



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

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

*Μεγιστοποίηση της παραγωγικότητας του νερού στη
γεωργία σε συνθήκες ξηρασίας και έλλειψης
διαθέσιμου νερού*

Ζωγράφου Σεβαστή

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ &
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»

Αθήνα, Ιούλιος 2013
Επιβλέπων καθηγητής: Γ. Τσακίρης



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

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

*Μεγιστοποίηση της παραγωγικότητας του νερού στη
γεωργία σε συνθήκες ξηρασίας και έλλειψης
διαθέσιμου νερού*

Ζωγράφου Σεβαστή

Επιβλέπων καθηγητής: Τσακίρης Γ.
Εξεταστική επιτροπή:
Παπασιώπη Ν., Αναπληρωτής Καθηγητής
Γιακουμάκης Σ., Επίκουρος Καθηγητής
Αθήνα, Ιούλιος 2013

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ &
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Μετά την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής μου εργασίας κρίνω σκόπιμο να ευχαριστήσω όσους με βοήθησαν στην πραγματοποίησή της και με στήριξαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Γεώργιο Τσακίρη, καθηγητή στη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών που χωρίς ενδοιασμό με δέχτηκε στην ομάδα του και με καθοδήγησε κατάλληλα, προτείνοντάς μου πληθώρα θεμάτων εργασιών λαμβάνοντας υπόψη του τις προπτυχιακές μου σπουδές. Καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας με στήριξε και με βοήθησε με τις πολύτιμες και χρήσιμες συμβουλές και γνώσεις του.

Τις ευχαριστίες μου οφείλω φυσικά και στο Χάρη Βαγγέλη, για την αμέριστη βοήθειά του στην πραγματοποίηση της εργασίας, σε όλα τα στάδιά της.

Επιπλέον, δεν θα ήθελα να ξεχάσω όλους τους ανθρώπους μέσα από το εργαστήριο για την εποικοδομητική ανταλλαγή απόψεων και τις πολύωρες συζητήσεις που κάναμε σχετικά με την εργασία μου.

Ακόμα, ανεκτίμητη ήταν η βοήθεια του κύριου Κωνσταντίνου Σούλη, διότι χωρίς αυτή, η έρευνά μου θα ήταν πολύ πιο δύσκολη και χρονοβόρα.

Φυσικά οφείλω να ευχαριστήσω τον κύριο Γιακουμάκη, επίκουρο καθηγητή στον τομέα Έργων και Υποδομής Ανάπτυξης και την κυρία Παπασιώπη, αναπληρώτρια καθηγήτρια της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, που αφιέρωσαν χρόνο για να μελετήσουν και να διορθώσουν την εργασία μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους και την οικογένειά μου, για την στήριξη τους τον τελευταίο χρόνο, στην προσπάθειά μου να εκπονήσω αυτήν την εργασία με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, αφού πίστεψαν σε μένα, με παρότρυναν και με ενθάρρυναν κάθε στιγμή.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
ABSTRACT.....	2
Κεφάλαιο 1^ο.....	5
Εισαγωγή	5
1.1 Υδατικοί Πόροι.....	5
1.2 Σκοπός και διάρθρωση της εργασίας.....	10
Κεφάλαιο 2^ο.....	13
Συναρτήσεις παραγωγής	13
2.1 Εισαγωγή	13
2.2 Σχέσεις απόδοσης καλλιεργειών.....	14
2.3 Συναρτήσεις παραγωγής.....	15
Κεφάλαιο 3^ο.....	19
Καλλιέργειες.....	19
3.1 Αραβόσιτος.....	19
3.1.1 Σκοπός της καλλιέργειας	20
3.1.2 Άρδευση.....	21
3.2 Αραχίδα.....	22
3.2.1 Χαρακτηριστικά της καλλιέργειας.....	23
3.2.2 Σπορά και συγκομιδή.....	24
3.2.3 Άρδευση.....	25
3.2.4 Ελλάδα	25
3.3 Πατάτα	27
3.3.1 Ανάγκες σε νερό	29
3.3.2 Άρδευση πατάτας.....	30
3.4 Σιτηρά	32
3.4.1 Γενικά για τα σιτηρά.....	32
3.4.2 Χειμερινά σιτηρά	32
3.4.3 Άρδευση.....	35
3.4.4 Εαρινά σιτηρά.....	37
3.4.4.1 Σόργο	37
3.4.4.2 Ρύζι.....	39

3.5 Φασόλια	40
3.5.1 Απαιτήσεις του φυτού σε κλίμα και έδαφος	41
3.5.2 Συνθήκες βλάστησης	41
3.5.3 Άρδευση.....	42
Κεφάλαιο 4^ο.....	43
Υδατικές ανάγκες καλλιεργειών.....	43
4.1 Εισαγωγή	43
4.2 Εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας	46
4.3 Μέθοδοι υπολογισμού εξατμισοδιαπνοής αναφοράς	49
4.4 Υπολογισμός εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας.....	53
4.5 Ωφέλιμη Βροχή.....	55
Κεφάλαιο 5^ο.....	59
Υπολογισμός του συντελεστή ευαισθησίας λ.....	59
5.1 Εισαγωγή	59
5.2 Ορισμοί.....	60
5.3 Μεθοδολογία.....	62
Κεφάλαιο 6^ο.....	67
Βελτιστοποίηση στην ικανοποίηση των αναγκών σε ελλειμματικές συνθήκες.....	67
6.1 Μεθοδολογία.....	67
Κεφάλαιο 7^ο.....	71
Εφαρμογή και αποτελέσματα	71
7.1 Περιοχή μελέτης	71
7.2 Αραβόσιτος.....	72
7.3 Αραχίδα.....	82
7.4 Πατάτα	90
7.5 Σιτάρι	98
7.6 Φασόλια	114
Κεφάλαιο 8^ο.....	122
Συζήτηση και Συμπερασματικά Σχόλια	122
8.1 Γενικά Σχόλια	122
8.2 Σχολιασμός των αποτελεσμάτων	126
8.2.1 Αραβόσιτος.....	126
8.2.2 Αραχίδα.....	127
8.2.3 Πατάτα	127

8.2.4 Σιτηρά	129
8.2.6 Φασόλια	130
Παράρτημα.....	131
Βιβλιογραφία	144

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αρδευόμενη γεωργία κατέχει σήμερα το μεγαλύτερο μερίδιο στην παγκόσμια κατανάλωση νερού. Αν και οι αρδευόμενες περιοχές του πλανήτη καταλαμβάνουν περίπου το 17% των καλλιεργημένων περιοχών, καταναλώνουν περισσότερο από 70% των παγκόσμιων υδάτινων πόρων. Στις μεσογειακές χώρες όπως και η Ελλάδα, η κατανάλωση νερού στη γεωργία είναι ακόμα μεγαλύτερη πλησιάζοντας το 80-85% του νερού καλής ποιότητας. Το γεγονός αυτό καθιστά επιτακτική την ανάγκη της ορθολογικής διαχείρισης του νερού που χορηγείται για αρδευτικούς σκοπούς. Η αύξηση της αρδευτικής αποδοτικότητας και ο ορθολογικός προγραμματισμός των αρδεύσεων κυρίως σε περιόδους ανεπάρκειας συμβάλλει στην εξοικονόμηση σημαντικής ποσότητας νερού. Σκοπός της εργασίας είναι η ορθολογικότερη χρήση του αρδευτικού νερού με στόχο την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων έλλειψής του στην απόδοση των καλλιεργειών. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται σχέσεις απόδοσης των καλλιεργειών σε σχέση με τη διαθεσιμότητα νερού, οι οποίες περικλείουν την επίδραση της ευαισθησίας στην έλλειψη νερού της καλλιέργειας. Στην εργασία αυτή χρησιμοποιούνται δύο σχέσεις, η κλασική σχέση του Jensen και η σχέση των Doorenbos and Kassam. Οι παραπάνω σχέσεις χρησιμοποιούνται για την εύρεση σχέση που συνδέει τον συντελεστή ευαισθησίας λ και τον συντελεστή ανταπόκρισης k_y . Μέσω της σχέσης που βρίσκεται για κάθε καλλιέργεια, μελετήθηκε ο βέλτιστος τρόπος κατανομής του αρδευτικού νερού για τέσσερα σενάρια διαθεσιμότητας νερού, σύμφωνα με την ευαισθησία που παρουσιάζει η κάθε καλλιέργεια. Το σχέδιο παραγωγής, η αρδευτική αποδοτικότητα και η πληρότητα της άρδευσης αποτελούν σημαντικούς παράγοντες για τον εξορθολογισμό της διαχείρισης των υδατικών πόρων. Για βελτιστοποίηση της χρήσης των υδατικών αποθεμάτων, χωρίς κίνδυνο δυσμενών επιπτώσεων για την καλλιέργεια, απαιτούνται πρόσθετες ενέργειες με στόχο την αποφυγή της σπατάλης και τη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας χρήσης του νερού.

ABSTRACT

Irrigated agriculture is the greatest global consumer of fresh water. Although irrigated regions of the planet occupy approximately 17% of the cultivated regions, they consume more than 70% of the world's water resources. In Mediterranean countries, as Greece, water consumption in agriculture is even higher approaching 80-85% of the good quality water. This fact indicates the need of optimal management of irrigation water. The increase of irrigation efficiency and the optimal irrigation scheduling, especially under conditions of limited water supply, contributes to the saving of great quantities of water. The aim of the thesis is the optimal use of irrigation water, minimizing the results of water deficits towards yield. For this reason relationships between crop yield and water supply were used which include the effect of both timing and quantities of irrigation. In this thesis, two functions are used the general function form proposed by Jensen and the Doorenbos' and Kassam's model. These relationships are used to find the relationship between the sensitivity index λ and the response factor k_y . Through the relationship that is being found for each crop, the optimal allocation of irrigation water for four scenarios of water availability was studied, according to the sensitivity of the crop. These activities should aim to the avoidance of extravagance and to the maximization of the efficiency of the use of water. These activities contribute to the appropriate selection of crops, the right estimation of their water needs and the implementation of the appropriate water amount in proportion to its availability by using the most efficient irrigation methods.

Κεφάλαιο 1^ο

Εισαγωγή

1.1 Υδατικοί Πόροι

Το νερό είναι σήμερα ένα από τα βασικότερα εργαλεία ανάπτυξης της οικονομίας και ίσως το πολυτιμότερο αγαθό για την ίδια την ύπαρξη των ανθρώπων. Αποτελέσει και αποτελεί το συγκριτικό πλεονέκτημα ανάπτυξης μιας περιοχής, λειτουργώντας συμπληρωματικά με τους άλλους φυσικούς πόρους. Είναι παράγοντας που καθορίζει αφενός την ποιότητα του περιβάλλοντος και αφετέρου τη δυνατότητα ή αδυναμία επέκτασης των παραγωγικών δραστηριοτήτων, και επομένως επιβάλλει νέα, σύγχρονη αντιμετώπιση, σύμφωνα με τις εξειδικευμένες ανάγκες της χώρας και τις διακηρύξεις και τα πρότυπα των διεθνών οργανισμών.

Αν και το νερό αποτελεί το 0.5% του βάρους της Γης, το 75% περίπου της επιφάνειας της λιθόσφαιρας καλύπτεται από νερό. Αλλά από το νερό που ήδη υπάρχει στη Γη το 97% είναι αλμυρό και βρίσκεται στους ωκεανούς, ενώ το γλυκό νερό είναι μόνο το 3%. Από αυτό, το 2.15% παραμένει στους παγετώνες και στους δύο πόλους, το 0.001% στην ατμόσφαιρα, το 0.35% σε υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες και το υπόλοιπο σε ποτάμια, λίμνες και υδροβιότοπους. Από τις τεράστιες αυτές ποσότητες νερού μόνο το 1% είναι διαθέσιμο για πόσιμο νερό. Επίσης, σημαντικές ποσότητες νερού υπάρχουν με τη μορφή υδριτών με πυριτικά άλατα και οξείδια μετάλλων της λιθόσφαιρας. Από τα ανωτέρω και μόνο γίνεται κατανοητό ότι το γλυκό νερό ως φυσικός πόρος είναι σε ανεπάρκεια. Όμως το νερό είναι βασικό στοιχείο του κύκλου ζωής των φυτών, και κάθε ζωντανού οργανισμού στη γη, γιατί το έχουν ανάγκη για να αναπτυχθούν και να επιβιώσουν (Βαλαβανίδης και Βλαχογιάννη, 2011).

Στην Ελλάδα, οι υδρολογικές και γεωμορφολογικές ανισότητες (άνιση χωροχρονική κατανομή των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και κατά μείζονα λόγο των απορροών, έντονες μορφολογικές διαφοροποιήσεις ανά υδατικό διαμέρισμα), σε συνδυασμό με τη

χρονική αντιστροφή της κατανομής της ζήτησης και της υπερσυγκέντρωσής της σε περιορισμένους χώρους με ασήμαντους υδατικούς πόρους, δεν ευνοούν την κάλυψη των αναγκών στις διάφορες χρήσεις του νερού. Η κρισιμότητα των θεμάτων διαχείρισης υδατικών πόρων εντείνεται από τις επιλογές που γίνονται χωρίς σχεδιασμό και πρόβλεψη, την υποτίμηση των προβλημάτων ποιότητας και ποσότητας των υδατικών πόρων. Τα διαθέσιμα υδατικά αποθέματα διαρκώς μειώνονται και η δυνατότητα ανεύρεσης νέων πηγών καλής ποιότητας έχει περιορισθεί σημαντικά. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, η εξοικονόμηση των υδατικών πόρων αποκτά μεγάλη σημασία, ιδιαίτερα στη γεωργία που αποτελεί τον κύριο χρήστη νερού σε παγκόσμιο επίπεδο, εκκινώντας από ένα επίπεδο 70% αυξάνεται στο 80% στις χώρες της Μεσογείου και στη χώρα μας είναι στο 78,5% (Παπαμιχαήλ, 2006). Ο προσανατολισμός της αγροτικής πολιτικής στην κατεύθυνση της προσαρμογής της στα διαθέσιμα υδατικά αποθέματα της χώρας, μέσω της αναδιάρθρωσης των καλλιεργειών και του εκσυγχρονισμού των αρδευτικών πρακτικών, αποτελεί κορυφαία προτεραιότητα. Κάθε φυσική, χημική και βιολογική διεργασία που καθορίζει τη ζωή των φυτών στη γεωργία και τη φυσική βλάστηση, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης του νερού, ρυθμίζεται από ειδικές κλιματικές απαιτήσεις και οποιαδήποτε παρέκκλιση απ' αυτή την πορεία μπορεί να προκαλέσει αρνητική επίδραση. Εάν τα φυτά βρουν νερό στις ρίζες τους θα το απορροφήσουν. Αν όχι, θα προσπαθήσουν να ολοκληρώσουν γρήγορα-γρήγορα το βιολογικό τους κύκλο με προφανείς αρνητικές συνέπειες για την παραγωγή και φυσικά την ίδια τους τη ζωή. Συνεπώς κάθε ενέργεια που στοχεύει στην ορθολογική χρήση του με στόχο την εξοικονόμηση νερού έχει ιδιαίτερη βαρύτητα.

Η ελληνική γεωργία τα τελευταία 40 χρόνια είναι κατά βάση αρδευόμενη γεωργία, με αποτέλεσμα το συντριπτικά μεγάλο ποσοστό των καταναλωτικών χρήσεων νερού (μεγαλύτερο του 80%), να ανήκει στην άρδευση όπως φαίνεται στον πίνακα (1.1). Αυτό το ποσοστό, που είναι μεγαλύτερο σε σχέση με κάθε άλλη ευρωπαϊκή χώρα, έχει θεωρηθεί από πολλούς ως δείκτης της κυριαρχίας της αγροτικής παραγωγής στην χώρα. Το ποσοστό αυτό, καθώς και οι διαφοροποιήσεις σε σχέση με άλλες ευρωπαϊκές χώρες, επιβάλλονται από φυσικούς παράγοντες και κυρίως από την κλιματολογία της χώρας.

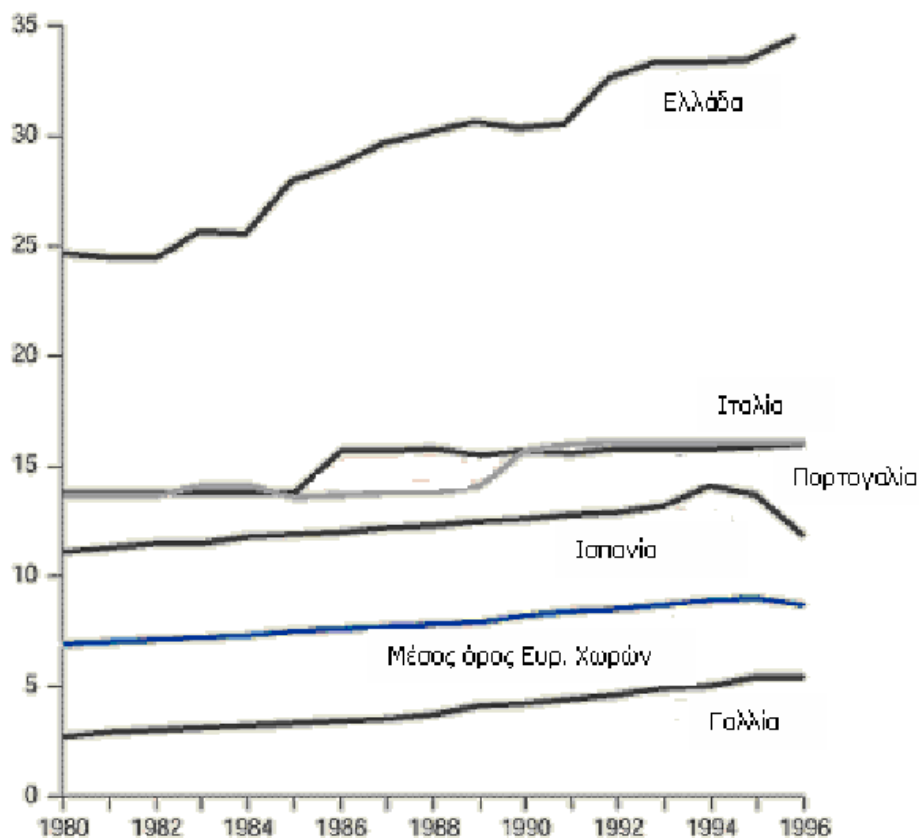
Πίνακας 1.1: Ετήσια ζήτηση νερού κατά καταναλωτική χρήση και υδατικό διαμέρισμα το έτος 2008 (hm³)

Κ.Α.	Υδατικά διαμερίσματα	άρδευση	Κτηνο-τροφία	ύδρευση	βιομηχανία	Λοιπές *	σύνολο
01	Δυτικής Πελοποννήσου	201.0	5.0	23.0	3.0	20.0	252.0
02	Βόρειας Πελοποννήσου	401.5	6.6	41.7	3.0		452.8
03	Ανατολικής Πελοποννήσου	324.9	4.7	22.1			351.7
04	Δυτ. Στερεάς Ελλάδας	366.5	9.0	22.4			397.9
05	Ηπείρου	153.5	10.3	33.9	4.3		202.0
06	Αττικής	99.0	2.5	420.0	17.5		539.0
07	Ανατ.Στερεάς Ελλάδας	773.7	9.9	41.6	12.6		837.8
08	Θεσσαλίας	1550.0	13.0	69.0			1632.0
09	Δυτικής Μακεδονίας	609.4	7.9	43.7	30.0	80.0	771.0
10	Κεντρικής Μακεδονίας	527.6	8.0	99.8	80.0		715.4
11	Ανατολικής Μακεδονίας	627.0	5.8	32.0			664.8
12	Θράκης	825.2	7.1	27.9	11.0		871.2
13	Κρήτης	320.0	10.2	42.3			372.5
14	Νήσων Αιγαίου	80.2	6.8	37.2			124.2
	Σύνολο χώρας	6859.5	106.8	956.6	161.4	100.0	8184.2

* Νερό ψύξης από ΑΗΣ

Πηγή: ΥΠΕΧΩΔΕ, 2008

Στις χώρες του Βορρά, λόγω χαμηλότερων θερμοκρασιών και υψηλότερου ύψους βροχής το καλοκαίρι, οι αρδευτικές ανάγκες είναι πολύ περιορισμένες ή και μηδενικές. Στις χώρες του Νότου, όπως και στην Ελλάδα, οι αρδευτικές ανάγκες είναι μεγαλύτερες. Όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στο σχήμα (1.1), στη χώρα μας το ποσοστό της αρδευόμενης έκτασης επί της συνολικής ξεπερνά κατά πολύ τον ευρωπαϊκό μέσο όρο, αλλά και εκείνο των μεσογειακών χωρών της Ευρώπης.



Σχήμα 1.1: Αρδευόμενη επιφάνεια ως ποσοστό της συνολικής για διάφορες χώρες της Ευρώπης (Πηγή: ΥΠΕΧΩΔΕ, 2008)

Στην Ελλάδα η αύξηση των αρδευόμενων εκτάσεων υπήρξε ραγδαία κατά τα τελευταία 50 χρόνια. Εκτιμάται ότι κατά τη δεκαετία του 1940 οι αρδευόμενες εκτάσεις ήταν μεταξύ 2 και 2.5 εκατομμυρίων στρεμμάτων και πλέον ξεπερνούν τα 13 εκατομμύρια (Παπαμιχαήλ, 2006). Αυτό συντέλεσε στην αλματώδη αύξηση της γεωργικής παραγωγής που κατ' αρχή εξασφάλισε την αυτάρκεια της χώρας σε βασικά γεωργικά προϊόντα και μετέπειτα με την εισαγωγή νέων ποικιλιών και καλλιεργούμενων ειδών, αύξησε το εύρος των προσφερόμενων προϊόντων για εσωτερική κατανάλωση και εξαγωγή. Η μετατροπή των ξηρικών εκτάσεων σε αρδευόμενες ήταν ιδιαίτερης σημασίας, αφού αύξησε κατακόρυφα το εισόδημα της αγροτικής τάξης.

Γενικά το υφιστάμενο καθεστώς σήμερα στον τομέα των αρδεύσεων χαρακτηρίζεται από την κατασπατάληση της χρήσης των υδατικών πόρων. Τα αίτια πίσω από αυτό το φαινόμενο είναι πολλά, με ένα από αυτά τον μη επακριβή προσδιορισμό των αναγκών των καλλιεργειών σε νερό. Άλλες βασικές αιτίες απωλειών νερού είναι ο τρόπος μεταφοράς του νερού προς τα αγροτεμάχια και η μεθοδολογία εφαρμογής του. Τα πρώτα αρδευτικά έργα

που κατασκευάστηκαν είναι επιφανειακά. Ίδιο χαρακτηριστικό αυτών είναι οι σημαντικές απώλειες κατά τη μεταφορά του νερού, οι οποίες αυξάνονται περαιτέρω λόγω μη ορθής λειτουργίας των δικτύων, διαρροών λόγω παλαιότητας και ελλιπούς συντήρησης. Το ποσοστό των απωλειών κατά τη μεταφορά μπορεί να ανέρχεται στην καλύτερη περίπτωση στο 25% και να φτάνει μέχρι και το 80% (Παπαμιχαήλ, 2006). Το ποσοστό αυτό είναι υπερβολικά μεγάλο αν συγκριθεί με το 5-20% που χαρακτηρίζει τις απώλειες ενός δικτύου κλειστών αγωγών υπό πίεση.

Όσον αφορά τον τρόπο εφαρμογής του νερού στο χωράφι, οι απώλειες εξαρτώνται από τη μέθοδο άρδευσης που χρησιμοποιείται και την εμπειρία - επιδεξιότητα του παραγωγού. Η επιλογή συστημάτων στάγδην άρδευσης πλεονεκτεί έναντι των συστημάτων καταιονισμού, που με τη σειρά τους πλεονεκτούν των επιφανειακών μεθόδων.

Η αύξηση της ζήτησης νερού με σκοπό την άρδευση διατάραξε την ισορροπία στους διαθέσιμους υδατικούς πόρους της χώρας και κυρίως στους υπόγειους υδατικούς πόρους. Η ορθολογική διαχείριση φαίνεται να είναι μονόδρομος. Άλλωστε αυτό αναγνωρίζεται τόσο από την Εθνική Νομοθεσία (Νόμος 3199/2003) όσο και από την Ευρωπαϊκή (Οδηγία 2000/60) που επιβάλλουν τη βελτίωση της διαχείρισης των υδατικών πόρων με στόχο την ποιοτική και ποσοτική αειφορία τους.

Η αρδευόμενη γεωργία συνήθως θεωρείται υπεύθυνη για την διατάραξη των υδατικών ισοζυγίων διαφόρων περιοχών και τη δημιουργία ελλείψεων νερού, όχι μόνο στον ελλαδικό χώρο αλλά και σε παγκόσμια κλίμακα, κατάσταση η οποία πρέπει να μεταβληθεί (English et al., 2002, Fereres and Soriano, 2007, Hsiao et al., 2007). Στόχος είναι η μεγαλύτερη δυνατή εξοικονόμηση νερού στην άρδευση, που λόγω και της κυριαρχίας της αρδευτικής χρήσης, θα έχει αποτέλεσμα τη σημαντική εξοικονόμηση νερού στο σύνολο των υδροδοτικών αναγκών της χώρας. Η ποσότητα του νερού που καταναλώνεται συνήθως δεν αντιστοιχεί στην πραγματική ανάγκη σε νερό των καλλιεργειών, με αποτέλεσμα τη σπατάλη νερού. Η γνώση των αναγκών των καλλιεργειών σε νερό συμβάλλει σημαντικά στην ορθολογική διαχείριση των υφιστάμενων υδατικών πόρων και μειώνει την ανάγκη εξεύρεσης νέων πηγών καλής ποιότητας νερού. Η ορθολογική χρήση του αρδευτικού νερού μπορεί να το προστατεύει και να εξασφαλίζει τις απαιτούμενες ποσότητές του (Bos and Nugteren, 1983) στην κατάλληλη ποιότητα υπό συνθήκες αειφόρου ανάπτυξης και προστασίας του περιβάλλοντος.

1.2 Σκοπός και διάρθρωση της εργασίας

Το νερό, που ως γνωστόν είναι απαραίτητο για την ύπαρξη της ζωής και χρησιμοποιείται σε κάθε τομέα της ανθρώπινης δραστηριότητας, αποτελεί έναν, υπό περιορισμό, φυσικό πόρο. Τα τελευταία χρόνια το πρόβλημα της διαθεσιμότητας των υδατικών πόρων έχει ενταθεί, γεγονός που επιβάλλει την ορθολογική διαχείρισή τους. Κύριος χρήστης των υδατικών αποθεμάτων αποτελεί, σε παγκόσμιο επίπεδο, ο γεωργικός τομέας και κατά συνέπεια είναι λογικό, στα πλαίσια της προστασίας των υδατικών πόρων, να δίνεται ιδιαίτερη σημασία στη σωστή διαχείριση του, ως προς την κάλυψη των αγροτικών αναγκών σε νερό.

Το γεγονός πως ο αγροτικός τομέας αποτελεί τον κύριο καταναλωτή των διαθέσιμων υδατικών πόρων, καθιστά επιτακτική τη βελτιστοποίηση της χρήσης του νερού στη γεωργία. Βασιζόμενοι στα παραπάνω, προτάθηκε το θέμα της παρούσας εργασίας. Ο σκοπός της είναι η ανάπτυξη μεθόδου χρονικής και ποσοτικής κατανομής του αρδευτικού νερού, για κάθε καλλιέργεια που επιλέχθηκε να μελετηθεί, στην περίπτωση που οι διαθέσιμες ποσότητες αρδευτικού νερού είναι μικρότερες από τη συνολικά απαιτούμενη ποσότητα νερού για την πλήρη άρδευση των καλλιεργειών. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται σχέσεις απόδοσης των καλλιεργειών σε συνάρτηση με τη διαθεσιμότητα νερού (Jensen, 1968, Doorenbos and Kassam, 1979), οι οποίες περιλαμβάνουν την επίδραση της ευαισθησίας στην έλλειψη νερού της καλλιέργειας.

Συγκεκριμένα ακολουθήθηκε η παρακάτω μεθοδολογία. Αρχικά δημιουργήθηκαν σχέσεις με τις οποίες υπολογίζονται οι τιμές του συντελεστή ευαισθησίας λ (Jensen, 1968) για τις μελετώμενες καλλιέργειες, από τις αντίστοιχες τιμές του συντελεστή απόκρισης της καλλιέργειας k_y (Doorenbos and Kassam, 1979), ώστε να μπορούν να αξιοποιηθούν οι διαθέσιμες τιμές του συντελεστή k_y σε μεθοδολογίες που βασίζονται στο συντελεστή ευαισθησίας λ . Έπειτα χρησιμοποιώντας τους συντελεστές ευαισθησίας λ που υπολογίστηκαν με την παραπάνω διαδικασία, αναζητήθηκε η βέλτιστη κατανομή του νερού άρδευσης για την κάθε μελετώμενη καλλιέργεια σε τέσσερα διαφορετικά σενάρια διαθεσιμότητάς του.

Η εργασία αποτελείται από οκτώ κεφάλαια και ένα παράρτημα. Έπειτα από την εισαγωγή, στην οποία παρουσιάζονται γενικά στοιχεία για τους υδατικούς πόρους, ακολουθεί ένα κεφάλαιο στο οποίο γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση των σχέσεων απόδοσης των

καλλιεργειών. Στη συνέχεια γίνεται μια εκτεταμένη αναφορά στα χαρακτηριστικά των καλλιεργειών που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία. Στο 4^ο κεφάλαιο παρατίθεται μια αναλυτική παρουσίαση της διαδικασίας προσδιορισμού των υδατικών αναγκών των καλλιεργειών με τη χρήση της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς και των φυτικών συντελεστών. Στο κεφάλαιο 5, παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο υπολογίστηκε ο συντελεστής ευαισθησίας λ για κάθε καλλιέργεια και στο κεφάλαιο 6 η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για να βελτιστοποιηθούν οι διαθέσιμες ποσότητες νερού, σύμφωνα με τον συντελεστή ευαισθησίας που υπολογίστηκε προηγουμένως. Στο κεφάλαιο 7 παραθέτονται τα αποτελέσματα της μελέτης. Τέλος στο 8^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την μελέτη που πραγματοποιήθηκε.

Κεφάλαιο 2^ο

Συναρτήσεις παραγωγής

2.1 Εισαγωγή

Η επιβίωση των φυτών στηρίζεται στην ανταλλαγή οξυγόνου (O_2) και διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) διαμέσου υγρών επιφανειών, που είναι εκτεθειμένες στον αέρα. Κατά την ανταλλαγή αυτή, που γίνεται μεταξύ του εσωτερικού των φύλλων και του αέρα που τα περιβάλλει, αναπόφευκτα χάνεται νερό με τη διαδικασία της διαπνοής. Συνθήκες, που ευνοούν την ανταλλαγή O_2 και CO_2 , ευνοούν επίσης, και την απώλεια νερού. Το νερό, η ανταλλαγή αερίων, το φως και τα θρεπτικά στοιχεία είναι τα βασικά και αναγκαία στοιχεία, που συμβάλλουν στην ανάπτυξη των φυτών.

Τα φυτά αποθηκεύουν μόνο ένα μικρό μέρος του νερού που χρειάζονται για τη διαδικασία της διαπνοής. Η αποθήκη νερού, που εξασφαλίζει το έδαφος και η περιοδική επαναπλήρωσή της με βροχή ή άρδευση, αποτελεί επομένως βασικό παράγοντα για τη διατήρηση της συνέχειας της ανάπτυξης. Οι ιδιότητες του εδάφους επηρεάζουν την ανάπτυξη των ριζών, τη διαθεσιμότητα και πρόσληψη νερού και θρεπτικών στοιχείων και τον αερισμό, που είναι βασική προϋπόθεση για την αναπνοή των ριζών.

Γενικά, η ανάπτυξη των φυτών είναι αποτέλεσμα ενός πλήθους βιολογικών, φυσιολογικών, φυσικών και χημικών διαδικασιών, που σχετίζονται με το περιβάλλον. Μέσα στο σύστημα αυτό, βασικό ρόλο διαδραματίζει το νερό. Λόγω της πολυπλοκότητας των διαδικασιών αυτών, η ενσωμάτωσή τους στη διερεύνηση σχέσεων ποσοτικού προσδιορισμού της ανταπόκρισης των καλλιεργειών, σε διάφορα επίπεδα διαθεσιμότητας νερού, είναι περίπλοκη και δύσκολα αντιμετωπίσιμη υπόθεση. Για το λόγο αυτό, στην παρούσα εργασία, η διερεύνηση των σχέσεων μεταξύ απόδοσης καλλιεργειών και διαθεσιμότητας νερού, βασίστηκε στη παραδοχή πως όλοι οι άλλοι συντελεστές παραγωγής, πλην νερού, βρίσκονται σε άριστο επίπεδο.

2.2 Σχέσεις απόδοσης καλλιεργειών

Η σχέση ανάμεσα στην απόδοση των καλλιεργειών (με τον όρο απόδοση καλλιεργειών εννοείται το συγκομιζόμενο οικονομικό προϊόν από μια καλλιέργεια, δηλαδή αυτό που είναι εκμεταλλεύσιμο για την απόκτηση κέρδους) και την ποσότητα νερού έχει απασχολήσει τους επιστήμονες επί πολλά χρόνια. Όπως αναφέρει ο Howell (1990), η απόδοση των καλλιεργειών (crop yield) είναι συνάρτηση της παραγωγής ξηρής φυτικής ουσίας (παραγωγής ξηρής φυτικής ουσίας ορίζεται ολόκληρη η συγκομιζόμενη φυτική μάζα στην οποία περιλαμβάνεται τόσο το οικονομικό, όσο και το μη οικονομικό προϊόν), των χαρακτηριστικών της καλλιέργειας (είδος, ανθεκτικότητα κ.λπ.) και άλλων παραγόντων (ασθένειες, έντομα, γεωργική πρακτική κ.λπ.). Με τη σειρά της η παραγωγή ξηρής φυτικής ουσίας είναι συνάρτηση της αφομοίωσης και άλλων παραγόντων, ενώ και η αφομοίωση είναι συνάρτηση της διαπνοής, η οποία είναι συνάρτηση της εξατμισοδιαπνοής, η οποία με τη σειρά της είναι συνάρτηση του διαθέσιμου νερού. Στη βιβλιογραφία αναφέρονται οι μελέτες των Briggs and Shantz (1913) σχετικά με την επίδραση του περιβάλλοντος στη σχέση μεταξύ παραγωγής ξηρής φυτικής ουσίας και διαπνοής για δύο καλλιέργειες (σιτάρι και σόργο).

Ο Arkley (1963) διαπίστωσε ότι η ανάπτυξη των φυτών και η διαπνοή τους, σχετίζονται μεταξύ τους και διατύπωσε σχέσεις, που συνδέουν την παραγωγή ξηρής φυτικής ουσίας με τη διαπνοή και τη μέση σχετική υγρασία της βλαστικής περιόδου ή με το έλλειμμα πίεσης των υδρατμών, με την εισαγωγή ενός συντελεστή αναλογίας, που εξαρτάται από το είδος της καλλιέργειας.

Οι Hanks et al. (1969) και ο Hanks (1974) βασιζόμενοι στις σχέσεις του Arkley (1963), απλοποίησαν τη σχέση υπολογισμού της παραγωγής ξηρής φυτικής ουσίας, θεωρώντας ότι η σχετική παραγωγή ξηρής φυτικής ουσίας ισούται με τη σχετική διαπνοή.

Οι Tanner and Sinclair (1983) παρουσίασαν μια πολύπλοκη σχέση του λόγου διαπνοής μιας καλλιέργειας προς την παραγωγή ξηρής φυτικής ουσίας.

Όλες οι σχέσεις που προαναφέρθηκαν αφορούσαν τον υπολογισμό της παραγωγής ξηρής φυτικής ουσίας σε σχέση με τη διαπνοή. Η απόδοση των καλλιεργειών σε κάποιες περιπτώσεις (χορτοδοτικές καλλιέργειες), ταυτίζεται με τη συνολική παραγωγή ξηρής φυτικής ουσίας, ενώ σε άλλες περιπτώσεις όπου η απόδοση είναι σπόροι, ίνες, φρούτα, ρίζες,

κόνδυλοι ή κάποια άλλα μέρη του φυτού, η απόδοση αποτελεί μέρος της ξηρής φυτικής ουσίας. Η ξηρή φυτική ουσία μπορεί να προέρχεται, τόσο από το υπέργειο, όσο και από το υπόγειο μέρος της καλλιέργειας. Στα περισσότερα, όμως, πειράματα προσδιορίζεται μόνο η ξηρή φυτική ουσία του υπέργειου τμήματος. Οι Donald and Hamblin (1976) όρισαν το δείκτη συγκομιδής, ο οποίος συνδέει την απόδοση μιας καλλιέργειας με την παραγωγή ξηρής φυτικής ουσίας του υπέργειου τμήματος αυτής.

Με βάση τη σχέση των Donald and Hamblin, διατυπώθηκαν σχέσεις μεταξύ απόδοσης και παραγωγής ξηρής φυτικής ουσίας του υπέργειου τμήματος (Stewart and Nielsen, 1990).

Ο DeWit (1958) με βάση μελέτες που έγιναν στις Η.Π.Α. για μια ποικιλία σιταριού και χρησιμοποιώντας τα στοιχεία των Cole and Mathews (1923), που αναφέρονται σε πειράματα στο χωράφι με την ίδια ποικιλία σιταριού, βρήκε σχέσεις μεταξύ της απόδοσης και της παραγωγής ξηρής φυτικής ουσίας του υπέργειου τμήματος, οι οποίες ήταν γραμμικές (Stewart and Nielsen, 1990).

Γραμμικές σχέσεις μεταξύ της απόδοσης και της παραγωγής ξηρής φυτικής ουσίας του υπέργειου τμήματος έχουν παρουσιαστεί και από τους Slabbers et al. (1979) για σόργο και καλαμπόκι και από τους Aase and Siddoway (1981) για σιτάρι.

Σε όλες αυτές τις σχέσεις, η απόδοση υπολογίζεται μέσω της παραγωγής ξηρής φυτικής ουσίας, η οποία θεωρείται ως συνάρτηση της διαπνοής. Επειδή η τελευταία είναι πολύ δύσκολο να εκτιμηθεί, χρησιμοποιήθηκε αντί αυτής η εξατμισοδιαπνοή (evapotranspiration, *ET*), η οποία συνδέεται άμεσα με τη διαπνοή και υπολογίζεται πιο εύκολα. Έτσι, διερευνήθηκαν σχέσεις που συνδέουν απευθείας την απόδοση μιας καλλιέργειας με την εξατμισοδιαπνοή και δίνονται αναλυτικά στην επόμενη παράγραφο.

2.3 Συναρτήσεις παραγωγής

Η σχέση μεταξύ της παραγωγής των καλλιεργειών και της εξατμισοδιαπνοής, η οποία ονομάζεται συνάρτηση παραγωγής, αποτελεί σημαντικό εργαλείο για γεωπόνους, μηχανικούς, οικονομολόγους και τους διαχειριστές των υδατικών πόρων. Οι συναρτήσεις παραγωγής έχουν αναλυθεί υπό μηχανικού όρους (Tanner and Sinclair, 1983), ή εμπειρικά

(Stewart and Hagan, 1973). Τα εμπειρικά μοντέλα είναι δύο ειδών: είναι αυτά που συσχετίζουν την απόδοση των καλλιεργειών με την εποχιακή εξατμισοδιαπνοή (Hiler and Clark, 1971, Stewart and Hagan, 1973, Hanks, 1974), και αυτά που μελετούν την απόδοση των καλλιεργειών σε σχέση με την εξατμισοδιαπνοή στα διάφορα στάδια ανάπτυξης του φυτού (Jensen 1968, Howell and Hiler 1975, Doorenbos and Kassam 1979).

Η βελτιστοποίηση της χρήσης ελλειμματικού νερού στη γεωργία έχει σχέση τόσο με την ποσότητα του αρδευτικού νερού που χορηγείται, όσο και με τη χρονική στιγμή της εφαρμογής του. Για το λόγο αυτό, δημιουργήθηκε η αναγκαιότητα διερεύνησης σχέσεων που να περικλείουν τις παραπάνω θεωρήσεις. Οι σχέσεις αυτές είναι περισσότερο πολύπλοκες και περικλείουν την επίδραση της ευαισθησίας της καλλιέργειας, κάτω από συνθήκες έλλειψης νερού σε διάφορες χρονικές στιγμές κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου. Το μήκος αυτών των περιόδων μπορεί να είναι αυθαίρετο (μήνας, δεκαήμερο, εβδομάδα δεκαπενθήμερο κ.λπ.) ή να έχει τη διάρκεια των φυσιολογικών σταδίων ανάπτυξης της καλλιέργειας. Η έλλειψη νερού καθορίζεται από την πραγματική εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας (actual evapotranspiration, ET_a) σε σχέση με τη μέγιστη τιμή της (maximum evapotranspiration, ET_m). Το κύριο πρόβλημα για τον προσδιορισμό των ευαίσθητων περιόδων σε σχέση με το έλλειμμα νερού είναι η ποσοτική εκτίμηση του μεγέθους του ελλείμματος αυτού. Για το σκοπό αυτό έχουν προταθεί κατά καιρούς διάφοροι δείκτες, όπως η σχετική εξατμισοδιαπνοή (ET_a / ET_m), η σχετική έλλειψη εξατμισοδιαπνοής $1 - (ET_a / ET_m)$ κ.λπ.

Ο Jensen (1968) παρουσίασε δύο σχέσεις, μία για τον υπολογισμό της σχετικής απόδοσης των μη χορτοδοτικών καλλιεργειών (determinate crops) και μία για τον υπολογισμό της σχετικής απόδοσης των χορτοδοτικών καλλιεργειών (indeterminate crops). Η σχετική απόδοση για τις μη χορτοδοτικές καλλιέργειες είναι:

$$\frac{Y_a}{Y_m} = \prod_{i=1}^n \left(\frac{ET_{ai}}{ET_{mi}} \right)^{\lambda_i} \quad (2.1)$$

όπου,

Y_a η πραγματική απόδοση (actual yield) της καλλιέργειας κάτω από τις συγκεκριμένες συνθήκες έλλειψης νερού, σε kg/στέμμα,

Y_m η μέγιστη απόδοση (maximum yield) της καλλιέργειας, όταν τα νερό δεν είναι περιοριστικό παράγοντας σε kg/στρέμμα,

λ_i ο συντελεστής ευαισθησίας της καλλιέργειας κατά το στάδιο i όπου $i = 1, 2, \dots, n$,

ET_a και ET_m όπως ορίστηκαν παραπάνω.

Η σχετική απόδοση για τις χορτοδοτικές καλλιέργειες είναι:

$$\frac{Y_a}{Y_m} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i (ET_a)_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i (ET_m)_i} \quad (2.2)$$

Ο Jensen αναφέρει ότι για τις χορτοδοτικές καλλιέργειες, η διαφορά ανάμεσα στις σχέσεις (2.1) και (2.2) είναι ότι η επίδραση της έλλειψης νερού στην απόδοση, κατά τη διάρκεια των σταδίων ανάπτυξης, είναι ανεξάρτητη από τα άλλα στάδια.

Το μοντέλο του Jensen έχει εφαρμοστεί ευρέως σε προβλήματα διαχείρισης νερού για άρδευση καλλιεργειών με σκοπό τη μεγιστοποίηση της απόδοσής τους (Tsakiris, 1982, Dariane, 1989, Kotsopoulos, 1989, Dariane and Hughes, 1991, Κωτσόπουλος, 1995, Kumar et al., 1998, Zhang and Oweis, 1999, Kipkorir et al., 2001, 2002, Shangguan et al., 2002, Γεωργίου, 2004, Georgiou et al., 2006, Georgiou and Papamichail, 2008).

Αντίστοιχα μοντέλα έχουν αναπτυχθεί και από άλλους ερευνητές. Οι Hall and Butcher (1968), ανέπτυξαν ένα, επίσης, πολλαπλασιαστικό μοντέλο, το οποίο σε αντίθεση με το μοντέλο του Jensen χρησιμοποιεί αντί της σχετικής εξατμισοδιαπνοής και του συντελεστή λ , το έλλειμμα της εδαφικής υγρασίας.

Οι Doorenbos and Kassam (1979) εκτίμησαν τις επιπτώσεις της περιορισμένης διαθεσιμότητας νερού κατά τα διάφορα στάδια ανάπτυξης των καλλιεργειών, στην απόδοση. Η σχέση των Doorenbos and Kassam (1979) είναι η εξής:

$$\frac{Y_a}{Y_m} = 1 - k_y \left[1 - \frac{ET_a}{ET_m} \right] \quad (2.3)$$

όπου,

k_y ο αδιάστατος συντελεστής ανταπόκρισης της παραγωγής, που φανερώνει την επίδραση της διαθεσιμότητας νερού στην παραγωγή,

Y_a, Y_m, ET_a, ET_m όπως ορίστηκαν παραπάνω.

Ο συντελεστής k_y περιγράφει την απόκριση της καλλιέργειας σε σχέση με τη διαθεσιμότητα νερού και συνδέει τη μείωση της σχετικής απόδοσης ($1 - Y_a/Y_m$), με τη μείωση της εξατμισοδιαπνοής ($1 - ET_a/ET_m$). Η έλλειψη της υγρασίας εκφράζεται από το λόγο ET_a/ET_m και μπορεί να είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο σε όλη της διάρκεια της βλαστικής περιόδου ή να παρατηρείται σε ένα ή περισσότερα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας. Τα στάδια ανάπτυξης σύμφωνα με τους Doorenbos and Kassam (1979) είναι τα εξής: (α) Εγκατάσταση (establishment), (β) Βλάστηση (vegetative), (γ) Ανθοφορία (flowering), (δ) Διαμόρφωση παραγωγής (yield formation), (ε) Ωρίμανση (ripening). Πιο ευαίσθητες στο έλλειμμα του νερού είναι οι περιόδους ανθοφορίας, λόγω μείωσης του αριθμού των καρπών και οι περιόδους σχηματισμού των καρπών, διότι περιορίζουν τη μάζα τους. Οι περιόδους της βλάστησης και ωρίμανσης είναι λιγότερο ευαίσθητες.

Στον συντελεστή ανταπόκρισης παραγωγής, k_y , δοθήκαν τιμές για διάφορες καλλιέργειες, για ολόκληρη τη βλαστική περίοδο και για επιμέρους περιόδους ανάπτυξης, από τους Doorenbos and Kassam (Doorenbos and Kassam, 1979, Παπαζαφειρίου, 1999). Ο υπολογισμός των τιμών του k_y έγινε με τις εξής παραδοχές:

- A) η σχέση μεταξύ του Y_a/Y_m και ET_a/ET_m είναι γραμμική και
- B) ισχύει για έλλειμμα νερού μέχρι 50%, δηλαδή $(1 - ET_a/ET_m) \leq 0.5$.

Στον προγραμματισμό των αρδεύσεων, ο μηχανικός ή ο διαχειριστής του συστήματος άρδευσης δεν ενδιαφέρεται για την ευαισθησία των καλλιεργειών κατά την διάρκεια ενός συγκεκριμένου σταδίου ανάπτυξης αλλά για την ευαισθησία της καλλιέργειας κατά τη διάρκεια κάθε διαστήματος άρδευσης. Μελετώντας κανείς την βιβλιογραφία θα διαπιστώσει ότι ο Τσακίρης (1982) παρέχει μία διαδικασία υπολογισμού για την εκτίμηση της ευαισθησίας των καλλιεργειών στην ανεπάρκεια νερού σε δεδομένα χρονικά διαστήματα χρησιμοποιώντας την συνάρτηση παραγωγής του Jensen.

Κεφάλαιο 3^ο

Καλλιέργειες

Στο παρόν κεφάλαιο, αναλύονται τα χαρακτηριστικά των καλλιεργειών που μελετήθηκαν. Οι καλλιέργειες αυτές είναι ο αραβόσιτος (καλαμπόκι), η αραχίδα (φιστίκι αράπικο), η πατάτα και το σιτάρι (ανοιξιιάτικη και χειμερινή ποικιλία).

3.1 Αραβόσιτος

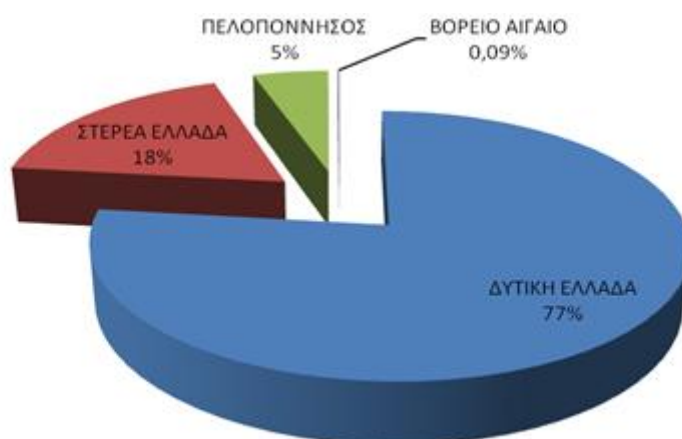
Υπάρχουν διάφορες θεωρίες σχετικά με την καταγωγή του αραβόσιτου. Από αυτές, εκείνες που αποδίδουν στο φυτό ασιατική ή αφρικανική καταγωγή στερούνται γενικά επαρκών αποδείξεων σε σύγκριση με τις θεωρίες που υποστηρίζουν την αμερικανική προέλευση του αραβόσιτου. Έτσι, σήμερα μπορεί να θεωρηθεί ότι το είδος είναι αμερικάνικης προέλευσης. Η αρχική του κοιτίδα εντοπίζεται στην περιοχή μεταξύ κεντρικού Μεξικού και της χερσονήσου Γιουκατάν (σημερινή Ονδούρα) όπου οι αρχαιολογικές έρευνες εντόπισαν σε σπήλαια φυτικά υπολείμματα που καλύπτουν μία περίοδο από το 5200 π.Χ. μέχρι το 1536 μ.Χ. (Mangelsdorf et al., 1964). Τα υπολείμματα αυτά ξεκινούν από τον άγριο αραβόσιτο (5200-3400 π.Χ.) και φθάνουν εξελικτικά μέχρι τις φυλές που ακόμα και σήμερα καλλιεργούνται στο Μεξικό. Από το Μεξικό η καλλιέργεια του αραβόσιτου διαδόθηκε στην κεντρική και νότια Αμερική όπου και στήριξε μεγάλους πολιτισμούς, όπως των Αζτέκων (Μεξικό), των Μάγιας (Γιουκατάν) και των Ίνκας (Περού, Βολιβία, Ισημερινός).

Η πρώτη επαφή του Δυτικού κόσμου με τον αραβόσιτο έγινε με τον Κολόμβο το 1492 και δείγματα από το νέο αυτό φυτικό είδος μεταφέρθηκαν στην Ευρώπη το 1492 ή 1494. Η εισαγωγή του στην καλλιέργεια πρέπει να έγινε στις αρχές του 16^{ου} αιώνα, εάν ληφθεί υπόψη ότι ήδη το 1532 καλλιεργείται στην Ιταλία, και στη συνέχεια εξαπλώθηκε ταχύτατα σε όλη την Ευρώπη, την Αφρική και την Μέση Ανατολή για να φτάσει στην Κίνα και στις Φιλιππίνες μέχρι το 1575. Στην Ελλάδα πρέπει να έφθασε γύρω στο 1600, πιθανότατα μέσω της Β. Αφρικής, απ' όπου και έλαβε την ονομασία του: αραβόσιτος = αραβικός σίτος (Καραμάνος, 1999).

Στην Ελλάδα η ετήσια παραγωγή αραβόσιτου το 2006 σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Αρχή ήταν 2,343,928 τόνοι και η ποσοστιαία κατανομή της στις διάφορες περιοχές της χώρας μας φαίνεται στο Σχήμα (3.1).

3.1.1 Σκοπός της καλλιέργειας

Ο αραβόσιτος καλλιεργείται κυρίως για τον καρπό του και δευτερεύοντος για παραγωγή βιομάζας για άμεση κατανάλωση ή ενσίρωση. Τα τελευταία χρόνια όμως παρατηρείται μια αυξανόμενη τάση καλλιέργειας για ενσίρωση. Στις χώρες βορειοδυτικής Ευρώπης (Μ. Βρετανία, Βέλγιο, Γερμανία, Ολλανδία) ο αραβόσιτος καλλιεργείται κυρίως για παραγωγή βιομάζας, δεδομένου ότι στα κλίματα αυτά η παραγωγή καρπού δεν ευνοείται. (Καραμάνος, 1999). Στον Πίνακα (3.1) παρουσιάζεται η παγκόσμια παραγωγή του αραβόσιτου σε τόνους, όπου παρατηρείται ότι οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής κατέχουν κυρίαρχη θέση στην παγκόσμια παραγωγή.



Σχήμα 3.1: Ετήσια γεωργική παραγωγή αραβόσιτου το έτος 2006 σε γεωγραφικά διαμερίσματα της Ελλάδας (με βάση στοιχεία Ελληνικής Στατιστικής Αρχής)

Πίνακας 3.1: Παγκόσμια παραγωγή αραβόσιτου σε τόνους

Χώρα	Παραγωγή (τόνοι)
Η.Π.Α	313,918,000
Κίνα	192,904,232
Βραζιλία	55,660,400
Αργεντινή	23,799,800
Ινδία	21,570,000
Ελλάδα	2,451,000

Πηγή: faostat.fao.org, 2011

3.1.2 Άρδευση

Οι απαιτήσεις του αραβόσιτου σε νερό για μία ικανοποιητική παραγωγή κυμαίνονται από 440-800 mm στο σύνολο της καλλιεργητικής περιόδου, ανάλογα με τη γονιμότητα του εδάφους και την εξατμισοϊκανότητα της ατμόσφαιρας, (Mech, 1951, Doss et al., 1952, Arnon, 1972). Παράλληλα η ποσότητα του εδαφικού αζώτου ασκεί μία ιδιαίτερα έντονη επίδραση τόσο στις απαιτήσεις σε νερό όσο και στον βαθμό αντίδρασης της καλλιέργειας στην άρδευση. Επομένως, με την προϋπόθεση ότι το έδαφος είναι επαρκώς εφοδιασμένο με νερό πριν από την σπορά, χρειάζονται τουλάχιστον 375-400 mm βροχής κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Για να είναι ωφέλιμη η βροχόπτωση αυτή θα πρέπει να κατανέμεται κυρίως στην περίοδο που η καλλιέργεια έχει μέγιστη υδατοκατανάλωση, δηλαδή στην περίοδο που τα φυτά έχουν αναπτύξει τελείως το φύλλωμά τους. Για τα ελληνικά δεδομένα, η περίοδος αυτή (Ιούλιος - Αύγουστος) είναι η ξηρότερη του έτους και επομένως είναι αναγκαία κατά το διάστημα αυτό η εφαρμογή αρδεύσεων για να διατηρηθεί η παραγωγή σε ανεκτά επίπεδα. Ακόμη όμως και σε υγρές περιοχές με βροχόπτωση πάνω από 600 mm στην καλλιεργητική περίοδο είναι δυνατόν να χρειασθεί εφαρμογή συμπληρωματικής άρδευσης στην κρίσιμη εποχή, γιατί τότε συνήθως οι απαιτήσεις σε νερό ξεπερνούν την εποχιακή βροχόπτωση. Γενικά, ο αραβόσιτος θεωρείται ως το δημητριακό με την υψηλότερη παραγωγικότητα όταν αρδεύεται επαρκώς. Παρόλα αυτά ορισμένοι γονότυποι αραβόσιτου καλλιεργούνται ακόμη και σε περιοχές της Ρωσίας και του Μεξικού όπου η ετήσια βροχόπτωση κυμαίνεται μεταξύ 250-300 mm, δηλαδή σε κλίματα ημιορημικά.

Υπό αυτές τις συνθήκες όμως η παραγωγικότητα του φυτού είναι πολύ χαμηλή (Καραμάνος, 1999).

Για τον καταρτισμό ενός σωστού προγράμματος άρδευσης στον αραβόσιτο είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τα παρακάτω χαρακτηριστικά της καλλιέργειας:

- Η αιχμή της υδατοκατανάλωσης συνήθως παρατηρείται κατά την περίοδο από την εμφάνιση της φόβης μέχρι την επικονίαση και ανέρχεται σε 5.5-10 mm νερού/ημέρα.
- Κατά τα στάδια αυτά η καλλιέργεια έχει ήδη αναπτύξει τη φυλλική επιφάνεια στον μέγιστο βαθμό και αυτό συνήθως συμπίπτει χρονικά με το μέγιστο της εξατμοϊκανότητας της ατμόσφαιρας.
- Από τη χρονική πορεία της ημερήσιας υδατοκατανάλωσης φαίνεται ότι στην περίοδο των 4-5 εβδομάδων μετά την εμφάνιση της φόβης διαπνέεται περισσότερο από το 50% της ολικής ποσότητας νερού.

Ο αραβόσιτος έχει τη δυνατότητα απορρόφησης νερού από εδαφικά στρώματα βαθύτερα από 130 cm. Η απορρόφηση νερού από διάφορα βάθη εξαρτάται από το εάν και πόσο συχνά αρδεύεται η καλλιέργεια. Όταν η καλλιέργεια είναι ξερική ή οι αρδεύσεις σπάνιες η απορρόφηση νερού ξεκινά από τα επιφανειακά στρώματα όταν αυτά έχουν περίσσεια υγρασίας και προοδευτικά εξαπλώνεται σε βαθύτερα στρώματα όσο εξαντλείται η επιφανειακή υγρασία (Russel and Da-nielson, 1956). Αντίθετα, σε αρδευόμενες καλλιέργειες το μεγαλύτερο ποσοστό του νερού απορροφάται από τα επιφανειακά 30 cm του εδάφους. Γενικά, το βάθος ενεργού ριζοστρώματος στον αραβόσιτο βρίσκεται μεταξύ 70-90 cm.

3.2 Αραχίδα

Η αραχίδα (φυτό φιστικιού - *Arachis hypogea*) κατάγεται από τη Βραζιλία. Εκεί μεταφέρθηκε και αρχικά καλλιεργήθηκε στην Αφρική από εμπόρους νέγρων για τη διατροφή των τελευταίων στο ταξίδι από Αφρική και Αμερική. Η ποικιλία που καλλιεργείται σήμερα προήλθε έπειτα από συνεχή επιλογή ενός αυτοφυούς είδους της Βραζιλίας. Σταδιακά η καλλιέργειά της επεκτάθηκε σε θερμά κλίματα σε όλο τον κόσμο. Σήμερα η Κίνα κατέχει με διαφορά την πρώτη θέση στην παραγωγή αραχίδας στην παγκόσμια αγορά. Ακολουθεί η Ινδία, η Νιγηρία, οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και η Βιρμανία. Στην Ελλάδα η

καλλιέργεια της είναι σχεδόν απύσχα. (Cyprousgreenfingers, 2012). Καλλιεργείται στις περιοχές της Μεσσηνίας (στον Μπουρνιά και στην Μπούκα), στον Αλυρό και στις Σέρρες. Στον πίνακα (3.2) παρουσιάζεται η παραγωγή φιστικιών κατά χώρα.

Πίνακας 3.2: Παγκόσμια παραγωγή αραχίδας σε τόνους

Χώρα	Παραγωγή (τόνοι)
Κίνα	16,114,231
Ινδία	6,933,000
Νιγηρία	2,962,760
Η.Π.Α.	1,649,410
Βερμανία	1,392,150
Ελλάδα	771,000

Πηγή: faostat.fao.org, 2011, Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων Δ/ση Αγροτικής Πολίτικης & Τεκμηρίωσης, 2010

3.2.1 Χαρακτηριστικά της καλλιέργειας

Η αραχίδα αναπτύσσεται και αποκτά ύψος μέχρι 60 εκατοστά και έχει μικρά κίτρινα λουλούδια (1-2 εκατοστά μήκος). Είναι ψυχανθές, ποώδες φυτό και στη χώρα μας καλλιεργείται ως ετήσιο φυτό επειδή δεν αντέχει στις χειμωνιάτικες παγωνιές. Οι όρθιες ποικιλίες της αραχίδας, που είναι οι πλέον ενδιαφέρουσες, έχουν κεντρικό στέλεχος όρθιο και τα πλάγια στελέχη έχουν λίγο-πολύ όρθια ανάπτυξη στην νεαρή ηλικία, αλλά έπειτα τείνουν να πάρουν έρπουσα ανάπτυξη. Τα φύλλα είναι σύνθετα με δυο ζεύγη φύλλων που μοιάζουν όπως τα φυλλάρια των τριφυλλιών. Τα άνθη της αραχίδας είναι αυτογονιμοποιούμενα, μικρά, κίτρινα και αναπτύσσονται χαμηλά κοντά στο έδαφος. Αμέσως μετά τη γονιμοποίηση, η βάση του υπέρου (που φέρει τη γονιμοποιημένη ωοθήκη και ονομάζεται γυνοφόρος) επιμηκύνεται με κατεύθυνση προς το έδαφος και εισέρχεται σ' αυτό σε βάθος 2 έως 5 εκ. όπου σχηματίζει τους λοβούς που φέρουν τα σπέρματα. Τα λουλούδια ανθίζουν μόνο για μισή ημέρα και τα άνθη γονιμοποιούνται από μόνα τους. Τέσσερις μέρες αργότερα, ένας μίσχος θα αναπτυχθεί από το λουλούδι και θα καρφωθεί στο χώμα. Στην άκρη κάθε μίσχου θα αναπτυχθούν τα περικάρπια των σπόρων.

Η ένταξη της αραχίδας σε σύστημα αμειψισποράς δεν είναι εύκολη, δεδομένου ότι η αραχίδα καλλιεργείται σε εδάφη πτωχά όπου δύσκολα ευδοκιμούν άλλα φυτά. Πάντως καλό προηγούμενο για την αραχίδα θεωρείται το καλαμπόκι και το σόργο. Για την προετοιμασία του εδάφους, το χωράφι οργώνεται σε βάθος 25 εκ. το φθινόπωρο και παραχώνονται τα φυτικά υπολείμματα της προηγούμενης καλλιέργειας. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα γίνεται προσπάθεια να μείνει το χωράφι απαλλαγμένο από ζιζάνια. Πριν από τη σπορά προστίθενται φωσφορική, καλιούχα και ασβεστούχα λίπανση ανάλογα με την ανάλυση του εδάφους. Η αζωτούχος λίπανση μπορεί να αντικατασταθεί με εμβολιασμούς κατάλληλου τύπου αζωτοβακτηρίων.

Η σημασία της αυξάνει επειδή εκτός από τα σπέρματα που είναι η κύρια παραγωγή, όλο το υπέργειο μέρος, στελέχη και φύλλα είναι σανός καλής ποιότητας, όπως περίπου οι σανοί των λοιπών ψυχανθών. Έπειτα από τη συλλογή του καρπού, υπόκειται σε αποφλοιώση - σπάσιμο. Στη συνέχεια, η ψίχα που βγαίνει χρησιμοποιείται στη ζαχαροπλαστική και για την παρασκευή ελαίου (φιστικέλαιο) και ως ξηρός καρπός είτε ψημένος είτε ωμός (Γάτσιος, 2011).

3.2.2 Σπορά και συγκομιδή

Κατά τη σπορά της αραχίδας μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα σπέρματα γυμνά ή ολόκληροι οι λοβοί. Οι γυμνοί σπόροι είναι πιο επιρρεπείς στις ζημιές από τα παθογόνα εδάφους. Όταν χρησιμοποιούνται οι λοβοί, προηγουμένως μουσκεύονται για 12 ώρες. Χρησιμοποιούνται λοβοί της αμέσως προηγούμενης καλλιεργητικής περιόδου. Οι μικρόσπερμοι λοβοί σπέρνονται ευκολότερα με σπαρτική μηχανή. Το βάθος σποράς (στα αμμώδη εδάφη) είναι 4 με 5 εκ. και χρειάζονται 4 έως 5 κιλά μικρόσπερμων λοβών το στρέμμα.

Η αραχίδα είναι ευαίσθητη τόσο στην έλλειψη νερού όσο και στις υπερβολικές αρδεύσεις. Στη χώρα μας, επειδή οι καλοκαιρινές βροχές δεν είναι ικανοποιητικές, η καλλιέργεια της αραχίδας πρέπει να ποτίζεται.

Η συγκομιδή της αραχίδας στα αμμώδη εδάφη είναι εύκολη και γίνεται με εκρίζωση των φυτών. Στη συνέχεια τα φυτά τινάζονται και αφήνονται επιτόπου για να ξεραθούν. Η

βαθμιαία ξήρανση των φυτών ευκολύνει τον αποχωρισμό των λοβών και μένει ο σανός για κτηνοτροφική χρήση (Παζαρλόγλου, 2012).

3.2.3 Άρδευση

Η αραχίδα απαιτεί περίπου 500-600 mm νερού την καλλιεργητική περίοδο. Ο συνιστώμενος τρόπος άρδευσης είναι με καταιονισμό, ειδικότερα τους μήνες Ιούνιο – Αύγουστο. Η συχνότητα άρδευσης που βελτιώνει την παραγωγή είναι μία φορά την εβδομάδα (3.8 mm νερού). Η υπερβολική άρδευση σε μη στραγγιζόμενο έδαφος προκαλεί ζημιές στην παραγόμενη ποσότητα. Το φυτό χρειάζεται υγρασία ώστε οι βελώνες να εισχωρήσουν και να μεγαλώσουν κάτω από τη γη. Αναλυτικότερα οι ανάγκες του φυτού σε νερό κατά την καλλιεργητική περίοδο φαίνονται παρακάτω:

- 1-2 εβδομάδες μετά την σπορά (σπορά μέχρι την εμφάνιση του φυτού): μέτρια ανάγκη σε νερό
- 3-8 (περίοδος έως την ανθοφορία): χαμηλή ανάγκη
- 8-15 (περίοδος ανθοφορίας/πτώση κλαδιών/ σχηματισμό βελονών και του βολβού): υψηλή ανάγκη
- 16-22 (σχηματισμός του βολβού – ωρίμανση): υψηλή και στη συνέχεια όταν ωριμάζει ο καρπός μειώνεται η ανάγκη για νερό (makin, 2011).

3.2.4 Ελλάδα

Η καλλιέργεια της αραχίδας, που είναι το γνωστό σε όλους αράπικο φιστίκι, μπορεί να αποτελέσει πηγή συμπληρωματικού εισοδήματος. Η υψηλή ζήτησή της στην εγχώρια αγορά καλύπτεται σχεδόν εξ' ολοκλήρου με εισαγωγές από τρίτες χώρες. Το ενδιαφέρον για το ελληνικό αράπικο φιστίκι είναι διαρκώς αυξανόμενο και σε αυτό βοήθησε η αύξηση των τιμών του εισαγόμενου φιστικιού κυρίως από την Κίνα σε συνδυασμό με τη μέτρια ποιότητά του.

Με τις τιμές των ποιοτικά κατώτερων προϊόντων από την Κίνα να κινούνται στα επίπεδα των εγχώριων ξηρών καρπών, εύλογα παρατηρείται μια έντονη στροφή προς τα ελληνικά προϊόντα. Μάλιστα, η ζήτηση για το αράπικο φιστίκι δεν περιορίζεται εντός των

ελληνικών συνόρων, αλλά αρκετές χώρες από την Ευρώπη, όπως η Γαλλία και το Βέλγιο, ξεκίνησαν να εισάγουν ποσότητες ελληνικών ξηρών καρπών από τη χώρα μας.

Αναμφίβολα πρόκειται για ένα προϊόν με καλές προοπτικές ανάπτυξης, καθώς η αγορά ξηρών καρπών αυξάνεται σταθερά τα τελευταία χρόνια, με την εγχώρια κατανάλωση να εμφανίζει σταθερό ρυθμό αύξησης χρόνο με τον χρόνο . Η δε καλλιέργεια του αράπικου φιστικιού θεωρείται εύκολη, χωρίς ιδιαίτερες καλλιεργητικές φροντίδες.

Τα αράπικα φιστίκια μέχρι σήμερα σπανίως ήταν ελληνικά - συνήθως στο εμπόριο κυκλοφορούν εισαγόμενα φιστίκια από την Κίνα, την Αίγυπτο και την Αργεντινή (Πίνακας 3.3). Πωλούνται στη φυσική τους μορφή, ψημένα ή χωρίς το κέλυφος αλλά με τη φλούδα ψημένα ή χωρίς τη φλούδα τηγανισμένα και αλατισμένα. Επειδή τα φιστίκια είναι ιδιαίτερα δημοφιλή, στην αγορά κυκλοφορούν και σε άλλες μορφές, όπως είναι το γνωστό φιστικοβούτυρο (Γάτσιος, 2011).

Πίνακας 3.3: Εξέλιξη της καλλιέργειας της αραχίδας

Έτος	Έκταση (εκατ.στρ.)	Παραγωγή (χιλ.τόνοι)	Απόδοση (κιλά/στρ)
1983	29,802	10,588	355
1984	25,090	7,536	300
1985	31,675	10,104	319
1986	30,829	10,297	334
1987	31,980	9,915	310
1988	23,235	8,674	373
1989	24,465	7,508	307
1990	21,420	6,819	318
1991	14,439	5,089	353
1992	10,270	3,329	324
1993	6,423	2,050	319
1994	6,083	1,955	321
1995	5,210	1,929	370
1996	5,630	2,153	382
1997	4,668	1,702	365
1998	3,173	1,295	408
1999	3,015	1,095	363
2000	3,025	1,098	363

Έτος	Έκταση (εκατ.στρ.)	Παραγωγή (χιλ.τόνοι)	Απόδοση (κιλά/στρ)
2001	5,338	1,862	349
2002	5,104	1,760	345
2003	1,930	232	120
2004	2,330	297	127
2005	2,030	777	383
2006	1,714	801	467
2007	1,919	908	473
2008	1,899	902	475
2009	1,865	901	483
2010	978	771	788

Πηγή: Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων Δ/ση Αγροτικής Πολιτικής & Τεκμηρίωσης

Στη χώρα μας, όπως και σε όλες τις παραμεσόγειες χώρες όπου ευδοκimei η ελιά, η αραχίδα χάνει τη σημασία της ως πηγή βρώσιμου λαδιού, επειδή η υπεροχή του ελαιολάδου είναι μεγάλη. Στην Ελλάδα καλλιεργούνται μόνο 45,000 στρέμματα, παρόλο που οι συνθήκες της χώρας μας είναι ιδανικές για την αραχίδα.

Το αράπικο φιστίκι θεωρείται ο ξηρός καρπός κατά της χοληστερίνης. Έχει μεγάλη ποσότητα φυτικών στερολών (διπλάσια από τους άλλους ξηρούς καρπούς και τα υπόλοιπα τρόφιμα που θεωρούνται καλές πηγές) και είναι έτσι πολύ αποτελεσματικό στην αντιμετώπιση της χοληστερίνης.



Σχήμα 3.2: Αραχίδα (Αράπικο φιστίκι)

3.3 Πατάτα

Σύμφωνα με τους ιστορικούς, οι ιθαγενείς Αμερικανοί, που ζούσαν στην οροσειρά των Άνδεων, γνώριζαν την πατάτα περίπου 4,000 χρόνια πριν ο γευστικός αυτός βολβός ξετρελάνει τους Ευρωπαίους. Την αποκαλούσαν με διάφορα ονόματα και σε ορισμένες, μάλιστα, περιοχές αποτελούσε βασικό συστατικό της καθημερινής διατροφής τους. Σύμφωνα με έναν δημοφιλή θρύλο, ο πρώτος που εισήγαγε την πατάτα στην Ευρώπη ήταν ο σερ

Γουόλτερ Ράλεϊ, χρηματοδότης πολλών υπερατλαντικών αποστολών. Λέγεται, μάλιστα, ότι ο ίδιος είχε φυτέψει την πρώτη πατάτα στο κτήμα του, στην πόλη Κορν της Ιρλανδίας. Ωστόσο, δεν υπάρχει καμία γραπτή απόδειξη που να επαληθεύει τη θεωρία αυτή.

Πιο τεκμηριωμένα ιστορικά είναι η θεωρία που θέλει ως πρωτοπόρο τον σερ Φράνσις Ντρέικ. Σύμφωνα με αυτή, ο Ντρέικ, επιστρέφοντας το 1586 στην Αγγλία, έπειτα από μία μάχη με τους Ισπανούς στην Καραϊβική, έκανε μια στάση στην Κολομβία για προμήθειες. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνοντα καπνός και πατάτες.

Κατά μια τρίτη θεωρία, ο πρώτος βολβός πατάτας ξεβράστηκε στις ακτές της Ιρλανδίας, μαζί με τα συντρίμια της Ισπανικής Αρμάδας, το 1588. Πάντως, η πρώτη γραπτή μαρτυρία για την εισαγωγή πατάτας στην Ευρώπη είναι μία απόδειξη με ημερομηνία 28 Νοεμβρίου 1567 ενός εξαγωγέα πατάτας από τα Κανάρια Νησιά προς έναν έμπορο της Αμβέρσας.

Ανεξαρτήτου προελεύσεως, η πατάτα προσέλκυσε από την πρώτη στιγμή το ενδιαφέρον των αγροτών, που διαπίστωσαν ότι η καλλιέργειά της ήταν πολύ ευκολότερη και παρείχε πολύ μεγαλύτερη σοδειά απ' ό,τι το σιτάρι και η βρόμη. Μέχρι το 1650 είχε κυριαρχήσει στη διατροφή των Ιρλανδών και είχε αντικαταστήσει σε μεγάλο βαθμό τις καλλιέργειες σίτου. Οι Ιρλανδοί άποικοι ήταν και οι πρώτοι που καλλιέργησαν την πατάτα στη Βόρεια Αμερική, στην περιοχή Λόντοντερι του Νιου Χαμσάιρ, το 1719. Έως το τέλος του 18ου αιώνα, το νέο προϊόν είχε γίνει ιδιαίτερα δημοφιλές και στη Γαλλία, με την υποστήριξη του Αντουάν Ογκίστ Παρμαντιέ, ενός από τους αυλικούς του βασιλιά Λουδοβίκου του 15ου. Πιο επιφυλακτικοί, οι Ρώσοι, αρχικώς αποκαλούσαν τις πατάτες (γεώμηλα) ως «τα μήλα του διαβόλου», πιθανότατα εξαιτίας του γεγονότος ότι αναπτύσσονταν κάτω από την επιφάνεια της γης.

Στην Ελλάδα, ο πρώτος που επεδίωξε την εισαγωγή της πατάτας ήταν ο κυβερνήτης Ιωάννης Καποδίστριας. Ο ίδιος την είχε δοκιμάσει κατά τη διάρκεια των ταξιδιών του στην Ευρώπη κι έκρινε ότι θα ήταν μια θρεπτική βασική τροφή για ένα φτωχό λαό. Όταν εγκαταστάθηκε στο Ναύπλιο, προσπάθησε να δώσει πατάτες στους χωρικούς, που, φιλύποπτοι και συντηρητικοί όπως ήταν, τις πέταξαν. Ο Καποδίστριας, όμως, ήξερε πολύ καλά τους συμπατριώτες του και μιμούμενος το Φρειδερίκο το Μέγα της Πρωσίας και τον Παρμαντιέ της Γαλλίας, που είχαν μεταχειριστεί παρόμοια κόλπα- περιέφραξε το μέρος όπου ήταν αποθηκευμένες οι πατάτες κι έβαλε σκοπούς να τις φυλάνε μέρα νύχτα. Μέσα σε μια εβδομάδα δεν είχε μείνει ούτε μια πατάτα.

Σήμερα η πατάτα καλλιεργείται σε πάνω από 100 χώρες με κυρίαρχη την Κίνα. Στον Πίνακα (3.4) παρουσιάζεται η παγκόσμια παραγωγή πατάτας.

Πίνακας 3.4: Παγκόσμια παραγωγή πατάτας σε τόνους

Χώρα	Παραγωγή (τόνοι)
Κίνα	88,350,220
Ινδία	42,339,400
Ρωσία	32,681,500
Ουκρανία	24,248,000
Η.Π.Α.	19,361,500
Ελλάδα	757,820

Πηγή: faostat.fao.org, 2011

Γενικά η πατάτα ευδοκίμει σε σχετικά ψυχρά και δροσερά κλίματα. Η καλύτερη παραγωγή επιτυγχάνεται σε περιοχές σχετικά δροσερές με ομοιόμορφη θερμοκρασία, χωρίς μεγάλες διακυμάνσεις κατά την περίοδο της καλλιέργειας και με μέτριες ως συχνές βροχοπτώσεις. Το φύτρωμα των πατατών γίνεται σε 12 - 30 μέρες από τη φύτευση, όταν η μέση θερμοκρασία του αέρα είναι 12-13 βαθμοί Κελσίου. Γενικά, ψηλές θερμοκρασίες πέραν των 26-28 βαθμών Κελσίου, ευνοούν την ανάπτυξη του φυλλώματος, ενώ οι χαμηλές θερμοκρασίες ευνοούν την κονδυλοποίηση. Όταν η θερμοκρασία είναι χαμηλή (15-18 βαθμοί Κελσίου), η υγρασία αρκετή και ο φωτισμός άφθονος, περιορίζεται η ανάπτυξη του υπέργειου τμήματος των φυτών και ευνοείται η ανάπτυξη των κονδύλων. Όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω από τους 3 βαθμούς Κελσίου, το φύλλωμα των φυτών υφίσταται ζημιές. Στους μείον 2 βαθμούς Κελσίου, τα φυτά παγώνουν και καταστρέφονται (Ολύμπιος, 1996).

3.3.1 Ανάγκες σε νερό

Οι πατάτες είναι καλλιέργεια πολύ ευαίσθητη στην έλλειψη εδαφικής υγρασίας. Οι ανάγκες των πατατών σε νερό εξαρτώνται από τις κλιματολογικές συνθήκες κάθε περιοχής και από το στάδιο ανάπτυξης της φυτείας. Οι ανάγκες αυτές είναι μικρότερες στα αρχικά

στάδια ανάπτυξης και στο τελικό στάδιο ωρίμανσης της φυτείας και ενώ μεγαλύτερες στα στάδια κονδυλοποίησης και ανάπτυξης των κονδύλων.

Η ελάττωση της διαθέσιμης υγρασίας στο έδαφος δεν πρέπει να ξεπερνά το 50% ιδιαίτερα στα κρίσιμα στάδια ανάπτυξης της πατατοφυτείας και τούτο επιτυγχάνεται με το συχνό πότισμα. Η συχνότητα άρδευσης εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους και το στάδιο ανάπτυξης των πατατών. Οι τρόποι προσδιορισμού της συχνότητας άρδευσης είναι τα τενσιόμετρα και το πότισμα με βάση την εξάτμιση.

Οι συνολικές ετήσιες ανάγκες σε νερό των πατατών υπό κανονικές συνθήκες ανέρχονται σε 250-300 τόνους για τις πρώιμες ανοιξιάτικες, 350-400 τόνους για τις όψιμες ανοιξιάτικες, 550-600 τόνους για την ποικιλία Κάρα και 400-450 τόνους για τις χειμερινές (Αύγουστος-Σεπτέμβριος)



Σχήμα 3.3: Καλλιέργεια πατάτας
http://perivallontiko.blogspot.gr/2012/04/blog-post_13.html

3.3.2 Άρδευση πατάτας

Η πατάτα είναι αρδευόμενη καλλιέργεια στα εύκρατα και υποτροπικά κλίματα όπου καλλιεργείται. Η έλλειψη νερού είναι ένας από τους σπουδαιότερους περιοριστικούς παράγοντες της καλλιέργειας πατάτας σε μία περιοχή.

Μία καλλιέργεια πατάτας σε πλήρη ανάπτυξη, δηλαδή όταν το φύλλωμα καλύπτει όλη την επιφάνεια του εδάφους, μπορεί να διαπνέει από 2-10 χιλιοστά νερού την ημέρα ανά στρέμμα. Ο βαθμός αυτός της εξατμισοδιαπνοής εξαρτάται από τη διαθέσιμη υγρασία του εδάφους και, τη σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας, την ακτινοβολία, τη θερμοκρασία, την ταχύτητα του αέρα και φυσικά από το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας. Όταν ο βαθμός διαπνοής είναι μεγαλύτερος από το βαθμό πρόσληψης νερού από τις ρίζες, παρατηρείται άμεση μείωση της παραγόμενης ξηρής ουσίας, που οφείλεται στη μείωση του βαθμού φωτοσύνθεσης.

Παρά το γεγονός ότι η καλλιέργεια της πατάτας χρειάζεται νερό σε όλα τα στάδια της ανάπτυξης, από τη φύτευση μέχρι την ωρίμανση των κονδύλων, εν τούτοις υπάρχει μια διαφοροποίηση των αναγκών στις διάφορες φάσεις ανάπτυξης της:

A) Κατά την περίοδο μεταξύ της φύτευσης και του φυτρώματος, το έδαφος πρέπει να είναι υγρό αλλά όχι κορεσμένο με νερό. Στην τελευταία περίπτωση δηλαδή το υπερβολικό πότισμα, μπορεί να προκαλέσει καταστροφή του πατατόσπορου. Αντίθετα ανεπάρκεια νερού την περίοδο αυτή μπορεί να καθυστερήσει ή να εμποδίσει το φύτρωμα και να προκαλέσει ανομοιομορφία στη βλάστηση και επίσης, μπορεί να παρατηρηθεί μείωση του αριθμού των στελεχών ανά φυτό. Επομένως το πότισμα την περίοδο αυτή πρέπει να γίνεται με πολύ προσοχή, λαμβάνοντας υπόψη και τον τύπο του εδάφους, να εφαρμόζεται μικρή ποσότητα νερού σε συχνότητα που θα διατηρεί το έδαφος υγρό.

B) Κατά την περίοδο μεταξύ του φυτρώματος και της έναρξης σχηματισμού των κονδύλων, οι ανάγκες σε νερό είναι ακόμη μειωμένες περίπου στο μισό των αναγκών μίας φυτείας που το φύλλωμα καλύπτει πλήρως το έδαφος

Γ) Η ορθολογική χρήση νερού κατά την έναρξη σχηματισμού των κονδύλων επηρεάζει θετικά τον αριθμό των εμπορεύσιμων κονδύλων ανά φυτό κατά την συγκομιδή. Αντίθετα, στεγνό έδαφος την περίοδο αυτή μειώνει την παραγωγή. Επίσης, μειωμένη περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό την περίοδο αυτή επηρεάζει την προσβολή των κονδύλων από την ακτινομύκωση. Για προστασία των νεαρών κονδύλων από την προσβολή, συνίσταται να διατηρείται το έδαφος υγρό με συνεχείς αρδεύσεις με λίγο νερό.

Δ) Κατά την περίοδο διόγκωσης των κονδύλων απαιτούνται αυξημένες ποσότητες νερού άρδευσης, ομαλά κατανεμημένες σε όλη τη διάρκεια της περιόδου αυτής. Έλλειψη νερού την περίοδο αυτή ή ανομοιόμορφη εφαρμογή, μειώνει την παραγωγή και υποβαθμίζει την ποιότητα του προϊόντος (Ολύμπιος, 1996).

3.4 Σιτηρά

3.4.1 Γενικά για τα σιτηρά

Τα σιτηρά των εύκρατων κλιμάτων κατάγονται από περιοχές ημίξηρες που εντοπίζονται κυρίως στις λοφώδεις εκτάσεις και τα οροπέδια της ΝΔ Ασίας και της Μέσης Ανατολής, σε αντίθεση με τα σιτηρά των θερμών κλιμάτων που κατάγονται από περιοχές πολύ διαφορετικές οικολογικά (π.χ. το ρύζι από τη ΝΑ Ασία, ο αραβόσιτος από την Κεντρική Αμερική, το σόργο από την τροπική Αφρική). Στις ημίξηρες αυτές περιοχές, οι πρόγονοι των σημερινών σιτηρών των εύκρατων κλιμάτων κατόρθωσαν να φυτρώνουν και να αυξάνονται γρήγορα χάρη στα μεγάλα αποθέματα των σπόρων τους σε θρεπτικά συστατικά.

Τα σιτηρά είναι τα σημαντικότερα από τα καλλιεργούμενα φυτά. Καλλιεργούνται σχεδόν σε όλο τον κόσμο εκτός ίσως από τις πολύ υγρές περιοχές όπου η καλλιέργεια άλλων φυτών είναι περισσότερο αποδοτική. Κάθε χρόνο καλύπτουν εκτάσεις περίπου 700 εκατ. εκτάρια δηλαδή σχεδόν το 1/20 της συνολικής χερσαίας επιφάνειας.

Παράγουν τροφή για ανθρώπινη κατανάλωση. Η καλλιέργειά τους, η συγκομιδή και η αποθήκευση δεν παρουσιάζουν μεγάλα προβλήματα. Σκοπός της καλλιέργειας είναι συνήθως η παραγωγή καρπού και δευτερευόντως η παραγωγή βιομάζας. Η κυριότερη ανθρώπινη τροφή που προέρχεται από τα σιτηρά είναι το ψωμί. Μόνο το σιτάρι και εν μέρει η σίκαλη είναι κατάλληλα για αρτοποίηση γιατί έχουν τις πιο κατάλληλες για αρτοποίηση πρωτεΐνες (Καραμάνος, 1999).

3.4.2 Χειμερινά σιτηρά

Κάθε χρόνο, σ' όλο τον κόσμο, καλλιεργούνται πάνω από 2,900 εκατομμύρια στρέμματα με χειμερινά σιτηρά και η παραγωγή φθάνει στους 840 εκατομμύρια τόνους. Το 76% της συνολικής παγκόσμιας έκτασης καταλαμβάνει το σιτάρι, ακολουθεί το κριθάρι με 17% και σε πολύ μικρότερη έκταση η βρώμη, η σίκαλη και το τριτικάλε. Στην Ελλάδα κατά μέσο όρο καλλιεργούνται κάθε χρόνο 7εκ. στρέμματα με χειμερινά σιτηρά (59% με σκληρό σιτάρι, 18% μαλακό σιτάρι, 14% κριθάρι). Ενώ η χώρα μας είναι εξαγωγική σε σκληρό σιτάρι είναι έντονα ελλειμματική σε μαλακό σιτάρι αλλά και στα άλλα σιτηρά.

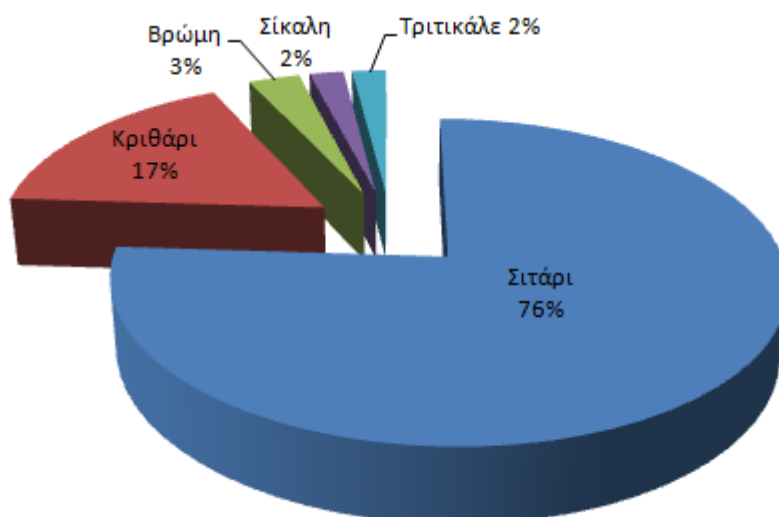
Τα χειμερινά σιτηρά καλλιεργούνται κάθε χρόνο παγκοσμίως σε έκταση μεγαλύτερη από 2,900 εκατομμύρια στρέμματα (Πίνακας 3.5), σε πάνω από 120 χώρες. Το σιτάρι και το κριθάρι κυριαρχούν, τόσο στο ύψος παραγωγής, όσο και στην καλλιεργούμενη έκταση.

Πίνακας 3.5: Παγκόσμια παραγωγή σιτηρών κατά μέσο όρο για την περίοδο 2006-2010

Καλλιέργεια	Παραγωγή (χιλ.τόνοι)	Έκταση (εκατ.στρ.)	Μέση απόδοση (κιλά/στρ)
Σιτάρι	647,313	2,186	296
Κριθάρι	140,727	541	260
Βρώμη	23,434	108	217
Σίκαλη	15,286	62	246
Τριτικάλε	13,274	39	339
Σύνολο	840,033	2,936	

Πηγή: FAO Stat

Το σιτάρι κατά μέσο όρο, σύμφωνα με στοιχεία του FAO για την περίοδο 2006-2010, καλλιεργείται συνολικά σε 2,186 εκατομμύρια στρέμματα και η παραγωγή του ξεπερνά τους 640 εκατομμύρια τόνους, καλύπτοντας το 76% της παγκόσμιας παραγωγής χειμερινών σιτηρών (Σχήμα 3.4). Το μεγαλύτερο τμήμα της παραγωγής σιταριού συντελείται κυρίως στην Ασία και στην Ευρώπη και έπεται η Βόρεια Αμερική.



Σχήμα 3.4: Ποσοστό συμμετοχής των ειδών στη συνολική έκταση που καλλιεργείται παγκόσμια με χειμερινά σιτηρά (με βάση στοιχεία FAO Stat, 2006-2010)

Η Κίνα αποτελεί την κυριότερη παραγωγό χώρα σιταριού με παραγωγή που ξεπερνά ετησίως τους 110 εκατομμύρια τόνους και ακολουθείται από την Ινδία, τις Η.Π.Α., τη Ρωσία και τη Γαλλία με 77, 59, 52 και 37 εκατομμύρια τόνους αντίστοιχα (Πίνακας 3.6). Εντός της Ε.Ε. τις περισσότερες εκτάσεις με καλλιέργεια σιταριού, αλλά και την υψηλότερη παραγωγή εμφανίζουν κατά σειρά η Γαλλία, η Γερμανία και το Ηνωμένο Βασίλειο, το οποίο επιπλέον παρουσιάζει και τις υψηλότερες αποδόσεις.

Πίνακας 3.6: Παγκόσμια ετήσια παραγωγή σιταριού (κατά μέσο όρο για την περίοδο 2006-2010)

Χώρες	Παραγωγή (χιλ.τόνοι)	Έκταση (εκατ.στρ)	Μέση απόδοση (κιλά/στρ)
Κίνα	112,103	239	496
Ινδία	77,024	278	277
Η.Π.Α.	58,704	203	289
Ρωσία	52,261	242	215
Γαλλία	36,735	53	692
Καναδάς	24,789	93	267
Γερμανία	23,709	32	747
Πακιστάν	22,575	88	258
Τουρκία	19,057	82	234
Αυστραλία	17,921	130	136

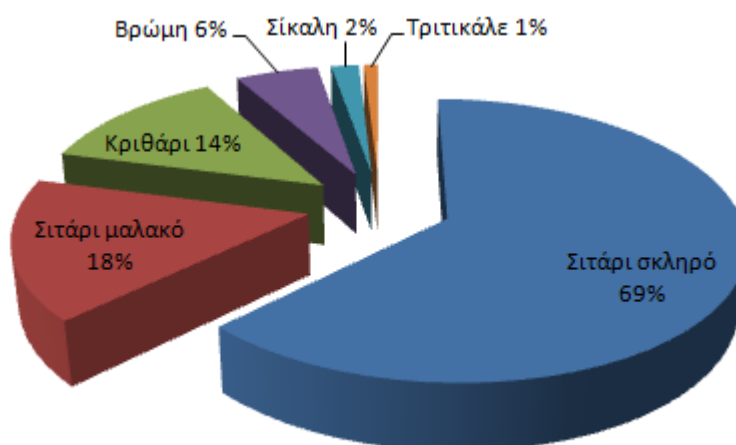
Πηγή: FAO Stat

Στην Ελλάδα με βάση τα στοιχεία του ΟΠΕΚΕΠΕ, τις καλλιεργητικές περιόδους 2009-2010 και 2010-2011, καλλιεργήθηκαν κατά μέσο όρο 7,137,027 στρέμματα με χειμερινά σιτηρά από τα οποία 4,248,571 με σκληρό σιτάρι, 1,277,825 με μαλακό σιτάρι, 994,181 με κριθάρι, 711,889 με βρώμη, 138,024 με σίκαλη και 46,033 στρέμματα με τριτικάλε (Πίνακας 3.7). Το σκληρό σιτάρι καταλαμβάνει το 59% των καλλιεργούμενων εκτάσεων με χειμερινά σιτηρά και ακολουθείται από το μαλακό σιτάρι και το κριθάρι με 18 και 14% αντίστοιχα (Σχήμα 3.5). Αξίζει να σημειωθεί ότι το τριτικάλε καταλαμβάνει μόνο το 1% των καλλιεργούμενων εκτάσεων με χειμερινά σιτηρά.

Πίνακας 3.7: Οι εκτάσεις (σε στρ) με καλλιέργεια χειμερινών σιτηρών στην Ελλάδα για τα έτη 2010 και 2011

Είδος χειμ.σιτηρού	2010	2011
Σιτάρι σκληρό	4,573,961	3,923,182
Σιτάρι μαλακό	1,200,421	1,355,230
Κριθάρι	982,974	1,005,389
Βρώμη	705,966	717,813
Σίκαλη	142,883	133,165
Τριτικάλε	47,798	44,269
Σύνολο	7,654,003	6,620,052

Πηγή: ΟΠΕΚΕΠΕ



Σχήμα 3.5: Ποσοστό συμμετοχής των ειδών στη συνολική έκταση που καλλιεργείται στην Ελλάδα με χειμερινά σιτηρά (με βάση στοιχεία ΟΠΕΚΕΠΕ, 2010 και 2011)

3.4.3 Άρδευση

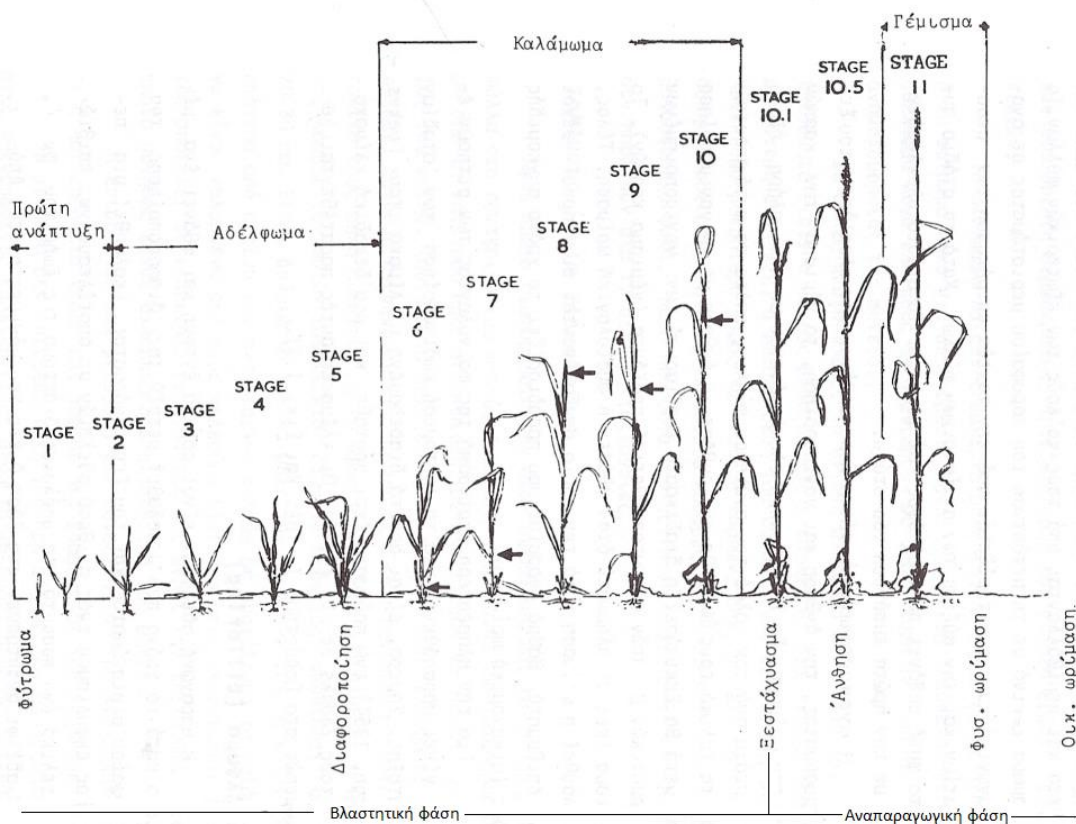
Το σιτάρι καλλιεργείται κυρίως ως ξηρικό, αν και αντιδρά θεαματικά στην άρδευση. Σε περιοχές με υψηλές βροχοπτώσεις δεν υπάρχει ανάγκη για άρδευση παρά μόνο κατά τις ξηρές χρονιές. Αντίθετα σε περιοχές με χαμηλά ύψη βροχής, συμπληρωματικές αρδεύσεις διασφαλίζουν αποδόσεις σε ικανοποιητικά επίπεδα.

Οι απαιτήσεις του φυτού σε νερό είναι υψηλές κατά την περίοδο που παρατηρείται ο μέγιστος ρυθμός βλαστητικής ανάπτυξης, και μέγιστες κατά την άνθηση. Η μέγιστη υδατοκατανάλωση εξαρτάται από τις συνθήκες καλλιέργειας. Σε ξερικές συνθήκες είναι

περίπου 3 mm/ημ., ενώ σε αρδευόμενες φτάνει τα 8-9 mm. Η ολική ετήσια υδατοκατανάλωση ανέρχεται σε 400 mm περίπου σε ξερικές καλλιέργειες και μεσογειακό περιβάλλον (Shinshi, 1973), αλλά μπορεί να είναι διπλάσια υπό αρδευόμενες συνθήκες.

Όπως για όλα σχεδόν τα σιτηρά, έλλειψη νερού κατά τη διάρκεια της διαφοροποίησης του σταχίου προκαλεί μείωση στον αριθμό των σταχυιδίων. Η περίοδος αυτή τοποθετείται μεταξύ του καλαμώματος και στην αρχή της διόγκωσης του κολεού του τελευταίου φύλλου. Έλλειψη νερού πριν την άνθηση μειώνει την παραγωγή ζωτικών γυρεόκοκκων (Bingham, 1996), ενώ έλλειψη νερού κατά την άνθηση μειώνει την αποτελεσματικότητα της επικονίασης. Παρατεταμένη ξηρασία κατά το γέμισμα μειώνει κυρίως το μέσο βάρος των καρπών και αυξάνει τη συχνότητα των συρρικνωμένων καρπών λόγω μειωμένης παραγωγής φωτοσυνθετικών ουσιών και αυξημένου ρυθμού γήρανσης των φωτοσυνθετικών οργάνων (Fischer and Kohn, 1996).

Γενικά η κρίσιμότερη περίοδος για επάρκεια νερού σε σχέση με τις τελικές αποδόσεις θεωρείται εκείνη που προηγείται κατά 5-15 ημέρες του ξεσταχυάσματος, διότι έτσι μειώνεται σημαντικά ο αριθμός των καρπών που παράγονται ανά στάχυ (Fischer, 1973). Το πρόβλημα γίνεται οξύτερο επειδή κατά την περίοδο αυτή τα φυτά παρουσιάζουν και το μέγιστο των αναγκών τους σε νερό λόγω της μεγάλης ανάπτυξης του φυλλώματος. Η μείωση του βάρους των καρπών λόγω έλλειψης νερού κατά το γέμισμα επηρεάζει λιγότερο τις αποδόσεις συγκριτικά με το μειωμένο αριθμό των καρπών (Asana and Mani, 1955).



Σχήμα 3.6: Τα διάφορα στάδια και φάσεις ανάπτυξης των σιτηρών (Καραμάνος, 1994)

3.4.4 Εαρινά σιτηρά

Στην κατηγορία των εαρινών σιτηρών ανήκουν ο αραβόσιτος, το σόργο, το ρύζι και το κεχρί. Για τον αραβόσιτο έχει γίνει εκτεταμένη αναφορά σε παραπάνω κεφάλαιο.

3.4.4.1 Σόργο

Σύμφωνα με τον Doggett (1965,1988) η Ν.Δ. Αιθιοπία είναι μία πιθανή περιοχή για την πρώτη εξημέρωση του σόργου, η οποία θα πρέπει να έλαβε χώρα γύρω στο 5000 π.Χ. Ο καρπός χρησιμοποιείται για τη διατροφή του ανθρώπου (Ινδία, Κίνα, Αφρική), κτηνοτροφική

και βιομηχανική χρήση. Γενικά, η σύσταση του καρπού του σόργου μοιάζει με εκείνη του σκληρού σιταριού, αλλά υπερέχει σε λιποπεριεκτικότητα. Για διατροφή του ανθρώπου οι κόκκοι λειοτριβούνται και μαγειρεύονται αυτούσιοι ή ζυμώνονται σε είδος ψωμιού. Επίσης χρησιμοποιούνται για παραγωγή αλκοολούχων ποτών (ένα είδος μπίρας στην Αφρική). Ως κτηνοτροφική, ο καρπός είναι ισοδύναμος του αραβόσιτου από πλευράς θρεπτικής αξίας. Έχει κάπως χαμηλότερη περιεκτικότητα σε λίπος ενώ η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη είναι υψηλότερη, ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη ποικιλία. Για βιομηχανική χρήση, χρησιμοποιείται για παραγωγή αλκοόλης, αμυλοπηκτίνης, αμύλου, γλυκόζης, σιροπιών, ελαίου.

Το σόργο είναι η τρίτη σημαντικότερη καλλιέργεια δημητριακών που καλλιεργούνται στις Ηνωμένες Πολιτείες και η πέμπτη πιο σημαντική καλλιέργεια δημητριακών που καλλιεργούνται στον κόσμο. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.8, η Ινδία είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός στον κόσμο και ακολουθείται από την Νιγηρία και τις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής.

Πίνακας 3.8: Παγκόσμια παραγωγή σόργου σε μετρικούς τόνους

Χώρα	Παραγωγή (τόνοι)
Ινδία	7,003,100
Νιγηρία	6,897,060
Η.Π.Α.	5,447,100
Αργεντινή	4,458,440
Αιθιοπία	3,959,900
Ελλάδα	1,409,000

Πηγές: faostat.fao.org, 2011, Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2006

Η καλλιέργεια του σόργου στην Ελλάδα επικεντρώνεται στην Βόρεια Ελλάδα κυρίως στο Ν. Έβρου και συνεχώς μειώνεται.

Παρά την αναμφισβήτητη αντοχή του σόργου στην ξηρασία και την παραγωγικότητά του υπό εξαιρετικά δυσμενείς συνθήκες, η ισχυρή εξάρτηση των αποδόσεων από την υδατοκατανάλωση δείχνει ότι η καλλιέργεια χρειάζεται νερό για υψηλή αποδοτικότητα. Η ολική υδατοκατανάλωση κυμαίνεται από 250 mm (σε ξερικές συνθήκες και ξηρές περιοχές)

μέχρι 700 mm νερού (σε μεγάλες συχνότητες αρδεύσεων) (Arnon, 1972). Η ημερήσια υδατοκατανάλωση ξεκινά από 2.5 mm νερού τις πρώτες 30-40 ημέρες από το φύτευμα για να φθάσει ένα μέγιστο κατά την εμφάνιση της ταξιανθίας και την καρπόδεση. Η μέγιστη ημερήσια υδατοκατανάλωση ποικίλλει από 3.5-9 mm ανάλογα με τον βαθμό επάρκεια του νερού.

3.4.4.2 Ρύζι

Η πρώτη καλλιέργεια του ρυζιού χρονολογείται γύρω στο 10000 π.Χ. και εντοπίζεται στις υγρές περιοχές της τροπικής και υποτροπικής Ασίας, πιθανότατα στις Ινδίες, όπου υπάρχει αφθονία άγριων συγγενών ειδών.

Το ρύζι καλλιεργείται για παραγωγή καρπού για ανθρώπινη κατανάλωση. Τα υποπροϊόντα της επεξεργασίας του ρυζιού και τα υπολείμματα της καλλιέργειας χρησιμοποιούνται για βιομηχανικές και άλλες χρήσεις.

Το ρύζι καλλιεργείται σε 111 χώρες στις οποίες συμπεριλαμβάνονται όλες οι ασιατικές, οι περισσότερες της βόρειας και δυτικής Αφρικής και της νότιας και κεντρικής Αμερικής και μερικές στις ανατολικής και κεντρικής Αφρικής. Καλλιεργείται επίσης σε τέσσερις πολιτείες των Η.Π.Α. Παρά το γεγονός ότι το 70% των καλλιεργούμενων εκτάσεων εντοπίζεται σε υγρές τροπικές περιοχές, το ρύζι καλλιεργείται επίσης και σε χώρες με εύκρατο κλίμα (Ιαπωνία, Κορέα, Κίνα, Η.Π.Α. και ευρωπαϊκές χώρες). Οι πέντε κυριότερες χώρες που καλλιεργούν ρύζι φαίνονται στον Πίνακα 3.9, ενώ παρουσιάζεται και η παραγωγή που υπάρχει στην Ελλάδα.

Πίνακας 3.9: Παγκόσμια παραγωγή ρυζιού σε τόνους

Χώρα	Παραγωγή (τόνοι)
Κίνα	202,667,270
Ινδία	155,700,000
Ινδονησία	65,740,900
Μπαγκλαντές	50,627,000
Βιετνάμ	42,331,600
Ελλάδα	254,900

Πηγή: faostat.fao.org, 2011

Στην Ελλάδα, το 85% των καλλιεργούμενων εκτάσεων με ρύζι βρίσκεται στη Μακεδονία και κυρίως στους νομούς Σερρών και Θεσ/νίκης. Σε πολύ μικρότερες εκτάσεις καλλιεργείται στην Στερεά Ελλάδα και κυρίως στους νομούς Φθιώτιδας και Αιτ/νίας. Καλλιεργείται επίσης στην Πελοπόννησο, στους νομούς Λακωνίας και Μεσσηνίας.

Ο βαθμό επάρκειας νερού είναι σημαντικός παράγοντας για την επιτυχή καλλιέργεια του ρυζιού. Οι χαμηλότερες αποδόσεις σε πολλές περιοχές της γης είναι αποτέλεσμα ανεπαρκούς ή υπερβολικού νερού κατά την ανάπτυξη των φυτών. Οι απαιτήσεις της καλλιέργειας σε νερό ποικίλλουν μεταξύ 500-1000 mm ανάλογα με την εξατμισοικανότητα της ατμόσφαιρας, φυτικά χαρακτηριστικά και την υδατική κατάσταση του εδάφους. Από φυτικά χαρακτηριστικά έχει ιδιαίτερη σημασία η διάρκεια βιολογικού κύκλου της καλλιεργούμενης ποικιλίας. Είναι επίσης προφανές ότι η υδατοκατανάλωση θα είναι μεγαλύτερη σε έδαφος συνεχώς υγρό ή κατακλυσμένο και θα μειώνεται όσο μειώνεται η εδαφική υγρασία. Στα πρώτα στάδια τα φυτά έχουν χαμηλές απαιτήσεις σε νερό. Ως κρίσιμη περίοδο για τις τελικές αποδόσεις θεωρείται το χρονικό διάστημα μεταξύ διαφοροποίησης και άνθησης. Τέλος κατά το γέμισμα των καρπών απαιτούνται γενικά μικρές ποσότητες νερού (Καραμάνος, 1999).

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε το σιτάρι. Πιο συγκεκριμένα μελετήθηκαν ποικιλίες χειμερινές και ποικιλίες ανοιξιότικες.

3.5 Φασόλια

Σήμερα είναι γενικά παραδεκτό ότι το γένος *Phaseolus* κατάγεται από την Κεντρική Αμερική και η εισαγωγή του στην Ευρώπη έγινε τον 16^ο αιώνα, όπου διαδόθηκε ευρέως κατά τον 16^ο και 17^ο αιώνα. Στην Αγγλία έφθασε το 1654. Τον 17^ο αιώνα η καλλιέργειά του εξαπλώθηκε στην Ιταλία, Ελλάδα, Τουρκία, Περσία και άλλες παραμεσόγειες χώρες. Επίσης, εξαπλώθηκε και στις δυτικές περιοχές της Βόρειας Αμερικής μέσω της Καλιφόρνιας. Στις ανατολικές περιοχές της Β. Αμερικής η φασολιά είχε εισαχθεί από την Ευρώπη περίπου στο τέλος του 19^{ου} αιώνα. Σήμερα έχει εξαπλωθεί σε όλες τις ηπείρους και σύμφωνα με τα στοιχεία του FAO του 2011, η παγκόσμια παραγωγή ήταν όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.10.

Πίνακας 3.10: Παγκόσμια παραγωγή φασολιού σε τόνους

Χώρα	Παραγωγή (τόνοι)
Ινδία	15,716,947
Ινδονησία	883,802
Τουρκία	617,869
Αίγυπτος	614,948
Ταϊλάνδη	305,561
Ελλάδα	55,100

Πηγή: faostat.fao.org, 2011

3.5.1 Απαιτήσεις του φυτού σε κλίμα και έδαφος

Είναι φυτό θερμής εποχής, ευπαθές στο ψύχος και καταστρέφεται όταν η θερμοκρασία είναι κάτω από τους -1° έως 2°C . Επίσης, οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες δεν είναι ευνοϊκές, όπως και η ξηρασία, που προκαλούν ανθόρροια την περίοδο της καρποφορίας.

Η φασολιά αναπτύσσεται και παράγει σε ποικίλα εδάφη. Προτιμώνται όμως τα ελαφριά και θερμά για πρώιμη παραγωγή και τα γόνιμα, πλούσια σε οργανική ουσία που στραγγίζονται καλά, για υψηλές αποδόσεις. Τα πολύ συνεκτικά εδάφη πρέπει να αποφεύγονται, γιατί δημιουργούν προβλήματα στην βλάστηση κατά την έξοδο των κοτύλων από το έδαφος. Το άριστο της αντίδρασης του εδάφους κυμαίνεται από $\text{pH}=5,8 - 6,0$, δηλαδή τα ελαφρώς όξινα εδάφη. Τα εδάφη με αλκαλική αντίδραση θα πρέπει να αποφεύγονται (Ολύμπιος, 1999).

3.5.2 Συνθήκες βλάστησης

Η άριστη θερμοκρασία για την βλάστηση του σπόρου κυμαίνεται μεταξύ $20-30^{\circ}\text{C}$ και σε καμία περίπτωση η θερμοκρασία του εδάφους δεν πρέπει να είναι κάτω από $14-15^{\circ}\text{C}$. Οι Thomson and Kelly (1957) αναφέρουν ότι σπορά σε ψυχρό έδαφος έχει σαν αποτέλεσμα την καθυστερημένη βλάστηση των σπόρων και τη φτωχή ανάπτυξη των φυτών. Ο MacGillivray (1961) αναφέρει ότι η άριστη βλάστηση των φασολιών παρατηρείται όταν η θερμοκρασία του εδάφους κυμαίνεται μεταξύ 18 και 29°C . Έχει βρεθεί ότι εάν η

θερμοκρασία εδάφους είναι 15 °C χρειάζονται 16 ημέρες για να βλαστήσει ο σπόρος, ενώ στους 20 °C, 25 °C και 31 °C οι ημέρες που απαιτούνται για την βλάστηση είναι 11.8 και 6 αντίστοιχα. Παρατεταμένη διάρκεια βλάστησης έχει σαν αποτέλεσμα τη μειωμένη βλαστικότητα και μειωμένη ζωτικότητα των φυτών.

3.5.3 Άρδευση

Το φασόλι έχει ριζικό σύστημα μέσου βάθους. Το επαρκές επίπεδο υγρασίας σε ολόκληρη τη διάρκεια του βιολογικού κύκλου του φυτού είναι απαραίτητη προϋπόθεση για υψηλή απόδοση και ποιότητα, καθώς και ομοιόμορφη ανάπτυξη του φυτού. Κατά τη διάρκεια των υψηλών ρυθμών ανάπτυξης σε υψηλές θερμοκρασίες, τα φυτά μπορεί να χρειάζονται μέχρι 5 mm νερού ημερησίως. Σε ελαφρά εδάφη, μπορεί να χρειάζεται άρδευση κάθε 3-4 ημέρες.

Έλλειψη υγρασίας κατά την άνθιση και καρπόδεση προκαλεί ανθόρροια και καρπόρροια. Επίσης, η έλλειψη υγρασίας, σε συνδυασμό με υψηλή διαπνοή λόγω υψηλής θερμοκρασίας, μπορεί να προκαλέσει παραμόρφωση των λοβών. Ανάλογα με την εποχή καλλιέργειας (άνοιξη, φθινόπωρο) η απαιτούμενη υγρασία για συμπλήρωση του βιολογικού κύκλου του φασολιού μπορεί να κυμαίνεται από 300-450 mm.

Κεφάλαιο 4^ο

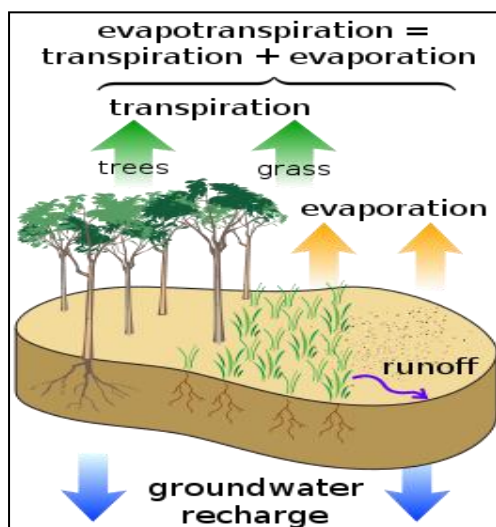
Υδατικές ανάγκες καλλιεργειών

4.1 Εισαγωγή

Οι υδατικές απαιτήσεις των καλλιεργειών ή της καλλιέργειας σε νερό εξαρτώνται σημαντικά από το είδος της καλλιέργειας, ο δε ρυθμός των απαιτήσεων τους ποσοτικά και χρονικά, καθορίζει το μέγεθος της βλάστησης, που αναγκαστικά δεν ανταποκρίνεται στη βελτιστοποίηση της παραγωγής. Οι υδατικές ανάγκες των φυτών εκφράζονται καλύτερα με αυτό που λέγεται ισοζύγιο νερού στο ριζικό σύστημα του φυτού, που στην ουσία απεικονίζει την ισορροπία μεταξύ εισροών και εκροών νερού.

Εισροές νερού είναι :

Η *βροχόπτωση*, της οποίας η ένταση και η διάρκεια έχει σχέση με την ποσότητα νερού που θα εισέλθει μέσω της επιφάνειας του εδάφους στο ριζόστρωμα.



Σχήμα 4.1: Σχηματική αναπαράσταση εξατμισοδιαπνοής
(Πηγή: en.wikipedia.org)

Η *άρδευση*, που σχετίζεται με το ρυθμό εφαρμογής του νερού στην επιφάνεια του εδάφους, την υγρασιακή του κατάσταση, την ταχύτητα διήθησης και την αρδευτική δόση.

Η *τριχοειδής ανύψωση* του νερού από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα και μόνο στις περιπτώσεις που αυτός είναι σχετικά κοντά στο ριζόστρωμα.

Εκροές νερού είναι:

Η *επιφανειακή απορροή* που πιθανώς να προκύψει από μια έντονη βροχόπτωση υψηλής έντασης και μεγάλης διάρκειας, όπως επίσης και από μία υπεράρδευση. Το πρόβλημα επιτείνεται στην περίπτωση που το έδαφος έχει κάποια κλίση.

Η *βαθιά διήθηση*, μία μορφή εκροής ή απώλειας που συμβαίνει συνήθως, μετά από βροχή ή από άρδευση, με έντονους ρυθμούς τις 2-3 πρώτες ημέρες και αρκετές ημέρες μετά με χαμηλούς ρυθμούς.

Η *εξατμισοδιαπνοή (ET)*, είναι το σύνθετο φαινόμενο της απώλειας νερού από το φυτό με την διαπνοή (από τους ιστούς του φυτού), μέσω των στοματίων του φυλλώματος με τη μορφή υδρατμών και ανταλλαγής αερίων, της εξάτμισης υγρασίας από την επιφάνεια του φυλλώματος και της εξάτμισης νερού από την γυμνή επιφάνεια του εδάφους.

Η εξατμισοδιαπνοή είναι ένας δείκτης του πόσο νερό χρειάζονται οι καλλιέργειες για την άριστη ανάπτυξη και παραγωγικότητα. Άρα, η εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής, αντιστοιχεί με την εκτίμηση των υδατικών αναγκών των φυτών, για την απόληψη θρεπτικών ουσιών από το έδαφος, την φωτοσύνθεση, τη δέσμευση ηλιακής ενέργειας και άνθρακα ως CO₂ από την ατμόσφαιρα και την διαπνοή υδρατμών. Η ένταση της ροής του νερού από το φύλλωμα (διαπνοή) ή από το έδαφος (εξάτμιση) προς την ατμόσφαιρα, εξαρτάται από την ηλιακή ακτινοβολία, την κινητικότητα των υδρατμών, την υγρασία, τη θερμοκρασία και την ταχύτητα του ανέμου πλησίον της κόμης του φυτού.

Η επιφανειακή απορροή θα μπορούσε να μας απασχολήσει μόνο στην περίπτωση χωραφιών με σχετική κλίση και εκεί θα ήταν δύσκολο να μετρηθεί, παρά μόνο με ειδικές κατασκευές και αυτό για σκοπούς έρευνας (μέτρηση επιφανειακής απορροής και διάβρωσης του εδάφους). Οι παράμετροι *βαθιά διήθηση* και *τριχοειδής ανύψωση* είναι διαδικασίες πολύπλοκες και ως εκ τούτου δύσκολη η εκτίμησή τους. Εξ' άλλου όταν η υπόγεια στάθμη είναι σε μεγάλο βάθος η τριχοειδής ανύψωση, είναι πρακτικά ανύπαρκτη.

Από την βροχή που πέφτει στο έδαφος, μόνο ένα μέρος αυτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί από την καλλιέργεια για την κάλυψη των αναγκών σε νερό. Το μέρος αυτό της βροχής, που προκύπτει αν αφαιρεθεί η επιφανειακή απορροή και η βαθιά διήθηση, αποκαλείται *χρήσιμη ή ωφέλιμη βροχή*.

Ο υπολογισμός των αναγκών μιας καλλιέργειας σε νερό και κατ' επέκταση σε αρδευτικό νερό, είναι απαραίτητος τόσο για την οικονομική αποτίμηση του νερού άρδευσης όσο και για την αποφυγή της σπατάλης νερού κατά την άρδευση των καλλιεργειών. Βέβαια η εκτίμηση των υδατικών αναγκών των καλλιεργειών είναι μια διαδικασία που δε μπορεί να πραγματοποιηθεί από τους αγρότες, καθώς απαιτεί εξειδικευμένες επιστημονικές γνώσεις.

Ο υπολογισμός των αναγκών μιας καλλιέργειας σε νερό γίνεται με τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής της. Με φυσικό τρόπο οι ανάγκες αυτές, μπορούν να καλυφθούν από

τη βροχόπτωση, το υπόγειο νερό με τριχοειδή ανύψωση και το νερό που είναι αποθηκευμένο στο έδαφος, στη ζώνη του ριζοστρώματος. Στην περίπτωση που οι τρεις παραπάνω πηγές είναι ανεπαρκείς, είναι αναγκαίο για την κανονική ανάπτυξη και απόδοση της καλλιέργειας να δοθεί πρόσθετο νερό με άρδευση. Οι καθαρές ανάγκες, σε αρδευτικό νερό (IR_n) μιας καλλιέργειας, δίνονται από τη σχέση:

$$IR_n = ET_c - (P_e + GW + SM) \quad (4.1)$$

όπου :

IR_n οι καθαρές ανάγκες σε αρδευτικό νερό (mm/day),

ET_c η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας,

P_e το μέρος εκείνο της βροχής που μπορεί να αξιοποιηθεί από τις καλλιέργειες και λέγεται ωφέλιμη βροχή,

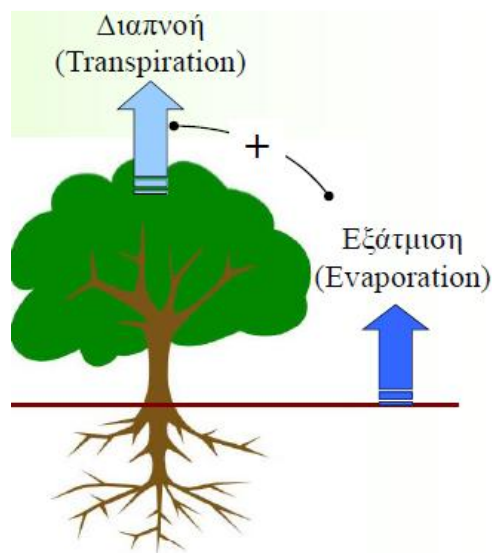
GW η συμβολή του υπόγειου νερού και

SM το νερό που είναι αποθηκευμένο στη ζώνη του ριζοστρώματος στην αρχή της βλαστητικής περιόδου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τις καλλιέργειες.

Η συμβολή του υπόγειου νερού εξαρτάται από το βάθος που βρίσκεται η υπόγεια στάθμη και από τα χαρακτηριστικά του υπερκείμενου εδάφους. Στα συνεκτικά εδάφη το νερό μπορεί να φτάσει πολύ υψηλά πάνω από την υπόγεια στάθμη με βραδύ όμως ρυθμό ενώ, στα ελαφρά εδάφη, το ύψος ανόδου του νερού είναι μεν μικρό αλλά ο ρυθμός είναι ταχύς. Γενικά, χρειάζονται πολύ λεπτομερείς μετρήσεις για να υπολογιστεί η ποσοτική συμβολή του υπογείου νερού σε κάθε περιοχή που πρόκειται να αρδευτεί. Στην παρούσα εργασία ο όρος GW θεωρήθηκε ίσος με μηδέν, διότι η υπόγεια στάθμη στο Θεσσαλικό κάμπο είναι πολύ χαμηλή, λόγω της υπεράντλησης. Επίσης, έγινε η παραδοχή ότι η εδαφική υγρασία κατά την σπορά και τη συγκομιδή ήταν στο ίδιο επίπεδο, οπότε ο όρος SM θεωρήθηκε ίσος με μηδέν. Πέραν όμως των καθαρών αναγκών σε νερό που πρέπει να καλυφθούν με άρδευση χρειάζονται και οι πρόσθετες ποσότητες νερού για την έκπλυση των αλάτων που συγκεντρώνονται στο ριζόστρωμα σαν συνέπεια της άρδευσης. Στην προκειμένη περίπτωση θεωρείται ότι η έκπλυση των αλάτων όπου χρειάζεται, γίνεται μετά την συγκομιδή.

4.2 Εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας

Ο όρος *εξατμισοδιαπνοή* (evapotranspiration) ορίζεται σαν την ποσότητα που καταναλίσκεται στη διαπνοή των φυτών και στην εξάτμιση των υγρών μερών του φυτού και του εδάφους κατά τη διάρκεια μιας ορισμένης περιόδου. Η διαπνοή, που γενικά είναι αποτέλεσμα βιολογικών διεργασιών και η εξάτμιση, που είναι ένα φυσικό φαινόμενο, αναφέρονται μαζί για ευκολία, μιας και είναι δύσκολο να διαχωριστούν ποσοτικά. Έρευνες των τελευταίων ετών οδήγησαν στο διαχωρισμό της εξάτμισης του εδάφους από τη διαπνοή (Ritchie, 1974). Η πραγματική διαπνοή συσχετίστηκε με επιτυχία με παραμέτρους όπως το μέγεθος των φύλλων του φυτού (leaf area index), την εδαφική υγρασία και την δυναμική διαπνοή.



Εντούτοις, τέτοια διάκριση δεν γίνεται για **Σχήμα 4.2: Εξάτμιση - Διαπνοή** πρακτικούς σκοπούς και η εξατμισοδιαπνοή θεωρείται ενιαία μεταβλητή και ίση με την υδατοκατανάλωση.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή μιας καλλιέργειας είναι οι εξής (Παπαζαφειρίου, 1999):

- Η ηλιακή ακτινοβολία που σχετίζεται με τη θερμοκρασία
- Η σχετική υγρασία
- Η ταχύτητα του ανέμου
- Το φυτικό είδος
- Το βάθος και η πυκνότητα του ριζικού συστήματος
- Το ποσοστό κάλυψης του εδάφους από την καλλιέργεια
- Το ύψος της καλλιέργειας και η τραχύτητα του φυλλώματος
- Το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας
- Το έδαφος από την άποψη της υφής, δομής και φαινόμενου ειδικού βάρους, μακρο και μικροπορώδους και χημικές ιδιότητες.

Η εξατμισοδιαπνοή μιας καλλιέργειας μπορεί να μετρηθεί τόσο άμεσα στο χωράφι με παρατηρήσεις της εδαφικής υγρασίας και με τη μέθοδο λυσιμέτρου, όσο και έμμεσα. Οι περισσότερες από τις σύγχρονες μεθόδους έμμεσου υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής περιλαμβάνουν δύο μέρη:

Στο πρώτο γίνεται εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής μιας καλά αρδευόμενης καλλιέργειας, με σταθερά χαρακτηριστικά φυτοκόμης, που αναφέρεται ως καλλιέργεια αναφοράς. Ως καλλιέργειες αναφοράς έχουν χρησιμοποιηθεί ο χορτοτάπητας και η μηδική. Η εξατμισοδιαπνοή που υπολογίζεται για τις καλλιέργειες αυτές είναι γνωστή ως εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς ή απλώς εξατμισοδιαπνοή αναφοράς, ET_o .

Το δεύτερο μέρος περιλαμβάνει τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας που μας ενδιαφέρει και η οποία αναφέρεται σαν εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας, ET_c . Η ET_c προκύπτει με πολλαπλασιασμό της ET_o , επί ένα φυτικό συντελεστή, K_c , που είναι χαρακτηριστικός της κάθε καλλιέργειας.

Οι φυτικοί συντελεστές συνδέουν την ET_c μιας καλλιέργειας με την ET_o μιας συγκεκριμένης καλλιέργειας αναφοράς. Για το λόγο αυτό, όταν πρόκειται να γίνει επιλογή από δημοσιευμένους πίνακες φυτικών συντελεστών, πρέπει να χρησιμοποιείται η σωστή ET_o για να αποκτηθούν αξιόπιστες εκτιμήσεις της ET_c . Φυτικοί συντελεστές που προσδιορίστηκαν με βάση καλλιέργεια αναφοράς χορτοτάπητα δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται με ET_o μηδικής και αντίστροφα.

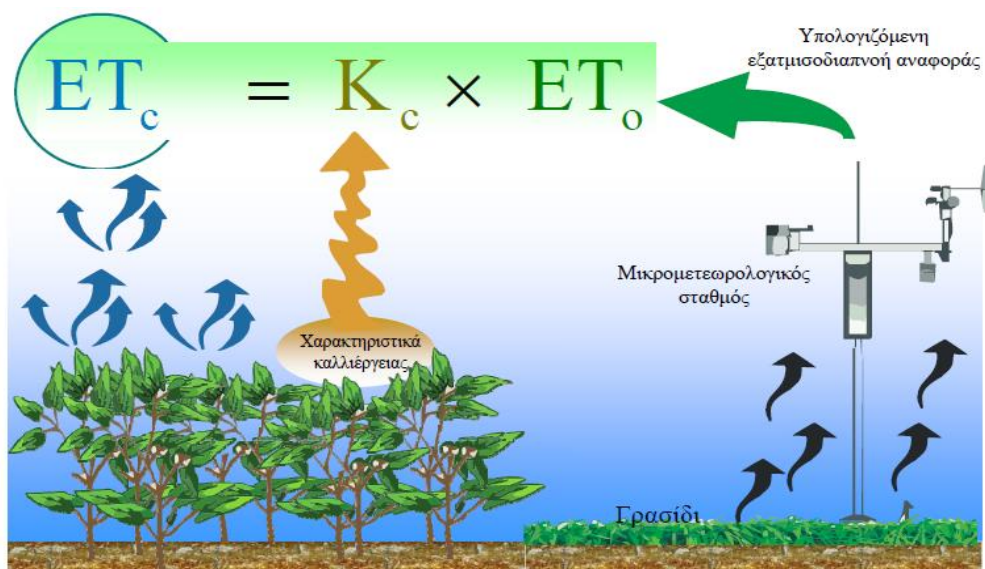
Ο συντελεστής καλλιέργειας συνεπώς αντιπροσωπεύει την ολοκληρωμένη επίδραση τεσσάρων αρχικών χαρακτηριστικών που διαφοροποιούν μια καλλιέργεια από την επιφάνεια αναφοράς. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι:

- Το ύψος της καλλιέργειας, το οποίο επηρεάζει τον αεροδυναμικό όρο αντίστασης, r_a , της εξίσωσης FAO Penman-Monthieth και την στροβιλώδη μεταφορά των υδρατμών στην ατμόσφαιρα.
- Η ανακλαστικότητα α (albedo) (συντελεστής ανάκλασης) της καλλιέργειας και της επιφάνειας του εδάφους. Το albedo επηρεάζεται από το ποσοστό κάλυψης της βλάστησης και από την υγρασία της εδαφικής επιφάνειας και συνεπώς άμεσα από την καθαρή ακτινοβολία της επιφάνειας, R_{net} , η οποία είναι η βασική πηγή της ενεργειακής ανταλλαγής στη διαδικασία της 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 γυμνό έδαφος ειδικά το ποσοστό του ακάλυπτου από την καλλιέργεια.

Η υγρασιακή κατάσταση της επιφάνειας του εδάφους και το ποσοστό κάλυψης του από την καλλιέργεια επηρεάζει την τιμή της επιφανειακής αντίστασης r_s . Ο συνδυασμός της αντίστασης της φυτοκόμης με εκείνη του εδάφους προσδιορίζει την συνολική αντίσταση της επιφάνειας r_s .



Σχήμα 4.3: Σχηματική απεικόνιση του υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας

Οι περισσότερες από τις επιδράσεις των διαφόρων κλιματικών συνθηκών ενσωματώνονται στην εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (ET_0). Επομένως, η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς, αντιπροσωπεύει ένα δείκτη των κλιματικών απαιτήσεων. Οι μόνοι παράγοντες που έχουν επιπτώσεις στην ET_0 , είναι οι κλιματικοί παράμετροι. Η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς είναι ο ρυθμός εξάτμισης από μία υποθετική καλλιέργεια αναφοράς με ύψος 0.12 m, με σταθερή συνολική αντίσταση επιφάνειας 70 sec/m και albedo 0.23, δηλαδή συνθήκες παρόμοιες με τον ρυθμό εξατμισοδιαπνοής που προέρχεται από μια εκτεταμένη πράσινη επιφάνεια γρασιδιού ομοιόμορφου ύψους 8-12 cm, δυναμικά αυξανόμενη, επαρκώς αρδευόμενη και με πλήρη κάλυψη του εδάφους (Doorenbos and Pruitt 1977, Penman 1948). Προφανώς, λόγω κυρίως των διαφορετικών αεροδυναμικών και

ανακλαστικών χαρακτηριστικών των καλλιεργειών, η εξατμισοδιαπνοή κάθε καλλιεργείας δεν είναι ίση με αυτή της καλλιεργείας αναφοράς.

4.3 Μέθοδοι υπολογισμού εξατμισοδιαπνοής αναφοράς

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι υπολογισμού της ET_o . Από τις μεθόδους που έχουν αναπτυχθεί για τον υπολογισμό της ET_o , κάποιες χρησιμοποιούν σαν κύρια παράμετρο τη θερμοκρασία του αέρα, άλλες την ηλιακή ακτινοβολία και την εξάτμιση του νερού από ελεύθερη επιφάνεια.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής υποθέτουν συνήθως ότι υπάρχει πάντα επαρκές διαθέσιμο νερό στο έδαφος το οποίο καταναλίσκεται με την εξατμισοδιαπνοή.

Τα τελευταία 60 χρόνια προτάθηκαν δεκάδες μέθοδοι για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς. Παρακάτω περιγράφονται συνοπτικά κάποιες από αυτές.

1. FAO56 Penman – Monteith

Η εξίσωση που προτάθηκε από τους Allen et al. (1998), για να περιγράψει την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς ET_o όπως ορίστηκε παραπάνω, αναφέρεται ως εξίσωση Penman-Monteith κατά FAO και για 24-ωρους υπολογισμούς της ET_o , από ημερήσια ή μέσα μηνιαία δεδομένα, έχει τη μορφή:

$$ET_o = \frac{0.408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot U_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0.34 \cdot U_2)} \quad (4.2)$$

όπου,

ET_o η βασική εξατμισοδιαπνοή [$\text{mm} \cdot \text{day}^{-1}$],

R_n η καθαρή ακτινοβολία στην επιφάνεια της καλλιεργείας [$\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$],

G η ροή της θερμικής ενέργειας στο έδαφος [$\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$],

T μέση ημερήσια θερμοκρασία αέρα σε ύψος 2 m [$^{\circ}\text{C}$],

u_2 η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 2 m [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],

- e_s η πίεση κορεσμού υδρατμών [kPa],
- e_a η πραγματική πίεση κορεσμού υδρατμών [kPa],
- $e_s - e_a$ το έλλειμμα πίεσης κορεσμού υδρατμών [kPa],
- Δ η κλίση της γραμμής πίεσης κορεσμού υδρατμών [kPa·°C⁻¹],
- γ η ψυχομετρική σταθερά [kPa·°C⁻¹].

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω, απαραίτητες κλιματικές παράμετροι για τον υπολογισμό της ET_o είναι η θερμοκρασία (T), η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 2m ($2U$), η μέση σχετική υγρασία (RH_{mean}) και η καθαρή ακτινοβολία (R_n).

2. Μέθοδος ET_o Penman 1963 (Original Penman 1963)

Ημερήσιο βήμα εκτίμησης

$$ET_o = \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) + 6.43 \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} w_f (e_s - e_a) \right] \frac{1}{\lambda} \quad (4.3)$$

Στην συνάρτηση του ανέμου (wind function) γίνεται χρήση των ακόλουθων συντελεστών όπως πρότεινε αρχικά ο Penman, (1963)

$$w_f = 1 + 0.537 \cdot u_2 \quad (4.4)$$

Όλες οι μονάδες και οι όροι ισχύουν όπως στην περίπτωση 1. (FAO56-Penman-Monteith).

3. Μέθοδος Priestley- Taylor (1972)

Το προτεινόμενο μοντέλο των Priestley και Taylor, 1972 είναι μια εμπειρική προσέγγιση της πιο θεωρητικής εξίσωσης του Penman, όπου απουσιάζει ο αεροδυναμικός όρος και γίνεται χρήση μόνο του ενεργειακού όρου, πολλαπλασιαζόμενου με έναν συντελεστή $\alpha = 1.26$.

$$ET = \alpha \cdot \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot (R_n - G) \quad (4.5)$$

Όλες οι μονάδες και οι όροι ισχύουν όπως στην περίπτωση 1. (FAO56-Penman Monteith)

Συνεπώς, η μέθοδος θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε περιοχές όπου γενικά επικρατούν υψηλές συνθήκες ατμοσφαιρικής υγρασίας. Η χρήση της παράλληλα με την εξίσωση Penman, σε υγρές περιοχές (low moisture stress), έδωσαν εκτιμήσεις με απόκλιση περίπου

5% η μια από την άλλη, όπως διαπιστώθηκε από τους Shuttleworth και Calder, 1979. Η επάρκεια των υποθέσεων που γίνεται στην εξίσωση Priestley-Taylor έχει έγκυρη βάση από ανασκόπηση 30 εργασιών που αναφέρονται στο υδατικό ισοζύγιο περιοχών όπου το έλλειμμα κορεσμού παραμένει πολύ μικρό, οπότε διαπιστώθηκε ότι περίπου το 95% της ετήσιας εξατμιστικής απαίτησης προέρχεται από την ακτινοβολία (Stagnitti et al., 1989).

Αν και η τιμή του α μπορεί να ποικίλει κατά τη διάρκεια της ημέρας (Munro, 1979), υπάρχει γενική συμφωνία ότι μια ημερήσια μέση τιμή $\alpha = 1.26$ ισχύει στα υγρά κλίματα (De Bruin και Keijman, 1979, Stewart and Rouse, 1976, Shuttleworth and Calder, 1979). Ο Morton, 1983 επισημαίνει ότι η τιμή 1.26, που υπολογίστηκε από τους Priestley και Taylor, αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας στοιχεία από υγρές καλλιεργούμενες επιφάνειες και από υδάτινες επιφάνειες. Ο Morton συνιστά ότι η τιμή αυξάνεται ελαφρά ($\alpha = 1.32$) για καλλιεργούμενες εκτάσεις, ως αποτέλεσμα της αύξησης στην τραχύτητα της επιφάνειας (Morton, 1983, Brutsaert and Stricker, 1979). Υψηλότερες τιμές του α , μέχρι και 1.74, έχουν προταθεί (ASCE, 1990) για χρήση στις ημίξηρες ή ξηρές περιοχές. Ο συντελεστής α μπορεί επίσης να μεταβάλλεται εποχιακά (De Bruin and Keijman, 1979), ανάλογα με το κλίμα που διαμορφώνεται.

4. Μέθοδος Hargreaves-Samani (1985)

Η μέθοδος αυτή όπως προτείνεται τελευταία και από την “ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Task Committee. Appendix A”, μπορεί να δοθεί από την ακόλουθη σχέση, συναρτήσει της διαφοράς μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας, της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας και της ακτινοβολίας στο εξωτερικό της ατμόσφαιρας R_a : Η μέθοδος χρησιμοποιείται σε περιοχές που δεν διατίθενται μετρήσεις ακτινοβολίας. Η μέθοδος αυτή θεωρείται αρκετά αξιόπιστη (Hargreaves and Allen, 2003).

$$ET_o = 0.0023 \cdot (T_{max} - T_{min})^{0.5} \cdot (T_{min} + 17.8) \cdot R_a \quad (4.6)$$

όπου,

ET_o εξατμισοδιαπνοή αναφοράς [mm/day],

T_{max} μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία [$^{\circ}C$],

T_{min} ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία [$^{\circ}C$],

T μέση ημερήσια θερμοκρασία [$^{\circ}C$],

R_a προσπίπτουσα ακτινοβολία στο όριο της ατμόσφαιρας [mm/day].

5. Μέθοδος Blaney-Criddle (1950)

Η μέθοδος αυτή στην αρχική της μορφή αναφέρονταν στον υπολογισμό της εποχιακής εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών, με τη βασική παραδοχή ότι αυτή διαμορφώνεται άμεσα από το άθροισμα των γινομένων των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών και των μέσων μηνιαίων ποσοστών των ωρών ημέρας του έτους, για μια δυναμικά αναπτυσσόμενη καλλιέργεια υπό συνθήκες επαρκούς εδαφικής υγρασίας. Η μέθοδος αυτή τροποποιήθηκε (Doorenbos & Pruitt, 1977) για να έχει ευρύτερη και πιο αξιόπιστη εφαρμογή και περιέλαβε και άλλες μετεωρολογικές παραμέτρους εκτός από τη θερμοκρασία. Παρόλα αυτά η αξιοπιστία της δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλη (Jensen et al., 1990). Στην Ελλάδα η τροποποιημένη μέθοδος Blaney-Criddle έχει θεσμοθετηθεί ως μια από τις εγκεκριμένες μεθόδους εκτίμησης των υδατικών αναγκών των καλλιεργειών με κατάλληλη τροποποίηση των φυτικών συντελεστών (Πανώρας κ.α., 2001). Ως μέθοδος θερμοκρασίας παραμένει εμπειρική και απαιτεί τοπική βαθμονόμηση προκειμένου να δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα.

6. Μέθοδος Turc (1961)

Ο Turc παρουσίασε έναν εμπειρικό τύπο για την εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς στηριζόμενος στην επίδραση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης. Η μέθοδος παρουσιάζει καλά αποτελέσματα στα υγρά κλίματα, αλλά η απόδοση στα ξηρά είναι ακανόνιστη.

7. Μέθοδος Thornthwaite (1948)

Η εμπειρική μέθοδος του Thornthwaite έχει χρησιμοποιηθεί στην πράξη περισσότερο από κάθε άλλη, διεθνώς και στην Ελλάδα, λόγω των ελαχίστων απαιτήσεών της σε δεδομένα εισόδου (μόνο μέση θερμοκρασία) και της παλαιότητάς της. Παρόλα αυτά τα αποτελέσματα που δίνει δεν είναι ικανοποιητικά.

Από τις χρησιμοποιούμενες σήμερα μεθόδους υπολογισμού της βασικής εξατμισοδιαπνοής, οι σύνθετες που χρησιμοποιούν πλήθος μετεωρολογικών παραμέτρων θεωρούνται οι πλέον ακριβείς (Penman, 1956, Doorenbos and Pruitt, 1977, Jensen et al., 1990, Allen et al., 1998). Από αυτές, η τροποποιημένη μέθοδος των Penman-Monteith κατά

FAO56 (Allen et al., 1998) έχει αξιολογηθεί ως η πλέον αξιόπιστη για πλήθος περιοχών του κόσμου. Επιπρόσθετα, οι υπολογισμένες τιμές της μεθόδου έχουν θεωρηθεί ιδιαίτερα ακριβείς για περιοχές του Ελλαδικού χώρου (Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη κ.α., 1996, Γεωργίου κ.α., 2000, Αλεξίου κ.α., 2000).

4.4 Υπολογισμός εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας

Ο υπολογισμός της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής (ET_c) των καλλιεργειών είναι προϋπόθεση για τον ορθολογικό προγραμματισμό των αρδεύσεων και τη βελτιστοποίηση της γεωργικής παραγωγής (Παπαζαφειρίου, 1999, Πανώρας κ.α., 2001).

Για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής της κάθε καλλιέργειας, στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν τα μετεωρολογικά στοιχεία 25 ετών (1977 - 2002) από μετεωρολογικό σταθμό του Νομού Λάρισας.

Πίνακας 4.1 Στοιχεία μετεωρολογικού σταθμού

Όνομα Σταθμού	Λάρισα
Κωδικός Σταθμού	16648
Γεωγ. Μήκος Σταθμού	22.25
Γεωγ. Πλάτος Σταθμού	39.380
Υψόμετρο Σταθμού (m)	73

Από τα μετεωρολογικά αυτά στοιχεία υπολογίστηκε η μέση τιμή της ημερήσιας βασικής εξατμισοδιαπνοής ET_o ανά δεκαπενθήμερο αρδευτικής περιόδου. Στην παρούσα εργασία οι τιμές του K_c υπολογίστηκαν σύμφωνα με FAO 56 Crop.

Πίνακας 4.2: Φυτικοί συντελεστές κατά στάδιο ανάπτυξης, K_c , για καλά προσεγμένες καλλιέργειες που αναπτύσσονται σε ημίυγρο κλίμα, για χρήση με την συνδυασμένη μέθοδο Penman-Monthieth κατά FAO, όπως δίνονται από τους Allen et al. (1996)

ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ	K_{c1}	K_{c2}	K_{c3}	1 _ο ΣΑ	2 _ο ΣΑ	3 _ο ΣΑ	4 _ο ΣΑ	ΣΥΝΟΛΟ	ΗΜ/ΝΙΑ ΣΠΙΟΡΑΣ ΉΜΕΤΑΦ/ΣΗΣ
ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ	0.7	1.15	1.05	20	25	25	10	80	31/5
ΕΑΡ. ΣΙΤΑΡΙ	0.3	0.15	0.25	40	30	40	20	130	14/4
ΠΑΤΑΤΑ	0.5	1.15	0.75	25	30	45	30	130	14/11
ΦΑΣΟΛΙΑ	0.5	1.05	0.9	20	30	30	10	90	29/2
ΦΙΣΤΙΚΙΑ	0.4	1.15	0.6	35	45	35	25	140	31/5
ΧΕΙΜ.ΣΙΤΑΡΙ	0.3	0.15	0.25	40	60	60	40	200	14/11

Οι τιμές του φυτικού συντελεστή K_c τις χρονικές περιόδους ανάμεσα στα στάδια ανάπτυξης, υπολογίζονται από τις τιμές του συντελεστή στα τρία στάδια ανάπτυξης. Ανάμεσα στις τιμές υπάρχει γραμμική συσχέτιση οπότε είναι εύκολο να υπολογιστούν με τον εξής τρόπο:

$$K_{c i} = K_{c prev} + \left[\frac{i - \Sigma(L_{prev})}{L_{stage}} \right] (K_{c next} - K_{c prev}) \quad (4.7)$$

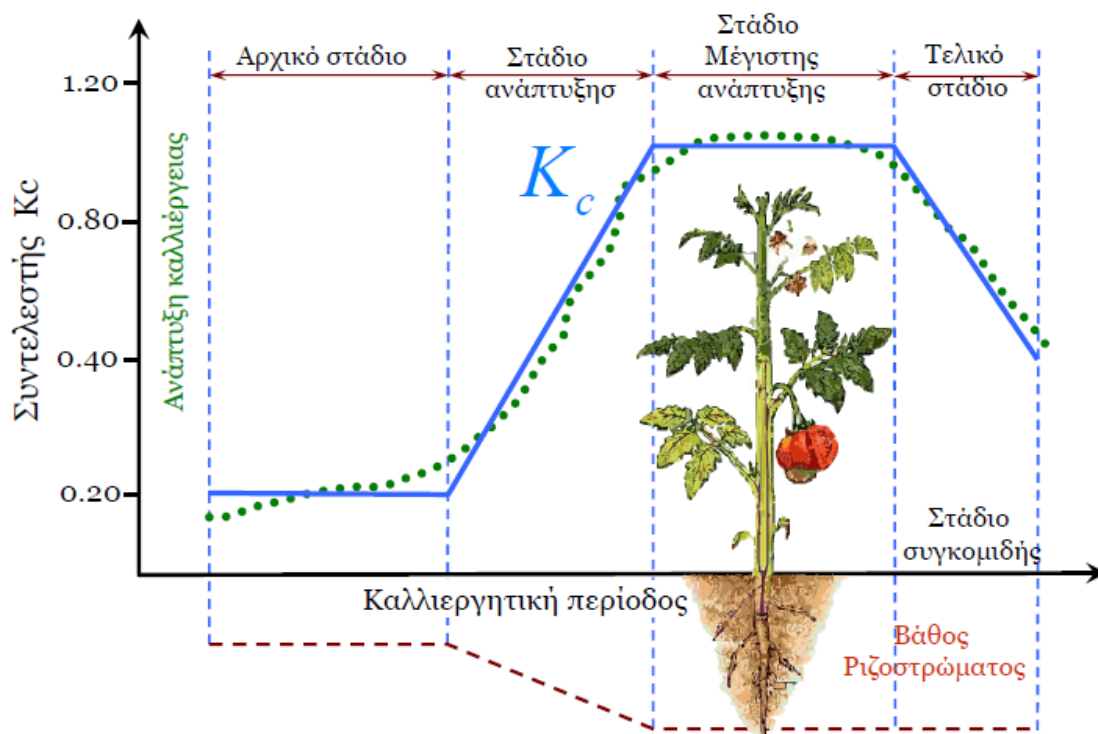
όπου,

i ο αύξοντας αριθμός της ημέρας στο στάδιο ανάπτυξης,

K_{ci} ο φυτικός συντελεστής την ημέρα i ,

L_{stage} η χρονική διάρκεια του σταδίου που εξετάζεται (ημέρες),

$\Sigma(L_{prev})$ το σύνολο της διάρκειας όλων των προηγούμενων σταδίων (ημέρες).



Εικόνα 4.4: Υπολογισμός συντελεστή K_c

4.5 Ωφέλιμη Βροχή

Από τη βροχή που πέφτει σε ένα αγροτεμάχιο, ένα μέρος της χάνεται ως επιφανειακή απορροή και κατεΐσδυση. Εκείνο που απομένει αποτελεί την ωφέλιμη (ενεργό) βροχόπτωση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τις καλλιέργειες για την κάλυψη των αναγκών τους.

Ένας ορισμός για την ωφέλιμη βροχή είναι ότι αποτελεί ένα μέρος της ολικής βροχής το οποίο αποθηκεύεται στο έδαφος στη ζώνη του ριζοστρώματος και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη των αναγκών της καλλιέργειας σε νερό. Το ύψος της ωφέλιμης βροχής που αποθηκεύεται στο έδαφος κατά την διάρκεια μιας χρονικής περιόδου εξαρτάται από τη συχνότητα, την ποσότητα, τη διάρκεια και την ένταση της βροχής, την κατάσταση της επιφάνειας του εδάφους και της αποθηκευτικής ικανότητας του εδάφους σε νερό κατά το χρόνο πτώσης της βροχής.

Το ποσοστό που αντιπροσωπεύει η ωφέλιμη βροχόπτωση δεν είναι σταθερό αλλά εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της βροχής, του εδάφους και της καλλιέργειας. Γενικά, η ωφέλιμη βροχόπτωση αντιπροσωπεύει σχετικά μικρό ποσοστό μιας βροχής που έχει

σημαντικό ύψος και μεγάλη ένταση ενώ, αντίθετα το ποσοστό αυτό μπορεί να φτάσει το 100% αν οι βροχές είναι συχνές με μικρό ύψος και η καλλιέργεια καλύπτει όλη την επιφάνεια του αγροτεμαχίου.

Η αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους εξαρτάται από το βάθος και τα χαρακτηριστικά του εδάφους στη ζώνη των ριζών, το χρόνο που πέρασε από την προηγούμενη βροχή ή άρδευση, το επίπεδο υποβιβασμού της εδαφικής υγρασίας που επιτρέπεται πριν εφαρμοστεί άρδευση και το ρυθμό του υποβιβασμού της υγρασίας που προκαλείται από την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας. Γενικά, η ωφέλιμη βροχή αυξάνει σαν ποσοστό της ολικής βροχής όταν η εξατμισοδιαπνοή είναι αυξημένη και όταν η αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους είναι μεγάλη.

Η USDA Soil Conservation Service (1970) έδωσε μια σχέση με την οποία υπολογίζεται η μέση μηνιαία ωφέλιμη βροχή, P_e , σαν συνάρτηση της μέσης μηνιαίας ολικής βροχόπτωσης, P_t , της μέσης μηνιαίας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, ET_c , και του επιτρεπόμενου υποβιβασμού της εδαφικής υγρασίας μέχρι την επόμενη άρδευση, D . Η σχέση της SCS έχει τη μορφή:

$$P_e = f(D) [1.25 \cdot P_t^{0.824} - 2.93] \cdot 10^{0.000955ET_c} \quad (4.8)$$

όπου,

P_e , P_t και ET_c είναι σε mm ανά μήνα

Το $f(D)$ είναι ένας παράγοντας προσαρμογής που ισούται με τη μονάδα όταν $D=75$ mm. Για οποιοδήποτε άλλο D , το $f(D)$ υπολογίζεται με τη σχέση:

$$f(D) = 0.53 + 0.0116D - 8.94 \cdot 10^{-5}D^2 + 2.32 \cdot 10^{-7} D^3 \quad (4.9)$$

όπου,

D είναι σε mm.

Στην παρούσα εργασία για τον υπολογισμό της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία 46 ετών (1955-2001) από τον βροχομετρικό σταθμό της Λάρισας. Πιο συγκεκριμένα υπολογίστηκε η μέση βροχόπτωση για κάθε δεκαπενθήμερο της περιόδου ανάπτυξης σε κάθε καλλιέργεια ξεχωριστά. Έπειτα με την μέθοδο της USDA (Soil

Conservation Service) (USDA, 1970), υπολογίστηκε η μέση ωφέλιμη βροχόπτωση κάθε δεκαπενθήμερο.

Συνοψίζοντας, στην παρούσα εργασία για τον υπολογισμό των υδατικών απαιτήσεων των καλλιεργειών, βρέθηκε η πραγματική εξατμισοδιαπνοή κάθε καλλιέργειας ET_c για ολόκληρη την αρδευτική περίοδο, με τη χρήση των μέσων φυτικών συντελεστών κατά στάδιο ανάπτυξης, K_c , όπως δίνονται από τους Allen et al (1996). Οι συνολικές καθαρές ανάγκες προήλθαν από τη σχέση (4.1) θεωρώντας τα μεγέθη GW και SM μηδενικά για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω. Τέλος, υπολογίστηκαν ενδεικτικά οι συνολικές ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό για ολόκληρη την αρδευτική περίοδο, με βάση στοιχεία της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής του έτους 2006 του Νομού Λάρισας για τις υπάρχουσες εκτάσεις σε καλλιέργειες.

Κεφάλαιο 5^ο

Υπολογισμός του συντελεστή ευαισθησίας λ

5.1 Εισαγωγή

Η έλλειψη νερού στους ιστούς του φυτού, όπως αναφέρθηκε και σε παραπάνω κεφάλαιο, προκαλεί ευαισθησία (water stress), που συνοδεύεται από φυσιολογικές αντιδράσεις, που τελικά προκαλούν μειωμένη παραγωγή ξηρής φυτικής ουσίας. Η μέγιστη παραγωγή βιομάζας δεν μπορεί να επιτευχθεί από τη στιγμή που εμφανίζονται περίοδοι έλλειψης νερού, κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται σχέσεις απόδοσης των καλλιεργειών, σε σχέση με τη διαθεσιμότητα νερού, οι οποίες περιλαμβάνουν την επίδραση της ευαισθησίας στην έλλειψη νερού της καλλιέργειας. Η συνδυασμένη επίδραση της ευαισθησίας στην έλλειψη νερού των διαφόρων περιόδων ανάπτυξης, μπορεί να λειτουργήσει είτε προσθετικά, είτε πολλαπλασιαστικά. Οι πιο διαδεδομένες και ευρέως χρησιμοποιούμενες σχέσεις είναι του Jensen (1968) και των Doorenbos and Kassam (1979).

Σύμφωνα με τον Jensen (1968), η σχετική απόδοση για τις μη χορτοδοτικές καλλιέργειες, προσδιορίζεται από το γενικό πολλαπλασιαστικό μοντέλο της σχέσης (2.1) που αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2. Στο μοντέλο αυτό, που είναι το κλασικό πολλαπλασιαστικό μοντέλο, η μειωμένη χορήγηση νερού, κατά τη διάρκεια ενός απλού σταδίου ανάπτυξης, μπορεί να προκαλέσει σοβαρή μείωση στην απόδοση της καλλιέργειας. Το μέγεθος του συντελεστή ευαισθησίας λ για ένα συγκεκριμένο στάδιο ανάπτυξης εξαρτάται από την ευαισθησία της καλλιέργειας, στην έλλειψη νερού, κατά το στάδιο αυτό.

Διερεύνηση των τιμών του λ έγινε από πολλούς ερευνητές για διάφορες καλλιέργειες. Ο Jensen (1968) έδωσε τιμές του λ για τρία στάδια ανάπτυξης του σόργου. Ο Hanks (1974) προσάρμοσε τη σχέση του Jensen για το καλαμπόκι χρησιμοποιώντας πέντε στάδια ανάπτυξης, αντί της εξαμισοδιαποής, τη διαπνοή και σταθερή τιμή λ ίση με 0.4 και για τα πέντε στάδια ανάπτυξης. Οι Nairizi and Rydzewski (1977) πρότειναν εξισώσεις για τον

υπολογισμό του λ στα διάφορα στάδια της βλαστικής περιόδου, για αρκετές καλλιέργειες. Ο Agyan (1992) υπολόγισε τις τιμές του λ για σιτάρι και κριθάρι σε μία ξηρή περιοχή της Περσίας και οι τιμές αυτές ήταν μεγαλύτερες από αυτές που προτάθηκαν από τους Nairizi and Rydzewski (1977). Παρόμοια, υψηλότερες τιμές του λ δόθηκαν από τους Hill et al. (1982) για διάφορες καλλιέργειες. Οι Ghahraman and Sepaskhah (1997) χρησιμοποίησαν τις ίδιες σχέσεις των Nairizi and Rydzewski (1977) για τον υπολογισμό του λ των διαφόρων σταδίων των καλλιεργειών σιταριού και κριθαριού. Στις σχέσεις αυτές, ο συντελεστής λ υπολογίζεται με τη βοήθεια του ποσοστού της διάρκειας του σταδίου ανάπτυξης προς τη συνολική διάρκεια της βλαστικής περιόδου.

Η μέγιστη απόδοση της καλλιέργειας (Y_m), που αναφέρεται και στη σχέση του Jensen (1968), αποτελεί τη συγκομιζόμενη παραγωγή, από μία καλλιέργεια που έχει τα γενετικά εκείνα χαρακτηριστικά, τα οποία συνηγορούν στην υψηλή απόδοση και είναι καλά προσαρμοσμένη στο περιβάλλον, δηλαδή τα θρεπτικά στοιχεία και οι εντομολογικές και μυκητολογικές ασθένειες δεν αποτελούν περιοριστικούς παράγοντες.

Οι Doorenbos and Kassam (1979) χώρισαν τη βλαστική περίοδο, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2, σε πέντε περιόδους ανάπτυξης (εγκατάσταση, βλάστηση, ανθοφορία, σχηματοποίηση καρπών, ωρίμανση). Η απόκριση της καλλιέργειας σε σχέση με τη διαθεσιμότητα νερού, περιγράφεται από το συντελεστή ανταπόκρισης της παραγωγής k_y . Η εκτίμηση των επιπτώσεων στην απόδοση της περιορισμένης διαθεσιμότητας νερού, σύμφωνα με τους Doorenbos and Kassam (1979) προέρχεται από την σχέση (2.2).

5.2 Ορισμοί

Στη σχέση του Jensen (1968) αλλά και στη σχέση των Doorenbos and Kassam (1979), αναφέρονται οι όροι ET_m , ET_a .

- **Μέγιστη Εξατμισοδιαπνοή Καλλιέργειας (ET_m)**

Για τη μελέτη, σχεδίαση και λειτουργία αρδευτικών δικτύων, όπως και για την εφαρμογή των αρδεύσεων, είναι αναγκαία η εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών (ET_c), για κάποια περίοδο του παρελθόντος, ή η πρόβλεψή της για το άμεσο μέλλον. Η ET_c , όταν δεν υπάρχουν περιοριστικοί παράγοντες, ταυτίζεται με τη μέγιστη

εξατμισοδιαπνοή ET_m (maximum evapotranspiration), που χρησιμοποιείται στις σχέσεις νερού απόδοσης. Η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας ET_c , καθορίζει τις ανάγκες σε νερό και υπολογίζεται, όπως διεξοδικά παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, με πολλαπλασιασμό της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς (ET_o) επί το φυτικό συντελεστή K_c κάθε καλλιέργειας.

- **Πραγματική Εξατμισοδιαπνοή (ET_a)**

Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή των καλλιεργειών, ET_a , αντιπροσωπεύει το νερό που χρησιμοποιείται από μια καλλιέργεια, κάτω από τις πραγματικές συνθήκες που επικρατούν στο χωράφι και καλύπτεται από την εδαφική υγρασία.

Το πάνω όριο συγκράτησης υγρασίας από το έδαφος είναι η υδατοϊκανότητα (field capacity, FC), ενώ το κάτω όριο πρόσληψης νερού από τα φυτά αποτελεί το σημείο μόνιμης μάρανσης (permanent wilting point, PWP). Το PWP δεν μπορεί να αποτελέσει το κάτω όριο ευχερούς πρόσληψης νερού από τα φυτά γιατί, ιδίως όταν οι κλιματικές συνθήκες ευνοούν έντονους ρυθμούς εξατμισοδιαπνοής, πριν ακόμη η υγρασία φτάσει στο PWP , η πρόσληψη του νερού αρχίζει να γίνεται δύσκολη και όχι σε ικανοποιητικές ποσότητες, με αποτέλεσμα τη μη κανονική ανάπτυξη και απόδοση της καλλιέργειας. Αυτό το κάτω όριο, μπορεί να χαρακτηριστεί σαν ελάχιστη επιτρεπόμενη υγρασία (least available moisture, LAM) (Παπαζαφειρίου, 1999) και βρίσκεται πάνω από το σημείο μόνιμης μάρανσης. Το που ακριβώς βρίσκεται, εξαρτάται από την καλλιέργεια, τα χαρακτηριστικά του εδάφους και τις κλιματικές συνθήκες.

- **Πραγματική Απόδοση**

Η ανάπτυξη και η απόδοση μιας καλλιέργειας είναι συνάρτηση της διαθεσιμότητας νερού. Όταν το εφαρμοζόμενο νερό ικανοποιεί πλήρως τις απαιτήσεις της καλλιέργειας σε νερό, είναι δηλαδή $ET_a = ET_m$, τότε η αναμενόμενη απόδοσή της θα είναι η μέγιστη, με την προϋπόθεση βέβαια ότι όλοι οι άλλοι παράγοντες που τη διαμορφώνουν βρίσκονται σε άριστο επίπεδο. Αντίθετα στις περιπτώσεις όπου το εφαρμοζόμενο νερό δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις της καλλιέργειας, είναι δηλαδή $ET_a < ET_m$, τότε υπάρχουν μικρότερες ή μεγαλύτερες επιπτώσεις στην ανάπτυξη και τελικά στην απόδοση της καλλιέργειας. Οι επιπτώσεις αυτές εξαρτώνται αφενός από το είδος και την ποικιλία της καλλιέργειας και αφετέρου από την έκταση έλλειψης του νερού και το χρόνο που αυτή λαμβάνει χώρα.

Η μεγιστοποίηση της απόδοσης προϋποθέτει την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων της έλλειψης νερού. Για το λόγο αυτό, ο προγραμματισμός των αρδεύσεων σε συνθήκες

περιορισμένης διαθεσιμότητας νερού, πρέπει να λαμβάνει υπόψη του, τις σχέσεις απόδοσης – εξατμισοδιαπνοής των περιόδων ανάπτυξης των διαφόρων καλλιεργειών και την ευαισθησία της κάθε περιόδου, που εκφράζεται με το συντελεστή ευαισθησίας λ , ή το συντελεστή ανταπόκρισης παραγωγής, k_y , ανάλογα με το ποια σχέση απόδοσης χρησιμοποιείται.

5.3 Μεθοδολογία

Οι συναρτήσεις απόδοσης του Jensen (1968) και των Doorenbos and Kassam (1979) για μία περίοδο ανάπτυξης της βλαστικής περιόδου αντίστοιχα είναι:

$$\frac{Y_a}{Y_m} = \left(\frac{ET_a}{ET_m} \right)^\lambda \quad (5.1)$$

και

$$\left[1 - \frac{Y_a}{Y_m} \right] = k_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m} \right) \quad (5.2)$$

Σύμφωνα με τον Jensen (1968), η σχέση (5.1) αφορά μία περίοδο ανάπτυξης, ενώ για το σύνολο της καλλιεργητικής περιόδου χρησιμοποιείται η σχέση (2.1).

Από τις σχέσεις του Jensen (1968) (5.1), και των Doorenbos and Kassam (1979) (5.2) με αντικατάσταση του Y_a/Y_m στην σχέση (5.2) με $(ET_a/ET_m)^\lambda$, προκύπτει μία νέα σχέση που έχει την μορφή:

$$\left[1 - \left(\frac{ET_a}{ET_m} \right)^\lambda \right] = k_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m} \right) \quad (5.3)$$

όπου:

Y_a , Y_m , ET_a , ET_m , λ , k_y όπως ορίστηκαν προηγούμενα.

Με λογαριθμική της σχέσης (5.3) προκύπτει η σχέση με τη μορφή:

$$\lambda = \frac{\ln\left[1 - k_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m}\right)\right]}{\ln\left[\frac{ET_a}{ET_m}\right]} \quad (5.4)$$

Στη σχέση (5.4), επιλέχθηκε να δοθούν τιμές στο λόγο ET_a/ET_m από 0.5 έως 0.9 με βήμα 0.05, ενώ οι τιμές του συντελεστή k_y προέρχονται από τον FAO Irrigation and Drainage Paper, όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.1.

Πίνακας 5.1: Τιμές του συντελεστή k_y σύμφωνα με FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33.

Καλλιέργεια	k_y			
	1 ^ο Στάδιο	2 ^ο Στάδιο	3 ^ο Στάδιο	4 ^ο Στάδιο
Αραχίδα	0.20	0.80	0.60	0.20
Αραβόσιτος	0.40	1.50	0.50	0.20
Πατάτα	0.60	0.33	0.70	0.20
Ανοιξ. Σιτάρι	0.20	0.65	0.55	0.25
Χειμ. Σιτάρι	0.20	0.60	0.50	0.62
Φασόλια	0.20	1.10	0.75	0.20

Επιλύοντας λοιπόν τη σχέση (5.4), δίνοντας τις παραπάνω τιμές στα δεδομένα, προκύπτει ένας αριθμός ζευγών $k_y - \lambda$ για τις διάφορες τιμές του λόγου (ET_a/ET_m), τα οποία συνδέονται με τις σχέσεις που παρουσιάζονται στον πίνακα 5.2. Ο συντελεστής προσδιορισμού για όλες τις σχέσεις πλησιάζει τη μονάδα, γεγονός που φανερώνει την πολύ καλή συσχέτιση των δύο μεγεθών.

Πίνακας 5.2: Εξισώσεις και συντελεστής προσδιορισμού των καλλιεργειών όπως προέκυψαν έπειτα από υπολογισμούς

Καλλιέργεια	Εξίσωση	Συντελεστής Προσδιορισμού (R ²)
Αραχίδα	$\lambda = 0.9668 k_y^{1.0722}$	0.9926
Αραβόσιτος	$\lambda = 1.0440 k_y^{1.442}$	0.9915
Πατάτα	$\lambda = 0.9585 k_y^{1.0694}$	0.9888
Εαρ. Σιτάρι	$\lambda = 0.9544 k_y^{1.0655}$	0.9876
Χειμ. Σιτάρι	$\lambda = 0.9511 k_y^{1.062}$	0.9880
Φασόλια	$\lambda = 0.9967 k_y^{1.092}$	0.9954

Στον πίνακα (5.2) παραθέτονται οι σχέσεις που προέκυψαν για το δείκτη ευαισθησίας λ για την κάθε καλλιέργεια που μελετήθηκε, ενώ στο παράρτημα υπάρχουν τα διαγράμματα των παραπάνω εξισώσεων. Οι σχέσεις που έχουν προκύψει εμφανίζουν πολύ καλή συσχέτιση, αφού ο πιο χαμηλός συντελεστής προσδιορισμού εμφανίζεται στα χειμερινά σιτηρά και είναι 0.9880.

Έχοντας πλέον τις εξισώσεις και τις τιμές του συντελεστή k_y για κάθε καλλιέργεια, υπολογίζεται η τιμή του λ για κάθε στάδιο ανάπτυξης και προκύπτουν οι τιμές που φαίνονται στον πίνακα.

Πίνακας 5.3: Υπολογισμένες τιμές του συντελεστή λ

Καλλιέργεια	λ			
	1 ^ο Στάδιο	2 ^ο Στάδιο	3 ^ο Στάδιο	4 ^ο Στάδιο
Αραχίδα	0.1721	0.7611	0.5591	0.1721
Αραβόσιτος	0.3659	1.6603	0.4723	0.1656
Πατάτα	0.5475	0.2842	0.6483	0.1642
Εαρ. Σιτηρά	0.1718	0.6031	0.5048	0.2179
Χειμ. Σιτηρά	0.1722	0.5529	0.4556	0.5726
Φασόλια	0.719	1.060	0.7280	0.1719

Για τον καλύτερο προγραμματισμό των αρδεύσεων και την βελτιστοποίηση της παραγωγής, σε συνθήκες έλλειψης νερού, υπολογίστηκαν οι τιμές του δείκτη ευαισθησίας ανά δεκαπέντε ημέρες στην καλλιεργητική περίοδο. Ο Tsakiris (1982) πρότεινε μία διαδικασία, για τον υπολογισμό των συντελεστών ευαισθησίας λ , σε χρονικά διαστήματα μικρότερα από τις περιόδους ανάπτυξης. Η διαδικασία αυτή γίνεται γραφικά και περιγράφεται μαθηματικά, εκτιμώνται οι τιμές του λ σε χρονικά διαστήματα μικρότερα από τις περιόδους ανάπτυξης (Tsakiris, 1982, Kirkorir and Raes, 2002).

Αυτή η διαδικασία ακολουθήθηκε και στην παρούσα εργασία. Αναλυτικότερα, αφού υπολογίστηκαν πρώτα οι τιμές του δείκτη ευαισθησίας λ (για κάθε καλλιέργεια) σε κάθε στάδιο ανάπτυξης της μελετώμενης καλλιέργειας, βρέθηκε η αθροιστικά καμπύλη του δείκτη ευαισθησίας $\Sigma\lambda$. Μέσω της αθροιστικής καμπύλης υπολογίστηκαν οι τιμές που παίρνει ο δείκτης ευαισθησίας λ κάθε δεκαπενθήμερο.

Κεφάλαιο 6^ο

Βελτιστοποίηση στην ικανοποίηση των αναγκών σε ελλειμματικές συνθήκες

6.1 Μεθοδολογία

Σκοπός της εργασίας είναι να βρεθεί η βέλτιστη δυνατή κατανομή των διαθέσιμων ποσοτήτων νερού, στα διάφορα στάδια ανάπτυξης της κάθε καλλιέργειας που μελετήθηκε. Η κατανομή του αρδευτικού νερού πραγματοποιήθηκε με βάση την ευαισθησία που παρουσιάζει η κάθε καλλιέργεια, στα διάφορα στάδια ανάπτυξης της. Η ευαισθησία αυτή παρουσιάζεται μέσω του συντελεστή ευαισθησίας λ , ο οποίος υπολογίστηκε για τα διάφορα στάδια ανάπτυξης της κάθε καλλιέργειας, με τις εξισώσεις που αναφέρονται σε παραπάνω κεφάλαιο.

Οι ανάγκες των καλλιεργειών που υπολογίστηκαν, αποτελούν τις καθαρές τους ανάγκες σε αρδευτικό νερό. Για να καλυφθούν εξ' ολοκλήρου οι ανάγκες αυτές, θα πρέπει η ποσότητα του νερού που θα δοθεί στην καλλιέργεια, δηλαδή η δόση άρδευσης, να είναι μεγαλύτερη από τις καθαρές ανάγκες της, για να καλυφθούν οι όποιες απώλειες τυχόν υπάρξουν. Για το λόγο αυτό πολλαπλασιάζονται οι καθαρές ανάγκες της καλλιέργειας με ένα εμπειρικό συντελεστή x , του οποίου οι τιμές φαίνονται στον Πίνακα 6.1. Με αυτόν τον τρόπο προκύπτει η δόση άρδευσης.

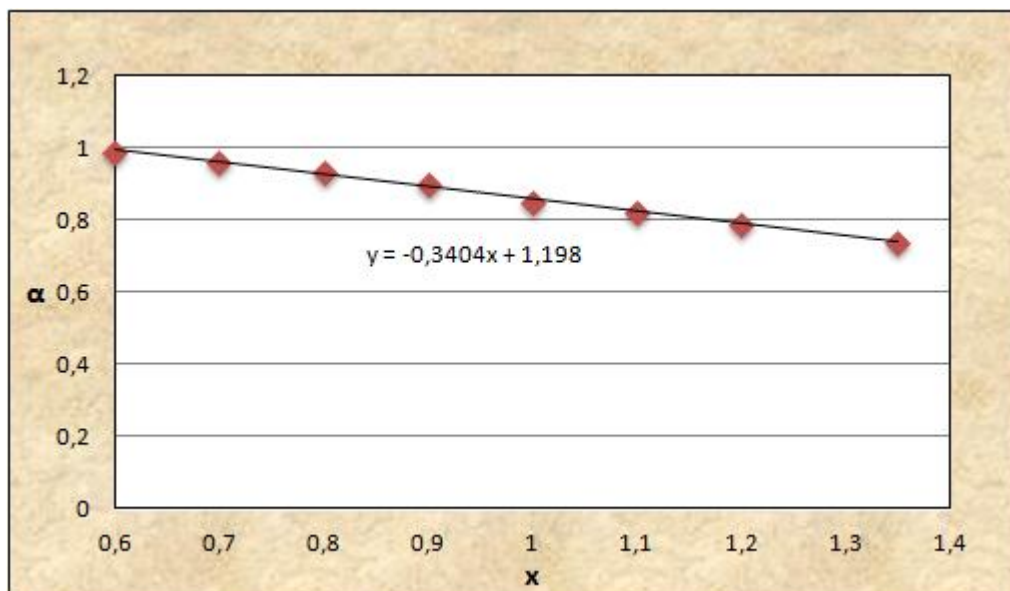
Από την άλλη πλευρά, η αύξηση της ποσότητας του νερού μειώνει την αποδοτικότητα του νερού. Η μείωση αυτή παρουσιάζεται μέσω του εμπειρικού συντελεστή α ($\alpha \leq 1$), ο οποίος αυξάνεται σύμφωνα με την ποσότητα του νερού που αξιοποιείται από την καλλιέργεια. Αντιπροσωπεύει δηλαδή, το ποσοστό του εισερχόμενου νερού άρδευσης, που χρησιμοποιείται επωφελώς από την καλλιέργεια.

Πίνακας 6.1: Τιμές συντελεστών x και a

Συντελεστές	
x	a
1.35	0.74
1.20	0.79
1.10	0.82
1.00	0.85
0.90	0.90
0.80	0.93
0.70	0.96
0.60	0.99

Οι δύο συντελεστές x και a , έχουν επιλεγθεί εμπειρικά και η σχέση τους παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.1.

Οι συνθήκες που επιλέχθηκαν για να γίνει η βελτιστοποίηση είναι τέσσερα διαφορετικά σενάρια διαθεσιμότητας αρδευτικού νερού. Σε κάθε καλλιέργεια η διαθέσιμη ποσότητα νερού είναι διαφορετική, διότι βελτιστοποιείται το 90% της συνολικής δόσης άρδευσης της κάθε καλλιέργειας. Τα υπόλοιπα σενάρια που μελετήθηκαν είναι το 80%, 70% και 60% της συνολικής δόσης άρδευσης της καλλιεργητικής περιόδου. Ποσότητες νερού μικρότερες από 60% της συνολικής ποσότητας δεν μελετήθηκαν, διότι δεν είναι δυνατή η ανάπτυξη της καλλιέργειας με τόσο μεγάλο υδατικό έλλειμμα.



Σχήμα 6.1: Σχέση των συντελεστών α και x

Το χρονικό διάστημα που επιλέχθηκε να γίνεται η βελτιστοποίηση είναι οι δεκαπέντε ημέρες. Οπότε οι δόσεις άρδευσης και ο συντελεστής ευαισθησίας λ υπολογίστηκαν ανά δεκαπενθήμερο. Η βελτιστοποίηση πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον Matlab, με κώδικα που δημιουργήθηκε για να καλύψει τις ανάγκες του προβλήματος. Οι περιορισμοί που υπήρχαν στο πρόβλημα ήταν:

- η συνολική ποσότητα νερού που ήταν διαθέσιμη για την άρδευση,
- η ευαισθησία που παρουσιάζει κάθε καλλιέργεια ανά δεκαπενθήμερο και
- η απόδοση της καλλιέργειας, δηλαδή η παραγωγή που θα προκύψει με την εκάστοτε διαθέσιμη ποσότητα νερού.

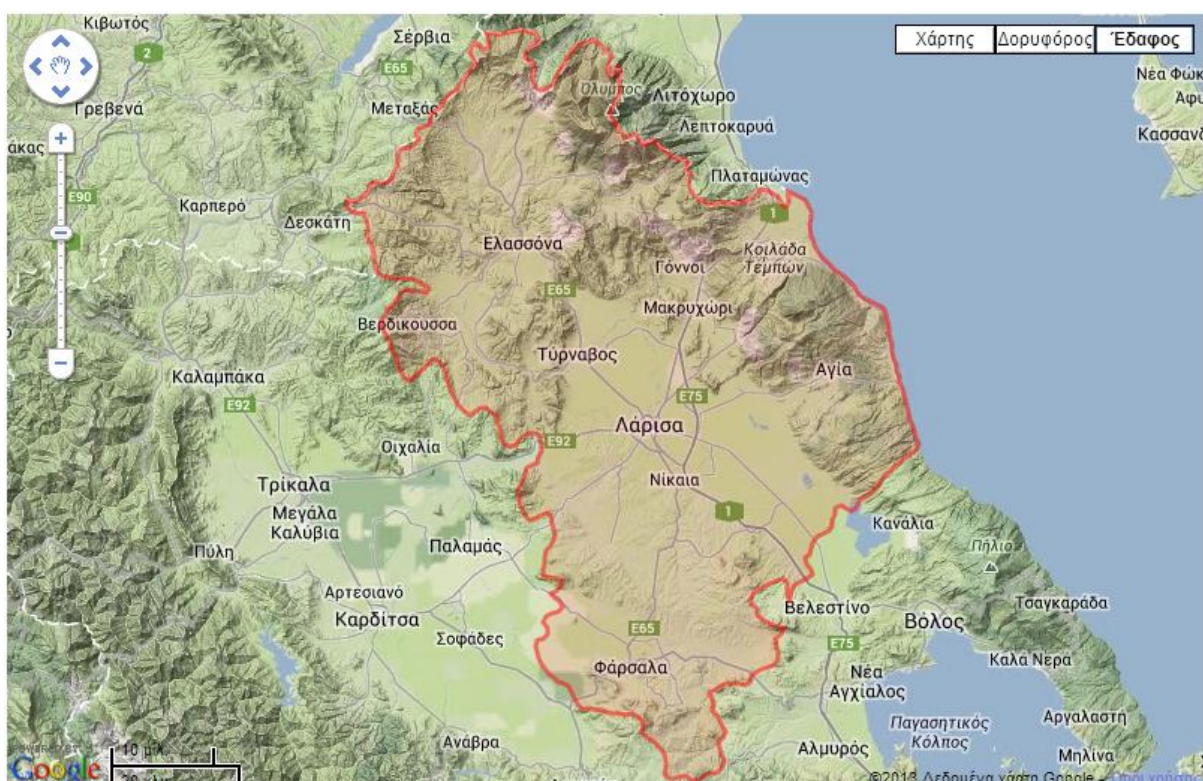
Τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης παραθέτονται στο επόμενο κεφάλαιο.

Κεφάλαιο 7ο

Εφαρμογή και αποτελέσματα

7.1 Περιοχή μελέτης

Ο Νομός Λάρισας βρίσκεται σε κεντρική θέση της χώρας καταλαμβάνοντας το βορειότερο τμήμα της Θεσσαλίας και περιλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος του Θεσσαλικού κάμπου. Είναι πάνω στο βασικό συγκοινωνιακό άξονα της χώρας, Αθήνας – Θεσσαλονίκης, που συνδέει τις βόρειες περιφέρειες της χώρας με αυτές της νότιας, αλλά και τις χώρες της Ε.Ε. με αυτές της Ανατολική Μεσογείου.



Σχήμα 7.1: Νομός Λάρισας

Ο Νομός Λάρισας είναι ο δεύτερος της Ελλάδας σε έκταση και ο πρώτος σε καλλιεργούμενες εκτάσεις. Σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Αρχή το 2006 καλλιεργήθηκαν συνολικά 2,422,696 στρέμματα. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η έκταση του νομού είναι 5,412,000 στρέμματα, γίνεται αντιληπτό ότι το 45% της έκτασης καλλιεργείται. Το γεγονός αυτό έχει προκαλέσει το ενδιαφέρον αρκετών ερευνητών, με αποτέλεσμα να υπάρχει πληθώρα μετεωρολογικών μετρήσεων. Αυτός είναι και ο λόγος, που ο νομός Λάρισας αποτέλεσε την περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας, αφού παρείχε όλα τα απαραίτητα δεδομένα για τους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν (π.χ. *ET_o*).

Από τις καλλιέργειες που επιλέχθηκαν να μελετηθούν στην παρούσα εργασία, ο αραβόσιτος, η πατάτα, το σιτάρι και τα φασόλια καλλιεργούνται σε μεγάλη έκταση στο νομό Λάρισας. Οι εκτάσεις που καλλιεργούνται παρουσιάζονται στον πίνακα (7.1).

Πίνακας 7.1: Εκτάσεις καλλιεργειών που μελετήθηκαν στο Νομό Λάρισας το 2006

Καλλιέργειες	Έκταση (στρέμματα)
Σιτάρι	909,404
Αραβόσιτος	91,472
Πατάτα	2,032
Φασόλια	702

Πηγή: <http://www.statistics.gr/>

Η αραχίδα δεν καλλιεργείται στην περιοχή της Λάρισας. Κάνοντας την παραδοχή ότι καλλιεργείται υπολογίστηκαν οι υδατικές ανάγκες της χρησιμοποιώντας στοιχεία από τον μετεωρολογικό σταθμό της Λάρισας, όπως στις υπόλοιπες καλλιέργειες.

7.2 Αραβόσιτος

Η καλλιεργητική περίοδος του αραβόσιτου διαρκεί 80 ημέρες, η ημερομηνία σποράς είναι 31 Μαΐου και η ημερομηνία συγκομιδής είναι 18 Αυγούστου. Οι εκτάσεις αραβόσιτου που υπήρχαν, σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Αρχή το 2006, στην περιοχή της Λάρισας, ήταν 91,472 στρέμματα. Έτσι πολλαπλασιάζοντας τις ανάγκες της καλλιέργειας

(Σχήμα 7.2.1) με την έκταση, έχουμε τα συνολικά κυβικά νερού που χρειάζεται η καλλιέργεια σε όλη την έκτασή της. Ο αραβόσιτος λοιπόν, χρειάζεται για τις 80 μέρες που διαρκεί η καλλιεργητική περίοδος, 368,030,047 m³ νερό. Στην παρούσα μελέτη, ασχοληθήκαμε με τις ανάγκες των καλλιεργειών ανά στρέμμα.

Στον πίνακα (7.2.1) φαίνονται οι υπολογισμένες τιμές της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (ET_o), του φυτικού συντελεστή (K_c), της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (ET_c), της ωφέλιμης βροχής (P_e) και των υδατικών αναγκών (IR_n).

Πίνακας 7.2.1: Υπολογισμός των υδατικών απαιτήσεων του αραβόσιτου

	Χρόνος Ημέρες	ET_o (mm/day)	k_c	ET_c (mm/day)	P_e (mm/15days)	IR_n (m³/στρ)	IR_n (m³/στρ)
1 ^ο	31/5 – 14/6	89.42	0.70	62.60	10.10	52.45	402.30
2 ^ο	15/6 – 29/6	91.31	0.77	69.95	7.30	62.65	
3 ^ο	30/6 – 14/7	96.98	1.02	99.31	11.00	88.31	
4 ^ο	15/7 – 29/7	97.38	1.15	111.994	5.50	106.49	
5 ^ο	30/7 – 13/8	86.58	1.14	98.696	6.30	92.40	

Αφού υπολογίστηκαν οι υδατικές ανάγκες της καλλιέργειας, ακολούθησε ο υπολογισμός του συντελεστή ευαισθησίας λ , όπως αναφέρθηκε σε παραπάνω κεφάλαιο. Στον πίνακα (7.2.2) παρουσιάζονται οι τιμές του λ σε κάθε στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας που έχουν προέλθει από τη σχέση :

$$\lambda = 1.0440k_y^{1.442} \quad (7.1)$$

Στο σχήμα (7.2.3) φαίνεται η αθροιστική καμπύλη του δείκτη ευαισθησίας και οι τιμές που παίρνει σε κάθε δεκαπενθήμερο αθροιστικά. Οι τιμές αυτές υπολογίστηκαν σύμφωνα με τη μέθοδο που προτείνει ο Tsakiris (1982), (Πίνακας 7.2.2). Τέλος, στο σχήμα (7.2.4) παρουσιάζονται οι τιμές του συντελεστή ευαισθησία λ ανά δεκαπενθήμερο που προήλθαν από την αθροιστική καμπύλη Σλ.

Πίνακας 7.2.2: Υπολογισμός του δείκτη ευαισθησίας λ για την καλλιέργεια του αραβόσιτου

Στάδια Ανάπτυξης	Δείκτης Ευαισθησίας λ	Ημέρες Σταδίων Ανάπτυξης (Αθροιστικά)	Σλ (Στάδιο ανάπτυξης)	Ημέρες 15ήμερα (Αθροιστικά)	Σλ (15ημέρων)	Ημερομηνίες (15ημέρων)	λ (15ήμερου)
31/5 - 19/6	0.17	20	0.37	15	0.17	31/5 - 14/6	0.17
20/6 - 14/7	1.66	45	2.03	30	1.00	15/6 - 29/6	0.83
15/7 - 08/8	0.47	70	2.50	45	2.03	30/6 - 14/7	1.02
09/8 - 18/8	0.17	80	2.66	60	2.42	15/7 - 29/7	0.39
				75	2.56	30/7 - 13/8	0.14

Αφού έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία υπολογισμού των υδατικών αναγκών και του συντελεστή ευαισθησίας σε χρονικό βήμα δεκαπέντε ημερών, ακολουθεί η βελτιστοποίηση της κατανομής του νερού. Η βελτιστοποίηση πραγματοποιήθηκε έχοντας ως βασικό περιορισμό τη διαθέσιμη ποσότητα νερού. Η συνολική δόση άρδευσης της καλλιεργητικής περιόδου, για την καλλιέργεια του αραβόσιτου είναι $\Sigma D_i = 543.162 \text{ m}^3 / \text{στρέμμα}$.

Οι ποσότητες νερού, για καθένα από τα τέσσερα σενάρια που μελετήθηκαν ξεχωριστά, είναι οι εξής:

- * $0.9 \Sigma D_i = 488.85 \text{ m}^3 / \text{στρέμμα}$
- * $0.8 \Sigma D_i = 434.53 \text{ m}^3 / \text{στρέμμα}$
- * $0.7 \Sigma D_i = 380.21 \text{ m}^3 / \text{στρέμμα}$
- * $0.6 \Sigma D_i = 325.90 \text{ m}^3 / \text{στρέμμα}$

Ο επόμενος περιορισμός που τέθηκε στο πρόβλημα ήταν η αναζήτηση της μέγιστης δυνατής απόδοσης της καλλιέργειας, σύμφωνα πάντα με την διαθεσιμότητα του νερού. Η απόδοση της καλλιέργειας προέκυψε από την παρακάτω σχέση:

$$\frac{Y_a}{Y_m} = \left(\frac{d_{ij}}{d_{i1}} \right)^\lambda \quad (7.2)$$

όπου,

d_{ij} καθαρή ποσότητα νερού που αξιοποιείται για την παραγωγή,

d_{i1} καθαρή ποσότητα νερού που αξιοποιείται για την παραγωγή, όταν είναι διαθέσιμη ολόκληρη η ποσότητα του νερού που απαιτεί η καλλιέργεια,

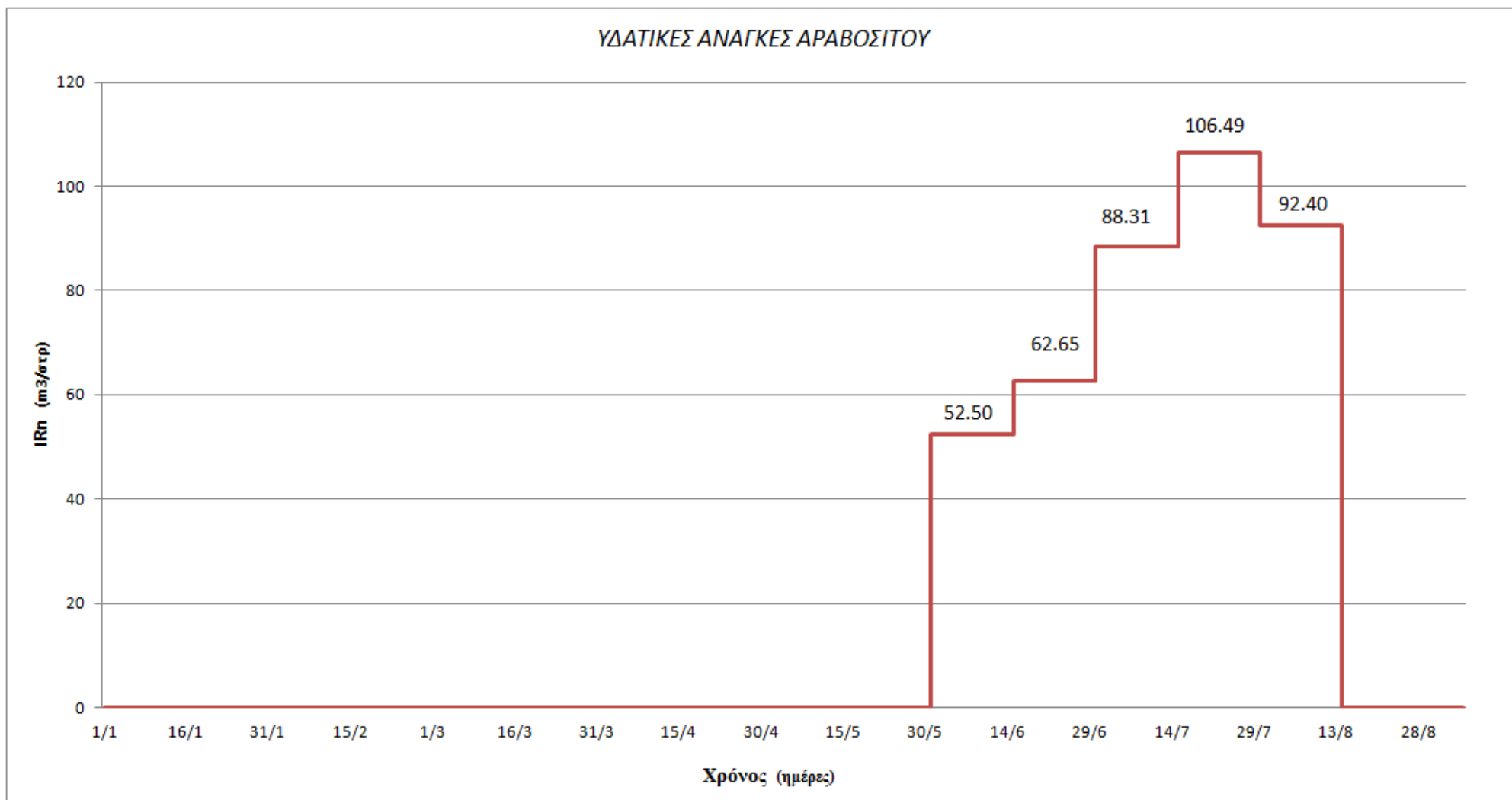
Y_a , Y_m και λ όπως ορίστηκαν παραπάνω.

Τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης παρουσιάζονται στον πίνακα (7.2.3) και στο σχήμα (7.2.5). Οι αναλυτικοί υπολογισμοί υπάρχουν στο Παράρτημα.

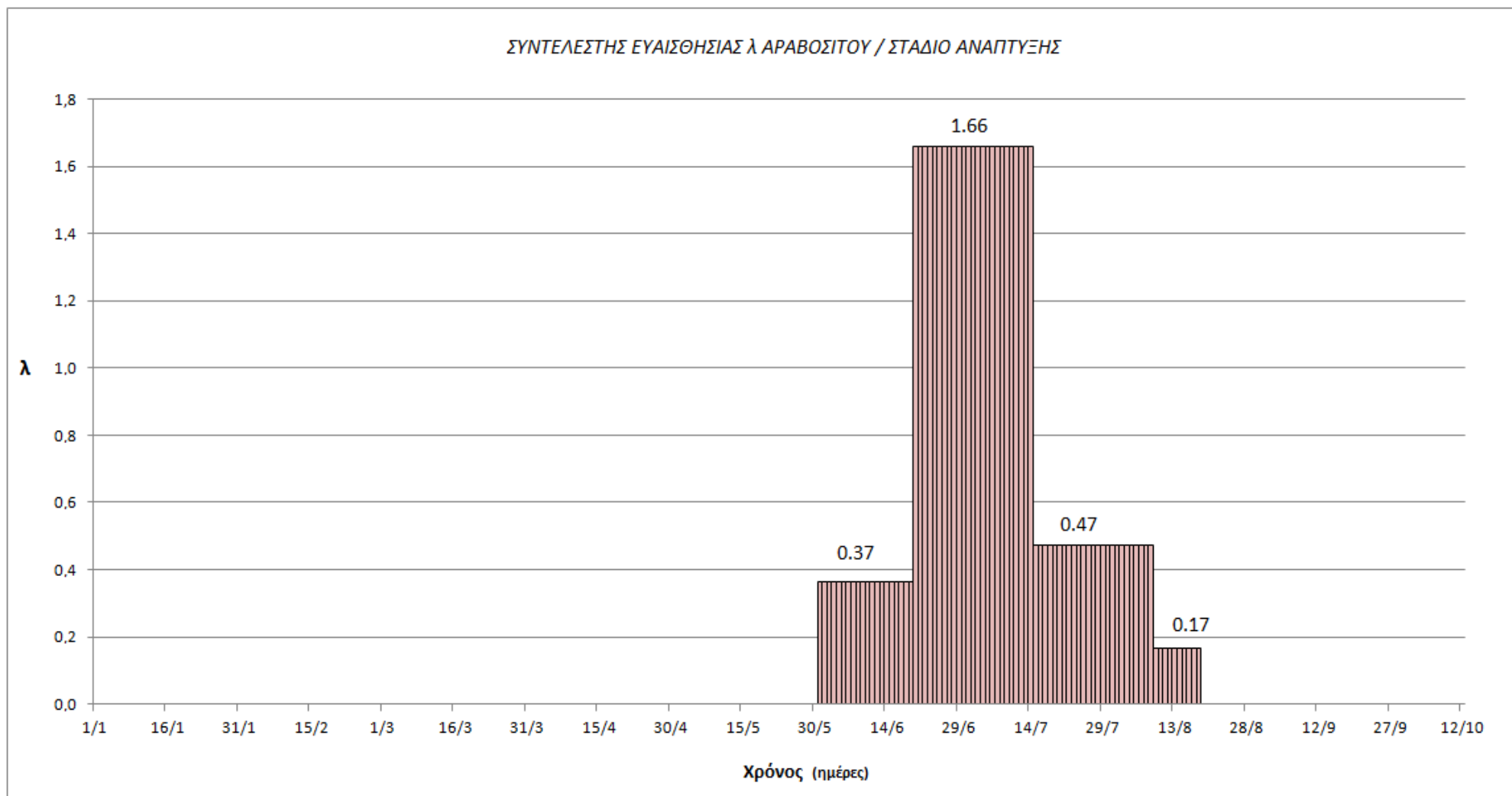
Πίνακας 7.2.3: Βέλτιστες ποσότητες νερού ανά δεκαπενθήμερο, ανάλογα με την διαθεσιμότητα του (αραβόσιτος)

Διαθέσιμα ποσοστά νερού		1	2	3	4	5	Σdi	Απόδοση
0.9ΣDi	489	57.74	84.58	119.22	143.77	83.16	489	0.95
0.8ΣDi	435	47.25	84.58	119.22	127.79	55.44	435	0.87
0.7ΣDi	380	36.75	84.58	119.22	85.19	55.44	380	0.77
0.6ΣDi	326	31.49	68.91	105.97	63.90	55.44	326	0.60

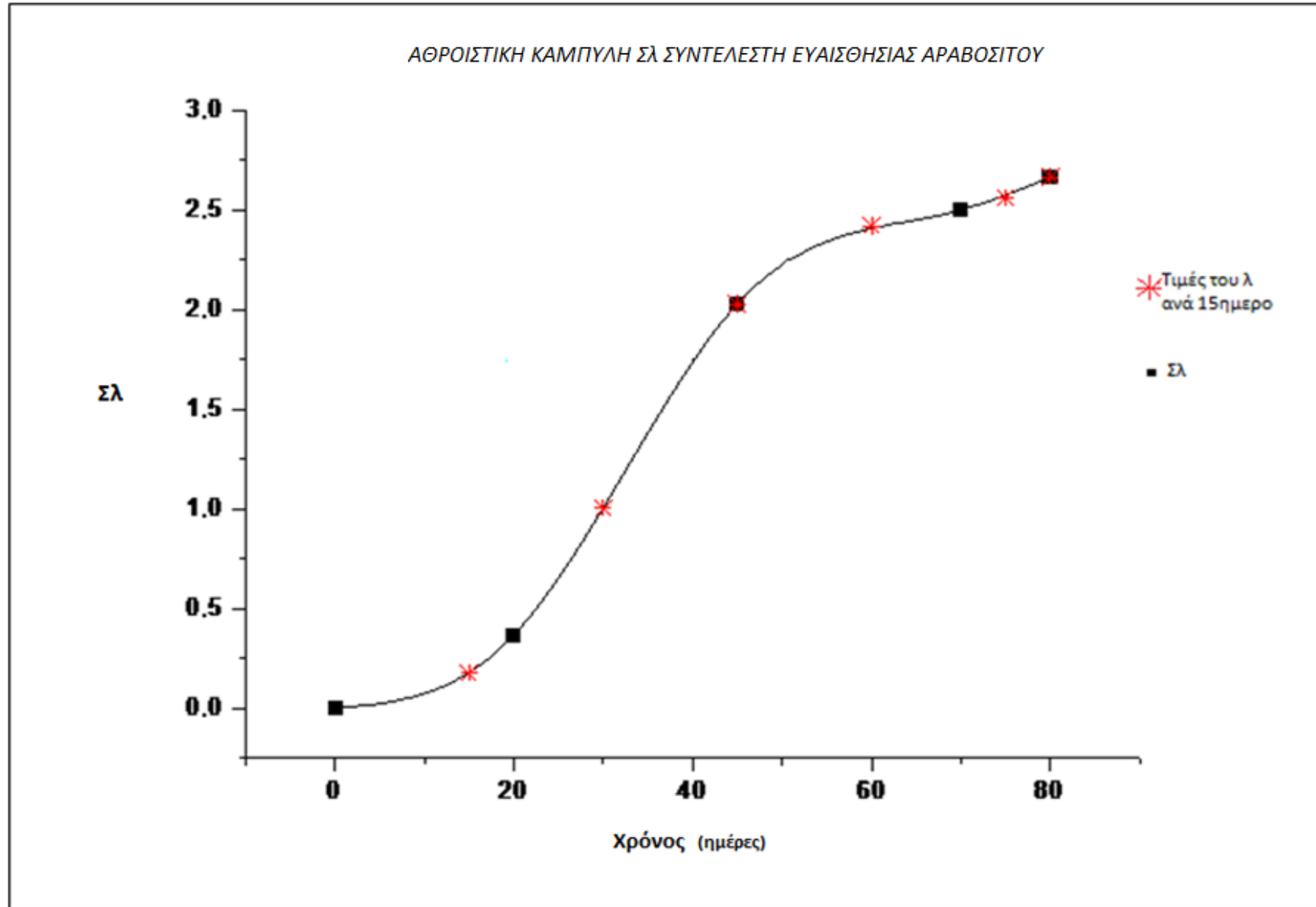
Στη συνέχεια υπολογίστηκαν, με τον ίδιο τρόπο, για όλες τις καλλιέργειες οι υδατικές απαιτήσεις, ο συντελεστής ευαισθησίας και πραγματοποιήθηκε η βελτιστοποίηση με την ίδια διαδικασία. Στα κεφάλαια που ακολουθούν παραθέτονται τα αποτελέσματα των παραπάνω υπολογισμών, για όλες τις καλλιέργειες που μελετήθηκαν.



Σχήμα 7.2.1 Υδατικές ανάγκες αραβόσιτου ανά δεκαπενθήμερο

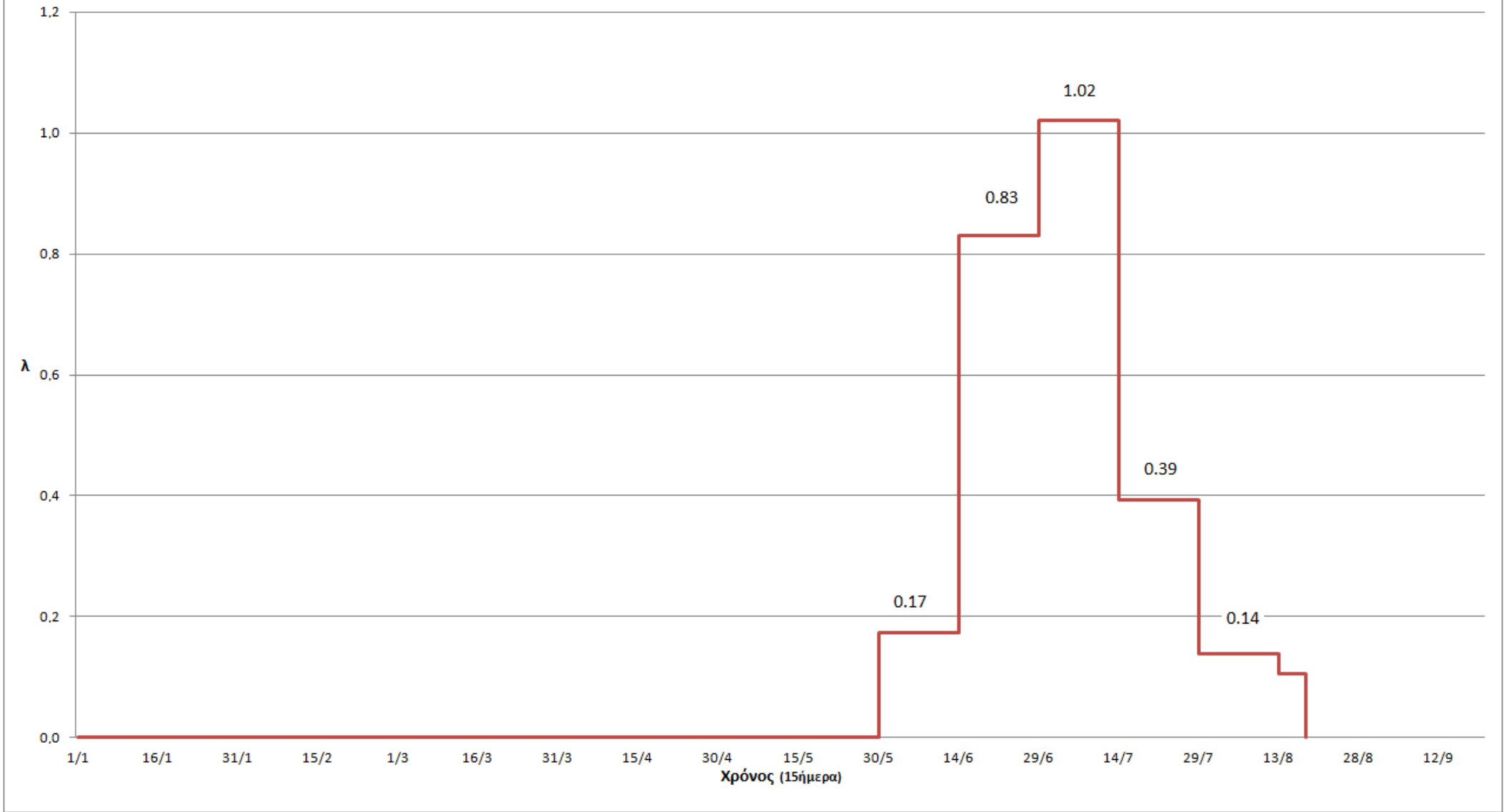


Σχήμα 7.2.2 : Συντελεστής ευαισθησίας λ του αραβόσιτου σε κάθε στάδιο ανάπτυξης

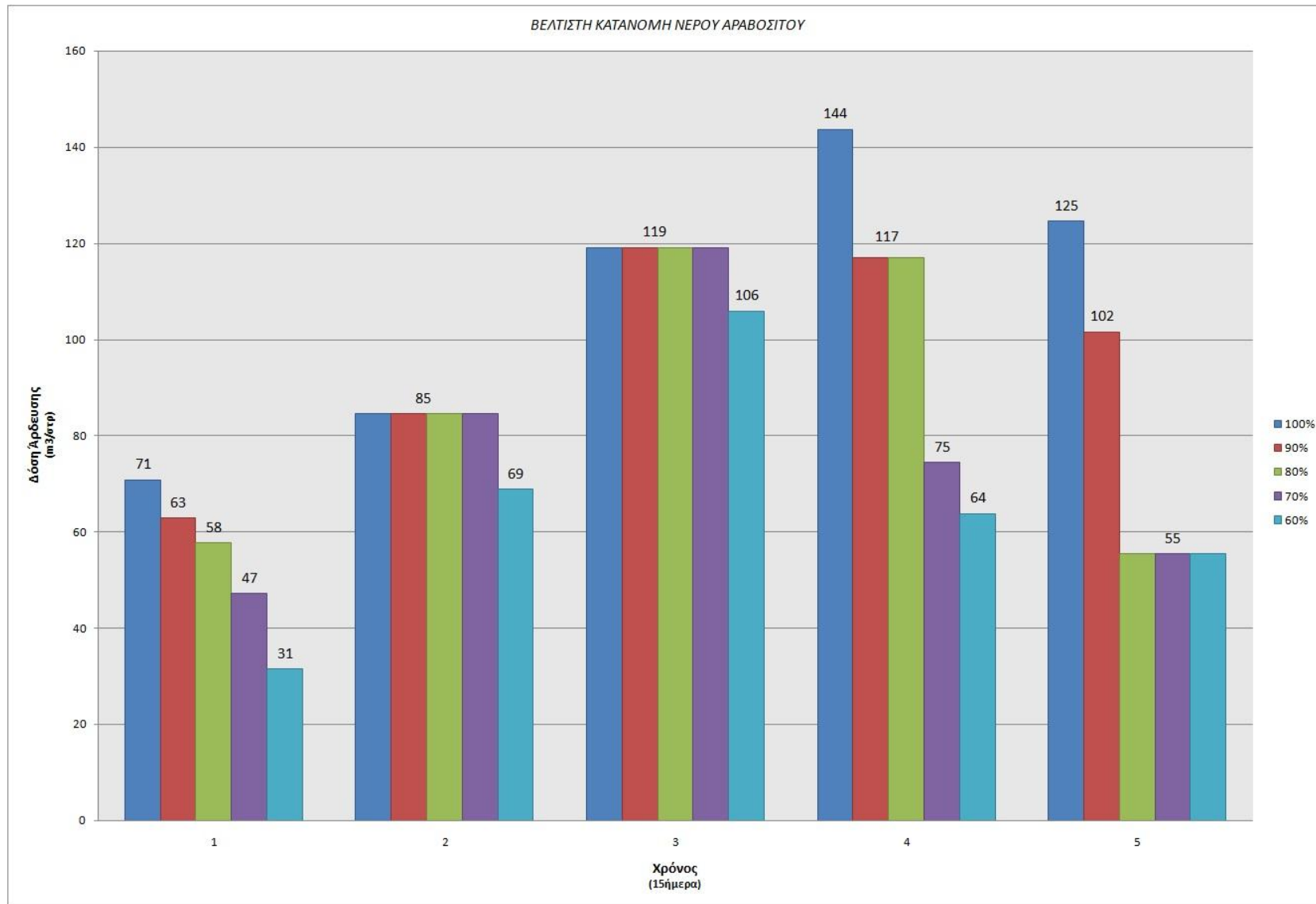


Σχήμα 7.2.3: Αθροιστική καμπύλη του συντελεστή ευαισθησίας λ και τιμές του συντελεστή ανά δεκαπενθήμερο για την καλλιέργεια του αραβόσιτου

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ λ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΥ / 15ΗΜΕΡΟ



Σχήμα 7.2.4: Συντελεστής ευαισθησίας λ ανά δεκαπενθήμερο για την καλλιέργεια του αραβόσιτου



Σχήμα 7.2.5: Βέλτιστη κατανομή νερού ανά δεκαπενθήμερο σε τέσσερα διαφορετικά σενάρια διαθεσιμότητας νερού για την καλλιέργεια του αραβόσιτου

7.3 Αραχίδα

Η καλλιεργητική περίοδο της αραχίδας διαρκεί 140 ημέρες, η ημερομηνία σποράς είναι 31 Μαΐου και η ημερομηνία συγκομιδής είναι 17 Οκτωβρίου. Η αραχίδα καλλιεργείται σε λίγες μόνο περιοχές της Ελλάδας. Οι περισσότερες καλλιεργούμενες εκτάσεις με αραχίδα, βρίσκονται στο Νομό Μεσσηνίας, 3,560 στρέμματα το 2006, σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Αρχή. Πολλαπλασιάζοντας τις ανάγκες της καλλιέργειας (Σχήμα 7.3.1) με την έκταση έχουμε τα συνολικά κυβικά νερού που χρειάζεται η καλλιέργεια σε όλη την έκτασή της. Η αραχίδα λοιπόν, χρειάζεται για τις 140 μέρες που διαρκεί η καλλιεργητική περίοδος και σε έκταση 3,560 στρέμματα, 16,522,955 m³ νερό. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, οι υπολογισμοί γίνονται σε κυβικά μέτρα στο στρέμμα.

Στον πίνακα (7.3.1) φαίνονται οι υπολογισμένες τιμές της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (ET_0), του φυτικού συντελεστή (K_c), της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (ET_c), της ωφέλιμης βροχής (P_e) και των υδατικών αναγκών (IR_n).

Πίνακας 7.3.1: Υπολογισμός των υδατικών αναγκών της αραχίδας

	Χρόνος Ημέρες	ET_0 (mm/day)	k_c	ET_c (mm/day)	P_e (mm/15days)	IR_n (m ³ /στρ)	IR_n (m ³ /στρ)
1°	31/5 – 14/6	89.42	0.40	35.77	10.10	25.67	454.18
2°	15/6 – 29/6	91.32	0.40	36.53	7.30	29.23	
3°	30/6 – 14/7	96.98	0.46	44.72	11.00	33.72	
4°	15/7 – 29/7	97.38	0.70	68.17	5.6	62.57	
5°	30/7 – 13/8	86.58	0.95	82.25	6.3	75.95	
6°	14/8 – 28/8	84.91	1.14	96.71	10.20	88.51	
7°	29/8 – 12/9	64.72	1.15	74.43	6.80	67.63	
8°	13/9 – 27/9	59.67	1.12	67.07	14.80	52.27	
9°	28/9 – 12/10	38.09	0.81	30.93	12.30	18.63	

Αφού υπολογιστούν οι υδατικές ανάγκες της καλλιέργειας, ακολουθεί ο υπολογισμός του συντελεστή ευαισθησίας λ . Στον πίνακα (7.3.2) παρουσιάζονται οι τιμές του λ σε κάθε στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας που έχουν προέλθει από τη σχέση :

$$\lambda = 0.9668k_y^{1.0722} \quad (7.3)$$

Πίνακας 7.3.2:Υπολογισμός του συντελεστή ευαισθησίας λ για την καλλιέργεια της αραχίδας

Στάδια Ανάπτυξης	Δείκτης Ευαισθησίας λ	Ημέρες Σταδίων Ανάπτυξης (Αθροιστικά)	Σλ (Στάδιο ανάπτυξης)	Ημέρες 15ήμερα (Αθροιστικά)	Σλ (15ημέρων)	Ημερομηνίες (15ημέρων)	λ (15ήμερου)
31/5 - 6/7	0.17	35	0.17	15	0.03	31/5 – 14/6	0.03
7/7 - 20/8	0.76	80	0.93	30	0.12	15/6 – 29/6	0.09
21/8 - 24/9	0.56	115	1.49	45	0.30	30/6 – 14/7	0.18
25/9 - 18/10	0.17	140	1.66	60	0.55	15/7 – 29/7	0.25
				75	0.84	30/7 – 13/8	0.25
				90	1.12	14/8 – 28/8	0.25
				105	1.36	29/8 – 12/9	0.24
				120	1.55	13/9 – 27/9	0.19
				135	1.65	28/9 – 12/10	0.10

Η συνολική δόση άρδευσης της καλλιεργητικής περιόδου, για την καλλιέργεια της αραχίδας, είναι $\Sigma D_i = 628.822 \text{ m}^3 / \text{στρέμμα}$.

Οι ποσότητες νερού, για καθένα από τα τέσσερα σενάρια που μελετήθηκαν ξεχωριστά, είναι οι εξής:

- * $0.9 \Sigma D_i = 564.14 \text{ m}^3 / \text{στρέμμα}$
- * $0.8 \Sigma D_i = 501.46 \text{ m}^3 / \text{στρέμμα}$

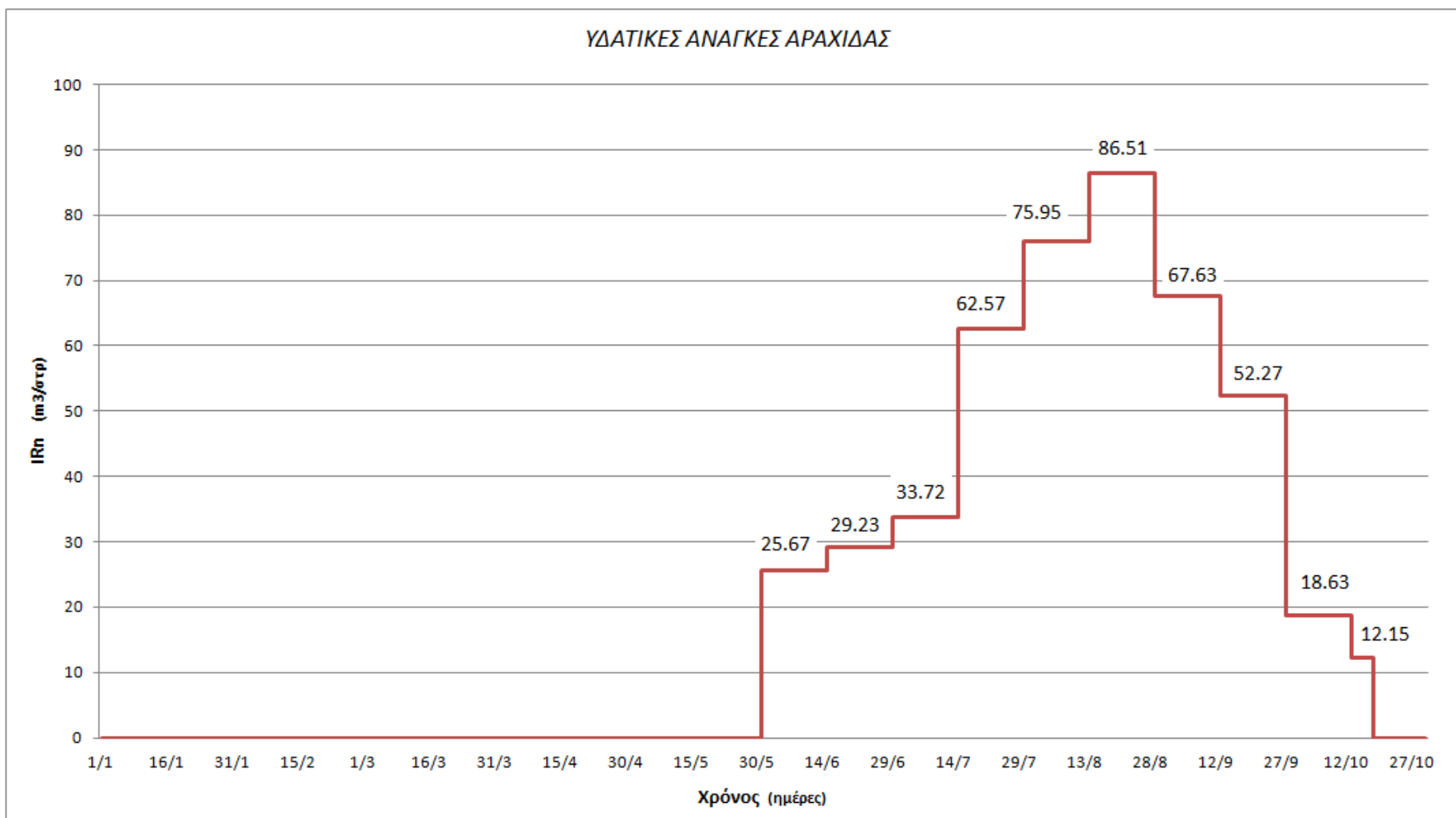
* $0.7 \Sigma D_i = 438.78 \text{ m}^3 / \text{στρέμμα}$

* $0.6 \Sigma D_i = 376.09 \text{ m}^3 / \text{στρέμμα}$

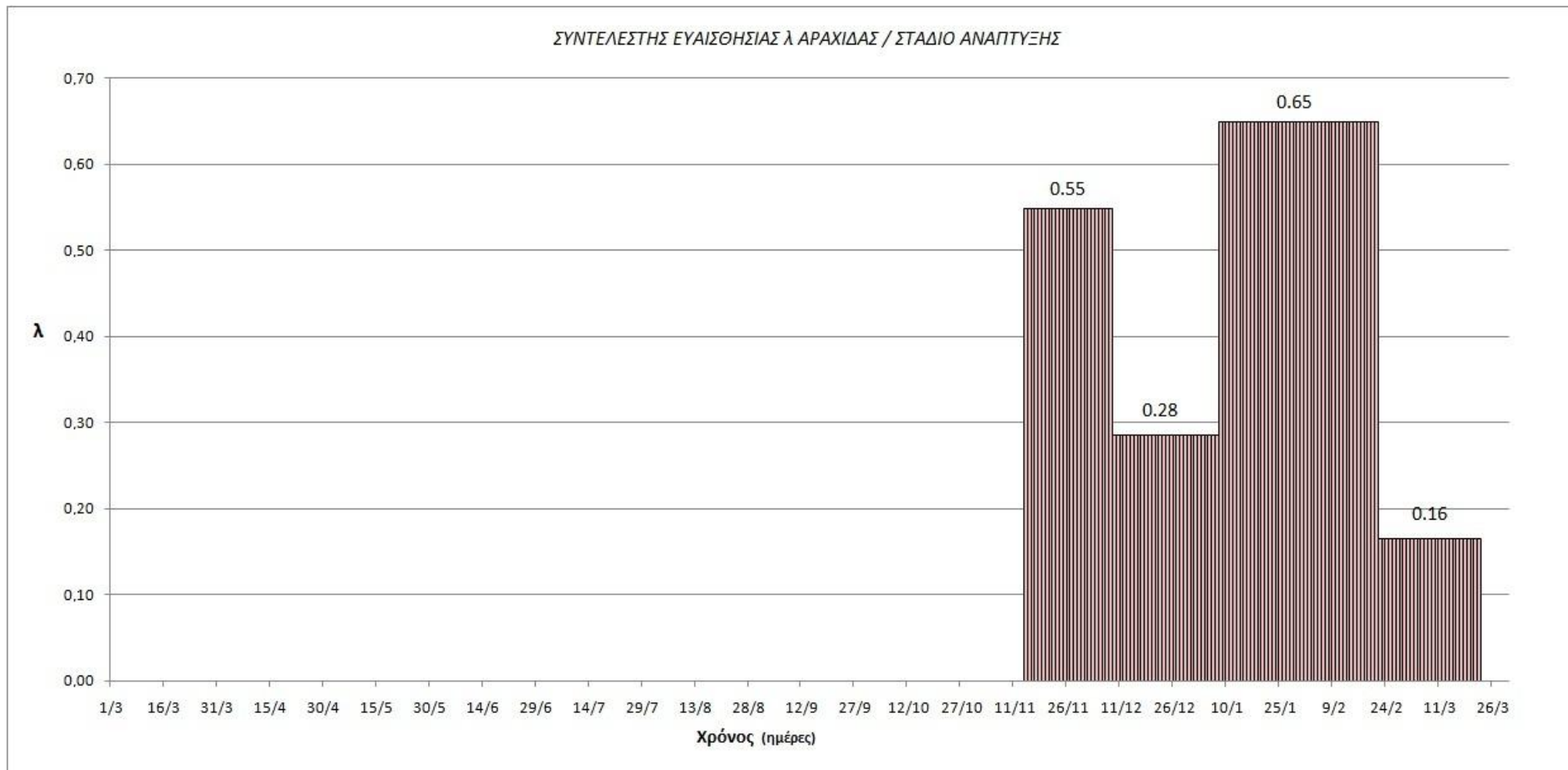
Τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης φαίνονται στον πίνακα (7.3.3), ενώ οι υπολογισμοί παρουσιάζονται στο Παράρτημα.

Πίνακας 7.3.3: Βέλτιστες ποσότητες νερού ανά δεκαπενθήμερο, ανάλογα με την διαθεσιμότητα του νερού(αραχίδα)

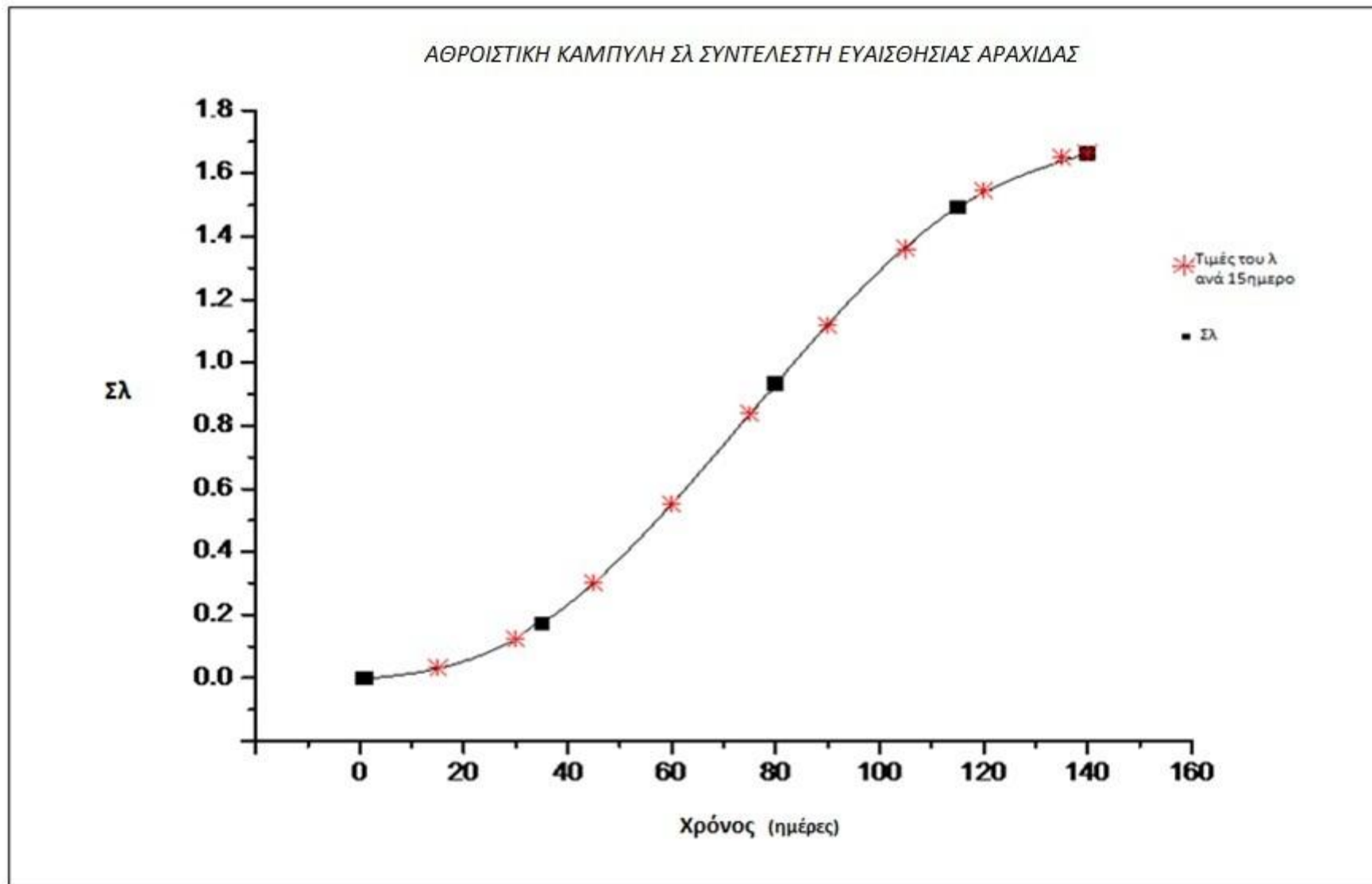
Διαθέσιμα ποσοστά νερού		Δεκαπενθήμερα										Σdi	Απόδοση
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
ΣDi	626.82	34.65	39.46	45.52	84.47	102.53	116.78	91.29	70.56	25.15	16.40	626.82	1.00
0.9 ΣDi	564.14	17.97	26.30	37.09	84.47	102.53	116.78	91.29	57.49	20.50	10.94	564.04	0.92
0.8 ΣDi	501.46	15.40	20.46	33.72	75.08	91.14	103.81	81.15	52.27	18.63	9.72	501.38	0.83
0.7 ΣDi	438.78	15.40	17.54	26.98	68.83	83.54	95.16	67.63	41.81	14.91	8.51	438.68	0.72
0.6 ΣDi	376.09	15.40	17.54	23.60	62.57	68.35	77.85	54.10	36.59	13.04	7.29	376.34	0.62



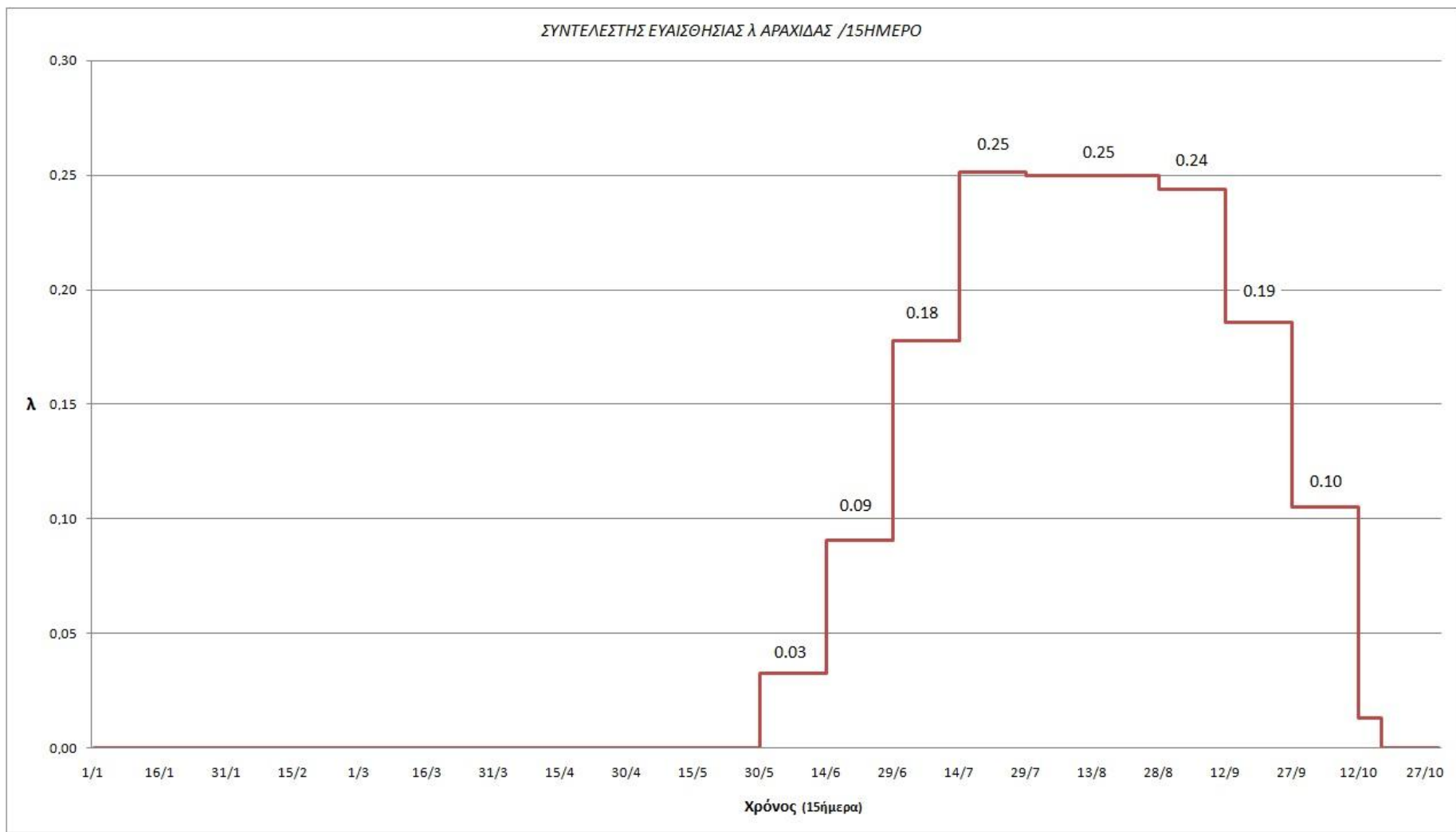
Σχήμα 7.3.1: Υδατικές ανάγκες αραχίδας ανά δεκαπενθήμερο



Σχήμα 7.3.2: Συντελεστής ευαισθησίας λ της αραχίδας σε κάθε στάδιο ανάπτυξης

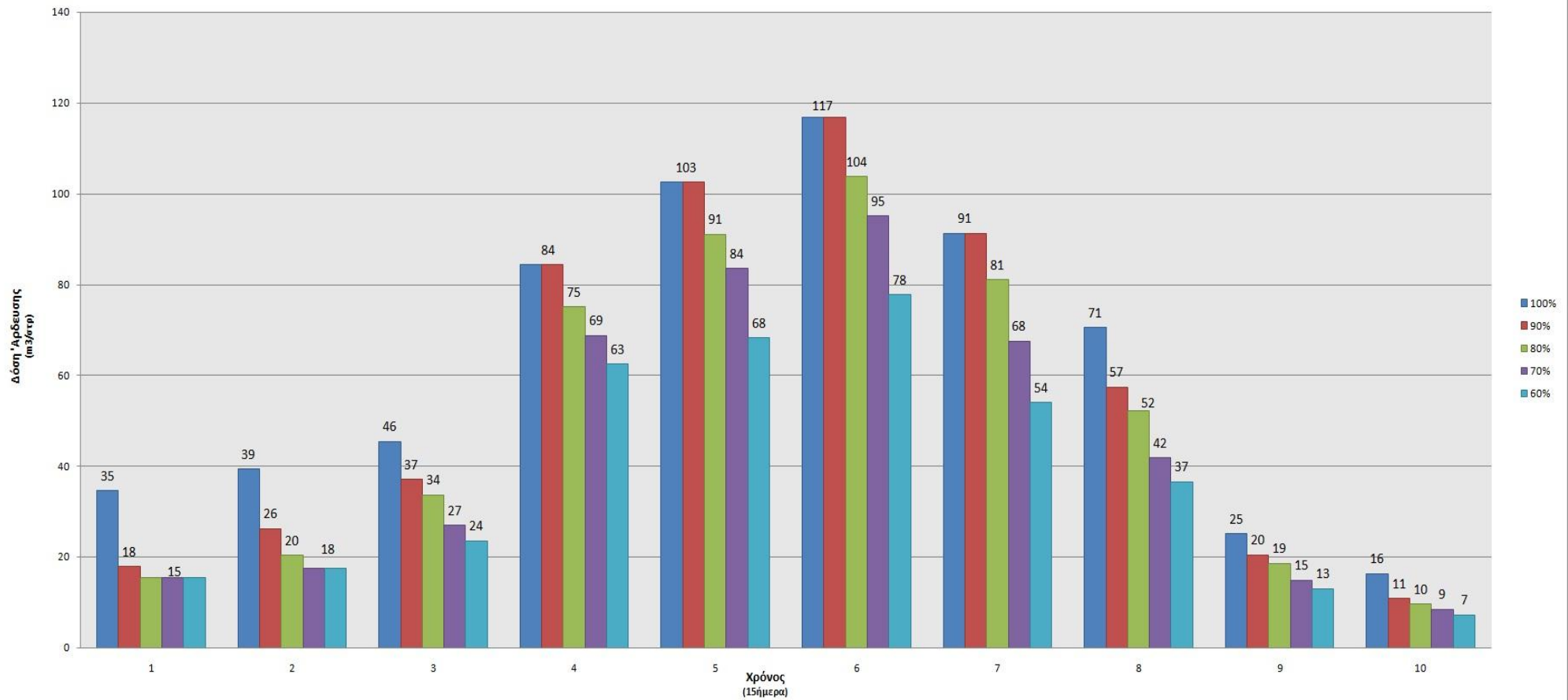


Σχήμα 7.3.3: Αθροιστική καμπύλη του συντελεστή ευαισθησίας λ και τιμές του συντελεστή ανά δεκαπενθήμερο για την καλλιέργεια της αραχίδας



Σχήμα 7.3.4: Συντελεστής ευαισθησίας λ ανά δεκαπενθήμερο για την καλλιέργεια της αραχίδας

ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΝΕΡΟΥ ΑΡΑΧΙΔΑΣ



Σχήμα 7.3.5: Βέλτιστη κατανομή νερού ανά δεκαπενθήμερο σε τέσσερα διαφορετικά σενάρια διαθεσιμότητας νερού στην καλλιέργεια της αραχίδας

7.4 Πατάτα

Η πατάτα καλλιεργείται όλο το χρόνο σχεδόν. Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η ποικιλία που φυτεύεται στις 14 Νοεμβρίου και συγκομίζεται στις 22 Μαρτίου. Δηλαδή η καλλιεργητική της περίοδο διαρκεί 130 ημέρες. Η πατάτα καλλιεργείται σε πολλές περιοχές της Ελλάδας. Σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Αρχή, το 2006 καλλιεργήθηκαν στον νομό Αχαΐας 30,123 στρέμματα, ενώ στο Νομό Λάρισας καλλιεργήθηκαν 2,023 στρέμματα. Πολλαπλασιάζοντας λοιπόν, τις ανάγκες της καλλιέργειας (Σχήμα 7.3.1) με την έκταση έχουμε τα συνολικά κυβικά νερού που χρειάζεται η καλλιέργεια σε όλη την έκτασή της.

Η πατάτα λοιπόν, χρειάζεται για τις 130 μέρες που διαρκεί η καλλιεργητική περίοδος και σε έκταση 2,023 στρέμματα, 29,066 m³ νερό. Οι 130 ημέρες που διαρκεί η καλλιεργητική περίοδος, μελετήθηκαν σε 9 δεκαπενθήμερα.

Στον πίνακα (7.4.1) φαίνονται οι υπολογισμένες τιμές της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (ET_0), του φυτικού συντελεστή (K_c), της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (ET_c), της ωφέλιμης βροχής (P_e) και των υδατικών αναγκών (IR_n).

Πίνακας 7.4.1: Υπολογισμός των υδατικών αναγκών της πατάτας

	Χρόνος Ημέρες	ET_0 (mm/day)	k_c	ET_c (mm/day)	P_e (mm/15days)	IR_n (m ³ /στρ)	IR_n (m ³ /στρ)
1 ^ο	14/11 – 28/11	15.43	0.50	7.71	31.70	0.00	14.03
2 ^ο	29/11 – 13/12	10.76	0.52	5.61	26.50	0.00	
3 ^ο	14/12 – 28/12	10.05	0.78	7.85	21.00	0.00	
4 ^ο	29/12 – 12/1	10.16	1.09	11.02	18.00	0.00	
5 ^ο	13/1 – 27/1	10.19	1.15	11.71	14.00	0.00	
6 ^ο	28/1 – 11/2	15.22	1.15	17.50	15.40	2.10	
7 ^ο	12/2 – 26/2	17.05	1.14	19.38	20.10	0.00	
8 ^ο	27/2 12/03	27.37	0.98	27.73	20.10	6.63	
9 ^ο	13/3 – 22/3	28.11	0.81	22.77	17.20	5.57	

Αφού υπολογιστούν οι υδατικές ανάγκες της καλλιέργειας, ακολουθεί ο υπολογισμός του συντελεστή ευαισθησίας λ . Στον πίνακα (7.4.2) παρουσιάζονται οι τιμές του λ σε κάθε στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας, που έχουν προέλθει από τη σχέση :

$$\lambda = 0.9585k_y^{1.0694} \quad (7.4)$$

Πίνακας 7.4.2: Υπολογισμός του συντελεστή ευαισθησίας λ για την καλλιέργεια της πατάτας

Στάδια Ανάπτυξης	Δείκτης Ευαισθησίας λ	Ημέρες Σταδίων Ανάπτυξης (Αθροιστικά)	Σλ (Στάδιο ανάπτυξης)	Ημέρες 15ήμερα (Αθροιστικά)	Σλ (15ημέρων)	Ημερομηνίες (15ημέρων)	λ (15ήμερου)
14/11 – 08/12	0.55	25	0.55	15	0.37	14/01 – 28/11	0.37
09/12 - 07/01	0.28	55	0.83	30	0.63	29/01 – 13/12	0.26
08/01 - 21/02	0.65	100	1.48	45	0.76	14/12 – 28/12	0.14
22/02 - 22/03	0.16	130	1.64	60	0.91	29/12 – 12/01	0.15
				75	1.14	13/01 – 27/01	0.23
				90	1.38	28/01 – 11/02	0.24
				105	1.56	12/02 – 26/02	0.18
				120	1.64	27/02 – 12/03	0.08
				130	1.68	13/03 – 12/02	0.03

Η συνολική δόση άρδευσης της καλλιεργητικής περιόδου, για την καλλιέργεια της πατάτας, είναι $\Sigma D_i = 19.31 \text{ m}^3 / \text{στρέμμα}$.

Οι ποσότητες νερού, για καθένα από τα τέσσερα σενάρια που μελετήθηκαν ξεχωριστά, είναι οι εξής:

* $0.9 \Sigma D_i = 17.38 \text{ m}^3 / \text{στρέμμα}$

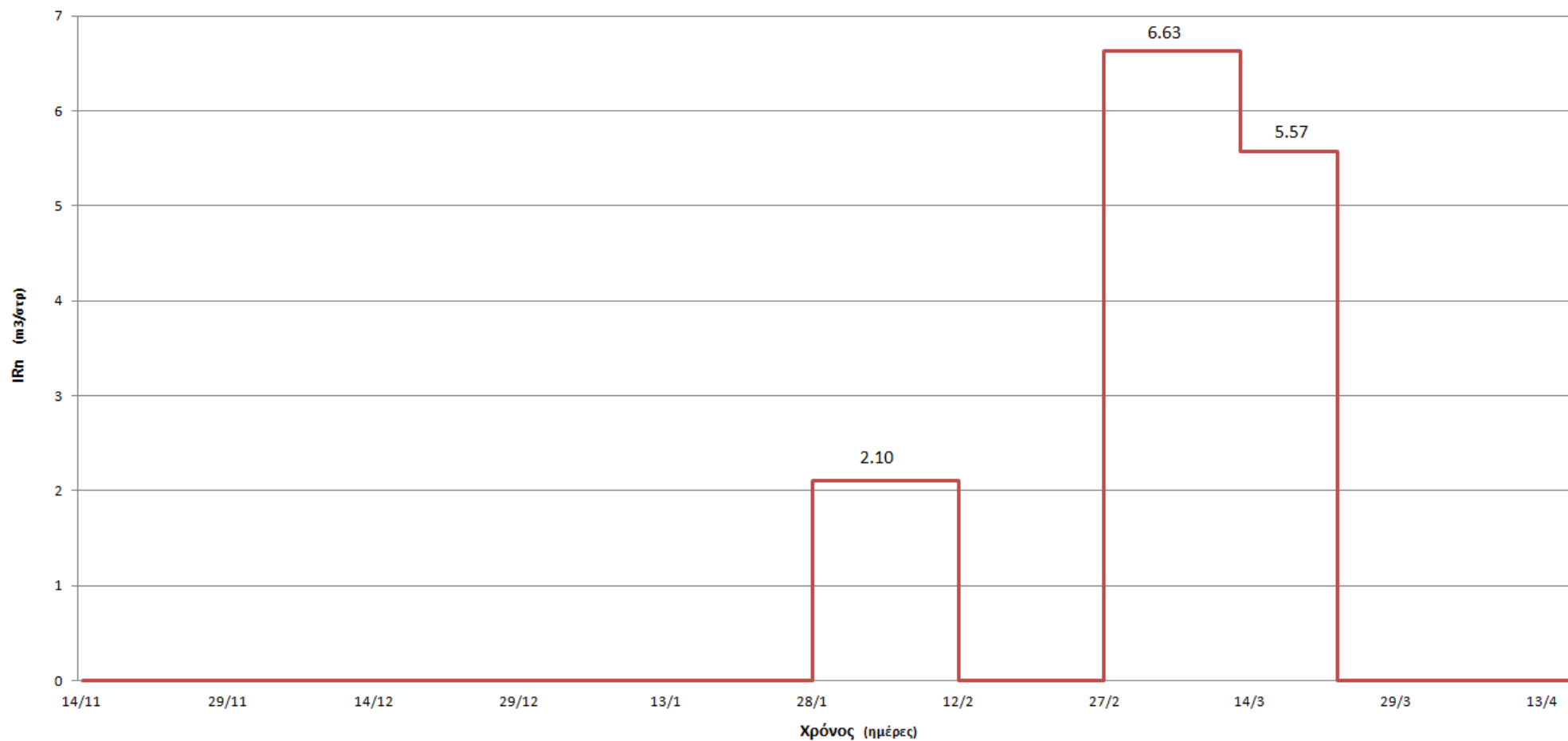
- * $0.8 \Sigma D_i = 15.45 \text{ m}^3 / \text{στρέμμα}$
- * $0.7 \Sigma D_i = 13.52 \text{ m}^3 / \text{στρέμμα}$
- * $0.6 \Sigma D_i = 11.59 \text{ m}^3 / \text{στρέμμα}$

Τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης φαίνονται στον πίνακα (7.4.3), ενώ οι υπολογισμοί παρουσιάζονται στο Παράρτημα.

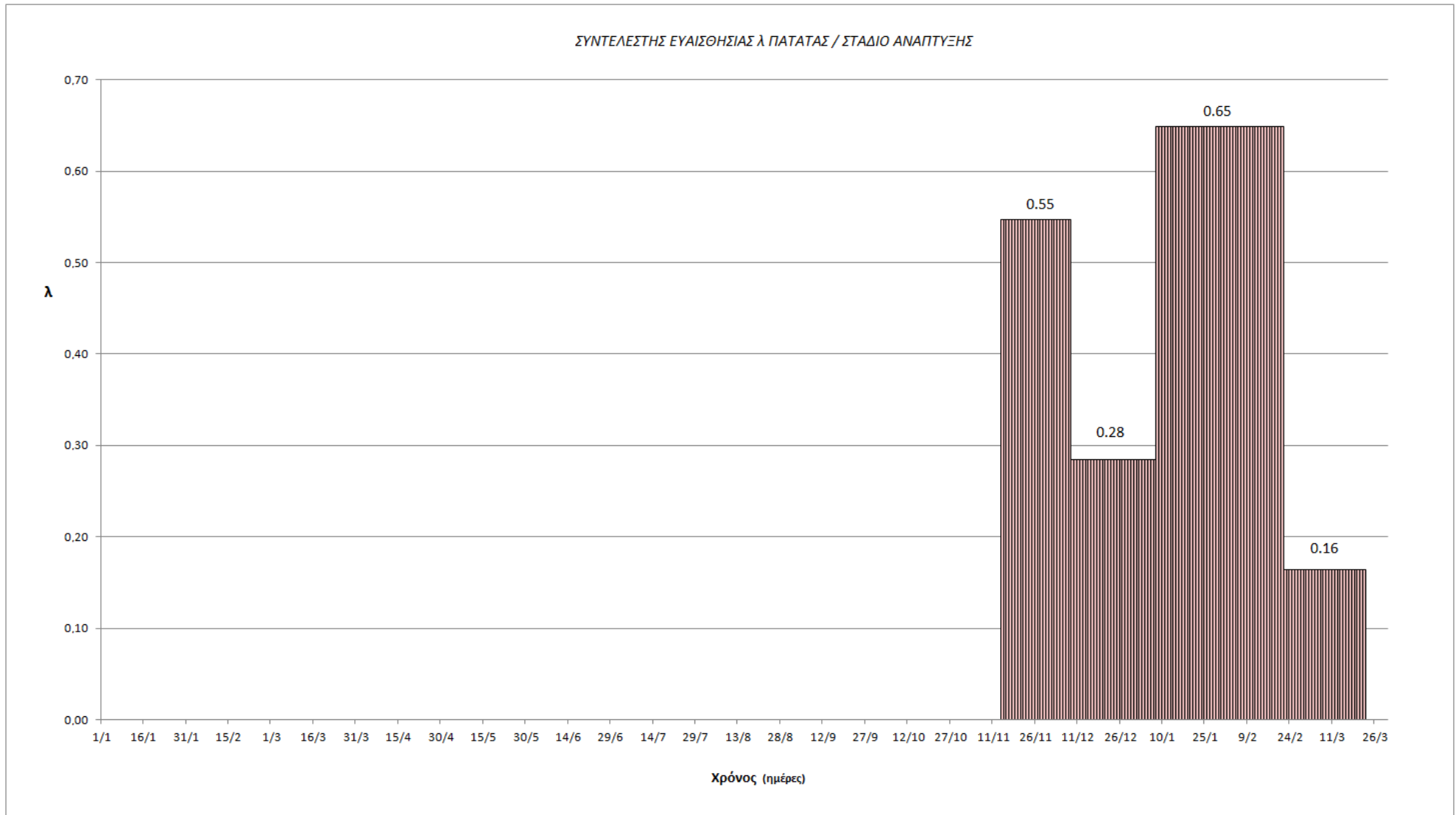
Πίνακας 7.4.3: Βέλτιστες ποσότητες νερού ανά δεκαπενθήμερο, ανάλογα με την διαθεσιμότητα του νερού(πατάτα)

Διαθέσιμα ποσοστά νερού		Δεκαπενθήμερα				Σdi	Απόδοση
		6	7	8	9		
ΣDi	19,31	2.84	0.00	8.95	7.52	19.31	1.00
0.9 ΣDi	17.38	2.84	0.00	8.95	6.12	17.38	0.99
0.8 ΣDi	15.45	2.84	0.00	7.96	5.01	15.81	0.99
0.7 ΣDi	13.52	2.84	0.00	5.97	4.45	13.26	0.97
0.6 ΣDi	11.59	2.84	0.00	5.31	3.34	11.49	0.96

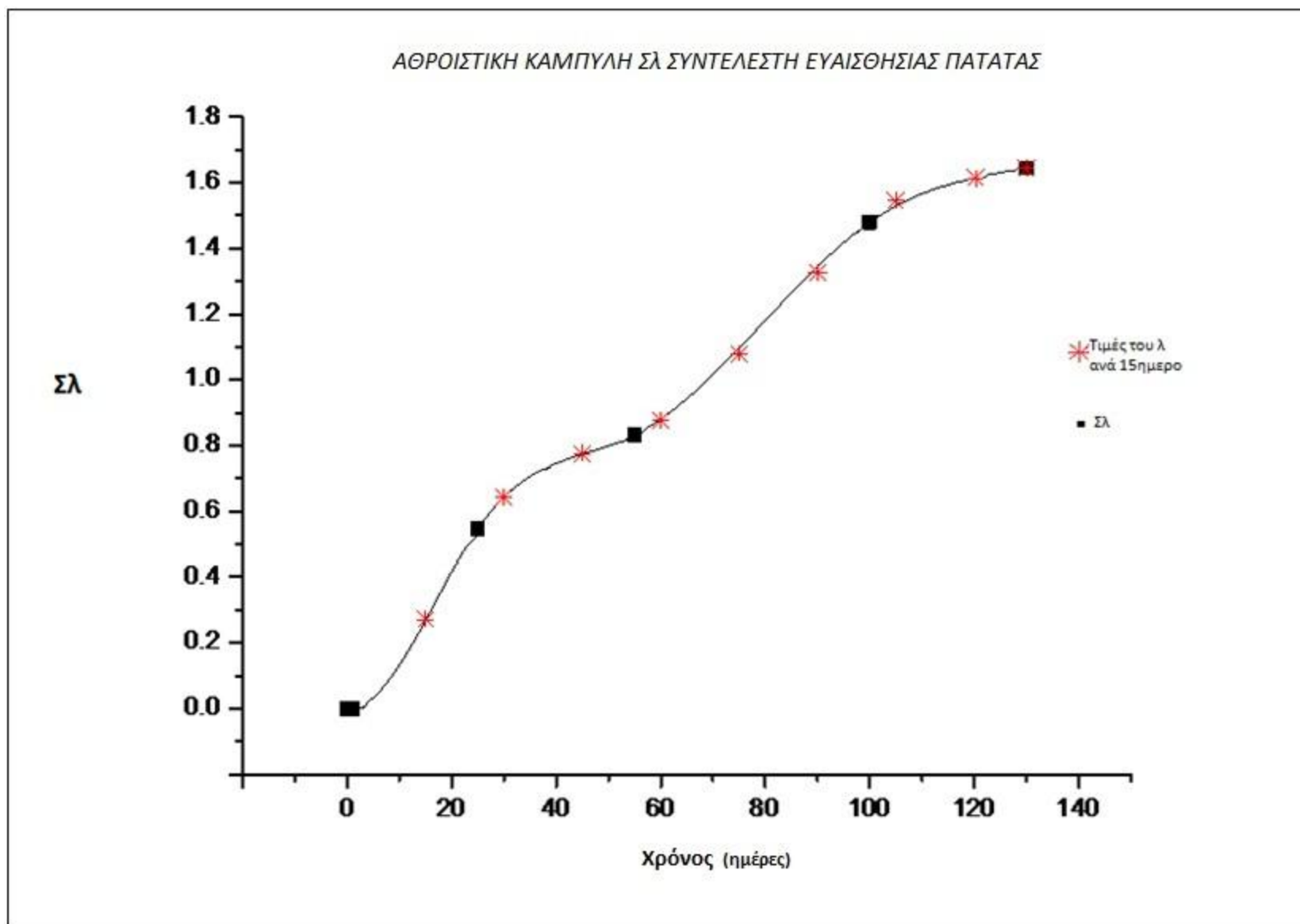
ΥΔΑΤΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΠΑΤΑΤΑΣ



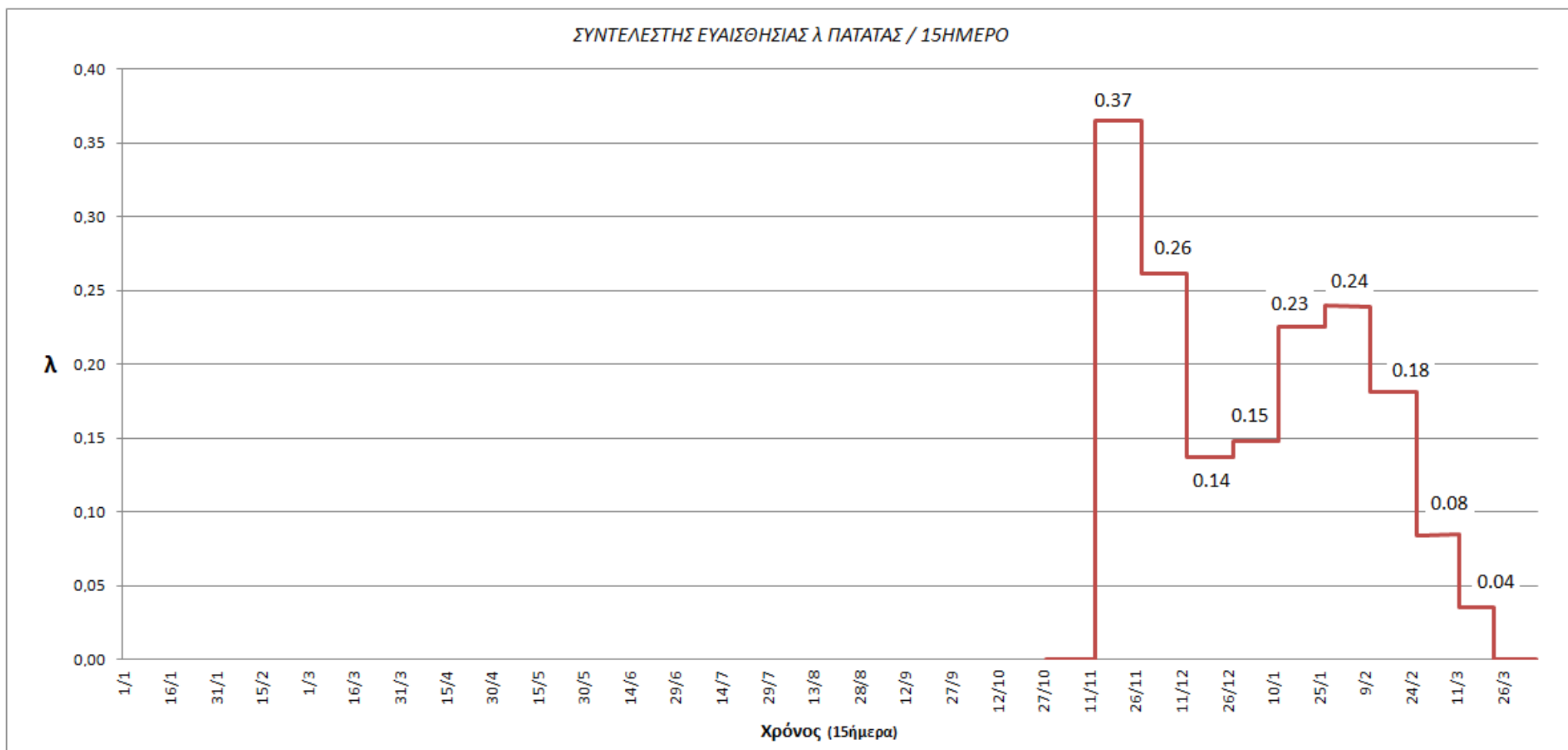
Σχήμα 7.4.1: Υδατικές ανάγκες πατάτας ανά δεκαπενθήμερο



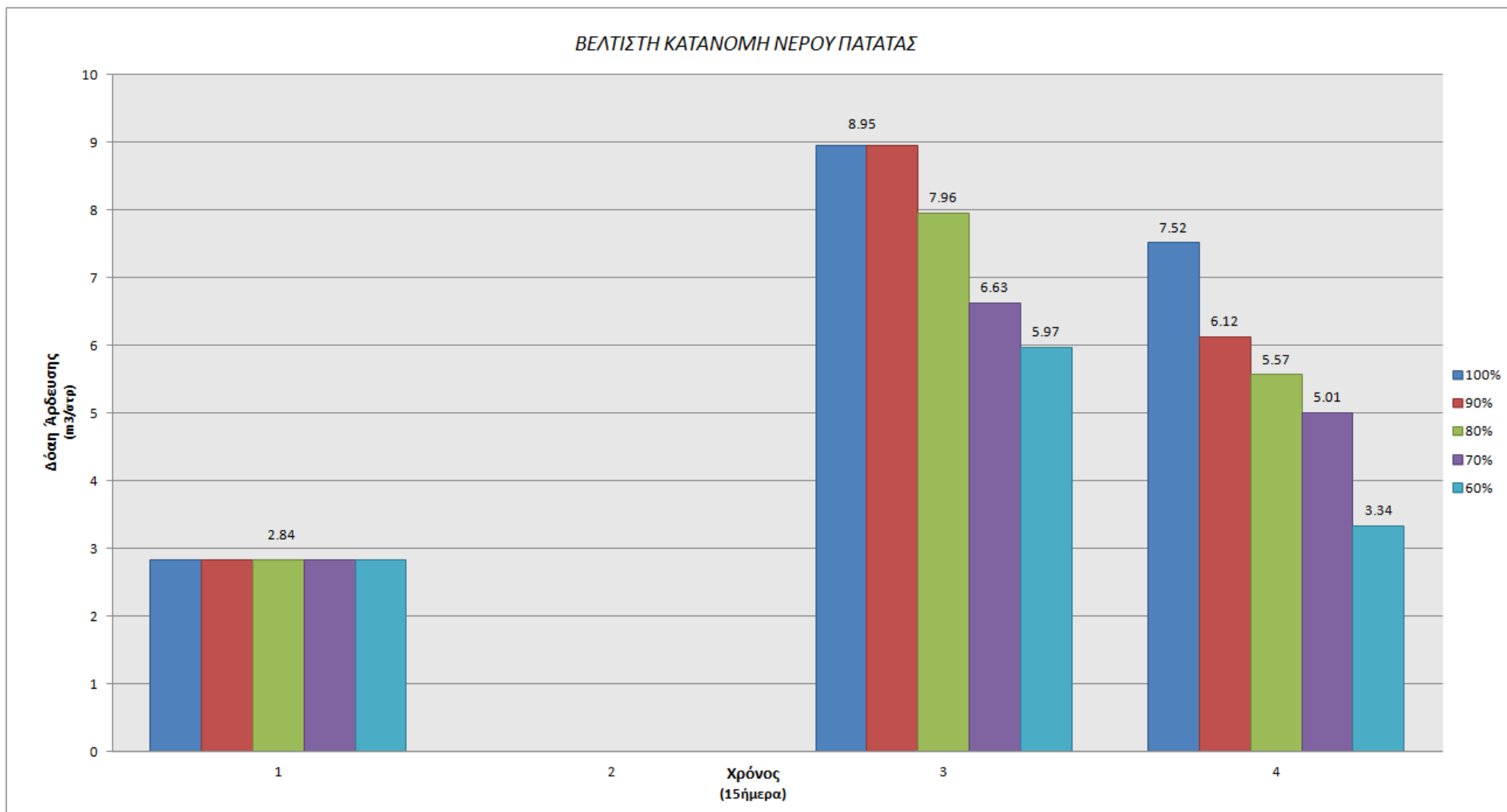
Σχήμα 7.4.2: Συντελεστής ευαισθησίας λ της πατάτας σε κάθε στάδιο ανάπτυξης



Σχήμα 7.4.3: Αθροιστική καμπύλη του δείκτη ευαισθησίας λ και τιμές του συντελεστή ανά δεκαπενθήμερο για την καλλιέργεια της πατάτας



Σχήμα 7.4.4: Συντελεστής ευαισθησίας λ ανά δεκαπενθήμερο για την καλλιέργεια της πατάτας



Σχήμα 7.4.5 Βέλτιστη κατανομή νερού ανά δεκαπενθήμερο σε τέσσερα διαφορετικά σενάρια διαθεσιμότητας νερού στην καλλιέργεια της πατάτας

7.5 Σιτάρι

Το σιτάρι καλλιεργείται σχεδόν όλο το χρόνο. Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν δύο ποικιλίες. Η μία φυτεύεται στις 14 Μαρτίου, συγκομίζεται στις 21 Αυγούστου και είναι ανοιξιιάτικη ποικιλία. Η καλλιεργητική της περίοδος διαρκεί 130 ημέρες. Η άλλη ποικιλία φυτεύεται 14 Νοεμβρίου, συγκομίζεται 1 Ιουνίου και είναι χειμερινή ποικιλία. Η καλλιεργητική της περίοδο διαρκεί 200 ημέρες. Το σιτάρι καλλιεργείται σε πολλές περιοχές της Ελλάδας. Σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Αρχή, το 2006 καλλιεργήθηκαν στον Νομό Λάρισας 909,404 στρέμματα σιτάρι διαφόρων ποικιλιών. Στο σχήμα (7.5.1) παρουσιάζονται οι ανάγκες της ανοιξιιάτικης ποικιλίας σιταριού ενώ στο σχήμα (7.5.2) της χειμερινής ποικιλίας σιταριού.

Στους πίνακες (7.5.1) και (7.5.2) φαίνονται οι υπολογισμένες τιμές της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (ET_o), του φυτικού συντελεστή (K_c), της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (ET_c), της ωφέλιμης βροχής (P_e) και των υδατικών αναγκών (IR_n) για την ανοιξιιάτικη και τη χειμερινή ποικιλία σιταριού αντίστοιχα.

Πίνακας 7.5.1: Υπολογισμός των υδατικών αναγκών της ανοιξιιάτικης ποικιλίας σιταριού

	Χρόνος Ημέρες	ET_o (mm/day)	k_c	ET_c (mm/day)	P_e (mm/15days)	IR_n (m ³ /στρ)	IR_n (m ³ /στρ)
1 ^ο	14/04 – 28/04	42.84	0.30	12.85	13.90	0.00	441.07
2 ^ο	29/04 – 13/05	60.22	0.30	18.07	19.40	0.00	
3 ^ο	14/05 – 28/05	62.89	0.33	20.65	20.00	0.65	
4 ^ο	29/05 – 12/06	85.63	0.67	57.23	12.60	44.65	
5 ^ο	13/06 – 27/06	91.32	1.07	97.25	5.90	91.35	
6 ^ο	28/06 – 12/07	95.77	1.15	110.13	11.10	99.03	
7 ^ο	13/07 – 27/08	97.39	1.15	111.99	6.50	105.49	
8 ^ο	28/08 - 11/08	87.41	0.99	86.10	5.20	80.90	

Πίνακας 7.5.2: Υπολογισμός των υδατικών αναγκών της χειμερινής ποικιλίας σιταριού

	Χρόνος (Ημέρες)	ET _o (mm/day)	k _c	ET _c (mm/day)	P _e (mm/15days)	IR _n (m ³ /στρ)	IR _n (m ³ /στρ)
1 ^ο	14/11 – 28/11	15.43	0.30	4.63	31.70	0.00	134.62
2 ^ο	29/11 – 13/12	10.76	0.30	3.23	26.50	0.00	
3 ^ο	14/12 – 28/12	10.05	0.31	3.16	21.00	0.00	
4 ^ο	29/12 – 12/01	10.16	0.48	4.92	18.00	0.00	
5 ^ο	13/01 – 27/01	10.19	0.70	7.10	14.00	0.00	
6 ^ο	28/01 – 11/02	15.22	0.91	13.84	15.40	0.00	
7 ^ο	12/02 – 26/02	17.05	1.11	18.89	20.10	0.00	
8 ^ο	27/02 - 13/03	27.37	1.15	31.48	20.10	11.38	
9 ^ο	14/03 – 28/03	28.11	1.15	32.32	17.20	15.13	
10 ^ο	29/03 – 12/04	39.63	1.15	45.58	15.70	29.88	
11 ^ο	13/4 – 27/4	42.51	1.13	47.93	14.30	33.63	
12 ^ο	28/04 – 12/05	58.26	0.86	49.96	16.50	33.46	
13 ^ο	13/05 – 27/05	62.20	0.52	32.34	21.20	11.14	

Αφού υπολογιστούν οι υδατικές ανάγκες των καλλιεργειών, ακολουθεί ο υπολογισμός του συντελεστή ευαισθησίας λ και για τις δύο ποικιλίες. Στον πίνακα (7.5.3) και (7.5.4) παρουσιάζονται οι τιμές του λ σε κάθε στάδιο ανάπτυξης των καλλιέργειας που έχουν προέλθει από τις εξής σχέσεις :

$$\lambda = 0.9544k_y^{1.0655} \quad (7.5)$$

για το ανοιξιότιο σιτάρι και

$$\lambda = 0.9511k_y^{1.0620}$$

(7.6)

για το χειμερινό σιτάρι.

Πίνακας 7.5.3: Υπολογισμός του συντελεστή ευαισθησίας λ για την καλλιέργεια του ανοιξιότικου σιταριού

Στάδια Ανάπτυξης	Δείκτης Ευαισθησίας λ	Ημέρες Σταδίων Ανάπτυξης (Αθροιστικά)	Σλ (Στάδιο ανάπτυξης)	Ημέρες 15ήμερα (Αθροιστικά)	Σλ (15ημέρων)	Ημερομηνίες (15ημέρων)	λ (15ήμερου)
14/04 - 23/05	0.17	40	0.17	15	0.01	14/04 – 28/04	0.01
24/05 - 22/06	0.60	70	0.77	30	0.07	29/04 – 13/05	0.07
23/06 - 01/08	0.50	110	1.28	45	0.25	14/05 – 28/05	0.19
02/08 - 21/08	0.22	130	1.50	60	0.56	29/05 – 12/06	0.31
				75	0.86	13/06 – 27/06	0.30
				90	1.07	28/06 – 12/07	0.21
				105	1.23	13/07 – 27/08	0.16
				120	1.38	28/08 - 11/08	0.15

Πίνακας 7.5.4: Υπολογισμός του συντελεστή ευαισθησίας λ για την καλλιέργεια του χειμερινού σιταριού

Στάδια Ανάπτυξης	Δείκτης Ευαισθησίας λ	Ημέρες Σταδίων Ανάπτυξης (Αθροιστικά)	Σλ (Στάδιο ανάπτυξης)	Ημέρες 15ήμερα (Αθροιστικά)	Σλ (15ημέρων)	Ημερομηνίες (15ημέρων)	λ (15ήμερου)
14/11 – 23/12	0.17	40	0.17	15	0.03	14/11 – 28/11	0.03
24/12 – 21/02	0.55	100	0.73	30	0.10	29/11 – 13/12	0.07
22/02 – 22/04	0.46	160	1.18	45	0.21	14/12 – 28/12	0.11
23/04 – 01/06	0.57	200	1.75	60	0.34	29/12 – 12/01	0.13
				75	0.49	13/01 – 27/01	0.15
				90	0.63	28/01 – 11/02	0.15
				105	0.77	12/02 – 26/02	0.13
				120	0.87	27/02 - 13/03	0.11
				130	0.98	14/03 – 28/03	0.10
				145	1.10	29/3 – 12/4	0.11
				160	1.23	13/4 – 27/4	0.14
				175	1.41	28/4 – 12/5	0.18
				190	1.66	13/5 – 27/5	0.24

Η συνολική δόση άρδευσης της καλλιεργητικής περιόδου, για την καλλιέργεια του ανοιξιάτικου σιταριού είναι $\Sigma D_i = 595.44 \text{ m}^3 / \text{στρέμμα}$ και για το χειμερινό σιτάρι είναι $\Sigma D_i = 181.73 \text{ m}^3 / \text{στρέμμα}$.

Οι ποσότητες νερού, για καθένα από τα τέσσερα σενάρια που μελετήθηκαν ξεχωριστά, είναι οι εξής:

Για την ανοιξιάτικη ποικιλία σιταριού:

- * $0.9 \Sigma D_i = 535.90 \text{ m}^3 / \text{στρέμμα}$
- * $0.8 \Sigma D_i = 476.35 \text{ m}^3 / \text{στρέμμα}$
- * $0.7 \Sigma D_i = 416.81 \text{ m}^3 / \text{στρέμμα}$
- * $0.6 \Sigma D_i = 357.27 \text{ m}^3 / \text{στρέμμα}$

και για την χειμερινή ποικιλία σιταριού:

- * $0.9 \Sigma D_i = 163.56 \text{ m}^3 / \text{στρέμμα}$
- * $0.8 \Sigma D_i = 145.38 \text{ m}^3 / \text{στρέμμα}$
- * $0.7 \Sigma D_i = 127.21 \text{ m}^3 / \text{στρέμμα}$
- * $0.6 \Sigma D_i = 109.04 \text{ m}^3 / \text{στρέμμα}$

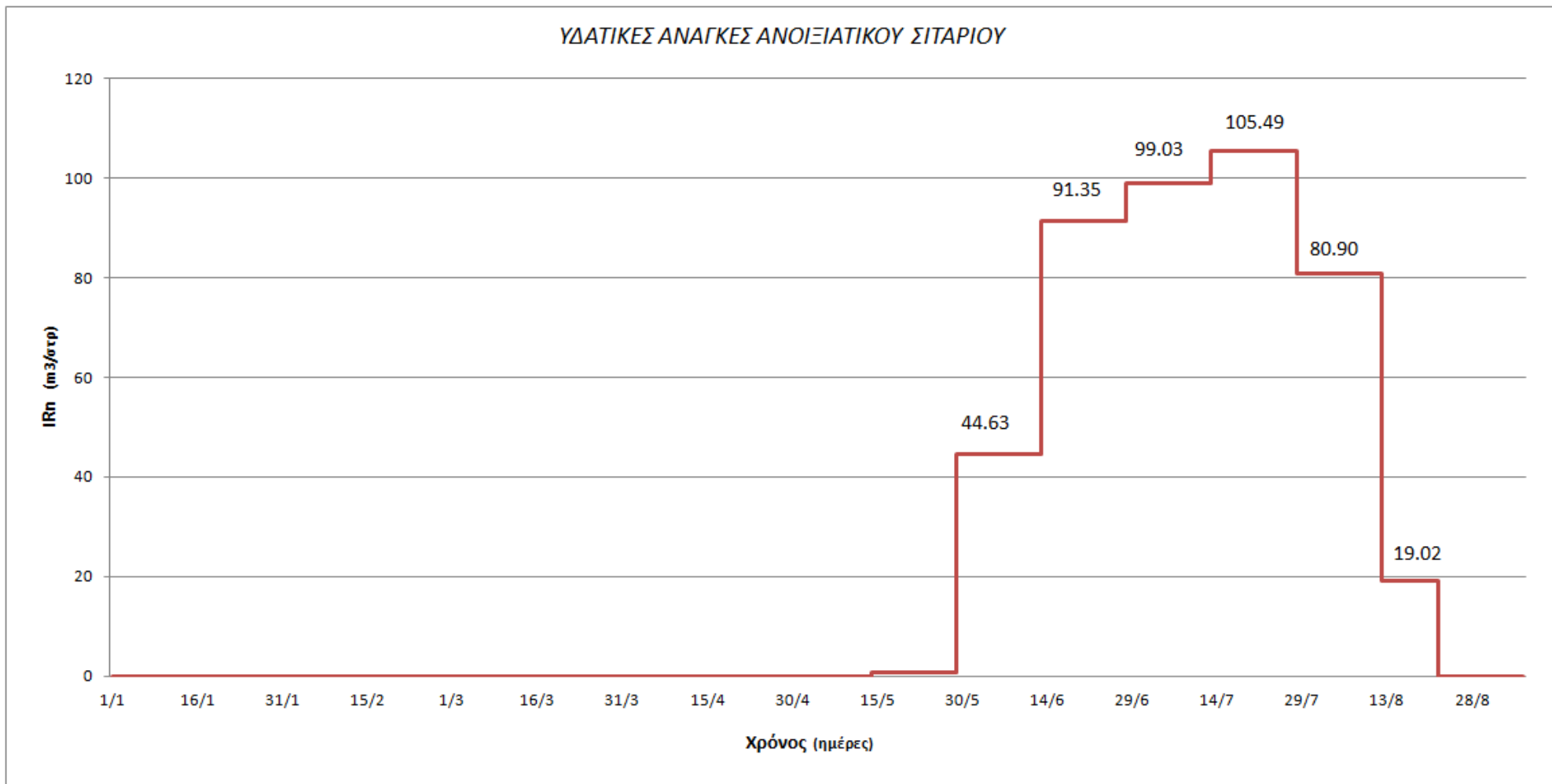
Τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης φαίνονται στον πίνακα (7.5.5) και (7.5.6) για την ανοιξιιάτικη και χειμερινή ποικιλία σιταριού αντίστοιχα. Οι υπολογισμοί παρουσιάζονται στο Παράρτημα.

Πίνακας 7.5.5: Βέλτιστες ποσότητες νερού ανά δεκαπενθήμερο, ανάλογα με την διαθεσιμότητα του νερού (ανοιξιιάτικο σιτάρι)

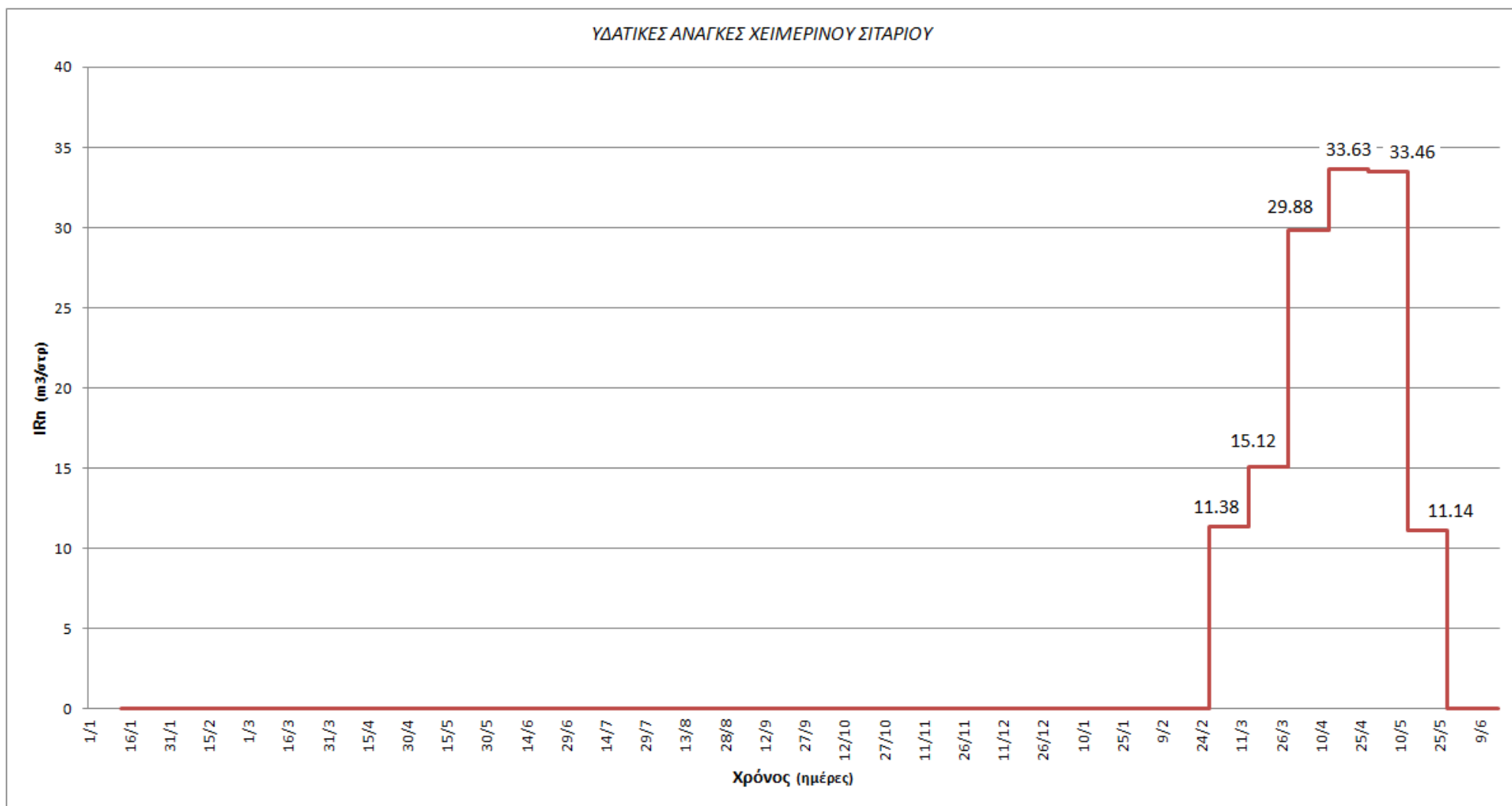
Διαθέσιμα ποσοστά νερού		Δεκαπενθήμερα					Σdi	Απόδοση
		3	4	5	6	7		
ΣDi	626.82	34.65	39.46	45.52	84.47	102.53	626.82	1.00
0.9 ΣDi	564.14	17.97	26.30	37.09	84.47	102.53	564.13	0.92
0.8 ΣDi	501.46	15.40	20.46	33.72	75.08	91.14	501.38	0.83
0.7 ΣDi	438.78	15.40	17.54	26.98	68.83	83.54	438.29	0.72
0.6 ΣDi	376.09	15.40	17.54	23.60	62.57	68.35	376.04	0.62

Πίνακας 7.5.6: Βέλτιστες ποσότητες νερού ανά δεκαπενθήμερο, ανάλογα με την διαθεσιμότητα του νερού (χειμερινό σιτάρι)

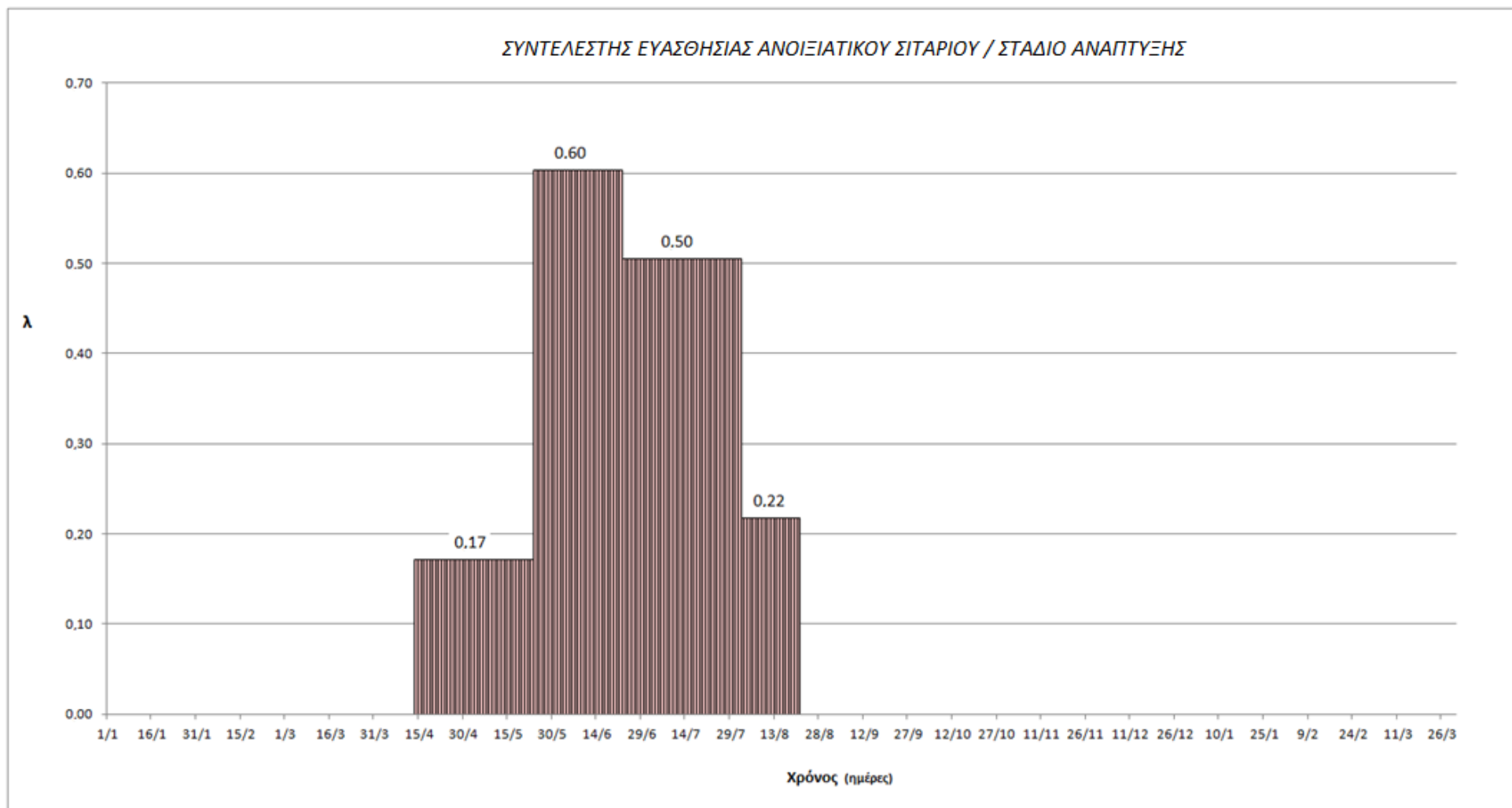
Διαθέσιμα ποσοστά νερού		Δεκαπενθήμερα						Σδι	Απόδοση
		8	9	10	11	12	13		
ΣDi	181.73	15.36	20.42	40.33	45.40	45.17	15.04	181.73	1.00
0.9 ΣDi	163.56	12.51	16.64	32.86	40.36	45.17	15.04	162.59	0.96
0.8 ΣDi	145.38	10.24	13.61	29.88	37.00	40.15	15.04	145.92	0.92
0.7 ΣDi	127.21	9.10	10.59	26.89	30.27	36.81	13.37	127.03	0.85
0.6 ΣDi	109.04	6.83	9.07	20.91	26.91	33.46	12.26	109.44	0.78



Σχήμα 7.5.1: Υδατικές ανάγκες ανοιξιάτικου σιταριού ανά δεκαπενθήμερο

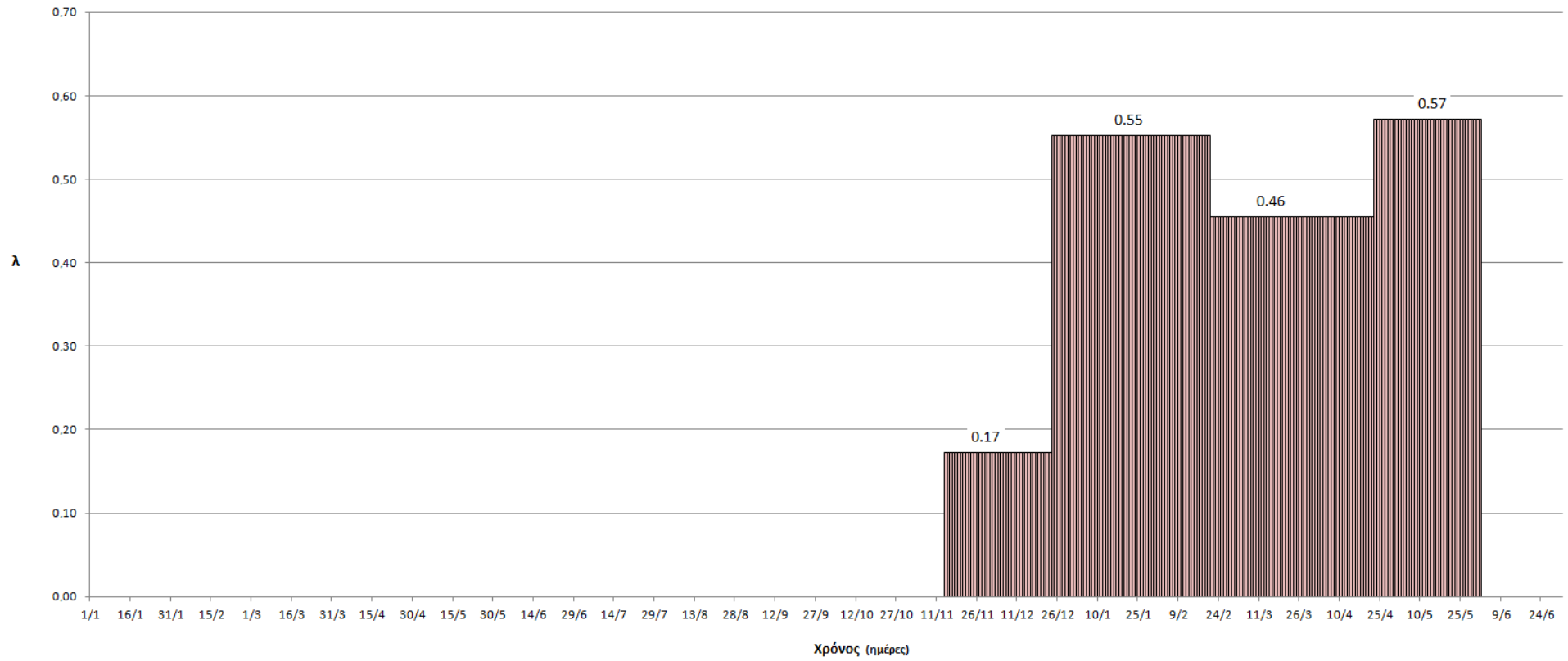


Σχήμα 7.5.2: Υδατικές ανάγκες χειμερινού σιταριού ανά δεκαπενθήμερο

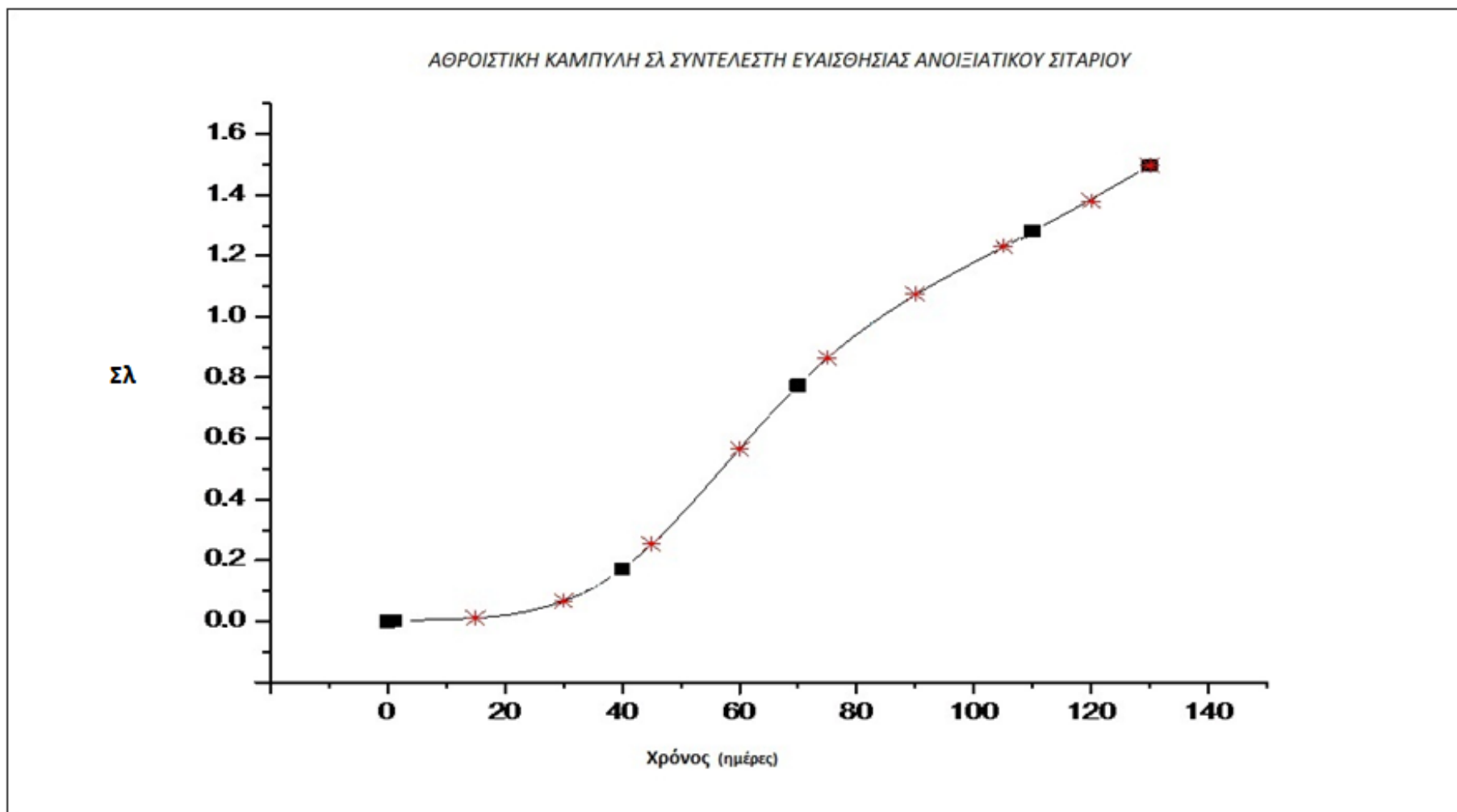


Σχήμα 7.5.3: Συντελεστής ευαισθησίας λ της ανοιξιότικης ποικιλίας του σιταριού σε κάθε στάδιο ανάπτυξης

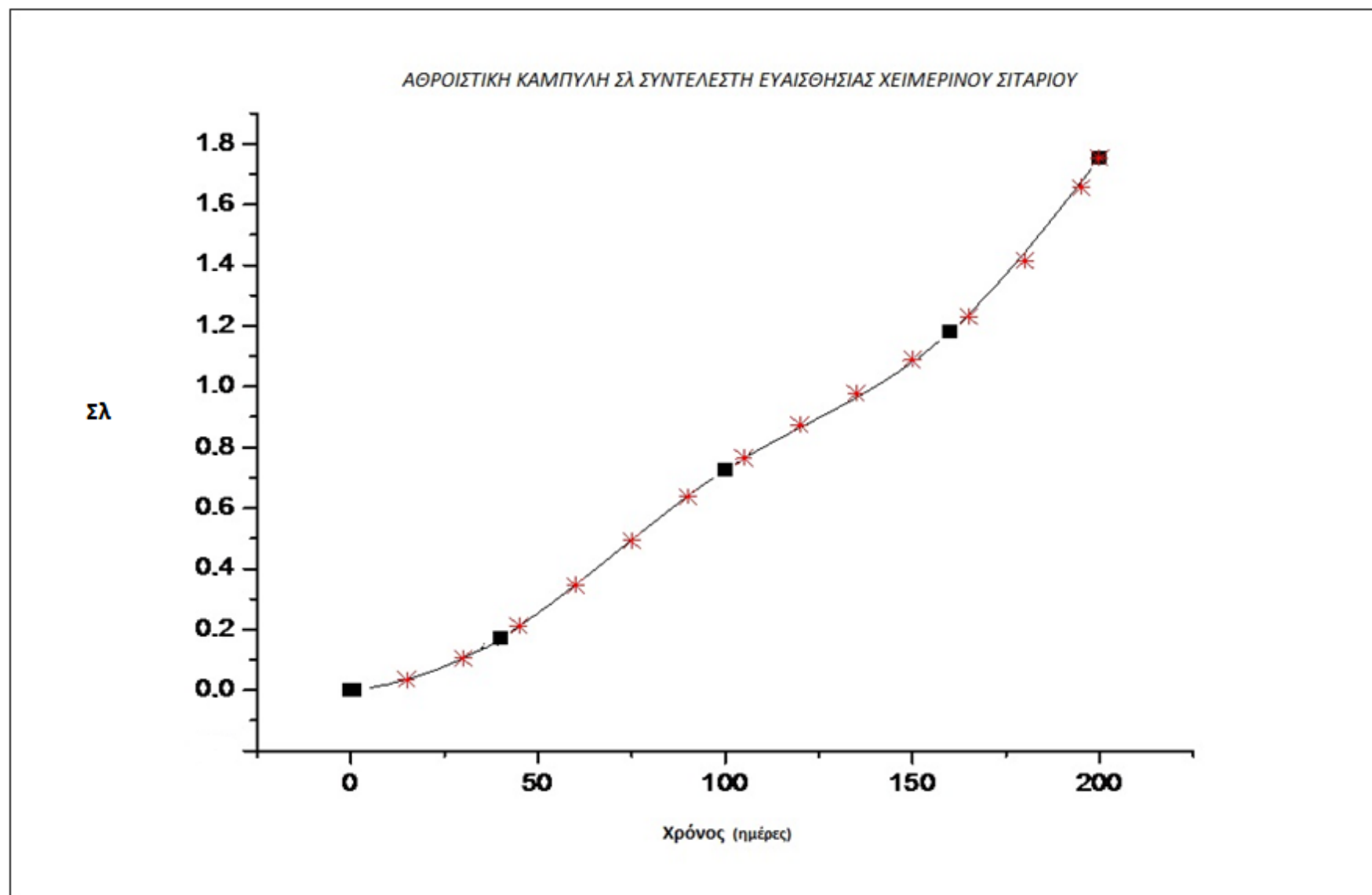
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ λ ΧΕΙΜΕΡΙΝΟΥ ΣΙΤΑΡΙΟΥ / ΣΤΑΔΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ



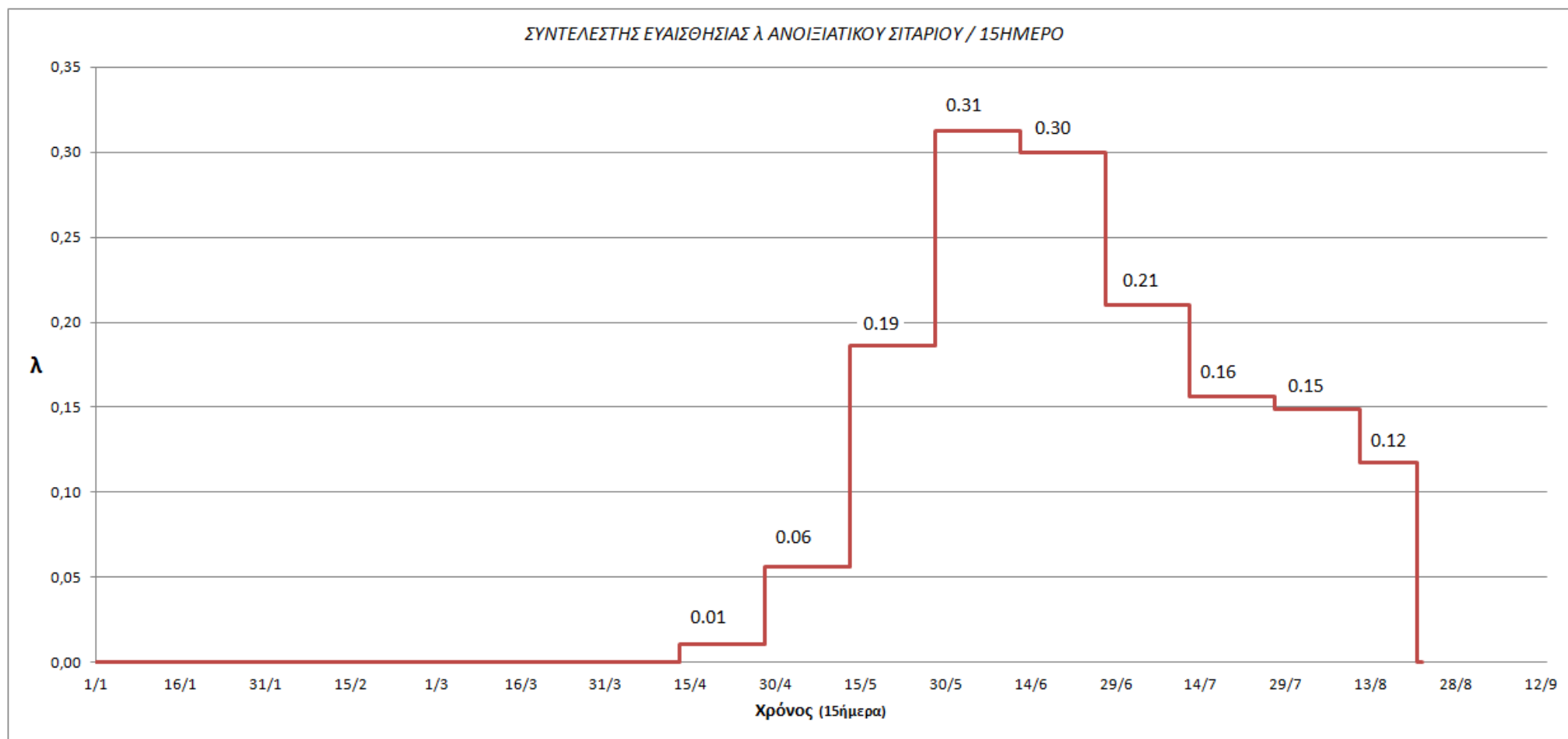
Σχήμα 7.5.4: Συντελεστής ευαισθησίας λ της χειμερινής ποικιλίας του σιταριού σε κάθε στάδιο ανάπτυξης



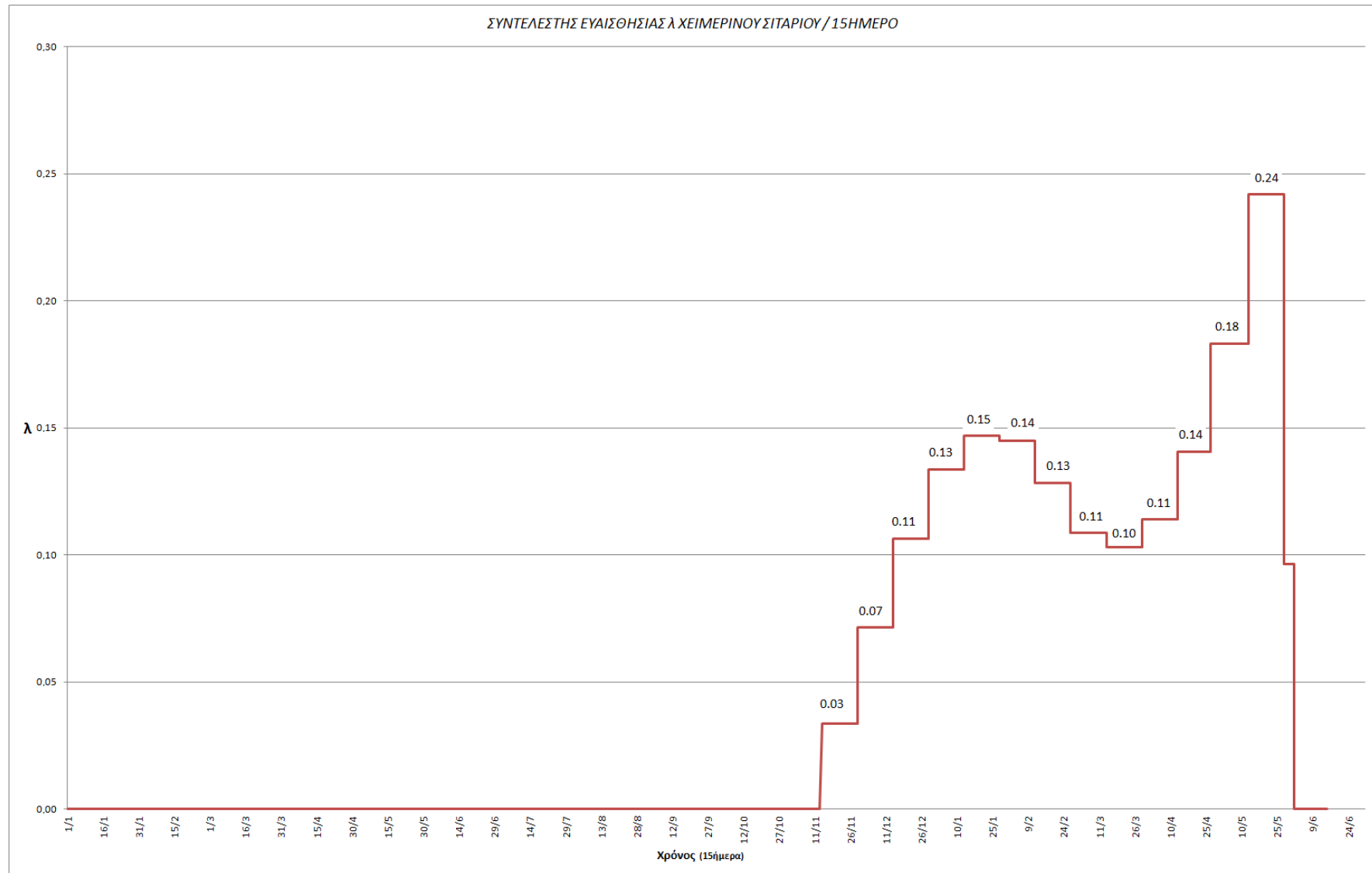
Σχήμα 7.5.5: Αθροιστική καμπύλη του συντελεστή ευαισθησίας λ και τιμές του συντελεστή ανά δεκαπενθήμερο για την καλλιέργεια του ανοιξιάτικου σιταριού



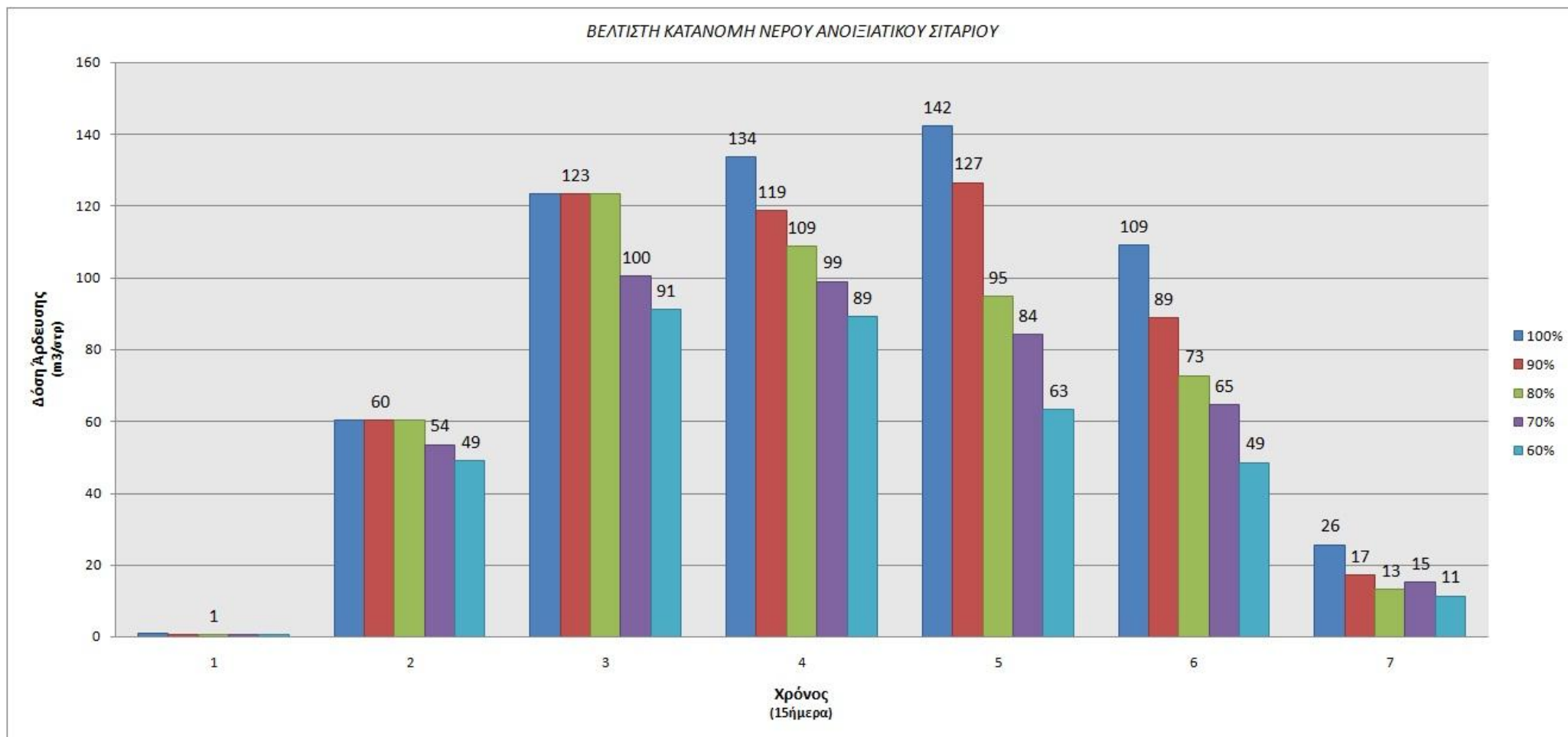
Σχήμα 7.5.6: Αθροιστική καμπύλη του συντελεστή ευαισθησίας λ και τιμές του συντελεστή ανά δεκαπενθήμερο για την καλλιέργεια του χειμερινού σιταριού



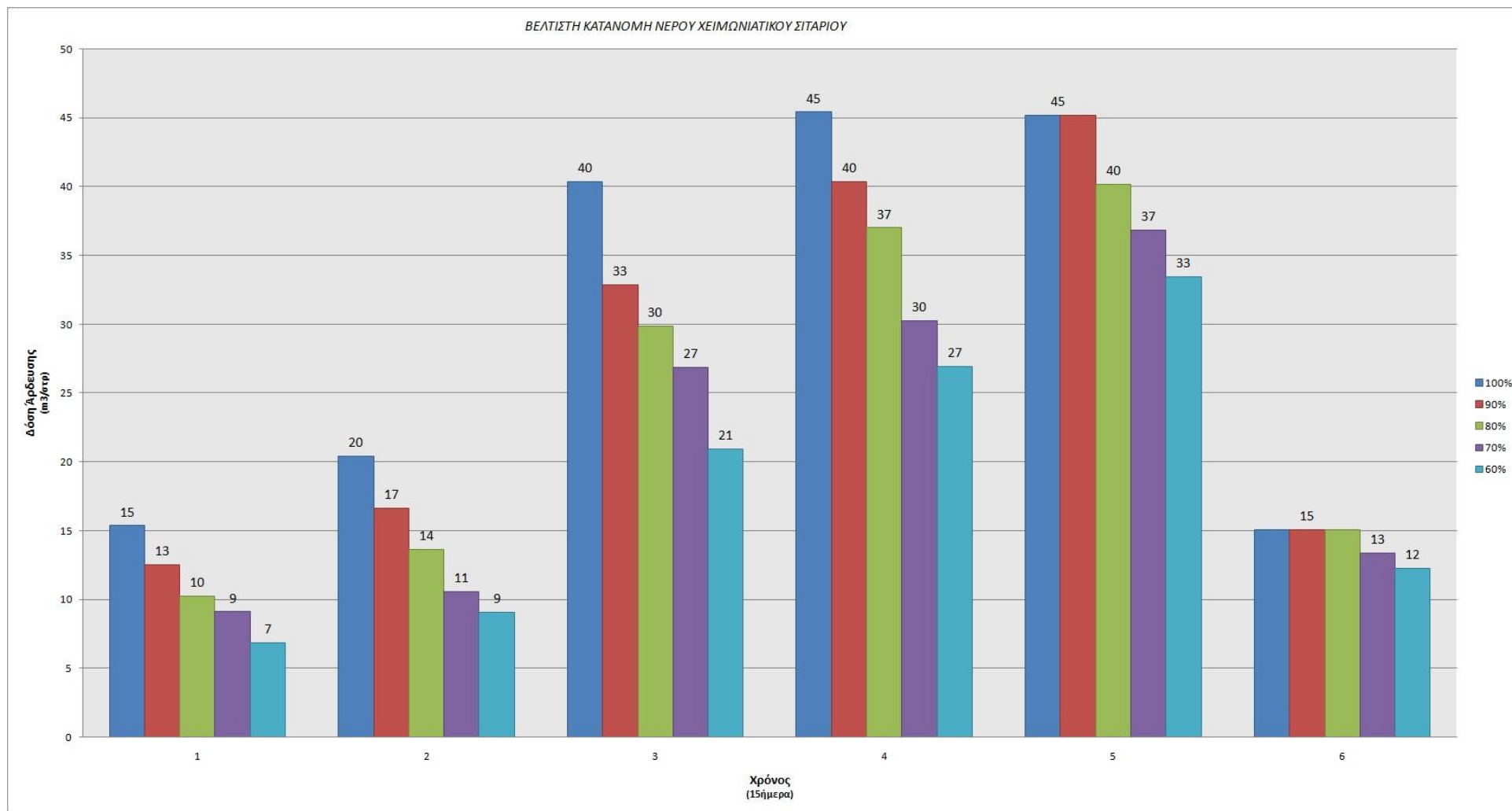
Σχήμα 7.5.7: Συντελεστής ευαισθησίας λ ανά δεκαπενθήμερο για την καλλιέργεια του ανοιξιάτικου σιταριού



Σχήμα 7.5.8: Συντελεστής ευαισθησίας λ ανά δεκαπενθήμερο για την καλλιέργεια του χειμερινού σιταριού



Σχήμα 7.5.9 Βέλτιστη κατανομή νερού ανά δεκαπενθήμερο σε τέσσερα διαφορετικά σενάρια διαθεσιμότητας νερού στην καλλιέργεια του ανοιξιάτικου σιταριού



Σχήμα 7.5.10 Βέλτιστη κατανομή νερού ανά δεκαπενθήμερο σε τέσσερα διαφορετικά σενάρια διαθεσιμότητας νερού στην καλλιέργεια του χειμερινού σιταριού

7.6 Φασόλια

Η καλλιεργητική περίοδο των φασολιών διαρκεί 90 ημέρες, η ημερομηνία σποράς είναι 29 Φεβρουαρίου και η ημερομηνία συγκομιδής είναι 28 Μαΐου. Τα φασόλια καλλιεργούνται σε λίγες μόνο περιοχές της Ελλάδας. Στο Νομό Λάρισα το 2006, σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Αρχή καλλιεργήθηκαν 702 στρέμματα. Πολλαπλασιάζοντας τις ανάγκες της καλλιέργειας (Σχήμα 7.6.1) με την έκταση έχουμε τα συνολικά κυβικά νερού που χρειάζεται η καλλιέργεια σε όλη την έκτασή της. Τα φασόλια λοιπόν, χρειάζονται για τις 90 μέρες που διαρκεί η καλλιεργητική περίοδος και σε έκταση 702 στρέμματα, 92,806 m³ νερό. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, οι υπολογισμοί γίνονται σε κυβικά μέτρα στο στρέμμα.

Στον πίνακα 7.6.1 φαίνονται οι υπολογισμένες τιμές της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (ET_0), του φυτικού συντελεστή (K_c), της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (ET_c), της ωφέλιμης βροχής (P_e) και των υδατικών αναγκών (IR_n).

Πίνακας 7.6.1: Υπολογισμός των υδατικών αναγκών των φασολιών

	Χρόνος Ημέρες	ET_0 (mm/day)	k_c	ET_c (mm/day)	P_e (mm/15days)	IR_n (m ³ /στρ)	IR_n (m ³ /στρ)
1 ^ο	29/2 – 14/3	27.49	0.5	13.74	20.60	0.00	132.20
2 ^ο	15/3 – 29/3	28.22	0.58	16.00	17.00	0.00	
3 ^ο	30/3 – 13/4	40.89	0.83	33.94	17.10	16.84	
4 ^ο	14/4 – 28/4	42.83	1.04	44.46	14.40	30.06	
5 ^ο	29/4 – 13/5	58.88	1.05	61.82	16.10	45.23	
6 ^ο	14/5 – 28/8	62.89	0.99	62.58	22.50	0.00	

Αφού υπολογιστούν οι υδατικές ανάγκες της καλλιέργειας, ακολουθεί ο υπολογισμός του συντελεστή ευαισθησίας λ . Στον πίνακα 7.6.2 παρουσιάζονται οι τιμές του λ σε κάθε στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας που έχουν προέλθει από τη σχέση :

$$\lambda = 0.9964k_y^{1.092} \quad (7.7)$$

Πίνακας 7.6.2: Υπολογισμός του συντελεστή ευαισθησίας λ για την καλλιέργεια των φασολιών

Στάδια Ανάπτυξης	Δείκτης Ευαισθησίας λ	Ημέρες Σταδίων Ανάπτυξης (Αθροιστικά)	Σλ (Στάδιο ανάπτυξης)	Ημέρες 15ήμερα (Αθροιστικά)	Σλ (15ημέρων)	Ημερομηνίες (15ημέρων)	λ (15ήμερου)
29/2 – 19/3	0.17	20	0.17	15	0.05	29/2 – 14/3	0.05
20/3 - 18/4	0.10	50	1.28	30	0.50	15/3 – 29/3	0.45
18/4 - 18/5	0.73	80	2.01	45	1.10	30/3 – 13/4	0.59
19/5 - 28/5	0.17	90	2.18	60	1.58	14/4 – 28/4	0.49
				75	1.91	29/4 – 13/5	0.33
				90	2.18	14/5 – 28/8	0.26

Η συνολική δόση άρδευσης της καλλιεργητικής περιόδου, για την καλλιέργεια των φασολιών, είναι $\Sigma D_i = 178.47 \text{ m}^3 / \text{στρέμμα}$.

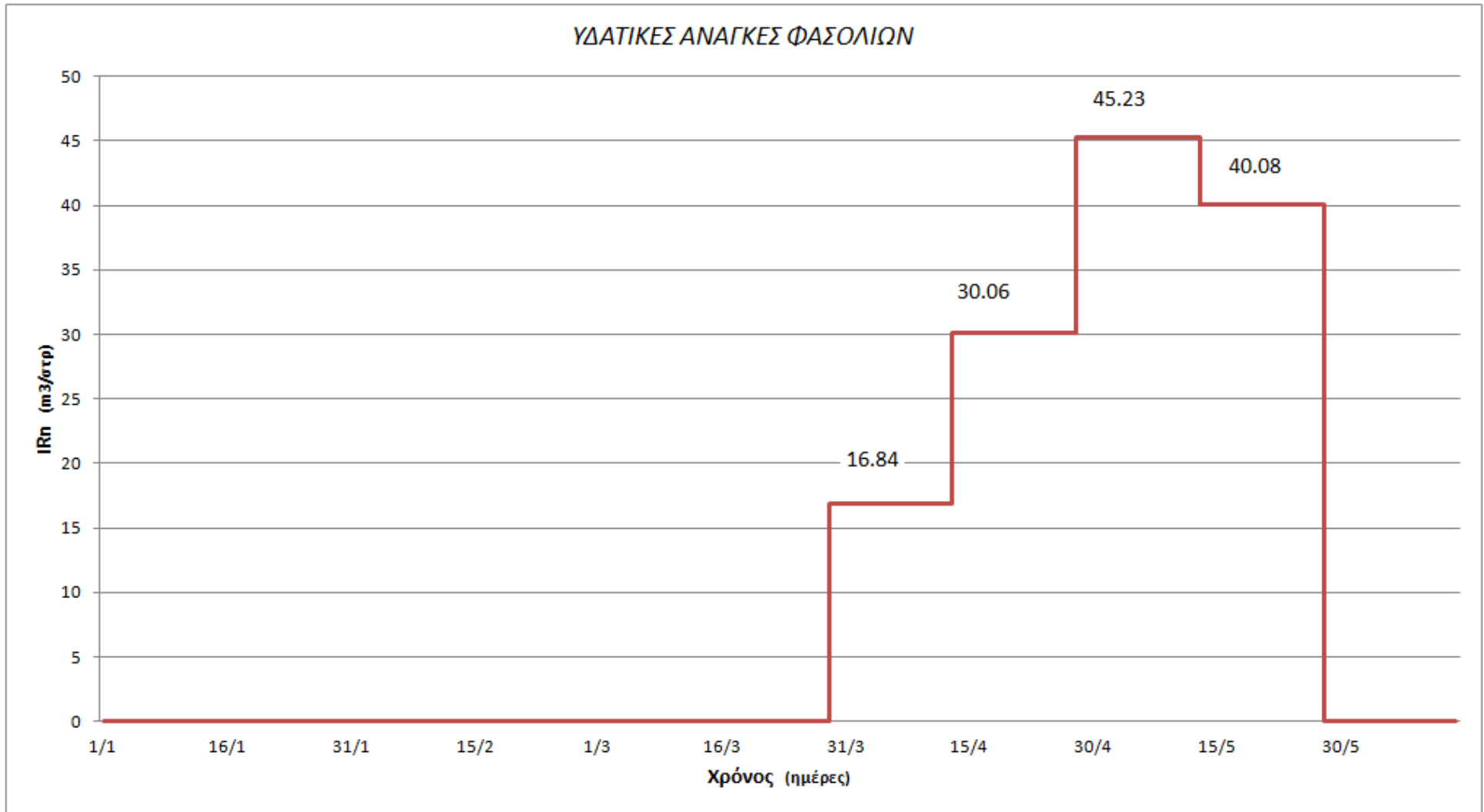
Οι ποσότητες νερού, για καθένα από τα τέσσερα σενάρια που μελετήθηκαν ξεχωριστά, είναι οι εξής:

- * $0.9 \Sigma D_i = 160.63 \text{ m}^3 / \text{στρέμμα}$
- * $0.8 \Sigma D_i = 143.78 \text{ m}^3 / \text{στρέμμα}$
- * $0.7 \Sigma D_i = 124.93 \text{ m}^3 / \text{στρέμμα}$
- * $0.6 \Sigma D_i = 107.08 \text{ m}^3 / \text{στρέμμα}$

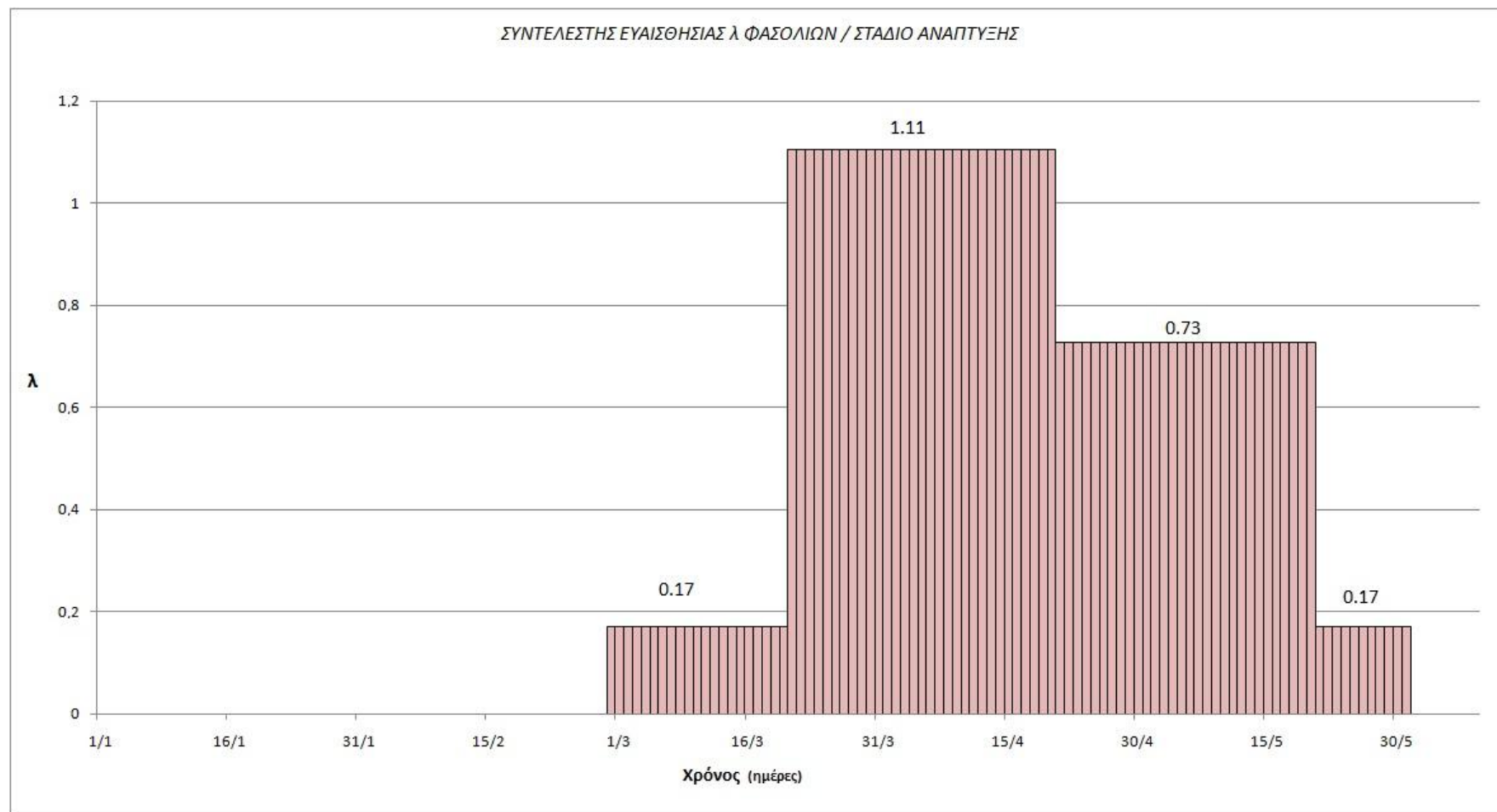
Τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης φαίνονται στον πίνακα 7.6.3, ενώ οι υπολογισμοί παρουσιάζονται στο Παράρτημα.

Πίνακας 7.6.3: Βέλτιστες ποσότητες νερού ανά δεκαπενθήμερο, ανάλογα με την διαθεσιμότητα του νερού (φασόλια)

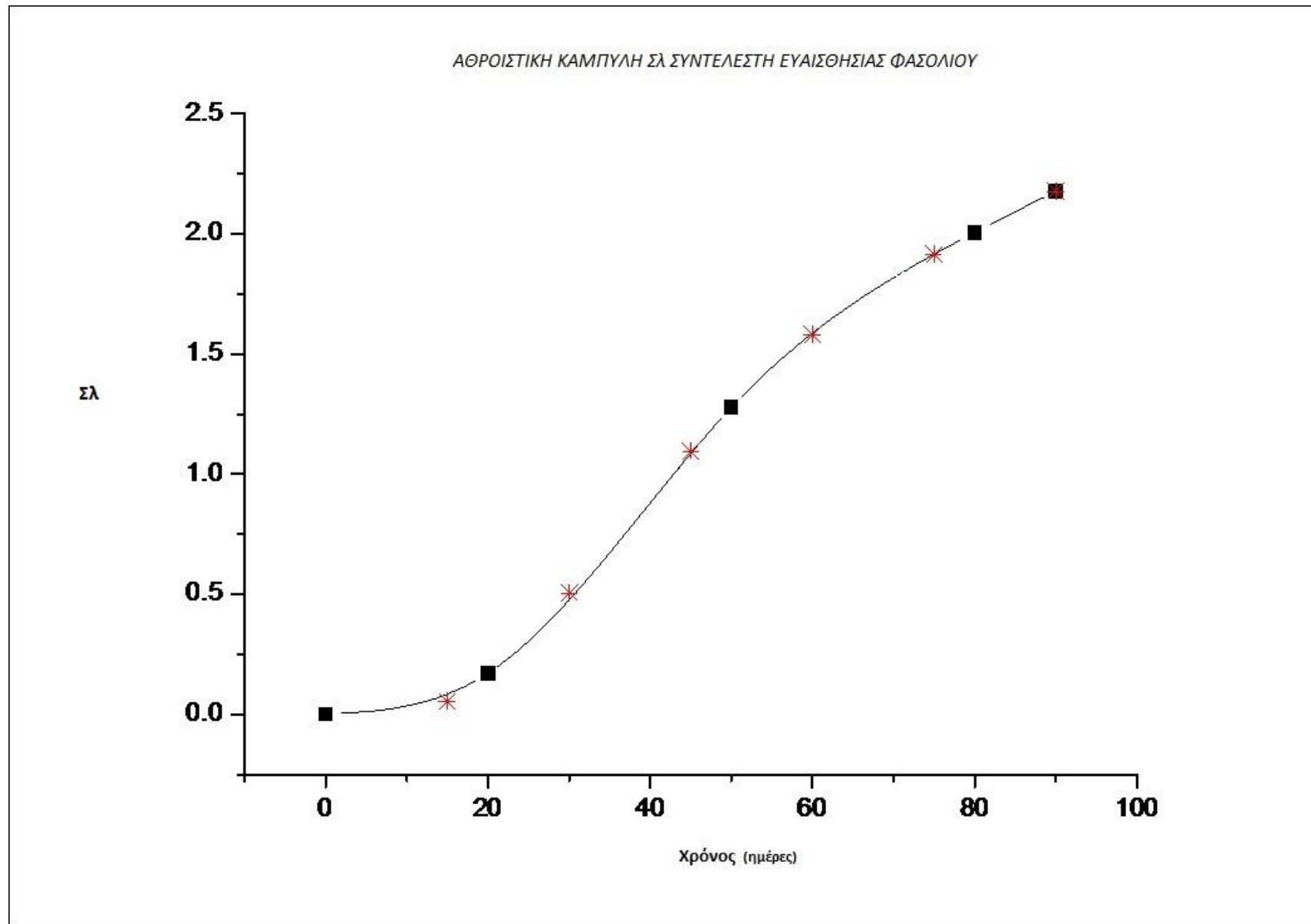
Διαθέσιμα ποσοστά νερού		Δεκαπενθήμερα				Σdi	Απόδοση
		3	4	5	6		
ΣDi	178.47	22.73	40.58	61.06	54.10	178.47	1.00
0.9 ΣDi	160.63	22.73	40.58	61.06	36.07	160.44	0.95
0.8 ΣDi	142.78	22.73	36.07	45.23	36.07	140.10	0.87
0.7 ΣDi	124.93	22.73	33.06	40.71	28.05	124.56	0.80
0.6 ΣDi	107.08	22.73	27.05	31.66	24.05	105.49	0.71



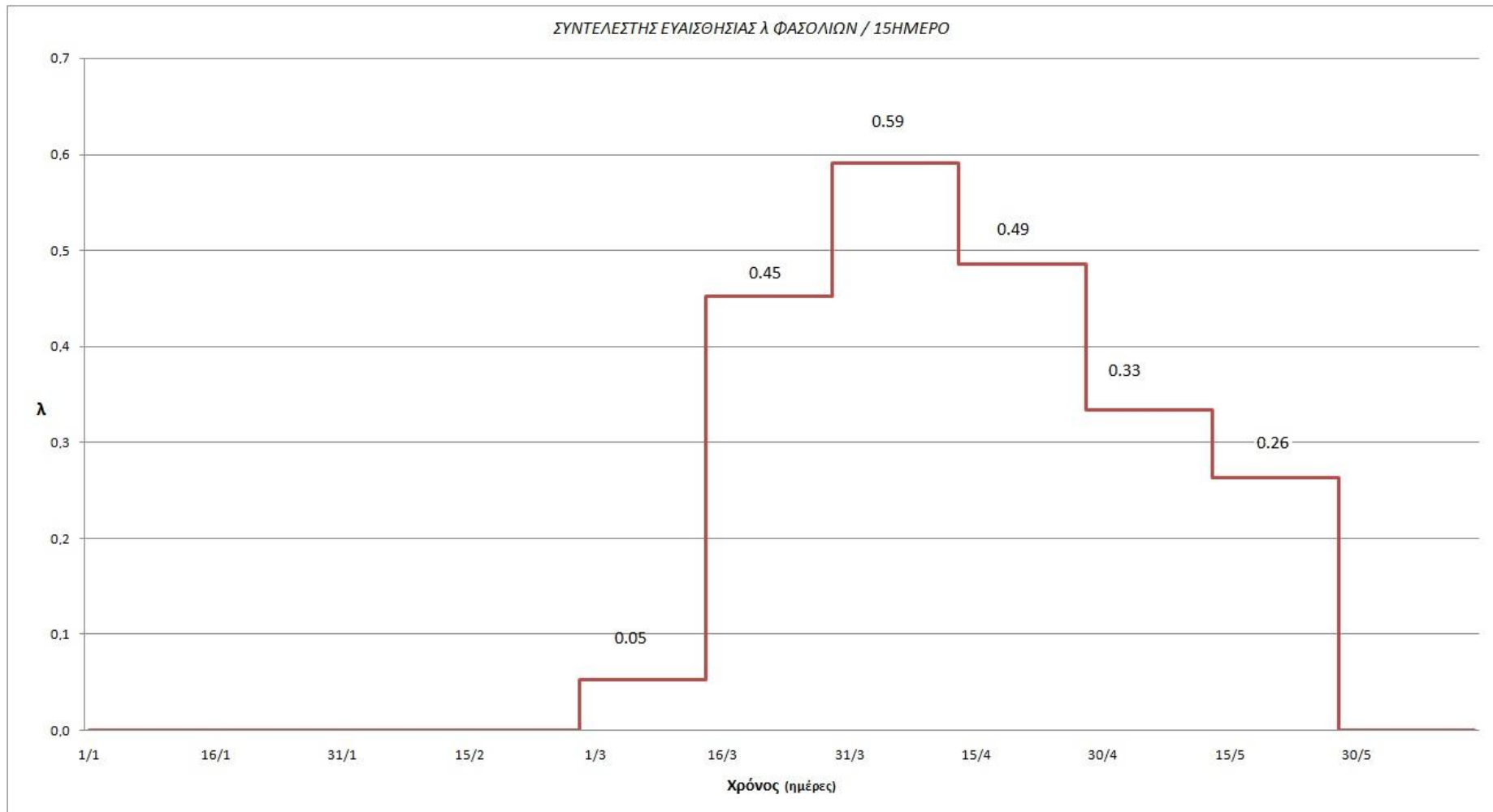
Σχήμα 7.6.1: Υδατικές ανάγκες φασολιών ανά δεκαπενθήμερο



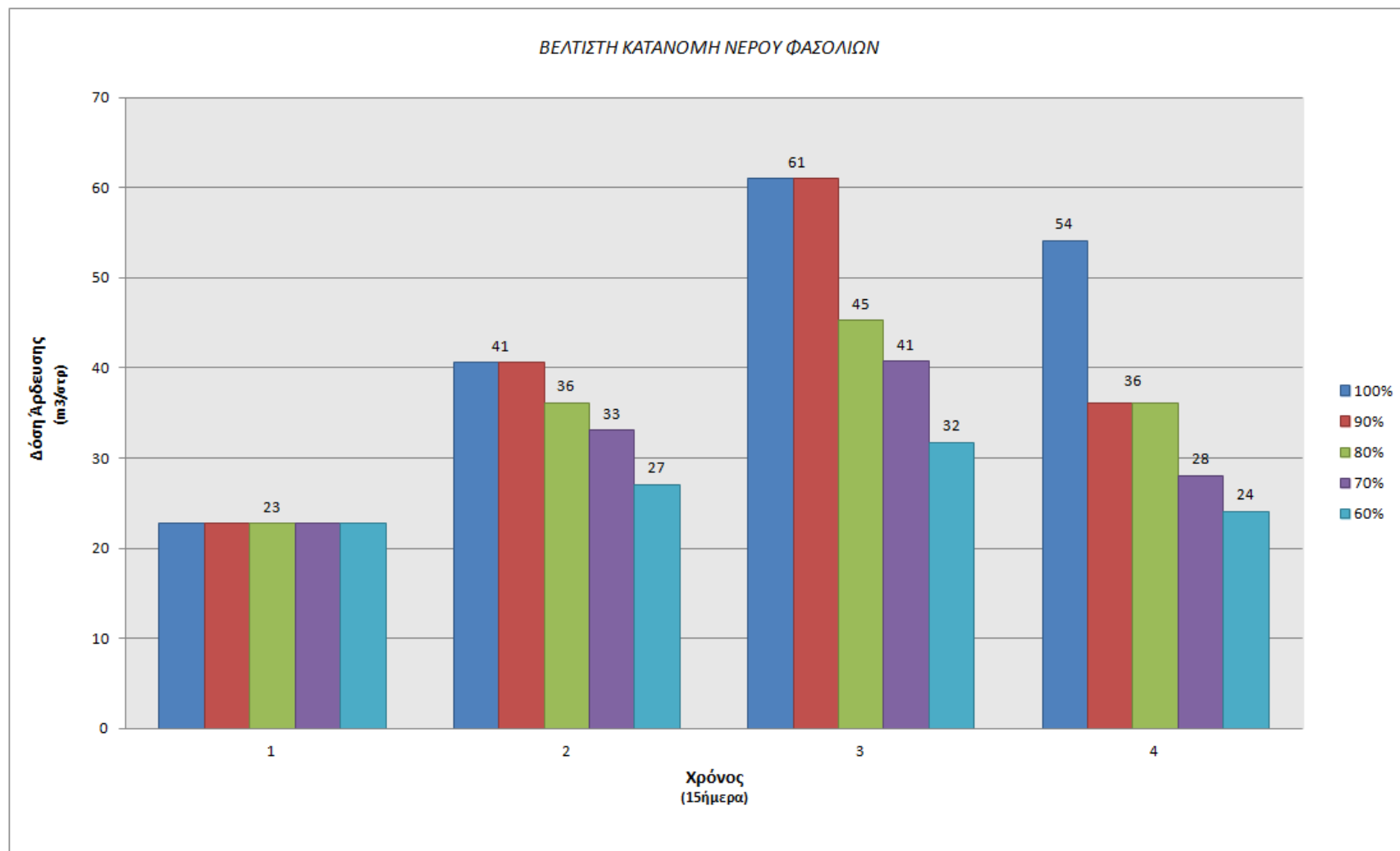
Σχήμα 7.6.2: Συντελεστής ευαισθησίας λ φασολιών σε κάθε στάδιο ανάπτυξης



Σχήμα 7.6.3: Αθροιστική καμπύλη του συντελεστή ευαισθησίας λ και τιμές του συντελεστή ανά δεκαπενθήμερο για την καλλιέργεια των φασολιών



Σχήμα 7.6.4: Συντελεστής ευαισθησίας λ ανά δεκαπενθήμερο για την καλλιέργεια των φασολιών



Σχήμα 7.6.5 Βέλτιστη κατανομή νερού ανά δεκαπενθήμερο σε τέσσερα διαφορετικά σενάρια διαθεσιμότητας νερού στην καλλιέργεια των φασολιών

Κεφάλαιο 8^ο

Συζήτηση και Συμπερασματικά Σχόλια

8.1 Γενικά Σχόλια

- Ελλειμματική άρδευση είναι η πρακτική της εκ προθέσεως υπό-άρδευση καλλιεργειών. Η πρακτική αυτή μπορεί να είναι προτιμότερη από την πλήρη άρδευση όταν αποθέματα νερού είναι περιορισμένα ή το κόστος άρδευσης είναι υψηλό. Όταν ένα σύστημα σχεδιαστεί για ελλειμματική άρδευση μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση του αγροτικού εισοδήματος, σημαντική μείωση της ενέργειας, του νερού και των κεφαλαίων. Τα πλεονεκτήματα που πηγάζουν από την εφαρμογή της ελλειμματικής άρδευσης απαιτούν μεγάλα διαστήματα μεταξύ των αρδεύσεων και ομοιόμορφα κατανομημένη χαμηλή υγρασία εδάφους. Συμπεραίνεται λοιπόν ότι η ελλειμματική άρδευση μπορεί να προσφέρει σημαντικά οφέλη υπό ορισμένες συνθήκες. Τα οφέλη αυτά εξαρτώνται περισσότερο από τον τρόπο σχεδίασης του συστήματος και την σωστή οικονομική προσέγγιση.
- Επειδή η χρήση του νερού στη γεωργία είναι το μεγαλύτερο ποσοστό, η αύξηση της αποτελεσματικότητας της χρήσης του, που είναι κάτω του 55%, θα συμβάλλει αναμφίβολα στην εξοικονόμηση αλλά και διασφάλιση του νερού για το μέλλον. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί εκτός των άλλων και με την εφαρμογή τεχνικών άρδευσης που απαιτούν μειωμένη ποσότητα νερού, όπως η ελλειμματική άρδευση και η υπόγεια άρδευση σε περιόδους με έλλειψη νερού.
- Μέσω της ελλειμματικής άρδευση ο έλεγχος της βλαστικής ανάπτυξης είναι πιο εύκολος. Επιπλέον βελτιώνεται η αποδοτικότητα της χρήσης νερού για άρδευση και η εξοικονόμηση νερού για άρδευση. Τέλος σε κάποια πειράματα αποδείχτηκε ότι υπάρχει βελτίωση της ποιότητας των φρούτων.
- Όπως προαναφέρθηκε η εφαρμογή της ελλειμματικής άρδευσης εγκυμονεί κάποιους κινδύνους. Καλό θα ήταν να αποφεύγεται κατά την διάρκεια της ανθοφορίας διότι

μειώνεται η απόδοση και μπορεί να προκαλέσει ανεπανόρθωτες ζημίες στην καλλιέργεια όπως πτώση του καρπού. Επιπλέον σε ζεστά κλίματα μπορεί να προκληθούν εγκαύματα.

Η υιοθέτηση των πρακτικών άρδευσης με τη δυνατότητα να μειώσουν τη χρήση νερού είναι απαραίτητη για τη δημιουργία γεωργικών συστημάτων που χρησιμοποιούν το διαθέσιμο νερό πιο αποτελεσματικά και να διατηρούν ακόμα την ικανότητα παραγωγής των καλλιεργειών.

Η αρδευόμενη γεωργία στον ελλαδικό χώρο αποτελεί το μεγαλύτερο καταναλωτή καλής ποιότητας νερού. Η αύξηση της αρδευτικής αποδοτικότητας και ο ορθολογικός προγραμματισμός των αρδεύσεων, κυρίως σε περιόδους ανεπάρκειας, συμβάλει στην εξοικονόμηση σημαντικής ποσότητας νερού. Σαφώς η μέγιστη παραγωγή βιομάζας δεν μπορεί να επιτευχθεί από τη στιγμή που εμφανίζονται περίοδοι έλλειψης νερού. Η έκταση στην οποία η οικονομική παραγωγή επηρεάζεται από το έλλειμμα νερού εξαρτάται από διάφορες καταστάσεις, όπως η διάρκεια διαφόρων σταδίων ανάπτυξης της καλλιέργειας και ο βαθμός στον οποίο μπορεί η καλλιέργεια να επανέλθει μετά την περίοδο έλλειψης νερού.

Η κατανομή του νερού κατά την αρδευτική περίοδο θα πρέπει να είναι ανάλογη με την ευαισθησία των διαφόρων σταδίων ανάπτυξης της καλλιέργειας στην έλλειψη νερού. Επίσης, θα πρέπει να εξοικονομούνται ποσότητες νερού κατά τις λιγότερο ευαίσθητες περιόδους για να εφαρμοσθούν κατά τις περισσότερες.

Με βάση τα παραπάνω, ο προγραμματισμός των αρδεύσεων σε περιπτώσεις λειψυδρίας θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη την ευαισθησία των διαφόρων σταδίων ανάπτυξης της καλλιέργειας στην έλλειψη νερού, τις συνολικά διαθέσιμες ποσότητες καθώς και το μέγεθος του συστήματος διανομής σε σχέση με τις υδατικές απαιτήσεις των φυτών.

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης, έγινε έρευνα για να βρεθούν σχέσεις που συνδέουν το συντελεστή ευαισθησίας λ που αναφέρεται στη σχέση του Jensen (1968) με το συντελεστή ανταπόκρισης k_y που αναφέρεται στη σχέση των Doorenbos and Kassam (1979).

Με τη διαδικασία που παρουσιάστηκε σε παραπάνω κεφάλαιο βρέθηκε η σχέση 5.4 που συνδέει το συντελεστή ευαισθησίας λ με τον συντελεστή ανταπόκρισης k_y . Έπειτα δόθηκαν τιμές στο λόγο (ET_a/ET_m) και ο συντελεστής k_y πήρε τις τιμές που δίνει ο FAO. Με αυτόν τον τρόπο υπολογίστηκαν διάφορες τιμές του συντελεστή λ . Έχοντας πλέον ζεύγη τιμών $\lambda - k_y$, για κάθε στάδιο ανάπτυξης των καλλιεργειών που επιλέχθηκαν να μελετηθούν,

βρέθηκαν εμπειρικές σχέσεις που συνδέσουν τα δύο αυτά μεγέθη. Οι σχέσεις αυτές έχουν συντελεστές προσδιορισμού (R^2) οι οποίοι πλησιάζουν τη μονάδα, γεγονός που κάνει τις σχέσεις αυτές αρκετά αξιόπιστες.

- Υπολογισμός συντελεστή ευαισθησίας λ

Στη συνέχεια της εργασίας υπολογίστηκαν, από τις παραπάνω εξισώσεις, οι τιμές του συντελεστή ευαισθησίας λ , για κάθε στάδιο ανάπτυξης των καλλιεργειών που μελετήθηκαν. Για τον ακριβέστερο προγραμματισμό των αρδεύσεων, αποφασίστηκε να γίνει υπολογισμός του συντελεστή ευαισθησίας ανά δεκαπέντε μέρες. Ο υπολογισμός αυτός έγινε με τη διαδικασία που προτείνει ο Tsakiris (1982), η οποία υπολογίζει τιμές του συντελεστή ευαισθησίας σε μικρότερα χρονικά διαστήματα μέσω της αθροιστική καμπύλης του συντελεστή ευαισθησίας $\Sigma\lambda$.

- Υδατικές ανάγκες καλλιεργειών

Με χρήση των διαδικασιών που περιγράφηκαν αναλυτικά στο 4^ο Κεφάλαιο, έγινε εκτίμηση των αναγκών σε νερό άρδευσης, καθεμιάς από τις καλλιέργειες που μελετήθηκαν. Καταρχήν υπολογίστηκε η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς και οι φυτικοί συντελεστές όλων των καλλιεργειών. Στη συνέχεια, υπολογίστηκε η εξατμισοδιαπνοή κάθε καλλιέργειας, η γνώση της οποίας σε συνδυασμό με τη γνώση της αντίστοιχης ωφέλιμης βροχόπτωσης, επέτρεψε την εύρεση των καθαρών αναγκών κάθε καλλιέργειας σε αρδευτικό νερό.

- Υπολογισμός εξατμισοδιαπνοής

Η εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (ET_o), που είναι απαραίτητη για την εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών, έγινε με εφαρμογή της μεθόδου FAO Penman-Monteith χρησιμοποιώντας τη μέση τιμή μηνιαίων κλιματικών δεδομένων των ετών 1977-2004, του σταθμού της Λάρισας (Πίνακας 4.1). Η χρησιμοποίηση του συγκεκριμένου σταθμού οφείλεται στο ότι διαθέτει αξιόπιστες μετρήσεις των περισσότερων κλιματικών παραμέτρων που χρησιμοποιεί η μέθοδος FAO Penman-Monteith.

Οι φυτικοί συντελεστές (K_c), για κάθε καλλιέργεια, υπολογίστηκαν σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην Παράγραφο 4.4. Οι τιμές της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (ET_o) και του φυτικού συντελεστή (K_c) υπολογίστηκαν σύμφωνα με τις ακριβείς ημερομηνίες της καλλιεργητικής περιόδου, για κάθε καλλιέργεια ξεχωριστά και από αυτές τις τιμές υπολογίστηκε και η εξατμισοδιαπνοή της κάθε καλλιέργειας (ET_c). Οι τιμές των υπολογισμών αυτών υπάρχουν στο 7^ο Κεφάλαιο.

- Υπολογισμός ωφέλιμης βροχόπτωσης

Η ωφέλιμη βροχόπτωση (P_e), για κάθε καλλιέργεια, υπολογίστηκε με βάση το μέσο όρο ημερήσιων τιμών βροχόπτωσης των ετών 1955-2001, του σταθμού της Λάρισας. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος USDA που αναφέρεται στην Παράγραφο 4.5 οι σχέσεις (4.8). Τα αποτελέσματα των υπολογισμών υπάρχουν στο 7^ο Κεφάλαιο.

- Υπολογισμός υδατικών αναγκών

Το υδατικό ισοζύγιο μιας καλλιέργειας διαμορφώνεται από τις εισροές νερού που αποτελούνται από το άθροισμα του νερού που προέρχεται από την ωφέλιμη βροχή (P_e), την εδαφική υγρασία που υπάρχει αποθηκευμένη στη ζώνη του ριζοστρώματος στην αρχή της βλαστικής περιόδου (SM), το νερό που φτάνει με τριχοειδή ανύψωση στη ζώνη του ριζοστρώματος από βαθύτερα στρώματα (GW), και τις εκροές νερού που οφείλονται στην εξατμισοδιαπνοή (ET_c). Αν η εισροή νερού υπολείπεται της εκροής τότε δεν καλύπτονται οι ανάγκες της καλλιέργειας για κανονική ανάπτυξη και απόδοση δηλαδή το ισοζύγιο είναι ελλειμματικό και έχει τη μορφή:

$$ET_c - (P_e + SM + GW) = D_{ef} \quad (8.1)$$

όπου:

D_{ef} το έλλειμμα νερού της καλλιέργειας
και τα υπόλοιπα όπως ορίστηκαν προηγούμενα.

Κάτω από τέτοιες συνθήκες, η καλλιέργεια δεν θα αναπτυχθεί ούτε θα αποδώσει κανονικά. Είναι προφανές ότι, για την επίτευξη απρόσκοπτης ανάπτυξης και κανονικής απόδοσης, η καλλιέργεια πρέπει να εφοδιαστεί με επιπρόσθετο νερό ίσο με το έλλειμμα, D_{ef} . Το έλλειμμα αυτό προσδιορίζει λοιπόν τις καθαρές ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό άρδευσης (IR_n), οι οποίες δίνονται, όπως προαναφέρθηκε στο 4^ο Κεφάλαιο, από τη σχέση:

$$IR_n = ET_c - (P_e + SM + GW) \quad (8.2)$$

Θεωρώντας, στην παρούσα εφαρμογή, ότι $SM = 0$, με την προϋπόθεση ότι η αποθηκευμένη στο έδαφος υγρασία στην αρχή και στο τέλος της βλαστικής περιόδου είναι ίδια και $GW = 0$, και γνωρίζοντας τα ET_c και P_e , με χρήση της σχέσης (8.2), υπολογίστηκαν

οι καθαρές, σε νερό, δεκαπενθήμερες ανάγκες των καλλιεργειών και δίνονται στο 7^ο Κεφάλαιο.

8.2 Σχολιασμός των αποτελεσμάτων

8.2.1 Αραβόσιτος

Ο αραβόσιτος (*Zea mays* L.) ανήκει στη φυλή *Maydeae* της οικογένειας *Gramineae* και αποτελεί το μοναδικό είδος *Zea*. Καλλιεργείται κυρίως για τον καρπό του και δευτερευόντως για παραγωγή βιομάζας για άμεση κατανάλωση ή ενσίρωση. Ο καρπός του χρησιμοποιείται κυρίως ως κτηνοτροφή. Χρησιμοποιείται επίσης στη διατροφή του ανθρώπου κατά διάφορους τρόπους σε διάφορες περιοχές. Τέλος υποπροϊόντα του χρησιμοποιούνται στις βιομηχανίες τροφίμων ή για άλλες βιομηχανικές χρήσεις. Καλλιεργείται κυρίως σε μεταβατικούς τύπους κλιμάτων μεταξύ θαλάσσιου και ηπειρωτικού. Είναι φυτό τροπικής προέλευσης, το οποίο όμως καλλιεργείται και στις εύκρατες ζώνες. Η ζώνη καλλιέργειας του βρίσκεται μεταξύ 48^ο Β έως 35^ο Ν γεωγραφικού πλάτους.

Οι απαιτήσεις του αραβόσιτου σε νερό για ικανοποιητική παραγωγή κυμαίνονται μεταξύ 440 – 800 mm στο σύνολο της καλλιεργητικής περιόδου (Καραμάνος, 1999). Οι μέγιστες υδατικές ανάγκες παρατηρούνται το 4^ο και 5^ο δεκαπενθήμερο (Πίνακας 7.2). Για τα ελληνικά δεδομένα, η περίοδος αυτή είναι η ξηρότερη του έτους και επομένως είναι αναγκαία κατά το διάστημα αυτό η εφαρμογή αρδεύσεων για να διατηρηθεί η παραγωγή σε ανεκτά επίπεδα. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς που έγιναν ο συντελεστής ευαισθησίας λ είναι μεγαλύτερος στο δεύτερο στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας, δηλαδή στο στάδιο της βλάστησης. Στη διαδικασία βέλτιστης κατανομής του διαθέσιμου νερού, σε όλα τα σενάρια διαθεσιμότητας νερού, το 2^ο και 3^ο δεκαπενθήμερο αποτελούν προτεραιότητα, διότι παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη ευαισθησία στην έλλειψη νερού.

Οι αποδόσεις της καλλιέργειας σε συνθήκες μειωμένης διαθεσιμότητας νερού είναι αρκετά ικανοποιητικές, όταν δίνεται στην καλλιέργεια έως και το 70% των αναγκών της. Γενικά, παρατηρείται έντονη μείωση της απόδοσης, όσο μειώνεται η διαθέσιμη ποσότητα νερού. Πιο συγκεκριμένα, η απόδοση στα τρία πρώτα σενάρια μειώνεται περίπου το ίδιο, ενώ

παρατηρείται μεγάλη πτώση στο τελευταίο σενάριο διαθεσιμότητας, γεγονός που μπορεί να καταστήσει ακατάλληλη την κατανομή.

8.2.2 Αραχίδα

Η αραχίδα είναι ποώδης μονοετής ή διετής φυτό της οικογένειας Fabaceae. Το γένος *Arachis* περιλαμβάνει εννέα συνολικά είδη, με αντιπροσωπευτικότερο την αραχίδα ή κοινά αράπικο φιστίκι. Η καλλιέργεια της θεωρείται εύκολη χωρίς ιδιαίτερες καλλιεργητικές φροντίδες. Η αραχίδα δημιουργεί ένα ευρύ ριζικό σύστημα που συγκρατεί ισχυρά το χώμα και το γεγονός ότι εμπλουτίζει το έδαφος με άζωτο, την κάνει να θεωρείται κατάλληλη ώστε να εμποδίσει τη διάβρωση και να βελτιώσει την ποιότητα των εδαφών.

Η σπορά γίνεται τέλη Απριλίου αρχές Μάιου, ενώ η συλλογή τέλη Σεπτεμβρίου αρχές Οκτώβρη. Αν και αναπτύσσεται σε περίοδο με έντονη ξηρασία, δεν παρουσιάζει αυξημένες υδατικές ανάγκες. Οι μέγιστες ανάγκες παρουσιάζονται το 5^ο και 6^ο δεκαπενθήμερο 75.95 και 86.51 m³/στρ. αντίστοιχα, δηλαδή στο 3^ο στάδιο ανάπτυξης όπου είναι η περίοδος ανθοφορίας (Πίνακας 7.3.1). Την ίδια περίοδο, συμπεριλαμβανομένου και του 4^{ου} δεκαπενθημέρου, παρουσιάζει και τους υψηλότερους συντελεστές ευαισθησίας. Γενικά οι τιμές των συντελεστών ευαισθησίας δεν είναι τόσο υψηλοί γεγονός που αποδεικνύει ότι η καλλιέργεια δεν είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στην έλλειψη νερού (Πίνακας 7.3.2).

Οι αποδόσεις της καλλιέργειας σε συνθήκες μειωμένης διαθεσιμότητας νερού είναι αρκετά ικανοποιητικές και εδώ, όταν δίνεται στην καλλιέργεια έως και το 70% των αναγκών της σε νερό. Αναλύοντας τις τιμές των αποδόσεων παρατηρούμε αναλογική πτώση της απόδοσης, γεγονός που ήταν και το αναμενόμενο.

8.2.3 Πατάτα

Η πατάτα γνωστή ως “γεώμηλο” , είναι φυτό που ανήκει στην οικογένεια των Solanaceae. Καλλιεργείται σαν ετήσιο με βιολογικό κύκλο 3-5 μήνες, ανάλογα με την ποικιλία και τις κλιματολογικές συνθήκες. Η ανάπτυξη του φυτού είναι συμπαγής και θαμνώδης, αλλά πολύ ζωηρή σε μακρούς βλαστούς. Γενικά ευδοκιμεί σε σχετικά ψυχρά και

δροσερά κλίματα. Η καλύτερη παραγωγή επιτυγχάνεται σε περιοχές σχετικά δροσερές με ομοιόμορφη θερμοκρασία, χωρίς μεγάλες διακυμάνσεις κατά την περίοδο της καλλιέργειας και με μέτριες ως συχνές βροχοπτώσεις.

Οι ευνοϊκές κλιματολογικές συνθήκες του τόπου μας επιτρέπουν την καλλιέργεια πατατών ολόχρονα. Σύμφωνα με την περίοδο φύτευση, η καλλιέργεια της πατάτας γίνεται σε δύο περιόδους:

- Εαρινή (ανοιξιάτικη) καλλιέργεια: Η φύτευση αρχίζει τον Νοέμβριο και τελειώνει αρχές Φεβρουαρίου. Η συγκομιδή αρχίζει αρχές Μαρτίου και τελειώνει μέσα Ιουνίου.
- Φθινοπωρινή (χειμερινή) καλλιέργεια: Φυτεύεται τον Ιούλιο/Αύγουστο μέχρι μέσα Οκτωβρίου και η συγκομιδή γίνεται το Νοέμβριο μέχρι τέλος Φεβρουαρίου.

Οι πατάτες είναι καλλιέργεια πολύ ευαίσθητη στην έλλειψη εδαφικής υγρασίας. Οι ανάγκες των πατατών σε νερό εξαρτώνται από τις κλιματολογικές συνθήκες κάθε περιοχής και από το στάδιο ανάπτυξης της φυτείας. Οι ανάγκες αυτές είναι μικρότερες στα αρχικά στάδια ανάπτυξης και στο τελικό στάδιο ωρίμανσης της φυτείας και μεγαλύτερες στα στάδια κονδυλοποίησης και ανάπτυξης των κονδύλων (Πίνακας 7.4.1).

Η ελάττωση της διαθέσιμης υγρασίας στο έδαφος δεν πρέπει να ξεπερνά το 50% ιδιαίτερα στα κρίσιμα στάδια ανάπτυξης της πατατοφυτείας.

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε η εαρινή καλλιέργεια πατάτας. Την περίοδο ανάπτυξης της καλλιέργειας οι υδατικές τις ανάγκες καλύπτονται κατά κύριο λόγο από τις βροχοπτώσεις (Πίνακας 7.4.1). Παρόλα αυτά η καλλιέργεια παρουσιάζει ιδιαίτερη ευαισθησία στο 6^ο δεκαπενθήμερο της καλλιεργητικής περιόδου (Πίνακας 7.4.2), δηλαδή στο τέλος του σταδίου της ανθοφορίας και στην αρχή του σχηματισμού του καρπού.

Οι αποδόσεις της καλλιέργειας είναι ιδιαίτερα αυξημένες. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην μεγάλη διαφορά των τιμών του συντελεστή ευαισθησίας. Στο 6^ο δεκαπενθήμερο η τιμή του συντελεστή ευαισθησίας είναι 0.24, ενώ στα άλλα δύο δεκαπενθήμερα είναι της τάξης του 0.5. Το γεγονός αυτό καθιστά την εφαρμογή της πλήρης δόσης άρδευσης στο 6^ο δεκαπενθήμερο και προσφέρει την δυνατότητα για μείωση της δόσης άρδευσης στα δυο άλλα δεκαπενθήμερα, χωρίς να επηρεαστεί η απόδοση της καλλιέργειας.

8.2.4 Σιτηρά

Τα σιτηρά ανήκουν στην οικογένεια Gramineae και καλλιεργούνται σε όλο τον κόσμο. Ο καρπός του σιταριού είναι μια βασική τροφή που χρησιμοποιείται στην παρασκευή αλευριού, ζωοτροφών και ως πρώτη ύλη στην παρασκευή αλκοολούχων ποτών και καύσιμων. Τα σιτηρά σπέρνονται το φθινόπωρο ή την άνοιξη. Το φθινόπωρο σπέρνονται ποικιλίες που χαρακτηρίζονται ως χειμωνιάτικες. Σε περιοχές με ήπιο χειμώνα σπέρνονται και ανοιξιάτικες ποικιλίες .

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν και οι δύο ποικιλίες. Η ανοιξιάτικη ποικιλία σπέρνεται Απρίλιο/Μάιο και συγκομίζεται Αύγουστο/Σεπτέμβρη. Σύμφωνα με τον πίνακα (7.5.1) οι μέγιστες ανάγκες της καλλιέργειας παρουσιάζονται στο τρίτο στάδιο ανάπτυξης τους μήνες δηλαδή του καλοκαιριού που οι βροχοπτώσεις είναι μειωμένες ή ανύπαρκτες. Παρατηρώντας έπειτα τον πίνακα (7.5.3) που φαίνονται οι τιμές του συντελεστή ευαισθησίας, παρατηρούμε ότι την ίδια περίπου χρονική περίοδο παρουσιάζει ιδιαίτερη ευαισθησία στην έλλειψη νερού. Η μείωση της ποσότητας του νερού στα πρώτα στάδια δεν μειώνει τόσο την απόδοση. Συνέπεια της μείωσης στα πρώτα στάδια είναι ο μικρότερος αριθμός γόνιμων στελεχών και τη δημιουργία μικρότερων σε βάρος καρπών. Αποτελέσματα όμως της μείωσης του διαθέσιμου νερού στα τελευταία στάδια ανάπτυξης, που είναι η αναπαραγωγική φάση, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του αριθμού των καρπών.

Η χειμερινή ποικιλία σπέρνεται Νοέμβριο και συγκομίζεται Μάιο. Η περίοδος ανάπτυξης της χαρακτηρίζεται από αυξημένο αριθμό βροχοπτώσεων, γεγονός που δικαιολογεί τις χαμηλές υδατικές ανάγκες της καλλιέργειας (Πίνακας 7.5.2). Εκτός από τις μειωμένες ανάγκες σε νερό, η καλλιέργεια παρουσιάζεται ανθεκτική στην έλλειψη διαθέσιμου νερού, αφού οι συντελεστές ευαισθησίας της καλλιέργειας έχουν χαμηλές τιμές (Πίνακας 7.5.4). Έντονη ευαισθησία παρουσιάζει μόνο το τελευταίο δεκαπενθήμερο της καλλιεργητικής περιόδου.

Οι αποδόσεις της καλλιέργειας του σιταριού και της χειμερινής και της ανοιξιάτικης ποικιλίας, σε συνθήκες μειωμένης διαθεσιμότητας νερού, είναι ικανοποιητικές, όταν δίνεται στην καλλιέργεια έως και το 70% των αναγκών της σε νερό. Αναλύοντας τις τιμές των αποδόσεων παρατηρούμε αναλογική πτώση της απόδοσης, η οποία οφείλεται στο γεγονός ότι ο συντελεστής ευαισθησίας παρουσιάζει ομαλή διαφοροποίηση στα διάφορα δεκαπενθήμερα. Τέλος και οι δυο ποικιλίες παρουσιάζουν μικρή απόδοση (60%) στο 4^ο σενάριο διαθεσιμότητας.

8.2.6 Φασόλια

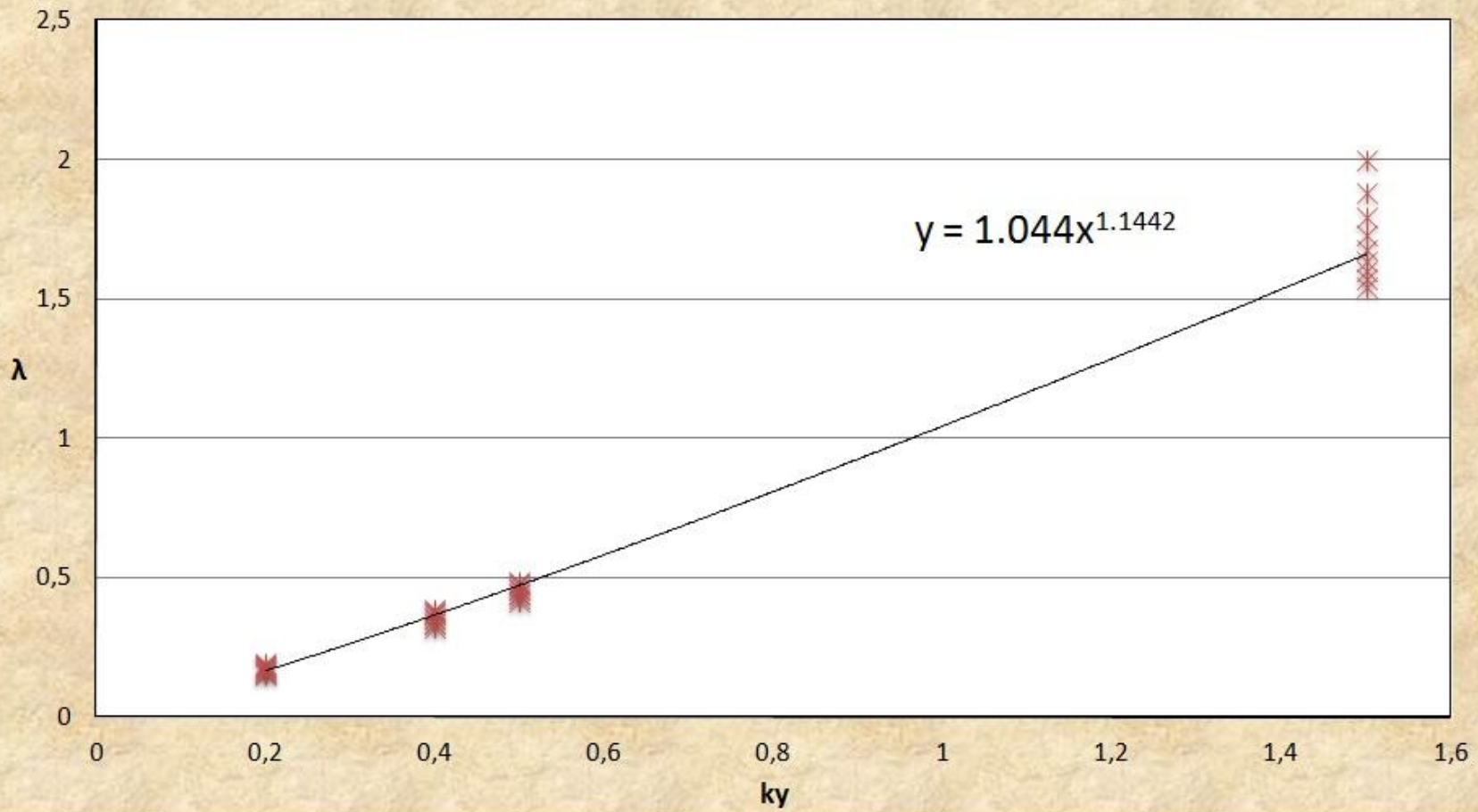
Τα φασόλια είναι ποώδη φυτά, ετήσια και ανήκουν στην οικογένεια Leguminosae. Είναι φυτό θερμής εποχής, ευπαθές στο ψύχος και καταστρέφεται σε θερμοκρασίες κοντά στους 0 °C. Η βλαστητική περίοδος των φασολιών είναι 70-95 ημέρες. Κατά τη διάρκεια της βλάστησης από τις σημαντικότερες φάσεις της ανάπτυξης, είναι η ανθοφορία και ο σχηματισμός των λοβών. Τα φασόλια ανθίζουν πολύ, αλλά μόνο το 20-25% των ανθέων των φασολιών δίνουν ώριμους και καλά ανεπτυγμένους λοβούς. Το φασόλι είναι πολύ ευαίσθητο στο κρύο και στην παγωνιά γι' αυτό καλλιεργείται την άνοιξη ή όταν έχει απομακρυνθεί ο κίνδυνος του παγετού και το έδαφος έχει ζεσταθεί λίγο. Η ακριβής ημερομηνία εξαρτάται, από το μικροκλίμα της κάθε περιοχής.

Σύμφωνα με τον Πίνακα (7.6.1) η καλλιέργεια παρουσιάζει τις μέγιστες υδατικές τις ανάγκες στο τελευταίο στάδιο ανάπτυξης (5^ο και 6^ο δεκαπενθήμερο της καλλιεργητικής περιόδου), δηλαδή στο στάδιο της ωρίμανσης. Απαιτούνται δηλαδή, οι πρώτες ποσότητες νερού για άρδευση, μετά το πρώτο στάδιο που είναι η βλάστηση, για να μεγαλώσουν τα φυτά γρήγορα και να εμφανιστούν τα άνθη. Αντίθετα, σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα (7.6.2) η καλλιέργεια παρουσιάζει αυξημένη ευαισθησία στο δεύτερο και τρίτο στάδιο ανάπτυξης (3^ο και 4^ο δεκαπενθήμερο).

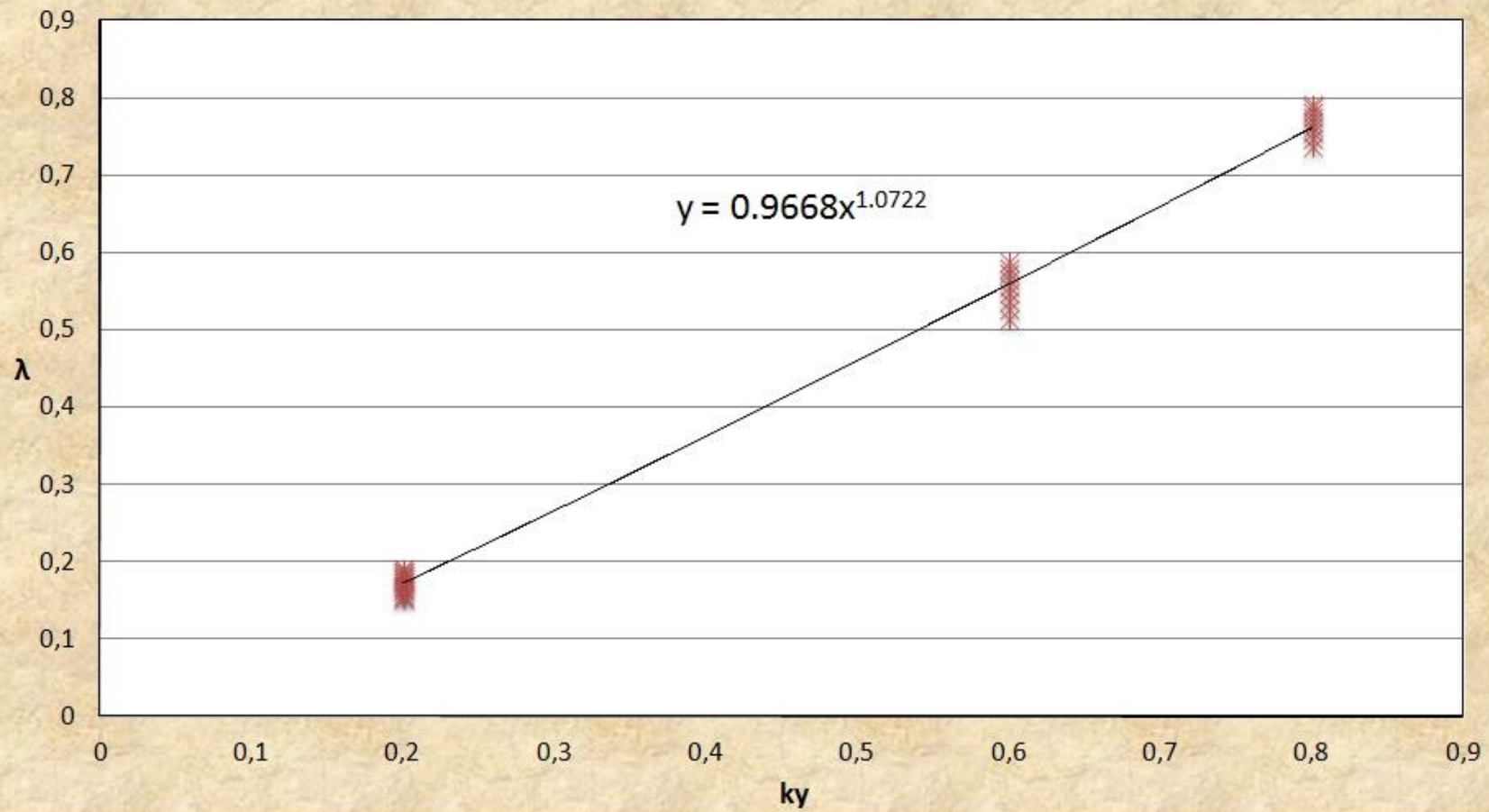
Οι αποδόσεις της καλλιέργειας είναι αξιοσημείωτα υψηλές σε όλα τα σενάρια διαθεσιμότητας. Η μικρότερη απόδοση που παρατηρείται είναι 71% στο 4^ο σενάριο διαθεσιμότητας.

Παράρτημα

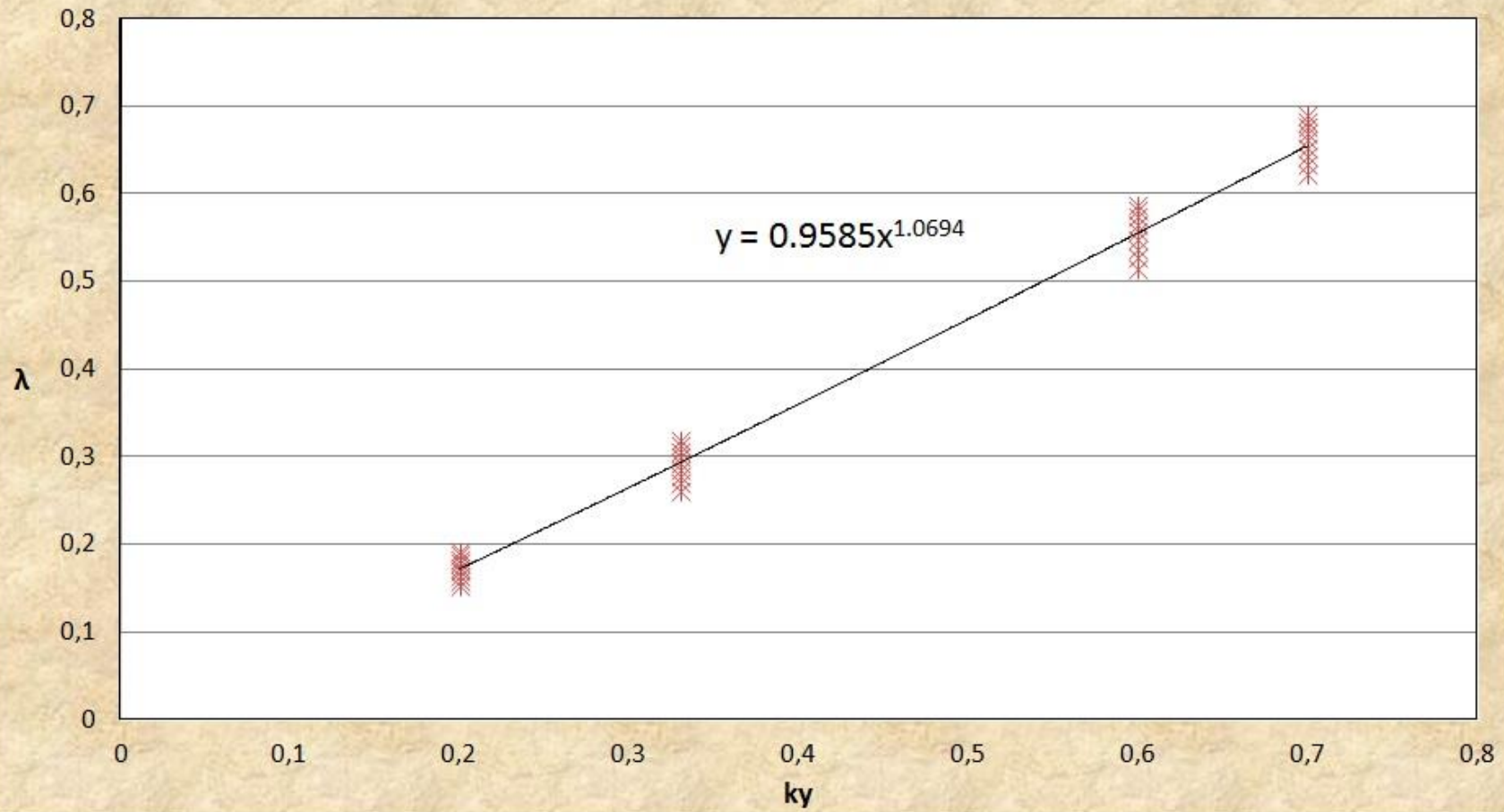
Καλλιέργεια Αραβόσιτου



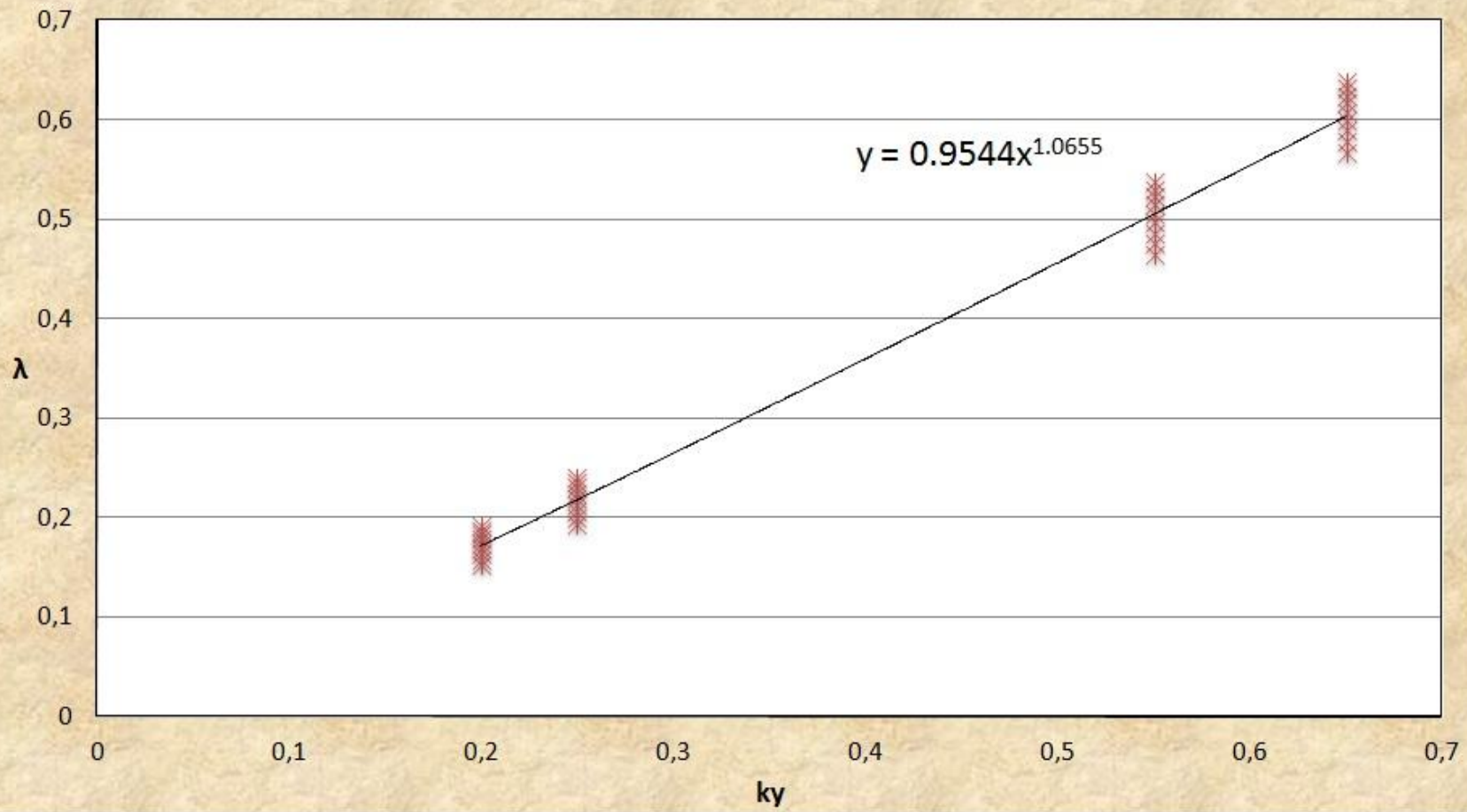
Καλλιέργεια Αραχίδας



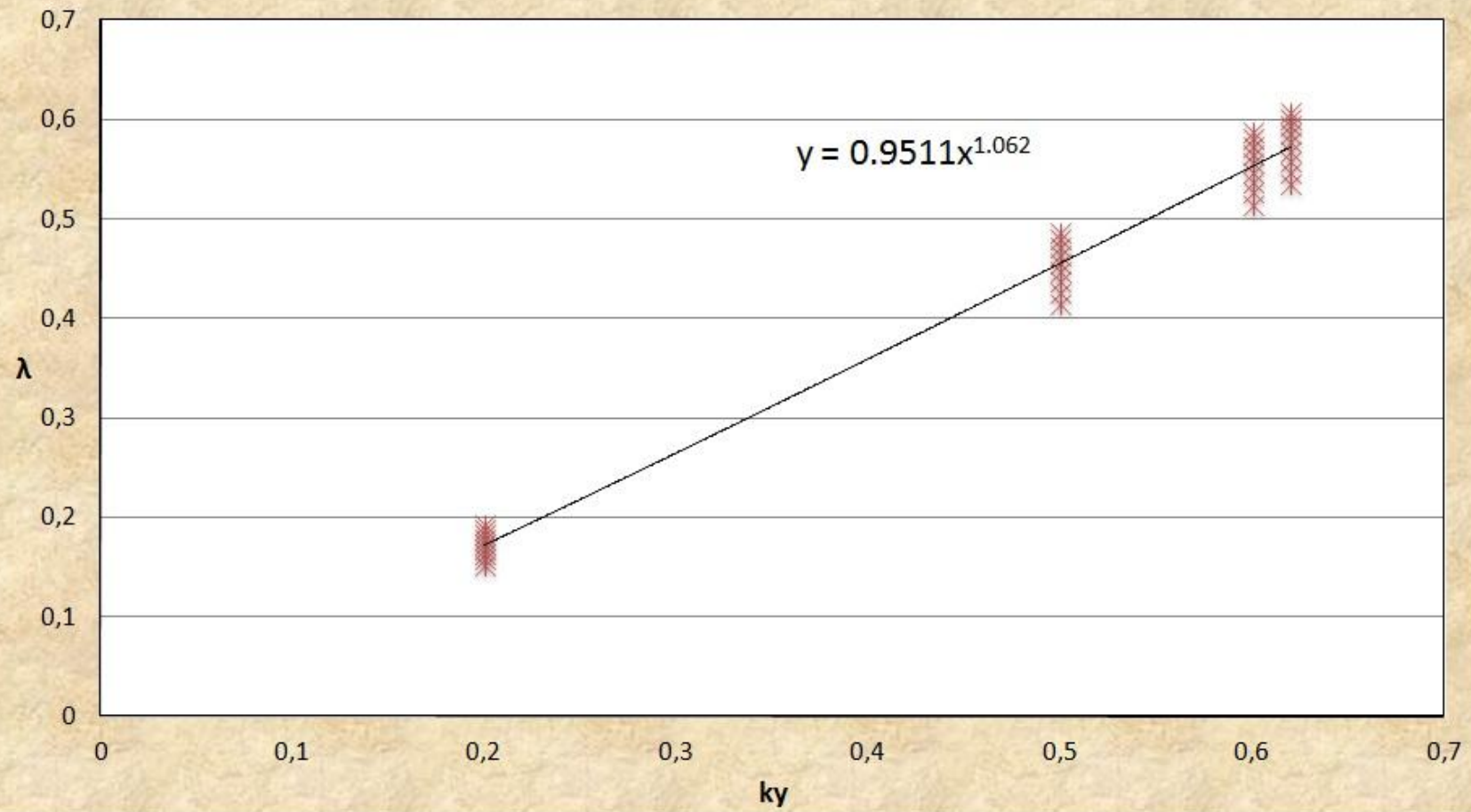
Καλλιέργεια Πατάτας



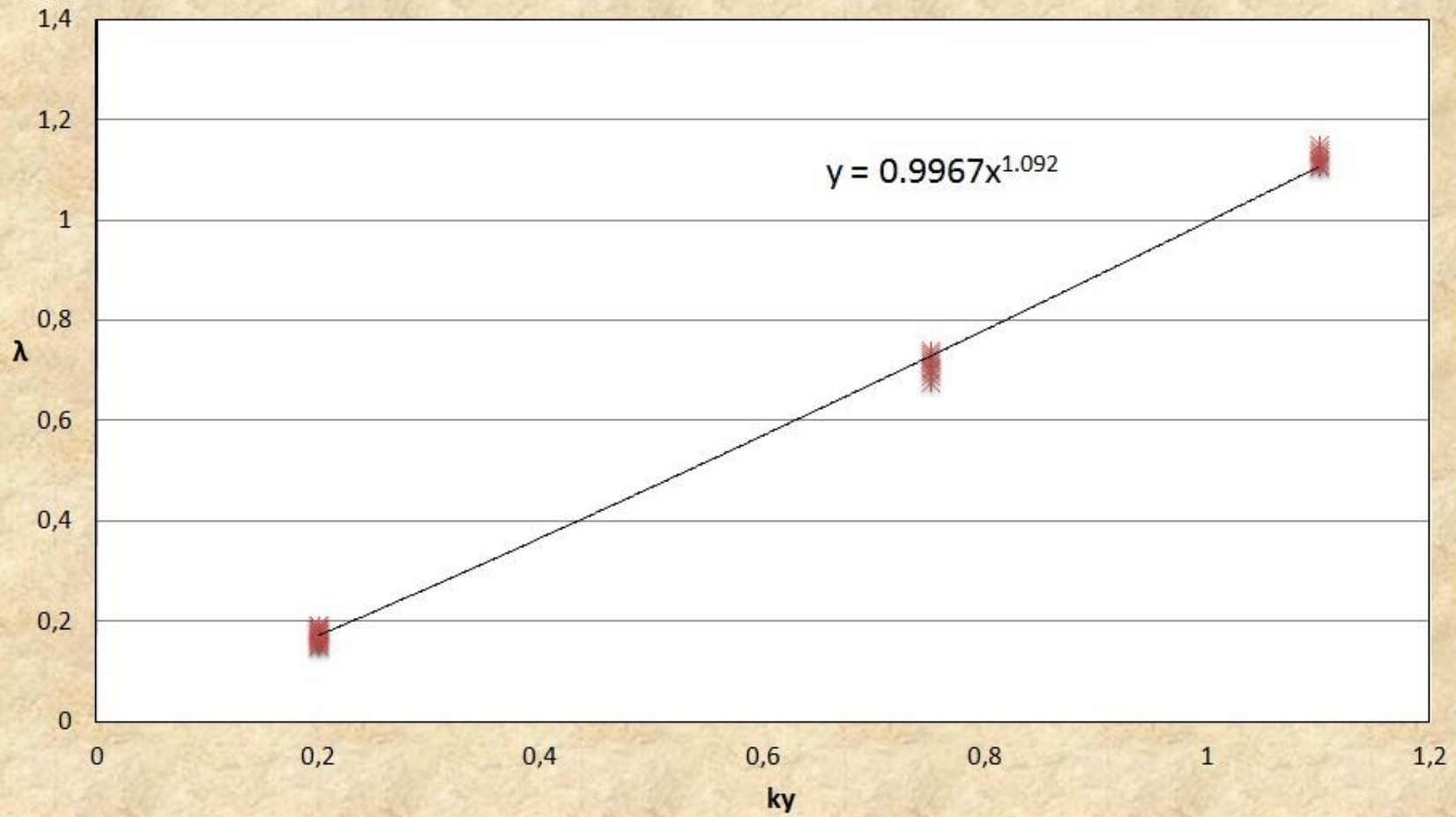
**Καλλιέργεια
Ανοιξιάτικου σιταριού**



**Καλλιέργεια
Χειμερινού Σιταριού**



Καλλιέργεια Φασολιών



Υπολογισμοί δόσης άρδευσης και καθαρής ποσότητας νερού που αξιοποιείται από το φυτό κάθε δεκαπενθήμερο

Βελτιστοποίηση αρδευτικού νερού στην καλλιέργεια του αραβόσιτου						
	i (15ήμερα)	1	2	3	4	5
	w_o Καθαρές ανάγκες	52.50	62.65	88.31	106.49	92.40
	λ	0.17	0.83	1.02	0.39	0.14
x	<i>Δόση: $D_{ij}=w_o*x$</i>					
1.35	1	70.87	84.58	119.22	143.77	124.73
1.2	2	62.99	75.18	105.97	127.79	110.87
1.1	3	57.74	68.91	97.14	117.14	101.64
1	4	52.50	62.65	88.31	106.49	92.40
0.9	5	47.25	56.38	79.48	95.84	83.16
0.8	6	42.00	50.12	70.65	85.19	73.92
0.7	7	36.75	43.85	61.82	74.55	64.68
0.6	8	31.50	37.59	52.99	63.90	55.44
α	<i>Καθαρό για παραγωγή: $d_{ij}=D_{ij}*α$</i>					
0.74	1	52.44	62.59	88.22	106.39	92.30
0.79	2	49.77	59.39	83.72	100.96	87.59
0.82	3	47.35	56.51	79.65	96.06	83.34
0.85	4	44.62	53.25	75.06	90.52	78.54
0.9	5	42.52	50.75	71.53	86.26	74.84
0.93	6	39.06	46.61	65.70	79.23	68.74
0.96	7	35.28	42.10	59.34	71.56	62.09
0.99	8	31.18	37.21	52.46	63.26	54.88

Βελτιστοποίηση αρδευτικού νερού στην καλλιέργεια της αραχίδας										
	i(15ημερα)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	w_o (Καθαρές ανάγκες)	25.67	29.23	33.72	62.57	75.95	86.51	67.63	52.27	18.63
	λ	0.03	0.09	0.18	0.25	0.25	0.25	0.24	0.19	0.10
x	<i>Δόση: $D_{ij}=w_o * x_j$</i>									
1.35	1	34.65	39.46	45.52	84.47	102.53	116.78	91.29	70.56	25.15
1.2	2	30.80	35.07	40.46	75.08	91.14	103.81	81.15	62.72	22.36
1.1	3	28.24	32.15	37.09	68.83	83.54	95.16	74.39	57.49	20.50
1	4	25.67	29.23	33.72	62.57	75.95	86.51	67.63	52.27	18.63
0,9	5	23,10	26.30	30.35	56.31	68.35	77.85	60.86	47.04	16.77
0.8	6	20.54	23.38	26.98	50.06	60.76	69.20	54.10	41.81	14.91
0.7	7	17.97	20.46	23.60	43.80	53.16	60.55	47.34	36.59	13.04
0.6	8	15.40	17.54	20.23	37.54	45.57	51.90	40.58	31.36	11.18
a	<i>Καθαρό για παραγωγή: $d_{ij}=D_{ij} * a_j$</i>									
0.74	1	25.64	29.20	33.69	62.51	75.87	86.42	67.56	52.22	18.61
0.79	2	24.33	27.71	31.97	59.32	72.00	82.01	64.11	49.55	17.66
0.82	3	23.15	26.36	30.41	56.44	68.50	78.03	61.00	47.15	16.81
0.85	4	21.82	24.84	28.66	53.18	64.55	73.53	57.48	44.43	15.84
0.9	5	20.79	23.67	27.31	50.68	61.52	70.07	54.78	42.34	15.09
0.93	6	19.10	21.74	25.09	46.55	56.50	64.36	50.31	38.89	13.86
0.96	7	17.25	19.64	22.66	42.05	51.04	58.13	45.44	35.12	12.52
0.99	8	15.25	17.36	20.03	37.17	45.11	51.38	40.17	31.05	11.07

Βελτιστοποίηση αρδευτικού νερού στην καλλιέργεια της πατάτας										
	i(15ημερα)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	w _o (Καθαρές ανάγκες)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.10	0.00	6.63	5.57
	λ	0.37	0.26	0.14	0.15	0.23	0.24	0.18	0.08	0.04
x	<i>Δόση: D_{ij}=w_o*x_j</i>									
1.35	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.84	0.00	8.95	7.52
1.2	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.52	0.00	7.96	6.68
1.1	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.31	0.00	7.30	6.12
1.0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.10	0.00	6.63	5.57
0.9	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.89	0.00	5.97	5.01
0.8	6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.68	0.00	5.31	4.45
0.7	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.47	0.00	4.64	3.90
0.6	8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.26	0.00	3.98	3.34
α	<i>Καθαρό για παραγωγή: d_{ij}=D_{ij}*a_j</i>									
0.74	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.10	0.00	6.63	5.56
0.79	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.99	0.00	6.29	5.28
0.82	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.90	0.00	5.98	5.02
0.85	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.79	0.00	5.64	4.73
0.90	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.70	0.00	5.37	4.51
0.93	6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.57	0.00	4.93	4.14
0.96	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.41	0.00	4.46	3.74
0.99	8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25	0.00	3.94	3.31

Βελτιστοποίηση αρδευτικού νερού στην καλλιέργεια του ανοιξιάτικου σιταριού										
	i(15ημερα)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	w _o (Καθαρές ανάγκες)	0,00	0.00	0.65	44.63	91.35	99.03	105.49	80.90	19.02
	λ	0.01	0.06	0.19	0.31	0.30	0.21	0.16	0.15	0.12
x	<i>Δόση: D_{ij}=w_o*x_j</i>									
1.35	1	0.00	0.00	0.88	60.25	123.33	133.69	142.42	109.21	25.67
1.20	2	0.00	0.00	0.78	53.56	109.62	118.84	126.59	97.07	22.82
1.10	3	0.00	0.00	0.71	49.09	100.49	108.94	116.04	88.99	20.92
1.00	4	0.00	0.00	0.65	44.63	91.35	99.03	105.49	80.90	19.02
0.90	5	0.00	0.00	0.58	40.17	82.22	89.13	94.94	72.81	17.11
0.80	6	0.00	0.00	0.52	35.70	73.08	79.23	84.39	64.72	15.21
0.70	7	0.00	0.00	0.45	31.24	63.95	69.32	73.85	56.63	13.31
0.60	8	0.00	0.00	0.39	26.78	54.81	59.42	63.30	48.54	11.41
α	<i>Καθαρό για παραγωγή: d_{ij}=D_{ij}*a_j</i>									
0.74	1	0.00	0.00	0.65	44.59	91.26	98.93	105.39	80.81	19.00
0.79	2	0.00	0.00	0.62	42.31	86.60	93.88	100.01	76.69	18.03
0.82	3	0.00	0.00	0.59	40.26	82.40	89.33	95.16	72.97	17.15
0.85	4	0.00	0.00	0.55	37.94	77.65	84.18	89.67	68.76	16.16
0.90	5	0.00	0.00	0.53	36.15	74.00	80.22	85.45	65.53	15.40
0.93	6	0.00	0.00	0.48	33.21	67.97	73.68	78.49	60.19	14.15
0.96	7	0.00	0.00	0.44	29.99	61.39	66.55	70.89	54.36	12.78
0.99	8	0.00	0.00	0.39	26.51	54.26	58.83	62.66	48.05	11.29

Βελτιστοποίηση αρδευτικού νερού στην καλλιέργεια του χειμερινού σιταριού														
i(15ημερα)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
	w_o (Καθαρές ανάγκες)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.38	15.12	29.88	33.63	33.46	11.14
	λ	0.03	0.07	0.11	0.13	0.15	0.14	0.13	0.11	0.10	0.11	0.14	0.18	0.24
x	<i>Δόση: $D_{ij}=w_o*x_j$</i>													
1.35	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.36	20.42	40.33	45.40	45.17	15.04
1.2	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.65	18.15	35.85	40.36	40.15	13.37
1.1	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.51	16.64	32.86	37.00	36.81	12.26
1.0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.38	15.12	29.88	33.63	33.46	11.14
0.9	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.24	13.61	26.89	30.27	30.11	10.03
0.8	6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.10	12.10	23.90	26.91	26.77	8.92
0.7	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.96	10.59	20.91	23.54	23.42	7.80
0.6	8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.83	9.07	17.93	20.18	20.08	6.69
a	<i>Καθαρό για παραγωγή: $d_{ij}=D_{ij}*a_j$</i>													
0.74	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.37	15.11	29.85	33.60	33.43	11.13
0.79	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.79	14.34	28.32	31.88	31.72	10.56
0.82	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.26	13.64	26.95	30.34	30.18	10.05
0.85	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.67	12.86	25.39	28.59	28.44	9.47
0.90	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.22	12.25	24.20	27.24	27.10	9.03
0.93	6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.46	11.25	22.23	25.02	24.89	8.29
0.96	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.65	10.16	20.08	22.60	22.49	7.49
0.99	8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.76	8.98	17.75	19.98	19.88	6.62

Βελτιστοποίηση αρδευτικού νερού στην καλλιέργεια του φασολιού							
	i(15ημερα)	1	2	3	4	5	6
	W _o (Καθαρές ανάγκες)	0.00	0.00	16.84	30.06	45.23	40.08
	λ	0.05	0.45	0.59	0.49	0.33	0.26
x	<i>Δόση: D_{ij}=w_o*x_j</i>						
1.35	1	0.00	0.00	22.73	40.58	61.06	54.10
1.20	2	0.00	0.00	20.21	36.07	54.28	48.09
1.10	3	0.00	0.00	18.52	33.06	49.76	44.08
1.00	4	0.00	0.00	16.84	30.06	45.23	40.08
0.90	5	0.00	0.00	15.15	27.05	40.71	36.07
0.80	6	0.00	0.00	13.47	24.05	36.19	32.06
0.70	7	0.00	0.00	11.79	21.04	31.66	28.05
0.60	8	0.00	0.00	10.10	18.03	27.14	24.05
a	<i>Καθαρό για παραγωγή: d_{ij}=D_{ij}*a_j</i>						
0.74	1	0.00	0.00	16.82	30.03	45.19	40.04
0.79	2	0.00	0.00	15.96	28.49	42.88	37.99
0.82	3	0.00	0.00	15.19	27.11	40.80	36.15
0.85	4	0.00	0.00	14.31	25.55	38.45	34.06
0.90	5	0.00	0.00	13.64	24.35	36.64	32.46
0.93	6	0.00	0.00	12.53	22.36	33.65	29.82
0.96	7	0.00	0.00	11.31	20.20	30.40	26.93
0.99	8	0.00	0.00	10.00	17.85	26.87	23.81

Βιβλιογραφία

Αλεξανδρή Σ., 2004, *Σημειώσεις εργαστηρίου* [pdf] Διαθέσιμο σε: <http://www.aua.gr/stalex/EDU/PDF/Lecture_3_ETo.pdf> [Πρόσβαση Απρίλιος 2013].

Βαλαβανίδης Α., Βλαχογιάννη Θ., 2011. *Οι χημικές ενώσεις που δημιουργήσαν τη ζωή στον πλανήτη Γη*. Εκδόσεις, Σύγχρονα θέματα μη κερδοσκοπική εκδοτική εταιρεία.

Βικιπαίδεια, 2013. *Αραχίδα* Διαθέσιμο σε: <<http://el.wikipedia.org>> [Πρόσβαση Απρίλιος 2013].

Βιογνώση, 2013. *Ελκυστική αρχίζει να γίνεται η καλλιέργεια της αραχίδας στην χώρα μας* Διαθέσιμο σε: <<http://biognosi.blogspot.gr/>> [Πρόσβαση Απρίλιος 2013].

Γεωργίου, Π., 2004. *Βελτιστοποίηση λειτουργίας ταμιευτήρων για αρδευτικούς σκοπούς*. Διδακτορική Διατριβή. Θεσσαλονίκη. Γεωπονική Σχολή Α.Π.Θ.

Ζορμπά Δ., 2010, *Πολυκριτηριακή ανάλυση με χρήση συμβιβαστικού προγραμματισμού. Εφαρμογή σε αρδευτικά δίκτυα της πεδιάδας Θεσσαλονίκης* [pdf] Διαθέσιμο σε: <<http://invenio.lib.auth.gr>> [Πρόσβαση Δεκέμβριος 2012]

Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος - Ε.Σ.Υ.Ε., Διαθέσιμο σε <www.statistics.gr>

Έθνος, 2011. *Αράπικο φιστίκι: Μία αποδοτική και εύκολη καλλιέργεια* Διαθέσιμο σε: <<http://epityxiacom.blogspot.gr>> [Πρόσβαση Φεβρουάριο 2013].

Καλλιτσάρη Χ., 2009 *Κριτική μελέτη σχέσεων απόδοσης καλλιεργειών σε συνάρτηση με τη διαθεσιμότητα του νερού στο έδαφος* [pdf] Διαθέσιμο σε: <<http://invenio.lib.auth.gr>> [Πρόσβαση Ιανουάριος 2013]

Καλλιτσάρη Χ., Γεωργίου Π., Μπαμπατζιμόπουλος., 2009 *Συγκριτική αξιολόγηση των σχέσεων νερού-απόδοσης καλλιεργειών με το μοντέλο Swbacros 6^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος: Η γεωργική Μηχανική και η μηχανική Βιοσυστημάτων στην εποχή των βιοκαυσίμων και των κλιματικών αλλαγών, Θεσσαλονίκη, 8-10 Οκτωβρίου 2009*

Καραμάνος Α., Ι., 1999. *Τα σιτηρά των θερμών κλιμάτων Αραβόσιτος-Σόργο-Ρύζι-Κεχρί*. Εκδόσεις, Παπαζήση

Κωτσόπουλος, Ι. Σ., 1995. *Βελτιστοποίηση της γεωργικής παραγωγής σε σχέση με την κατανομή του νερού κατά την αρδευτική περίοδο* [pdf] Διαθέσιμο σε: <<http://ejournals.lib.auth.gr/hydrotechnica/article/view/102>> [Πρόσβαση Φεβρουαρίου 2013]

Λιάπης, Γ. Α., 2008. *Ορθολογική διαχείριση του αρδευτικού νερού και κοστολόγηση του με χρήση μαθηματικού προγραμματισμού* [pdf] Διαθέσιμο σε: <<http://invenio.lib.auth.gr>> [Πρόσβαση Δεκέμβριος 2012]

Μακίν, 2011. *Καλλιέργεια Αραχίδας - αράπικου φιστικιού* Διαθέσιμο σε: <<http://www.makin.gr/growingpeanuts.html>> [Πρόσβαση Φεβρουάριο 2013].

Μαυρίκιος Α., 2009, *Υδρογεωλογικές συνθήκες παραλιακής ζώνης Κορίνθου – Κιάτου. Διαχρονική εξέλιξη –Προοπτικές*

Ολύμπιος Χ., Μ., 1996. *Σημειώσεις ειδικής λαχανοκομίας* Πανεπιστημιακές παραδόσεις, ΓΠΑ

Ολύμπιος Χ., Μ., 2001. *Η τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στα θερμοκήπια* Εκδόσεις Αθ.Σταμούλης

Πανώρας, Α., Α., Γιαννακάρης, Μ., Δέλλιος, Σ., Δίμων και Σ., Ενενα, 1997. *Σχέση Νερού-Παραγωγής Καλαμποκιού στις Συνθήκες της Πεδιάδας Θεσσαλονίκης*, Υδροτεχνικά, 7, σελ. 39-51.

Παπαζαφειρίου Ζ., Παπαμιχαήλ Δ., 1996. *Συστήματα αρδεύσεων*. Εκδόσεις, Υπηρεσία δημοσιευμάτων Α.Π.Θ.

Παπαζαφειρίου Γ. Ζ., 1999. *Οι ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών*. Εκδόσεις, Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Παπαμιχαήλ Δ., 2006. *Βέλτιστη διαχείριση υδατικών πόρων στη γεωργία*. Πρακτικά Ημερίδας με θέμα, Διαχείριση υδατικών πόρων. 21η Agrotica. Θεσσαλονίκη.

Ποντίκης, Α., Κ., 1996. *Ειδική Δενδροκομία Ακρόδρυα, Πυρηνόκαρπα, Λοιπά καρποφόρα*. Εκδόσεις, Παπαζήση.

Ράπτης Χ., Ευαγγελίδης Χ., Αραμπατζής Γ., 2009 *Συγκριτική αξιολόγηση μεθόδων εξατμισοδιαπνοής αναφοράς 6^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος: Η γεωργική Μηχανική και η μηχανική Βιοσυστημάτων στην εποχή των βιοκαυσίμων και των κλιματικών αλλαγών, Θεσσαλονίκη, 8-10 Οκτωβρίου 2009.*

Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ. Σ., Βαγενάς Ι.Ν., 2003, *Υδατοκατανάλωση των καλλιεργειών στο νομό Λάρισας*.

Σαμαράς, Β., 2011 *Υδατικές Απαιτήσεις των καλλιεργειών βάμβακος, καλαμποκιού, βιομηχανικής τομάτας και τεύτλων στον Θεσσαλικό χώρο* [pdf] Διαθέσιμο σε: <http://www.hydrosense.org/eDocuments/Anages_twn_fytwn_se_ardeutiko_nero_B_SAMARAS.pdf> [Πρόσβαση Δεκέμβριος 2012]

Σαν σήμερα, 2011. *Η ιστορία της πατάτας* Διαθέσιμο σε: <<http://www.sansimera.gr/articles/117>> [Πρόσβαση Φεβρουάριος 2013]

Τσακίρης Γ., 2004, *Σημειώσεις Ανάγκες σε αρδευτικό νερό* [pdf] Διαθέσιμο σε: <http://www.waterinfo.gr/greek/pdf/irrigation_water_requirements.pdf> [Πρόσβαση Φεβρουάριος 2012]

Τσακίρης, Γ., 2006. *Υδραυλικά Έργα, Σχεδιασμός και Διαχείριση, Τόμος II: Εγγειοβελτιωτικά Έργα*, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.

Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων, 2013. *Εξέλιξη της καλλιέργειας της αραχίδας* Διαθέσιμο σε: <<http://www.minagric.gr/>> [Πρόσβαση Απρίλιος 2013].

Aase, K., Siddoway, F.H., 1981. Spring wheat yield estimates from spectral reflectance measurements. Institute of Electrical and Electronic Engineering. Transactions of Geosciences. Remote Sensing of Environment, 19, 78-84.

Agrotypos, 2012. *Τα χειμερινά σιτηρά στην Ελλάδα και στον κόσμο* [pdf] Διαθέσιμο σε: <www.agrotypos.gr> [Πρόσβαση Απρίλιος 2013]

Allen, R.G., 1986. *A Penman for all seasons*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 112(4), pp. 348-368.

Allen R.G. and Pruitt O. William, Members ASCE 1991. *FAO-24 Reference evapotranspiration factors*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering Vol. 117, No. 5.: 758-773.

Allen, R.G., Jensen, M.E., Wright J.L., Burman, R.D., 1989. *Operational estimates of reference evapotranspiration*. Agronomy Journal, 81, 650-662.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56.

Arkley, R.J., 1963. *Relationship between plant growth and transpiration*. Hilgardia, 34, 559-584.

Briggs, K.J., Shantz, H.L., 1913. *The water requirements of plants. I. Investigations in the Great Plains in 1910 and 1911*. USDA. Plant and Industrial Bulletin, 284,49.

Britz, W., Heckelei, T., Wolff, H., 2003. *Symmetric Positive Equilibrium Problem: A Framework for rationalizing Economic Behavior with Limited Information* American Journal of Agricultural Economics, 85(4), pp. 1078-81.

Coctailsfromorganic, 2012. *Καλλιέργεια Αραχίδας Διαθέσιμο σε:* <<http://coctailsfromorganic.wordpress.com>> [Πρόσβαση Φεβρουάριο 2013].

Cole, J.S., Mathews, O.R., 1923. *Use of water by spring wheat on the Great Plains*. USDA. Plant and Industrial Bulletin, 1004.

Cyprusgreenfingers, 2012. *Όλα όσα χρειάζεται να ξέρεις για τα φιστίκια* [pdf] Διαθέσιμο σε: <<http://www.cyprusgreenfingers.com>> [Πρόσβαση Απρίλιος 2013].

Dariane, A.B., 1989. *Operation of an irrigation reservoirs by maximizing value of multiple crop yield*, Ph. D., Utah State University, 125.

Dariane, A.B., Hughes, T.C., 1991. *Application of crop yield functions in reservoir operation*. Water Resources Bulletin, 27 (4), 649-656.

DeWit, C.T., 1958. *Transpiration and crop yields*. Instituut Voor Biologisch en Scheickung Onderzoek val Landhouwgewassaen, Versl. Landboyskd. Onderz. 64.6, Wageningen, Netherlands.

Donald, C.M., Hamblin, J., 1976. *The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plants breeding criteria*. Advances in Agronomy, 28, 361-405.

Doorenbos, J. and Kassam A.H., 1979. *Yield Response to Water*, FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 33, Rome.

Doorenbos, J., Pruitt, W.H., 1992. *Crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage paper no.24. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Doorenbos, J., Pruitt, W.O., 1977. Crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, 24, 144.

FAO, 2000. Agriculture: Towards 2015-30, Technical Interim Report, FAO, Rome.

FAO, 2002. Crops and Drops, Making the best use of water for agriculture, FAO, Rome.
Georgiou. P.E., Papamichail, D.M., 2008. *Optimization model of an irrigation reservoir for water allocation and crop planning under various weather conditions*. Irrigation Science, 26 (6), 487-504.

Georgiou. P.E., Papamichail, D.M., Vougioukas, S.G., 2006. *Optimal irrigation reservoir operation and simultaneous multi-crop cultivation area selection using simulated annealing*. Irrigation and Drainage, 55 (2). 129-144.

Ghahraman, B. and A.R. Sepaskhah, 1997. *Use of a Water Deficit Sensitivity Index for Partial Irrigation Scheduling of Wheat and Barley*. Irrigation Science, 18, pp. 11-16.

Hall, W.A., Butcher, W.S., 1968. *Optimal timing of irrigation*. Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, 94 (2), 267-275.

Hanks, R.J., Hill, R.W., 1980. *Modeling crop responses to irrigation in relation to soils, climate and salinity*. International Irrigation Information Center, Bet Dagan, Israel, 66.

Hanks, R.J., 1974. *Model for predicting plant yield as influenced by water use*. Agronomy Journal, 66, 660-665.

Hanks, R.J., 1985. *Crop coefficients for transpiration*. p. 431-438. Advances in evapotranspiration. ASAE, St. Joseph, MI.

Hiller, E.A., Clark, R.N., 1971. *Stress day index to characterize effects of water stress on crop yields*. Transactions ASAE, 14, 757-761.

Howell, T.A., 1990. *Relationships between Crop Production and Transpiration, Evapotranspiration and Irrigation*, In *Irrigation of Agricultural Crops* (ed. B.A. Stewart and D.R. Nielsen), Agronomy series No 30, pp. 391-434.

Jensen, M.E., 1968. *Water Consumption by Agricultural Plants*, In: T.T. Kozlowski (ed.), *Water Deficits and Plants Growth*, Vol. II. Academic Press, New York, pp. 1-22.

Kalliergo, 2012. *Φασόλια-Φασολάκια-Οδηγίες καλλιέργειας-Ποικιλίες Διαθέσιμο σε:* <<http://www.kalliergo.gr>> [Πρόσβαση Απρίλιος 2013]

Kipkorir E.C. & Raes D., 2002. *Transformation of yield response factor into Jensen's sensitivity index* Irrigation and Drainage Systems 16.

Kipkorir E.C., Raes D., Labadie, J., 2001a. *Optimal allocation of short-term irrigation supply.* Irrigation and Drainage Systems, 15, 247-261.

Kumar, C.N., Indrasenan, N., Elango, K., 1998. *Nonlinear programming model for extensive irrigation.* Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 124 (2), 123-126.

Shangguan, Z., Shao, M., Horton, R., Lei, T., Qin, L., Ma, J., 2002. *A model for regional optimal allocation of irrigation water resources under deficit irrigation and its applications.* Agricultural Water Management, 52, 139-154.

Slabbers, P.J., Herrendorf, V.S., Stapper, M., 1979. *Evaluation of simplified water crop yield models.* Agricultural Water Management, 2, 95-129.

Stewart, J.I., Hagan R.M., 1973. *Functions to predict effects of water deficits.* Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 99, 421-439.

Stewart, B.A., Nielsen, D.R., 1990. *Irrigation of agricultural crops.* Agronomy series, 30, 1217.

Tanner, C.B., T.R., 1983. *Efficient water use in crop production: Research or Research.* In: H.M. Taylor et al. (eds), Limitations to efficient water use in crop production, ASA CSSA and SSSA, Madison, WI, 1-27.

Tsakiris, G, P., 1982. A method for applying crop sensitivity factors in irrigation scheduling, Agric. Water Manage. 5.

USDA Soil Conservation Service, 1970. *Irrigation water requirements.* Tech. Realise No 21: 92.

Zhang, H., Oweis, T., 1999. *Water – yield relations and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean Region.* Agricultural Water Management, 38, 195-211.

