ePublishing
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ
NATIONAL DOCUMENTATION CENTRE

Εκπαίδευση, Δια Βίου Μάθηση, Έρευνα και Τεχνολογική Ανάπτυξη, Καινοτομία και Οικονομία

Τόμ. 2 (2019)

Πρακτικά του 2ου Πανελληνίου Επιστημονικού Συνεδρίου με Διεθνή Συμμετοχή «Ελλάδα-Ευρώπη 2020: Εκπαίδευση, Δια Βίου Μάθηση, Έρευνα, Νέες Τεχνολογίες, Καινοτομία και Οικονομία», Λαμία 28, 29, 30 Σεπτεμβρίου 2018

Εκτίμηση του οικονομικού οφέλους από την καλλιέργεια του βάμβακος με την χρήση του ομοιώματος AquaCrop

Γεώργιος Δ. Γκίκας, Ιωάννης Τσακμάκης, Γεώργιος Κ. Συλαίος

doi: 10.12681/elrie.1473

https://epublishing.ekt.gr | **e-Εκδότης:** EKT | **Πρόσβαση:** 09/02/2026 12:04:03

Εκτίμηση του οικονομικού οφέλους από την καλλιέργεια του βάμβακος με την χρήση του ομοιώματος AquaCrop

Τσακμάκης Δ. Ιωάννης[1], Γκίκας Δ. Γεώργιος[2], Συλαίος Κ. Γεώργιος[3]
itsakmak@env.duth.gr, ggkikas@env.duth.gr, gsylaios@env.duth.gr
[1]Υποψήφιος Διδάκτορας, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος,
[2]Αναπληρωτής Καθηγητής, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος,
[3]Καθηγητής, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος

Περίληψη

Οι νέες τεχνολογίες (ηλεκτρονικοί υπολογιστές, διαδίκτυο, μαθηματικά μοντέλα) χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο στο πλαίσιο εφαρμογής της γεωργίας ακριβείας, για την αύξηση της παραγωγής, την εξοικονόμηση αρδευτικού νερού και την μείωση του κόστους παραγωγής. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το μαθηματικό μοντέλο AquaCrop, προκειμένου να εκτιμηθεί το πραγματικό κέρδος των παραγωγών από την καλλιέργεια του βάμβακος. Εξετάστηκαν διάφορα σενάρια που αφορούν την τιμή πώλησης του βάμβακος, την επικείμενη τιμολόγηση του αρδευτικού νερού και την αλλαγή της πολιτικής των επιδοτήσεων. Τα σενάρια αυτά εξετάστηκαν για πλήρη και ελλειμματική άρδευση. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι για όλα τα σενάρια και τιμές πώλησης του σύσπορου βάμβακος στα 0,5 0,4 και 0,3 €/kg, το μεγαλύτερο κέρδος προκύπτει για προγράμματα ελλειμματικής άρδευσης 70% και 60%. Στην περίπτωση όμως αλλαγής της πολιτικής των επιδοτήσεων, το δυνητικό κέρδος τον παραγωγών βρέθηκε σημαντικά μειωμένο θέτοντας την βιωσιμότητα της καλλιέργειας του βάμβακος σε κίνδυνο.

Λέξεις κλειδιά: Βαμβάκι, Γεωργία Ακριβείας, AquaCrop, Ελλειμματική Άρδευση.

Abstract

The new technologies (personal computers, internet, mathematic models) are used more and more in the framework of precision agriculture implementation aiming to increase the yield, reduce the irrigation water use and the production cost. In this study the AquaCrop model was used to estimate the actual producers profit from the cotton crop cultivation. Different scenarios were devised regarding the cotton sell price and the expected irrigation water pricing and subsidies policy changes. The scenarios were implemented for full and deficit irrigation schedules. The results showed that for all scenarios and cotton sell prices equal to 0.5, 0.4 and 0.3 €/kg the maximum profit was obtained when 70% and 60% deficit irrigation schedules were implemented. However, in the case of subsidies policy change scenario, the producers potential profit reduced significantly, setting the sustainability of cotton cultivation under threat.

Keywords: Cotton, Precision Agriculture, AquaCrop, Deficit Irrigation.

1. Εισαγωγή

Το βαμβάκι αποτελεί για την Ελλάδα ένα σημαντικό εθνικό γεωργικό προϊόν. Η συστηματική καλλιέργειά του χρονολογείται από το 1931-32, οπότε και στην χώρα ιδρύθηκαν το Ινστιτούτου Βάμβακος και ο Οργανισμός Βάμβακος. Το διάστημα αυτό η συνολικά καλλιεργούμενη έκταση του φυτού εκτιμάται μεταξύ 150.000 και 200.000 στρεμμάτων (Νταράουσε, 2000). Μετά την ένταξη της χώρας στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) και την πολιτική των επιδοτήσεων που εφαρμόστηκε, η καλλιέργεια του βάμβακος γνώρισε ραγδαία αύξηση με αποτέλεσμα στα μέσα του 1990 η καλλιέργειά της να ξεπερνά τα 4.000.000 στρέμματα. Έως και το 2010, η μέση καλλιεργούμενη έκταση του βάμβακος στην χώρα ήταν περίπου 3.500.000 στρέμματα, έκταση η οποία αντιστοιχεί στο 13% της συνολικά καλλιεργήσιμης γης στην Ελλάδα. Στα διάφορα στάδια παραγωγής και μεταποίησης της καλλιέργειας υπολογίζεται ότι απασχολήθηκαν πάνω από 150.000 άνθρωποι, ενώ η πώληση του σύσπορου βάμβακος αποτέλεσε σημαντική πηγή εσόδων για 80.000-100.000 οικογένειες (Tsakmakis et al., 2014). Τέλος, σε εθνικό επίπεδο, η πώληση του

επεξεργασμένου βάμβακος, υπήρξε σημαντική πηγή συναλλάγματος, καθώς το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής αποτέλεσε εξαγωγικό προϊόν.

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται στην χώρα μία μείωση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων του βάμβακος. Αυτό οφείλεται κυρίως: α) στην αλλαγή της πολιτικής των επιδοτήσεων της ΕΕ με αποτέλεσμα την μείωση των παγίων εσόδων των παραγωγών, β) στις αυξομειώσεις της τιμής πώλησης του σύσπορου βάμβακος και γ) στην αύξηση του κόστους άρδευσης εξαιτίας της μείωσης των διαθέσιμων αποθεμάτων νερού. Η επικείμενη εναρμόνιση της εθνικής νομοθεσίας με την νέα κοινή αγροτική πολιτική (ΚΑΠ) 2014-20 (EU, 2013), η οποία ευνοεί την ανάπτυξη και εφαρμογή νέων βιώσιμων καλλιεργητικών πρακτικών, αναμένεται να αυξήσει την πίεση στους βαμβακο-καλλιεργητές, καθώς θα επιφέρει σημαντικές αλλαγές οι οποίες μπορεί να έχουν την μορφή τιμολόγησης του αρδευτικού νερού ή την κατάργηση της πάγιας επιδότησης του βάμβακος με βάση την έκταση (€/στρέμμα).

Τα μαθηματικά ομοιώματα (μοντέλα) ανάπτυξης φυτών αναπτύχθηκαν με κύριο στόχο την δυνατότητα αναπαραγωγής του κύκλου ανάπτυξης των φυτών κάτω από τις επικρατούσες κλιματολογικές και εδαφολογικές συνθήκες. Δυνητικά μπορούν να συνεισφέρουν στη καλύτερη κατανόηση της επίδρασης των διαφόρων καλλιεργητικών πρακτικών, αλλά και της κλιματικής αλλαγής, στην ανάπτυξη και παραγωγή των καλλιεργειών (Rauff & Bello, 2015). Ως εκ τούτου μπορούν να αποτελέσουν χρήσιμα και καινοτόμα εργαλεία για την βελτιστοποίηση των καλλιεργητικών πρακτικών, οι οποίες μπορεί να αναφέρονται στον τρόπο της άρδευσης και στην ποσότητα του χρησιμοποιούμενου αρδευτικού νερού, με στόχο την μεγιστοποίηση του τελικού οικονομικού οφέλους αλλά και την εξοικονόμηση νερού (García-Vila et al., 2009).

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να εξετάσει τα περιθώρια του οικονομικού οφέλους των παραγωγών από την καλλιέργεια του βάμβακος και να εκτιμηθεί η εξοικονόμηση αρδευτικού νερού υπό τις παρούσες συνθήκες αλλά και με βάση πιθανά μελλοντικά σενάρια. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο προσομοίωσης ανάπτυξης φυτών AquaCrop (Raes et al., 2009; Steduto et al., 2009), το οποίο εφαρμόστηκε για πλήρη άρδευση και για διάφορα προγράμματα ελλειμματικής άρδευσης. Στην συνέχεια, εξετάστηκε η βιωσιμότητα της καλλιέργειας του βάμβακος υπολογίζοντας το δυνητικό κέρδος των παραγωγών: α) για την υπάρχουσα κατάσταση επιδοτήσεων, β) για την υπάρχουσα κατάσταση επιδοτήσεων και την τιμολόγηση του αρδευτικού νερού και γ) την συνδυαστική περίπτωση τιμολόγησης του αρδευτικού νερού και αλλαγής της πολιτικής των επιδοτήσεων της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

2. Μεθοδολογία

2.1. Μοντέλο AquaCrop

Το μοντέλο AquaCrop προσομοιώνει τον κύκλο ανάπτυξης μονοετών καλλιεργειών όπως είναι τα δημητριακά, τα λαχανικά, οι κόνδυλοι (πατάτες, καρότα), το βαμβάκι κλπ. Η λειτουργία του στηρίζεται εν μέρη στην ιδέα του διπλού φυτικού συντελεστή όπως αυτή προτάθηκε και παρουσιάστηκε από τους Allen et al. (1998), ενσωματώνει όμως και την σχετικά πιο πρόσφατη έννοια την παραγωγικότητας του νερού (water productivity, WP*), προκειμένου να μετατρέψει την εκτιμώμενη διαπνοή των φυτών σε παραγόμενη βιομάζα (Steduto, et al., 2007). Για την ανάπτυξη και λειτουργία του απαιτείται: (α) ένα κλιματολογικό αρχείο το οποίο περιέχει δεδομένα για την ημερήσια εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (ET_0), την ημερήσια βροχόπτωση, την ημερήσια μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία και την συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα, (β) ένα αρχείο φυτού, το οποίο περιέχει πληροφορίες για την διάρκεια του κάθε σταδίου ανάπτυξης της καλλιέργειας, το ρυθμό ανάπτυξης του ριζικού συστήματος, την επίδραση του υδατικού στρες στην βλαστική ανάπτυξη κ.α.,·(γ) ένα εδαφολογικό αρχείο στο οποίο περιγράφεται η στρωμάτωση του εδαφικού προφίλ, τα υδρολογικά χαρακτηριστικά του κάθε στρώματος, όπως είναι τα σημεία μάρανσης, υδατο-ικανότητας και κορεσμού, και η κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα, (δ) ένα αρχείο με το πρόγραμμα αρδεύσεων, το οποίο περιέχει πληροφορίες σχετικά με την τεχνολογία του

χρησιμοποιούμενου αρδευτικού συστήματος, τις ημερομηνίες των γεγονότων άρδευσης και τις αντίστοιχα εφαρμοζόμενες ποσότητες αρδευτικού νερού και (ε) ένα αρχείο διαχείρισης του αγρού για την εισαγωγή γεωργικών πρακτικών, όπως η κάλυψη του αγρού με οργανικά υπολείμματα και η δημιουργία αναβαθμών με στόχο την λίμναση του νερού σε καλλιέργειες όπως το ρύζι.

Για τον υπολογισμό της πραγματικής διαπνοής του φυτού το ομοίωμα χρησιμοποιεί την εξίσωση (1):

$$Tr_{Cadj}=K_S\times Kc_{Tr}\times ET_0 \quad \textbf{(1)}$$

όπου: K_s είναι αδιάστατος συντελεστής ο οποίος εκφράζει την επίδραση του υδατικού στρες στην ανάπτυξη των φυτών και παίρνει τιμή 1 όταν στο εδαφικό προφίλ υπάρχει επάρκεια νερού και 0 όταν τα υδατικά αποθέματα έχουν εξαντληθεί, Kc_{Tr} είναι ο φυτικός συντελεστής διαπνοής του φυτού στο στάδιο της μέγιστης ανάπτυξής του και ET_0 η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς.

Η παραγόμενη υπέργεια ξηρή βιομάζα υπολογίζεται από την εξίσωση (2):

$$B=WP^*\times\sum\frac{Tr_{Cadj}}{ET_0} \quad \textbf{(2)}$$

όπου: B είναι η συσσωρευόμενη υπέργεια ξηρή βιομάζα (tn/ha/d) και WP* η κανονικοποιημένη παραγωγικότητα νερού (g/m^2) για την συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα και τον τύπο της καλλιέργειας.

Η τελική παραγωγή υπολογίζεται από την εξίσωση (3):

$$Y=HI\times B \quad \textbf{(3)}$$

όπου: Y η τελική ξηρή παραγωγή (tn/ha) και HI ο δείκτης συγκομιδής (%), ο οποίος εκφράζει το ποσοστό της τελικά παραγόμενης ξηρής βιομάζας που αποτελεί το τελικό εμπορεύσιμο προϊόν.

Το αρχείο φυτού που χρησιμοποιήθηκε έχει βαθμονομηθεί και επαληθευθεί στα πλαίσια εκτεταμένου πειράματος άρδευσης ακριβείας το οποίο πραγματοποιήθηκε σε πειραματικό αγρό στην ευρύτερη περιοχή της Ξάνθης στην Βόρεια Ελλάδα (41,046^{o}N, 24,892°E, 13 m υψόμετρο) (Tsakmakis et al., 2017). Το εδαφολογικό αρχείο προέκυψε έπειτα από εκτεταμένη δειγματοληψία εδαφικών δειγμάτων του παραπάνω πειραματικού αγρού, ενώ για τη δημιουργία του κλιματικού αρχείου χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τον μετεωρολογικό σταθμό ο οποίος είχε τοποθετηθεί στην περιοχή. Τέλος, επιλέχθηκε το προεπιλεγμένο από το μοντέλο αρχείο διαχείρισης, βάση του οποίου ο αγρός δεν καλύπτεται με οργανικά υπολείμματα, ούτε υπάρχουν αναβαθμοί για την λίμναση του νερού.

Αρχικά το AquaCrop εφαρμόστηκε σε συνθήκες πλήρους άρδευσης ώστε να ικανοποιούνται πλήρως οι ανάγκες εξατμισοδιαπνοής των φυτών (ET_C). Για τον σκοπό αυτό, κάθε φορά που το εδαφικό περιεχόμενο υγρασίας μειωνόταν κατά 35 mm πραγματοποιούνταν ένα γεγονός άρδευσης το οποίο εφάρμοζε στον αγρό 35 mm νερό. Η ποσότητα αυτή, θεωρείται ως αντιπροσωπευτική της ποσότητας που εφαρμόζουν οι αγρότες ανά γεγονός άρδευσης όταν χρησιμοποιούν ως αρδευτικό σύστημα τον καταιονισμό (κανόνι), πρακτική που είναι και η πιο διαδεδομένη στην βόρεια Ελλάδα. Με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκε το πρόγραμμα πλήρους άρδευσης. Τα προγράμματα ελλειμματικής άρδευσης δημιουργήθηκαν με βάση το πρόγραμμα πλήρους άρδευσης ως εξής: Η ποσότητα νερού που εφαρμόστηκε σε κάθε γεγονός πλήρους άρδευσης (35 mm) μειώθηκε σταδιακά από 10% έως 70% (με βήμα 10%) δημιουργώντας έτσι τα αντίστοιχα προγράμματα ελλειμματικής άρδευσης 90%, 80%, 70%, 60%, 50%, 40% και 30%. Για παράδειγμα, κατά την εφαρμογή της 80% ελλειμματικής άρδευσης, εφαρμόστηκαν σε κάθε αρδευτικό γεγονός στον αγρό 28 mm νερό, ποσότητα που αντιστοιχεί στο 80% της πλήρους άρδευσης (35 mm). Ακολούθως, το ομοίωμα εκτελέστηκε για όλα τα παραπάνω προγράμματα αρδεύσεων.

2.2. Οικονομικό όφελος

Το δυνητικό οικονομικό όφελος από την καλλιέργεια του βάμβακος υπολογίστηκε για τρία διαφορετικά σενάρια. Το σενάριο 1 εξετάζει το κέρδος των παραγωγών με βάση την σημερινή κατάσταση. Ο υπολογισμός του έγινε από την εξίσωση (4):

$$Profit = Y \times CP + Sub - PC - CW \times Ele \quad \textbf{(4)}$$

όπου: Profit (€/ha): το οικονομικό όφελος, Y (tn/ha): η παραγωγή του σύσπορου βάμβακος, CP (€/tn): η τιμή πώλησης του σύσπορου βάμβακος, Sub: η οικονομική ενίσχυση με την μορφή επιδότησης ίση με 749,38 €/ha, PC: το κόστος παραγωγής (σπόροι, λιπάσματα, ρυθμιστές ανάπτυξης κα) ίσο με 700,00 €/ha, CW (m^3/ha): η συνολική ποσότητα αρδευτικού νερού που χρησιμοποιήθηκε κατά την καλλιεργητική περίοδο και Ele το ενεργειακό κόστος σχετιζόμενο με την άντληση του αρδευτικού νερού ίσο με 0,1 €/m^3.

Το σενάριο 2 διαφέρει από το σενάριο 1 καθώς τιμολογείται το αρδευτικό νερό. Στην περίπτωση αυτή η εξίσωση (4) παίρνει την μορφή:

$$Profit = Y \times CP + Sub - PC - CW \times Ele - CW \times WP \quad \textbf{(5)}$$

όπου: WP η τιμή τιμολόγησης του αρδευτικού νερού (€/m^3).

Στο σενάριο 3 η επιδότηση παύει να δίνεται με την μορφή που έχει σήμερα, δηλαδή με βάση την καλλιεργούμενη έκταση, αλλά παρέχεται με την μορφή οικονομικής ενίσχυσης με βάση την εξοικονόμηση του αρδευτικού νερού (€/m^3) από την εφαρμογή βιώσιμων καλλιεργητικών πρακτικών, ενώ παράλληλα εφαρμόζεται και το μέτρο της τιμολόγησης του αρδευτικού νερού. Έτσι η εξίσωση (4) γίνεται:

$$Profit = Y \times CP + Sub_W \left(CW_{FULL} - CW\right) - PC - CW \times Ele - CW \times WP \quad \textbf{(6)}$$

όπου: Sub_W η επιδότηση για την εξοικονόμηση του αρδευτικού νερού (€/m^3) και CW_{FULL} η ποσότητα αρδευτικού νερού που καταναλώθηκε όταν εφαρμόστηκε το πρόγραμμα της πλήρους άρδευσης.

Σε όλα τα σενάρια το οικονομικό όφελος υπολογίστηκε για τρεις τιμές πώλησης του βάμβακος: 0,5 €/kg, 0,4 €/kg και 0,3 €/kg. Στο σενάρια 2 η τιμή τιμολόγησης του αρδευτικού νερού ήταν 0,03 €/m^3 και 0,07 €/m^3 (García-Vila et al. 2009). Τέλος, στο σενάριο 3, η οικονομική επιδότηση στους παραγωγούς για την εξοικονόμηση νερού υπολογίστηκε ως ποσοστό της συνολικής τιμολόγησής του. Πιο συγκεκριμένα εξετάστηκαν οι περιπτώσεις όπου το ύψος της επιδότησης ήταν ίσο με το 30% και το 70% του συνολικού κόστους χρήσης του νερού. Δηλαδή, όταν αυτή λήφθηκε ίση με 0,03 €/m^3, οι τιμές επιδότησης που εξετάστηκαν ήταν 0,009 €/m^3 (30% επιδότηση) και 0,021 €/m^3 (70% επιδότηση). Στην περίπτωση που η τιμή τιμολόγησης ήταν 0,07 €/m^3, οι τιμές αυτές ήταν ίσες με 0,021 και 0,049 €/m^3 για 30% και 70% επιδότηση, αντίστοιχα.

Στους υπολογισμούς του οικονομικού οφέλους της παρούσας εργασίας δεν λήφθηκε υπόψη το εργατικό κόστος (απαιτούμενος χρόνος για την μετακίνηση προς τον αγρό και την μεταφορά/τοποθέτηση του αρδευτικού συστήματος), το κόστος χρήσης αγρο-εφοδίων και το κόστος συγκομιδής του αγρού.

3. Αποτελέσματα

3.1. Αποτελέσματα προσομοιώσεων του AquaCrop

Η συνολική ποσότητα του αρδευτικού νερού που χρησιμοποιήθηκε για κάθε πρόγραμμα άρδευσης, καθώς και η αντίστοιχη παραγωγή σύσπορου βάμβακος παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Οι Farahani et al. (2009) και Hussein et al. (2011), σε πειράματα που πραγματοποίησαν στην Συρία αναφέρουν πως η απαιτούμενη ποσότητα αρδευτικού νερού για πλήρη άρδευση ήταν 8.000 m^3/ha, ενώ οι Voloudakis et al. (2015) για ελλειμματική άρδευση 80% σε πείραμα που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή Καρδίτσας στην κεντρική Ελλάδα, βρήκαν ότι η απαιτούμενη ποσότητα αρδευτικού νερού ήταν περίπου 2.500 m^3/ha. Οι διαφορές αυτές στις ποσότητες αρδευτικού νερού αποδίδονται στις διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στις περιοχές όπου πραγματοποιήθηκαν τα πειράματα, τα διαφορετικά χαρακτηριστικά των ποικιλιών βάμβακος που χρησιμοποιήθηκαν και τις ενδεχόμενες διαφορές στα υδραυλικά χαρακτηριστικά του εδάφους των πειραματικών αγρών, όπως είναι τα σημεία κορεσμού και μάρανσης, η κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα, ο βαθμός συμπίεσης του εδάφους, κλπ.

Πίνακας 1: Ποσότητες νερού άρδευσης, και παραγωγή σύσπορου βάμβακος για τα διάφορα προγράμματα άρδευσης

Πρόγραμμα άρδευσης	**Ποσότητα νερού άρδευσης (m^3/ha)**	**Εξοικονόμηση αρδευτικού νερού (m^3/ha)**	**Παραγωγή σύσπορου βάμβακος (tn/ha)**
Πλήρης	4.500	-	3,663
Ελλειμματική 90%	4.050	450	3,701
Ελλειμματική 80%	3.600	900	3,807
Ελλειμματική 70%	3.150	1.350	3,852
Ελλειμματική 60%	2.700	1.800	3,706
Ελλειμματική 50%	2.250	2.250	3,441
Ελλειμματική 40%	1.800	2.700	3,130
Ελλειμματική 30%	1.350	3.150	2,716

Η μεγαλύτερη παραγωγή σύσπορου βάμβακος, ίση με 3,807 tn/ha, παρατηρήθηκε όταν εφαρμόστηκε η ελλειμματική άρδευση 70%. Τα αποτελέσματα αυτά, είναι παρόμοια με αντίστοιχα στη διεθνή βιβλιογραφία. Οι Voloudakis et al. (2015) για ελλειμματική άρδευση 80% αναφέρουν παραγωγές μεταξύ 3.000 και 4.000 tn/ha για διαφορετικές καλλιεργητικές χρονιές. Η αύξηση της παραγωγής του βάμβακος παρά την μείωση της ποσότητας του νερού άρδευσης και της τελικά παραγόμενης φυτικής βιομάζας, οφείλεται στην αύξηση της τιμής του όρου HI στην εξίσωση (3). Οι Fereres and Soriano (2007) αναφέρουν ότι η τιμή του HI δύναται να αυξηθεί όταν εφαρμοστεί υδατικό στρες την περίοδο πριν την ανθοφορία, ενώ οι García-Vila et al. (2009) επισημαίνουν ότι στην περίπτωση της καλλιέργειας του βάμβακος η τιμή του HI τείνει να αυξηθεί όταν εφαρμοστεί ελλειμματική άρδευση. Επιπλέον, με την εφαρμογή αυτού του προγράμματος άρδευσης, δηλαδή ελλειμματική άρδευση στο 70% της πλήρους, εξοικονομούνται περίπου 135 mm νερό, ποσότητα η οποία αντιστοιχεί περίπου στο ένα πέμπτο της αθροιστικής ποσότητας βροχόπτωσης που πέφτει σε ένα τυπικό έτος στην περιοχή της Ξάνθης.

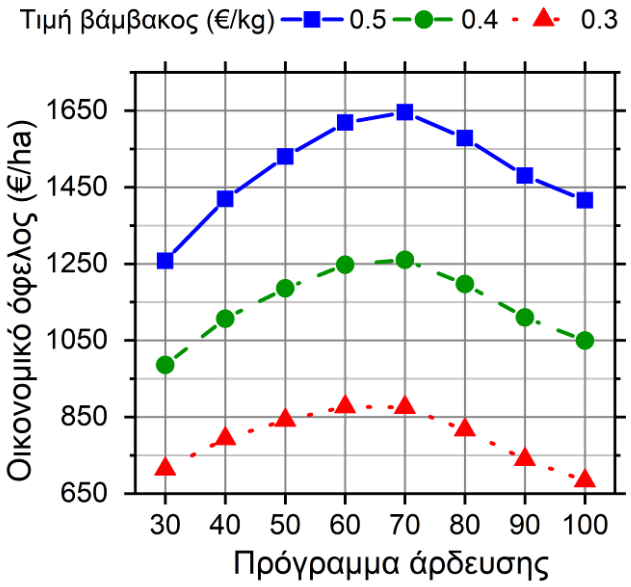
3.2. Οικονομικό όφελος με βάση το σενάριο 1

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται το οικονομικό όφελος από την καλλιέργεια του βάμβακος, βάση την υπάρχουσας κατάστασης επιδοτήσεων, για τα διάφορα προγράμματα άρδευσης. Για όλα τα προγράμματα άρδευσης το οικονομικό όφελος βρέθηκε μεγαλύτερο στην περίπτωση που η τιμή πώλησης του βάμβακος ήταν 0,5 €/kg, φτάνοντας στο μέγιστο (1.645 €/ha) με εφαρμογή ελλειμματικής άρδευσης στο 70% της πλήρους. Είναι αξιοσημείωτο ότι ενώ με την εφαρμογή

πλήρους άρδευσης και ελλειμματικής άρδευσης στο 40% της πλήρους, η παραγωγή του βάμβακος είναι 3,663 tn/ha και 3,130 t/ha, αντίστοιχα, ενώ το οικονομικό όφελος είναι περίπου το ίδιο (1.100 €/ha) και στις δύο περιπτώσεις. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το επιπλέον κέρδος από την μεγαλύτερη παραγωγή στην περίπτωση της πλήρους άρδευσης αντισταθμίζεται από το κόστος για την άντληση των επιπλέον 2.700 m^3/ha που απαιτούνται για την εφαρμογή της. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται αφενός το μέγιστο οικονομικό όφελος για τον παραγωγό, ενώ αφετέρου, από περιβαλλοντική σκοπιά, πραγματοποιείται μία ορθολογική διαχείριση των διαθέσιμων υδάτων, σύμφωνη με τις σύγχρονες απαιτήσεις και κατευθύνσεις της νέας αγροτικής πολιτικής για μία βιώσιμη γεωργία.

Παρόμοια ήταν τα αποτελέσματα όταν η τιμή πώλησης του βάμβακος λήφθηκε ίση με 0,4 €/kg. Το μέγιστο οικονομικό όφελος όμως στην περίπτωση αυτή ήταν ίσο με 1.260 €/ha.

Όταν το κόστος πώλησης μειωθεί περαιτέρω, στα 0,3 €/kg, το μέγιστο όφελος που προέκυψε από την εφαρμογή της 60% ελλειμματικής άρδευσης βρέθηκε 877 €/ha. Επιπλέον στην περίπτωση αυτή η εφαρμογή της πλήρους άρδευσης είχε σαν αποτέλεσμα το μικρότερο δυνατό κέρδος (683 €/ha).

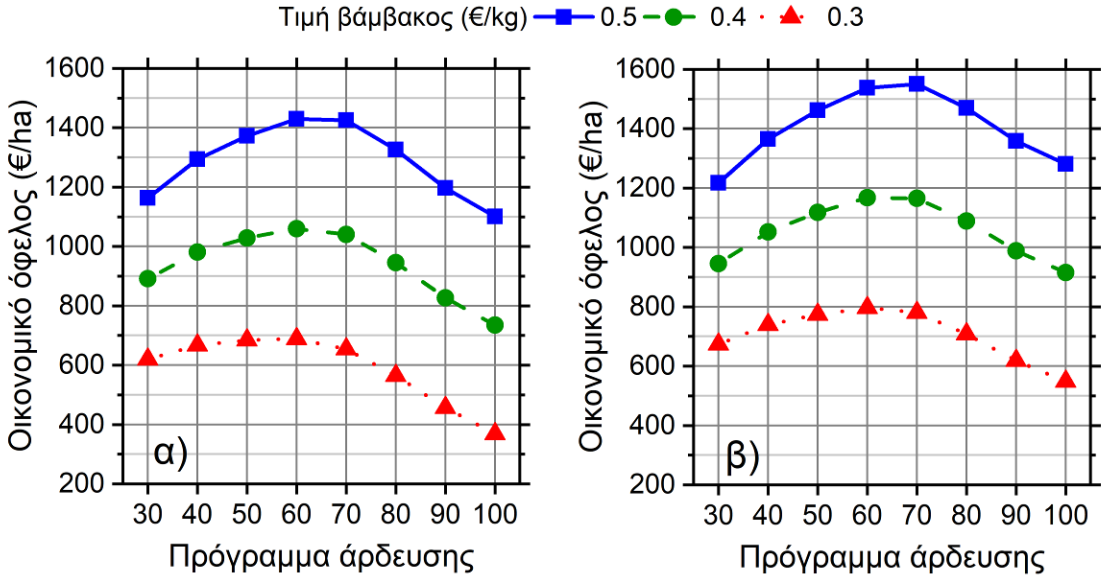


Σχήμα 1: Οικονομικό όφελος από την πώληση του σύσπορου βάμβακος με βάση το σενάριο 1

3.3. Οικονομικό όφελος με βάση το σενάριο 2

Στο σενάριο 2 και στην περίπτωση που η τιμή πώλησης του βάμβακος λήφθηκε ίση με 0,5 €/kg, το οικονομικό όφελος ήταν μεγαλύτερο για όλα τα προγράμματα άρδευσης, γεγονός που παρατηρήθηκε και στο σενάριο 1. Όταν το κόστος χρήσης του αρδευτικού νερού θεωρήθηκε ίσο με 0,03 €/m^3 το μέγιστο οικονομικό όφελος προέκυψε από την εφαρμογή της ελλειμματικής άρδευσης 60% και 70% της πλήρους, ίσο με 1.540 €/ha και 1.160 €/ha για τις τιμές πώλησης 0,5 €/kg, και 0,4 €/kg, αντίστοιχα. Αντίθετα, για την τιμή πώλησης 0,3 €/kg το μέγιστο κέρδος προέκυψε στην περίπτωση της ελλειμματικής άρδευσης 60% της πλήρους, ίσο με 796 €/ha (Σχήμα 2β). Για τιμή πώλησης βάμβακος 0,5 €/kg το χαμηλότερο κέρδος παρατηρήθηκε όταν εφαρμόστηκαν η πλήρης και η 30% ελλειμματική άρδευση, ενώ στις περιπτώσεις των τιμών πώλησης 0,4 €/kg και 0,3 €/kg το κέρδος από την εφαρμογή της ελλειμματική άρδευσης 30% της πλήρους ήταν μεγαλύτερο σε σύγκριση με την 90% ελλειμματική και πλήρης άρδευση. Συμπερασματικά, μία επικείμενη τιμολόγηση του αρδευτικού νερού με 0,03 €/kg, θα είχε ως αποτέλεσμα την μείωση του μέγιστου δυνητικού οικονομικού οφέλους κατά περίπου 95 €/ha σε σχέση με το σενάριο 1.

Όταν το κόστος χρήσης του αρδευτικού νερού αυξήθηκε σε 0,07 €/m^3, η δυνητική μείωση του οικονομικού οφέλους σε σύγκριση με το σενάριο 1 σχεδόν διπλασιάστηκε φτάνοντας τα 215 €/ha. Για την τιμολόγηση αυτή και τιμή πώλησης του βάμβακος 0,3 €/kg, το μέγιστο όφελος ξεκινά από την εφαρμογή της 40% ελλειμματικής άρδευσης και παραμένει περίπου σταθερό έως και την 60% ελλειμματική, ενώ στην συνέχεια μειώνεται γραμμικά για να πάρει την χαμηλότερη τιμή του κατά την εφαρμογή της πλήρους άρδευσης (Σχήμα 2α). Στις περιπτώσεις των τιμών πώλησης 0,5 €/kg και 0,4 €/kg, το μέγιστο όφελος προέκυψε στην περίπτωση της 60% ελλειμματικής άρδευσης, ενώ μετά το 70% παρατηρήθηκε σημαντική μείωση του οφέλους.



Σχήμα 2: Οικονομικό όφελος με βάση το σενάριο 2 και τιμολόγηση του αρδευτικού νερού: α) 0,07 €/m^3 και β) 0,03 €/m^3.

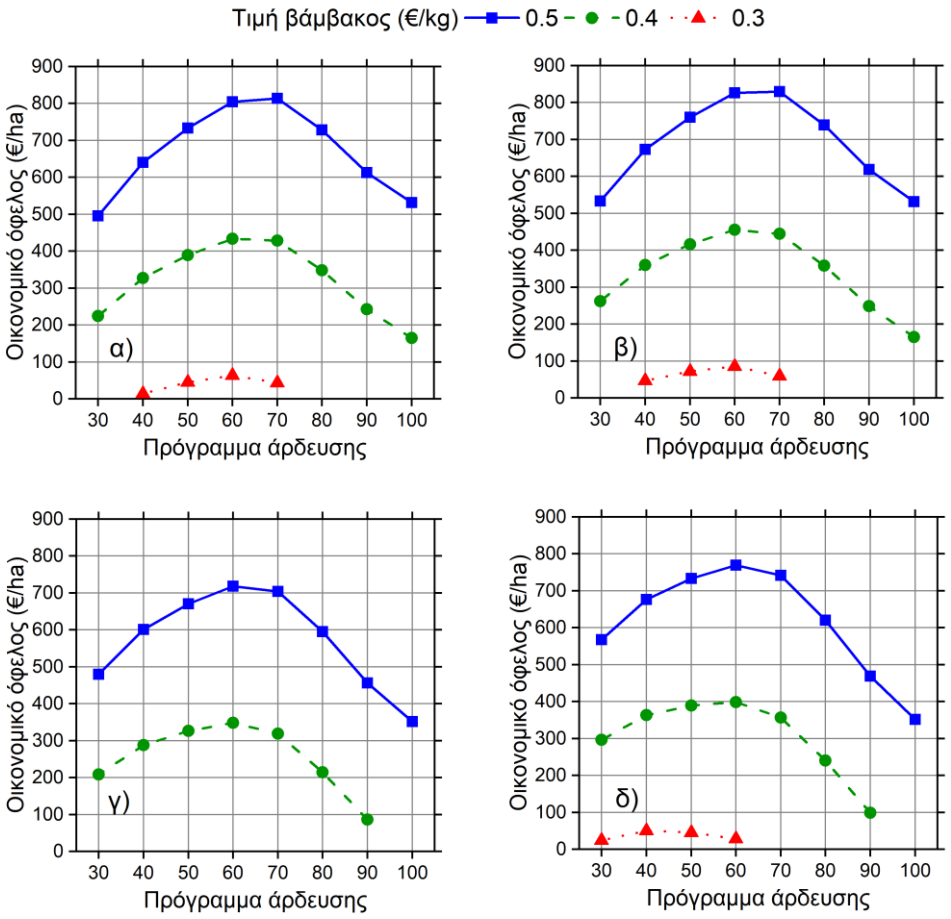
3.4. Οικονομικό όφελος με βάση το σενάριο 3

Το Σχήμα 3 απεικονίζει τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή του σεναρίου 3. Για τις τιμές πώλησης του σύσπορου βάμβακος 0,5 και 0,4 €/kg, οι ελλειμματικές αρδεύσεις στο 60% και 70% της πλήρους απέφεραν και στο σενάριο αυτό το μέγιστο οικονομικό όφελος, για όλες τις περιπτώσεις τιμολόγησης-επιδότησης. Στην περίπτωση τιμολόγησης του αρδευτικού νερού με 0,03 €/m^3 το δυνητικό κέρδος των παραγωγών βρέθηκε περίπου ίσο με 800 €/ha, μειωμένο σχεδόν κατά 800 €/ha σε σχέση με το σενάριο 1. Η μείωση αυτή θεωρείται σημαντική, καθώς είναι ίση με το 50% του δυνητικού κέρδους που μπορεί να έχουν οι παραγωγοί σήμερα. Επιπλέον, για την τιμολόγηση αυτή του αρδευτικού νερού, η διαφορά στο μέγιστο όφελος μεταξύ των περιπτώσεων 30% και 70% επιδότησης για την εξοικονόμηση νερού (Σχήμα 3α, 3β), βρέθηκε ίση με 16 €/ha.

Όταν η τιμολόγηση του νερού θεωρήθηκε ίση με 0,07 €/m^3, η μείωση στο δυνητικό οικονομικό όφελος των παράγωγων ήταν οριακά μεγαλύτερη (850 – 900 €/ha). Επιπλέον, για την κοστολόγηση αυτή, το κέρδος στην περίπτωση που η επιδότηση για την εξοικονόμηση αρδευτικού νερού λήφθηκε ίση με 70% ήταν περίπου 50 €/ha, μεγαλύτερο σε σύγκριση με την περίπτωση που αυτή θεωρήθηκε ίση με 30%.

Αξιοσημείωτα είναι τα αποτελέσματα που προέκυψαν όταν η τιμή πώλησης του βάμβακος λήφθηκε ίση με 0,3 €/kg. Κατά την θεώρηση αυτή, οικονομικό όφελος παρατηρήθηκε μόνο για τα προγράμματα ελλειμματικής άρδευσης 40% με 70% και 30% με 60% της πλήρους άρδευσης για τις περιπτώσεις τιμολόγησης του αρδευτικού νερού με 0,03 και 0,07 €/m^3, αντίστοιχα (Σχήμα 3α, 3β, 3δ). Επιπρόσθετα, στην υπο-περίπτωση της τιμολόγησης με 0,07 €/m^3 και επιδότησης ίσης με 30%

δεν παρατηρήθηκε κέρδος για κανένα από τα προγράμματα άρδευσης (Σχήμα 3γ). Το κέρδος για όλες τις παραπάνω περιπτώσεις βρέθηκε να είναι πολύ μικρό, κάτω από 100 €/ha.



Σχήμα 3: Οικονομικό όφελος από την πώληση του σύσπορου βάμβακος για τα διάφορα προγράμματα άρδευσης στις εξής περιπτώσεις: (1) τιμολόγηση του αρδευτικού νερού με 0,03 €/m^3 και επιδότηση για την εξοικονόμησή του: α) 0,009 €/m^3 και β) 0,021 €/m^3, (2) τιμολόγηση του αρδευτικού νερού με 0,07 €/m^3 και επιδότηση για την εξοικονόμησή του: γ) 0,021 €/m^3 και δ) 0,049 €/m^3

4. Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας έδειξαν ότι βάση της υπάρχουσας πολιτικής των αγροτικών επιδοτήσεων, το μέγιστο οικονομικό όφελος για τους παραγωγούς για όλες τις τιμές πώλησης του βάμβακος προκύπτει όταν εφαρμοστούν ελλειμματικές αρδεύσεις στο επίπεδο του 60% και 70% της πλήρους άρδευσης,. Στην πιθανή περίπτωση τιμολόγησης του αρδευτικού νερού, το μέγιστο κέρδος επιτυγχάνεται και πάλι με την εφαρμογή των παραπάνω ελλειμματικών αρδεύσεων, παρουσιάζεται όμως μειωμένο αναλογικά με την πολιτική τιμολόγησης. Όμοια ήταν τα αποτελέσματα και στην περίπτωση αλλαγής της φιλοσοφίας των επιδοτήσεων, από την επιδότηση με βάση την καλλιεργούμενη έκταση στην επιδότηση με βάση την εξοικονόμηση νερού, όταν οι τιμές πώλησης του σύσπορου βάμβακος θεωρήθηκαν ίσες με 0,5 και 0,4 kg/ha. Όμως, το δυνητικό οικονομικό όφελος των παραγωγών στην περίπτωση αυτή, βρέθηκε να είναι περίπου το μισό σε σύγκριση με αυτό της υπάρχουσας πολιτικής. Για το σενάριο αυτό, το οικονομικό όφελος ήταν σχεδόν μηδενικό στην περίπτωση που η τιμή πώλησης του βάμβακος θεωρήθηκε ίση με 0,3 €/kg.

Βάση των παραπάνω, το μέλλον της καλλιέργειας του βάμβακος στην βόρεια Ελλάδα τίθεται σε κίνδυνο, καθώς το περιθώριο οικονομικού οφέλους των παραγωγών αναμένεται να μειωθεί σημαντικά στην περίπτωση εφαρμογής μίας πολιτικής επιδοτήσεων με βάση μόνο την

εξοικονόμηση του αρδευτικού νερού. Ίσως η οικονομική ενίσχυση των παραγωγών βασισμένη στην παραγωγικότητα του νερού και στην ορθολογική χρήση του σε συνδυασμό με πρόσθετη επιδότηση για την ορθολογική χρήση των λιπασμάτων, ζιζανιοκτόνων και εντομοκτόνων να μπορούν να εξασφαλίσουν την βιωσιμότητα της καλλιέργειας στην περιοχή. Για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων απαιτείται περαιτέρω έρευνα πάνω στο θέμα.

Βιβλιογραφία

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: guide-lines for computing crop water requirements. In: FAO *Irrigation and Drainage Paper 56*, Food and Agriculture Organization, Rome.

European Union (2013). *Overview of CAP reform 2014-2020*. https://ec.europa.eu/agriculture/sites/agriculture/files/policy-perspectives/policy-briefs/05_en.pdf. Accessed 22 Aug 18.

Farahani, H.J., Izzi, G., & Oweis, T.Y. (2009). Parameterization and evaluation of the AquaCrop model for full irrigation and deficit irrigation cotton. *Agronomy Journal, 101*(3), 469–476.

Fereres, E., Soriano, & Auxiliadora Soriano, M. (2007). Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany, 58*, 147-159. https://doi.org/10.1093/jxb/erl165.

García-Vila, M., Fereres, E., Mateos, L., Orgaz, F., & Steduto, P. (2009). Deficit irrigation optimization of cotton with AquaCrop. *Agronomy Journal, 101*(3), 477–487. doi:10.2134/agronj2008.0179s.

Hussein, F., Janat, M., & Yakoub, A. (2011). Simulating cotton yield response to deficit irrigation with the FAO AquaCrop model. *Spanish Journal of Agricultural Research, 9*, 1319–1330. doi:10.5424/sjar/20110904-358-10

Νταράουσε, Μ. (2000). *Μελέτη φυσιολογικών χαρακτηριστικών ποικιλιών βάμβακος*. Οργανισμός Βάμβακος.

Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C., & Fereres, E. (2009). AquaCrop—The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: II. Main Algorithms and Software Description. *Agronomy Journal, 101*. doi:10.2134/agronj2008.0140s

Rauff, K.O., & Bello, R. (2015). A Review of Crop Growth Simulation Models as Tools for Agricultural Meteorology. *Agricultural Sciences, 6*, 1098–1105. http://dx.doi.org/10.4236/as.2015.69105

Steduto, P., Hsiao, T.C., & Fereres, E. (2007). On the conservative behaviour of biomass water productivity. *Irrigation Science, 25*, 189–207.

Steduto, P., Hsiao, T.C., Raes, D., & Fereres, E. (2009). AquaCrop—The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying Principles. *Agronomy Journal, 101*, doi:10.2134/agronj2008.0139s

Tsakmakis, I., Kokkos, N., Pisinaras, V., Papaevangelou, V., Hatzigiannakis, E., Arampatzis, G., Gikas, G.D., Linker, R., Zoras, S., Evagelopoulos, V., Tsihrintzis, V.A., Battilani, A., & Sylaios, G. (2017). Operational Precise Irrigation for Cotton Cultivation through the Coupling of Meteorological and Crop Growth Models. *Water Resources Management 31*(1), 563–580. https://doi.org/10.1007/s11269-016-1548-7

Tsakmakis, I., Kokkos, N., & Sylaios, G. (2014). *The Theoretical Boundaries of Precision Irrigation for Cotton Cultivation in Northern Greece. Technical Report for FIGARO Project.* Democritus University of Thrace, Greece.

Voloudakis, D., Karamanos, A., Economou, G., Kalivas, D., Vahamidis, P., Kotoulas, V., Kapsomenakis, J., & Zerefos, C. (2015). Prediction of climate change impacts on cotton yields in Greece under eight climatic models using the AquaCrop crop simulation model and discriminant function analysis. *Agriculture Water Management, 147*, 116–128.