσεις αύξησης των εκτάσεων αυτών το πολύ κατά 10% ή 15%, έναντι του 20% που ισχύει στην παρούσα έρευνα. Τα αποτελέσματα του οικονομικού μοντέλου για τα εξεταζόμενα σενάρια υπό τα νέα περιθώρια αύξησης της μηδικής παρουσιάζονται στους Πίνακες 32, 33 και 34.

Πίνακας 32 Σύνοψη αποτελεσμάτων οικονομικού μοντέλου υπό διαφορετικές μεθόδους τιμολόγησης του νερού και αύξηση μηδικής κατά 10%

Σενάρια	Συνολικό ακαθάριστο κέρδος σε εκατ. €	% αλλαγή	Συνολικές απαιτήσεις σε νερό σε εκατ. m <sup>3</sup>	% αλλαγή	Συνολικές απαιτήσεις σε λίπασμα σε εκατ. kgr	% αλλαγή	Συνεισφορά αρδευόμενων καλλιεργειών σε νιτρικά	% αλλαγή	Υδατικό ισοζύγιο σε εκατ. m <sup>3</sup>	% αλλαγή	Δέσμευση CO <sub>2</sub> σε εκατ. kgr	% αλλαγή	Έκλυση NH <sub>3</sub> σε εκατ. kgr	% αλλαγή
Αρχικό	18,19		116,13		2,05		28,44%		-5,08		17,04		0,61	
Φθηνότερο	Κατ' έκταση	-15%	106,25	-9%	2,05	0%	35,68%	25%	-6,35	25%	-16,97	0%	0,58	-4%
	Διπλή χρέωση – Οριακό κόστος	-4%	102,29	-12%	2,00	-2%	31,83%	12%	-0,38	-93%	-16,79	-2%	0,58	-5%
	Διπλή χρέωση – Μέσο κόστος	-6%	99,52	-14%	2,00	-3%	31,86%	12%	0,85	-117%	-16,90	-1%	0,59	-4%
	Κατ' όγκο	-16%	84,85	-27%	2,01	-2%	32,76%	15%	3,97	-178%	-16,90	-1%	0,60	-1%
Ακριβότερο	Κατ' έκταση	-19%	106,25	-9%	2,05	0%	35,68%	25%	-6,35	25%	-16,97	0%	0,58	-4%
	Διπλή χρέωση – Οριακό κόστος	-9%	101,05	-13%	2,01	-2%	31,74%	12%	0,14	-103%	-17,04	0%	0,59	-3%
	Διπλή χρέωση – Μέσο κόστος	-20%	93,25	-20%	2,04	-1%	33,57%	18%	-0,13	-98%	-16,83	-1%	0,60	-2%
	Κατ' όγκο	-20%	79,59	-31%	2,00	-3%	32,35%	14%	6,53	-229%	-16,96	0%	0,61	-1%

Πηγή: Λύση οικονομικού μοντέλου



Πίνακας 33 Σύνοψη αποτελεσμάτων οικονομικού μοντέλου υπό διαφορετικές μεθόδους τιμολόγησης του νερού και αύξηση μηδικής κατά 15%

Σενάρια	Συνολικό ακαθάριστο κέρδος σε εκατ. €	% αλλαγή	Συνολικές απαιτήσεις σε νερό σε εκατ. m <sup>3</sup>	% αλλαγή	Συνολικές απαιτήσεις σε λίπασμα σε εκατ. kgr	% αλλαγή	Συνεισφορά αρδευόμενων καλλιεργειών σε νιτρικά	% αλλαγή	Υδατικό ισοζύγιο σε εκατ. m <sup>3</sup>	% αλλαγή	Δέσμευση CO <sub>2</sub> σε εκατ. kgr	% αλλαγή	Έκλυση NH <sub>3</sub> σε εκατ. kgr	% αλλαγή	
Αρχικό	18,19		116,13		2,05		28,44%		-5,08		17,04		0,61		
Φθινότερο	Κατ' έκταση	15.40	-15%	106.66	-8%	2.05	0%	35.89%	26%	-5,25	3%	-17.02	0%	0.58	-5%
	Διπλή χρέωση – Οριακό κόστος	17.38	-4%	103.22	-11%	2.03	-1%	33.94%	19%	-0,81	-84%	-16.73	-2%	0.58	-5%
	Διπλή χρέωση – Μέσο κόστος	17.14	-6%	100.36	-14%	2.00	-3%	32.24%	13%	0,34	-107%	-16.79	-1%	0.57	-6%
	Κατ' όγκο	15.23	-16%	85.12	-27%	2.01	-2%	33.14%	17%	3,82	-175%	-16.90	-1%	0.60	-2%
Ακριβότερο	Κατ' έκταση	14.79	-19%	106.66	-8%	2.05	0%	36.04%	27%	-6,56	29%	-16.96	0%	0.58	-5%
	Διπλή χρέωση – Οριακό κόστος	16.66	-8%	101.48	-13%	2.01	-2%	32.21%	13%	-0,03	-99%	-17.04	0%	0.59	-3%
	Διπλή χρέωση – Μέσο κόστος	14.60	-20%	93.56	-19%	2.04	-1%	33.92%	19%	-0,28	-94%	-16.83	-1%	0.59	-3%
	Κατ' όγκο	14.94	-18%	81.35	-30%	1.99	-3%	26.68%	-6%	6,58	-230%	-17.13	0%	0.63	3%

Πηγή: Λύση οικονομικού μοντέλου

Πίνακας 34 Ποσοστό ανάκτησης κόστους ανά εξεταζόμενη μέθοδο τιμολόγησης και αύξηση της μηδικής κατά 10% και 15%

Σενάρια		Ποσοστό ανάκτησης κόστους	
		Αύξηση μηδικής κατά <b>10%</b>	Αύξηση μηδικής κατά <b>15%</b>
<b>Φθηνότερο</b>	Κατ' έκταση	94,3%	94,7%
	Διπλή χρέωση – Οριακό κόστος	89,4%	89,6%
	Διπλή χρέωση – Μέσο κόστος	97,6%	98,0%
	Κατ' όγκο	89,7%	90,0%
<b>Ακριβότερο</b>	Κατ' έκταση	94,3%	94,7%
	Διπλή χρέωση – Οριακό κόστος	89,8%	90,0%
	Διπλή χρέωση – Μέσο κόστος	96,9%	97,2%
	Κατ' όγκο	84,5%	86,4%

Πηγή: Υπολογισμοί βάσει λύσης οικονομικού μοντέλου

Παρατηρώντας την πρώτη στήλη των Πινάκων 32 και 33 που αφορά στα αποτελέσματα του ακαθάριστου κέρδους για αύξηση της μηδικής έως 10% και 15% αντίστοιχα, φαίνεται πως κατ' απόλυτη τιμή το ακαθάριστο κέρδος είναι μεγαλύτερο στην περίπτωση της κατά 20% αύξησης της καλλιέργειας για τα φθηνότερα εξεταζόμενα σενάρια. Επίσης, η κατάταξη των φθηνότερων μεθόδων κατά φθίνουσα πορεία του ακαθάριστου κέρδους παραμένει η ίδια για όλες τις αυξήσεις της μηδικής. Αντιθέτως, στην περίπτωση των ακριβότερων χρεώσεων και υπό τις προαναφερόμενες αλλαγές των περιορισμών, δεν υφίσταται καμία συνέπεια στην κατάταξη μεταξύ των μεθόδων, παρά μόνο για τη διπλή χρέωση με βάση το οριακό κόστος. Εξίσου ενδιαφέρουσα είναι και η παρατήρηση για τα ακριβότερα σενάρια πως το ακαθάριστο κέρδος κατά απόλυτη τιμή είναι μεγαλύτερο για 20% αύξηση για όλες τις μεθόδους πλην της διπλής με βάση το οριακό κόστος. Υπό την τελευταία αναφερόμενη χρέωση η παραπάνω εικόνα αντιστρέφεται γεγονός που αιτιολογείται από την μεγαλύτερη ποσότητα του νερού που απαιτείται στις περιπτώσεις 10% και 15% έναντι της 20%.

Επιπλέον, η σύγκριση των αποτελεσμάτων του Πίνακα 29 με τους Πίνακες 32 και 33 που αποτυπώνουν τα διαφορετικά περιθώρια αύξησης (κατά 10% και 15%) της καλλιέργειας μηδικής, δείχνουν πως η κατάταξη των μεθόδων τιμολόγησης του

νερού κατά φθίνουσα πορεία κατανάλωσης νερού παραμένει η ίδια για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια. Αντιθέτως, η σύγκριση των απαιτήσεων σε νερό κατ' απόλυτη τιμή μεταξύ των παραπάνω περιπτώσεων, δε παρουσιάζει ενιαία τάση για όλες τις χρεώσεις του νερού.

Προχωρώντας στην περίπτωση του λιπάσματος αξιοπρόσεκτο είναι το ότι υπό τους περιορισμούς της 10% και 15% αύξησης της καλλιέργειας μηδικής η κατ' έκταση χρέωση καταναλώνει σταθερά την ίδια ποσότητα λιπάσματος με το βασικό σενάριο και με το αντίστοιχο σενάριο του 20%. Ακόμη, μελετώντας τα ποσοστά μείωσης της ποσότητας του λιπάσματος, φαίνεται να είναι ίδια για όλα τα περιθώρια αύξησης της μηδικής. Μόνη εξαίρεση αποτελεί η διπλή χρέωση με βάση το οριακό κόστος, όπου τα επίπεδα των μειώσεων είναι αντιστρόφως ανάλογα των αυξήσεων της έκτασης της μηδικής. Τέλος, σύγκριση των ποσοτήτων του νερού και του λιπάσματος δείχνει πως αύξηση των πρώτων συνεπάγεται αύξηση των δεύτερων για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια και σε όλες τις περιπτώσεις αύξησης της μηδικής. Κάτι τέτοιο φαίνεται συνεπές με τα αποτελέσματα των Gehl, et al. (2005).

Επίσης, αν επιτρέψουμε στο μοντέλο να αυξήσει τη καλλιέργεια της μηδικής κατά 10%, και 15% και συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με τα αντίστοιχα του Πίνακα 29 (20% αύξηση μηδικής) για το μέγεθος της συνεισφοράς των νιτρικών από τις αρδευόμενες καλλιέργειες, προκύπτει συνέπεια μόνο ως προς την εικόνα της κατ' έκταση χρέωσης. Ωστόσο, σε καμία από τις παραπάνω εξεταζόμενες περιπτώσεις δεν υπάρχει συνέπεια μεταξύ της συνεισφοράς σε νιτρικά και των απαιτούμενων ποσοτήτων σε νερό και λίπασμα. Το γεγονός αυτό δείχνει πως η διήθηση νιτρικών εξαρτάται και από άλλους παράγοντες, ανάμεσα στους οποίους τα χαρακτηριστικά του εδάφους, ο χρόνος εφαρμογής και ο τύπος του χρησιμοποιούμενου λιπάσματος, το καλλιεργητικό πρότυπο, τα κλιματολογικά δεδομένα, η διαχείριση του εδάφους (π.χ. αμειψισπορά, προσθήκη κοπριάς, το καλλιεργούμενο είδος), το σύστημα άρδευσης, κ.ά., όπως πολλοί (Moreno, Cayuela et al. 1996; Acutis, Ducco et al. 2000; Martinez and Albiac 2004; Li, Farahbakhshazad et al. 2006; Barros, Isidoro et al. 2012) αναφέρουν.

Όσον αφορά στα αποτελέσματα του υδατικού ισοζυγίου όταν η καλλιέργεια της μηδικής αυξάνεται κατά 10% και 15%, οι μέθοδοι φαίνεται να παρουσιάζουν ακριβώς την ίδια φθίνουσα κατάταξη στα φθηνότερα σενάρια. Επίσης, όμοια κατάταξη εμφανίζουν τα ακριβότερα σενάρια μεταξύ τους, που όμως διαφέρει από την αντίστοιχη των φθηνότερων περιπτώσεων. Παρά ταύτα, δεν εξάγεται

συμπέρασμα μονότονης τάσης του υδατικού ισοζυγίου μεταξύ φθηνότερων και ακριβότερων περιπτώσεων. Δηλαδή, αύξηση των χρεώσεων δε σημαίνει απαραίτητα αύξηση ή μείωση του ισοζυγίου για όλα τα σενάρια, αλλά η εικόνα ποικίλει αναλόγως του σεναρίου. Τέλος, ασυνέπεια εμφανίζεται στη σύγκριση του υδατικού ισοζυγίου με τις απαιτήσεις σε νερό μεταξύ των φθηνότερων και ακριβότερων σεναρίων, όπου μείωση των δεύτερων δε συνεπάγεται αύξηση του ισοζυγίου σε όλες τις περιπτώσεις. Το γεγονός αυτό δείχνει πως ο υπολογισμός του ισοζυγίου είναι πολυσύνθετος και εξαρτάται όχι μόνο από την εφαρμοζόμενη ποσότητα του νερού, αλλά και το είδος των καλλιεργειών, το καλλιεργητικό πρότυπο, τον τρόπο και τη συχνότητα άρδευσης, τα κλιματολογικά δεδομένα, κ.ά.

Από τα αποτελέσματα των Πινάκων 32 και 33 που αφορούν σε αύξηση των καλλιεργειών μηδικής κατά 10% και 15% αντιστοίχως και αφορούν στη δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα δείχνουν πως δεν υπάρχει σταθερή σχέση μεταξύ της ποσότητας του διοξειδίου του άνθρακα και της αύξησης της καλλιέργειας μηδικής τόσο στα ακριβότερα όσο και στα φθηνότερα σενάρια. Επίσης, ενώ αύξηση των χρεώσεων συνεπάγεται αύξηση της δεσμευόμενης ποσότητας διοξειδίου στην περίπτωση του 20%, κάτι τέτοιο δεν ισχύει για τις 10% και 15% αυξήσεις της μηδικής.

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων για τα επίπεδα της εκλυόμενης ποσότητας αμμωνίας δείχνει έλλειψη μονότονης σχέσης με τις αυξήσεις των εκτάσεων της μηδικής ανά μέθοδο τιμολόγησης του νερού. Παρά ταύτα, αύξηση των χρεώσεων συνεπάγεται αύξηση της ποσότητας της αμμωνίας σε όλα τα εξεταζόμενα περιθώρια αύξησης της μηδικής (10%, 15 % και 20%).

Τέλος, προσεγγίζοντας την εικόνα του ποσοστού ανάκτησης κόστους του νερού το μέγεθος αυτό παρουσιάζει ίδια ακριβώς κατάταξη τόσο στα φθηνότερα όσο και στα ακριβότερα σενάρια παρά τις όποιες αυξήσεις της μηδικής.

#### 8.2.6 Σύνοψη αποτελεσμάτων

Συγκεντρώνοντας τα παραπάνω αποτελέσματα και προχωρώντας ένα βήμα παραπέρα, γίνεται προσπάθεια εντοπισμού των επιπτώσεων που μπορεί η υιοθέτηση των διαφορετικών σεναρίων τιμολόγησης του αρδευτικού νερού να έχει στην οικονομία, την κοινωνία και το περιβάλλον.

Όπως από τα ανωτέρω προκύπτει, η μέθοδος τιμολόγησης που οδηγεί τους γεωργούς στην εξεταζόμενη περιοχή στη μικρότερη δυνατή μείωση του εισοδήματός τους, με βάση το συνολικό ακαθάριστο κέρδος, είναι η διπλή χρέωση με βάση το οριακό κόστος. Η υιοθέτηση οποιουδήποτε άλλου σεναρίου οδηγεί σε μεγαλύτερες μειώσεις των εσόδων τους, χωρίς όμως να μπορεί να υπάρξει σαφής εικόνα, καθώς οι μέθοδοι παρουσιάζουν διαφορές ανάμεσα στα ακριβότερα και φθηνότερα σενάρια. Επίσης, ως προς το ποσοστό ανάκτησης κόστους η διπλή χρέωση με βάση το μέσο κόστος φαίνεται πως οδηγεί στη μεγαλύτερη δυνατή ανάκτηση.

Επιπλέον, θέτοντας την εξοικονόμηση του νερού ως προαπαιτούμενο, η κατ' όγκο χρέωση δείχνει η ιδανικότερη, μιας και δαπανά τις μικρότερες ποσότητες και μάλιστα η κατανάλωση μειώνεται εντονότερα με την αύξηση της τιμής του νερού. Αντιθέτως, η κατ' έκταση μέθοδος οδηγεί σε χρησιμοποίηση μεγαλύτερων ποσοτήτων νερού και όσο ακριβή κι αν γίνει, τόσο μικρότερες είναι οι μειώσεις της κατανάλωσης.

Όσον αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των διάφορων μεθόδων τιμολόγησης του νερού δεν είναι δυνατό να εξαχθεί ενιαία εικόνα. Αναλυτικότερα, με βάση τη συνεισφορά των αρδευόμενων καλλιεργειών σε νιτρικά, τη μεγαλύτερη επιβάρυνση δίνει η κατ' έκταση χρέωση, κάτι που συνάδει με τις μεγαλύτερες ποσότητες νερού και λιπάσματος που υπό αυτή απαιτούνται. Επιπλέον, από τα αποτελέσματα της δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα δεν εξάγονται συμπεράσματα που να επιτρέπουν το χαρακτηρισμό μιας μεθόδου ως καλύτερης έναντι άλλης, καθώς οι διαφορές μεταξύ των σεναρίων είναι πολύ μικρές. Ακόμη ένα σημείο που ισχυροποιεί την άποψη περί ασυνέπειας μεταξύ των περιβαλλοντικών δεικτών είναι πως η έκλυση μεγαλύτερων ποσοτήτων αμμωνίας συμβαίνει στο κατ' όγκο σενάριο.

Τέλος, ελέγχοντας τον τρόπο υπολογισμού των τιμών του νερού για τα διάφορα σενάρια χρέωσής του, φαίνεται πως η πλέον εύκολα εφαρμόσιμη και κατανοητή είναι η κατ' έκταση. Αντιθέτως, η πιο περίπλοκη και δυσνόητη είναι η διπλή χρέωση με βάση το οριακό κόστος, καθώς ο υπολογισμός του τελευταίου θεωρείται εξαιρετικά επίπονος.

### **8.3 Επίλογος**

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα της επίλυσης του οικονομικού μοντέλου για τις διάφορες μεθόδους τιμολόγησης του αρδευτικού νερού, δεν είναι δυνατή η εξαγωγή ενιαίων συμπερασμάτων. Αφενός, μελετώντας τα επιμέρους αποτελέσματα ανά μέθοδο χρέωσης φαίνεται να παρουσιάζουν διαφορετική εικόνα για κάθε εξεταζόμενο δείκτη. Αφετέρου εξίσου ασυνεπής είναι η κατάταξη του κάθε σεναρίου ανάμεσα στην ακριβότερη και φθηνότερη εκδοχή του. Διαπιστώνεται, λοιπόν, πως αναλόγως με το στόχο που τίθεται κάθε φορά θα πρέπει να ακολουθείται και η κατάλληλη μέθοδος χρέωσης που θα τον επιτύχει.

## Κεφάλαιο 9. Συμπερασματα

### 9.1 Εισαγωγή

Με δεδομένο το ότι δεν είναι δυνατό να εξαχθεί ενιαία εικόνα για τις μεθόδους τιμολόγησης του νερού, σημαντική κρίνεται η σύγκρισή τους με βάση διάφορα κριτήρια. Τα πλέον ενδιαφέροντα εξ αυτών θεωρούνται η ανάκτηση του κόστους, η οικονομική αποτελεσματικότητα, η περιβαλλοντική αποτελεσματικότητα και η ευκολία κατανόησης και εφαρμογής. Επιπλέον, επιχειρείται η αντιπαραβολή των ανωτέρω συμπερασμάτων με τα αντίστοιχα θεωρητικά του Κεφαλαίου 4. Τέλος, όλα τα παραπάνω αναμένεται να αποτελέσουν έναυσμα για περαιτέρω έρευνα.

### 9.2 Σύγκριση μεθόδων τιμολόγησης αρδευτικού νερού

Όπως από το Κεφάλαιο 8 φαίνεται, τα αποτελέσματα εφαρμογής των διαφορετικών σεναρίων τιμολόγησης του νερού ποικίλουν ανά εξεταζόμενο δείκτη. Ως εκ τούτου η σύγκριση των χρεώσεων επιχειρείται με βάση ορισμένα κριτήρια, μεταξύ των οποίων η οικονομική και περιβαλλοντική αποτελεσματικότητα, η ανάκτηση του κόστους και η ευκολία εφαρμογής και κατανόησης. Μέσω αυτών επιχειρείται η κατάταξη των μεθόδων τιμολόγησης με βάση την καταλληλότητά τους για την επίτευξη του ενός ή του άλλου στόχου. Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα της παρούσας ο Πίνακας 35 συνοψίζει τα συμπεράσματα της συσχέτισης των μεθόδων και των στόχων.

Πίνακας 35 Πραγματική συσχέτιση μεθόδων τιμολόγησης αρδευτικού νερού και στόχων

<b>Στόχος</b>  <b>Μέθοδος τιμολόγησης</b>	<i>Ανάκτηση κόστους</i>	<i>Περιβαλλοντική αποτελεσματικότητα (εξοικονόμηση νερού)</i>	<i>Οικονομική αποτελεσματικότητα (ορθολογική κατανομή πόρων)</i>	<i>Ευκολία εφαρμογής και κατανόησης</i>
<b>1. Ογκομετρικές</b>				
<i>1.1. Με ενιαία τιμή:</i>				
1.1.1. Κατ' όγκο	ΜΕΤΡΙΑ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΕΥΚΟΛΗ
<i>1.2. Με πολλαπλές τιμές:</i>				
1.2.1. Διπλή χρέωση – Μέσο κόστος	ΠΟΛΥ ΥΨΗΛΗ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΜΕΤΡΙΑ ΠΕΡΙΠΛΟΚΗ
1.2.2. Διπλή χρέωση – Οριακό κόστος	ΜΕΤΡΙΑ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΠΕΡΙΠΛΟΚΗ
<b>2.Μη ογκομετρικές</b>				
2.1. Κατ' έκταση	ΥΨΗΛΗ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΕΥΚΟΛΗ

Πηγή: Προσέγγιση βάσει των αποτελεσμάτων της παρούσης

Από την πρώτη στήλη του Πίνακα 35 που αφορά στην ανάκτηση του κόστους του αρδευτικού νερού οι μέθοδοι τιμολόγησης χαρακτηρίζονται πως επιδεικνύουν μέτρια ανάκτηση όταν αυτή κυμαίνεται έως 94%, υψηλή από 95% έως 97% και πολύ υψηλή από 97% και πάνω. Όπως είναι αναμενόμενο τη μεγαλύτερη ανάκτηση προσφέρει η διπλή χρέωση με βάση το μέσο κόστος και τη μικρότερη η ογκομετρική. Περνώντας στη δεύτερη στήλη του ίδιου Πίνακα σχετικά με την αποτελεσματική χρησιμοποίηση του νερού και εξοικονόμησή του, οι πλέον προτιμητέες μέθοδοι τιμολόγησης του νερού είναι η κατ' όγκο ή οι διπλές χρεώσεις, αφού παρέχουν κίνητρα για μειωμένη κατανάλωση. Ακολούθως, η τρίτη κατά σειρά στήλη αναφέρεται στην οικονομική αποτελεσματικότητα, δηλαδή στη μεγιστοποίηση της κοινωνικής ευημερίας. Το μέγεθος αυτό υπολογίζεται βάσει του συνολικού ακαθάριστου κέρδους, σύμφωνα με το οποίο οι μέθοδοι των διπλών χρεώσεων επιφέρουν τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα. Η τέταρτη και τελευταία στήλη σχετικά με την ευκολία εφαρμογής και κατανόησης των μεθόδων, κατατάσσει την κατ' έκταση μέθοδο ως την πλέον εύκολη και τις διπλές χρεώσεις ως τις πλέον περίπλοκες. Επιχειρώντας την αντιπαράθεση των Πινάκων 2 και 35, φαίνεται πως τα



αποτελέσματα της έρευνας επιβεβαιώνουν τη θεωρητική συσχέτιση των μεθόδων τιμολόγησης με τους στόχους.

### **9.3 Περιορισμοί και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα**

Οι περιορισμοί που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα έρευνα, όπως στο Κεφάλαιο 8 αναφέρθηκε, κυρίως αφορούν το περιθώριο αύξησης της καλλιέργειας μηδικής σε σύγκριση με την αρχική της έκταση. Ενδιαφέρον θα αποτελούσε η εξέταση των μεθόδων τιμολόγησης του αρδευτικού νερού υπό την άρση του παραπάνω περιορισμού. Επίσης, άλλοι περιορισμοί που λήφθηκαν υπόψη αφορούν τις ανώτατες και κατώτατες χρησιμοποιούμενες ποσότητες νερού και αζώτου, οι οποίες θα μπορούσαν να τροποποιηθούν και να ελεγχθούν τα αποτελέσματα του οικονομικού μοντέλου υπό τις νέες συνθήκες.

Άλλη διάσταση στην παραπάνω έρευνα και τα συμπεράσματά της θα έδινε η χρήση δεδομένων ανά γεωργική εκμετάλλευση. Αυτά περιλαμβάνουν αναλυτικά στοιχεία για τις εκτάσεις και τις χρησιμοποιούμενες εισροές. Οι προαναφερόμενες εισροές δεν θα αφορούσαν μόνο τις ποσότητες νερού και λιπάσματος, αλλά και μηχανική κι ανθρώπινη εργασία και άλλους συντελεστές παραγωγής. Από τα παραπάνω θα ήταν δυνατός ο υπολογισμός του καθαρού γεωργικού εισοδήματος και όχι του ακαθάριστου κέρδους. Επίσης, βάσει αυτών θα δινόταν η δυνατότητα υπολογισμού ενός μέτρου ανισοκατανομής του εισοδήματος (π.χ. δείκτες Gini, Atkinson, Theil), γεγονός που θα επέτρεπε την κατάταξη των μεθόδων τιμολόγησης και με βάση το κριτήριο κοινωνικής ισότητας. Τέλος, τα ανωτέρω δεδομένα θα επέτρεπαν τον υπολογισμό επιπλέον μεθόδων χρέωσης, όπως οι κλιμακωτές και η τιμολόγηση Ramsey, που προαπαιτούν την ύπαρξη διαφορετικών ελαστικοτήτων ζήτησης ανά χρήστη του νερού.

Ένα εξίσου ενδιαφέρον στοιχείο που μπορεί να ληφθεί υπόψη σε περαιτέρω έρευνα είναι ο χρόνος. Συγκεκριμένα, το έτος μπορεί να διασπαστεί σε μικρότερες περιόδους στις οποίες θα προσδιορίζονται σαφώς οι διαφορετικές ανάγκες σε εισροές, οι ποικίλες κλιματικές συνθήκες και τα υδατικά αποθέματα. Τα στοιχεία αυτά παίζουν σημαντικό ρόλο σε όλα τα μοντέλα που λαμβάνονται υπόψη στην παρούσα, όπως το βιοφυσικό, το υδατικό ισοζύγιο και το οικονομικό. Ως εκ τούτου, ο χρόνος

φαίνεται πως μπορεί να καθορίσει την εξαγωγή συμπερασμάτων για τις μεθόδους τιμολόγησης του νερού.

## 9.4 Επίλογος

Από τα αποτελέσματα της έρευνας προκύπτει πως η τιμολόγηση του αρδευτικού νερού δεν αποτελεί πανάκεια. Για το λόγο αυτό κρίνεται ιδιαίτερος σημαντικός πρώτα ο καθορισμός των επιθυμητών στόχων και έπειτα η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου χρέωσης. Καθώς, όμως, η επίτευξη πολλών στόχων ταυτόχρονα με τη χρήση μιας ενιαίας πολιτικής τιμολόγησης καθίσταται εξαιρετικά δύσκολος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα μείγμα μεθόδων προκειμένου να καλυφθεί μεγαλύτερο φάσμα στόχων. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί πως όποια μέθοδος κι αν επιλεγεί, προκειμένου να επιτύχει απαιτεί ταυτόχρονες μεταρρυθμίσεις στο γεωργικό τομέα (π.χ. επιδότηση λιγότερο υδροβόρων καλλιεργειών), διαχειριστική διαφάνεια και διασύνδεση της τιμολόγησης με την τεχνολογία άρδευσης. Και καθώς, η αποτελεσματικότητα των μεθόδων είναι άμεσα συνυφασμένη με την εξεταζόμενη περιοχή, το καλλιεργητικό πρότυπο, τη δομή των υπηρεσιών παροχής νερού και τα ισχύοντα μέτρα αγροτικής πολιτικής, η εξαγωγή ενιαίων συμπερασμάτων για το κάθε σύστημα τιμολόγησης δυσχεραίνεται ακόμη περισσότερο.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ**

- (2009). User's Guide for the DNDC Model (Version 9.3). Institute for the Study of Earth Oceans and Space, University of New Hampshire.
- Abdalla, C., B. Roach, et al. (1992). "Valuing Environmental Quality Changes Using Averting Expenditures: An Application to Groundwater Contamination." Land Economics **68**(2): 163 - 169.
- Abrahao, R., J. Causape, et al. (2011). "Implementing irrigation: Water balances and irrigation quality in the Lerma basin (Spain)." Agricultural Water Management **102**: 97 - 104.
- Acutis, M., G. Ducco, et al. (2000). "Stochastic use of the LEACHN model to forecast nitrate leaching in different maize cropping systems." European Journal of Agronomy **13**: 191 - 206.
- Ahn, Y. (2006). "Sustainable nitrogen elimination biotechnologies: A review." Process Biochemistry **41**(8): 1709-1721.
- Alexiou, I., S. Kotsopoulos, et al. (26 - 31 May 2002). Soil Water Status and Water Yield Relationships for Cotton and Maize. 12th Conference of the International Soil Conservation Organization. Beijing.
- Allen, R., G., M. Smith, et al. (1994). "An update for the calculation of reference evapotranspiration." ICID Bulletin **43**(2): 1 - 92.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper. FAO. Rome.
- Anandalingam, G. and V. Apprey (1991). "Multi-level programming and conflict resolution." European Journal of Operational Research **51**(2): 233 - 247.
- Ando, A. and M. Khanna (2004). "Natural Resource Damage Assessment Methods: Lessons in Simplicity from State Trustees." Contemporary Economic Policy **22**(4): 504-519.
- Anonymous (1994). Ammonia Emissions to Air in Western Europe. Technical Report. Brussels, Belgium, European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals. **62**.
- Aubin, D. and F. Varone (2002). European Water Policy. A path towards an integrated resource management. Louvain-la-Nueve, Universite Catholique de Louvain (UCL).

- Balali, H., S. Khalilian, et al. (2011). "Groundwater balance and conservation under different water pricing and agricultural policy scenarios: A case study of the Hamadan-Bahar plain." Ecological Economics **70**: 863 - 872.
- Baldock, D., H. Caraveli, et al. (2000). "The Environmental Impacts of Irrigation in the European Union." Retrieved 01-06-12, 2012, from <http://ec.europa.eu/environment/agriculture/pdf/irrigation.pdf>.
- Bar-Shira, Z. and I. Finkelshtain (2000). "The Long-Run Inefficiency Of Block-Rate Pricing." Natural Resource Modeling **13**(4): 471-492.
- Bar-Shira, Z., I. Finkelshtain, et al. (2006). "Block-Rate versus Uniform Water Pricing in Agriculture: An Empirical Analysis." American Journal of Agricultural Economics **88**(4): 986–999.
- Barros, R., D. Isidoro, et al. (2012). "Irrigation management, nitrogen fertilization and nitrogen losses in the return flows of La Violada irrigation district (Spain)." Agriculture, Ecosystems and Environment **155**: 161 - 171.
- Bartolini, F., G. M. Bazzani, et al. (2007). "The impact of water and agriculture policy scenarios on irrigated farming systems in Italy: An analysis based on farm level multi-attribute linear programming models." Agricultural Systems **93**(1-3): 90-114.
- Bateman, I., M. Cole, et al. (2006). "Comparing contingent valuation and contingent ranking: A case study considering the benefits of urban river water quality improvements." Journal of Environmental Management **79**: 221 - 231.
- Bazzani, G. M. (2005). "A decision support for an integrated multi-scale analysis of irrigation: DSIRR." Journal of Environmental Management **77**(4): 301-314.
- Bazzani, G. M. (2005). "An integrated decision support system for irrigation and water policy design: DSIRR." Environmental Modelling & Software **20**(2): 153-163.
- Bazzani, G. M., S. d. Pasquale, et al. (2004). "The impact of the EU Water Framework Directive on irrigated agriculture in Italy: the case of the North-East fruit district." Agricultural Economics Review **5**(1).
- Berbel, J. and J. A. Gómez-Limón (2000). "The impact of water-pricing policy in Spain: an analysis of three irrigated areas." Agricultural Water Management **43**(2): 219-238.
- Birgand, F., Skaggs, R. W., Chescheir, G. M., & Gilliam, J. W. (2007). "Nitrogen Removal in Streams of Agricultural Catchments - A Literature Review." Critical Reviews in Environmental Science and Technology **37**(5): 381-487.
- Birol, E., K. Karousakis, et al. (2006). "Using a choice experiment to account for preference heterogeneity in wetland attributes: The case of Cheimaditida wetland in Greece." Ecological Economics **60**(1): 145-156.

- Blamey, R., J. Gordon, et al. (1999). "Choice modelling: assessing the environmental values of water supply options." The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics **43**(3): 337 - 357.
- Boland, J. J. and D. Whittington, Eds. (2003). The Political Economy of Increasing Block Tariffs in Developing Countries. Special Papers of the Economy and Environment Program for Southeast Asia.
- Borja, A. and M. Elliott (2007). "What does 'good ecological potential' mean, within the European Water Framework Directive?" Marine Pollution Bulletin **54**: 1559 - 1564.
- Bosworth, B. C., G. Cornish, et al. (2002). Water charging in irrigated agriculture: Lessons from the literature. Report OD HR Wallingford,. **145**.
- Bouzaher, A., P. Lakshminaryan, et al. (1993). "Metamodels and Nonpoint Pollution Policy in Agriculture." Water Resources Research **29**(6): 1579-1587.
- Boyle, K., G. Poe, et al. (1994). "What Do We Know About Groundwater Values? Preliminary Implications from a Meta Analysis of Contingent Valuation Studies." American Journal of Agricultural Economics **76**: 1055-1061.
- Boymanns, D. (2002). The sustainability of European irrigated agriculture under Water Framework Directive and Agenda 2000 (WADI). Analysis of European Water Policy: Guidelines for Policy Scenarios. Seville, Institute for Prospective Technological Studies.
- Brouwer, C., K. Prins, et al. (1989). Irrigation Water Management: Irrigation Scheduling. Rome, FAO.
- Brouwer, R., Ed. (2004). The concept of environmental and resource cost: lessons learned from ECO2. Environmental and Resource Cost and the Water Framework Directive. An overview of European Practices. Amsterdam, Holland, RIZA Working Paper.
- Brouwer, R. (2006). Practical Working Definition Environmental and Resource Costs and Benefits, IVM. **Deliverable D12**.
- Brown, M., A. Martinez, et al. (2010). "Emergy analysis applied to the estimation of the recovery of costs for water services under the European Water Framework Directive." Ecological Modelling **221**(17): 2123 - 2132.
- Burt, C. M., A. J. Clemmens, et al. (1997). "Irrigation Performance Measures: Efficiency and Uniformity." Journal of Irrigation and Drainage Engineering **123**(6): 423-442.
- Charnes, A., W. Cooper, et al. (November 1978). "Measuring the efficiency of decision making units." European Journal of Operational Research **2**(6): 429 – 444.

- Chen, H. and Y. Zhao, W. (2011). "Evaluating the environmental flows of China's Wolonghu wetland and land use changes using a hydrological model, a water balance model, and remote sensing." Ecological Modelling **222**(2): 253 - 260.
- Chu, H., Y. Hosen, et al. (2007). "NO, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> fluxes in winter barley field of Japanese Andisol as affected by N fertilizer management." Soil Biology & Biochemistry **39**: 330 - 339.
- Close, D. H. (1998). "Environmental NGOs in Greece: The acheloo campaign as a case study of their influence." Environmental Politics **7**: 55 - 77.
- Close, D. H. (1998). "Environmental NGOs in Greece: The achelöös campaign as a case study of their influence." Environmental Politics **7**(2): 55-77.
- Cornish, G., B. Bosworth, et al. (2004). Water charging in irrigated agriculture: An analysis of international experience. FAO Water Reports. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations. **28**.
- Cropper, M., L., and A. Freeman (1991). Environmental Health Effects. Measuring the Demand for Environmental Quality. J. Braden and C. Kolstad, North-Holland.
- Dickie, M. (2003). Defensive behavior and damage cost methods. A primer on Nonmarket Valuation. P. Champ, Boyle, K. and T. Brown. Dordrecht, Kluwer: 395-440.
- Dinar, A. and J. Mody (2004). "Irrigation water management policies: Allocation and pricing principles and implementation experience." Natural Resources Forum **28**(2): 112-122.
- Dinar, A., J. Rhoades, D., et al. (1991). "Production functions relating crop yield, water quality and quantity, soil quantity, soil salinity and drainage volume." Agricultural Water Management **19**: 51 - 66.
- Dinar, A., M. W. Rosegrant, et al. (1997). Water Allocation Mechanisms: Principles and Examples. Policy Research Working Paper. Washington D.C., The World Bank. **1779**.
- Dinar, A. and M. Saleth (2005). Issues in water pricing reforms: from getting correct prices to setting appropriate institutions. The International Yearbook of Environmental and Resource Economics 2005/2006: A survey of current issues. H. Folmer and T. Tietenberg, Edward Elgar Publishing Inc.: 1 - 51.
- Djanibekov, N. (2008). Introducing Water Pricing Among Agricultural Producers In Khorezm, Uzbekistan: An Economic Analysis. Environmental Problems of Central Asia and their Economic, Social and Security Impacts. J. Qi and K. T. Evered, Springer Netherlands: 217-240.

- Dono, G., L. Giraldo, et al. (2010). "Pricing of irrigation water under alternative charging methods: Possible shortcomings of a volumetric approach." *Agricultural Water Management* **97**(11): 1795 -1805.
- Doppler, W., A. Z. Salman, et al. (2002). "The impact of water price strategies on the allocation of irrigation water: the case of the Jordan Valley." *Agricultural Water Management* **55**(3): 171-182.
- Drury, C., F., T. Oloya, O., et al. (1998). "Long-term effects of fertilization and rotation on denitrification and soil carbon." *Soil Science Society of America Journal* **62**: 1572 - 1579.
- Dudu, H. and S. Chumi (2008). *Economics of Irrigation Water Management: A Literature Survey with Focus on Partial and General Equilibrium Models. Policy Research Working Paper* Washington D.C., The World Bank. **4556**.
- Dury, J., N. Schaller, et al. (2011). "Model to support cropping plan and crop rotation decisions. A review." *Agronomy Sustainable Development*.
- Easter, W. and Y. Liu (2005). *Cost Recovery and Water Pricing for Irrigation and Drainage Projects*. Washington, World Bank.
- ENVECO, A. E., DRAXIS, et al. (2009). Ανάπτυξη, Εγκατάσταση και Συντήρηση Μηχανογραφημένου Συστήματος που θα χρησιμοποιηθεί για την Οικονομική Ανάλυση της Χρήσης Ύδατος και την Εφαρμογή των Πολιτικών Τιμολόγησης Ύδατος & Ανάπτυξη Πολιτικών Τιμολόγησης Ύδατος σύμφωνα με την Οδηγία Πλαίσιο περί Υδάτων 2000/60/ΕΚ, Αρ. Σύμβασης ΤΑΥ 86/2007. Ειδική Έκθεση 2.1: Οικονομική ανάλυση της χρήσης ύδατος, υπολογισμός του συνολικού κόστους των υπηρεσιών ύδατος, προσδιορισμός υφιστάμενων επιπέδων ανάκτησης κόστους. Τεύχος Γ: Εκτίμηση κόστους ανά υπηρεσία νερού & Προσδιορισμός υφιστάμενων επιπέδων ανάκτησης κόστους για κάθε Υπηρεσία Ύδατος. Κύπρος, Κυπριακή Δημοκρατία, Υπουργείο Γεωργίας Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων.
- FAO (1984). *Localized Irrigation: Design, installation, operation and evaluation. Irrigation and Drainage Paper*. Rome, FAO. **36**.
- Gallego-Ayala, J. (2012). "Selecting irrigation water pricing alternatives using a multi-methodological approach." *Mathematical and Computer Modelling* **55**: 861 - 883.
- Garcia-Vila, M. and E. Fereres (2012). "Combining the simulation crop model AquaCrop with an economic model for the optimization of irrigation management at farm level." *European Journal of Agronomy* **36**: 21 - 31.
- García-Vila, M., E. Fereres, et al. (2009). "Deficit Irrigation Optimization of Cotton with AquaCrop." *Agronomy Journal* **101**: 477-487.
- Garcia, S. and A. Reynaud (2004). "Estimating the benefits of efficient water pricing in France." *Resource and Energy Economics* **26**: 1 - 25.

- Gehl, R. J., J. P. Schmidt, et al. (2005). "In Situ Measurements of Nitrate Leaching Implicate Poor Nitrogen and Irrigation Management on Sandy Soils." Journal of Environmental Quality **34**: 2243 - 2254.
- Geng, O., Z., G. Girard, et al. (1996). "Modeling of nitrogen cycle and nitrate transfer in regional hydrogeologic systems." Ground Water **34**(2): 293 - 304.
- Getirana, A., C., V., J. Espinoza, C., V., et al. (2011). "Assessment of different precipitation datasets and their impacts on the water balance of the Negro River basin." Journal of Hydrology **404**: 304 - 322.
- Giannoccaro, G., M. Prospero, et al. (2008). DEA Application to evaluate the technical and ecological efficiency of water pricing policies. 107<sup>th</sup> EAAE Seminar "Modeling of Agricultural and Rural Development Policies", Sevilla, Spain.
- Gómez-Limón, J. A. and J. Berbel (2000). "Multicriteria analysis of derived water demand functions: a Spanish case study." Agricultural Systems **63**(1): 49-72.
- Gómez-Limón, J. A. and Y. M. Martínez (2004). "Multicriteria Modelling of Irrigation Water Market at Basin Level." Economic Working Papers at Centro de Estudios Andaluces(E2004/26).
- Gomez-Limon, J. A. and L. Riesgo (2004). "Water pricing: Analysis of differential impacts on heterogeneous farmers." Water Resources Research **40**.
- Gomez Limon, J., M. Arriaza, et al. (2002). "Conflicting Implementation of Agricultural and water Policies in Irrigated Areas in the EU." Journal of Agricultural Economics **53**(2): 259-281.
- Gracia, F. A., M. A. Valinas-Garcia, et al. (2001). The Literature on the Estimation of Residential Water Demand. Working Paper Series, St. Francis University, Department of Economics.
- Gratziou, M. and P. Chrisochoidou (2011). Cost analysis of waste water nitrogen removal in Greece. International conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics. Skiathos, Greece, CEMEPE&SETOCOX (Ed.): 961 - 967.
- Griffin, R. (2001). "Effective Water Pricing." Journal of the American Water Resources Association **37**(5): 1335-1348.
- Griffin, R. (2006). Water Resource Economics: The Analysis of Scarcity, Policies, and Projects. Cambridge, MIT Press.
- Haie, N. and A. Keller, A. (2012). "Macro, Meso, and Micro-Efficiencies in Water Resources Management: A New Framework Using Water Balance1." JAWRA Journal of the American Water Resources Association **48**(2): 235 - 243.



- Haie, N. and A. A. Keller (2012). "Macro, Meso, and Micro-Efficiencies in Water Resources Management: A New Framework Using Water Balance1." JAWRA Journal of the American Water Resources Association **48**(2): 235-243.
- Hanley, N., S. Mourato, et al. (2001). "Choice modelling approaches: A superior alternative for environmental valuation?" Journal of Economic Surveys **15**(3): 435 - 462.
- Harrison, R. and J. Webb (2001). "A review of the effect of N fertilizer type on gaseous emissions." Advances in Agronomy **73**: 65 - 108.
- Hazell, P. and R. Norton (1986). Mathematical Programming for Economic Analysis in Agriculture. New York, MacMillan.
- He, L., W. Tyner, et al. (2004). Improving irrigation water allocation efficiency using alternative policy options in Egypt. American Agricultural Economics Association Annual Meeting Denver, Colorado.
- Heinz, I. (January 2006). The economic value of water. Hydro-economic Modeling and Tools for the Implementation of the European water framework directive. <http://www.infu.uni-dortmund.de/english/Co-workers/Ingo.Heinz>, Valencia, Spain.
- Heinz, I., M. Pulido-Velazquez, et al. (2007). "Hydro-economic Modeling in River Basin Management: Implications and Applications for the European Water Framework Directive." Water Resources Management **21**(7): 1103-1125.
- Hellegers, P. and C. Perry (2006). "Can Irrigation Water Use be Guided by Market Forces? Theory and Practise." Water Resources Development **22**(1): 79-86.
- Hexem, R., W., and E. Heady, O., (1978). Water Production Functions for Irrigated Agriculture. Ames, IA, Iowa State University Press.
- Howe, C. W. (2005). "The Functions, Impacts and Effectiveness of Water Pricing: Evidence from the United States and Canada." International Journal of Water Resources Development **21**(1): 43-53.
- Howell, T., A. (2003). Irrigation efficiency. Encyclopedia of water science: 467 - 472.
- Huang, Q., S. Rozelle, et al. (2008). Irrigation water pricing policy in rural China. American Agricultural Economics Association Annual Meeting. Long Beach, CA.
- ICWE (1992 ). The Dublin Statement on Water and Sustainable Development. International Conference on Water and the Environment. Dublin, Ireland
- Iglesias, E. and M. Blanco (2008). "New Directions in water resources management: The role of water prices." Water Resources Research **44**(6): 1-11.

- Janssen, S. and M. K. van Ittersum (2007). "Assessing farm innovations and responses to policies: A review of bio-economic farm models." Agricultural Systems **94**(3): 622-636.
- Jego, G., M. Martinez, et al. (2008). "Evaluation of the impact of various agricultural practices on nitrate leaching under the root zone of potato and sugar beet using the STICS soil - crop model." Science of the Total Environment **394**: 207 - 221.
- Jensen, M. E., R. D. Burman, et al. (1990). Evapotranspiration and irrigation water requirements. ASCE Manual and Report on Engineering Practice. New York, ASCE. **70**.
- Jensen, M. (2007). "Beyond irrigation efficiency." Irrigation Science **25**(3): 233-245.
- Johansson, R. (2000). Pricing Irrigation Water: A Literature Survey. Policy Research Working Paper. Washington D.C., The World Bank **2449**.
- Johansson, R., Y. Tsur, et al. (2002). "Pricing irrigation water: a review of theory and practice." Water Policy **4**: 173–199.
- Johansson, R. C. (2005). "Micro and Macro - Level Approaches for Assessing the Value of Irrigation Water." World Bank Policy Res. Working Paper **3778**.
- Jones, C. and C. Pease (1997). "Restoration-based compensation measures in natural resource liability statutes." Contemporary Economic Policy **15**: 111 - 122.
- Juan, J., A., J. Tarjuelo, M., et al. (1996). "Model for optimal cropping patterns within the farm based on crop water production functions and irrigation uniformity I: Development of a decision model." Agricultural Water Management **31**: 115 - 143.
- Kaika, M. (2003). "The Water Framework Directive: A new Directive for a changing social, political and economic European framework." European Planning Studies, **11**(3): 299-316.
- Kallis, G. and D. Butler (2001). "The EU water framework directive: measures and implications." Water Policy **3**(125 -142).
- Kallis, G. and P. Nijkamp (2000). "Evolution of EU water policy: A critical assessment and a helpful perspective." Journal of Environmental Law and Policy **3**: 301 - 355.
- Kampas, A., A. Petsakos, et al. (2012). "Price induced irrigation water saving: Unraveling conflicts and synergies between European agricultural and water policies for a Greek Water District." Agricultural Systems **113**: 28 - 38.
- Karyotis, T., A. Panagopoulos, et al. (2002). "The Greek Action Plan for the mitigation of nitrates in water resources of the vulnerable district of Thessaly". Journal of Mediterranean Ecology **3**(2 - 3): 77 - 83.

- Keessen, A., M., J. van Kempen, J., H., et al. (2010). "European River Basin Districts: Are They Swimming in the Same Implementation Pool?" Environmental Law **22**(2): 197 - 221.
- Khin, T., & Annachhatre, A. P. (2004). "Novel microbial nitrogen removal processes." Biotechnology advances **22**(7): 519-532.
- Kilper, H. and J. Albrecht (2009). The Subsidiarity Principle – Does it Impede Equal Ecological Living Conditions in Europe? German Annual of Spatial Research and Policy 2009, Springer Berlin Heidelberg: 145-165.
- Kim, C. S. and G. D. Schaible (2000). "Economic Benefits Resulting From Irrigation Water Use: Theory and an Application to Groundwater Use." Environmental & Resource Economics **17**(1): 73-87.
- Koukidou, I. and A. Panagopoulos (2010). Application of FEFLOW for the simulation of Groundwater Flow at the Tirnavos (Central Greece) Alluvial Basin Auifer System, in: Greece. 12th International Congress of Geological Society of Greece PLANET EARTH: Geological Processes and Sustainable Development, Patras, Geological Society of Greece.
- Koundouri, P. (2004). "Current Issues in the Economics of Groundwater Resource Management." Journal of Economic Surveys **18**(4): 703-740.
- Krejci, A. (November 2004). River basin modelling in the Czech Republic-2. Expert meeting on economics in water management models, <http://hit.infu.uni-dortmund.de/login.html>, userid: Copenhagen, password: EconoMod, Copenhagen, Denmark.
- Leip, A., G. Marchi, et al. (2008). "Linking an economic model for European agriculture with a mechanistic model to estimate nitrogen and carbon losses from arable soils in Europe." Biogeosciences **5**: 73 - 94.
- Li, C., N. Farahbakhshazad, et al. (2006). "Modeling nitrate leaching with a biogeochemical model modified based on observations in a row-crop field in Iowa." Ecological Modelling **196**: 116 - 130.
- Liu, J., H. Savenije, et al. (2003). "Water as an economic good and water tariff design: Comparison between IBT-con and IRT-cap." Physics and Chemistry of the Earth **28**: 209–217.
- Liu, W. Z., D. J. Hunsaker, et al. (2002). "Interrelations of yield, evapotranspiration, and water use efficiency from marginal analysis of water production functions." Agricultural Water Management **56**: 143 - 151.
- Liu, Y., S. Li, et al. (2010). "Soil water dynamics and water use efficiency in spring maize (*Zea mays* L.) fields subjected to different water management practices on the Loess Plateau, China." Agricultural Water Management **97**: 769 - 775.

- Llewelyn, R. and A. Featherstone (1997). "A Comparison of Crop Production Functions Using Simulated Data for Irrigated Corn in Western Kansas." Agricultural Systems **54**(4): 521 - 538.
- Loehman, E. (2004). "Cost Recovery, Efficiency, and Economic Organization for Water Utilities." Contribution to Economic Analysis & Policy **3**(1): 1-44.
- Loehman, E. (2008). "Pricing for water conservation with cost recovery." Water Resources Research **44**(W08450): 1-13.
- Loukas, A., N. Mylopoulos, et al. (2007). "A Modeling System for the Evaluation of Water Resources Management Strategies in Thessaly, Greece." Water Resources Management **21**(10): 1673 - 1702.
- Luo, Z., J. Pang, et al. (1996). Mathematical Programs with Equilibrium Constraints. Cambridge, Cambridge University Press.
- Makinnon, J., H. White, et al. (1983). "Tests for model specification in the presence of alternative hypothesis: some further results." Journal of Econometrics **21**: 53 - 70.
- Makropoulos, C. and M. Mimikou (2012). Innovative approaches to halt desertification in Pinios: Piloting emerging technologies- A monograph. . Athens, National Technical University of Athens, School of Civil Engineering.
- Manos, B., T. Bournaris, et al. (2007). "Regional Impact of Irrigation Water Pricing in Greece under Alternative Scenarios of European Policy: A Multicriteria Analysis." Regional Studies **40**(9): 1055-1068.
- Margaris, N., C. Galogiannis, et al. (2006). Water management in thessaly, central greece. Groundwater and Ecosystems. A. Baba, K. Howard and O. Gunduz, Springer Netherlands: 237-242.
- Margaris, N., C. Galogiannis, et al., Eds. (2006). Water management in thessaly, central greece. Baba, A., Howard, K., Gunduz, O. (Eds.), Groundwater and Ecosystems. Netherlands, Springer
- Martin-Ortega, J., G. Giannoccaro, et al. (2011). "Environmental and Resource Costs Under Water Scarcity Conditions: An Estimation in the Context of the European Water Framework Directive." Water Resources Management **25**(6): 1615-1633.
- Martin, D., D. Watts, et al. (1984). "Model and Production Function for Irrigation Management." Journal of Irrigation and Drainage Engineering **110**(2): 149 - 164.
- Martinez, A., J. Uche, et al. (2010). "Environmental costs of a river watershed within the European water framework directive: Results from physical hydromomics." Energy **35**: 1008-1016.

- Martinez, Y. and J. Albiac (2004). "Agricultural pollution control under Spanish and European environmental policies." Water Resources Research **40**(W10501).
- Meinzen-Dick, R. and M. Rosegrant, W. (1997). Water as an economic good: incentives, institutions and infrastructure. Environment and Production Technology Division International Food Policy Research Institute. Washington, D.C., U.S.A.
- Mejvas, P., C. Varela-Ortega, et al. (2004). "Integrating agricultural policies and water policies under water supply and climate uncertainty." Water Resour. Res. **40**(7): W07S03.
- Merrett, S. (1997). Introduction to the Economics of Water Resources: An International Perspective. London, UCL Press.
- Mohayidin, G., J. Attari, et al. (2009). "Review of water pricing theories and related models." African Journal of Agricultural Research **4**(13): 1536 - 1544.
- Molenat, J., P. Durand, et al. (2002). "Mechanisms of nitrate transfer from soil to stream in an agricultural watershed of French Brittany." Water, Air, and Soil Pollution **133**: 161 - 183.
- Molinos-Senante, M., F. Hernandez-Sancho, et al. (2012). "Tarrifs and Cost Recovery in Water Reuse." Water Resources Management: 1-12.
- Molle, F. (2009). "Water scarcity, prices and quotas: a review of evidence on irrigation volumetric pricing." Irrigation and Drainage Systems **23**(1): 43-58.
- Molle, F. and J. Berkoff (2007). Irrigation Water Pricing, CAB International.
- Molle, F. and J. Berkoff (2007). Water Pricing in Irrigation: Mapping the Debate in the Light of Experience. Irrigation Water Pricing: The Gap Between Theory and Practice. F. Molle and J. Berkoff. Wallingford, CABI International: 21-93.
- Moncur, J. and R. Pollock (1989). "Scarcity Rents for Water: A Valuation and Pricing Model: Reply." Land Economics **65**: 425-428.
- Moncur, J. E. T. and R. L. Pollock (1988). "Scarcity Rents for Water: A Valuation and Pricing Model." Land Economics **64**(1): 62-72
- Moreno, F., J. A. Cayuela, et al. (1996). "Water balance and nitrate leaching in an irrigated maize crop in SW Spain." Agricultural Water Management **32**: 71 - 83.
- Moriguchi, C. (1996). " Two-part marginal cost pricing in a pure fixed cost economy." Journal of Mathematical Economics **26**(3): 363-385.

- Neufeldt, H., M. Schafer, et al. (2006). "Disaggregated greenhouse gas emission inventories from agriculture via a coupled economic-ecosystem model." Agriculture, Ecosystems and Environment **112**: 233 - 240.
- Noéme, C. and R. Fragozo (2004). "Evaluation of Alternative Policies of Irrigation Water Price. Application to Large Farms in Alentejo Region." Agricultural Engineering International: CIGR Journal of Scientific Research and Development **VI**.
- Ortega, J. F., J. A. de Juan, et al. (2004). "Evaluation of the water cost effect on water resource management:: Application to typical crops in a semiarid region." Agricultural Water Management **66**(2): 125-144.
- Oxley, T., P. Jeffrey, et al. (2002). "Policy releant modelling: relationships between water, land use and farmer decision processes." Integrated Assessment **3**(1): 30-49.
- Palmquist, R. B. (1992). "Valuing localized externalities." Journal of Urban Economics **31**(1): 59-68.
- Papaioannou, A., E. Dovriki, et al. (2010). "Assessment and Modelling of Groundwater Quality Data by Environmetric Methods in the Context of Public Health." Water Resources Management **24**: 3257 - 3278.
- Papaioannou, A., E. Dovriki, et al. (2010). "Assessment and Modelling of Groundwater Quality Data by Environmetric Methods in the Context of Public Health." Water Resources Management **24**(12): 3257-3278.
- Pearce, D., Atkinson, G. & Mourato S. (2006). Cost Benefit Analysis and the Environment: Recent Developments. Paris, OECD.
- Pena-Haro S., Pulido-Velazquez M., et al. (2009). "A hydro-economic modelling framework for optimal management of groundwater nitrate pollution from agriculture." Journal of Hydrology **373**: 193 - 203.
- Peng, Y., & Zhu, G. (2006). "Biological nitrogen removal with nitrification and denitrification via nitrite pathway." Applied microbiology and biotechnology **73**(1): 15-26.
- Pereira, A., R. (1982). "Crop planning for different environments." Agricultural Meteorology **27**: 71 - 77.
- Pereira, L., S., and M. Smith (1989). Proposed procedures for revision of guidelines for predicting crop water requirements. Land and Water Use Division. Rome, Italy, FAO: 36.
- Pereira, L. S., I. Cordery, et al. (2009). Coping with water scarcity: Addressing the Challenges, Springer.

- Perry, C. (2007). "Efficient irrigation; inefficient communication; flawed recommendations." Irrigation and Drainage **56**(4): 367 - 378.
- Perry, C. (2009). Pricing Savings, Valuing Losses and Measuring Costs: Do we really Know how to talk about improved water management? The management of water quality and irrigation technologies. J. Albiac and A. Dinar, Earthscan: 179 - 196.
- Poirier, J. and A. Fleuret (2010). "Using the choice experiment method for valuing improvements in water quality: a simultaneous application to four recreation sites of a river basin."
- Pulido-Velazquez, M., J. Andreu, et al. (2008). "Hydro-economic river basin modelling: The application of a holistic surface-groundwater model to assess opportunity costs of water use in Spain." Ecological Economics **66**: 51 - 55.
- Reeves, T. G. (1972). "Nitrogen Removal: A literature review." Water Pollution Control Federation **44**(10): 1895-1908.
- Riegels, N., R. Jensen, et al. (2011). "Estimating resource costs of compliance with EU WFD ecological status requirements at the river basin scale." Journal of Hydrology **396**: 197 - 214.
- Riesgo, L. and J. Gomez-Limon, A. (2006). "Multi-criteria policy scenarios for public regulation of irrigated agriculture." Agricultural Systems **91**: 1 - 28.
- Rogers, P. (1992). Comprehensive water resources management: a concept paper. Policy Research, Water and Sanitation, The World Bank.
- Ruben, R., H. Moll, et al. (1998). "Integrating agricultural research and policy analysis: analytical framework and policy applications for bio-economic modelling." Agricultural Systems **58**(3): 331-349.
- Sampath, R. (1992). "Issues in Irrigation Pricing in Developing Countries." World Development **20**(7): 967 - 977.
- Saraiva, J. P. and A. C. Pinheiro (2007). "A Multi-Criteria Approach for Irrigation Water Management." Agricultural Economics Review **8**(1).
- Scardigno, A. and G. Bazzani (2008). An integrated territorial simulation model to evaluate CAP Reform on Mediterranean agriculture. Methodological proposal and first applications in Apulia region (Southern Italy). 109th EAAE Seminar "The CAP after the Fischler Reform: National implementations, impact assessment and the agenda for future reforms, Viterbo, Italy.
- Scheierling, S. M., R. A. Young, et al. (2004). "Determining the Price-Responsiveness of Demands for Irrigation Water Deliveries versus Consumptive Use." Journal of Agricultural and Resource Economics **29**(2): 328 - 345.

- Schonhart, M., E. Schmid, et al. (2011). "CropRota - A crop rotation model to support integrated land use assessments." European Journal of Agronomy **34**: 263 - 277.
- Sharma, P. and F. Alonso Neto (1986). "Water Production Function of Sorghum for Northeast Brazil." Agricultural Water Management **11**: 169 - 180.
- Singh, P., H. Wolkewitz, et al. (1987). "Comparative Performance of Different Crop Production Functions for Wheat (*Triticum aestivum* L.)." Irrigation Science **8**: 273 - 290.
- Sinyukovich, V., N. (2008). "The water balance of the Selenga river basin." Geography and Natural Resources **29**: 54 - 56.
- Smith, M., R. Allen, G., et al. (1989). Report of the expert consultation on procedure for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements. Rome, Italy, FAO: 54.
- Smith, R. and Y. Tsur (1997). "Asymmetric Information and the Pricing of Natural Resources: The Case of Unmetered Water." Land Economics **73**(3): 392-403.
- Snyder, C., S., T. Bruulsema, W., , et al. (2009). "Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects." Agriculture, Ecosystems and Environment **133**: 247 - 266.
- Somsen, H. (1990). "EC Water Directives." Water Law **November**: 93 - 98.
- Somsen, H. (1992). "European Community environmental law after Maastricht." Water Law **July**: 117 - 119.
- Spleeman, S., J. Buysse, et al. (2008). Estimating the effect of water charge introduction at small-scale irrigation schemes in North West province, South Africa. 107<sup>th</sup> EAAE Seminar "Modelling of Agricultural and Rural Development Policies". Sevilla, Spain.
- Spleeman, S., A. Frija, et al. (2008). A new methodology for assessing the impact of water-pricing scenarios: case study of small-scale irrigation schemes in South Africa. 12<sup>th</sup> Congress of the European Association of Agricultural Economists (EAAE).
- Spulber, D. (1985). "Effluent Regulation and Long-Run Optimality." Journal of Environmental Economics and Management **12**(2): 103-116.
- Spulber, N. and A. Sabbaghi (1994). Economics of Water Resources. Norwell, Massachusetts, Kluwer Academic Publishers.
- Stamatis, G., K. Parpodis, et al. (2011). "Groundwater quality, nitrate pollution and irrigation environmental management in the Neogene sediments of an agricultural region in central Thessaly (Greece)." Environmental Earth Science **64**: 1081 - 1105.



- Sumpsi, J., F. Amador, et al. (1997). "On farmers' objectives: A multi-criteria approach." European Journal of Operational Research **96**(1): 64-71.
- Sun, H., J. Bergstrom, et al. (1992). "Estimating the Benefits of Groundwater Contamination Control." Southern Journal of Agricultural Economics: 63-71.
- Sun, Y., Hu K., et al. (2012). "Simulation of nitrogen fate for greenhouse cucumber grown under different water and fertilizer management using the EU-Rotate\_N model." Agricultural Water Management.
- Tsanis, I., K., and S. Naoum (2003). "The effect of spatially distributed meteorological parameters on irrigation water demand assesment." Advances in Water Resources **26**(3): 311-324.
- Tsiros, E., C. Domenikiotis, et al. (2009). "Sustainable production zoning for agroclimatic classification using GIS and remote sensing." IDŐJÁRÁS, Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service **113**(1-2): 55-68.
- Tsur, Y. and A. Dinar (1995). "Efficiency and Equity Considerations in Pricing and Allocating Irrigation Water." World Bank Policy Research Paper **1460**.
- Tsur, Y., A. Dinar, et al. (2004). "Irrigation water pricing: policy implications based on international comparison." Environment and Development Economics **9**(06): 735-755.
- Turner, K., S. Georgiou, et al. (2004). Economic valuation of water resources in agriculture: From the sectoral to a functional perspective of natural resource management. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Unnerstall, H. (2007). "The principle of full cost recovery in the EU - Water Framework Directive - Genesis and Content." Journal of Environmental Law **19**(1): 29 - 42.
- Unnerstall, H. and F. Messner (2007). "Cost recovery for water services according to the EU Water Framework Directive." Ecological Economics of Sustainable Watershed Management: Advances in the Economics of Environmental Resources **7**: 347 – 383.
- Varela-Ortega, C., J. M. Sumpsi, et al. (1998). "Water pricing policies, public decision making and farmers' response: implications for water policy." Agricultural Economics **19**(1-2): 193-202.
- Vaux, H., J., and W. Pruitt, O., (1983). "Crop - Water Production Functions." Advances in Irrigation **2**: 61 - 97.
- Verhagen, A., S. Conijn, et al. (November 2001). Quicksan of simulations models. Plant Research International B.V. Wageningen. **Note 130**.

- Ward, F. A. and A. Michelsen (2002). "The economic value of water in agriculture: Concepts and policy applications." Water Policy **4**(5): 423-446.
- Ward, F. A. and A. Michelsen (2002). "The economic value of water in agriculture: concepts and policy applications." Water Policy **4**: 423-446.
- Ward, F. A. and M. Pulido-Velazquez (2009). "Incentive pricing and cost recovery at the basin scale." Journal of Environmental Management **90**(1): 293-313.
- Warmath, A. (2005). Water and Wastewater Pricing Process Water and Wastewater Finance and Pricing: A Comprehensive Guide. G. Raftelis, Taylor & Francis.
- WATECO (2003). Economics and the Environment: The Implementation Challenge of the Water Framework Directive, Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). **Guidance document No. 1**.
- WaterStrategyMan\_Project (2004). Water Management Methodologies for Water Deficient Regions in Southern Europe.
- Weight, W. (2004). Manual of Applied Field hydrogeology. New York, McGraw-Hill.
- White, I. and J. Howe (2003 ). "Policy and Practice: Planning and the European Union Water Framework Directive." Journal of Environmental Planning and Management **46**(4): 621 - 631
- Whitehead, J. and G. Houtven (1997). "Methods for Valuing the Benefits of the Safe Drinking Water Act: Review and Assessment."
- WL | Delft Hydraulics, E. S. A., Δ. Αργυρόπουλος & Συνεργάτες (2004). Συνολικό μοναδιαίο κόστος αρδευτικού νερού που παρέχεται από την Κυβέρνηση μέσω των Κυβερνητικών υδατικών έργων. Φ. Π. Π. Υπουργείο Γεωργίας, Τμήμα Ανάπτυξης Υδάτων. Κύπρος. **Αριθμός σύμβασης 39/03/61**.
- Xu, J., S. Penga, et al. (2012). "Ammonia volatilization losses from a rice paddy with different irrigation and nitrogen managements." Agricultural Water Management **104**: 184 - 192.
- Young, R. (2005). Determining the Economic Value of water: Concepts and Methods. Washington D.C., RFF Press.
- Young, R. and R. Haveman (1985). Economics of Water Resources: A Survey. Handbook of Natural Resources and Energy Economics. A. Kneese and J. Sweeney. Amsterdam, Elsevier. **II**.
- Zilberman, D. and K. Schoengold (2005). "The Use of pricing and Markets for Water Allocation." Canadian Water Resources Journal **30**(1): 1-10.
- Δαλιάνη, Κ. (1983). Ανοιξιότικα Σιτηρά. Αθήνα, Εκδόσεις Γρηγόρη Μπούκα.

- Δαναλάτος, Ν. (2011). Προσωπική επικοινωνία.
- Καραγεώργου, Β. (2003). "Η οδηγία-πλαίσιο για το νερό ένας σημαντικός σταθμός για το ευρωπαϊκό δίκαιο περιβάλλοντος." Νόμος και Φύση.
- Καραμάνος, Α., Ι. (1994). Τα Σιτηρά των Εύκρατων Κλιμάτων. Αθήνα, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Καραμάνος, Α., Ι. (1999). Τα σιτηρά των θερμών κλιμάτων (Αραβόσιτος - Σόργο - Ρύζι - Κεχρί). Αθήνα, Εκδόσεις Παπαζήση.
- Κουντούρη, Φ. (2008). Εφαρμογή των οικονομικών πτυχών του άρθρου 5 της κοινοτικής οδηγίας περί υδάτων 2000/60/ΕΚ στην Ελλάδα, Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Υπουργείο Χωροταξίας, Περιβάλλοντος και Δημοσίων Έργων.
- Κουτσογιάννης Δ. and Α. Α. (2008). Εθνικό Πρόγραμμα Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων. Αθήνα, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Παπαζαφειρίου, Ζ. (1999). Οι Ανάγκες σε Νερό των Καλλιεργειών. Θεσσαλονίκη.
- Παπακώστα - Τασοπούλου, Δ. (2008). Σιτηρά. Χειμερινά, Εαρινά. Θεσσαλονίκη, Σύγχρονη Παιδεία.
- Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη, Μ. and Ι. Βαγενάς, Ν. (2003). "Υδατοκατανάλωση των καλλιεργειών στο νομό Λάρισας." Υδροτεχνικά 13: 13 - 28.
- Τσακίρης, Γ. (Απρίλιος 2004). Υδατικοί Πόροι - Ποιότητα Αρδευτικού Νερού. Διατμηματικό πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων" Μάθημα: Διαχείριση Υδατικών Πόρων. Αθήνα, Ε. Μ. Π.
- Φαρμάκη, Π. (2007). Θεσμικό πλαίσιο διαχείρισης υδάτινων πόρων. Συγκρούσεις και συντονισμός. Γενικό Τμήμα Διακαίου. Αθήνα, Πάντειο Πανεπιστήμιο Κοινωνικών και Πολιτικών Επιστημών.

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

Πίνακας 36 Ανασκόπηση Κοινοτικής νομοθεσίας για τους υδατικούς πόρους

<i>Ευρωπαϊκή Νομοθεσία:</i>	<i>Εναρμόνιση με το Ελληνικό Δίκαιο:</i>
<b>Πρώτη περίοδος:</b>	
<b>Οδηγία 75/440/ΕΟΚ</b> «Περί της απαιτούμενης ποιότητας των υδάτων επιφανείας που προορίζονται για την παραγωγή πόσιμου ύδατος στα κράτη – μέλη»	Υπουργική Απόφαση 46399/1352/1986 (ΦΕΚ 438Β/1986)
<b>Οδηγία 76/160/ΕΟΚ</b> «Περί της ποιότητας των υδάτων κολύμβησης»	Υπουργική Απόφαση 46399/1352/1986 (ΦΕΚ 438Β/1986)
<b>Οδηγία 76/464/ΕΟΚ</b> «Περί ρυπάνσεως που προκαλείται από ορισμένες επικίνδυνες ουσίες που εκχέονται στο υδάτινο περιβάλλον της Κοινότητας»	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Πράξη Υπουργικού Συμβουλίου 144/2.11.1987 (ΦΕΚ 197Α/1987)</li> <li>• Υπουργική Απόφαση 18186/271/1988 (ΦΕΚ 126Β/1988)</li> <li>• Πράξη Υπουργικού Συμβουλίου 255/13.7.1994 (ΦΕΚ 123Α/1994)</li> <li>• Υπουργική Απόφαση 90461/2193 (ΦΕΚ 843Β/1994)</li> </ul>
<b>Απόφαση 77/795/ΕΟΚ</b> «Περί καθιέρωσης κοινής διαδικασίας ανταλλαγής πληροφοριών για την ποιότητα των γλυκών επιφανειακών υδάτων της Κοινότητας»	
<b>Οδηγία 78/659/ΕΟΚ</b> «Περί ποιότητας γλυκών υδάτων για να είναι κατάλληλα για τη ζωή των ιχθύων»	Υπουργική Απόφαση 46399/1352/1986 (ΦΕΚ 438Β/1986)
<b>Οδηγία 79/923/ΕΟΚ</b> «Περί της απαιτούμενης ποιότητας των υδάτων για οστρακοειδή»	Υπουργική Απόφαση 46399/1352/1986 (ΦΕΚ 438Β/1986)
<b>Οδηγία 79/869/ΕΟΚ</b> «Περί των μεθόδων μετρήσεως και περί της συχνότητας των δειγματοληψιών και της ανάλυσεως των επιφανειακών υδάτων τα οποία προορίζονται για την παραγωγή πόσιμου ύδατος στα κράτη – μέλη»	Υπουργική Απόφαση 46399/1352/1986 (ΦΕΚ 438Β/1986)
<b>Οδηγία 80/68/ΕΟΚ</b> «Περί προστασίας των υπογείων υδάτων από τη ρύπανση που προέρχεται από ορισμένες επικίνδυνες ουσίες»	Υπουργική Απόφαση 26857/553/88 (ΦΕΚ 196Β/1988)
<b>Οδηγία 80/778/ΕΟΚ</b> «Περί της ποιότητας του πόσιμου νερού»	Υπουργική Απόφαση Α5/288/23.1.1986
<b>Απόφαση 80/686/ΕΟΚ</b> «Περί συστάσεως Συμβουλευτικής Επιτροπής στον τομέα του ελέγχου και της μειώσεως της ρυπάνσεως που προξενείται από την έκχυση υδρογονανθράκων στη θάλασσα»	
<b>Οδηγία 81/855/ΕΟΚ</b> «Περί προσαρμογής, λόγω της προσχώρησης της Ελλάδας, της οδηγίας 79/869/ΕΟΚ περί των μεθόδων μέτρησης και περί της συχνότητας των δειγματοληψιών και της ανάλυσης των επιφανειακών υδάτων τα οποία προορίζονται για την παραγωγή πόσιμου νερού στα κράτη – μέλη»	
<b>Οδηγία 82/176/ΕΟΚ</b> «Περί των οριακών τιμών και των ποιοτικών στόχων για τις απορρίψεις υδραργύρου από το βιομηχανικό τομέα της ηλεκτρόλυσης των χλωριούχων αλάτων αλκαλίων»	Πράξη Υπουργικού Συμβουλίου 144/2.11.1987 (ΦΕΚ 197Α/1987)
<b>Οδηγία 83/513/ΕΟΚ</b> «Περί των οριακών τιμών και των ποιοτικών στόχων για τις απορρίψεις καδμίου»	Πράξη Υπουργικού Συμβουλίου 144/2.11.1987 (ΦΕΚ 197Α/1987)
<b>Οδηγία 84/491/ΕΟΚ</b> «Περί των οριακών τιμών και των ποιοτικών στόχων για τις απορρίψεις εξαχλωροκυκλοεξανίου»	Πράξη Υπουργικού Συμβουλίου 144/2.11.1987 (ΦΕΚ 197Α/1987)
<b>Οδηγία 84/156/ΕΟΚ</b> «Περί των οριακών τιμών και των ποιοτικών στόχων για τις απορρίψεις υδραργύρου σε τομείς άλλους εκτός από τον τομέα της ηλεκτρόλυσης των χλωριούχων αλάτων των αλκαλίων»	Πράξη Υπουργικού Συμβουλίου 144/2.11.1987 (ΦΕΚ 197Α/1987)
<b>Απόφαση 85/613/ΕΟΚ</b> «Περί της έγκρισης προγραμμάτων και μέτρων που αφορούν τις απορρίψεις υδραργύρου και καδμίου στα πλαίσια της σύμβασης για την πρόληψη της θαλάσσιας ρύπανσης που προέρχεται από χερσαίες πηγές»	
<b>Οδηγία 86/280/ΕΟΚ</b> «Περί των οριακών τιμών και των ποιοτικών στόχων για τις απορρίψεις ορισμένων επικίνδυνων ουσιών που υπάγονται στον κατάλογο Ι του παραρτήματος της Οδηγίας 76/ 464/ΕΟΚ»	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Πράξη Υπουργικού Συμβουλίου 73/1990 (ΦΕΚ 90Α/1990)</li> <li>• Υπουργική Απόφαση 55648/2210/1991 (ΦΕΚ 323Β/1991)</li> <li>• Πράξη Υπουργικού Συμβουλίου 255/13.7.1994 (ΦΕΚ 123Α/1994)</li> </ul>
<b>Οδηγία 88/347/ΕΟΚ</b> «Περί της τροποποίησης του παραρτήματος ΙΙ της Οδηγίας 86/280/ΕΟΚ σχετικά με τις οριακές τιμές και τους ποιοτικούς	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Πράξη Υπουργικού Συμβουλίου 73/1990 (ΦΕΚ 90Α/1990)</li> <li>• Υπουργική Απόφαση 55648/2210/1991 (ΦΕΚ</li> </ul>

στόχους για τις απορρίψεις ορισμένων επικίνδυνων ουσιών που υπάγονται στον κατάλογο I του παραρτήματος της Οδηγίας 76/464/ΕΟΚ»	323B/1991)
<b>Οδηγία 90/313/ΕΚ</b> «Περί ελεύθερης πληροφόρησης για θέματα περιβάλλοντος»	Υπουργική Απόφαση 77921/1440 (ΦΕΚ 795B/14.9.1995)
Κάθε κράτος – μέλος δημοσιεύει ανά Ζετία έκθεση για την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης με στόχο την ενημέρωση των καταναλωτών	
<b>Οδηγία 90/415/ΕΟΚ</b> «Περί της τροποποίησης του παραρτήματος II της οδηγίας 86/280/ΕΟΚ σχετικά με τις οριακές τιμές και τους ποιοτικούς στόχους για τις απορρίψεις ορισμένων επικίνδυνων ουσιών που υπάγονται στον κατάλογο I του παραρτήματος της οδηγίας 76/464/ΕΟΚ»	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Πράξη Υπουργικού Συμβουλίου 255/13.7.1994 (ΦΕΚ 123Α/1994)</li> <li>• Υπουργική Απόφαση 90461/2193 (ΦΕΚ 843B/1994)</li> </ul>
<u>Δεύτερη περίοδος:</u>	
<b>Οδηγία 91/271/ΕΟΚ</b> «Περί της επεξεργασίας των αστικών λυμάτων»	Υπουργική Απόφαση 5673/400/1997 (ΦΕΚ 192B/14.3.1997)
<b>Οδηγία 91/414/ΕΟΚ</b> «Περί της διάθεσης στην αγορά φυτοπροστατευτικών προϊόντων»	
<b>Οδηγία 91/676/ΕΟΚ</b> «Περί της προστασίας των υδάτων από τη νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης»	Υπουργική Απόφαση 16190/1335 (ΦΕΚ 519B/1997)
<b>Οδηγία 91/692/ΕΟΚ</b> «Περί της τυποποίησης και του εξορθολογισμού των εκθέσεων που αφορούν την εφαρμογή ορισμένων οδηγιών για το περιβάλλον»	
<b>Οδηγία 92/43/ΕΟΚ</b> «Περί της διατήρησης φυσικών οικοτόπων καθώς και της άγριας πανίδας και χλωρίδας»	
<b>Οδηγία 92/446/ΕΟΚ</b> «Περί των ερωτηματολογίων για τις οδηγίες που αφορούν τον τομέα των υδάτων»	
<b>Οδηγία 96/61/ΕΟΚ</b> «Περί της ολοκληρωμένης πρόληψης και έλεγχου της ρύπανσης»	
<b>Α' Αναφορά ΕΚ 1996</b> «Περί της αξιολόγησης της Οδηγίας 76/464/ΕΟΚ αναφορικά με τις ουσίες του καταλόγου II που επηρεάζουν την ποιότητα των σημαντικότερων επιφανειακών νερών της Κοινότητας»	
<b>Β' Αναφορά ΕΚ 1996</b> «Περί του αντίκτυπου της Οδηγίας 76/464/ΕΟΚ και των θυγατρικών της Οδηγιών στα σημαντικότερα επιφανειακά νερά της Κοινότητας»	
<b>Οδηγία 98/83/ΕΚ</b> «Περί της ποιότητας του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης»	Υπουργική Απόφαση Υ2/2600/2001 (ΦΕΚ 892/Β/11.07.2001)
<u>Τρίτη περίοδος:</u>	
<b>Οδηγία 2000/60/ΕΚ</b> «Περί της θέσπισης πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων»	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Νόμος 3199/2003 (ΦΕΚ 280/Α/9.12.2003)</li> <li>• Απόφαση Υ.Π.Ε.ΧΩ.Δ.Ε. αρ.34685/6.12.2005</li> <li>• Υπουργική Απόφαση 47630 (ΦΕΚ 1688/Β/1.12.2005)</li> <li>• Υπουργική Απόφαση 49139 (ΦΕΚ 1692/Β/2.12.2005)</li> <li>• Υπουργική Απόφαση 43504/5.12.2006</li> <li>• Προεδρικό Διάταγμα 51/2007 (ΦΕΚ Α 54/8.3.2007).</li> </ul>
<b>Απόφαση 2850/2000/ΕΚ</b> «Περί της θεσπίσεως κοινοτικού πλαισίου συνεργασίας στον τομέα της ακούσιας ή εκούσιας θαλάσσιας ρύπανσης»	
<b>Απόφαση 2455/2001/ΕΚ</b> «Περί της θεσπίσεως του καταλόγου ουσιών προτεραιότητας στον τομέα της πολιτικής των υδάτων και τροποποίησης της οδηγίας 2000/60/ΕΚ»	
<b>Οδηγία 2003/4/ΕΚ</b> «Περί της πρόσβασης του κοινού σε περιβαλλοντικές πληροφορίες και για την κατάργηση της Οδηγίας 90/313/ΕΟΚ»	
<b>Οδηγία 2006/7/ΕΚ</b> «Περί της διαχείρισης των υδάτων κολύμβησης και την κατάργηση της Οδηγίας 76/160/ΕΟΚ»	
<b>Οδηγία 2006/11/ΕΚ</b> «Περί της ρύπανσης που προκαλείται από ορισμένες επικίνδυνες ουσίες που εκχέονται στο υδάτινο περιβάλλον της Κοινότητας»	
<b>Οδηγία 2006/113/ΕΚ</b> «Περί της απαιτούμενης ποιότητας των υδάτων για οστρακοειδή»	
<b>Οδηγία 2006/118/ΕΚ</b> «Περί της προστασίας των υπογείων υδάτων από ρύπανση και υποβάθμιση»	

Πηγή: Συγγραφέως

Πίνακας 37 Χαρακτηριστικά γεωτρήσεων Τ.Ο.Ε.Β. Πηνειού

Όνομασία γεώτρησης	Ισχύς (HP)	Παροχή νερού (m <sup>3</sup> /h)	Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια (KWh)	Ώρες λειτουργίας (hr)	Συνολικός όγκος νερού (m <sup>3</sup> )	Σχόλια
Γ - 1						ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
Γ - 2						ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
Γ - 3						ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
Γ - 4						ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
ΕΑ - 14						ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
ΕΑ - 16						ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
ΕΑ - 19	60	60	72.280	1.636,78	98.206,52	
ΕΑ - 40 Α'	75	70	86.640	1.569,57	109.869,60	
ΕΑ - 40 Β'	60	40	86.520	1.959,24	78.369,57	
ΕΑ - 47	75	65	56.120	1.016,67	66.083,33	
ΕΑ - 48						ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
ΕΑ - 63						ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
ΕΑ - 67	145	100	73.360	687,41	68.740,63	
ΕΑ - 71	75	80	116.440	2.109,42	168.753,60	
ΕΑ - 72	75	70	18.560	336,23	23.536,23	
ΕΑ - 73	100	90	52.840	717,93	64.614,13	
ΕΑ - 74						ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
Λ - 11	130	80	80.240	838,63	67.090,30	
Λ - 46						ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
Λ - 67	100	80	0			ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ TO 2010
Λ - 68	50	50	23.878	648,86	32.442,93	
ΛΒ - 56	100	80	22.160	301,09	24.086,96	
ΛΓ - 1	75	45	73.480	1.331,16	59.902,17	
LB - 118	100	80	115.640	1.571,20	125.695,70	
LB - 206	75	70	66.680	1.207,97	84.557,97	
LB - 207						ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
LB - 209	40	35	24.320	826,09	28.913,04	
LB - 210						ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
LB - 211						ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
LB - 212						ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
LB - 213	100	90	0	-		ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ TO 2010
LB - 214	75	70	50.400	913,04	63.913,04	
LB - 215	75	70	37.920	686,96	48.086,96	
LB - 218	60	70	0	-		ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ TO 2010
LB - 219	60	70	33.040	748,19	52.373,19	
LB - 220	60	60	28.320	641,30	38.478,26	
LB - 222	40	30	1.287	43,72	1.311,48	
LB - 231 Β'	100	90	117.880	1.601,63	144.146,70	
LB - 233	50	60	103.760	2.819,57	169.173,90	
LB - 234	75	65	120.600	2.184,78	142.010,90	
LB - 236 Α'	50	35	11.843	321,82	11.263,72	
LB - 236 Β'	100	85	207.840	2.823,91	240.032,60	
LB - 237	175	160	212.160	1.647,20	263.552,80	
LB - 239	150	140	185.600	1.681,16	235.362,30	
LB - 242	200	170	316.800	2.152,17	365.869,60	
LB - 270	40	35	19.992	679,08	23.767,66	
LB - 271	125	110	28.120	305,65	33.621,74	
LB - 272	150	120	171.440	1.552,90	186.347,80	
LB - 318	100	90	109.160	1.483,15	133.483,70	
LB - 319	60	60	143.400	3.247,28	194.837,00	
SR - 71	100	75	102.680	1.395,11	104.633,20	
SR - 73	100	100	151.960	2.064,67	206.467,40	
<b>Σύνολο</b>					<b>3.759.596,52</b>	

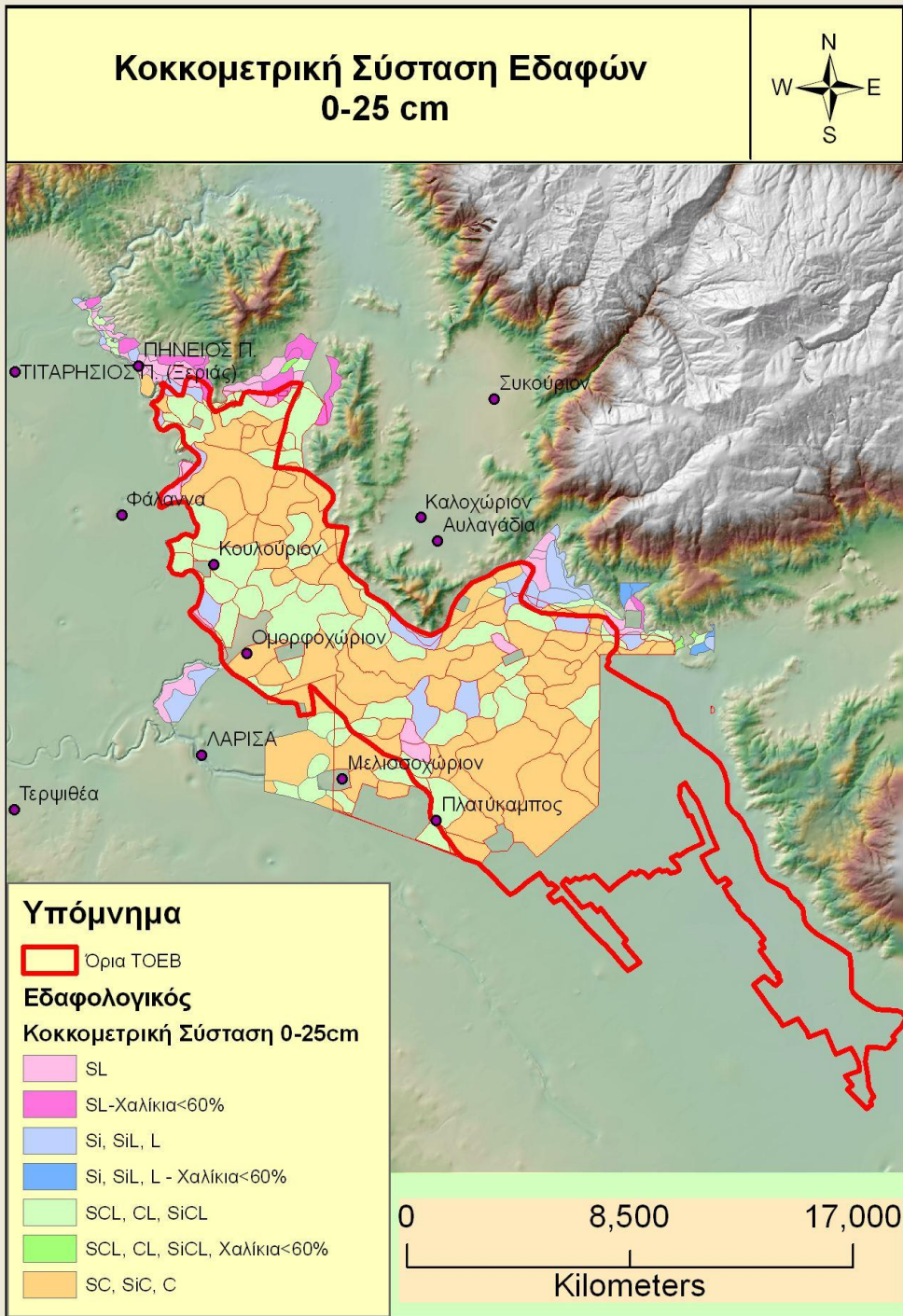
Πηγή: Στοιχεία Τ.Ο.Ε.Β. Πηνειού

Πίνακας 38 Χαρακτηριστικά αντλιών επιφανειακού νερού Τ.Ο.Ε.Β. Πηνειού

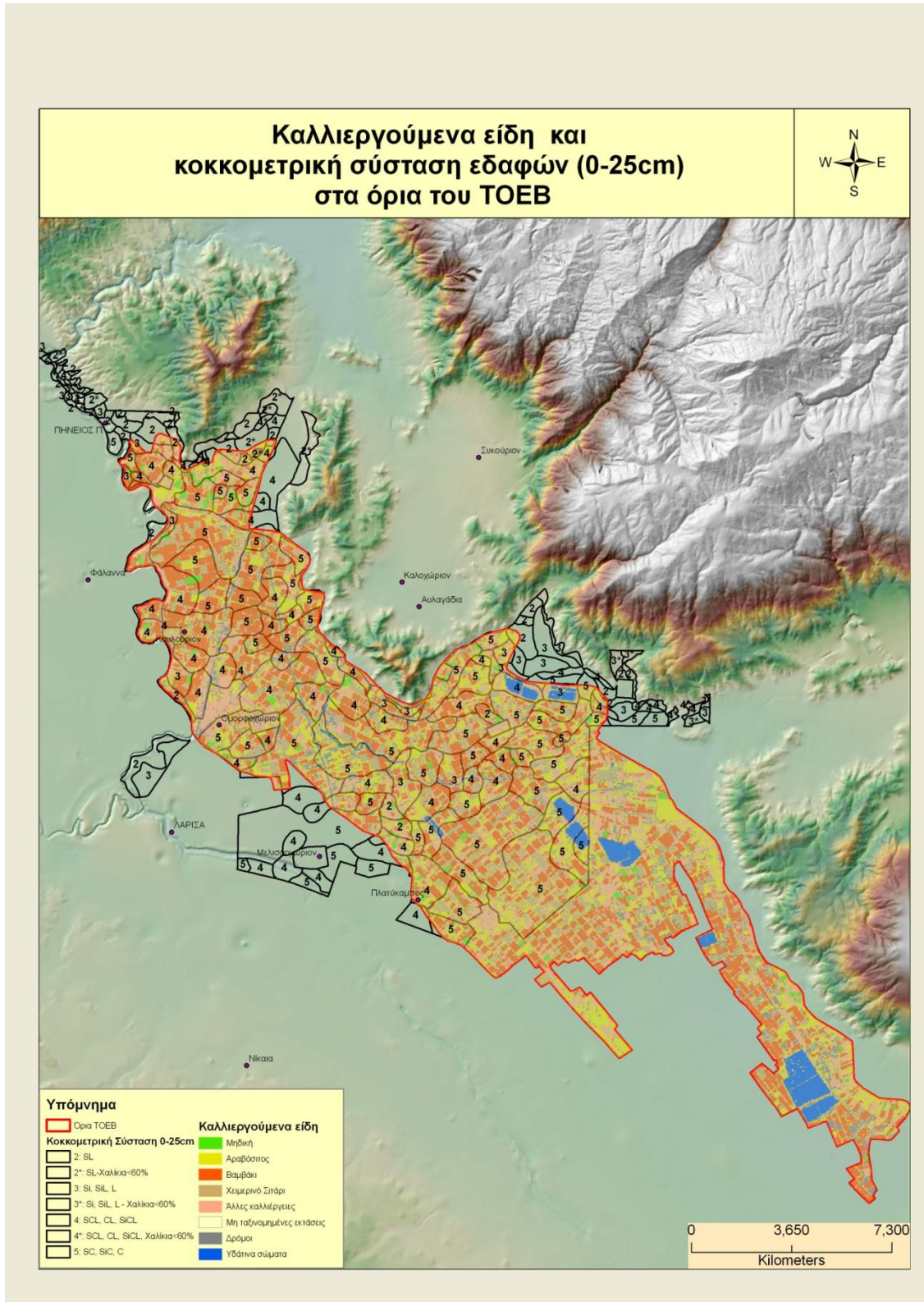
Όνομασία αντλιοστασίων / ταμιευτήρων	Ιπποδύναμη (HP)	Παροχή νερού (m <sup>3</sup> /hr)	Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια (KWh)	Συνολικός όγκος παρεχόμενου νερού (m <sup>3</sup> )
<i>A' αντλιοστάσιο</i>				
13 αντλίες	60 - 125	900 - 1.500	1.649.200	90.377.355
<i>B' αντλιοστάσιο</i>				
3 αντλίες	75	1.000	186.800	3.384.058
<i>Γ' αντλιοστάσιο</i>	ΕΚΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ			
<i>Δ' αντλιοστάσιο</i>				
1 αντλίες	100	1.200	34.720	566.087
<i>E' αντλιοστάσιο</i>				
8 αντλίες	75 - 100	1.000 – 1.200	962.000	33.112.319
<i>Ταμιευτήρας Καλαμακίου</i>				
5 αντλίες	75	1.000	450.000	8.152.174
<i>Ταμιευτήρας Καστρίου</i>				
2 αντλίες	75	1.000	29.920	542.029
<i>Ταμιευτήρας Δήμητρας</i>				
2 αντλίες	75	1.000	75.600	1.369.565
<i>Ταμιευτήρας Ελευθερίου (Παλαιός)</i>				
2 αντλίες	75	1.000	57.280	1.037.681
<i>Ταμιευτήρας Ελευθερίου (Νέος)</i>				
1 αντλία	75	1.000	41.960	760.145
<i>Ταμιευτήρας Πλατόκαμπου (Παλαιός)</i>				
2 αντλίες	75	1.000	42.400	768.116
<i>Ταμιευτήρας Πλατόκαμπου (Νέος)</i>				
2 αντλίες	75	1.000	149.600	2.710.145
<i>Ταμιευτήρας Ναμάτων</i>				
2 αντλίες	75	1.000	42.400	768.116
<i>Ταμιευτήρας Γλαύκης</i>				
3 αντλίες	50 - 75	900 - 1.000	154.160	6.562.971
<i>Ταμιευτήρας Ομορφοχωρίου</i>				
1 αντλία	75	1.000	62.160	1.126.087
<b>Σύνολο</b>				<b>151.236.848</b>

Πηγή: Στοιχεία Τ.Ο.Ε.Β. Πηνειού





Εικόνα 4 Κοκκομετρική σύσταση εδαφών εντός των ορίων του Τ.Ο.Ε.Β. Πηνειού

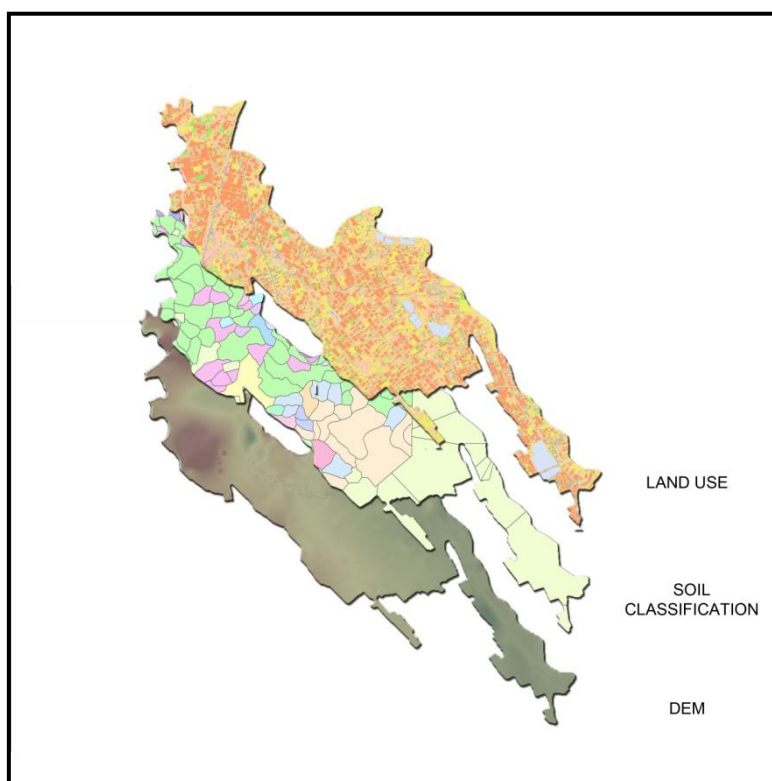


Εικόνα 5 Κατανομή των καλλιεργούμενων ειδών ανά εδαφικό τύπο

Πίνακας 39 Μέσες μηνιαίες τιμές μετεωρολογικών δεδομένων

Μήνας	Μέγιστη Θερμοκρασία (°C)	Ελάχιστη Θερμοκρασία (°C)	Σχετική Υγρασία (%)	Άνεμος (km/d)	Ηλιοφάνεια (ώρες)	Ηλιακή Ακτινοβολία (MJ/m <sup>2</sup> /d)	Βροχόπτωση (mm/month)
Ιανουάριος	10,0	0,5	87	43	3,1	6,4	49
Φεβρουάριος	12,9	1,3	82	52	4,2	9,2	40
Μάρτιος	15,1	3,4	79	69	5,1	12,9	47
Απρίλιος	20,4	6,5	77	52	7,3	18,5	35
Μάιος	25,7	10,7	71	52	8,7	22,2	45
Ιούνιος	31,3	15,1	58	86	9,8	24,3	32
Ιούλιος	34,4	18,1	52	104	10,7	25,3	13
Αύγουστος	34,0	17,7	52	86	10,4	23,2	11
Σεπτέμβριος	29,1	14,3	63	52	8,2	17,6	30
Οκτώβριος	23,1	10,4	76	43	5,5	11,4	75
Νοέμβριος	16,3	6,9	84	35	4,3	7,8	56
Δεκέμβριος	12,1	3,0	87	17	2,9	5,7	71

Πηγή: Μετεωρολογικός Σταθμός Λάρισας (Γεωγραφικό πλάτος: 39,38 και Γεωγραφικό μήκος: 22,25)



Εικόνα 6 Επικάλυψη χαρτών εξεταζόμενης περιοχής

Πίνακας 40 Μετεωρολογικά δεδομένα για την εξεταζόμενη περιοχή

Ημέρα	Μέγιστη Θερμ/σία (°C)	Ελάχιστη Θερμ/σία (°C)	Βροχόπτωση (cm)
1	8,5	2,1	0
2	10,5	-0,8	0
3	11,1	-1,5	0
4	10,6	4,1	0
5	12,9	-2,9	0
6	13,9	-2,4	0
7	12,6	1,2	0
8	12,6	0,5	0
9	13,9	-2,8	0
10	14,9	-2,8	0
11	14,2	-2,4	0
12	13,5	-2,5	0
13	12,2	-2,9	0
14	11,1	-1,9	0
15	7,6	0,1	0
16	6,6	2,1	0
17	6,2	3,2	0
18	10,5	2,2	0
19	10,5	-3,5	0,2
20	8,2	5,1	0,83
21	9,1	1,1	0,06
22	10,1	2,6	0,26
23	9,5	-0,5	0
24	6,1	-1,5	0,02
25	8,1	-0,5	0,04
26	14,2	3,2	0,4
27	9,6	1,1	0,01
28	8,9	-0,5	0,03
29	8,6	1,1	0,3
30	3,9	-0,9	0,07
31	2,2	-0,1	0
32	5,5	-4,9	0,3
33	3,6	0,5	0,38
34	1,5	-0,8	0,24
35	4,5	-0,9	0
36	4,6	0,6	0
37	4,5	0,6	0
38	5,2	-2,9	0
39	5,5	-3,5	0
40	5,9	-4,8	0
41	6,9	-0,5	0
42	8,2	-6,9	0
43	11,2	-6,5	0
44	15,1	-3,4	0
45	18,5	2,5	1,6
46	14,1	7,9	0,2
47	12,2	3,2	0,05
48	12,5	2,1	0,05
49	10,5	0,1	0
50	10,1	4,1	0
51	10,2	-2,4	0,01
52	12,6	-0,1	0
53	17,6	0,1	0,51
54	16,5	5,5	0
55	17,1	2,9	0
56	16,5	4,1	0,4
57	14,1	8,1	0,84
58	12,9	7,1	0
59	10,1	4,2	0,15
60	1,5	0,9	2,3
61	3,6	-1,1	0,2
62	6,6	0,2	0
63	11,1	-2,8	0,02
64	13,5	2,5	0,69
65	15,9	4,1	0
66	15,1	1,5	0

Ημέρα	Μέγιστη Θερμ/σία (°C)	Ελάχιστη Θερμ/σία (°C)	Βροχόπτωση (cm)
67	10,2	1,5	0,02
68	10,2	1,1	0
69	8	-2,9	0
70	6,9	-0,9	0
71	15,1	-6,4	0
72	17,2	1,5	0
73	19,6	5,1	0
74	19,2	-4,4	0
75	20,1	5,1	0
76	22,1	1,6	0
77	25,1	2,9	0
78	26,2	4,5	0
79	16,9	9,9	0
80	10,9	8,1	0,2
81	11,5	7,6	0,09
82	17,1	2,9	0
83	18,6	4,6	0
84	18,2	7,1	0,1
85	20	7,9	0
86	23,5	8,9	0
87	24,2	11,9	0
88	22,6	7,1	0,09
89	12,5	11,9	2,1
90	10,9	9,6	0,4
91	9,5	4,9	0
92	7,9	3,6	0
93	12,9	0,1	0
94	14,6	-0,4	0
95	14,2	5,2	0
96	15,5	2,1	0
97	18,1	4,6	0
98	21,2	1,2	0
99	22,1	5,5	0
100	24,5	10,1	0
101	19,5	11,2	0
102	22,5	9,5	0,23
103	20,6	7,5	0
104	18,9	4,5	0,2
105	23,6	7,6	0
106	23,1	6,5	0
107	25,6	12,1	0
108	16,1	12,1	0,1
109	22,1	6,1	0
110	25,1	7,1	0
111	23,1	10,5	0
112	20,9	5,1	0
113	19,5	9,1	0
114	21,1	6,2	0
115	21,2	6,2	0
116	28,6	9,1	0
117	26,5	13,2	0
118	28,1	10,1	0
119	22,5	15,5	0
120	22,6	7,1	0
121	24,2	12,1	0
122	26,2	9,9	0
123	26	8,2	0
124	26,2	11,9	0
125	28,9	11,6	0
126	25,9	12,9	0
127	20,1	14,1	0
128	27,1	6,6	0
129	25,6	9,2	0
130	27,1	9,5	0
131	32,1	12,6	0
132	24,6	14,1	0



Ημέρα	Μέγιστη Θερμ/σία (°C)	Ελάχιστη Θερμ/σία (°C)	Βροχόπτωση (cm)
133	23,2	13,6	0
134	23,9	14,1	0
135	25,1	13,1	0
136	26,2	10,5	0
137	28,1	13,2	0
138	28,5	13,5	0
139	31,6	13,6	0
140	26,6	14,1	0,77
141	22,5	14,1	0
142	27,2	12,2	0
143	30,6	12,1	0
144	30,2	14,5	0
145	25,9	15,6	1,3
146	27,1	15,9	0,05
147	29,2	15,5	0
148	25,5	17,5	0,5
149	26,1	17,1	0,05
150	28,6	15,1	0
151	31,1	16,6	0,4
152	30,2	16,5	0
153	26,9	19,9	0
154	24,6	17,1	0
155	28,2	13,9	0
156	30,1	14,1	0
157	29,1	15,6	0
158	29,9	15,5	0
159	29,2	17,1	0
160	26,1	14,2	0
161	25,6	14,1	0
162	26,1	15,1	0
163	28,1	13,1	0
164	29,1	12,6	0
165	29,6	15,1	0
166	30,9	14,2	0
167	30,6	15,5	0
168	31,1	14,5	0
169	32,6	14,9	0
170	33,5	16,5	0
171	31,5	8,2	0
172	29,9	17,6	0
173	31,1	17,5	0
174	33,5	15,9	0
175	31,6	21,6	0
176	29,2	18,1	0
177	32,6	15,9	0
178	33,6	19,1	0
179	32,9	21,9	0
180	31,5	20,5	0
181	34	18,2	0
182	40,1	20,5	0
183	36,1	22,1	0,01
184	28,9	20,1	0,41
185	29,6	19,1	0
186	31,2	20,2	0
187	33,1	18,9	0
188	33,2	19,6	0
189	32,6	21,9	0
190	34,6	20,2	0
191	36,6	19,6	0
192	34,9	20,2	0,05
193	33,6	19,2	0
194	34,5	22,5	0
195	28,1	20,6	0,04
196	29,1	18,1	0
197	32,9	17,9	0
198	35,6	17,2	0,5
199	36,2	18,1	0
200	38,1	19,1	0
201	37,1	20,6	0

Ημέρα	Μέγιστη Θερμ/σία (°C)	Ελάχιστη Θερμ/σία (°C)	Βροχόπτωση (cm)
202	33,1	21,9	0,6
203	31,5	20,1	0
204	34,1	20,9	0
205	34,2	19,5	0
206	33,6	20,1	0
207	33,1	20,5	0
208	33,6	20,6	0
209	35,1	19,6	0
210	33,5	20,1	0
211	34,2	20,6	0
212	35,6	20,6	0
213	37,1	19,6	0
214	37,2	22,2	0
215	37,6	24,6	0
216	34,2	22,2	0,1
217	30,9	20,5	1,4
218	26,9	16,5	0,1
219	31,6	18,5	0
220	33,6	17,1	0
221	27,5	22,2	0
222	30,1	17,9	0
223	31,9	17,2	0
224	35,6	19,2	0
225	34,6	20,5	0
226	35,6	20,1	0
227	33,5	21,5	0
228	34,6	20,2	0
229	33,1	18,6	0
230	31,6	18,5	0
231	33,5	15,5	0
232	33,9	16,2	0
233	31,9	19,2	0
234	31,5	19,1	0
235	32,5	20,1	0
236	32,6	17,9	0
237	32,1	16,5	0
238	32,5	17,5	0
239	32,1	18,6	0
240	32,2	20,1	0
241	31,6	18,1	0
242	31,6	18,1	0
243	31	16,9	0
244	29,6	16	0
245	30,5	15,9	0
246	30,1	19,5	0
247	27,6	18,1	0,04
248	25,1	15,1	0
249	26,1	14,2	0
250	29,5	13,1	0
251	28,1	16,1	0
252	29,1	13,2	0
253	31,1	18,1	0
254	31,5	16,1	0
255	33,1	16,5	0
256	32,9	17,5	0
257	31,2	20,1	0,6
258	25,6	19,2	0,2
259	28,5	18,9	0
260	31,6	15,1	0
261	32,2	16,1	0
262	31,1	18,9	0
263	29,6	16,1	2,75
264	24,5	16,2	0,02
265	27,1	14,1	0,22
266	24,2	15,6	0,01
267	24,6	15,9	0
268	25,2	14,9	0
269	27,5	13,1	0
270	27,6	14,5	0

Ημέρα	Μέγιστη Θερμ/σία (°C)	Ελάχιστη Θερμ/σία (°C)	Βροχόπτωση (cm)
271	27,5	15,9	0
272	27,1	14,2	0
273	26,5	12,6	0,75
274	19,2	16,2	0,45
275	24,2	11,5	0
276	24,9	10,2	0
277	24,9	12,5	0
278	24,1	13,5	0
279	23,5	14,5	0
280	23,6	10,5	0
281	20,5	13,6	0
282	20,1	13,1	0,1
283	20,5	11,1	0,4
284	20,5	13,9	0
285	19,1	13,5	0
286	21,5	12,2	0
287	24,1	9,2	0
288	20,2	13,5	0
289	20,2	6,2	0
290	18,6	7,2	0
291	17,9	10,6	0
292	18,1	1,1	0
293	19,9	1,9	0
294	20,5	6,2	0
295	21,9	6,6	0
296	23,1	11,6	0
297	25,6	14,9	0
298	25,1	10,9	0
299	24,6	9,1	0
300	26,5	9,1	0
301	25,5	9,1	0,01
302	13,6	12,9	0,03
303	15,1	9,5	0
304	14,5	5,6	0,08
305	17,2	10,5	0
306	16,6	3,6	0,5
307	13,9	10,6	0
308	14,2	4,2	0
309	15,6	1,6	0
310	18,2	7,5	0
311	16,9	3,5	0
312	16,2	4,1	0
313	16,2	9,6	0
314	18,1	2,1	0
315	17,5	0,9	0
316	16,1	0,6	0
317	15,5	3,2	0,02
318	12,5	10,5	0,01
319	15,5	3,2	0
320	14,1	1,6	0,9
321	18,5	9,1	0
322	17,6	6,1	0
323	11,6	11,1	0,28
324	7,2	3,6	0
325	7,2	-4,4	0
326	6,2	-1,9	1,02
327	7,1	2,9	0,4
328	6,1	4,5	2,5
329	14,5	4,2	0
330	16,2	1,1	0,1
331	12,6	8,6	0,06
332	15,5	7,6	0,03
333	17,2	2,5	0
334	13,5	6,1	0
335	15,1	7,5	1,18
336	19,1	11,1	0
337	17,2	5,2	0
338	19,1	4,1	0,03
339	14,9	1,2	0

Ημέρα	Μέγιστη Θερμ/σία (°C)	Ελάχιστη Θερμ/σία (°C)	Βροχόπτωση (cm)
340	13,6	2,2	0
341	20,6	6,2	0,2
342	16,2	8,2	0,08
343	13,5	1,1	0,2
344	9,1	9,1	0,7
345	7,2	5,9	0,07
346	9,9	5,9	0
347	10,6	6,1	0
348	8,2	4,2	1,1
349	9,2	4,9	0,01
350	10,1	1,1	0
351	12,9	1,1	0
352	7,1	0,6	0,06
353	6,6	0,1	0
354	6,9	-5,8	0
355	7,2	-4,8	0
356	7,6	0,6	0
357	8,2	-2,4	0
358	8,6	-2,9	0
359	8,6	-4,5	0
360	8,1	-3,1	0
361	13,1	2,2	0,02
362	12,2	5,5	2,1
363	14,1	2,6	0,3
364	12,5	7,5	0,3
365	13,2	7,6	0

Πηγή: European Climate Assessment &  
Dataset, μετεωρολογικός σταθμός  
Λάρισας  
(<http://eca.knmi.nl/dailydata/index.php>)

## Διαδικασία υπολογισμού μέγιστης απόδοσης μηδικής

Ο όρος απόδοση για τη μηδική αφορά την ποσότητα της συνολικής υπέργειας βιομάζας και όχι σπόρου. Όμως, το DNDC υπολογίζει συνολική ξηρά ουσία σε σπόρο, με αποτέλεσμα να απαιτείται η τροποποίηση της μέγιστης συγκομιζόμενης ποσότητας βιομάζας σε όρους ξηράς ουσίας σπόρων. Καθώς, το ποσοστό της μάζας της ξηράς ουσίας των σπόρων επί της συνολικής βιομάζας του φυτού είναι σταθερό και προκαθορισμένο στη βάση δεδομένων του DNDC, η παραπάνω τροποποίηση ήταν δυνατή. Συνεπώς, η τελική συγκομιζόμενη ποσότητα σπόρου υπολογίστηκε ως το σύνολο της υπέργειας βιομάζας του φυτού, δηλαδή το άθροισμα της ξηράς ουσίας σπόρων και στελεχών - φύλλων (grain + leaf & stem). Επιπλέον, η τελική απόδοση εξαρτάται από τον τρόπο συγκομιδής (χλωρή ή ξηρή βιομάζα), αλλά και από το ποσοστό της τελικής υγρασίας. Για παράδειγμα, αμέσως μετά την κοπή η μηδική περιέχει περίπου 75% υγρασία και μετά την ξήρανση της στο χωράφι το ποσοστό αυτό πέφτει σε περίπου 20%. Ωστόσο, οι καταγεγραμμένες αποδόσεις σε βάσεις τεχνικοοικονομικών δεδομένων εκμεταλλεύσεων (π.χ. ΔΠΓΕΛΠ) αφορούν στην τελική απόδοση που περιέχει 20% υγρασία και για το λόγο αυτό οι τελικές αποδόσεις που υπολογίστηκαν με το DNDC τροποποιήθηκαν κατά 20% προς τα επάνω.

Επίσης, οι διαδοχικές κοπές της μηδικής απαιτούν διαφορετικό τρόπο προσομοίωσης της διαδικασίας συγκομιδής σε σχέση με τις υπόλοιπες καλλιέργειες. Για το λόγο αυτό, αντί της μιας συγκομιδής ετησίως επιλέχθηκαν πέντε κοπές και ορίστηκε η ημερομηνία και η συγκομιζόμενη βιομάζα κάθε κοπής (επιλογή grazing or cutting → grass cutting).

Οι παραπάνω ιδιαιτερότητες επέβαλλαν μια πιο πολύπλοκη διαδικασία ορισμού της μέγιστης απόδοσης της μηδικής. Πιο αναλυτικά, η σχέση σπόρου/στελέχη ορίστηκε στο 0,175, που σημαίνει πως η συνολική υπέργεια βιομάζα ισούται με  $[\sigma\acute{\rho}\omicron\rho\omicron\varsigma]+[\sigma\acute{\rho}\omicron\rho\omicron\varsigma]/0,175 = 6,7*[\sigma\acute{\rho}\omicron\rho\omicron\varsigma]$ . Αν η συνολική μέγιστη βιομάζα ισούται με 2000 kg ανά στρέμμα (περιλαμβάνεται 20% υγρασία) τότε η ποσότητα σπόρου χωρίς υγρασία που αντιστοιχεί στη βιομάζα αυτή ισούται με:  $6,7*[\sigma\acute{\rho}\omicron\rho\omicron\varsigma]*1,2 = 2000$  ή αλλιώς  $[\sigma\acute{\rho}\omicron\rho\omicron\varsigma]=2000/(6,7*1,2) = 248$  kg. Τα νούμερα αυτά αποτελούν απλούς υπολογισμούς που χρησιμοποιήθηκαν ειδικά στην περίπτωση της μηδικής για την οποία το αντικείμενο συγκομιδής αποτελεί η συνολική υπέργεια βιομάζα.

Πίνακας 41 Αποτελέσματα προσομοίωσης μηδικής σε αργιλώδες έδαφος

Όνομα αρχείου <sup>55</sup>	CO <sub>2</sub> (kgr/ha)	Λίπασμα (kgrN/ha/year)	NO <sub>3</sub> (kgr/ha)	NH <sub>3</sub> (kgr/ha)	Σοδειά (kgr/ha)	Αρδευση (m <sup>3</sup> /ha)	Διήθηση (m <sup>3</sup> /ha)
Year_AlfaN1W1	-52	140	15,15	118,12	9186,0	141	32
Year_AlfaN1W2	-49	140	15,33	115,85	9936,5	276	32
Year_AlfaN1W3	-46	140	15,41	114,46	10786,5	403	32
Year_AlfaN1W4	4	140	15,54	109,48	11400,0	513	32
Year_AlfaN1W5	-33	140	15,90	103,58	12000,0	595	32
Year_AlfaN1W6	109	140	16,10	100,16	12600,0	644	33
Year_AlfaN1W7	234	140	15,71	98,37	13200,0	668	34
Year_AlfaN1W8	339	140	15,07	99,12	13800,0	678	35
Year_AlfaN1W9	425	140	14,31	101,75	14400,0	684	36
Year_AlfaN2W1	-52	110	13,79	86,26	8726,7	141	32
Year_AlfaN2W2	-49	110	13,93	84,79	9441,7	276	32
Year_AlfaN2W3	-46	110	13,98	84,18	10249,3	403	32
Year_AlfaN2W4	3	110	14,05	80,83	10830,0	513	32
Year_AlfaN2W5	-32	110	14,34	76,58	11400,0	595	32
Year_AlfaN2W6	110	110	14,45	74,52	11970,0	644	33
Year_AlfaN2W7	235	110	14,05	72,99	12540,0	668	34
Year_AlfaN2W8	340	110	13,48	73,01	13110,0	678	35
Year_AlfaN2W9	426	110	12,74	75,95	13680,0	684	36
Year_AlfaN3W1	-51	80	12,04	57,64	8271,0	141	32
Year_AlfaN3W2	-50	80	12,03	56,64	8948,6	276	32
Year_AlfaN3W3	-46	80	11,87	56,61	9713,9	403	32
Year_AlfaN3W4	4	80	11,80	55,11	10260,0	513	32
Year_AlfaN3W5	-28	80	12,18	54,04	10800,0	595	32
Year_AlfaN3W6	97	80	12,10	53,06	11340,0	644	33
Year_AlfaN3W7	197	80	12,31	52,44	11880,0	668	34
Year_AlfaN3W8	279	80	11,86	52,59	12420,0	678	35
Year_AlfaN3W9	341	80	11,26	55,76	12960,0	684	36
Year_AlfaN4W1	-56	50	10,96	39,77	7527,6	141	32
Year_AlfaN4W2	-55	50	11,09	39,17	8120,9	276	32
Year_AlfaN4W3	-52	50	11,19	39,51	8776,5	403	32
Year_AlfaN4W4	-50	50	11,29	38,85	9415,5	513	32
Year_AlfaN4W5	-52	50	11,33	37,43	9849,4	595	32
Year_AlfaN4W6	-36	50	11,65	37,95	10710,0	644	33
Year_AlfaN4W7	62	50	11,95	37,60	11220,0	668	34
Year_AlfaN4W8	144	50	11,55	37,60	11730,0	678	35
Year_AlfaN4W9	207	50	10,93	40,80	12240,0	684	36
Year_AlfaN5W1	-62	20	10,39	28,31	6748,8	141	32
Year_AlfaN5W2	-61	20	10,50	27,84	7284,5	276	32
Year_AlfaN5W3	-59	20	10,60	28,20	7878,6	403	32
Year_AlfaN5W4	-57	20	10,69	27,61	8458,8	513	32
Year_AlfaN5W5	-58	20	10,74	26,24	8846,0	595	32
Year_AlfaN5W6	-53	20	11,11	26,90	9676,8	644	33
Year_AlfaN5W7	-49	20	11,67	27,39	10509,4	668	34
Year_AlfaN5W8	20	20	11,32	27,47	11040,0	678	35
Year_AlfaN5W9	82	20	10,68	30,66	11520,0	684	36

Πηγή: Αποτελέσματα προσομοίωσης βιοφυσικού μοντέλου

<sup>55</sup> Η λέξη «Year» υποδηλώνει την πολυετή αμειψισπορά της μηδικής, οι δείκτες «N» και «W» αναφέρονται στις ποσότητες αζώτου και νερού (υπό τη μορφή του αρδευτικού δείκτη) αντίστοιχα που χρησιμοποιούνται ως εισροές στο βιοφυσικό μοντέλο (N1: 140 kgr/ha, N2: 110 kgr/ha, N3: 80 kgr/ha, N4: 50 kgr/ha, N5: 20 kgr/ha, W1: 0,1, W2: 0,2, W3: 0,3, W4: 0,4, W5: 0,5, W6: 0,6, W7: 0,7, W8: 0,8, W9: 0,9).



Πίνακας 42 Αποτελέσματα προσομοίωσης μηδικής σε αργιλοπηλώδες έδαφος

Όνομα αρχείου <sup>56</sup>	CO <sub>2</sub> (kgr/ha)	Λίπασμα (kgrN/ha/year)	NO <sub>3</sub> (kgr/ha)	NH <sub>3</sub> (kgr/ha)	Σοδειά (kgr/ha)	Αρδευση (m <sup>3</sup> /ha)	Διήθηση (m <sup>3</sup> /ha)
Year_AlfaN1W1	-80	140	15,80	111,58	9342,0	141	33
Year_AlfaN1W2	-80	140	15,98	109,08	9949,3	275	33
Year_AlfaN1W3	-79	140	16,07	108,04	10676,3	403	33
Year_AlfaN1W4	-54	140	16,13	106,48	11400,0	512	33
Year_AlfaN1W5	-83	140	16,36	103,42	11987,5	596	34
Year_AlfaN1W6	52	140	16,30	103,39	12600,0	649	34
Year_AlfaN1W7	174	140	16,44	103,40	13200,0	675	35
Year_AlfaN1W8	277	140	16,44	106,84	13800,0	685	36
Year_AlfaN1W9	362	140	15,26	114,82	14400,0	690	37
Year_AlfaN2W1	-80	110	14,25	84,01	8876,8	141	33
Year_AlfaN2W2	-80	110	14,40	82,05	9453,8	275	33
Year_AlfaN2W3	-79	110	14,47	81,37	10142,4	403	33
Year_AlfaN2W4	-54	110	14,49	80,48	10830,0	512	33
Year_AlfaN2W5	-83	110	14,67	78,68	11388,1	596	34
Year_AlfaN2W6	52	110	14,59	78,87	11970,0	649	34
Year_AlfaN2W7	175	110	14,69	79,29	12540,0	675	35
Year_AlfaN2W8	279	110	14,70	81,88	13110,0	685	36
Year_AlfaN2W9	365	110	13,55	89,33	13680,0	690	37
Year_AlfaN3W1	-79	80	11,98	59,28	8413,2	141	33
Year_AlfaN3W2	-80	80	12,16	57,68	8960,1	275	33
Year_AlfaN3W3	-79	80	12,15	57,42	9614,7	403	33
Year_AlfaN3W4	-51	80	12,02	57,04	10260,0	512	33
Year_AlfaN3W5	-81	80	12,34	56,77	10800,0	596	34
Year_AlfaN3W6	38	80	12,14	56,90	11340,0	649	34
Year_AlfaN3W7	128	80	12,38	57,77	11880,0	675	35
Year_AlfaN3W8	201	80	12,78	60,40	12420,0	685	36
Year_AlfaN3W9	255	80	12,05	68,25	12960,0	690	37
Year_AlfaN4W1	-84	50	11,06	40,45	7643,2	141	33
Year_AlfaN4W2	-84	50	11,13	38,95	8157,0	275	33
Year_AlfaN4W3	-84	50	11,21	38,73	8736,3	403	33
Year_AlfaN4W4	-84	50	11,35	38,97	9383,2	512	33
Year_AlfaN4W5	-88	50	11,33	38,47	9830,3	596	34
Year_AlfaN4W6	-79	50	11,62	40,00	10710,0	649	34
Year_AlfaN4W7	12	50	11,87	41,13	11220,0	675	35
Year_AlfaN4W8	85	50	12,28	43,53	11730,0	685	36
Year_AlfaN4W9	141	50	11,60	51,38	12240,0	690	37
Year_AlfaN5W1	-91	20	10,12	26,45	6808,0	141	33
Year_AlfaN5W2	-91	20	10,23	25,29	7330,4	275	33
Year_AlfaN5W3	-90	20	10,32	25,16	7855,2	403	33
Year_AlfaN5W4	-90	20	10,43	25,41	8441,7	512	33
Year_AlfaN5W5	-94	20	10,40	24,90	8842,0	596	34
Year_AlfaN5W6	-93	20	10,69	26,57	9681,0	649	34
Year_AlfaN5W7	-94	20	11,11	28,64	10511,6	675	35
Year_AlfaN5W8	-32	20	11,58	31,04	11040,0	685	36
Year_AlfaN5W9	23	20	11,06	38,80	11520,0	690	37

Πηγή: Αποτελέσματα προσομοίωσης βιοφυσικού μοντέλου

<sup>56</sup> Η λέξη «Year» υποδηλώνει την πολυετή μειψισπορά της μηδικής, οι δείκτες «N» και «W» αναφέρονται στις ποσότητες αζώτου και νερού (υπό τη μορφή του αρδευτικού δείκτη) αντίστοιχα που χρησιμοποιούνται ως εισροές στο βιοφυσικό μοντέλο (N1: 140 kgr/ha, N2: 110 kgr/ha, N3: 80 kgr/ha, N4: 50 kgr/ha, N5: 20 kgr/ha, W1: 0,1, W2: 0,2, W3: 0,3, W4: 0,4, W5: 0,5, W6: 0,6, W7: 0,7, W8: 0,8, W9: 0,9).

Πίνακας 43 Αποτελέσματα προσομοίωσης μηδικής σε ιλυοπηλώδες έδαφος

Όνομα αρχείου <sup>57</sup>	CO <sub>2</sub> (kgr/ha)	Λίπασμα (kgrN/ha/year)	NO <sub>3</sub> (kgr/ha)	NH <sub>3</sub> (kgr/ha)	Σοδειά (kgr/ha)	Άρδευση (m <sup>3</sup> /ha)	Λιήθηση (m <sup>3</sup> /ha)
Year_AlfaN1W1	-123	140	35,20	68,71	9076,0	145	46
Year_AlfaN1W2	-125	140	35,38	66,88	9649,6	277	46
Year_AlfaN1W3	-124	140	35,54	65,60	10417,5	402	46
Year_AlfaN1W4	-124	140	35,68	64,55	11198,1	524	46
Year_AlfaN1W5	-130	140	35,82	62,32	11610,0	608	46
Year_AlfaN1W6	-60	140	35,80	62,10	12600,0	663	47
Year_AlfaN1W7	77	140	35,67	63,96	13200,0	691	47
Year_AlfaN1W8	191	140	35,80	67,41	13800,0	701	49
Year_AlfaN1W9	284	140	34,67	76,74	14400,0	706	50
Year_AlfaN2W1	-123	110	30,65	53,20	8622,2	145	46
Year_AlfaN2W2	-125	110	30,82	51,61	9167,1	277	46
Year_AlfaN2W3	-124	110	30,95	50,73	9896,6	402	46
Year_AlfaN2W4	-124	110	31,07	50,06	10638,2	524	46
Year_AlfaN2W5	-130	110	31,21	48,50	11029,5	608	46
Year_AlfaN2W6	-60	110	31,18	48,58	11970,0	663	47
Year_AlfaN2W7	77	110	31,00	50,16	12540,0	691	47
Year_AlfaN2W8	192	110	31,00	53,45	13110,0	701	49
Year_AlfaN2W9	285	110	29,75	62,77	13680,0	706	50
Year_AlfaN3W1	-123	80	25,96	38,38	8168,4	145	46
Year_AlfaN3W2	-125	80	26,09	37,51	8686,6	277	46
Year_AlfaN3W3	-124	80	26,21	37,01	9375,8	402	46
Year_AlfaN3W4	-123	80	26,32	36,63	10078,3	524	46
Year_AlfaN3W5	-130	80	26,45	35,61	10451,3	608	46
Year_AlfaN3W6	-58	80	26,41	35,94	11340,0	663	47
Year_AlfaN3W7	80	80	26,11	37,53	11880,0	691	47
Year_AlfaN3W8	193	80	25,98	40,65	12420,0	701	49
Year_AlfaN3W9	288	80	24,52	49,10	12960,0	706	50
Year_AlfaN4W1	-123	50	21,01	24,28	7685,7	145	46
Year_AlfaN4W2	-125	50	21,12	23,69	8185,9	277	46
Year_AlfaN4W3	-125	50	21,34	23,34	8809,0	402	46
Year_AlfaN4W4	-125	50	21,55	23,11	9441,7	524	46
Year_AlfaN4W5	-131	50	21,53	22,72	9855,8	608	46
Year_AlfaN4W6	-98	50	22,01	23,41	10710,0	663	47
Year_AlfaN4W7	1	50	22,32	24,99	11220,0	691	47
Year_AlfaN4W8	80	50	22,61	27,99	11730,0	701	49
Year_AlfaN4W9	133	50	21,93	36,61	12240,0	706	50
Year_AlfaN5W1	-132	20	19,10	15,28	6776,0	145	46
Year_AlfaN5W2	-133	20	19,23	14,76	7216,5	277	46
Year_AlfaN5W3	-134	20	19,39	14,34	7705,8	402	46
Year_AlfaN5W4	-133	20	19,70	14,21	8339,1	524	46
Year_AlfaN5W5	-138	20	19,69	13,88	8700,0	608	46
Year_AlfaN5W6	-139	20	20,27	14,70	9599,1	663	47
Year_AlfaN5W7	-141	20	21,01	16,82	10476,4	691	47
Year_AlfaN5W8	-81	20	21,43	19,90	11040,0	701	49
Year_AlfaN5W9	-25	20	20,83	28,25	11520,0	706	50

Πηγή: Αποτελέσματα προσομοίωσης βιοφυσικού μοντέλου

<sup>57</sup> Η λέξη «Year» υποδηλώνει την πολυετή αμειψισπορά της μηδικής, οι δείκτες «N» και «W» αναφέρονται στις ποσότητες αζώτου και νερού (υπό τη μορφή του αρδευτικού δείκτη) αντίστοιχα που χρησιμοποιούνται ως εισροές στο βιοφυσικό μοντέλο (N1: 140 kgr/ha, N2: 110 kgr/ha, N3: 80 kgr/ha, N4: 50 kgr/ha, N5: 20 kgr/ha, W1: 0,1, W2: 0,2, W3: 0,3, W4: 0,4, W5: 0,5, W6: 0,6, W7: 0,7, W8: 0,8, W9: 0,9).

Πίνακας 44 Αποτελέσματα προσομοίωσης βάμβακος σε αργιλώδες έδαφος

Όνομα αρχείου <sup>58</sup>	CO <sub>2</sub> (kgr/ha)	Λίπασμα (kgrN/ha/year)	NO <sub>3</sub> (kgr/ha)	NH <sub>3</sub> (kgr/ha)	Σοδειά (kgr/ha)	Άρδευση (m <sup>3</sup> /ha)	Διήθηση (m <sup>3</sup> /ha)
CottonN1W1	-1382	0	2,91	5,67	1209,1	0	33
CottonN1W2	-1381	0	3,04	5,83	1309,1	145	34
CottonN1W3	-1387	0	3,14	5,92	1313,6	285	34
CottonN1W4	-1393	0	3,56	5,99	1318,2	415	35
CottonN1W5	-1403	0	3,72	5,95	1322,7	530	36
CottonN1W6	-1413	0	4,14	5,90	1327,3	616	37
CottonN1W7	-1426	0	4,38	5,89	1336,4	670	38
CottonN1W8	-1436	0	4,99	5,77	1340,9	698	39
CottonN2W1	-1268	30	2,98	10,11	1745,5	0	33
CottonN2W2	-1225	30	3,03	7,23	2040,9	145	34
CottonN2W3	-1232	30	3,15	7,29	2040,9	285	34
CottonN2W4	-1237	30	3,56	7,30	2050,0	415	35
CottonN2W5	-1247	30	3,72	7,22	2054,6	530	36
CottonN2W6	-1257	3	4,14	7,13	2063,6	616	37
CottonN2W7	-1270	30	4,38	7,14	2068,2	670	38
CottonN2W8	-1280	30	4,99	7,04	2077,3	698	39
CottonN3W1	-1224	60	3,16	20,23	1954,6	0	33
CottonN3W2	-1083	60	3,04	10,70	2713,6	145	34
CottonN3W3	-1086	60	3,14	10,42	2731,8	285	34
CottonN3W4	-1090	60	3,55	10,19	2745,5	415	35
CottonN3W5	-1099	60	3,72	9,87	2754,6	530	36
CottonN3W6	-1107	60	4,14	9,64	2772,7	616	37
CottonN3W7	-1121	60	4,38	9,47	2777,3	670	38
CottonN3W8	-1121	60	4,38	9,47	2777,3	670	38
CottonN4W1	-1182	90	3,34	30,77	2150,0	0	33
CottonN4W2	-1023	90	3,24	18,11	2995,5	145	34
CottonN4W3	-996	90	3,26	16,89	3159,1	285	34
CottonN4W4	-969	90	3,59	15,63	3313,6	415	35
CottonN4W5	-960	90	3,72	14,24	3409,1	530	36
CottonN4W6	-966	90	4,13	13,48	3436,4	616	37
CottonN4W7	-977	90	4,38	12,88	3454,6	670	38
CottonN4W8	-983	90	4,98	12,31	3477,3	698	39
CottonN5W1	-1141	120	3,53	41,60	2340,9	0	33
CottonN5W2	-1023	120	3,63	28,07	2995,5	145	34
CottonN5W3	-994	120	3,68	26,21	3163,6	285	34
CottonN5W4	-957	120	3,95	24,42	3372,7	415	35
CottonN5W5	-914	120	3,99	21,87	3627,3	530	36
CottonN5W6	-864	120	4,24	19,69	3918,2	616	37
CottonN5W7	-840	120	4,37	17,68	4100,0	670	38
CottonN5W8	-844	120	4,98	16,41	4131,8	698	39

Πηγή: Αποτελέσματα προσομοίωσης βιοφυσικού μοντέλου

<sup>58</sup> Οι δείκτες «N» και «W» αναφέρονται στις ποσότητες αζώτου και νερού (υπό τη μορφή του αρδευτικού δείκτη) αντίστοιχα που χρησιμοποιούνται ως εισροές στο βιοφυσικό μοντέλο (N1: 0 kgr/ha, N2: 30 kgr/ha, N3: 60 kgr/ha, N4: 90 kgr/ha, N5: 120 kgr/ha, W1: 0, W2: 0,1, W3: 0,2, W4: 0,3, W5: 0,4, W6: 0,5, W7: 0,6, W8: 0,7).

Πίνακας 45 Αποτελέσματα προσομοίωσης βάμβακος σε αργιλοπηλώδες έδαφος

Όνομα αρχείου <sup>59</sup>	CO <sub>2</sub> (kgr/ha)	Λίπασμα (kgrN/ha/year)	NO <sub>3</sub> (kgr/ha)	NH <sub>3</sub> (kgr/ha)	Σοδειά (kgr/ha)	Άρδευση (m <sup>3</sup> /ha)	Λιήθηση (m <sup>3</sup> /ha)
CottonN1W1	1647	0	4,97	7,59	1890,9	0	37
CottonN1W2	1664	0	5,14	7,62	2004,6	146	38
CottonN1W3	1683	0	5,26	7,81	2009,1	285	38
CottonN1W4	1704	0	5,36	8,06	2022,7	417	39
CottonN1W5	1740	0	5,55	8,42	2045,5	531	39
CottonN1W6	1791	0	6,09	8,88	2063,6	620	41
CottonN1W7	1859	0	6,68	9,47	2095,5	676	42
CottonN1W8	1929	0	7,10	10,13	2131,8	705	44
CottonN2W1	1593	30	5,16	16,29	2159,1	0	37
CottonN2W2	1521	30	5,14	10,22	2700,0	146	38
CottonN2W3	1537	30	5,25	10,09	2722,7	285	38
CottonN2W4	1559	30	5,37	10,15	2736,4	417	39
CottonN2W5	1594	30	5,55	10,33	2759,1	531	39
CottonN2W6	1645	30	6,09	10,78	2786,4	620	41
CottonN2W7	1712	30	6,67	11,19	2818,2	676	42
CottonN2W8	1782	30	7,09	11,80	2859,1	705	44
CottonN3W1	1543	60	5,34	25,74	2400,0	0	37
CottonN3W2	1497	60	5,51	17,76	2822,7	146	38
CottonN3W3	1479	60	5,50	16,75	3009,1	285	38
CottonN3W4	1458	60	5,46	15,82	3227,3	417	39
CottonN3W5	1461	60	5,54	14,86	3413,6	531	39
CottonN3W6	1508	60	6,08	14,54	3454,6	620	41
CottonN3W7	1574	60	6,66	14,56	3504,6	676	42
CottonN3W8	1574	60	6,66	14,56	3504,6	676	42
CottonN4W1	1496	90	5,53	35,60	2627,3	0	37
CottonN4W2	1497	90	5,95	27,00	2818,2	146	38
CottonN4W3	1479	90	5,98	25,42	3009,1	285	38
CottonN4W4	1458	90	5,95	24,16	3227,3	417	39
CottonN4W5	1447	90	5,99	22,82	3481,8	531	39
CottonN4W6	1435	90	6,28	21,55	3818,2	620	41
CottonN4W7	1447	90	6,66	20,01	4127,3	676	42
CottonN4W8	1511	90	7,08	19,39	4195,5	705	44
CottonN5W1	1488	120	5,95	46,27	2672,7	0	37
CottonN5W2	1498	120	6,37	37,16	2818,2	146	38
CottonN5W3	1479	120	6,41	35,11	3009,1	285	38
CottonN5W4	1459	120	6,41	33,45	3227,3	417	39
CottonN5W5	1447	120	6,49	31,82	3481,8	531	39
CottonN5W6	1435	120	6,79	30,46	3818,2	620	41
CottonN5W7	1425	120	7,10	28,52	4236,4	676	42
CottonN5W8	1418	120	7,21	26,33	4654,6	705	44

Πηγή: Αποτελέσματα προσομοίωσης βιοφυσικού μοντέλου

<sup>59</sup> Οι δείκτες «N» και «W» αναφέρονται στις ποσότητες αζώτου και νερού (υπό τη μορφή του αρδευτικού δείκτη) αντίστοιχα που χρησιμοποιούνται ως εισροές στο βιοφυσικό μοντέλο (N1: 0 kgr/ha, N2: 30 kgr/ha, N3: 60 kgr/ha, N4: 90 kgr/ha, N5: 120 kgr/ha, W1: 0, W2: 0,1, W3: 0,2, W4: 0,3, W5: 0,4, W6: 0,5, W7: 0,6, W8: 0,7).

Πίνακας 46 Αποτελέσματα προσομοίωσης βάμβακος σε ιλυοπηλώδες έδαφος

Όνομα αρχείου <sup>60</sup>	CO <sub>2</sub> (kgr/ha)	Λίπασμα (kgrN/ha/year)	NO <sub>3</sub> (kgr/ha)	NH <sub>3</sub> (kgr/ha)	Σοδειά (kgr/ha)	Άρδευση (m <sup>3</sup> /ha)	Διήθηση (m <sup>3</sup> /ha)
CottonN1W1	1777	0	6,61	8,52	1827,3	0	45
CottonN1W2	1766	0	6,64	8,22	2122,7	148	46
CottonN1W3	1790	0	6,77	8,47	2136,4	287	46
CottonN1W4	1814	0	6,93	8,63	2150,0	422	47
CottonN1W5	1853	0	7,14	8,87	2172,7	537	48
CottonN1W6	1909	0	7,84	9,13	2200,0	626	49
CottonN1W7	1973	0	8,52	9,17	2236,4	682	50
CottonN1W8	2045	0	9,04	9,23	2272,7	711	52
CottonN2W1	1723	30	6,84	17,06	2090,9	0	45
CottonN2W2	1627	30	6,64	10,97	2809,1	148	46
CottonN2W3	1648	30	6,77	10,81	2840,9	287	46
CottonN2W4	1672	30	6,93	10,69	2863,6	422	47
CottonN2W5	1710	30	7,14	10,73	2890,9	537	48
CottonN2W6	1765	30	7,83	10,90	2922,7	626	49
CottonN2W7	1829	30	8,51	10,85	2959,1	682	50
CottonN2W8	1900	30	9,03	10,85	3000,0	711	52
CottonN3W1	1674	60	7,07	26,35	2336,4	0	45
CottonN3W2	1627	60	7,28	18,18	2809,1	148	46
CottonN3W3	1615	60	7,24	17,30	3009,1	287	46
CottonN3W4	1594	60	7,18	16,28	3250,0	422	47
CottonN3W5	1583	60	7,15	15,16	3522,7	537	48
CottonN3W6	1630	60	7,83	14,52	3595,5	626	49
CottonN3W7	1693	60	8,51	14,03	3640,9	682	50
CottonN3W8	1693	60	8,51	14,03	3640,9	682	50
CottonN4W1	1626	90	7,30	36,00	2568,2	0	45
CottonN4W2	1627	90	7,87	26,53	2809,1	148	46
CottonN4W3	1615	90	7,88	24,98	3004,6	287	46
CottonN4W4	1595	90	7,84	23,59	3250,0	422	47
CottonN4W5	1576	90	7,76	22,15	3559,1	537	48
CottonN4W6	1560	90	8,10	20,68	3945,5	626	49
CottonN4W7	1566	90	8,50	18,94	4281,8	682	50
CottonN4W8	1632	90	9,02	17,91	4345,5	711	52
CottonN5W1	1618	120	7,76	46,24	2609,1	0	45
CottonN5W2	1628	120	8,43	35,66	2809,1	148	46
CottonN5W3	1616	120	8,46	33,59	3004,6	287	46
CottonN5W4	1595	120	8,46	31,68	3245,5	422	47
CottonN5W5	1576	120	8,44	29,76	3559,1	537	48
CottonN5W6	1560	120	8,77	27,86	3945,5	626	49
CottonN5W7	1543	120	9,07	25,78	4395,5	682	50
CottonN5W8	1538	120	9,20	23,76	4818,2	711	52

Πηγή: Αποτελέσματα προσομοίωσης βιοφυσικού μοντέλου

<sup>60</sup> Οι δείκτες «N» και «W» αναφέρονται στις ποσότητες αζώτου και νερού (υπό τη μορφή του αρδευτικού δείκτη) αντίστοιχα που χρησιμοποιούνται ως εισροές στο βιοφυσικό μοντέλο (N1: 0 kgr/ha, N2: 30 kgr/ha, N3: 60 kgr/ha, N4: 90 kgr/ha, N5: 120 kgr/ha, W1: 0, W2: 0,1, W3: 0,2, W4: 0,3, W5: 0,4, W6: 0,5, W7: 0,6, W8: 0,7).

Πίνακας 47 Αποτελέσματα προσομοίωσης αραβόσιτου σε αργιλώδες έδαφος

Όνομα αρχείου <sup>61</sup>	CO <sub>2</sub> (kgr/ha)	Λίπασμα (kgrN/ha/year)	NO <sub>3</sub> (kgr/ha)	NH <sub>3</sub> (kgr/ha)	Σοδειά (kgr/ha)	Άρδευση (m <sup>3</sup> /ha)	Διήθηση (m <sup>3</sup> /ha)
MaizeN1W1	784	40	3,87	7,94	7490,0	241	38
MaizeN1W2	811	40	3,87	8,49	7580,0	317	38
MaizeN1W3	848	40	3,87	9,50	7707,5	383	38
MaizeN1W4	862	40	3,88	10,02	7765,0	443	38
MaizeN1W5	873	40	3,90	10,53	7825,0	494	38
MaizeN1W6	882	40	3,97	10,99	7882,5	533	38
MaizeN1W7	891	40	4,49	11,33	7940,0	562	39
MaizeN1W8	901	40	4,63	11,70	7992,5	582	40
MaizeN2W1	1882	100	3,84	20,94	10670,0	241	38
MaizeN2W2	1986	100	3,84	18,35	10972,5	317	38
MaizeN2W3	2028	100	3,85	19,26	11120,0	383	38
MaizeN2W4	2049	100	3,86	19,52	11192,5	443	38
MaizeN2W5	2060	100	3,88	19,83	11267,5	494	38
MaizeN2W6	2070	100	3,95	20,17	11330,0	533	38
MaizeN2W7	2078	100	4,46	20,39	11392,5	562	39
MaizeN2W8	2090	100	4,60	20,64	11452,5	582	40
MaizeN3W1	2485	160	4,00	44,69	12510,0	241	38
MaizeN3W2	2959	160	3,84	35,49	13785,0	317	38
MaizeN3W3	3009	160	3,85	35,36	13955,0	383	38
MaizeN3W4	3049	160	3,86	34,60	14085,0	443	38
MaizeN3W5	3081	160	3,89	34,28	14202,5	494	38
MaizeN3W6	3099	160	3,95	34,38	14292,5	533	38
MaizeN3W7	3112	160	4,46	34,20	14365,0	562	39
MaizeN3W8	3126	160	4,60	34,05	14435,0	582	40
MaizeN4W1	2461	220	4,90	69,09	12535,0	241	38
MaizeN4W2	3021	220	4,56	59,13	14150,0	317	38
MaizeN4W3	3387	220	4,19	56,69	15195,0	383	38
MaizeN4W4	3604	220	4,04	54,87	15827,5	443	38
MaizeN4W5	3794	220	3,94	53,30	16387,5	494	38
MaizeN4W6	3973	220	3,95	52,10	16817,5	533	38
MaizeN4W7	3995	220	4,46	51,66	16917,5	562	39
MaizeN4W8	4019	220	4,60	51,21	17012,5	582	40
MaizeN5W1	2439	280	5,80	91,90	12510,0	241	38
MaizeN5W2	2980	280	5,47	82,67	14127,5	317	38
MaizeN5W3	3337	280	5,19	79,33	15177,5	383	38
MaizeN5W4	3549	280	5,03	76,11	15780,0	443	38
MaizeN5W5	3742	280	4,89	74,21	16342,5	494	38
MaizeN5W6	3908	280	4,80	73,13	16835,0	533	38
MaizeN5W7	4058	280	5,15	72,15	17275,0	562	39
MaizeN5W8	4179	280	5,23	71,43	17667,5	582	40

Πηγή: Αποτελέσματα προσομοίωσης βιοφυσικού μοντέλου

<sup>61</sup> Οι δείκτες «N» και «W» αναφέρονται στις ποσότητες αζώτου και νερού (υπό τη μορφή του αρδευτικού δείκτη) αντίστοιχα που χρησιμοποιούνται ως εισροές στο βιοφυσικό μοντέλο (N1: 40 kgr/ha, N2: 100 kgr/ha, N3: 160 kgr/ha, N4: 220 kgr/ha, N5: 280 kgr/ha, W1: 0,3, W2: 0,4, W3: 0,5, W4: 0,6, W5: 0,7, W6: 0,8, W7: 0,9, W8: 1,0).

Πίνακας 48 Αποτελέσματα προσομοίωσης αραβόσιτου σε αργιλοπηλώδες έδαφος

Όνομα αρχείου <sup>62</sup>	CO <sub>2</sub> (kgr/ha)	Λίπασμα (kgrN/ha/year)	NO <sub>3</sub> (kgr/ha)	NH <sub>3</sub> (kgr/ha)	Σοδειά (kgr/ha)	Άρδευση (m <sup>3</sup> /ha)	Διήθηση (m <sup>3</sup> /ha)
MaizeN1W1	942	40	5,68	11,18	9295,0	244	43
MaizeN1W2	983	40	5,68	11,68	9427,5	320	43
MaizeN1W3	1033	40	5,69	12,95	9627,5	387	43
MaizeN1W4	1057	40	5,70	13,61	9740,0	448	43
MaizeN1W5	1070	40	5,74	14,26	9880,0	500	43
MaizeN1W6	1076	40	5,78	14,77	10037,5	540	43
MaizeN1W7	1079	40	5,86	15,23	10207,5	569	44
MaizeN1W8	1093	40	6,20	15,57	10382,5	591	45
MaizeN2W1	1931	100	5,68	29,74	12055,0	244	43
MaizeN2W2	2068	100	5,68	25,64	12457,5	320	43
MaizeN2W3	2129	100	5,68	26,26	12685,0	387	43
MaizeN2W4	2160	100	5,70	26,42	12830,0	448	43
MaizeN2W5	2178	100	5,73	26,57	12985,0	500	43
MaizeN2W6	2189	100	5,77	26,92	13157,5	540	43
MaizeN2W7	2198	100	5,85	27,23	13340,0	569	44
MaizeN2W8	2217	100	6,19	27,45	13527,5	591	45
MaizeN3W1	1927	160	6,55	52,13	12270,0	244	43
MaizeN3W2	2472	160	6,07	46,86	13760,0	320	43
MaizeN3W3	2986	160	5,75	44,52	15112,5	387	43
MaizeN3W4	3090	160	5,69	44,10	15435,0	448	43
MaizeN3W5	3118	160	5,73	44,03	15625,0	500	43
MaizeN3W6	3126	160	5,77	44,02	15782,5	540	43
MaizeN3W7	3129	160	5,85	44,17	15960,0	569	44
MaizeN3W8	3147	160	6,18	44,15	16145,0	591	45
MaizeN4W1	1915	220	7,59	72,22	12265,0	244	43
MaizeN4W2	2427	220	7,15	66,84	13752,5	320	43
MaizeN4W3	2892	220	6,70	64,81	15067,5	387	43
MaizeN4W4	3111	220	6,49	63,73	15705,0	448	43
MaizeN4W5	3276	220	6,38	63,25	16275,0	500	43
MaizeN4W6	3410	220	6,29	63,49	16790,0	540	43
MaizeN4W7	3521	220	6,26	63,89	17257,5	569	44
MaizeN4W8	3616	220	6,47	63,99	17652,5	591	45
MaizeN5W1	1913	280	8,63	92,31	12265,0	244	43
MaizeN5W2	2417	280	8,18	87,03	13752,5	320	43
MaizeN5W3	2858	280	7,75	84,83	15067,5	387	43
MaizeN5W4	3068	280	7,62	83,40	15705,0	448	43
MaizeN5W5	3237	280	7,50	82,70	16275,0	500	43
MaizeN5W6	3371	280	7,41	82,93	16785,0	540	43
MaizeN5W7	3478	280	7,42	83,21	17232,5	569	44
MaizeN5W8	3571	280	7,63	83,38	17620,0	591	45

Πηγή: Αποτελέσματα προσομοίωσης βιοφυσικού μοντέλου

<sup>62</sup> Οι δείκτες «N» και «W» αναφέρονται στις ποσότητες αζώτου και νερού (υπό τη μορφή του αρδευτικού δείκτη) αντίστοιχα που χρησιμοποιούνται ως εισροές στο βιοφυσικό μοντέλο (N1: 40 kgr/ha, N2: 100 kgr/ha, N3: 160 kgr/ha, N4: 220 kgr/ha, N5: 280 kgr/ha, W1: 0,3, W2: 0,4, W3: 0,5, W4: 0,6, W5: 0,7, W6: 0,8, W7: 0,9, W8: 1,0).

Πίνακας 49 Αποτελέσματα προσομοίωσης αραβόσιτου σε ιλυοπηλώδες έδαφος

Όνομα αρχείου <sup>63</sup>	CO <sub>2</sub> (kgr/ha)	Λίπασμα (kgrN/ha/year)	NO <sub>3</sub> (kgr/ha)	NH <sub>3</sub> (kgr/ha)	Σοδειά (kgr/ha)	Αρδευση (m <sup>3</sup> /ha)	Διήθηση (m <sup>3</sup> /ha)
MaizeN1W1	862	40	7,43	12,54	9675,0	249	52
MaizeN1W2	919	40	7,43	12,27	9862,5	326	52
MaizeN1W3	979	40	7,45	13,56	10080,0	399	52
MaizeN1W4	1007	40	7,47	14,44	10225,0	458	52
MaizeN1W5	1024	40	7,50	15,13	10375,0	511	53
MaizeN1W6	1036	40	7,85	15,62	10547,5	552	53
MaizeN1W7	1039	40	7,97	16,04	10722,5	582	54
MaizeN1W8	1045	40	8,11	16,37	10905,0	603	55
MaizeN2W1	1643	100	7,65	30,54	11952,5	249	52
MaizeN2W2	2013	100	7,41	25,43	12915,0	326	52
MaizeN2W3	2090	100	7,43	26,18	13182,5	399	52
MaizeN2W4	2118	100	7,45	26,42	13342,5	458	52
MaizeN2W5	2151	100	7,48	26,56	13515,0	511	53
MaizeN2W6	2168	100	7,83	26,68	13705,0	552	53
MaizeN2W7	2173	100	7,95	26,79	13890,0	582	54
MaizeN2W8	2185	100	8,08	26,93	14085,0	603	55
MaizeN3W1	1586	160	9,15	48,84	11917,5	249	52
MaizeN3W2	2136	160	8,51	43,75	13470,0	326	52
MaizeN3W3	2645	160	7,84	42,27	14897,5	399	52
MaizeN3W4	2883	160	7,61	41,83	15622,5	458	52
MaizeN3W5	3125	160	7,47	40,57	16257,5	511	53
MaizeN3W6	3151	160	7,82	40,49	16467,5	552	53
MaizeN3W7	3159	160	7,94	40,47	16662,5	582	54
MaizeN3W8	3169	160	8,07	40,11	16857,5	603	55
MaizeN4W1	1584	220	10,57	66,37	11917,5	249	52
MaizeN4W2	2104	220	9,95	61,51	13470,0	326	52
MaizeN4W3	2591	220	9,39	59,44	14897,5	399	52
MaizeN4W4	2824	220	9,08	58,47	15595,0	458	52
MaizeN4W5	3021	220	8,86	57,32	16200,0	511	53
MaizeN4W6	3161	220	8,95	56,58	16740,0	552	53
MaizeN4W7	3270	220	8,97	56,19	17212,5	582	54
MaizeN4W8	3355	220	9,05	55,70	17622,5	603	55
MaizeN5W1	1577	280	11,98	84,05	11917,5	249	52
MaizeN5W2	2102	280	11,36	79,16	13470,0	326	52
MaizeN5W3	2572	280	10,76	77,08	14897,5	399	52
MaizeN5W4	2790	280	10,55	75,62	15595,0	458	52
MaizeN5W5	2978	280	10,43	74,05	16200,0	511	53
MaizeN5W6	3120	280	10,45	73,07	16740,0	552	53
MaizeN5W7	3230	280	10,55	72,47	17212,5	582	54
MaizeN5W8	3315	280	10,71	71,76	17622,5	603	55

Πηγή: Αποτελέσματα προσομοίωσης βιοφυσικού μοντέλου

<sup>63</sup> Οι δείκτες «N» και «W» αναφέρονται στις ποσότητες αζώτου και νερού (υπό τη μορφή του αρδευτικού δείκτη) αντίστοιχα που χρησιμοποιούνται ως εισροές στο βιοφυσικό μοντέλο (N1: 40 kgr/ha, N2: 100 kgr/ha, N3: 160 kgr/ha, N4: 220 kgr/ha, N5: 280 kgr/ha, W1: 0,3, W2: 0,4, W3: 0,5, W4: 0,6, W5: 0,7, W6: 0,8, W7: 0,9, W8: 1,0).



Πίνακας 50 Αποτελέσματα προσομοίωσης κριθής σε αργιλώδες έδαφος

Όνομα αρχείου <sup>64</sup>	Λίπασμα (kgrN/ha/year)	NO <sub>3</sub> (kgr/ha)	NH <sub>3</sub> (kgr/ha)	Σοδειά (kgr/ha)	SOC <sup>65</sup> (kgrC/ha/year)	Διήθηση (m <sup>3</sup> /ha)
BarleyN10_Year-2	84	2,57	17,22	1795,0	405,59	34
BarleyN11_Year-2	80	2,59	16,28	1752,5	372,73	34
BarleyN12_Year-2	76	2,58	15,34	1710,0	339,66	34
BarleyN13_Year-2	72	2,58	14,38	1665,0	305,83	34
BarleyN14_Year-2	68	2,58	13,48	1620,0	272,23	34
BarleyN15_Year-2	64	2,59	12,58	1577,5	238,49	34
BarleyN16_Year-2	60	2,59	11,67	1532,5	203,91	34
BarleyN17_Year-2	56	2,60	10,79	1487,5	169,28	34
BarleyN18_Year-2	56	2,60	9,97	1442,5	134,72	34
BarleyN19_Year-2	48	2,60	9,14	1395,0	99,55	34
BarleyN1_Year-2	120	2,98	26,17	2355,0	835,24	34
BarleyN20_Year-2	44	2,60	8,34	1350,0	63,98	34
BarleyN21_Year-2	40	2,60	7,54	1302,5	27,86	34
BarleyN22_Year-2	36	2,60	6,81	1255,0	-8,41	34
BarleyN23_Year-2	32	2,61	6,07	1205,0	-45,81	34
BarleyN24_Year-2	28	2,61	5,41	1157,5	-83,25	34
BarleyN25_Year-2	24	2,61	4,75	1107,5	-121,82	34
BarleyN26_Year-2	20	2,62	4,14	1055,0	-160,96	34
BarleyN27_Year-2	16	2,61	3,62	1005,0	-200,21	34
BarleyN28_Year-2	12	2,61	3,11	952,5	-240,93	34
BarleyN29_Year-2	8	2,62	2,65	897,5	-282,32	34
BarleyN2_Year-2	116	2,88	25,17	2285,0	780,84	34
BarleyN30_Year-2	4	2,62	2,30	842,5	-324,47	34
BarleyN3_Year-2	112	2,79	24,17	2212,5	75,50	34
BarleyN4_Year-2	108	2,74	23,21	2147,5	675,07	34
BarleyN5_Year-2	104	2,69	22,17	2085,0	628,35	34
BarleyN6_Year-2	100	2,65	21,14	2022,5	580,80	34
BarleyN7_Year-2	96	2,60	20,08	1960,0	531,79	34
BarleyN8_Year-2	92	2,58	19,13	1897,5	483,18	34
BarleyN9_Year-2	88	2,57	18,19	1837,5	438,42	34

Πηγή: Αποτελέσματα προσομοίωσης βιοφυσικού μοντέλου

<sup>64</sup> Ο δείκτης «N» αναφέρεται στις ποσότητες αζώτου που χρησιμοποιούνται ως εισροές στο βιοφυσικό μοντέλο και κυμαίνονται από 4 kgr/ha έως 120 kgr/ha και η ένδειξη «Year-2» υποδεικνύει 2ετή αμειψισπορά κριθής.

<sup>65</sup> Soil Organic Carbon

Πίνακας 51 Αποτελέσματα προσομοίωσης κριθής σε αργιλοπηλώδες έδαφος

Όνομα αρχείου <sup>66</sup>	Λίπασμα (kgrN/ha/year)	NO <sub>3</sub> (kgr/ha)	NH <sub>3</sub> (kgr/ha)	Σοδειά (kgr/ha)	SOC <sup>67</sup> (kgrC/ha/year)	Διήθηση (m <sup>3</sup> /ha)
BarleyN1_Year-2	120	4,94	32,50	3015,0	955,94	35
BarleyN10_Year-2	84	3,71	22,27	2450,0	525,63	35
BarleyN11_Year-2	80	3,63	21,10	2380,0	473,57	35
BarleyN12_Year-2	76	3,57	19,94	2310,0	420,94	35
BarleyN13_Year-2	72	3,48	18,78	2242,5	368,70	35
BarleyN14_Year-2	68	3,44	17,66	2172,5	315,84	35
BarleyN15_Year-2	64	3,43	16,60	2130,0	282,93	35
BarleyN16_Year-2	60	3,43	15,45	2087,5	251,83	35
BarleyN17_Year-2	56	3,44	14,41	2047,5	221,46	35
BarleyN18_Year-2	56	3,44	13,33	2007,5	190,01	35
BarleyN19_Year-2	48	3,44	12,29	1965,0	158,74	35
BarleyN2_Year-2	116	4,75	31,45	2960,0	912,90	35
BarleyN20_Year-2	44	3,45	11,32	1925,0	127,48	35
BarleyN21_Year-2	40	3,44	10,28	1882,5	95,06	35
BarleyN22_Year-2	36	3,44	9,33	1840,0	62,81	35
BarleyN23_Year-2	32	3,45	8,39	1795,0	29,99	35
BarleyN24_Year-2	28	3,45	7,45	1752,5	-3,68	35
BarleyN25_Year-2	24	3,45	6,64	1707,5	-37,15	35
BarleyN26_Year-2	20	3,46	5,82	1660,0	-72,05	35
BarleyN27_Year-2	16	3,46	5,08	1615,0	-107,26	35
BarleyN28_Year-2	12	3,46	4,36	1567,5	-143,76	35
BarleyN29_Year-2	8	3,47	3,75	1517,5	-180,57	35
BarleyN3_Year-2	112	4,57	30,28	2897,5	866,75	35
BarleyN30_Year-2	4	3,46	3,20	1467,5	-219,33	35
BarleyN4_Year-2	108	4,33	29,18	2840,0	822,97	35
BarleyN5_Year-2	104	4,24	28,16	2780,0	777,49	35
BarleyN6_Year-2	100	4,14	26,98	2715,0	727,59	35
BarleyN7_Year-2	96	4,03	25,81	2650,0	677,88	35
BarleyN8_Year-2	92	3,89	24,66	2585,0	628,51	35
BarleyN9_Year-2	88	3,79	23,43	2517,5	576,82	35

Πηγή: Αποτελέσματα προσομοίωσης βιοφυσικού μοντέλου

<sup>66</sup> Ο δείκτης «N» αναφέρεται στις ποσότητες αζώτου που χρησιμοποιούνται ως εισροές στο βιοφυσικό μοντέλο και κυμαίνονται από 4 kgr/ha έως 120 kgr/ha και η ένδειξη «Year-2» υποδεικνύει 2ετή αμειψισπορά κριθής.

<sup>67</sup> Soil Organic Carbon

Πίνακας 52 Αποτελέσματα προσομοίωσης κριθής σε ιλοπηλώδες έδαφος

Όνομα αρχείου <sup>68</sup>	Λίπασμα (kgrN/ha/year)	NO <sub>3</sub> (kgr/ha)	NH <sub>3</sub> (kgr/ha)	Σοδειά (kgr/ha)	SOC <sup>69</sup> (kgrC/ha/year)	Διήθηση (m <sup>3</sup> /ha)
BarleyN10_Year-2	84	2,47	20,78	2190,0	455,98	40
BarleyN11_Year-2	80	4,70	20,20	2587,5	548,75	40
BarleyN12_Year-2	76	4,60	19,09	2517,5	495,16	40
BarleyN13_Year-2	72	4,53	18,06	2447,5	442,32	40
BarleyN14_Year-2	68	4,41	16,98	2377,5	389,08	40
BarleyN15_Year-2	64	4,34	15,96	2305,0	334,89	40
BarleyN16_Year-2	60	4,27	14,95	2235,0	280,68	40
BarleyN17_Year-2	56	4,28	13,95	2190,0	246,75	40
BarleyN18_Year-2	56	4,28	12,94	2147,5	215,02	40
BarleyN19_Year-2	48	4,29	11,97	2105,0	183,49	40
BarleyN1_Year-2	120	7,26	30,02	3082,5	921,69	40
BarleyN20_Year-2	44	4,29	11,02	2062,5	151,22	40
BarleyN21_Year-2	40	4,30	10,11	2020,0	119,38	40
BarleyN22_Year-2	36	4,30	9,21	1977,5	86,52	40
BarleyN23_Year-2	32	4,31	8,32	1932,5	53,56	40
BarleyN24_Year-2	28	4,21	7,45	1852,5	26,67	40
BarleyN25_Year-2	24	4,32	6,64	1842,5	-14,46	40
BarleyN26_Year-2	20	4,32	5,93	1797,5	-48,89	40
BarleyN27_Year-2	16	4,33	5,20	1750,0	-84,35	40
BarleyN28_Year-2	12	4,34	4,56	1702,5	-120,30	40
BarleyN29_Year-2	8	4,34	3,93	1652,5	-157,57	40
BarleyN2_Year-2	116	6,77	28,78	3082,5	922,06	40
BarleyN30_Year-2	4	4,35	3,44	1602,5	-195,53	40
BarleyN3_Year-2	112	6,35	27,89	3080,0	919,32	40
BarleyN4_Year-2	108	6,12	27,17	3027,5	879,38	40
BarleyN5_Year-2	104	5,86	26,28	2970,0	836,70	40
BarleyN6_Year-2	100	5,56	25,25	2910,0	791,54	40
BarleyN7_Year-2	96	5,28	24,24	2850,0	746,16	40
BarleyN8_Year-2	92	5,08	23,37	2790,0	701,86	40
BarleyN9_Year-2	88	4,93	22,30	2722,5	651,28	40

Πηγή: Αποτελέσματα προσομοίωσης βιοφυσικού μοντέλου

<sup>68</sup> Ο δείκτης «N» αναφέρεται στις ποσότητες αζώτου που χρησιμοποιούνται ως εισροές στο βιοφυσικό μοντέλο και κυμαίνονται από 4 kgr/ha έως 120 kgr/ha και η ένδειξη «Year-2» υποδεικνύει 2ετή αμειψισπορά κριθής.

<sup>69</sup> Soil Organic Carbon

Πίνακας 53 Αποτελέσματα προσομοίωσης σίτου σε αργιλώδες έδαφος

Όνομα αρχείου <sup>70</sup>	Λίπασμα (kgrN/ha/year)	CO <sub>2</sub> (kgr/ha)	NO <sub>3</sub> (kgr/ha)	NH <sub>3</sub> (kgr/ha)	Σοδειά (kgr/ha)	Λήθηση (m <sup>3</sup> /ha)
WheatN100_Year-2	100	-44	13,12	80,59	3240,0	52
WheatN105_Year-2	105	-31	13,44	85,79	3310,0	52
WheatN110_Year-2	110	-19	13,68	90,89	3377,5	52
WheatN115_Year-2	115	-7	13,86	96,06	3447,5	52
WheatN120_Year-2	120	6	14,03	101,39	3517,5	52
WheatN125_Year-2	125	18	14,17	106,78	3585,0	52
WheatN130_Year-2	130	29	14,30	112,20	3647,5	52
WheatN135_Year-2	135	41	14,43	117,76	3712,5	52
WheatN140_Year-2	140	52	14,55	123,38	3772,5	52
WheatN145_Year-2	145	62	14,68	129,04	3832,5	52
WheatN150_Year-2	150	72	14,78	134,73	3890,0	52
WheatN155_Year-2	155	83	14,86	140,50	3950,0	52
WheatN15_Year-2	15	-308	3,74	9,41	1750,0	52
WheatN160_Year-2	160	93	14,95	146,28	4005,0	52
WheatN20_Year-2	20	-287	4,67	12,20	1870,0	52
WheatN25_Year-2	25	-267	5,51	15,24	1982,5	52
WheatN30_Year-2	30	-247	6,14	18,44	2097,5	52
WheatN35_Year-2	35	-229	6,87	21,97	2200,0	52
WheatN40_Year-2	40	-211	7,58	25,72	2297,5	52
WheatN45_Year-2	45	-197	8,28	29,40	2382,5	52
WheatN50_Year-2	50	-180	8,81	33,52	2472,5	52
WheatN55_Year-2	55	-165	9,25	37,71	2560,0	52
WheatN60_Year-2	60	-148	9,55	42,10	2652,5	52
WheatN65_Year-2	65	-134	9,87	46,51	2735,0	52
WheatN70_Year-2	70	-120	10,33	51,10	2812,5	52
WheatN75_Year-2	75	-107	10,80	55,80	2887,5	52
WheatN80_Year-2	80	-93	11,23	60,65	2962,5	52
WheatN85_Year-2	85	-80	11,67	65,55	3037,5	52
WheatN90_Year-2	90	-68	12,23	70,47	3102,5	52
WheatN95_Year-2	95	-56	12,74	75,49	3170,0	52

Πηγή: Αποτελέσματα προσομοίωσης βιοφυσικού μοντέλου

<sup>70</sup> Ο δείκτης «N» αναφέρεται στις ποσότητες αζώτου που χρησιμοποιούνται ως εισροές στο βιοφυσικό μοντέλο και κυμαίνονται από 15 kgr/ha έως 160 kgr/ha και η ένδειξη «Year-2» υποδεικνύει 2ετή αμειψισπορά σίτου.

Πίνακας 54 Αποτελέσματα προσομοίωσης σίτου σε αργιλοπηλώδες έδαφος

Όνομα αρχείου <sup>71</sup>	Λίπασμα (kgrN/ha/year)	CO <sub>2</sub> (kgr/ha)	NO <sub>3</sub> (kgr/ha)	NH <sub>3</sub> (kgr/ha)	Σοδειά (kgr/ha)	Διήθηση (m <sup>3</sup> /ha)
WheatN100_Year-2	100	-184	12,21	101,63	3320,0	55
WheatN105_Year-2	105	-174	12,49	107,65	3377,5	55
WheatN110_Year-2	110	-165	12,70	113,53	3430,0	55
WheatN115_Year-2	115	-155	12,88	119,54	3485,0	55
WheatN120_Year-2	120	-145	13,06	125,63	3542,5	55
WheatN125_Year-2	125	-135	13,24	131,76	3597,5	55
WheatN130_Year-2	130	-126	13,42	137,91	3652,5	55
WheatN135_Year-2	135	-116	13,57	144,14	3705,0	55
WheatN140_Year-2	140	-107	13,69	150,40	3757,5	55
WheatN145_Year-2	145	-98	13,81	156,70	3807,5	55
WheatN150_Year-2	150	-89	13,92	163,07	3857,5	55
WheatN155_Year-2	155	-80	14,03	169,46	3905,0	55
WheatN15_Year-2	15	-393	5,51	12,84	2137,5	55
WheatN160_Year-2	160	-72	14,14	175,88	3955,0	55
WheatN20_Year-2	20	-376	6,00	16,78	2232,5	55
WheatN25_Year-2	25	-361	6,53	20,90	2320,0	55
WheatN30_Year-2	30	-346	6,99	25,33	2405,0	55
WheatN35_Year-2	35	-334	7,66	29,80	2472,5	55
WheatN40_Year-2	40	-320	8,21	34,78	2552,5	55
WheatN45_Year-2	45	-307	8,67	39,83	2625,0	55
WheatN50_Year-2	50	-293	8,90	45,07	2705,0	55
WheatN55_Year-2	55	-281	9,12	50,31	2775,0	55
WheatN60_Year-2	60	-269	9,45	55,75	2842,5	55
WheatN65_Year-2	65	-258	9,80	61,15	2902,5	55
WheatN70_Year-2	70	-247	10,14	66,79	2967,5	55
WheatN75_Year-2	75	-236	10,49	72,48	3030,0	55
WheatN80_Year-2	80	-225	10,82	78,22	3092,5	55
WheatN85_Year-2	85	-214	11,19	83,96	3150,0	55
WheatN90_Year-2	90	-204	11,56	89,77	3207,5	55
WheatN95_Year-2	95	-194	11,90	95,67	3265,0	55

Πηγή: Αποτελέσματα προσομοίωσης βιοφυσικού μοντέλου

<sup>71</sup> Ο δείκτης «N» αναφέρεται στις ποσότητες αζώτου που χρησιμοποιούνται ως εισροές στο βιοφυσικό μοντέλο και κυμαίνονται από 15 kgr/ha έως 160 kgr/ha και η ένδειξη «Year-2» υποδεικνύει 2ετή αμειψισπορά σίτου.

Πίνακας 55 Αποτελέσματα προσομοίωσης σίτου σε ιλυοπηλώδες έδαφος

Όνομα αρχείου <sup>72</sup>	Λίπασμα (kgrN/ha/year)	CO <sub>2</sub> (kgr/ha)	NO <sub>3</sub> (kgr/ha)	NH <sub>3</sub> (kgr/ha)	Σοδειά (kgr/ha)	Διήθηση (m <sup>3</sup> /ha)
WheatN100_Year-2	100	-176	15,50	93,65	3430,0	56
WheatN105_Year-2	105	-166	15,93	99,01	3490,0	56
WheatN110_Year-2	110	-155	16,32	104,43	3552,5	56
WheatN115_Year-2	115	-143	16,60	109,91	3617,5	56
WheatN120_Year-2	120	-131	16,82	115,45	3687,5	56
WheatN125_Year-2	125	-119	17,04	120,97	3752,5	56
WheatN130_Year-2	130	-108	17,24	126,52	3817,5	56
WheatN135_Year-2	135	-96	17,44	132,15	3885,0	56
WheatN140_Year-2	140	-85	17,63	137,77	3947,5	56
WheatN145_Year-2	145	-74	17,81	143,46	4010,0	56
WheatN150_Year-2	150	-63	18,00	149,12	4070,0	56
WheatN155_Year-2	155	-53	18,19	154,73	4125,0	56
WheatN15_Year-2	15	-398	6,51	12,31	2165,0	56
WheatN160_Year-2	160	-43	18,39	160,41	4182,5	56
WheatN20_Year-2	20	-381	7,09	15,95	2265,0	56
WheatN25_Year-2	25	-365	7,77	19,72	2352,5	56
WheatN30_Year-2	30	-351	8,54	23,78	2435,0	56
WheatN35_Year-2	35	-338	9,31	28,05	2512,5	56
WheatN40_Year-2	40	-324	9,97	32,56	2592,5	56
WheatN45_Year-2	45	-309	10,57	37,27	2672,5	56
WheatN50_Year-2	50	-295	10,93	42,04	2755,0	56
WheatN55_Year-2	55	-282	11,31	46,86	2830,0	56
WheatN60_Year-2	60	-270	11,75	51,72	2897,5	56
WheatN65_Year-2	65	-257	12,20	56,81	2970,0	56
WheatN70_Year-2	70	-245	12,65	61,96	3040,0	56
WheatN75_Year-2	75	-233	13,09	67,15	3110,0	56
WheatN85_Year-2	85	-210	14,08	77,60	3237,5	56
WheatN90_Year-2	80	-222	13,55	72,31	3172,5	56
WheatN95_Year-2	95	-188	15,07	88,27	3365,0	56
WheatN95_Year-2	95	-129	10,47	89,93	3215,0	56

Πηγή: Αποτελέσματα προσομοίωσης βιοφυσικού μοντέλου

<sup>72</sup> Ο δείκτης «N» αναφέρεται στις ποσότητες αζώτου που χρησιμοποιούνται ως εισροές στο βιοφυσικό μοντέλο και κυμαίνονται από 15 kgr/ha έως 160 kgr/ha και η ένδειξη «Year-2» υποδεικνύει 2ετή αμειψισπορά σίτου.

Πίνακας 56 Αποτελέσματα P – τεστ για τη συνάρτηση παραγωγής

Μορφή συνάρτησης Καλλιεργούμενο είδος – Τύπος εδάφους	Δευτεροβάθμια	Τρανσλογαριθμική
Αραβόσιτος – Αργιλώδες	-	-
Αραβόσιτος – Αργιλοπηλώδες	✓	-
Αραβόσιτος - Ιλυοπηλώδες	-	-
Μηδική – Αργιλώδες	-	-
Μηδική – Αργιλοπηλώδες	-	-
Μηδική - Ιλυοπηλώδες	-	-
Βαμβάκι – Αργιλώδες	-	-
Βαμβάκι – Αργιλοπηλώδες	✓ (P=0,7)	✓ (P=0,1)
Βαμβάκι - Ιλυοπηλώδες	✓ (P=0,8)	✓ (P=0,3)
Κριθάρι – Αργιλώδες	✓	
Κριθάρι – Αργιλοπηλώδες	✓	
Κριθάρι - Ιλυοπηλώδες	✓	
Σιτάρι – Αργιλώδες	✓	
Σιτάρι - Αργιλοπηλώδες	✓	
Σιτάρι - Ιλυοπηλώδες	✓	

Πηγή: Αποτελέσματα μεταμοντέλου

Πίνακας 57 Αποτελέσματα P – τεστ για τη συνάρτηση νιτρικών (NO<sub>3</sub>)

Μορφή συνάρτησης Καλλιεργούμενο είδος – Τύπος εδάφους	Γραμμική	Δευτεροβάθμια	Τετραγωνική Ρίζα	Ημιλογαριθμική 1	Ημιλογαριθμική 2	Ημιλογαριθμική 3
Αραβόσιτος – Αργιλώδες	-	-	-	-	-	-
Αραβόσιτος – Αργιλοπηλώδες	-	✓	-	-	-	-
Αραβόσιτος - Ιλυοπηλώδες	-	✓	-	-	-	-
Μηδική – Αργιλώδες	-	✓	-	-	-	-
Μηδική – Αργιλοπηλώδες	-	✓	-	-	-	-
Μηδική - Ιλυοπηλώδες	-	✓	-	-	-	-
Βαμβάκι – Αργιλώδες	-	-	-	-	✓	-
Βαμβάκι – Αργιλοπηλώδες	-	-	-	-	-	-
Βαμβάκι - Ιλυοπηλώδες	-	✓	-	-	-	-
Κριθάρι – Αργιλώδες	-	-	-	-	-	-
Κριθάρι – Αργιλοπηλώδες	-	-	-	-	-	-
Κριθάρι - Ιλυοπηλώδες	-	-	-	-	✓	-
Σιτάρι – Αργιλώδες	-	✓	-	-	-	-
Σιτάρι - Αργιλοπηλώδες	-	✓	-	-	-	-
Σιτάρι - Ιλυοπηλώδες	-	✓	✓	-	✓	✓

Πηγή: Αποτελέσματα μεταμοντέλου

Πίνακας 58 Αποτελέσματα P – τεστ για τη συνάρτηση δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>)

Μορφή συνάρτησης Καλλιεργούμενο είδος – Τύπος εδάφους	Δευτεροβάθμια	Ημιλογαριθμική
Αραβόσιτος – Αργιλώδες	-	-
Αραβόσιτος – Αργιλοπηλώδες	✓	-
Αραβόσιτος - Ιλυοπηλώδες	✓	-
Μηδική – Αργιλώδες	-	✓
Μηδική – Αργιλοπηλώδες	✓ (P=0,6)	✓ (P=0,05)
Μηδική - Ιλυοπηλώδες	✓ (P=0,98)	-
Βαμβάκι – Αργιλώδες	✓	-
Βαμβάκι – Αργιλοπηλώδες	✓	-
Βαμβάκι - Ιλυοπηλώδες	✓	-
Κριθάρι – Αργιλώδες	✓	-
Κριθάρι – Αργιλοπηλώδες	✓	-
Κριθάρι - Ιλυοπηλώδες	✓	-
Σιτάρι – Αργιλώδες	✓	-
Σιτάρι - Αργιλοπηλώδες	✓	-
Σιτάρι - Ιλυοπηλώδες	✓	-

Πηγή: Αποτελέσματα μεταμοντέλου

Πίνακας 59 Αποτελέσματα P – τεστ για τη συνάρτηση έκλυσης αμμωνίας (NH<sub>3</sub>)

Μορφή συνάρτησης Καλλιεργούμενο είδος – Τύπος εδάφους	Δευτεροβάθμια	Ημιλογαριθμική
Αραβόσιτος – Αργιλώδες	-	-
Αραβόσιτος – Αργιλοπηλώδες	-	-
Αραβόσιτος - Ιλυοπηλώδες	✓	-
Μηδική – Αργιλώδες	-	✓
Μηδική – Αργιλοπηλώδες	✓	-
Μηδική - Ιλυοπηλώδες	✓ (P=0,6)	✓ (P=0,2)
Βαμβάκι – Αργιλώδες	-	✓
Βαμβάκι – Αργιλοπηλώδες	✓	-
Βαμβάκι - Ιλυοπηλώδες	✓	-
Κριθάρι – Αργιλώδες	-	-
Κριθάρι – Αργιλοπηλώδες	-	-
Κριθάρι - Ιλυοπηλώδες	-	-
Σιτάρι – Αργιλώδες	-	-
Σιτάρι - Αργιλοπηλώδες	-	-
Σιτάρι - Ιλυοπηλώδες	-	-

Πηγή: Αποτελέσματα μεταμοντέλου



Πίνακας 60 Φυτικοί συντελεστές, στάδια ανάπτυξης και καλλιεργητικές περιόδους για τα κυριότερα καλλιεργούμενα είδη στον Τ.Ο.Ε.Β. Πηνειού

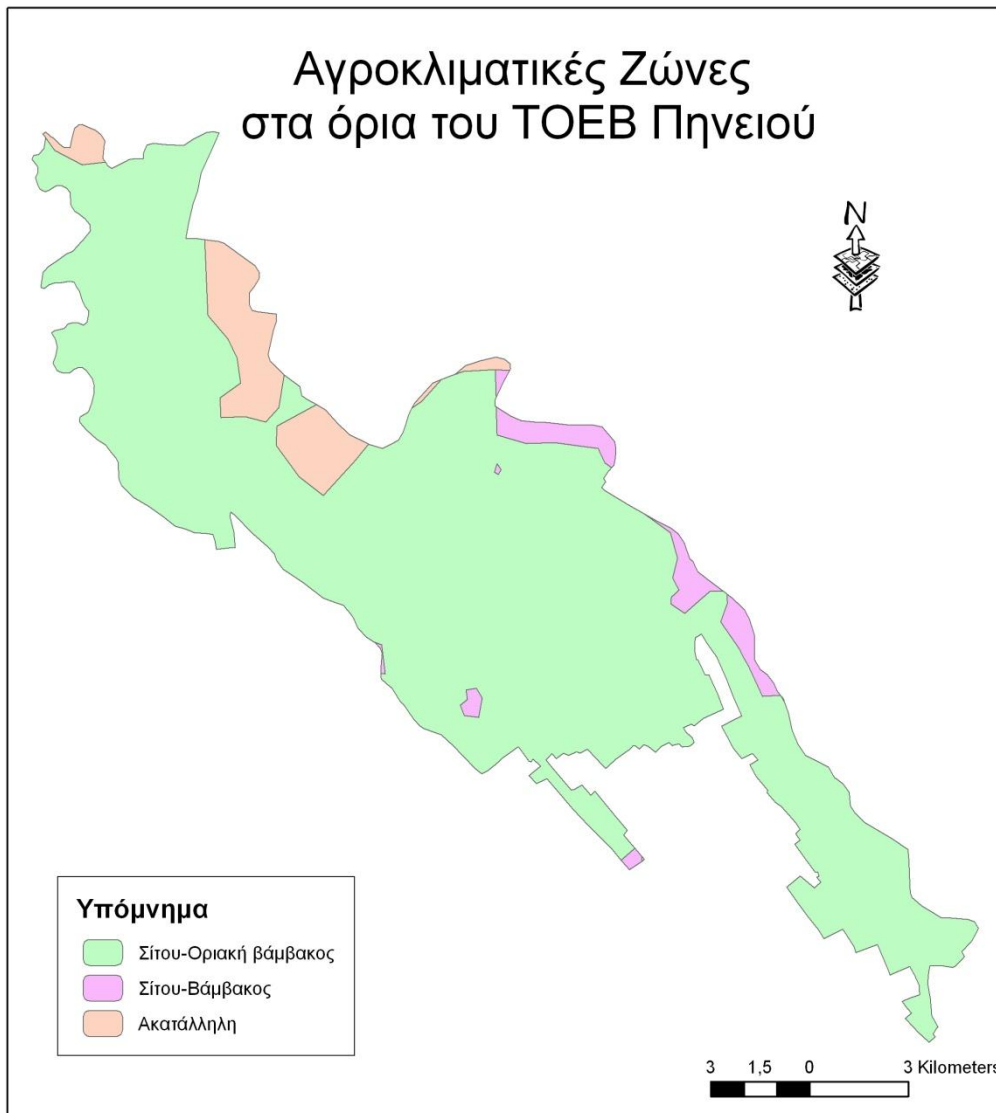
Καλλιεργούμενο είδος	Φυτικοί συντελεστές	Διάρκεια σταδίων ανάπτυξης	Καλλιεργητική περίοδος (Julian day)
Βαμβάκι	0,45/1,05/0,60	30/60/45	160
Αραβόσιτος	0,5/1,05/0,6	25/40/60	150
Μηδική	0,9/0,95/0,9	60/60/125	260

Πηγή: Παπαζαφειρίου (1999)

Πίνακας 61 Απολογισμός 2009 Τ.Ο.Ε.Β. Πηνειού

Αιτιολογία Δαπανών	Συνολικές Δαπάνες (€)	Σταθερές Δαπάνες (€)	Μεταβλητές Δαπάνες (€)
<i>Δαπάνες Διοίκησης</i>			
Οδοιπορικά, αποζημιώσεις μελών ΓΣ και ΔΣ	19.945,97	19.945,97	
Αποδοχές προσωπικού	84.903,26	84.903,26	
Οδοιπορικά προσωπικού	9.198,00	4.599,00	4.599,00
Ενοίκια γραφείου, αιθουσών, κοινόχρηστα	5.415,61	5.415,61	
Γραφική ύλη, έντυπα	638,69	638,69	
ΟΤΕ, ΔΕΗ, ΔΕΥΑΛ, COSMOTE, TELLAS, ΕΛΤΑ	17.814,81	17.814,81	
Αποδοχές καθαρίστριας	5.266,26	5.266,26	
Δημοσιεύσεις, συνδρομές	815,68	815,68	
Δικαστικά, δικηγορικά	7.087,10	7.087,10	
Διάφορα μικροέξοδα	2.206,03	2.206,03	
<i>Συντήρηση αντλιοστασίων - γεωτρήσεων</i>			
Τεχνικά έργα	1.677,11	1.677,11	
Χωματουργικές εργασίες	43.696,65	43.696,65	
Αντλιοστάσια: επισκευές, υλικά	40.361,60	40.361,60	
Γεωτρήσεις: υλικά, εργασίες, ημερομίσθια, αγωγή	22.092,41	22.092,41	
Γεωτρήσεις: επισκευές, εργασίες, υλικά	69.699,49	69.699,49	
Συντήρηση ταμιευτήρων: υλικά, εργασίες	49.214,91	49.214,91	
<i>Λειτουργία αντλιοστασίων - γεωτρήσεων</i>			
ΔΕΗ	342.020,00		342.020,00
Ηλεκτρολόγος	32.923,66		32.923,66
Φύλακες αντλιοστασίων	70.870,51		70.870,51
Υδρονομείς	108.265,33		108.265,33
Αυτοκίνητα: καύσιμα, ασφάλειες, κ.λπ.	16.533,44		16.533,44
<i>Τόκοι – Προμήθειες - Αποζημιώσεις</i>			
Ενοίκια, αποζημιώσεις	15.485,34	15.485,34	
Διάφορα μικροέξοδα	63,75	63,75	
<i>Υποχρεώσεις</i>			
Πιστωτές	562.248,38	562.248,38	
Πιστωτές αρδευτικών τελών	2.705,01		2.705,01
<i>Κρατήσεις για σχηματισμό κεφαλαίου</i>			
Αποσβέσεις	52.902,63	52.902,63	
<b>Σύνολο</b>	<b>1.584.051,63</b>	<b>1.006.134,68</b>	<b>577.916,95</b>

Πηγή: Στοιχεία Τ.Ο.Ε.Β. Πηνειού



Εικόνα 7 Αγροκλιματικές Ζώνες στα όρια του Τ.Ο.Ε.Β. Πηνειού

Πίνακας 62 Αποτελέσματα ακαθάριστου κέρδους, εφαρμοζόμενων ποσοτήτων νερού και λιπάσματος ανά καλλιέργεια και εδαφικό τύπο του βασικού σεναρίου

Καλλιεργούμενο είδος	Βαμβάκι	Βαμβάκι	Βαμβάκι	Αραβόσιτος	Αραβόσιτος	Αραβόσιτος	Σιτάρι	Κριθάρι	Μηδική	Αγροανάπαυση		
	καταιονισμός	καταιονισμός	καταιονισμός	καταιονισμός	καταιονισμός	καταιονισμός				C	CL	SiL
Τύπος εδάφους	C	CL	SiL	C	CL	SiL	SiL	SiL	CL	C	CL	SiL
Καλλιεργούμενη έκταση (σε ha)	5.551,20	6.594,23	2.014,06	154,39	222,91	97,17	1.409,28	70,46	1.420,38	572,74	826,90	360,47
Παραγόμενη ποσότητα (σε kg/ha)	3.589,00	3.326,12	3.313,12	11.000,00	11.000,00	11.000,00	3.429,76	1.681,21	11.575,40			
Παραγόμενη ποσότητα (σε kg)	19.923.276,90	21.933.224,58	6.672.839,53	1.698.290,00	2.452.010,00	1.068.870,00	4.833.495,68	118.464,83	16.441.470,20			
Μέση παραγόμενη ποσότητα ανά είδος (σε kg/ha)	3.409,42			11.000,00			3.429,76	1.681,21	11.575,40			
Χρησιμοποιούμενη ποσότητα νερού (σε m <sup>3</sup> /ha)	5.763,44	4.532,78	4.891,04	6.107,65	6.063,76	3.922,65			4.845,00			
Εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού (σε m <sup>3</sup> /ha)	8.233,49	6.475,40	6.987,20	8.725,22	8.662,51	5.603,79			6.921,43			
Συνολικά εφαρμοζόμενο νερό καταιονισμού (σε m <sup>3</sup> )	45.705.732,29	42.700.282,51	14.072.657,91	1.347.086,91	1.930.960,31	544.519,84			9.831.059,63			
Συνολικά εφαρμοζόμενο νερό περιοχής (σε m <sup>3</sup> )	<b>116.132.299,39</b>											
Ποσότητα λιπάσματος (σε kg/ha)	160,00	103,49	106,23	77,76	50,50	50,00	100,00	10,00	70,00			
Ποσότητα λιπάσματος ανα καλλιέργεια (σε kg)	888.192,00	682.409,22	213.960,07	12.004,62	11.257,01	4.858,50	140.928,30	704,64	99.426,60			
Ποσότητα λιπάσματος περιοχής (σε kg)	<b>2.053.740,96</b>											
	Βαμβάκι	Αραβόσιτος	Σιτάρι	Κριθάρι	Μηδική	Αγροανάπαυση						
	καταιονισμός	καταιονισμός										
Κόστος λίπανσης ανα καλλιέργεια (σε €)	3.140.827,86	49.491,44	248.033,80	1.240,17	174.990,82							
Κόστος άρδευσης ανα καλλιέργεια (σε €)	1.313.576,16	44.016,58			131.768,65							
Μεταβλητά έξοδα ανα καλλιέργεια (σε €)	9.166.855,70	367.780,68	292.059,80	10.715,48	1.046.067,26							
Συνολικό κόστος ανα καλλιέργεια (σε €)	13.621.259,72	461.288,69	540.093,60	11.955,65	1.352.826,73							
Έσοδα ανα καλλιέργεια (σε €)	29.117.604,60	887.258,90	773.359,31	16.585,08	2.466.220,53							
Επιδότηση ανα καλλιέργεια (σε €)			120.916,48			799.529,97						
Συνολικά έσοδα ανα καλλιέργεια (σε €)	29.117.604,60	887.258,90	894.275,79	16.585,08	2.466.220,53	799.529,97						
Ακαθάριστο κέρδος ανά καλλιέργεια (σε €)	15.496.344,88	425.970,21	354.182,19	4.629,42	1.113.393,80	799.529,97						
Συνολικό ακαθάριστο κέρδος (σε €)	<b>18.194.050,47</b>											

Πηγή: Λύση οικονομικού μοντέλου για το βασικό σενάριο

Πίνακας 63 Αποτελέσματα νιτρικού φορτίου και βαθιάς διήθησης ανά καλλιέργεια και εδαφικό τύπο του βασικού σεναρίου

Καλλιεργούμενα είδη	Τύπος εδάφους	Έκταση (ha)	Απαιτήσεις σε νερό (m <sup>3</sup> /ha)	Ποσότητα λιπάσματος (kgr/ha)	Νιτρικά (kg/ha)	Συνολικά νιτρικά (kgr)	Μέση διήθηση (m <sup>3</sup> /ha)	Συνολική διήθηση (m <sup>3</sup> )
Βαμβάκι στάγδην	C				2,96	0	357	0
	CL				5,02	0	397	0
	SiL				6,56	0	478	0
Βαμβάκι καταιονισμός	C	5.551,20	5.763,44	160,00	7,30	40502	357	1981778
	CL	6.594,23	4.532,78	103,49	3,50	23067	397	2617909
	SiL	2.014,06	4.891,04	106,23	10,59	21334	478	962722
Βαμβάκι επιδοτούμενο	C				5,90	0	357	0
	CL				6,67	0	397	0
	SiL				9,83	0	478	0
Αραβόσιτος στάγδην	C				5,75	0	384	0
	CL				7,23	0	434	0
	SiL				9,99	0	529	0
Αραβόσιτος καταιονισμός	C	154,39	6.107,65	77,76	11,40	1760	384	59286
	CL	222,91	6.063,76	50,50	11,05	2464	434	96743
	SiL	97,17	3.922,65	50,00	10,43	1014	529	51403
Σιτάρι	C				2,70	0	340	0
	CL				3,69	0	350	0
	SiL	1.409,28		100,00	10,79	15208	400	563713
Κριθάρι	C				2,70	0	340	0
	CL				3,69	0	350	0
	SiL	70,46		10,00	4,58	323	400	28186
Μηδική	C				9,68	0	331	0
	CL	1.420,38	4.845,00	70,00	12,03	17091	342	485770
	SiL				16,62	0	470	0
Σόργο	C				5,31	0	410	0
	CL				6,60	0	460	0
	SiL				7,93	0	560	0
Αγρανάπωση	C	572,74				0		0
	CL	826,90				0		0
	SiL	360,47				0		0
<b>Σύνολο</b>						122.761,16		6.847.510,21
						<b>mg</b>		<b>lit</b>
<b>Σύνολο</b>						122.761.155.357,85		6.847.510.206,20

Πηγή: Λύση οικονομικού μοντέλου για το βασικό σενάριο

Πίνακας 64 Αποτελέσματα δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα ανά καλλιέργεια και εδαφικό τύπο του βασικού σεναρίου

Καλλιεργούμενα είδη	Τύπος εδάφους	Έκταση (ha)	Απαιτήσεις σε νερό (m <sup>3</sup> /ha)	Ποσότητα λιπάσματος (kgr/ha)	CO <sub>2</sub> (kgr/ha)	Σύνολο CO <sub>2</sub> (kgr)
Βαμβάκι στάγδην	C	-	-	-	-1386,12	0
	CL	-	-	-	-1649,98	0
	SiL	-	-	-	-1763,28	0
Βαμβάκι καταιονισμός	C	5.551,20	5.763,44	160,00	-807,95	-4485111
	CL	6.594,23	4.532,78	103,49	-1426,30	-9405365
	SiL	2.014,06	4.891,04	106,23	-1560,06	-3142066
Βαμβάκι επιδοτούμενο	C	-	-	-	-1134,77	0
	CL	-	-	-	-1693,98	0
	SiL	-	-	-	-1816,34	0
Αραβόσιτος στάγδην	C	-	-	-	-510,44	0
	CL	-	-	-	-785,78	0
	SiL	-	-	-	-1050,10	0
Αραβόσιτος καταιονισμός	C	154,39	6.107,65	77,76	1635,32	252477
	CL	222,91	6.063,76	50,50	53,02	11818
	SiL	97,17	3.922,65	50,00	760,91	73938
Σιτάρι	C	-	-	-	-430,58	0
	CL	-	-	-	-356,15	0
	SiL	1.409,28	-	100,00	-169,79	-239287
Κριθάρι	C	-	-	-	-329,81	0
	CL	-	-	-	-218,72	0
	SiL	70,46	-	10,00	-139,72	-9845
Μηδική	C	-	-	-	201,28	0
	CL	1.420,38	4.845,00	70,00	-70,66	-100368
	SiL	-	-	-	104,87	0
Σόργο	C	-	-	-	-672,21	0
	CL	-	-	-	-862,77	0
	SiL	-	-	-	-923,55	0
Αγρανάπαυση	C	572,74	-	-	-	0
	CL	826,90	-	-	-	0
	SiL	360,47	-	-	-	0
<b>Σύνολο</b>						<b>- 17.043.808,43</b>

Πηγή: Λύση οικονομικού μοντέλου για το βασικό σενάριο

Πίνακας 65 Αποτελέσματα έκλυσης αμμωνίας ανά καλλιέργεια και εδαφικό τύπο του βασικού σεναρίου

Καλλιεργούμενα είδη	Τύπος εδάφους	Έκταση (ha)	Απαιτήσεις σε νερό (m <sup>3</sup> /ha)	Ποσότητα λιπάσματος (kgr/ha)	NH <sub>3</sub> (kgr/ha)	Σύνολο NH <sub>3</sub> (kgr)
Βαμβάκι στάγδην	C	-	-	-	6,58	0
	CL	-	-	-	9,05	0
	SiL	-	-	-	9,78	0
Βαμβάκι καταιονισμός	C	5.551,20	5.763,44	160,00	31,02	172184
	CL	6.594,23	4.532,78	103,49	26,53	174974
	SiL	2.014,06	4.891,04	106,23	25,24	50842
Βαμβάκι επιδοτούμενο	C	-	-	-	7,83	0
	CL	-	-	-	9,62	0
	SiL	-	-	-	9,92	0
Αραβόσιτος στάγδην	C	-	-	-	9,73	0
	CL	-	-	-	14,00	0
	SiL	-	-	-	9,96	0
Αραβόσιτος καταιονισμός	C	154,4	6.107,7	77,8	18,63	2877
	CL	222,91	6.063,8	50,5	18,76	4181
	SiL	97,17	3.922,65	50,00	15,25	1482
Σιτάρι	C	-	-	-	-2,62	0
	CL	0,0	0,0	0,0	-2,08	0
	SiL	1.409,28	-	100,00	93,38	131598
Κριθάρι	C	-	-	-	1,37	0
	CL	-	-	-	1,91	0
	SiL	70,46	-	10,00	4,02	283
Μηδική	C	-	-	-	15,40	0
	CL	1.420,38	4.845,00	70,00	50,37	71549
	SiL	-	-	-	14,70	0
Σόργο	C	-	-	-	7,06	0
	CL	-	-	-	10,53	0
	SiL	-	-	-	11,30	0
Αγρανάπαυση	C	572,7	0,00	0,00		0
	CL	826,9	0,00	0,00		0
	SiL	360,5	0,00	0,00		0
Σύνολο						<b>609.970,62</b>

Πηγή: Λύση οικονομικού μοντέλου για το βασικό σενάριο

Πίνακας 66 Στοιχεία Τ.Ο.Ε.Β. Θεσσαλίας για τον προσδιορισμό του οριακού κόστους του αρδευτικού νερού

Τ.Ο.Ε.Β. Θεσσαλίας	Κόστος λειτουργίας και παρακολούθησης σε € (μέσος όρος κόστους 2007, 2008 και 2009 σε τιμές 2010 σύμφωνα με το Δείκτη Τιμών Καταναλωτή)	Απαιτήσεις σε αρδευτικό νερό (m <sup>3</sup> /year)
Αγ. Αποστόλων	28.180,27	2.557.931,90
Διαλεκτού	98.174,67	5.136.694,40
Δροσερού	25.392,59	4.338.492,20
Φήκης	126.199,57	6.388.937,20
Κλοκωτού	30.512,39	1.522.792,20
Λυγαριάς	74.422,98	3.686.682,56
Μάτι Τυρνάβου	447.742,52	27.861.273,38
Μεγάρχης	100.701,89	6.813.194,78
Μεγ. Κεφαλόβρυσου	49.370,41	4.265.118,10
Πηγής	67.041,17	8.395.855,06
Πηγειού	1.570.337,59	92.997.866,61
Ράξας	95.090,96	6.710.626,37
Ραψάνης	10.000,46	1.384.324,42
Σαρακίνας	100.173,22	5.434.406,72

Πηγή:

**Μελέτη:** 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 ΠΔ 51/2007

**Αναθέτουσα Αρχή:** ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ / ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΥΔΑΤΩΝ / ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

**Κοινοπραξία:** Γ. ΚΑΡΑΒΟΚΥΡΗΣ & ΣΥΝ/ΤΕΣ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧ/ΚΟΙ Ανώνυμη Εταιρία - ΒΑΣΙΛΗΣ ΠΕΡΛΕΡΟΣ – ENVECO Ανώνυμη Εταιρεία Προστασίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος - ΑΝΤΖΟΥΛΑΤΟΣ ΓΕΡΑΣΙΜΟΣ – ΕΠΕΜ Εταιρία Περιβαλλοντικών Μελετών Α.Ε. - ΟΜΙΚΡΟΝ Οικονομικές & Αναπτυξιακές Μελέτες Ε.Π.Ε. - ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΗΣ ΗΛΙΑΣ - ΤΣΕΚΟΥΡΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ - ΚΟΤΖΑΓΕΩΡΓΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ - ΓΚΑΡΓΚΟΥΛΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ - Με διακριτικό τίτλο: Κ/ΞΙΑ Διαχείρισης Υδάτων Θεσσαλίας, Ηπείρου και Δυτικής Στερεάς Ελλάδας

Πίνακας 67 Αποτελέσματα παλινδρόμησης για τον υπολογισμό του οριακού κόστους του αρδευτικού νερού

Dependent Variable: COST				
Method: Least Squares				
Sample: 1 14				
Included observations: 14				
White heteroskedasticity-consistent standard errors & covariance				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-5,640	1,269	-4,467	0,0008
LNQ	1,073	0,077	14,142	0,0000
R-squared	0,897	Mean dependent var	11,291	
Adjusted R-squared	0,888	S.D. dependent var	1,245	
S.E. of regression	0,417	Akaike info criterion	1,219	
Sum squared resid	2,085	Schwarz criterion	1,310	
Log likelihood	-6,534	Hannan-Quinn criterion	1,211	
F-statistic	103,938	Durbin-Watson stat	2,206	
Prob(F-statistic)	0,000			

Πηγή: Υπολογισμοί δεδομένων Πίνακα 66



## Κώδικας GAMS που χρησιμοποιήθηκε για την επίλυση του οικονομικού μοντέλου

```
$ontext
Maximization of farmers' Profit.
The total area of the Regional Organization of Land Reclamation of Pinios
is considered as one farmer's land.
$offtext

*Declare Indexes
Set
crop type of cultivated crops /cotton1, cotton2, cotton3, maizel, maize2,
wheat, barley, alfalfa, sorghum, compulsorysetaside/
soil type of soil /clay, clayloam, siltyloam/
;

set
subcrop1(crop) all crops except cotton3(cotton activity);
subcrop1(crop) = yes; subcrop1("cotton3") = no;
display subcrop1;

set
subcrop2(crop) all crops except compulsory setaside;
subcrop2(crop) = yes; subcrop2("compulsorysetaside") = no;
display subcrop2;

set
subcrop3(crop) all crops except cotton3 and compulsory setaside;
subcrop3(crop) = yes; subcrop3("cotton3") = no;
subcrop3("compulsorysetaside") = no;
display subcrop3;

set
irrigatedcrop(crop) irrigated crops;
irrigatedcrop(crop) = yes; irrigatedcrop("wheat") = no;
irrigatedcrop("barley") = no; irrigatedcrop("compulsorysetaside") = no;
display irrigatedcrop;

set
dripirrigated(crop) drip irrigated crops;
dripirrigated(crop) = no; dripirrigated("cotton1") = yes;
dripirrigated("maizel") = yes;
display dripirrigated;

set
gunirrigated(crop) gun irrigated crops;
gunirrigated(crop) = no; gunirrigated("cotton2") = yes;
gunirrigated("maize2") = yes; gunirrigated("alfalfa") = yes;
gunirrigated("sorghum") = yes;
display gunirrigated;

*Declare Parameters
Parameters
cropprice(crop) price of yield per crop type in € per kg
/wheat 0.16, barley 0.14, cotton1 0.60, cotton2 0.60, cotton3 0.60,
maizel 0.17, maize2 0.17, alfalfa 0.15, sorghum 0.03, compulsorysetaside 0/

VariableExpenses(crop) the variable expenses of cultivated crops in € per ha
/cotton1 927.40, cotton2 647.40, cotton3 647.40, maizel 1055.14,
maize2 775.14, wheat 207.24, barley 152.07, alfalfa 736.47,
sorghum 555.87, compulsorysetaside 0/

subsidy(crop) the subsidy of cultivated crops in € per ha
/cotton1 0, cotton2 0, cotton3 805.6, maizel 0, maize2 0,
wheat 85.8, barley 0, alfalfa 0, sorghum 0, compulsorysetaside 454.25/

fertilizercottonactivity(soil) fertilizer for subsidized cotton in kg per ha
```

/clay 51.055, clayloam 20.8, siltyloam 19.27/

zone1(soil) Sustainable production zone per soil type in ha

/clay 154.39, clayloam 222.91, siltyloam 97.17/

zone2(soil) Intermediate production zone per soil type in ha

/clay 5551.20, clayloam 8014.62, siltyloam 3493.81/

zone3(soil) Unsustainable production zone per soil type in ha

/clay 572.74, clayloam 826.90, siltyloam 360.47/

;

**table** yield\_c(crop, soil) constant of yield function per crop and soil type

	clay	clayloam	siltyloam
wheat	1924.1034	1480.1891	1965.8353
barley	835.5505	1467.7718	1588.0882
cotton1	1214.8099	1988.8332	2007.6947
cotton2	1214.8099	1988.8332	2007.6947
maize1	3825.9910	5348.5764	5203.7372
maize2	3825.9910	5348.5764	5203.7372
alfalfa	6936.1000	7144.8000	7391.5000
sorghum	3752.7829	6021.5783	6452.3280

;

**table** yield\_a1(crop, soil) coefficient for irrigation

	clay	clayloam	siltyloam
wheat	0	0	0
barley	0	0	0
cotton1	0.1248	0.1348	0.1320
cotton2	0.1248	0.1348	0.1320
maize1	0.7550	0.9249	1.1230
maize2	0.7550	0.9249	1.1230
alfalfa	0.8290	0.8290	0.8290
sorghum	-0.2650	-0.8295	-0.8900

;

**table** yield\_a2(crop, soil) coefficient for fertilizer

	clay	clayloam	siltyloam
wheat	16.5064	21.3132	15.9892
barley	10.4429	8.1678	8.9499
cotton1	19.3877	17.0072	15.5660
cotton2	19.3877	17.0072	15.5660
maize1	56.1851	46.7851	43.9828
maize2	56.1851	46.7851	43.9828
alfalfa	31.3000	31.3000	31.3000
sorghum	31.9727	30.0343	30.4571

;

**table** yield\_a3(crop, soil) coefficient for fertilizer-irrigation interaction

	clay	clayloam	siltyloam
wheat	0	0	0
barley	0	0	0
cotton1	0.0019	0.0020	0.0021
cotton2	0.0019	0.0020	0.0021
maize1	0.0060	0.0057	0.0057
maize2	0.0060	0.0057	0.0057
alfalfa	0.0020	0.0020	0.0020
sorghum	0.0003	0.0003	0.0003

;

**table** yield\_a4(crop, soil) coefficient for squared irrigation

	clay	clayloam	siltyloam
wheat	0	0	0
barley	0	0	0

cotton1	-0.0000372	-0.0000377	-0.0000363
cotton2	-0.0000372	-0.0000377	-0.0000363
maize1	-0.0001	-0.0001	-0.0001
maize2	-0.0001	-0.0001	-0.0001
alfalfa	-0.0001	-0.0001	-0.0001
sorghum	0.000036	0.000100	0.000100

;

**table** yield\_a5(crop, soil) coefficient for squared fertilizer

	clay	clayloam	siltyloam
wheat	-0.0244	-0.0353	-0.0135
barley	0.0157	0.0410	0.0362
cotton1	-0.0767	-0.1118	-0.1078
cotton2	-0.0767	-0.1118	-0.1078
maize1	-0.1530	-0.1522	-0.1549
maize2	-0.1530	-0.1522	-0.1549
alfalfa	-0.0220	-0.0220	-0.0220
sorghum	-0.0128	-0.0104	-0.0091

;

**scalar**

waterprice price of water for baseline scenario in € per ha /92.77/  
 fertilizerprice price of fertilizer(nitrogen) in € per kg /1.76/  
 landstock total available land of study area in ha /19294.2/  
 clayland total available clay land of study area in ha /6278.33/  
 clayloamland total available clayloam land of study area in ha /9064.42/  
 siltyloamland total available siltyloam land of study area in ha /3951.45/  
 irrigatedland available irrigated land of study area in ha /17074.5/  
 alfastock total land covered with alfalfa in baseline scenario in ha /1420.38/  
 dripefficiency the efficiency of drip irrigation system /0.9/  
 gunefficiency the efficiency of gun irrigation system /0.7/  
 yieldcottonactivity yield of subsidized cotton in kg per ha /2000/  
 watercottonactivity water required for subsidized cotton in m3 per ha /5983/  
 ;

*\*Model Variables*

**Positive Variable**

land\_var(crop,soil) the land devoted per crop and soil type in ha  
 landconstraint\_var the constraint for the total land in ha  
 totalclayland\_var the total clay land in ha  
 totalclayloamland\_var the total clayloam land in ha  
 totalsiltyloamland\_var the total siltyloam land in ha

yieldperhectare\_var(crop,soil)yield in kg per ha of cultivated crop and soil type  
 yield\_var(crop,soil)total yield in kg per cultivated subcrop1 and soil type  
 yieldcotact\_var(soil)total yield of cotton activity in kg per cultivated soil type

waterrequirement\_var(crop,soil)water requirements in m3 per ha  
 twr\_drip\_var(crop,soil)total water requirements for drip irrigated crops in m3 per »  
 cultivated land  
 twr\_gun\_var(crop,soil)total water requirements for gun irrigated crops in m3 per cu»  
 ltivated land  
 twr\_cotact\_var(soil)total water requirements for cotton activity in m3 per cultivat»  
 ed land  
 grandtotalwaterreq\_var water requirements for the study area in m3  
 waterapplied1\_var(crop,soil)water applied to drip irrigated crops in m3 per ha  
 waterapplied2\_var(crop,soil)water applied to gun irrigated crops in m3 per ha

fertilizerrequirement\_var(crop,soil)fertilizer(nitrogen) requirements in kg per ha  
 tfr\_subcrop3\_var(crop,soil)total fertilizer requirements for subcrops3 in kg per cu»  
 ltivated land  
 tfr\_cotact\_var(soil)total fertilizer requirements for cotton3 in kg per cultivated »  
 land  
 grandtotalfertilizerreq\_var total fertilizer requirements for the study area in kg

fertilizercost\_var(crop) the cost of fertilizer in € per cultivated subcrop1  
fercost\_cotact\_var the cost of fertilizer in € for cotton activity  
irrigationcost\_baseline\_var(crop) cost of irrigation in € per cultivated crop for the  
baseline scenario  
VariableExpenses\_var(crop) the variable expenses in € per cultivated crop  
totalcost\_subcrop3\_var(crop) the total cost in € per cultivated subcrop3  
totalcost\_cotact\_var the total cost in € for cotton activity  
grandtotalcost\_var the grand total cost in € of the study area

revenue\_subcrop3\_var(crop) the revenue in € per cultivated subcrop3  
revenue\_cotact\_var the revenue in € for cotton activity  
subsidy\_var(crop) the subsidy in € per cultivated crop  
totalrevenue\_subcrop1\_var(crop) the total revenue in € per cultivated subcrop1  
totalrevenue\_cotact\_var the total revenue in € for cotton activity  
grandtotalrevenue\_var the grand total revenue in € of the study area

gm\_subcrop1\_var(crop) the gross margin per subcrop1 in €  
gm\_cotact\_var the gross margin for cotton activity in €  
alfalfarotation\_var  
setaside\_land\_var the total land of setaside in ha  
land\_cotton the total land covered with cotton in ha  
land\_maize the total land covered with maize in ha  
;

**Variables**

GrossMargin\_var the Gross Margin of the study area in € (\*10<sup>7</sup>)  
;

*\*Bounds for Variables*

yieldperhectare\_var.lo(crop,soil) = 0.001;

yieldperhectare\_var.up("maize1",soil) = 11000;  
yieldperhectare\_var.up("maize2",soil) = 11000;

yieldperhectare\_var.lo("cotton1",soil) = 0;  
yieldperhectare\_var.lo("cotton2",soil) = 0;

*\*the upper and lower bounds of water requirements*

waterrequirement\_var.up("wheat",soil) = 0;  
waterrequirement\_var.up("barley",soil) = 0;

waterrequirement\_var.lo("cotton1",soil) = 1000;  
waterrequirement\_var.up("cotton1",soil) = 8000;

waterrequirement\_var.lo("cotton2",soil) = 1000;  
waterrequirement\_var.up("cotton2",soil) = 8000;

waterrequirement\_var.lo("maize1",soil) = 1000;  
waterrequirement\_var.up("maize1",soil) = 8800;

waterrequirement\_var.lo("maize2",soil) = 1000;  
waterrequirement\_var.up("maize2",soil) = 8800;

waterrequirement\_var.lo("alfalfa",soil) = 1000;  
waterrequirement\_var.up("alfalfa",soil) = 9000;

waterrequirement\_var.up("sorghum",soil) = 3000;

fertilizerrequirement\_var.lo("cotton1",soil) = 50;  
fertilizerrequirement\_var.up("cotton1",soil) = 160;

fertilizerrequirement\_var.lo("cotton2",soil) = 50;

```

fertilizerrequirement_var.up("cotton2",soil) = 160;

fertilizerrequirement_var.lo("maizel",soil) = 50;
fertilizerrequirement_var.up("maizel",soil) = 260;

fertilizerrequirement_var.lo("maize2",soil) = 50;
fertilizerrequirement_var.up("maize2",soil) = 260;

fertilizerrequirement_var.lo("alfalfa",soil) = 20;
fertilizerrequirement_var.up("alfalfa",soil) = 70;

fertilizerrequirement_var.lo("sorghum",soil) = 20;
fertilizerrequirement_var.up("sorghum",soil) = 200;

fertilizerrequirement_var.lo("wheat",soil) = 50;
fertilizerrequirement_var.up("wheat","clay") = 120;
fertilizerrequirement_var.up("wheat","clayloam") = 120;
fertilizerrequirement_var.up("wheat","siltyloam") = 100;

fertilizerrequirement_var.lo("barley",soil) = 10;
fertilizerrequirement_var.up("barley",soil) = 100;

landconstraint_var.up = landstock;
totalclayland_var.up = clayland;
totalclayloamland_var.up = clayloamland;
totalsiltyloamland_var.up = siltyloamland;

```

*\*Hypothesis: the alfalfa land can be increased at x% of the baseline scenario*  
alfalfarotation\_var.up = alfastock;

*\* Model Equations*

#### **Equations**

objectivefunction the GrossMargin in €

```

yieldperhectare_equ(crop,soil)
yield_equ(crop,soil)
yieldcotact_equ(soil)

```

```

waterapplied1_equ(crop,soil)
waterapplied2_equ(crop,soil)
twr_drip_equ(crop,soil)
twr_gun_equ(crop,soil)
twr_cotact_equ(soil)
grandtotalwaterreq_equ

```

```

tfr_subcrop3_equ(crop,soil)
tfr_cotact_equ(soil)
grandtotalfertilizerreq_equ

```

```

fertilizercost_equ(crop)
fercost_cotact_equ
irrigationcost_baseline_equ(crop)
VariableExpenses_equ(crop)
totalcost_subcrop3_equ(crop)
totalcost_cotact_equ
grandtotalcost_equ

```

```

revenue_subcrop3_equ(crop)
revenue_cotact_equ
subsidy_equ(crop)
totalrevenue_subcrop1_equ(crop)
totalrevenue_cotact_equ
grandtotalrevenue_equ

```

```
gm_subcrop1_equ(crop)
gm_cotact_equ
landconstraint_equ
zone_equ(soil)
totalclayland_equ
totalclayloamland_equ
totalsiltyloamland_equ
```

```
alfalfarotation_equ
setaside1_equ
setaside2_equ(soil)
```

```
aggregation1_equ
aggregation2_equ
```

```
rotationlimit1_equ
rotationlimit2_equ
rotationlimit3_equ
rotationlimit4_equ
rotationlimit5_equ
rotationlimit6_equ
rotationlimit7_equ
rotationlimit8_equ
```

```
;
```

```
*Definition of Equations
```

```
*YIELD
```

```
*Yield Equation for every type of crop and soil per cultivated ha
```

```
yieldperhectare_equ(crop,soil)$subcrop3(crop)..
```

```
yieldperhectare_var(crop,soil)
```

```
=e=
```

```
yield_c(crop,soil)
```

```
+ yield_a1(crop,soil)*waterrequirement_var(crop,soil)
```

```
+ yield_a2(crop,soil)*fertilizerrequirement_var(crop,soil)
```

```
+ yield_a3(crop,soil)*waterrequirement_var(crop,soil)*fertilizerrequirement_var(cro»  
p,soil)
```

```
+ yield_a4(crop,soil)*waterrequirement_var(crop,soil)**2
```

```
+ yield_a5(crop,soil)*fertilizerrequirement_var(crop,soil)**2;
```

```
*Yield Equation for every type of crop and soil per cultivatd land
```

```
yield_equ(crop,soil)$subcrop3(crop)..
```

```
yield_var(crop,soil) =e= yieldperhectare_var(crop,soil)*land_var(crop,soil);
```

```
yieldcotact_equ(soil)..
```

```
yieldcotact_var(soil) =e= yieldcottonactivity*land_var("cotton3",soil);
```

```
*WATER
```

```
*Quantity of water that must be applied in order to cover the crop requirements due»  
to field efficiency
```

```
waterappliedl_equ(crop,soil)$(dripirrigated(crop))..
```

```
waterappliedl_var(crop,soil) =e= waterrequirement_var(crop,soil)/dripefficiency;
```

```

waterapplied2_equ(crop,soil)$ (gunirrigated(crop))..
waterapplied2_var(crop,soil) =e= waterrequirement_var(crop,soil)/gunefficiency;

*The water requirements per crop and soil type

twr_drip_equ(crop,soil)$ (dripirrigated(crop))..
twr_drip_var(crop,soil) =e= waterapplied1_var(crop,soil)*land_var(crop,soil);

twr_gun_equ(crop,soil)$ (gunirrigated(crop))..
twr_gun_var(crop,soil) =e= waterapplied2_var(crop,soil)*land_var(crop,soil);

twr_cotact_equ(soil)..
twr_cotact_var(soil) =e=
(watercottonactivity/gunefficiency)*land_var("cotton3",soil);

grandtotalwaterreq_equ..
grandtotalwaterreq_var =e= sum ((crop,soil), twr_drip_var(crop,soil))
+ sum ((crop,soil), twr_gun_var(crop,soil))
+ sum (soil,twr_cotact_var(soil));

*The cost of irrigation per cultivated crop (area-based pricing)

irrigationcost_baseline_equ(crop)$ (irrigatedcrop(crop))..
irrigationcost_baseline_var(crop) =e=
waterprice_baseline*(sum(soil,land_var(crop,soil)));

*FERTILIZER
*The fertilizer requirements per crop and soil type

tfr_subcrop3_equ(crop,soil)$subcrop3(crop)..
tfr_subcrop3_var(crop,soil) =e=
fertilizerrequirement_var(crop,soil)*land_var(crop,soil);

tfr_cotact_equ(soil)..
tfr_cotact_var(soil) =e=
fertilizercottonactivity(soil)*land_var("cotton3",soil);

grandtotalfertilizerreq_equ..
grandtotalfertilizerreq_var =e= sum ((crop,soil), tfr_subcrop3_var(crop,soil))
+ sum (soil,tfr_cotact_var(soil));

*The cost of fertilizer per cultivated crop

fertilizercost_equ(crop)$subcrop3(crop)..
fertilizercost_var(crop) =e=
fertilizerprice*(sum(soil,tfr_subcrop3_var(crop,soil)$subcrop3(crop)));

fercost_cotact_equ.. fercost_cotact_var
=e= fertilizerprice*(sum(soil,tfr_cotact_var(soil)));

*COST ESTIMATION
*The Variable Expenses per cultivated crop

VariableExpenses_equ(crop)..
VariableExpenses_var(crop)
=e= VariableExpenses(crop) * sum ((soil),land_var(crop,soil));

```



*\*The total cost per subcrop1 equals the summation of fertilizer costs  
\*plus irrigation costs plus variable expenses*

```
totalcost_subcrop3_equ(crop)$subcrop3(crop).. totalcost_subcrop3_var(crop) =e=  
fertilizercost_var(crop) + irrigationcost_baseline_var(crop)  
+ VariableExpenses_var(crop);
```

*\*The total cost for cotton activity*

```
totalcost_cotact_equ.. totalcost_cotact_var =e=  
fercost_cotact_var + irrigationcost_baseline_var("cotton3")  
+ VariableExpenses_var("cotton3");
```

*\*The grand total cost equals the summation of total costs*

```
grandtotalcost_equ.. grandtotalcost_var =e= totalcost_cotact_var  
+ sum(crop, totalcost_subcrop3_var(crop)$subcrop3(crop));
```

*\*REVENUE ESTIMATION*

*\*The revenue per cultivated crop*

```
revenue_subcrop3_equ(crop)$subcrop3(crop)..  
revenue_subcrop3_var(crop) =e= cropprice(crop)*sum(soil, yield_var(crop,soil));
```

```
revenue_cotact_equ.. revenue_cotact_var  
=e= cropprice("cotton3")*sum(soil, yieldcotact_var(soil));
```

*\*The subsidy per cultivated crop*

```
subsidy_equ(crop).. subsidy_var(crop)  
=e= subsidy(crop)*sum((soil), land_var(crop,soil));
```

*\*The total revenue per subcrop1 equals the summation of revenue plus subsidy*

```
totalrevenue_subcrop1_equ(crop)$subcrop1(crop)..  
totalrevenue_subcrop1_var(crop)  
=e= revenue_subcrop3_var(crop)$subcrop3(crop) + subsidy_var(crop);
```

*\*The total revenue for cotton activity*

```
totalrevenue_cotact_equ..  
totalrevenue_cotact_var =e= revenue_cotact_var + subsidy_var("cotton3");
```

*\*The grand total revenue equals the summation of total revenues*

```
grandtotalrevenue_equ.. grandtotalrevenue_var =e=  
totalrevenue_cotact_var  
+ sum(crop, totalrevenue_subcrop1_var(crop)$subcrop1(crop));
```

*\*GROSS MARGIN ESTIMATION*

*\*The Gross Margin per subcrop1*

```
gm_subcrop1_equ(crop).. gm_subcrop1_var(crop)$subcrop1(crop)  
=e= totalrevenue_subcrop1_var(crop)$subcrop1(crop)  
- totalcost_subcrop3_var(crop)$subcrop3(crop);
```

*\*The Gross Margin for cotton activity*

```
gm_cotact_equ.. gm_cotact_var =e=
```



```

totalrevenue_cotact_var - totalcost_cotact_var;

*The objective function: Estimation of the Gross Margin as
*the difference between the grand total revenue and the grand total cost

objectivefunction.. GrossMargin_var =e=
(grandtotalrevenue_var - grandtotalcost_var)/10000000;

*Land management

landconstraint_equ.. landconstraint_var
=e= sum ((crop,soil), land_var(crop,soil));

zone_equ(soil)..
sum(crop, land_var(crop,soil)$subcrop2(crop)) =l= zone1(soil) + zone2(soil);

totalclayland_equ..
totalclayland_var
=g= sum(crop, land_var(crop,"clay")$subcrop2(crop)) + zone3("clay");

totalclayloamland_equ..
totalclayloamland_var
=g= sum(crop, land_var(crop,"clayloam")$subcrop2(crop)) + zone3("clayloam");

totalsiltyloamland_equ..
totalsiltyloamland_var
=g= sum(crop, land_var(crop,"siltyloam")$subcrop2(crop)) + zone3("siltyloam");

setaside1_equ.. setasideland_var
=e= sum(soil, land_var("compulsorysetaside",soil));

setaside2_equ(soil).. land_var("compulsorysetaside",soil) =e= zone3(soil);

*Hypothesis: the alfalfa land can be increased at x% of the baseline scenario
alfalfarotation_equ..
alfalfarotation_var =e= sum(soil,land_var("alfalfa",soil));

*ROTATION: cotton - maize - wheat - sorghum - alfalfa - barley

aggregation1_equ..
land_cotton =e= sum(soil, land_var("cotton1",soil)
+land_var("cotton2",soil)+land_var("cotton3",soil));

aggregation2_equ..
land_maize =e= sum(soil, land_var("maize1",soil)+land_var("maize2",soil));

rotationlimit1_equ.. land_cotton =l= 0.83*sum(soil, zone2(soil));

rotationlimit2_equ..
sum(soil,land_var("barley",soil)) =g= 0.05*sum(soil,land_var("wheat",soil));

rotationlimit3_equ..
land_var("maize1","clay") + land_var("maize2", "clay") =l= zone1("clay");

rotationlimit4_equ..
land_var("maize1","clayloam") + land_var("maize2", "clayloam")
=l= zone1("clayloam");

rotationlimit5_equ..
land_var("maize1","siltyloam") + land_var("maize2", "siltyloam")
=l= zone1("siltyloam");

rotationlimit6_equ.. sum(soil,land_var("wheat",soil))

```

```

=1= sum (soil, land_var("alfalfa",soil));

rotationlimit7_equ.. sum(soil, land_var("cotton3",soil))
=1= 0.05*sum(soil, land_var("cotton1",soil) + land_var("cotton2",soil));

rotationlimit8_equ.. land_maize + sum(soil,land_var("wheat",soil))
+ sum(soil,land_var("barley",soil)) + sum (soil, land_var("alfalfa",soil))
=1= 0.5*sum(soil, zone2(soil));

model GrossMargin /all/;

option limrow = 0;
option limcol = 0;
option nlp = conopt3;
*GrossMargin.OptFile = 1;
GrossMargin.scaleopt = 1;

Solve GrossMargin using nlp maximizing GrossMargin_var;

display GrossMargin_var.l;
display gm_subcrop1_var.l;
display gm_cotact_var.l;

display grandtotalrevenue_var.l;
display totalrevenue_subcrop1_var.l;
display totalrevenue_cotact_var.l;
display revenue_subcrop3_var.l;
display revenue_cotact_var.l;
display subsidy_var.l;

display grandtotalcost_var.l;
display totalcost_subcrop3_var.l;
display totalcost_cotact_var.l;
display VariableExpenses_var.l;
display fertilizercost_var.l;
display fercost_cotact_var.l;
display irrigationcost_baseline_var.l;

display land_var.l;
display land_cotton.l;
display land_maize.l;
display landconstraint_var.l;

display yieldperhectare_var.l;
display yield_var.l;

display waterrequirement_var.l;
display waterapplied1_var.l;
display waterapplied2_var.l;
display twr_drip_var.l;
display twr_gun_var.l;
display twr_cotact_var.l;
display grandtotalwaterreq_var.l;

display fertilizerrequirement_var.l;
display tfr_subcrop3_var.l;
display tfr_cotact_var.l;
display grandtotalfertilizerreq_var.l;

display setasideland_var.l;
display totalclayland_var.l;
display totalclayloamland_var.l;
display totalsiltyloamland_var.l;

```

```
display alfalfarotation_var.l;
```

**parameter**

```
output1(*,crop,soil) results from model runs for different crops and soils  
output2(*,crop) results from model runs for different crops  
output3(*,soil) results from model runs for cotton activity in different soils  
;
```

```
output1("land",crop,soil) = land_var.l(crop,soil);  
output1("yield per hectare",crop,soil) = yieldperhectare_var.l(crop,soil);  
output1("yield",crop,soil) = yield_var.l(crop,soil);  
output1("water quantity",crop,soil) =waterrequirement_var.l(crop,soil);  
output1("water applied dripirrigted",crop,soil)=waterapplied1_var.l(crop,soil);  
output1("water applied gunirrigted",crop,soil)=waterapplied2_var.l(crop,soil);  
output1("total watreq drip",crop,soil)=twr_drip_var.l(crop,soil);  
output1("total watreq gun",crop,soil)=twr_gun_var.l(crop,soil);  
output1("fertilizer quantity",crop,soil)=fertilizerrequirement_var.l(crop,soil);  
output1("total fertilizer subcrop3",crop,soil)=tfr_subcrop3_var.l(crop,soil);
```

```
output2("fertilizer cost per subcrop3",crop)=fertilizercost_var.l(crop);  
output2("irrigation cost baseline",crop)=irrigationcost_baseline_var.l(crop);  
output2("variable expenses", crop)=VariableExpenses_var.l(crop);  
output2("total cost per subcrop3",crop)=totalcost_subcrop3_var.l(crop);  
output2("revenue per subcrop3",crop)=revenue_subcrop3_var.l(crop);  
output2("subsidy",crop)=subsidy_var.l(crop);  
output2("total revenue per subcrop1",crop)=totalrevenue_subcrop1_var.l(crop);  
output2("gross margin per subcrop1",crop)=gm_subcrop1_var.l(crop);
```

```
output3("total yield cot_act",soil) = yieldcotact_var.l(soil);  
output3("total watreq cot_act",soil) = twr_cotact_var.l(soil);  
output3("total ferteq cot_act",soil) = tfr_cotact_var.l(soil);
```

```
option output1:2:1:2;  
option output2:2:1:1;  
option output3:2:1:1;
```

```
display output1;  
display output2;  
display output3;
```

```
execute_Unload "modeloutput1_Baseline.gdx" output1;  
execute "Gdxxrw modeloutput1_Baseline.gdx o=modeloutput1_Baseline.xls par=output1 R»  
ng=sheet1!a1 rdim=1 cdim=2 ";
```

```
execute_Unload "modeloutput2_Baseline.gdx" output2;  
execute "Gdxxrw modeloutput2_Baseline.gdx o=modeloutput2_Baseline.xls par=output2 R»  
ng=sheet1!a1 rdim=1 cdim=1 ";
```

```
execute_Unload "modeloutput3_Baseline.gdx" output3;  
execute "Gdxxrw modeloutput3_Baseline.gdx o=modeloutput3_Baseline.xls par=output3 R»  
ng=sheet1!a1 rdim=1 cdim=1 ";
```