



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ**

Διδακτορική διατριβή

Ανάπτυξη ταχείας μεθόδου (quick-test) για την *in situ* αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ζιζανιοκτόνων και τη διαχείριση φαινομένων ανθεκτικότητας κατά την ίδια καλλιεργητική περίοδο

Αναστασία Α. Τσεκούρα

Επιβλέπων καθηγητής

Ηλίας Τραυλός, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Ηλίας Τραυλός, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ

Παναγιώτα-Θηρεσία Παπαστυλιανού, Καθηγήτρια ΓΠΑ

Σπυρίδων Φουντας, Καθηγητής ΓΠΑ



ΑΘΗΝΑ
2023

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ**

Διδακτορική διατριβή

Ανάπτυξη ταχείας μεθόδου (quick-test) για την *in situ* αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ζιζανιοκτόνων και τη διαχείριση φαινομένων ανθεκτικότητας κατά την ίδια καλλιεργητική περίοδο

«Rapid method (quick-test) for the *in situ* herbicide evaluation and management of resistant cases during the same growing period»

Αναστασία Α. Τσεκούρα

Επταμελής Εξεταστική Επιτροπή

Ηλίας Τραυλός, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ (επιβλέπων)

Παναγιώτα-Θηρεσία Παπαστυλιανού, Καθηγήτρια ΓΠΑ

Σπυρίδων Φουντας, Καθηγητής ΓΠΑ

Δημήτριος Μπιλάλης, Καθηγητή Γ.Π.Α.

Ανέστης Καρκάνης, Αναπληρωτής Καθηγητής Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Γαρυφαλιά Οικονόμου - Αντώννακα, Καθηγήτρια Γ.Π.Α.

Δημοσθένης Χάχαλης, Διευθυντής Ερευνών Μπενάκειο Φυτοπαθολογικό Ινστιτούτο

Ανάπτυξη ταχείας μεθόδου (quick-test) για την *in situ* αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ζιζανιοκτόνων και την διαχείριση φαινομένων ανθεκτικότητας κατά την ίδια καλλιεργητική περίοδο

Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής
Εργαστήριο Γεωργίας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η χημική ζιζανιοκτονία αποτελεί μια από τις πιο βασικές μεθόδους ελέγχου των ζιζανίων σε φυτά μεγάλης καλλιέργειας. Ωστόσο, η εκτεταμένη χρήση των ζιζανιοκτόνων συχνά οδηγεί σε ανάπτυξη ανθεκτικών βιότυπων ζιζανίων σε ζιζανιοκτόνα. Η ανάπτυξη ανθεκτικότητας και η λανθασμένη χρήση των ζιζανιοκτόνων έχουν περιβαλλοντικό και οικονομικό αντίκτυπο. Η ορθή και στοχευμένη εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων αποτελεί ένα σημαντικό ζήτημα για το οποίο κρίνεται απαραίτητο να προταθούν λύσεις. Σκοπός της παρούσας διδακτορικής μελέτης αποτέλεσε η ανάπτυξη ταχείας μεθόδου για την *in situ* αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των ζιζανιοκτόνων και την διαχείριση φαινομένων ανθεκτικότητας την ίδια καλλιεργητική περίοδο.

Για την ανάπτυξη και την διερεύνηση της ταχείας μεθόδου πραγματοποιήθηκαν πειράματα αγρού σε δύο πολύ σημαντικές καλλιέργειες, το σκληρό σιτάρι (*Triticum durum* Desf.) και τον αραβόσιτο (*Zea mays* L.). Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε στις δύο καλλιέργειες ήταν παρόμοια. διαφοροποίηση αφορούσε τις επεμβάσεις των ζιζανιοκτόνων. Στην καλλιέργεια του σιταριού εφαρμόστηκαν τα εξής ζιζανιοκτόνα στην συνιστώμενη δόση σύμφωνα με την ετικέτα: 2,4 D- ester, pyroxsulam+florasulam, clopyralid+ florasulam, mesosulfuron-methyl + iodosulfuron methyl-sodium και fenoxaprop-P-ethyl. Στην καλλιέργεια του αραβόσιτου εφαρμόστηκαν τα παρακάτω μίγματα: nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, nicosulfuron+rimsulfuron,florasulam+mesotrione,mesotrione+nicosulfuron & 2,4 D- ester. Για την ταχεία αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των ζιζανιοκτόνων χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης NDVI. Για την επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων του δείκτη NDVI πραγματοποιήθηκαν συσχετίσεις με μετρήσεις που χρησιμοποιούνται ευρέως για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ζιζανιοκτόνων. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκαν βιοδοκιμές σε φυτοδοχεία με πληθυσμούς που είχαν συλλεχθεί από τους πειραματικούς αγρούς. Σκοπό των βιοδοκιμών αποτέλεσε η επαλήθευση των πειραμάτων σε συνθήκες αγρού και η περαιτέρω διερεύνηση πιθανώς ανθεκτικών πληθυσμών. Έπειτα, πραγματοποιήθηκαν πειράματα για την σύγκριση και την εκτίμηση της αξιοπιστίας και της ακρίβειας της ταχείας μεθόδου. Τα πειράματα

περιλάμβαναν ένα πείραμα δόσης-απόκρισης σε συνθήκες αγρού και ένα πείραμα δόσης-απόκρισης σε φυτοδοχεία. Χρησιμοποιήθηκαν δύο βιότυποι του είδους *Sisymbrium orientale* L., ένας ανθεκτικός και ένας ευαίσθητος στην δραστική ουσία chlorsulfuron. Εφαρμόστηκαν δόσεις της δραστικής ουσίας chlorsulfuron από X/4 έως 4X (όπου X η μέγιστη συνιστώμενη δόση). Στο πείραμα δόσης-απόκρισης σε συνθήκες αγρού χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης NDVI για την ταχεία πρόβλεψη της ανθεκτικότητας των βιότυπων. Για την σύγκριση των δύο μεθόδων πραγματοποιήθηκαν γραμμικές συσχετίσεις και υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης. Η εκτίμηση της αξιοπιστίας και της ακρίβειας της ταχείας μεθόδου σε συνθήκες αγρού υπολογίστηκε μέσω εξισώσεων όπως αυτές αναφέρονται σε σχετική βιβλιογραφία.

Τα πειράματα αγρού στην καλλιέργεια του σιταριού έδειξαν ότι η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των ζιζανιοκτόνων 14 ημέρες μετά την εφαρμογή τους είναι εφικτή με την χρήση του δείκτη NDVI. Η μείωση του δείκτη NDVI παρουσίασε την ίδια τάση με τη μείωση του ξηρού βάρους των ζιζανίων. Αυτό το αποτέλεσμα επιβεβαιώθηκε από τις υψηλές γραμμικές συσχετίσεις που προέκυψαν μεταξύ των δύο μεταβλητών. Εξάιρεση αποτελεί ο πειραματικός αγρός στην Ορεσιάδα όπου οι συσχέτιση του δείκτη NDVI και του ξηρού βάρους των ζιζανίων ήταν μικρή ($R^2 = 5,43\%$). Επίσης, οι τιμές του δείκτη NDVI ήταν υψηλές σε σχέση με τον μάρτυρα οπότε η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των ζιζανιοκτόνων δεν ήταν εφικτή. Στον συγκεκριμένο πειραματικό αγρό κυριαρχεί το είδος *Lolium rigidum* L. (κοινώς "ήρα"), όπως φάνηκε από την υψηλή του πυκνότητα και τον δείκτη Simpson. Τα παρόμοια μορφολογικά χαρακτηριστικά του είδους *Lolium rigidum* L. με το σιτάρι αποτέλεσαν περιοριστικό παράγοντα της μεθόδου. Στην καλλιέργεια του αραβόσιτου αναδείχθηκε χαρακτηριστικά η χρησιμότητα της ταχείας μεθόδου. Οι μεγάλες αποστάσεις σποράς και η γρήγορη ανάπτυξη της καλλιέργειας συνετέλεσαν στην επιτυχή χρήση του δείκτη NDVI για την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας των ζιζανιοκτόνων. Για το σύνολο των πειραματικών αγρών, οι συσχετίσεις μεταξύ του δείκτη NDVI και του ξηρού βάρους των ζιζανίων ήταν υψηλές. Για παράδειγμα, στον πειραματικό αγρό Πύργος 4 κατά το δεύτερο έτος πειραματισμού ο εν λόγω συντελεστής συσχέτισης R^2 ήταν ίσος με 53,31%. Όσον αφορά τα πειράματα δόσης-απόκρισης για την καλλιέργεια του σιταριού, το σχετικό πείραμα αγρού επιβεβαίωσε την ανθεκτικότητα του ανθεκτικού (R) βιότυπου του είδους *Sisymbrium orientale* L. στην δραστική ουσία chlorsulfuron με την χρήση του δείκτη NDVI. Το Gr_{50} του βιότυπου R ήταν 2,5 φορές μεγαλύτερο από το Gr_{50} του ευαίσθητου (S) βιότυπου. Το πείραμα δόσης-απόκρισης σε φυτοδοχεία οδήγησε σε παρόμοια αποτελέσματα επαληθεύοντας την ταχεία μέθοδο σε συνθήκες αγρού. Οι δείκτες αξιοπιστίας και ακρίβειας της ταχείας

μεθόδου σε συνθήκες αγρού στη συνιστώμενη δόση του chlorsulfuron ήταν 0,8 και 0,79, αντίστοιχα. Επομένως, αναδείχθηκε τόσο η αξιοπιστία όσο και η ακρίβεια της μεθόδου.

Συνολικά, τα αποτελέσματα της παρούσας διδακτορικής μελέτης ανέδειξαν την χρησιμότητα του δείκτη NDVI για την ταχεία αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των ζιζανιοκτόνων σε φυτά μεγάλης καλλιέργειας. Επίσης, φάνηκε ότι η εφαρμογή της ταχείας μεθόδου μπορεί να αξιοποιηθεί στα πλαίσια της πρόληψης της ανάπτυξης φαινομένων ανθεκτικότητας. Επομένως, η ταχεία μέθοδος θα μπορούσε να αποτελέσει άλλο ένα σημαντικό εργαλείο στην Ολοκληρωμένη Διαχείριση των Ζιζανίων.

Επιστημονική περιοχή: Ζιζανιολογία

Λέξεις κλειδιά: ταχεία μέθοδος, αποτελεσματικότητα, ζιζανιοκτόνα, φυτά μεγάλης καλλιέργειας, δείκτης NDVI

Rapid method (quick-test) for the *in situ* herbicide evaluation and management of resistant cases during the same growing period

*Department of Crop Science
Laboratory of Agronomy*

ABSTRACT

Herbicides constitute the main method for controlling weeds in arable crops. However, the extended herbicide use leads to the evolution of resistant biotypes. Herbicide resistance and misuse of herbicides lead to environmental and economic consequences. The proper and targeted herbicide application is a major issue and solutions should be proposed. Consequently, the main objective of the current Ph.D. Thesis was the development of a rapid method for the *in situ* herbicide evaluation and the detection of resistant biotypes during the same cropping season.

Field trials were conducted in several regions in Greece in two major arable crops, durum wheat (*Triticum durum* Desf.) and maize (*Zea mays* L.). For both crops, the methodology was similar, with differences between the herbicides used. Regarding wheat, the applied herbicides, according to the label, were as follows: 2,4-D ester, pyroxsulam+florasulam, clopyralid+florasulam, mesosulfuron-methyl+iodosulfuron methyl-sodium & fenoxaprop-P-ethyl. The applied herbicide mixtures for the maize crop were as follows: nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, nicosulfuron+rimsulfuron, florasulam+mesotrione, mesotrione+nicosulfuron and 2,4-D ester. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was measured for the rapid herbicide efficacy evaluation. Linear regressions were conducted for the verification of the method. NDVI values were correlated to other parameters that are widely used for herbicide evaluation. In parallel, pot assays were conducted for the verification of the rapid method and a first detection of several herbicide-resistant biotypes. Furthermore, trials were conducted for the comparison, the estimation of the accuracy, and the precision of the rapid method. Dose-response experiments were conducted both under field conditions and in pots. *Sisymbrium orientale* L. biotypes were used, one resistant R and one susceptible S to the active ingredient chlorsulfuron. The applied rates ranged from X/4 to 4X (X represents the maximum recommended rate). For the field experiment, the early herbicide resistance detection was performed by using the NDVI values. Linear regressions were conducted, and the relation coefficient was calculated for the methods' comparison. The accuracy and precision of the rapid method were estimated through several equations aligned with previous studies.

The field trials on wheat crops revealed the potential of our method to reliably evaluate the herbicide performance at 14 days after treatment. The NDVI values were aligned to the weed biomass values. This result was confirmed by the strong relation between the variables. The only exception was the Orestiada field trial, whereas the relation between the NDVI values and the total weed biomass was weak ($R^2= 5.43\%$). Moreover, the NDVI values were high compared to the untreated control. As a result, the herbicide performance could not be evaluated by means of the NDVI values. This could be attributed to the dominance of the species *Lolium rigidum* L. (as shown by its high density and the Simpson Index) and its similar morphology with wheat. The method's utility was revealed in the best way in the maize crop. The high intra-row sowing distances and the rapid plant growth contributed to the successful use of NDVI for the *in situ* herbicide evaluation. For the majority of the trials, the correlation between the NDVI values and the total weed biomass was strong. For instance, during the second experimental year for the field Pirgos 4 the relation coefficient between these variables resulted in 53.31%. Regarding the dose-response experiments in wheat crop, the resistant biotype R was revealed by the low NDVI values. In particular, the Gr_{50} of the R biotype was 2.5 times higher than the Gr_{50} of the S biotype. The results of the dose-response pot experiment were aligned with the field experiment's results. The high correlation between the two methods constituted the validation of the rapid method in field conditions. The accuracy and the precision index for the rapid method, when the recommended rate was applied, resulted in 0.8 and 0.79, respectively. Therefore, the accuracy and precision of the rapid method were confirmed.

Overall, the results indicated the utility of the NDVI Index for the early evaluation of herbicides' efficacy in arable crops. Moreover, the application of this rapid method could constitute a preventive method against herbicide resistance evolution, overuse and misuse of herbicides and applied as an additional tool for Integrated Weed Management.

Scientific area: Weed Science

Keywords: rapid method, herbicides, efficacy, arable crops, NDVI

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς τον επιβλέποντα της παρούσας διδακτορικής διατριβής κ. Ηλία Τραυλό, Αναπληρωτή Καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Έδειξε πίστη σε μένα από τις μεταπτυχιακές σπουδές μου και συνέχισε να με στηρίζει και να με καθοδηγεί κατά την διάρκεια της διδακτορικής μου μελέτης. Νιώθω μεγάλη ευγνωμοσύνη που ανταμώσαμε.

Έπειτα, θα ήθελα να ευχαριστήσω πολύ την Καθηγήτρια του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών και μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής κα. Παναγιώτα Παπαστυλιανού. Δεν θα ξεχάσω τη γλυκύτητα της, το χαμόγελο της, τις συμβουλές της και τη βοήθεια της σε ότι χρειάστηκα.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Σπύρο Φουντά, Καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών και μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής για την υποστήριξη του, την ευχάριστη στάση του και τις συμβουλές που μου παρείχε ειδικά στον τομέα της Γεωργίας Ακριβείας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τα λοιπά μέλη της επταμελούς εξεταστικής επιτροπής της παρούσας μελέτης. Αρχικά, τον Αναπληρωτή Καθηγητή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κ. Ανέστη Καρκάνη για την ευγενική του στάση και τις σημαντικές επισημάνσεις. Στη συνέχεια, τον κ. Δημοσθένη Χάχαλη, Διευθυντή Ερευνών στο Μπενάκειο Φυτοπαθολογικό Ινστιτούτο. Η υποστήριξη του, οι συμβουλές του και η κατανόηση που έδειξε κατά την διάρκεια της συγγραφής της παρούσας διδακτορικής μελέτης ήταν πολύτιμες. Επίσης, ευχαριστώ πολύ την Καθηγήτρια του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών κ. Φάλια Οικονόμου για την στήριξη, την ευχάριστη επικοινωνία και την καλοσύνη που έδειξε κατά την διάρκεια της παραμονής μου στο Εργαστήριο Γεωργίας.

Ξεχωριστά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών και Διευθυντή του Εργαστηρίου Γεωργίας κ. Δημήτρη Μπιλάλη για την θερμή υποδοχή στο εργαστήριο, την προθυμία του να με βοηθήσει και τις συμβουλές που πάντα με χαρά μου έδινε.

Δεν θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω τον κ. Στέλιο Τσιώρο και τον κ. Κώστα Μαργαρίτη για το ευχάριστο και φιλικό κλίμα κατά την παραμονή μου στο Εργαστήριο Γεωργίας αλλά και για την προθυμία τους να μου παρέχουν βοήθεια. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον συνάδελφο Αλέξανδρο Ταταρίδα για την αρμονική μας συνεργασία και συνύπαρξη. Θερμά ευχαριστώ την

συνάδελφο Νικολίνα Χειμώνα που με την όμορφη αύρα της με καλωσόρισε πριν έξι χρόνια στο εργαστήριο, με βοήθησε στον εγκλιματισμό μου και με συμβούλευσε με αγάπη. Πολύ σημαντικό ρόλο στην διεκπεραίωση και την ολοκλήρωση της παρούσας διδακτορικής μελέτης έπαιξαν τρεις πολύτιμοι συνάδελφοι και φίλοι. Ο Νικόλας Αντωνόπουλος με τον οποίο ταξιδέψαμε σε όλη την Ελλάδα για την εγκατάσταση των πειραμάτων αγρού και τον ευχαριστώ πολύ για την παρέα και την βοήθεια. Ο Γιάννης Γαζούλης που με τις γνώσεις του με βοήθησε στη συγγραφή τόσο της παρούσας μελέτης όσο και των σχετικών δημοσιεύσεων και τον ευχαριστώ πάρα πολύ. Η αγαπημένη μου Αγγελική Κούστα που πορευόμαστε μαζί από την αρχή του διδακτορικού έως σήμερα και είναι ο άνθρωπος που με βοήθησε και με στήριξε σε πολλά επίπεδα όσο κανένας, την ευχαριστώ από καρδιάς.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους παραγωγούς που παραχώρησαν τα αγροτεμάχια τους για την πραγματοποίηση των πειραμάτων της παρούσας διατριβής. Η ευγένεια τους, η θέληση να μάθουν και να με μάθουν πράγματα και η προθυμία τους να βοηθήσουν ήταν μια ευχάριστη έκπληξη. Ελπίζω μέσα από την έρευνα μου να τους βοήθησα και να συνεχίζω να τους βοηθώ.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους που πριν δεκατρία χρόνια γνώρισα στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών και από τότε είναι πάντα δίπλα μου, την Κάτια, τον Πάνο, την Τζόρτζια, τον Γιάννη και τον Ιάκωβο. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που με ξέρουν και είναι μαζί μου από τότε που ούτε εγώ θυμάμαι τον εαυτό μου, τη Δήμητρα και την Βαλεντίνα. Βαθιά ευχαριστώ τον σύντροφο μου Παναγιώτη για την κατανόηση, την στήριξη και την αγάπη που έδειξε κατά την διάρκεια της συγγραφής της διδακτορικής μου μελέτης.

Τέλος, πιο πολύ από όλους ευχαριστώ τους πιο σημαντικούς, την οικογένεια μου που αποτελούν και θα αποτελούν το κέντρο μου. Ευχαριστώ την γιαγιά μου Ελευθερία, τον παππού μου Δημήτρη, την μαμά μου Αγαθή, τον μπαμπά μου Ανδρέα, τον αδερφό μου Θάνο και το σκυλάκι μου Μόλλυ για την παντοτινή τους στήριξη και αγάπη.

Στη μητέρα μου και τον πατέρα μου για την αγάπη και τη στήριξη τους.

Στον αδερφό μου Θάνο, που είναι πλάι μου σε όλα.

Από πάντα, για πάντα.

*«Ρίξε δροσιά, ρίξε νερό, το χώμα να νοτίσει
ο σπόρος που 'χω μέσα μου να πιεί και να ξυπνήσει
Να βγάλει ρίζες, να γενεί μία περικοκλάδα
ένα αγρίμι της ζωής, μια ξέφρενη μαινάδα»*

Θανάσης Παπακωνσταντίνου

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT	6
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	8
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	15
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	21
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	25
Σκοπός διατριβής	26
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή	27
1.1 Ζιζάνια και φυτά μεγάλης καλλιέργειας	27
1.1.1 Η έννοια του ζιζανίου	27
1.1.2 Ανταγωνισμός ζιζανίων και καλλιέργειας	27
1.1.3 Τα πιο σημαντικά ζιζάνια της καλλιέργειας του σιταριού	28
1.1.4 Τα πιο σημαντικά ζιζάνια της καλλιέργειας του αραβόσιτου	31
1.2 Χημική καταπολέμηση ζιζανίων	33
1.2.1 Κατηγορίες ζιζανιοκτόνων	34
1.2.2 Ανάπτυξη ανθεκτικότητας ζιζανιοκτόνων	37
1.2.3 Μέθοδοι διερεύνησης της ανθεκτικότητας.....	38
1.3 Ολοκληρωμένη Διαχείριση Ζιζανίων (Integated Weed Management)	40
1.3.1 Η Πράσινη Συμφωνία.....	40
1.3.2 Μέθοδοι της ολοκληρωμένης διαχείρισης ζιζανίων	40
1.3.3 Καινοτόμες μέθοδοι – Νέες τάσεις.....	44
1.4 Γεωργία Ακριβείας και Διαχείριση των ζιζανίων	46
1.4.1 Η έννοια της Γεωργίας Ακριβείας	46
1.4.2 Δορυφόροι	46
1.4.3 Μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα (drones)	47
1.4.4 Αισθητήρες.....	47
Κεφάλαιο 2. Υλικά και Μέθοδοι	49
2.1.1 Αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ζιζανιοκτόνων <i>in situ</i> στη καλλιέργεια του σιταριού	49
2.1.1.1 Πειραματικοί αγροί.....	49
2.1.1.2 Πειραματικό Σχέδιο	53
2.1.1.3 Μετρήσεις και παρατηρήσεις	55
2.1.1.4 Στατιστική ανάλυση των δεδομένων.....	57
2.1.2 Αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ζιζανιοκτόνων σε φυτοδοχεία για την καλλιέργεια του σιταριού	58
2.1.2.1 Συλλογή φυτικού υλικού	58
2.1.2.2 Συνθήκες ανάπτυξης φυτών	59
2.1.2.3 Εφαρμογή ζιζανιοκτόνων.....	60
2.1.2.4 Παρατηρήσεις και μετρήσεις.....	61

2.1.2.5 Πειραματικό σχέδιο και στατιστική ανάλυση των δεδομένων	62
2.2 Πειράματα στη καλλιέργεια του αραβόσιτου	63
2.2.1 Αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ζιζανιοκτόνων <i>in situ</i> στη καλλιέργεια του αραβόσιτου	63
2.2.1.1 Πειραματικοί αγροί	63
2.2.1.2 Πειραματικό Σχέδιο	65
2.2.1.3 Μετρήσεις και παρατηρήσεις	67
2.2.1.4 Στατιστική ανάλυση των δεδομένων	68
2.1.2 Αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ζιζανιοκτόνων σε φυτοδοχεία για την καλλιέργεια του αραβόσιτου	68
2.2.2.1 Συλλογή φυτικού υλικού	68
2.2.2.2 Συνθήκες ανάπτυξης φυτών	69
2.2.2.3 Εφαρμογή ζιζανιοκτόνων	69
2.2.2.4 Παρατηρήσεις και μετρήσεις	71
2.2.2.5 Πειραματικό σχέδιο και στατιστική ανάλυση των δεδομένων	71
2.3 Σύγκριση μεθόδων - Εκτίμηση της αξιοπιστίας και της ακρίβειας της μεθόδου	72
2.1.3 Πείραμα δόσης- απόκρισης σε συνθήκες αγρού στη καλλιέργεια του σιταριού	72
2.1.3.1 Περιγραφή του πειραματικού αγρού	72
2.1.3.2 Φυτικό υλικό	73
2.1.3.3 Πειραματικό Σχέδιο	74
2.1.3.4 Παρατηρήσεις και μετρήσεις	75
2.1.3.5 Στατιστική ανάλυση των δεδομένων	77
2.3.2 Πείραμα δόσης- απόκρισης σε φυτοδοχεία	77
2.3.2.1 Φυτικό υλικό	77
2.3.2.2 Συνθήκες ανάπτυξης φυτών	77
2.3.2.3 Εφαρμογή ζιζανιοκτόνου	77
2.3.2.4 Παρατηρήσεις και μετρήσεις	77
2.3.2.5 Πειραματικό σχέδιο και στατιστική ανάλυση των δεδομένων	77
Κεφάλαιο 3. Αποτελέσματα	78
3.1 Πειράματα αγρού στη καλλιέργεια του σιταριού	78
3.1.1 Αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ζιζανιοκτόνων <i>in situ</i> στη καλλιέργεια του σιταριού	78
3.1.1.1 Πειραματικός αγρός στο Δομοκό	78
3.1.1.2 Πειραματικός αγρός στην Λάρισα	82
3.1.1.3 Πειραματικός αγρός στα Φάρσαλα	85
3.1.1.4 Πειραματικός αγρός στο Βελεστίνο	89
3.1.1.5 Πειραματικός αγρός στην Ορεστιάδα	93
3.1.1.6 Δείκτης NDVI και πληθυσμιακοί δείκτες ανά έτος πειραματισμού	96
3.1.2 Αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ζιζανιοκτόνων σε φυτοδοχεία για την καλλιέργεια του σιταριού	101
3.2 Πειράματα στη καλλιέργεια του αραβόσιτου	109
3.2.1 Αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ζιζανιοκτόνων <i>in situ</i> στη καλλιέργεια του αραβόσιτου	109
3.2.1.1 Πειραματικός αγρός Πύργος 1 (Π1)	109

3.2.1.2 Πειραματικός αγρός Πύργος 2 (Π2).....	114
3.2.1.3 Πειραματικός αγρός Πύργος 3 (Π3).....	119
3.2.1.4 Πειραματικός αγρός Πύργος 4 (Π4).....	123
3.2.1.5 Δείκτης NDVI και πληθυσμιακοί δείκτες ανά έτος πειραματισμού για την καλλιέργεια του αραβόσιτου	128
3.2.2 Αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ζιζανιοκτόνων σε φυτοδοχεία για την καλλιέργεια του αραβόσιτου.....	132
3.3 Σύγκριση μεθόδων - Εκτίμηση της αξιοπιστίας και της ακρίβειας της ταχείας μεθόδου.....	136
3.3.1 Πείραμα δόσης- απόκρισης σε συνθήκες αγρού στη καλλιέργεια του σιταριού	136
3.3.1.1 Ευαίσθητος βιότυπος <i>Sisymbrium orientale</i>	136
3.3.1.2 Ανθεκτικός βιότυπος <i>Sisymbrium orientale</i>	141
3.3.2 Πείραμα δόσης- απόκρισης σε φυτοδοχεία.....	146
3.3.3 Σύγκριση των δύο μεθόδων και εκτίμηση της αξιοπιστίας-ακρίβειας.....	149
Κεφάλαιο 4. Συζήτηση	153
Κεφάλαιο 5. Βιβλιογραφικές αναφορές.....	174

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 3.1 Ο δείκτης NDVI για τον πειραματικό αγρό στον Δομοκό 7 ημέρες μετά την επέμβαση των ζιζανιοκτόνων (7 HME) κατά το πρώτο πειραματικό έτος. T1= αψέκαστος μάρτυρας, T2= 2,4 D- ester, T3= pyroxsulam+florasulam, T4=clopyralid+florasulam, T5= mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium, T6= fenoxaprop-P-ethyl.	79
Διάγραμμα 3.2 Ο δείκτης NDVI για τον πειραματικό αγρό στον Δομοκό 14 ημέρες μετά την επέμβαση των ζιζανιοκτόνων (14 HME) κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. T1= αψέκαστος μάρτυρας, T2= 2,4 D- ester, T3= pyroxsulam+florasulam, T4=clopyralid+florasulam, T5= mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium, T6= fenoxaprop-P-ethyl.....	79
Διάγραμμα 3.3 Ξηρό βάρος ζιζανίων για τον πειραματικό αγρό στον Δομοκό 14 ημέρες μετά την επέμβαση των ζιζανιοκτόνων (14 HME) κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων. T1= αψέκαστος μάρτυρας, T2= 2,4 D- ester, T3= pyroxsulam+florasulam, T4=clopyralid+florasulam, T5= mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium, T6= fenoxaprop-P-ethyl.....	80
Διάγραμμα 3.4 Ο δείκτης NDVI για τον πειραματικό αγρό στη Λάρισα 14 ημέρες μετά την επέμβαση των ζιζανιοκτόνων (14 HME) κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. T1= αψέκαστος μάρτυρας, T2= 2,4 D- ester, T3= pyroxsulam+florasulam, T4=clopyralid+florasulam, T5= mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium, T6= fenoxaprop-P-ethyl.	82
Διάγραμμα 3.5 Ξηρό βάρος ζιζανίων για τον πειραματικό αγρό στη Λάρισα 14 ημέρες μετά την επέμβαση των ζιζανιοκτόνων (14 HME) κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. T1= αψέκαστος μάρτυρας, T2= 2,4 D- ester, T3= pyroxsulam+florasulam, T4=clopyralid+florasulam, T5= mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium, T6= fenoxaprop-P-ethyl.....	83
Διάγραμμα 3.6 Απόδοση σε καρπό για τον πειραματικό αγρό στη Λάρισα κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. T1= αψέκαστος μάρτυρας, T2= 2,4 D- ester, T3= pyroxsulam+florasulam, T4=clopyralid+florasulam, T5= mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium, T6= fenoxaprop-P-ethyl.	83
Διάγραμμα 3.7 Ο δείκτης NDVI για τον πειραματικό αγρό στα Φάρσαλα κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος 7 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (7 HME). Όπου T1= αψέκαστος μάρτυρας, T2= 2,4 D- ester, T3= pyroxsulam+florasulam, T4=clopyralid+florasulam, T5= mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium, T6= fenoxaprop-P-ethyl.....	87
Διάγραμμα 3.8 Ο δείκτης NDVI για τον πειραματικό αγρό στα Φάρσαλα κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME). T1= μάρτυρας, T2= 2,4 D- ester, T3= pyroxsulam+florasulam, T4=clopyralid+florasulam, T5= mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium, T6= fenoxaprop-P-ethyl.	87
Διάγραμμα 3.9 Ξηρό βάρος ζιζανίων για τον πειραματικό αγρό στα Φάρσαλα κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME). T1= αψέκαστος μάρτυρας, T2= 2,4 D- ester, T3= pyroxsulam+florasulam, T4=clopyralid+florasulam, T5= mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium, T6= fenoxaprop-P-ethyl.....	88
Διάγραμμα 3.10 Γραμμική συσχέτιση των παραγόντων NVDI και ξηρό βάρος ζιζανίων 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME), το δεύτερο πειραματικό έτος για τον αγρό στα Φάρσαλα. Όπου R ² το ποσοστό διασποράς (%).	88
Διάγραμμα 3.11 Ο δείκτης NDVI για τον πειραματικό αγρό στο Βελεστίνο κατά το πρώτο πειραματικό έτος 7 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (7 HME). T1= αψέκαστος μάρτυρας, T2= 2,4 D- ester, T3= pyroxsulam+florasulam, T4=clopyralid+florasulam, T5= mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium, T6= fenoxaprop-P-ethyl.....	90
Διάγραμμα 3.12 Ο δείκτης NDVI για τον πειραματικό αγρό στο Βελεστίνο 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME) κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. T1= αψέκαστος μάρτυρας, T2= 2,4 D- ester, T3= pyroxsulam+florasulam, T4=clopyralid+florasulam, T5=	

mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium, T6= fenoxaprop-P-ethyl.....	91
Διάγραμμα 3.13 Γραμμική συσχέτιση των παραγόντων NVDI και ξηρό βάρος ζιζανίων 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME), το δεύτερο πειραματικό έτος για τον αγρό στο Βελεστίνο. Όπου R ² το Ποσοστό διασποράς (%).	91
Διάγραμμα 3.14 Απόδοση σε καρπό για τον πειραματικό αγρό κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. Όπου T1= μάρτυρας, T2= 2,4 D- ester, T3= pyroxsulam+florasulam, T4=clopyralid+florasulam, T5= mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium, T6= fenoxaprop-P-ethyl.	92
Διάγραμμα 3.15 Ο δείκτης NDVI για τον πειραματικό αγρό στην Ορεστιάδα 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME), κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. T1= αψέκαστος μάρτυρας, T2= 2,4 D- ester, T3= pyroxsulam+florasulam, T4=clopyralid+florasulam, T5= mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium, T6= fenoxaprop-P-ethyl.....	93
Διάγραμμα 3.16 Ξηρό βάρος ζιζανίων για τον πειραματικό αγρό στην Ορεστιάδα 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME), κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. T1= αψέκαστος μάρτυρας, T2= 2,4 D- ester, T3= pyroxsulam+florasulam, T4=clopyralid+florasulam, T5= mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium, T6= fenoxaprop-P-ethyl.....	94
Διάγραμμα 3.17 Γραμμική συσχέτιση των μεταβλητών NVDI και ξηρό βάρος των ζιζανίων στις 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME), κατά το πρώτο πειραματικό έτος για τον αγρό στην Ορεστιάδα. Όπου R ² το ποσοστό διασποράς (%).	95
Διάγραμμα 3.18 Ο δείκτης NDVI 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME) για κάθε πειραματικό αγρό κατά το πρώτο έτος πειραματισμού. T1= μάρτυρας, T2= 2,4 D- ester, T3= pyroxsulam+florasulam, T4=clopyralid+florasulam, T5= mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium, T6= fenoxaprop-P-ethyl.	97
Διάγραμμα 3.19 Ο δείκτης NDVI 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME) για τον κάθε πειραματικό αγρό κατά το δεύτερο έτος πειραματισμού. T1= μάρτυρας, T2= 2,4 D- ester, T3= pyroxsulam+florasulam, T4=clopyralid+florasulam, T5= mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium, T6= fenoxaprop-P-ethyl.	98
Διάγραμμα 3.20 Ο δείκτης NDVI του <i>Sinapis arvensis</i> 7 και 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων.....	101
Διάγραμμα 3.21 Το νωπό βάρος του <i>Sinapis arvensis</i> 7 και 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων εκφρασμένοι ως ποσοστό επί του μάρτυρα.	102
Διάγραμμα 3.22 Ο δείκτης NDVI του <i>Galium aparine</i> 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων για το πρώτο και το δεύτερο έτος πειραματισμού.	103
Διάγραμμα 3.23 Το νωπό βάρος του <i>Galium aparine</i> 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων για το πρώτο και το δεύτερο έτος πειραματισμού εκφρασμένοι ως ποσοστό επί του μάρτυρα.....	104
Διάγραμμα 3.24 Ο δείκτης NDVI του <i>Lolium rigidum</i> 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων για το πρώτο και το δεύτερο έτος πειραματισμού.	106
Διάγραμμα 3.25 Το νωπό βάρος του <i>Lolium rigidum</i> 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων για το πρώτο και το δεύτερο έτος πειραματισμού εκφρασμένο ως ποσοστό επί του μάρτυρα.....	106
Διάγραμμα 3.26 Ο δείκτης NDVI για τον πειραματικό αγρό Π1 7 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (7 HME) κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. T1=μάρτυρας, T2=nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3= nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4= nicosulfuron+rimsulfuron, T5= florasulam+mesotrione, T6=mesotrione+nicosulfuron, T7= 2,4 D- ester.	110
Διάγραμμα 3.27 Ο δείκτης NDVI για τον πειραματικό αγρό Π1 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME) κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. T1=μάρτυρας, T2=nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3= nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4= nicosulfuron+rimsulfuron, T5= florasulam+mesotrione, T6=mesotrione+nicosulfuron, T7= 2,4 D- ester.	110

Διάγραμμα 3.28 Το ξηρό βάρος των ζιζανίων για τον πειραματικό αγρό Π1 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME) κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. T1=μάρτυρας, T2=nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3=nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4=nicosulfuron+rimsulfuron, T5=florasulam+mesotrione, T6=mesotrione+nicosulfuron, T7= 2,4 D- ester.	111
Διάγραμμα 3.29 Η απόδοση σε καρπό για τον πειραματικό αγρό Π1 κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. T1= μάρτυρας, T2= nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3= nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4= nicosulfuron+rimsulfuron, T5= florasulam+mesotrione, T6= mesotrione+nicosulfuron, T7= 2,4 D- ester.	111
Διάγραμμα 3.30 Γραμμική συσχέτιση των μεταβλητών NVDI, ξηρό βάρος των ζιζανίων 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME) για το πρώτο πειραματικό έτος για τον αγρό Π1. Όπου R ² το ποσοστό διασποράς (%).	113
Διάγραμμα 3.31 Γραμμική συσχέτιση των μεταβλητών NVDI, ξηρό βάρος των ζιζανίων 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME) στο πρώτο πειραματικό έτος για τον αγρό Π1. Όπου R ² το Ποσοστό διασποράς (%).	113
Διάγραμμα 3.32 Ο δείκτης NDVI για τον πειραματικό αγρό Π2 7 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (7 HME) κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. T1=μάρτυρας, T2=nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3= nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4= nicosulfuron+rimsulfuron, T5= florasulam+mesotrione, T6=mesotrione+nicosulfuron, T7= 2,4 D- ester.	115
Διάγραμμα 3.33 Ο δείκτης NDVI για τον πειραματικό αγρό Π2 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME) κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. T1=μάρτυρας, T2=nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3= nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4= nicosulfuron+rimsulfuron, T5= florasulam+mesotrione, T6=mesotrione+nicosulfuron, T7= 2,4 D- ester.	115
Διάγραμμα 3.34 Το ξηρό βάρος των ζιζανίων για τον πειραματικό αγρό Π2 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME) κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. Όπου T1=μάρτυρας, T2=nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3= nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4= nicosulfuron+rimsulfuron, T5= florasulam+mesotrione, T6=mesotrione+nicosulfuron, T7= 2,4 D- ester.	116
Διάγραμμα 3.35 Γραμμική συσχέτιση των μεταβλητών NVDI, ξηρό βάρος των ζιζανίων 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME) το πρώτο πειραματικό έτος για τον αγρό Π2. Όπου R ² το ποσοστό διασποράς (%).	117
Διάγραμμα 3.36 Γραμμική συσχέτιση των μεταβλητών NVDI, ξηρό βάρος των ζιζανίων 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME) το δεύτερο πειραματικό έτος για τον αγρό Π2. Όπου R ² το ποσοστό διασποράς (%).	117
Διάγραμμα 3.37 Ο δείκτης NDVI για τον πειραματικό αγρό Π3 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME) κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. Όπου T1=μάρτυρας, T2=nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3= nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4= nicosulfuron+rimsulfuron, T5= florasulam+mesotrione, T6=mesotrione+nicosulfuron, T7= 2,4 D- ester.	120
Διάγραμμα 3.38 Το ξηρό βάρος των ζιζανίων για τον πειραματικό αγρό Π3 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME) κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. Όπου T1=μάρτυρας, T2=nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3= nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4= nicosulfuron+rimsulfuron, T5= florasulam+mesotrione, T6=mesotrione+nicosulfuron, T7= 2,4 D- ester.	120
Διάγραμμα 3.39 Οι Μέσοι όροι της καλλιέργειας για τον πειραματικό αγρό Π3 κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. T1=μάρτυρας, T2=nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3=nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4= nicosulfuron+rimsulfuron, T5= florasulam+mesotrione, T6=mesotrione+nicosulfuron, T7= 2,4 D- ester.	121
Διάγραμμα 3.40 Γραμμική συσχέτιση των μεταβλητών NVDI, ξηρό βάρος των ζιζανίων 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME), το πρώτο πειραματικό έτος για τον αγρό Π3. Όπου R ² το ποσοστό διασποράς (%).	122

Διάγραμμα 3.41 Γραμμική συσχέτιση των μεταβλητών NVDI, ξηρό βάρος των ζιζανίων 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME) το δεύτερο πειραματικό έτος για τον αγρό Π3. Όπου R ² το ποσοστό διασποράς (%).	122
Διάγραμμα 3.42 Ο δείκτης NDVI για τον πειραματικό αγρό Π4 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME) κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. T1=μάρτυρας, T2=nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3= nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4= nicosulfuron+rimsulfuron, T5= florasulam+mesotrione, T6=mesotrione+nicosulfuron, T7= 2,4 D- ester.	124
Διάγραμμα 3.43 Το ξηρό βάρος των ζιζανίων για τον πειραματικό αγρό Π4 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME) κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. T1=μάρτυρας, T2=nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3= nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4= nicosulfuron+rimsulfuron, T5= florasulam+mesotrione, T6=mesotrione+nicosulfuron, T7= 2,4 D- ester.	124
Διάγραμμα 3.44 Η απόδοση σε καρπό της καλλιέργειας για τον πειραματικό αγρό Π4 κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. T1=μάρτυρας, T2=nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3= nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4= nicosulfuron+rimsulfuron, T5= florasulam+mesotrione, T6=mesotrione+nicosulfuron, T7= 2,4 D- ester.	125
Διάγραμμα 3.45 Γραμμική συσχέτιση των μεταβλητών NVDI, ξηρό βάρος των ζιζανίων 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME) το πρώτο πειραματικό έτος για τον αγρό Π4. Όπου R ² το ποσοστό διασποράς (%).	126
Διάγραμμα 3.46 Γραμμική συσχέτιση των μεταβλητών NVDI, ξηρό βάρος των ζιζανίων 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME) το δεύτερο πειραματικό έτος για τον αγρό Π4. Όπου R ² το ποσοστό διασποράς (%).	126
Διάγραμμα 3.47 Ο δείκτης NDVI για το σύνολο των πειραματικών αγρών του αραβόσιτου 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME) κατά το πρώτο πειραματικό έτος. T1=μάρτυρας, T2=nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3= nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4= nicosulfuron+rimsulfuron, T5= florasulam+mesotrione, T6=mesotrione+nicosulfuron, T7= 2,4 D- ester.	129
Διάγραμμα 3.48 Ο δείκτης NDVI για το σύνολο των πειραματικών αγρών του αραβόσιτου 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME) κατά το δεύτερο πειραματικό έτος. T1=μάρτυρας, T2=nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3= nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4= nicosulfuron+rimsulfuron, T5= florasulam+mesotrione, T6=mesotrione+nicosulfuron, T7= 2,4 D- ester.	129
Διάγραμμα 3.49 Ο δείκτης NDVI του βιότυπου <i>Solanum nigrum</i> 2 (SOL2) 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME). T1=μάρτυρας, T2=nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3= nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4= nicosulfuron+rimsulfuron, T5= florasulam+mesotrione, T6=mesotrione+nicosulfuron, T7= 2,4 D- ester.	133
Διάγραμμα 3.50 Το νωπό βάρος του βιότυπου <i>Solanum nigrum</i> 2 (SOL2) 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME). T1= μάρτυρας, T2=nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3=nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4=nicosulfuron+rimsulfuron, T5=florasulam+mesotrione, T6=mesotrione+nicosulfuron, T7= 2,4 D- ester.	133
Διάγραμμα 3.51 Ο δείκτης NDVI του βιότυπου <i>Echinochloa</i> spp 4 (ECH4) 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME). T1=control, T2=nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3=nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4=nicosulfuron+rimsulfuron, T5=mesotrione+nicosulfuron.	134
Διάγραμμα 3.52 Το νωπό βάρος του βιότυπου <i>Echinochloa</i> spp 4 (ECH4) 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME). T1=control, T2=nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3=nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4=nicosulfuron+rimsulfuron, T5=mesotrione+nicosulfuron.	135
Διάγραμμα 3.53 Ο δείκτης NDVI του ευαίσθητου βιότυπου του <i>Sisymbrium orientale</i> (S) 7 ημέρες μετά την εφαρμογή (7 HME) διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron.	137
Διάγραμμα 3.54 Ο δείκτης NDVI του ευαίσθητου βιότυπου <i>Sisymbrium orientale</i> (S) 14 ημέρες μετά την εφαρμογή (14 HME) διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron εκφρασμένος ως ποσοστό επί του	

μάρτυρα.....	137
Διάγραμμα 3.55 Το νωπό βάρος του ευαίσθητου βιότυπου <i>Sisymbrium orientale</i> (S) 7 και 14 ημέρες μετά την εφαρμογή (7 και 14 HME) διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron εκφρασμένο ως ποσοστό επί του μάρτυρα.	138
Διάγραμμα 3.56 Γραμμική συσχέτιση των μεταβλητών NVDI, ξηρό βάρος του ευαίσθητου βιότυπου <i>Sisymbrium orientale</i> (S) 14 ημέρες μετά την εφαρμογή διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron. Όπου R ² το ποσοστό διασποράς (%).	139
Διάγραμμα 3.57 Καμπύλη δόσης-απόκρισης ως προς το ποσοστό μείωσης του νωπού βάρους του ευαίσθητου βιότυπου του <i>Sisymbrium orientale</i> (S) 21 ημέρες μετά την εφαρμογή διαφορετικών δόσεων του ζιζανιοκτόνου chlorsulfuron (x/4-4x). Η καμπύλη είναι προσαρμοσμένη σε λογαριθμική κλίμακα δόσης για τον ευαίσθητο βιότυπο του <i>Sisymbrium orientale</i>	140
Διάγραμμα 3.58 Ο δείκτης NDVI του ανθεκτικού βιότυπου του <i>Sisymbrium orientale</i> (R) 7 ημέρες μετά την εφαρμογή (7 HME) διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron εκφρασμένος ως ποσοστό επί του μάρτυρα.	142
Διάγραμμα 3.59 Ο δείκτης NDVI του ανθεκτικού βιότυπου του <i>Sisymbrium orientale</i> (R) 14 ημέρες μετά την εφαρμογή (14 HME) διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron εκφρασμένος ως ποσοστό επί του μάρτυρα.	142
Διάγραμμα 3.60 Το νωπό βάρος του ανθεκτικού βιότυπου του <i>Sisymbrium orientale</i> (R) 7 και 14 ημέρες μετά την εφαρμογή (7 & 14 HME) διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron εκφρασμένο ως ποσοστό επί του μάρτυρα.	143
Διάγραμμα 3.61 Γραμμική συσχέτιση των μεταβλητών NVDI, ξηρό βάρος του ανθεκτικού βιότυπου <i>Sisymbrium orientale</i> (R) 14 ημέρες μετά την εφαρμογή διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron. Όπου R ² το ποσοστό διασποράς (%).	144
Διάγραμμα 3.62 Καμπύλη δόσης-απόκρισης ως προς το ποσοστό μείωσης του νωπού βάρους του ανθεκτικού βιότυπου του <i>Sisymbrium orientale</i> (R) 21 ημέρες μετά την εφαρμογή διαφορετικών δόσεων του ζιζανιοκτόνου chlorsulfuron (x/4-4x). Η καμπύλη είναι προσαρμοσμένη σε λογαριθμική κλίμακα δόσης για τον ανθεκτικό βιότυπο του <i>Sisymbrium orientale</i>	145
Διάγραμμα 3.63 Το νωπό βάρος του ευαίσθητου και του ανθεκτικού βιότυπου του <i>Sisymbrium orientale</i> 7 ημέρες μετά την εφαρμογή διαφορετικών δόσεων του ζιζανιοκτόνου chlorsulfuron εκφρασμένο ως ποσοστό επί του μάρτυρα.	146
Διάγραμμα 3.64 Το νωπό βάρος του ευαίσθητου και του ανθεκτικού βιότυπου του <i>Sisymbrium orientale</i> 14 ημέρες μετά την εφαρμογή διαφορετικών δόσεων του ζιζανιοκτόνου chlorsulfuron εκφρασμένο ως ποσοστό επί του μάρτυρα.	147
Διάγραμμα 3.65 Καμπύλη δόσης-απόκρισης ως προς το ποσοστό μείωσης του νωπού βάρους του ευαίσθητου και του ανθεκτικού βιότυπου του <i>Sisymbrium orientale</i> 21 ημέρες μετά την εφαρμογή διαφορετικών δόσεων του ζιζανιοκτόνου chlorsulfuron (x/4-4x). Η καμπύλη είναι προσαρμοσμένη σε λογαριθμική κλίμακα δόσης.	148
Διάγραμμα 3.66 Γραμμική συσχέτιση του νωπού βάρους των δύο μεθόδων για τον ευαίσθητο βιότυπο. Οι τιμές του νωπού βάρους όπως προέκυψαν 14 ημέρες μετά την εφαρμογή $g\ ai\ ha^{-1}$ chlorsulfuron.	150
Διάγραμμα 3.67 Γραμμική συσχέτιση του νωπού βάρους των δύο μεθόδων για τον ευαίσθητο βιότυπο. Οι τιμές του νωπού βάρους όπως προέκυψαν 14 ημέρες μετά την εφαρμογή $15\ g\ ai\ ha^{-1}$ chlorsulfuron.	150
Διάγραμμα 3.68 Γραμμική συσχέτιση του νωπού βάρους των δύο μεθόδων για τον ανθεκτικό βιότυπο. Οι τιμές του νωπού βάρους όπως προέκυψαν 14 ημέρες μετά την εφαρμογή $15\ g\ ai\ ha^{-1}$ chlorsulfuron.	151
Διάγραμμα 3.69 Γραμμική συσχέτιση του νωπού βάρους των δύο μεθόδων για τον ανθεκτικό βιότυπο. Οι τιμές του νωπού βάρους όπως προέκυψαν 14 ημέρες μετά την εφαρμογή $30\ g\ ai\ ha^{-1}$	

chlorsulfuron.....	151
Διάγραμμα 4.1 Γραμμική συσχέτιση των τιμών του δείκτη NVDI και του ξηρού βάρους των ζιζανίων 14 ημέρες μετά τις επεμβάσεις των ζιζανιοκτόνων (14 HME) κατά το πρώτο πειραματικό έτος για το σύνολο των πειραματικών αγρών του σιταριού.....	156
Διάγραμμα 4.2 Γραμμική συσχέτιση των τιμών του δείκτη NVDI και του ξηρού βάρους των ζιζανίων 14 ημέρες μετά τις επεμβάσεις των ζιζανιοκτόνων (14 HME) κατά το δεύτερο πειραματικό έτος για το σύνολο των πειραματικών αγρών του σιταριού.....	156
Διάγραμμα 4.3 Γραμμική συσχέτιση των τιμών του δείκτη NVDI και του ξηρού βάρους των ζιζανίων 14 ημέρες μετά τις επεμβάσεις των ζιζανιοκτόνων (14 HME) κατά το πρώτο πειραματικό έτος για το σύνολο των πειραματικών αγρών στο Πύργο.....	162
Διάγραμμα 4.4 Γραμμική συσχέτιση των τιμών του δείκτη NVDI και του ξηρού βάρους των ζιζανίων 14 ημέρες μετά τις επεμβάσεις των ζιζανιοκτόνων (14 HME) κατά το δεύτερο πειραματικό έτος για το σύνολο των πειραματικών αγρών στο Πύργο.....	162
Διάγραμμα 4.5 Γραμμική συσχέτιση των τιμών του δείκτη NVDI και της απόδοσης σε καρπό κατά το πρώτο πειραματικό έτος για το σύνολο των πειραματικών αγρών στο Πύργο.	164
Διάγραμμα 4.6 Γραμμική συσχέτιση των τιμών του δείκτη NVDI και της απόδοσης σε καρπό κατά το δεύτερο πειραματικό έτος για το σύνολο των πειραματικών αγρών στον Πύργο.	164
Διάγραμμα 4.7 Γραμμική συσχέτιση των μεταβλητών NVDI, ξηρό βάρος του ευαίσθητου βιότυπου <i>Sisymbrium orientale</i> (S) 14 ημέρες μετά την εφαρμογή διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron. Όπου R ² το ποσοστό διασποράς (%).	169
Διάγραμμα 4.8 Γραμμική συσχέτιση των μεταβλητών NVDI, ξηρό βάρος του ανθεκτικού βιότυπου <i>Sisymbrium orientale</i> (R) 14 ημέρες μετά την εφαρμογή διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron. Όπου R ² το ποσοστό διασποράς (%).	170

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1 Η μείωση της απόδοσης της καλλιέργειας του σιταριού λόγω των ζιζανίων σε παγκόσμιο επίπεδο.....	28
Πίνακας 2.1 Ακριβής γεωγραφική τοποθεσία των πειραματικών αγρών και οι ημερομηνίες σποράς τους κατά το πειραματικό πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος για την καλλιέργεια του σιταριού.....	50
Πίνακας 2.2 Εδαφολογικά δεδομένα των πειραματικών αγρών της καλλιέργειας του σιταριού.....	51
Πίνακας 2.3 Οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες και το συνολικό ύψος των βροχοπτώσεων σε κάθε περιοχή για τα πειράματα αγρού στη καλλιέργεια του σιταριού κατά το πρώτο και το δεύτερο έτος.....	52
Πίνακας 2.4 Περιγραφή των επεμβάσεων που εφαρμόστηκαν στους πειραματικούς αγρούς της καλλιέργειας του σιταριού.....	54
Πίνακας 2.5 Τα είδη ζιζανίων που χρησιμοποιήθηκαν για τη διεξαγωγή πειραμάτων σε φυτοδοχεία.....	58
Πίνακας 2.6 Οι τιμές των μέσων θερμοκρασιών και των μέσων βροχοπτώσεων κατά την διεξαγωγή του πειράματος σε φυτοδοχεία κατά το πρώτο και το δεύτερο έτος πειραματισμού.....	59
Πίνακας 2.7 Οι επεμβάσεις στα πειράματα φυτοδοχείων σε ζιζάνια που συλλέχθηκαν από τους πειραματικούς αγρούς της καλλιέργειας του σιταριού (δραστική ουσία, δόση, εμπορικό όνομα).....	60
Πίνακας 2.8 Ακριβής γεωγραφική τοποθεσία των πειραματικών αγρών και οι ημερομηνίες σποράς τους κατά το πειραματικό πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος για την καλλιέργεια του αραβόσιτου.....	63
Πίνακας 2.9 Εδαφολογικά δεδομένα των πειραματικών αγρών για την καλλιέργεια του αραβόσιτου.....	64
Πίνακας 2.10 Οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες και το συνολικό ύψος των βροχοπτώσεων σε κάθε περιοχή για τα πειράματα αγρού στη καλλιέργεια του αραβόσιτου κατά το πρώτο και το δεύτερο έτος.....	64
Πίνακας 2.11 Περιγραφή των επεμβάσεων που εφαρμόστηκαν στους πειραματικούς αγρούς της καλλιέργειας του αραβόσιτου.....	67
Πίνακας 2.12 Τα είδη των ζιζανίων που χρησιμοποιήθηκαν για την διεξαγωγή των πειραμάτων σε φυτοδοχεία για την καλλιέργεια του αραβόσιτου.....	68
Πίνακας 2.13 Οι τιμές των μέσων θερμοκρασιών και των μέσων βροχοπτώσεων κατά την διεξαγωγή του πειράματος σε φυτοδοχεία για τα ζιζάνια της καλλιέργειας του αραβόσιτου κατά το πρώτο και το δεύτερο έτος πειραματισμού.....	69
Πίνακας 2.14 Οι επεμβάσεις που εφαρμόστηκαν στα πειράματα φυτοδοχείων σε ζιζάνια που συλλέχθηκαν από τους πειραματικούς αγρούς της καλλιέργειας του αραβόσιτου.....	70
Πίνακας 2.15 Οι τιμές των μέσων θερμοκρασιών και των μέσων βροχοπτώσεων κατά την διεξαγωγή του πειράματος δόσης-απόκρισης.....	72
Πίνακας 2.16 Οι επεμβάσεις του ζιζανιοκτόνου που εφαρμόστηκαν στο πείραμα δόσης-απόκρισης σε συνθήκες αγρού.....	75
Πίνακας 3.1 Μέσοι όροι του δείκτη NDVI 7 και 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (7 & 14 ΗΜΕ) κατά το πρώτο πειραματικό έτος. Όπου LSD= Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά και P-value= Τιμή Σημαντικότητας. Τα a,b,c υποδηλώνουν τις διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων.....	80
Πίνακας 3.2 Μέσοι όροι του δείκτη NDVI, του ξηρού βάρους ζιζανίων ($g\ m^{-2}$) και της απόδοσης σε καρπό ($kg\ στρ^{-1}$) κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος στον αγρό της Λάρισας. Όπου LSD= Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά και P-value= Τιμή Σημαντικότητας. Τα a,b,c υποδηλώνουν τις διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων.....	84
Πίνακας 3.3 Ανάλυση της διακύμανσης για την επίδραση των επεμβάσεων και του πειραματικού έτους στις τιμές των μεταβλητών NDVI (7 και 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων) και του ξηρού βάρους των ζιζανίων.....	86
Πίνακας 3.4 Συντελεστής συσχέτισης (coefficient correlation) και ποσοστό διασποράς(R-squared) για τις μεταβλητές ξηρό βάρος-δείκτης NDVI στο πρώτο και στο δεύτερο έτος πειραματισμού για τον	

αγρό στα Φάρσαλα.....	86
Πίνακας 3.5 Οι μέσοι όροι του παράγοντα NDVI 7 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (7 HME), το πρώτο έτος στον πειραματικό αγρό στο Βελεστίνο. Όπου LSD= Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά και P- value= Τιμή Σημαντικότητας. Τα a,b,c υποδηλώνουν τις διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων.....	90
Πίνακας 3.6 Ανάλυση της διακύμανσης για την επίδραση των επεμβάσεων και του πειραματικού έτους στις τιμές των μεταβλητών NDVI και της απόδοσης σε καρπό της καλλιέργειας.	92
Πίνακας 3.7 Μέσοι όροι του δείκτη NDVI 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME). Όπου NDVI 1 αντιστοιχεί στο πρώτο έτος πειραματισμού, NDVI 2 στο δεύτερο και τα A,B & a υποδηλώνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ετών και μεταξύ των επεμβάσεων, αντίστοιχα.....	94
Πίνακας 3.8 Ανάλυση της διακύμανσης για την επίδραση των επεμβάσεων και του πειραματικού έτους στις τιμές των μεταβλητών NDVI και του ξηρού βάρους των ζιζανίων 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων.	94
Πίνακας 3.9 Ανάλυση της διακύμανσης για την επίδραση των επεμβάσεων και των πειραματικών αγρών στις τιμές της μεταβλητής NDVI το πρώτο και το δεύτερο έτος πειραματισμού.	98
Πίνακας 3.10 Η συνολική πυκνότητα και η πυκνότητα του κυρίαρχου ζιζανίου για κάθε πειραματικό αγρό ανά έτος πειραματισμού. Η πυκνότητα εκφράζεται σε φυτά m ⁻²	99
Πίνακας 3.11 Ο δείκτης Simpson των υποτεμάχιων T1-T7 για τους πειραματικούς αγρούς της καλλιέργειας του σιταριού. Όπου LSD= Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά και P-value= Τιμή Σημαντικότητας.	100
Πίνακας 3.12 Ανάλυση της διακύμανσης για την επίδραση των επεμβάσεων και των ημερών μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (7 HME και 14 HME) στις τιμές των μεταβλητών NDVI και νωπό βάρος του ζιζανίου <i>Sinapis Arvensis</i>	102
Πίνακας 3.13 Το νωπό βάρος του <i>Galium aparine</i> 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων για το πρώτο και το δεύτερο έτος πειραματισμού εκφρασμένοι ως ποσοστό επί του μάρτυρα.	104
Πίνακας 3.14 Ανάλυση της διακύμανσης για την επίδραση των επεμβάσεων και των ετών πειραματισμού στις τιμές των μεταβλητών NDVI και νωπό βάρος του <i>Lolium rigidum</i> 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων.....	107
Πίνακας 3.15 Μέσοι όροι των τιμών δείκτη NDVI και του λόγου Fv/Fm για τη λεπτή ήρα (<i>Lolium rigidum</i>) στις 1, 2, 5, 7, 10, 14 και 21 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (α) rygoxulam+florasulam και (β) iodosulfuron+mesosulfuron (πρώτο έτος). Όπου R ² = ποσοστά διασποράς.	107
Πίνακας 3.16 Ανάλυση της διακύμανσης για την επίδραση των επεμβάσεων και των ετών πειραματισμού στις τιμές της μεταβλητής NDVI και ξηρό βάρος ζιζανίων.	112
Πίνακας 3.17 Ο συντελεστής συσχέτισης (coefficient correlation) και το ποσοστό διασποράς (R-squared) για τις μεταβλητές ξηρό βάρος-δείκτης NDVI στο πρώτο και στο δεύτερο έτος πειραματισμού για τον αγρό Π1.....	113
Πίνακας 3.18 Οι μέσοι όροι των μεταβλητών NDVI, ξηρό βάρος για τους παράγοντες επέμβαση-πειραματικό έτος του πειραματικού αγρού Π2. Όπου P-value= Τιμή Σημαντικότητας. Τα A,B υποδηλώνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ετών και τα a, b, c, d μεταξύ των επεμβάσεων.	116
Πίνακας 3.19 Γραμμική συσχέτιση των μεταβλητών NDVI, ξηρό βάρος των ζιζανίων 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME) το δεύτερο πειραματικό έτος για τον αγρό Π2. Όπου R ² το Ποσοστό διασποράς (%).	117
Πίνακας 3.20 Οι μέσοι όροι των μεταβλητών NDVI, ξηρό βάρος των ζιζανίων για τους παράγοντες επέμβαση-πειραματικό έτος του πειραματικού αγρού Π3. Όπου P-value= Τιμή Σημαντικότητας. Τα A,B υποδηλώνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ετών και τα a, b, c, d μεταξύ των επεμβάσεων.....	121

Πίνακας 3.21 Ο συντελεστής συσχέτισης (coefficient correlation) και το ποσοστό διασποράς (R-squared) για τις μεταβλητές ξηρό βάρος-δείκτης NDVI στο πρώτο και στο δεύτερο έτος πειραματισμού για τον αγρό Π3.....	123
Πίνακας 3.22 Οι μέσοι όροι των μεταβλητών NDVI, ξηρό βάρος των ζιζανίων για τους παράγοντες επέμβαση-πειραματικό έτος του πειραματικού αγρού Π4. Τα Α,Β υποδηλώνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ετών και τα a, b, c, d μεταξύ των επεμβάσεων. Όπου P-value= Τιμή Σημαντικότητας.....	125
Πίνακας 3.23 Ο συντελεστής συσχέτισης(coefficient correlation) και το ποσοστό διασποράς (R-squared) για τις μεταβλητές ξηρό βάρος-δείκτης NDVI στο πρώτο και στο δεύτερο έτος πειραματισμού για τον αγρό Π3.....	127
Πίνακας 3.24 Ανάλυση διακύμανσης της επίδρασης των επεμβάσεων και των πειραματικών αγρών στη μεταβλητή NDVI κατά το πρώτο και το δεύτερο έτος πειραματισμού.....	130
Πίνακας 3.25 Η συνολική πυκνότητα και η πυκνότητα ενός είδους για κάθε πειραματικό αγρό ανά έτος πειραματισμού. Η πυκνότητα εκφράζεται σε φυτά m ⁻²	130
Πίνακας 3.26 Ο δείκτης Simpson των υποτεμάχιων T1-T6 για τους πειραματικούς αγρούς της καλλιέργειας του αραβόσιτου. Όπου LSD= Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά και P-value= Τιμή Σημαντικότητας.....	131
Πίνακας 3.27 Το P-value και το LSD των βιότυπων SOL1, SOL3, ECH2, ECH4 για τους παράγοντες έτος-επέμβαση των μεταβλητών NDVI και νωπό βάρος 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME).	135
Πίνακας 3.28 Ανάλυση της διακύμανσης για την επίδραση των διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron στον ευαίσθητο βιότυπο <i>Sisymbrium orientale</i> (S) στη μεταβλητή NDVI 7 και 14 ημέρες μετά την εφαρμογή τους (7 και 14 HME).....	138
Πίνακας 3.29 Ανάλυση της διακύμανσης για την επίδραση των διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron στις 7 και 14 ημέρες μετά την εφαρμογή τους στον ευαίσθητο βιότυπο <i>Sisymbrium orientale</i> (S) στη μεταβλητή νωπό βάρος.....	139
Πίνακας 3.30 Ο συντελεστής συσχέτισης (coefficient correlation) και το ποσοστό διασποράς (R-squared) για τις μεταβλητές ξηρό βάρος-δείκτης NDVI του ευαίσθητου βιότυπου <i>Sisymbrium orientale</i> (S) 14 ημέρες μετά την εφαρμογή διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron.	139
Πίνακας 3.31 Οι παράμετροι της λογαριθμικής εξίσωσης ^α για τον υπολογισμό του Gr50 του ευαίσθητου βιότυπου(S), δηλαδή της δόσης του ζιζανιοκτόνου chlorsulfuron που απαιτείται για την μείωση του νωπού βάρους κατά 50%.....	140
Πίνακας 3.32 Ανάλυση της διακύμανσης για την επίδραση των διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron στον ανθεκτικό βιότυπο <i>Sisymbrium orientale</i> (R) στη μεταβλητή NDVI 7 και 14 ημέρες μετά την εφαρμογή τους (7 και 14 HME).	143
Πίνακας 3.33 Ανάλυση της διακύμανσης για την επίδραση των διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron στις 7 και 14 ημέρες μετά την εφαρμογή τους στον ανθεκτικό βιότυπο <i>Sisymbrium orientale</i> (R) στη μεταβλητή νωπό βάρος.....	144
Πίνακας 3.34 Ο συντελεστής συσχέτισης (coefficient correlation) και το ποσοστό διασποράς (R-squared) για τις μεταβλητές ξηρό βάρος-δείκτης NDVI του ανθεκτικού βιότυπου <i>Sisymbrium orientale</i> (R) 14 ημέρες μετά την εφαρμογή διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron.....	144
Πίνακας 3.35 Οι παράμετροι της λογαριθμικής εξίσωσης ^α για τον υπολογισμό του Gr50 του ανθεκτικού βιότυπου (R), δηλαδή της δόσης του ζιζανιοκτόνου chlorsulfuron που απαιτείται για την μείωση του νωπού βάρους κατά 50%.	145
Πίνακας 3.36 Ανάλυση της διακύμανσης της επίδρασης διαφορετικών δόσεων του ζιζανιοκτόνου chlorsulfuron 7 και 14 ημέρες μετά την εφαρμογή τους στον ευαίσθητο και στον ανθεκτικό βιότυπο του <i>Sisymbrium orientale</i> για την μεταβλητή νωπό βάρος.....	147
Πίνακας 3.37 Οι παράμετροι της λογαριθμικής εξίσωσης ^α για τον υπολογισμό του Gr ₅₀ , δηλαδή της	

δόσης του ζιζανιοκτόνου chlorsulfuron που απαιτείται για την μείωση του νωπού βάρους κατά 50%.....	148
Πίνακας 3.38 Συντελεστής συσχέτισης (coefficient correlation) και ποσοστό διασποράς (R-squared) που αφορούν το νωπό βάρος των δύο μεθόδων, όπως αυτό προέκυψε 14 ημέρες μετά την εφαρμογή του chlorsulfuron. S= ευαίσθητος βιότυπος, R= ανθεκτικός βιότυπος, 15 g ai ha ⁻¹ = συνιστώμενη δόση, 30 g ai ha ⁻¹ =διπλάσια της συνιστώμενης, 7,5 g ai ha ⁻¹ = υποδιπλάσια της συνιστώμενης.	152
Πίνακας 3.39 Η αξιοπιστία (accuracy) και η ακρίβεια (precision) της μεθόδου σε συνθήκες αγρού. Όπου οι δόσεις του chlorsulfuron x= 15 g ai ha ⁻¹ , x/2= 7,5 g ai ha ⁻¹ , x/4= 3,75 g ai ha ⁻¹ . TR= αληθώς ανθεκτικά φυτά, FR= ψευδώς ανθεκτικά φυτά, TS= αληθώς ευαίσθητα φυτά, FS=ψευδώς ευαίσθητα φυτά.....	152
Πίνακας 4.1 Το ποσοστό διασποράς (R ²) των μεταβλητών δείκτης NDVI-ξηρό βάρος ζιζανίων 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME). Όπου R ² έτος1= ποσοστό διασποράς για το πρώτο πειραματικό έτος, R ² έτος2= ποσοστό διασποράς για το δεύτερο πειραματικό έτος.....	161
Πίνακας 4.2 Ο συντελεστής συσχέτισης (R) των μεταβλητών δείκτης NDVI-απόδοση σε καρπό. Όπου Réτος1=συντελεστής συσχέτισης για το πρώτο πειραματικό έτος, Réτος2= συντελεστής συσχέτισης για το δεύτερο πειραματικό έτος R ² έτος1=ποσοστό διασποράς για το πρώτο πειραματικό έτος, R ² έτος2= ποσοστό διασποράς για το δεύτερο πειραματικό έτος.	163
Πίνακας 4.3 Ο συντελεστής συσχέτισης (coefficient correlation) και το ποσοστό διασποράς (R-squared) για τις μεταβλητές ξηρό βάρος-δείκτης NDVI του ανθεκτικού βιότυπου <i>Sisymbrium orientale</i> (R) και του ευαίσθητου βιότυπου (S) 14 ημέρες μετά την εφαρμογή διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron.	170

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1 Τα κύτταρα-στόχοι των ζιζανιοκτόνων σύμφωνα με τον μηχανισμό δράσης τους κατά IRAC. (https://www.weedscience.org/).....	35
Εικόνα 1.2 Ο τρόπος που εισέρχονται τα ζιζανιοκτόνα-αναστολείς του ενζύμου ALS στον χλωροπλάστη και ύστερα στον ένζυμο του φυτού. (https://passel2.unl.edu/)	36
Εικόνα 2.1 Πείραμα αγρού στην καλλιέργεια του σιταριού στην περιοχή των Φαρσάλων.....	49
Εικόνα 2.2 Σχηματική απεικόνιση του πειραματικού σχεδίου που εφαρμόστηκε κατά τα δύο πειραματικά έτη στη καλλιέργεια του σιταριού (T1, T2, T3, T4, T5, T6 οι επιμέρους επεμβάσεις και a,b,c,d οι επαναλήψεις).....	53
Εικόνα 2.3 Πείραμα αγρού στη καλλιέργεια του αραβόσιτου στον Πύργο.....	65
Εικόνα 2.4 Σχηματική απεικόνιση του πειραματικού σχεδίου που εφαρμόστηκε κατά τα δύο πειραματικά έτη στη καλλιέργεια του αραβόσιτου όπου T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 οι επιμέρους επεμβάσεις και a,b,c,d οι επαναλήψεις.....	66
Εικόνα 2.5 Το πειραματικό σχέδιο του πειράματος δόσης-απόκρισης σε συνθήκες αγρού όπου R ο ανθεκτικός βιότυπος, S ο ευαίσθητος βιότυπος, x/4 έως 4x οι δόσεις του chlorsulfuron, c ο μάρτυρας και a,b,c,d οι επαναλήψεις.....	74
Εικόνα 3.1 Η πυκνότητας του σιναπιού (<i>S. arvensis</i>) στις 21 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (21 ΗΜΕ) στον πειραματικό αγρό του Δομοκού.....	81
Εικόνα 3.2 Η πυκνότητα της αγριοβρώμης (<i>A. sterilis</i>) 21 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (21 ΗΜΕ) στον πειραματικό αγρό στην Λάρισα.....	84
Εικόνα 3.3 Η πυκνότητα της αγριοβρώμης (<i>A.sterilis</i>) 21 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (21 ΗΜΕ) στον πειραματικό αγρό στα Φάρσαλα.....	89
Εικόνα 3.4 Χλωρωτικά συμπτώματα που προκάλεσε το μίγμα rygoxulam+florasulam στο είδος <i>Lolium rigidum</i> στον πειραματικό αγρό στην Ορεστιάδα.....	95
Εικόνα 3.5 Τα φυτά <i>Lolium rigidum</i> 7 ημέρες μετά τις εφαρμογές των ζιζανιοκτόνων (7 ΗΜΕ).	108
Εικόνα 3.6 Η πυκνότητα της ζιζανιοχλωρίδας 21 μέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (21 ΗΜΕ) στον πειραματικό αγρό Πύργος 2, κατά το δεύτερο έτος πειραματισμού.....	118
Εικόνα 3.7 Η πυκνότητα της ζιζανιοχλωρίδας 21 μέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (21 ΗΜΕ) στον πειραματικό αγρό Πύργος 4, κατά το δεύτερο έτος πειραματισμού.....	127

Σκοπός διατριβής

Σκοπό της παρούσας διδακτορικής μελέτης αποτέλεσε η ανάπτυξη ταχείας μεθόδου για την *in situ* αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των ζιζανιοκτόνων και την διαχείριση φαινομένων ανθεκτικότητας. Για την διερεύνηση της μεθόδου πραγματοποιήθηκαν πειράματα αγρού σε δύο πολύ σημαντικά φυτά μεγάλης καλλιέργειας, το σιτάρι (*Triticum durum* Desf.) και ο αραβόσιτος (*Zea mays* L.). Η ταχεία αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των ζιζανιοκτόνων πραγματοποιήθηκε με την χρήση του δείκτη NDVI (Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς). Ο πρωταρχικός στόχος ήταν η επαλήθευση των αποτελεσμάτων του δείκτη NDVI. Για αυτό τον λόγο συσχετίστηκαν τα αποτελέσματα του με διαφορετικές μετρήσεις που χρησιμοποιούνται ευρέως για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των ζιζανιοκτόνων. Η παράλληλη διεξαγωγή βιοδοκιμών σε φυτοδοχεία είχε ως σκοπό την περαιτέρω επαλήθευση της ταχείας μεθόδου. Επίσης, στόχο της μελέτης αποτέλεσε η σύγκριση και η εκτίμηση της ακρίβειας και της αξιοπιστίας της ταχείας μεθόδου. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε πείραμα δόσης-απόκρισης σε συνθήκες αγρού εφαρμόζοντας την μεθοδολογία που αναπτύχθηκε τα προηγούμενα έτη πειραματισμού και ταυτόχρονα πείραμα δόσης-απόκρισης σε φυτοδοχεία. Γενικά, η ανάπτυξη της ταχείας μεθόδου αποσκοπεί στην ορθή χρήση των ζιζανιοκτόνων αλλά και στην πρόβλεψη φαινομένων ανθεκτικότητας. Ειδικά στα φυτά μεγάλης καλλιέργειας που η χημική ζιζανιοκτονία αποτελεί την κύριο τρόπο ελέγχου των ζιζανίων, η ανάπτυξη καινοτόμων μεθόδων αποτελεί μια σημαντική προσθήκη. Τέλος, η συγκεκριμένη μέθοδος θα μπορούσε να αποτελέσει ακόμα ένα εργαλείο στα πλαίσια της Ολοκληρωμένης Διαχείρισης των Ζιζανίων.

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

1.1 Ζιζάνια και φυτά μεγάλης καλλιέργειας

1.1.1 Η έννοια του ζιζανίου

Ο ορισμός του ζιζανίου έχει δοθεί με πολλούς και διαφορετικούς τρόπους μέσα στα χρόνια της Επιστήμης της Ζιζανιολογίας. Η Κοινότητα της Ζιζανιολογικής Επιστήμης της Αμερικής (Weed Science Society of America, WSSA) το 1967 όρισε το ζιζάνιο ως ένα φυτό που εμφανίζεται εκεί που δεν είναι επιθυμητό (Butchlotz, 1967). Στην συνέχεια, ο ορισμός τροποποιήθηκε και το 2016 η Κοινότητα της Ζιζανιολογικής Επιστήμης της Αμερικής κατέληξε στον παρακάτω ορισμό: «ζιζάνιο ονομάζεται κάθε φυτό προκαλεί οικονομικές απώλειες ή οικολογικές καταστροφές, δημιουργεί προβλήματα υγείας στους ανθρώπους και στα ζώα ή είναι ανεπιθύμητο όπου φυτρώνει» (WWSA, 2016). Ωστόσο, η Ευρωπαϊκή Κοινότητα Κοινοτήτων της Επιστήμης της Ζιζανιολογίας ορίζει τα ζιζάνια ως τα φυτά που επιδρούν αρνητικά και θετικά από οικονομικής, περιβαλλοντικής και αισθητικής άποψης στην αγροοικολογία (EWRS, 2023). Είναι κατανοητό ότι ο ορισμός του ζιζανίου είναι υποκειμενικός και εν τέλη ο άνθρωπος είναι αυτός που θα ορίσει εάν ένα φυτό είναι ανεπιθύμητο και δημιουργεί προβλήματα την δεδομένη στιγμή στο συγκεκριμένο μέρος.

1.1.2 Ανταγωνισμός ζιζανίων και καλλιέργειας

Ο ανταγωνισμός ζιζανίων-καλλιέργειας ορίζεται ως η τάση που διαθέτουν τα γειτονικά φυτά να αξιοποιούν την ίδια ποσότητα φωτός, νερού, θρεπτικών συστατικών καθώς και την ίδια επιφάνεια χώρου (Froud-Williams, 2002). Ο βαθμός του ανταγωνισμού εξαρτάται από πολλές παραμέτρους. Πιο αναλυτικά, σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά των ειδών, την πυκνότητα των ζιζανίων, το είδος και τα φαινολογικά-μορφολογικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας καθώς και από τις αποστάσεις φύτευσης της (Bleasdale, 1960). Όσον αφορά τα ζιζάνια, τρεις είναι οι βασικοί παράγοντες που επιδρούν στον ανταγωνισμό τους με την καλλιέργεια. Πρώτον, ο χρόνος εμφάνισης των ζιζανίων. Φαίνεται ότι τα ζιζάνια που φυτρώνουν ταυτόχρονα με την καλλιέργεια ή πριν διαθέτουν υψηλή ανταγωνιστική ικανότητα (Kropff and Spitters, 1991; Swanton et al., 2015). Δεύτερον, η πυκνότητα των ζιζανίων η οποία σχετίζεται με την κρίσιμη περίοδο ελέγχου των ζιζανίων (Dunan et al., 1995). Τρίτον, το είδος των ζιζανίων καθώς και τα μορφολογικά τους χαρακτηριστικά π.χ. η ταχεία ανάπτυξη των φύλλων τους (Swanton et al., 2015).

Ο ανταγωνισμός της καλλιέργειας με τα ζιζάνια οδηγεί σε μείωση της απόδοσης η οποία εξαρτάται από την ένταση και την διάρκεια του ανταγωνισμού (Swanton et al., 2015). Έχουν αναφερθεί πολύ σημαντικές απώλειες της απόδοσης όπου στη καλλιέργεια του σιταριού κυμαίνονται από 10-60% και του αραβόσιτου από 25-93% (Lal and Saini, 1985; Sharma and Thakur, 1998; Pandey et al., 1999; Yaduraju et al., 2015). Οι οικονομικές επιπτώσεις των μειωμένων αποδόσεων έχει υπολογιστεί ότι φτάνουν τα 100 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως (Appleby et al., 2000).

1.1.3 Τα πιο σημαντικά ζιζάνια της καλλιέργειας του σιταριού

Το σιτάρι αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές καλλιέργειες τροφίμων παγκοσμίως αφού οι αποδόσεις του και οι καλλιεργούμενες εκτάσεις του αποτελούν το 1/3 της παγκόσμιας επισιτιστικής ασφάλειας (FAO, 2023). Ανήκει στα χειμερινά σιτηρά της οικογένειας Poaceae και χαρακτηρίζεται από αργή βλαστική ανάπτυξη. Διαθέτει μακρύ και στενό έλασμα και από τους οφθαλμού των κάτω κόμβων του στελέχους (καλάμι) εκφύονται αδέρφια. Τα ζιζάνια αποτελούν βασικό παράγοντα μείωσης της απόδοσης της καλλιέργειας του σιταριού. Μάλιστα, έχει αναφερθεί ότι προκαλούν υψηλότερες απώλειες σε σχέση με άλλους εχθρούς της καλλιέργειας (Ali et al., 2017). Πολλές έρευνες έχουν υπολογίσει το ποσοστό μείωσης της απόδοσης του σιταριού λόγω της μεγάλης πυκνότητας των ζιζανίων (Πίνακας 1.1).

Πίνακας 1.1 Η μείωση της απόδοσης της καλλιέργειας του σιταριού λόγω των ζιζανίων σε παγκόσμιο επίπεδο.

Χώρα	Μείωση της απόδοσης (%)	Βιβλιογραφία
Αμερική	28%	Kolb et al., 2012
Τουρκία	19%–25%	Mennan and İşik (2004)
Ελλάδα	26%	Dhima and Eleftherohorinos, 2005
Αργεντινή	20%–30%	Scursoni et al., 2012
Πακιστάν	37%	Jabran et al., 2012

Αμερική	13%–38%	Conley and Bradley, 2005
Πακιστάν	25%	Sarwar et al., 2013

Έχει αναφερθεί ότι τα είδη των ζιζανίων που συναντώνται στην καλλιέργεια του σιταριού ξεπερνούν τα 45 (Basit et al., 2019). Ωστόσο, παρακάτω θα παρουσιαστούν μερικά από τα πιο σημαντικά είδη ζιζανίων που απαντώνται πιο συχνά στους σιταγρούς της Ελλάδας.

Αγριοβρώμη – *Avena sterilis* L.

Η αγριοβρώμη είναι ένα αγρωστώδες, ετήσιο, χειμερινό ζιζάνιο το οποίο ανήκει στην οικογένεια Poaceae. Διαθέτει ψηλό στέλεχος, πλατύ έλασμα και θυσσανώδες ριζικό σύστημα. Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του είδους παρουσιάζουν έντονη ποικιλομορφία (Guma et al., 2006). Επίσης, το είδος χαρακτηρίζεται για την ικανότητα του να επιβιώνει κάτω από διάφορες κλιματικές συνθήκες (Khan et al., 2006). Ανάλογα τις κλιματικές συνθήκες, την πυκνότητα, την ποικιλία και τις αγρονομικές τεχνικές μπορεί να μειώσει την απόδοση του σιταριού από 20-76% (Maqbool et al., 2020). Το είδος *Avena sterilis* παραμένει ένα από τα πιο ανταγωνιστικά και δυσεξόντωτα ζιζάνια παρά τις εκτεταμένες προσπάθειες για τον έλεγχο του μέσω διαφορετικών τεχνικών (Travlos et al., 2008).

Λεπτή ήρα – *Lolium rigidum* L.

Πρόκειται για ένα αγρωστώδες, ετήσιο, χειμερινό ζιζάνιο της οικογένειας Poaceae. Το είδος *Lolium rigidum* L. αποτελεί ένα από τα σημαντικά ζιζάνια παγκοσμίως και ειδικότερα στην λεκάνη της Μεσογείου. Συναντάται σε χειμερινά σιτηρά αλλά και σε πολυετής καλλιέργειας (Lemerle et al., 1995; Cousens & Mokhatari, 1998; Collavo & Sattin, 2012; Wakelin et al., 2012). Χαρακτηρίζεται από μεγάλη γενετική ποικιλομορφία, προσαρμοστικότητα και παραγωγή σπόρου (Gill, 1996).

Βρόμος – *Bromus sterilis* L.

Πρόκειται για αγρωστώδες, χειμερινό, μονοετές ζιζάνιο της οικογένειας Poaceae. Έχει αναφερθεί ότι προκαλεί σοβαρά προβλήματα σε καλλιέργειες σιτηρών τόσο στην Αμερική όσο και στην

Ευρώπη προκαλώντας μείωση της απόδοσης έως και 45% (Peters et al., 1993; Jursík et al., 2016). Επίσης, σε συστήματα μειωμένης κατεργασίας εδάφους και συνεχόμενης αμειψισποράς σιτηρών ο έλεγχος του είδους *Bromus sterilis* L. γίνεται ακόμα πιο δύσκολος (Stone et al., 2006; Ostlie and Howatt 2013; Sarani et al. 2014).

Φάλαρη- *Phalaris spp*

Πρόκειται για ετήσιο χειμερινό ζιζάνιο της οικογένειας Poaceae που συναντάται πιο συχνά στην καλλιέργεια του σιταριού (Golmohammadzadeh et al., 2019). Έως σήμερα έχουν αναγνωριστεί 22 είδη αλλά τα πιο σημαντικά αποτελούν τα *P. minor*, *P. brachystacys*, *P. paradoxa* (Gherekhloo et al., 2011). Συγκεκριμένα, για το είδος *Phalaris minor* έχει αναφερθεί ότι σε πυκνότητα 50-500 φυτά m⁻² μπορεί να προκαλέσει μείωση της απόδοσης του σιταριού από 8 έως και 50% (Mehra and Gill, 1988; Singh and Malik, 1994).

Κολλητσιίδα- *Gallium aparine* L.

Ετήσιο, χειμερινό πλατύφυλλο είδος και ανήκει στην οικογένεια Rubiaceae. Αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά ζιζάνια των σιτηρών αλλά συναντάται και σε άκρες δρόμων και δασικές περιοχές (Taylor, 1999). Έχει αναφερθεί ότι το είδος *G. aparine* μπορεί να μειώσει την απόδοση του σιταριού έως και 57% (Wright and Wilson, 1987).

Σινάπι- *Sinapis arvensis* L.

Πρόκειται για ετήσιο, χειμερινό και πλατύφυλλο είδος της οικογένειας Brassicaceae. Το τόσο σε καλλιέργειες σιτηρών και ψυχανθών όσο και σε πολυετής. Αποτελεί ένα πολύ ανταγωνιστικό είδος αφού διαθέτει υψηλό ρυθμό ανάπτυξης και αναπαραγωγής (Bitarafan and Andreasen, 2019). Σε μη ανταγωνιστικές συνθήκες μπορεί να παράγει μέχρι και 3.500 σπόρους (Mulligan and Bailey, 1975).

Παπαρούνα- *Papaver rhoeas* L.

Το είδος *Papaver rhoeas* είναι ετήσιο, χειμερινό και πλατύφυλλο ζιζάνιο της οικογένειας Papaveraceae. Αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά πλατύφυλλα ζιζάνια των σιτηρών της λεκάνης της Μεσογείου (Chancellor, 1986). Είναι εξαιρετικά ανταγωνιστικό προς τα σιτηρά αφού διαθέτει υψηλό δυναμικό τράπεζας σπόρου, μπορεί να βλαστάνει για μεγάλο χρονικό διάστημα και

παράγει υψηλές ποσότητες σπόρου (Torra et al., 2008). Η έντονη ανταγωνιστικότητα του είδους οδηγεί σε μειωμένη απόδοση των σιτηρών έως και 80% (Torra et al., 2008).

Σισύμπριο- *Sisymbrium orientale* L.

Ετήσιο, πλατύφυλλο είδος της οικογένειας Brassicaceae. Κυρίως συναντάται σε χειμερινά σιτηρά, ψυχανθή, σε βοσκότοπους και σε άκρες δρόμων (Amor and Fransisco, 1987; Daws et al. 2007; Stevens et al. 2007; Long et al. 2011;). Η διάρκεια του βιολογικού κύκλου είναι σχετική με αυτή των ετήσιων χειμερινών καλλιεργειών και γι αυτό τον λόγο θεωρείται πολύ ανταγωνιστικό (Amor and Fransisco, 1987).

1.1.4 Τα πιο σημαντικά ζιζάνια της καλλιέργειας του αραβόσιτου

Ο αραβόσιτος (*Zea mays* L.) αποτελεί την τρίτη πιο σημαντική επισιτιστική καλλιέργεια μετά το ρύζι και το σιτάρι. Ανήκει στα εαρινά σιτηρά της οικογένειας Poaceae και ανήκει στα C4 φυτά δηλαδή διαθέτει υψηλή φωτοσυνθετική ικανότητα. Επίσης, χαρακτηρίζεται από γρήγορη και έντονη ανάπτυξη. Διαθέτει μεγάλη ποικιλομορφία και διαφορετικούς τύπους ανάλογα τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του. Το στέλεχος του είναι κυλινδρικό ενώ φτάνει σε ύψος 2-2,5 m και το έλασμα του φύλλου είναι λογχοειδές και μακρύ (Badu-Apraku et al., 2017). Οι υψηλές πυκνότητες ζιζανίων επηρεάζουν την ανάπτυξη του αραβόσιτου λόγω του ανταγωνισμού για νερό και θρεπτικά συστατικά. Η επιτυχημένη διαχείριση των ζιζανίων μπορεί να αποβεί σε αύξηση της απόδοσης έως και 97% (Yadav et al., 2018). Αντίθετα, σε περίπτωση που ο έλεγχος των ζιζανίων κατά την κρίσιμη περίοδο δεν είναι επαρκής μπορεί να προκύψουν απώλειες στην απόδοση της καλλιέργειας από 28%-85% (Ehsas et al., 2016; Kumar et al., 2017). Επίσης, έχει αναφερθεί ότι ο ανταγωνισμός των ζιζανίων-με την καλλιέργεια του αραβόσιτου οδήγησε σε 33% μείωση της απόδοσης (Kakade et al., 2016). Οι Kannan και Chinnagounder (2013) αναφέρουν ότι τα ζιζάνια αποτελούν ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα στην καλλιέργεια οδηγώντας σε μείωση της απόδοσης έως και 86%. Μείωση της απόδοσης από 40-60% μπορεί να προκληθεί λόγω ανεπιτυχούς διαχείρισης των ζιζανίων (Ramachandran et al., 2012). Πρέπει να σημειωθεί ότι η μείωση της απόδοσης λόγω των ζιζανίων εξαρτάται από τα είδη που επικρατούν καθώς και από την πυκνότητα (Sunitha and Kalyani 2012). Έχουν γίνει διάφορες αναφορές σχετικά με τα πιο σημαντικά ζιζάνια στην καλλιέργεια του αραβόσιτου. Ωστόσο, παρακάτω θα παρουσιαστούν τα ζιζάνια που καταγράφηκαν κατά την διάρκεια της παρούσας διδακτορικής διατριβής.

Βέλιουρας- *Sorghum halepense* L.

Πρόκειται για αγρωστώδες, πολυετές, C4 φυτό της οικογένειας Poaceae. Πολλαπλασιάζεται με σπόρο και ριζώματα. Ανήκει στα 10 πιο δυσεξόντωτα ζιζάνια και συναντάται σε 30 καλλιέργειες σε πάνω από 53 χώρες (Valverde and Gessel 2006). Έχει αναφερθεί ότι προκαλεί σημαντική μείωση της απόδοσης της καλλιέργειας του αραβόσιτου, της σόγιας και του βαμβακιού (Mitskas et al. 2003; Uludag et al. 2007; Uremis et al. 2009). Επίσης, παρουσιάζεται και σε πολυετής καλλιέργειες όπως το αμπέλι και τα εσπεριδοειδή (Horowitz, 1973; Bendix, 1988).

Μουχρίτσα- *Echinochloa* spp.

Είδη ετήσια, αγρωστώδη, υψηλής φωτοσυνθετικής ικανότητας (C4) της οικογένειας Poaceae. Συναντώνται σε εαρινές ετήσιες καλλιέργειες όπως ο αραβόσιτος, το ρύζι, το βαμβάκι αλλά και σε πολυετής. Έχουν αναφερθεί 50 είδη με τα πιο σημαντικά να είναι το *E. crus galli*, *E. colona*, *E. phyllorogon*, *E. oryzoides*, *E. erecta*. (Clayton and Renvoize 1986; Michael 1983; Yabuno 1966). Διαθέτουν μεγάλη προσαρμοστικότητα και αντοχή σε συνθήκες κατάκλισης και ανοξίας (Macchia et al., 1997). Επίσης, διαθέτουν υψηλή παραγωγικότητα σπόρου που μπορεί να φτάσει ως του 40.000 ανά φυτό (Holm et al. 1977).

Τάτουλας- *Datura stramonium* L.

Πρόκειται για ετήσιο, ανοιξιάτικο, πλατύφυλλο είδος της οικογένειας Solanaceae. Είναι πολύ ανταγωνιστικό αφού κάθε φυτό έχει την δυνατότητα να παράγει 30.000-40.000 σπόρους και η ανάπτυξη του είναι υψηλού ρυθμού (Cavero et al., 1999; Scott et al., 2000). Το συναντάμε σε εαρινές καλλιέργειες όπως ο αραβόσιτος, η σόγια, το βαμβάκι, η βιομηχανική τομάτα αλλά και σε κηπευτικά.

Αγριοτοματιά ή στύφνο- *Solanum nigrum* L.

Ετήσιο, πλατύφυλλο ζιζάνιο της οικογένειας Solanaceae. Θεωρείται σημαντικό ζιζάνιο σε διάφορες καλλιέργειες σε 73 χώρες (Defelice 2003; Taab and Andersson 2009). Το είδος *S. nigrum* εκτός από την μειωμένη απόδοση προκαλεί και προβλήματα στο συγκομιζόμενο καρπό μιας και οι σπόροι του είναι δηλητηριώδεις (Defelice, 2003). Προκαλούν προβλήματα σε καλλιέργειες όπως ο αραβόσιτος, η σόγια, η τομάτα.

Βλήτο- *Amaranthus* spp.

Ετήσια ανοιξιότικα φυτά που ανήκουν στην οικογένεια Amaranthaceae. Το είδος *Amaranthus palmeri* θεωρείται εξαιρετικά ανταγωνιστικό και διαθέτει έντονη φωτοσυνθετική ικανότητα (Ehleringer 1983). Μάλιστα έχει αναφερθεί ότι η φωτοσυνθετική του ικανότητα είναι 4 φορές πιο υψηλή από την καλλιέργεια του αραβόσιτου της σόγιας και του βαμβακιού (Gibson 1998). Πυκνότητες του είδους από 8-9 φυτά m⁻² προκαλούν μείωση της απόδοσης στη σόγια 70-90% (Massinga et al., 2001; Bensch et al. 2003).

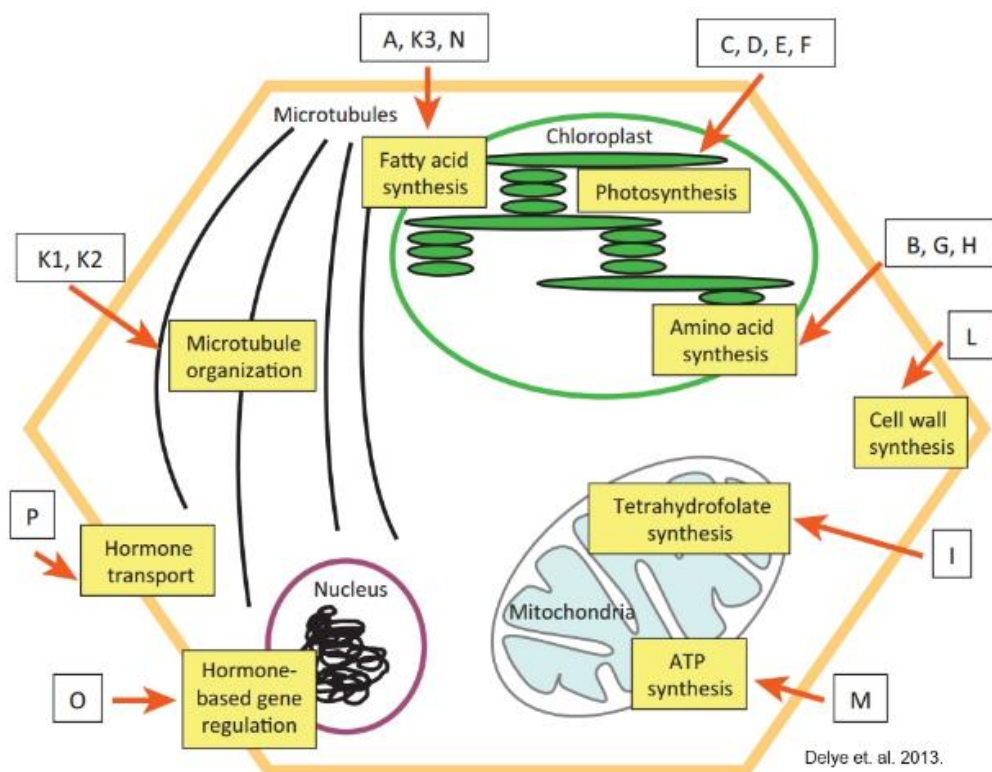
1.2 Χημική καταπολέμηση ζιζανίων

Με τον όρο χημική καταπολέμηση των ζιζανίων αναφερόμαστε στην εφαρμογή χημικών σκευασμάτων (ζιζανιοκτόνα) με σκοπό την διακοπή της βλάστησης των ζιζανίων και στην συνέχεια την νέκρωση τους. Τα ζιζανιοκτόνα αποτελούν σημαντικό κομμάτι της φυτοπροστασίας. Τα τελευταία 30 χρόνια από το συνολικό αριθμό των φυτοπροστατευτικών προϊόντων που έχουν χρησιμοποιηθεί παγκοσμίως το 37,94% αφορά τα ζιζανιοκτόνα (FAO, 2023). Έως τώρα τα ζιζανιοκτόνα αποτελούν την πιο αποτελεσματική και οικονομική μέθοδο καταπολέμησης των ζιζανίων (Kudsk and Streibig, 2003). Η εφαρμογή ζιζανιοκτόνων πλεονεκτεί σε πολλές παραμέτρους. Διαθέτουν ευρύ φάσμα δράσης, ταχεία δράση και χαμηλό κόστος (Gianessi, 2013). Επίσης, είναι εύκολα στην εφαρμογή τους και συνήθως μια εφαρμογή είναι αρκετή για τον έλεγχο των ζιζανίων (Kudsk and Streibig, 2003). Σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί η έγκαιρη αποτελεσματικότητα τους αφού εφαρμόζονται στο κρίσιμο στάδιο της καλλιέργειας οδηγώντας σε μείωση του ανταγωνισμού ζιζανίων-καλλιέργειας (Christensen, 1994). Επιπλέον, η εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων συμβάλλει στην αποφυγή κινδύνου του εδάφους από την διάβρωση, ειδικά σε επικλινή εδάφη (Lyon et al., 1996). Τέλος, η αποτελεσματικότητά τους είναι υψηλή και σε σταθερά επίπεδα όσον αφορά δυσεξόντωτα ζιζάνια (Travlos et al., 2019). Από την άλλη η χημική ζιζανιοκτονία διαθέτει αρκετά μειονεκτήματα όπου η πλειονότητά τους προκύπτει από την λανθασμένη χρήση τους. Για παράδειγμα, η εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων όταν η καλλιέργεια βρίσκεται σε προχωρημένο αναπτυξιακό στάδιο δημιουργεί προβλήματα υπολειμματικότητας (Pline and Hatzios, 2008). Επίσης, η λάθος εφαρμογή τους και οι μη ευνοϊκές περιβαλλοντικές συνθήκες προκαλούν μειωμένη αποτελεσματικότητα και φυτοτοξικότητα στην καλλιέργεια (Geen, 2012). Από την λανθασμένη και εκτεταμένη χρήση τους προκύπτει και η ανάπτυξη ανθεκτικότητας των ζιζανίων σε ζιζανιοκτόνα (Travlos and Chachalis, 2010). Τέλος, έχει

αναφερθεί ότι προκαλούν επιπτώσεις στο περιβάλλον και σε οργανισμούς-μη στόχους (Geen, 2012; Travlos et al., 2017).

1.2.1 Κατηγορίες ζιζανιοκτόνων

Τα ζιζανιοκτόνα ταξινομούνται με διαφορετικούς τρόπους. Σύμφωνα με τον χρόνο εφαρμογής τους χωρίζονται σε προφυτρωτικά (pre-emergence) όταν εφαρμόζονται πριν το φύτευμα των ζιζανίων και μεταφυτρωτικά όταν εφαρμόζονται μετά το φύτευμα των ζιζανίων (post-emergence) (Krähmer et al., 2021). Ανάλογα με τα είδη που στοχεύουν ταξινομούνται σε αργωστωδοκτόνα και πλατυφυλλοκτόνα. Άλλον ένα τρόπο κατηγοριοποίησης αποτελεί ο τρόπος απορρόφησης τους, μέσω του φυλλώματος όταν εισέρχονται στο φυτό από τα φύλλα και τους βλαστούς και μέσω του εδάφους όταν εισέρχονται από τις ρίζες ή τις κοτυληδόνες. Σύμφωνα με την μετακίνηση τους στο φυτό διαχωρίζονται σε επαφής (contact) τα οποία δεν μετακινούνται και σε διασυστηματικά (systemic) τα οποία μετακινούνται στο φυτό μέσω του αγγειακού ιστού μαζί με το νερό και τα λοιπά θρεπτικά στοιχεία. Ανάλογα με την εκλεκτικότητα τους διακρίνονται σε εκλεκτικά (selective) τα οποία δρουν στα ζιζάνια χωρίς να επηρεάζουν την καλλιέργεια και σε μη εκλεκτικά (non selective) που δεν δρουν μόνο ενάντια σε συγκεκριμένα είδη. Οι Retzinger and Mallory-Smith (1997) πρότειναν η ταξινόμηση των ζιζανιοκτόνων να πραγματοποιηθεί σύμφωνα με τον μηχανισμό δράσης τους διότι θα βοηθούσε στην διαχείριση της ανθεκτικότητας. Μετέπειτα, δημοσιεύθηκε από τον Schmidt (1998) η ταξινόμηση των ζιζανιοκτόνων κατά HRAC (International Herbicide Resistance Action Committee). Τελευταία φορά η ταξινόμηση των ζιζανιοκτόνων ανάλογα με τον μηχανισμό δράσης τροποποιήθηκε από τους Mallory-Smith and Retzinger (2003).



Εικόνα 1.1 Τα κύτταρα-στόχοι των ζιζανιοκτόνων σύμφωνα με τον μηχανισμό δράσης τους κατά IRAC. (<https://www.weedscience.org/>)

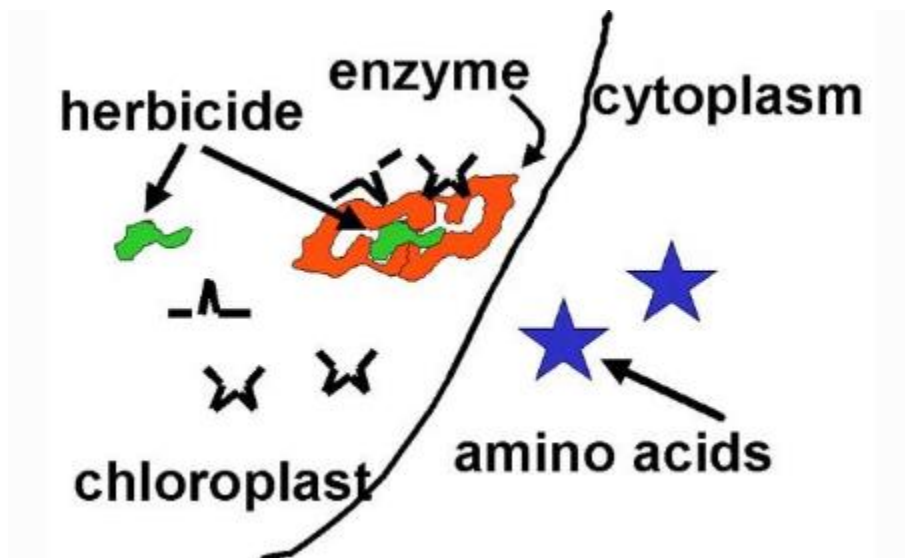
Παρεμπόδιση φωτοχημικών διεργασιών

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα ζιζανιοκτόνα που διαθέτουν ως μηχανισμό δράσης α) την παρεμπόδιση φωτοσυστήματος I (PSI inhibitors) β) την παρεμπόδιση φωτοσυστήματος II (PSII inhibitors) γ) την αναστολή βιοσύνθεσης καροτενοειδών (HPPD) δ) την αναστολή βιοσύνθεσης καροτενοειδών μέσω παρεμπόδισης της 4-διοξυγενάσης του υδροξυφαινυλοπυροσταφυλλικού (4- HPPD) ε) την παρεμπόδιση της οξειδάσης πρωτοπορφυρινογόνου (PPO).

Παρεμπόδιση στο μεταβολισμό των κυττάρων

Σύμφωνα με τον μηχανισμό δράσης τους διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες. Τα ζιζανιοκτόνα που δρουν μέσω παρεμπόδισης της δράσης της καρβοξυλάσης του ακετυλοσυνένζυμου A και ονομάζονται ACCase αναστολείς (ACCase inhibitors). Τα ζιζανιοκτόνα που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία δρουν μπλοκάροντας την βιοσύνθεση των λιπαρών οξέων παρεμποδίζοντας τον

σχηματισμό λιπιδίων και δευτερογενών μεταβολιτών (Takano et al., 2020). Οι παραπάνω διεργασίες οδηγούν στην ανάσχεση της ανάπτυξης των φυτών και στην συνέχεια στη νέκρωση τους (Kaundun, 2014). Τα ζιζανιοκτόνα αυτής της κατηγορίας δρουν κυρίως σε αγρωστώδη ενώ τα περισσότερα δικοτυλήδονα είδη παρουσιάζουν αντοχή (Kukorelli et al., 2013). Εξαιρέση αποτελούν κάποια είδη *Brassica* και *Arabidopsis* στα οποία υπάρχει η δυνατότητα έκφρασης του ομομερούς ACCase στους χλωροπλάστες τους (Kaundun, 2014). Οι χημικές ομάδες που περιλαμβάνονται στους ACCase αναστολείς είναι τα αρυλοξυφαινοξυπροπιονικά οξέα (-FOPs), οι κυκλοεξανδιόνες (-DIMs) και οι φαινυλοπυραζόλες (-DENS). Οι αναστολείς του ενζύμου ALS δρουν και αυτοί παρεμποδίζοντας διεργασίες που εμπλέκονται στον μεταβολισμό των κυττάρων. Πιο συγκεκριμένα, αναστέλλουν την δράση της οξικογαλακτικής συνθετάσης που οδηγεί στην παρεμπόδιση βιοσύνθεσης βασικών αμινοξέων (βαλίνη, λευκίνη, ισολευκίνη) (Whitcomb, 1999).



Εικόνα 1.2 Ο τρόπος που εισέρχονται τα ζιζανιοκτόνα-αναστολείς του ενζύμου ALS στον χλωροπλάστη και ύστερα στον ένζυμο του φυτού. (<https://passel2.unl.edu/>)

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αδυναμία σχηματισμού πρωτεϊνών οδηγώντας στην νέκρωση των φυτών. Οι χημικές ομάδες που ανήκουν στους ALS Αναστολείς είναι οι σουλφονουλουρίες, τα πυριμιδινυλβενζοϊκά, οι ιμιδαζολινόνες και οι τριαζολοπυριμιδίνες. Τέλος, πολύ σημαντικό μηχανισμό δράσης αποτελεί η αναστολή του ενζύμου EPSPS. Σε αυτή την κατηγορία ανήκει ίσως το πιο γνωστό και σημαντικό ζιζανιοκτόνο, το glyphosate. Το glyphosate δρα παρεμποδίζοντας την βιοσύνθεση αρωματικών οξέων όπως είναι η φαινυλαλανίνη, η τυροσίνη και η τρυπτοφάνη

(Velini et al., 2009). Το glyphosate είναι μεταφυτρωτικό, μη εκλεκτικό ζιζανιοκτόνο και διαθέτει μεγάλο εύρος δράσης (Duke, 2018).

Παρεμπόδιση αύξησης κυττάρων

Παρεμποδίζοντας την αύξηση των κυττάρων δρουν τα ζιζανιοκτόνα που διαθέτουν μηχανισμό δράσης που α) παρεμποδίζει την μίτωση β) αναστέλλει τον σχηματισμό κυτταρικών τοιχωμάτων γ) αναστέλλει την μεταφορά ινδολοξικού οξέος δ) προκαλεί αποδιοργάνωση των μεμβρανών ε) δρουν ως συνθετικές αυξίνες (ορμονικά ζιζανιοκτόνα). Οι συνθετικές αυξίνες επηρεάζουν την κυτταρική διαίρεση, τις διαδικασίες που αφορούν την ανάπτυξη του φυτού συμπεριλαμβανομένης της διαφοροποίησης του αγγειακού ιστού (Gossman, 2010). Όπως αναφέρεται από τον Gossman (2003), η επίδραση των συνθετικών αυξινών στα φυτά αποτελείται από τρεις φάσεις.

Η πρώτη φάση είναι αυτή της διέγερσης η οποία αρχίζει πέντε ώρες μετά την εφαρμογή του ζιζανιοκτόνου και συμπεριλαμβάνει ανωμαλίες στην ανάπτυξη του φυτού (επινασσία στα φύλλα, κατσάρωμα των βλαστών) και μεταβολικές διεργασίες (πχ αυξημένη δράση των ενζύμων ATPases). Στην δεύτερη φάση επέρχεται η διακοπή της ανάπτυξης του φυτού και οι επιδράσεις που αφορούν την φυσιολογία του (πχ κλείσιμο των στοματίων του φύλλου). Στην τελική φάση περιλαμβάνεται η νέκρωση των κυττάρων που οδηγεί στην νέκρωση του φυτού.

1.2.2 Ανάπτυξη ανθεκτικότητας ζιζανιοκτόνων

Έως σήμερα έχουν καταγραφεί 523 περιπτώσεις ανθεκτικότητας παγκοσμίως οι οποίες αφορούν 154 δικοτυλήδονα είδη και 115 μονοκοτυλήδονα (Heard, 2023). Η ανάπτυξη της ανθεκτικότητας αποτελεί παγκόσμιο πρόβλημα που έχει τόσο οικονομικό όσο και περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Σύμφωνα με την Weed Science Society of America (WSSA) ως ανθεκτικότητα ορίζεται “η επίκτητη κληρονομούμενη ικανότητα ενός φυτού να επιβιώνει και να αναπαράγεται μετά την εφαρμογή της συνιστώμενης δόσης του ζιζανιοκτόνου, στην οποία ο αρχικός πληθυσμός είναι ευαίσθητος”. Η ανθεκτικότητα διακρίνεται σε απλή, διασταυρωτή και πολλαπλή. Η απλή ανθεκτικότητα αναφέρεται στην ανάπτυξη ανθεκτικότητας σε μια δραστική ουσία. Ως διασταυρωτή (cross resistance) ορίζεται η ανθεκτικότητα που αναπτύσσει ένας βιότυπος σε δύο δραστικές ουσίες με τον ίδιο μηχανισμό δράσης (Beckie and Tardif, 2012). Τέλος, η πολλαπλή ανθεκτικότητα (multiple resistance) αφορά την ανάπτυξη ανθεκτικότητας σε δύο δραστικές ουσίες που διαθέτουν

διαφορετικό μηχανισμό δράσης (Powles and Matthew, 1992). Η ανθεκτικότητα μπορεί να οφείλεται είτε σε μηχανισμό δράσης τροποποίησης θέσης (target site resistance) είτε όχι (non target site resistance). Όταν οφείλεται στο μηχανισμό τροποποίησης θέσης τότε σημαίνει ότι η δραστική ουσία δεν μπορεί να προσδεθεί οδηγώντας σε αναποτελεσματικότητα. Αυτό συμβαίνει διότι πραγματοποιείται μετάλλαξη κάποιου νουκλεοτιδίου στην αλληλουχία του DNA (Murphy and Tranel, 2019). Ανάπτυξη ανθεκτικότητας που οφείλεται σε αυτόν τον μηχανισμό μπορεί να συμπεριλαμβάνει ζιζανιοκτόνα που ανήκουν στους ACCase αναστολείς, στους ALS αναστολείς, στις συνθετικές αυξίνες κτλ. (Kaundun, 2014; Yu and Powles, 2014; Busi et al., 2018). Η ανθεκτικότητα που δεν οφείλεται σε τροποποίηση θέσης (NTSR) σχετίζεται με πολλά γονίδια και χαρακτηρίζεται για την πολυπλοκότητα της (Petit et al., 2010). Είναι αρκετά δύσκολο να κατανοήσουμε τον μηχανισμό αυτού του είδους ανθεκτικότητας αφού κάθε γονίδιο μπορεί να έχει έναν ρόλο σε κάποιο βαθμό (Delye, 2013). Έχει αναφερθεί ότι ο συγκεκριμένος μηχανισμός εμπλέκεται με τον μεταβολισμό του ζιζανιοκτόνου ή με την τροποποιημένη μετατόπιση του ζιζανιοκτόνου. Πιο συγκεκριμένα, για τα διασυστηματικά ζιζανιοκτόνα είναι πολύ σημαντική η μετατόπιση του ζιζανιοκτόνου εντός του φυτού οπότε εάν για κάποιο λόγο διακοπεί το μονοπάτι της μετατόπισης το ζιζανιοκτόνο δεν μπορεί να δράσει (Shaner, 2009). Όσον αφορά τον μεταβολισμό των ζιζανιοκτόνων, μπορεί να προκληθεί από διάφορες ενζυμικές διεργασίες οδηγώντας στην μειωμένη αποτελεσματικότητα του ζιζανιοκτόνου (Kreuzet al., 1996).

1.2.3 Μέθοδοι διερεύνησης της ανθεκτικότητας

Η διερεύνηση ανθεκτικών βιότυπων ζιζανίων σε ζιζανιοκτόνα αποτελεί σημαντικό μέρος της Επιστήμης της Ζιζανιολογίας. Η έγκαιρη και ακριβής επιβεβαίωση των ανθεκτικών περιπτώσεων είναι πολύ σημαντική και κρίσιμη για την διαχείριση της ανθεκτικότητας. Πολλές τεχνικές έχουν αναπτυχθεί για αυτό τον σκοπό, παρακάτω περιγράφονται κάποιες από αυτές.

Βιοδοκιμές σε φυτοδοχεία

Έχουν αναφερθεί διαφορετικές τεχνικές για την επιβεβαίωση ανθεκτικών βιότυπων ζιζανίων σε ζιζανιοκτόνα. Η πιο κλασική προσέγγιση είναι αυτή των βιοδοκιμών σε φυτοδοχεία με την χρήση σπόρων ζιζανίων που έχουν συλλεχθεί από την προηγούμενη καλλιεργητική περίοδο. Η συγκεκριμένη μέθοδος περιγράφεται αναλυτικά από την Burgos (2015). Συγκεκριμένα, αναφέρεται ότι είναι απαραίτητη η συλλογή σπόρων από ζιζάνια που έχουν επιβιώσει μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων κατά την ίδια καλλιεργητική περίοδο και η αποθήκευσή τους σε

κατάλληλες συνθήκες. Επίσης, αναφέρεται ότι είναι απαραίτητη η σύγκριση τους με βιότυπους επιβεβαιωμένα ανθεκτικούς και ευαίσθητους. Η σπορά των βιότυπων πρέπει να πραγματοποιηθεί σε όμοια φυτοδοχεία και είναι απαραίτητο οι συνθήκες ανάπτυξης να είναι σταθερές καθ' όλη την διάρκεια της βιοδοκιμής. Το εύρος δόσεων του ζιζανιοκτόνου πρέπει να είναι από $X/8$ έως και $8X$ και ο υπολογισμός του G_{50} και ED_{50} είναι απαραίτητος. Η μέθοδος διαρκεί δύο μήνες. Τέλος, η επανάληψη της βιοδοκιμής είναι σημαντική για την επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων. Ένα από τα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου μπορεί να εφαρμοστεί για διάφορα ζιζανιοκτόνα ανεξαρτήτου μηχανισμού δράσης (Burgos et al., 2017). Επίσης, οι συνθήκες ανάπτυξης των φυτών είναι σχετικές με την συνθήκες ανάπτυξης στον αγρό (Burgos et al., 2017). Ωστόσο, για την διεξαγωγή της χρειάζεται μεγάλος χώρος και θεωρείται αργή μέθοδος (Kaundun et al., 2014). Ο Boutsalis, 2001 παρουσίασε μια παραλλαγή της παραπάνω μεθόδου η οποία είναι πιο γρήγορη μιας και παρακάμπτει το στάδιο συλλογής των σπόρων των ζιζανίων. Πιο αναλυτικά, χρησιμοποιούνται ζιζάνια που έχουν συλλεχθεί εντός της απευθείας από τον αγρό εντός της ίδιας καλλιεργητικής περιόδου και μεταφυτεύονται σε φυτοδοχεία. Αυτή η μέθοδος είναι πιο γρήγορη από την κλασσική προσέγγιση των φυτοδοχείων και δεν στηρίζεται στη διαθεσιμότητα σπόρων ζιζανίων (Boutsalis, 2001).

Βιοδοκιμές βλαστικότητας σε petri dish

Η βιοδοκιμές βλαστικότητας σε petri dish για τον χαρακτηρισμό ανθεκτικών και ευαίσθητων βιότυπων ζιζανίων περιλαμβάνουν την εκτίμηση του φυτρώματος και την ανάπτυξη των φυτών σε petri dish τα οποία περιέχουν τους σπόρους των ζιζανίων και τα διαλύματα του ζιζανιοκτόνου (Beckie et al., 1990; Letouze and Gasquez, 1999). Η συγκεκριμένη μέθοδος, είναι γρήγορη και δεν απαιτεί μεγάλο χώρο για να πραγματοποιηθεί (Burgos et al., 2017). Παρόλα αυτά, μπορεί να διερευνηθεί μόνο η ανθεκτικότητα που οφείλεται σε μηχανισμό δράσης τροποποίησης θέσης. Επίσης, περιοριστικό παράγοντα αποτελεί ότι μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε αγρωστώδη ζιζάνια. Τέλος, οι συνθήκες ανάπτυξης δεν μιμούνται αυτές του αγρού αφού τα φυτά αναπτύσσονται σε τρυβλία petri που περιέχουν θρεπτικό μέσο (agar media) (Perez et al., 2021).

Μοριακές βιοδοκιμές

Στις μοριακές βιοδοκιμές περιλαμβάνονται οι εξής μέθοδοι: α) η ενίσχυση αλληλόμορφων γονιδίων με αλυσιδωτή αντίδραση της πολυμεράσης (Polymerase Chain Reaction Amplification of Specific Alleles, PCR) (Wagner et al., 2002), β) ο πολυμορφισμός μήκους θραύσματος DNA με ένζυμο περιορισμού (RFLP, Restriction Fragment Length Polymorphism) (Kaundun and Windass, 2006) και γ) η ανάλυση καμπυλών τήξης υψηλής διακριτικής ικανότητας (HRM, High Resolution Melt Analysis) (Ghanizadeh et al., 2023). Γενικά, οι μοριακές βιοδοκιμές δεν απαιτούν πολύ χρόνο για να ολοκληρωθούν (Burgos et al., 2017). Ωστόσο, ενέχουν διάφορους περιοριστικούς παράγοντες. Μέσω αυτών των μεθόδων μπορεί να διερευνηθεί η ανθεκτικότητα που οφείλεται μόνο σε τροποποίηση θέσης και σε ζιζανιοκτόνα που ανήκουν στους ALS και ACCase αναστολείς (Délye et al., 2015). Τέλος, το υψηλό κόστος της διεξαγωγής τους σίγουρα αποτελεί έναν από τα πιο σημαντικά τους μειονεκτήματα.

1.3 Ολοκληρωμένη Διαχείριση Ζιζανίων (Integrated Weed Management)

1.3.1 Η Πράσινη Συμφωνία

Η Ευρωπαϊκή πράσινη συμφωνία αποτελεί το σύνολο πολιτικών πρωτοβουλιών με σκοπό τη μετάβαση σε μια πιο πράσινη περίοδο όπου μακροπρόθεσμα (έως το 2050) αποβλέπει στην κλιματική ουδετερότητα της Ευρώπης. Το Δεκέμβριο του 2019, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε τους κανονισμούς που τα κράτη μέλη οφείλουν να ακολουθήσουν. Στα πλαίσια της ασφάλειας των τροφίμων και της αειφόρας παραγωγής τους θεσπίστηκε η στρατηγική «Από το αγρόκτημα στο πιάτο» («Farm to fork»). Σύμφωνα με την παραπάνω στρατηγική όλα τα κράτη μέλη της Ευρώπης υποχρεούνται να μειώσουν τη χρήση των φυτοπροστατευτικών προϊόντων έως και 50% μέχρι το 2030. (<https://www.consilium.europa.eu/en/policies/geen-deal>)

1.3.2 Μέθοδοι της ολοκληρωμένης διαχείρισης ζιζανίων

Η εκτεταμένη και λανθασμένη χρήση των ζιζανιοκτόνων έχει οδηγήσει στην αύξηση των φαινομένων ανθεκτικότητας (Beckie, 2006; Powles and Yu, 2010; Egan et al., 2011) έχοντας περιβαλλοντικό, οικονομικό και κοινωνικό αντίκτυπο. Το πρόβλημα της ανάπτυξης της ανθεκτικότητας σε ζιζανιοκτόνα ολοένα και εντείνεται λόγω της έλλειψης νέων δραστικών ουσιών (Duke, 2012). Με την Πράσινη Συμφωνία η Ευρωπαϊκή Ένωση στρέφει τον τομέα της γεωργίας στην ολοκληρωμένη διαχείριση των ζιζανίων. Υπάρχουν πολλοί ορισμοί για τον όρο

“Ολοκληρωμένη Διαχείριση των Ζιζανίων”. Ωστόσο, θα μπορούσε να οριστεί ως μια ολιστική προσέγγιση που συνδυάζει τεχνικές ελέγχου των ζιζανίων με στόχο την διατήρηση της πυκνότητας τους σε επίπεδα όπου η καλλιέργεια διατηρεί ανταγωνιστικό πλεονέκτημα ενώ ταυτόχρονα μειώνει το περιβαλλοντικό αντίκτυπο (Naylor and Drummond, 2002; Harker and O'Donovan, 2013). Άλλωστε, ο έλεγχος των ζιζανίων δεν αναφέρεται μόνο στην μείωση των ζιζανίων όταν αυτά εμφανιστούν αλλά και στην πρόληψη αναπαραγωγής και βλάστησης των ζιζανίων καθώς και στην μείωση του ανταγωνισμού με την καλλιέργεια (Buhler, 1996). Σε αυτό στοχεύει η Ολοκληρωμένη Διαχείριση των ζιζανίων (ΟΔΖ).

Αμειψισπορά

Με τον όρο αμειψισπορά αναφερόμαστε στην τεχνική κατά την οποία καλλιεργούνται διαφορετικά είδη σε ακολουθία στο ίδιο αγροτεμάχιο (Yates, 1954). Η αμειψισπορά παρέχει πολλά οφέλη. Έχει αποδειχθεί ότι η πυκνότητα ζιζανίων είναι χαμηλότερη σε συστήματα αμειψισποράς συγκριτικά με την μονοκαλλιέργεια (Liebman and Ohno, 1998). Τα τελευταία χρόνια επικρατεί η τάση για εκτεταμένη αμειψισπορά (diversified crop rotation). Με τον όρο εκτεταμένη αμειψισπορά αναφερόμαστε σε ένα σύστημα εναλλαγής πολλών καλλιεργειών, από τρεις και πάνω (Wang et al., 2020). Η εναλλαγή πολλών διαφορετικών καλλιεργειών επιδρά θετικά στην υγεία του εδάφους ενώ ταυτόχρονα σπάει τον κύκλο των ζιζανίων αλλά και των παθογόνων (Bowles et al., 2020).

Εδαφοκατεργασία

Η εδαφοκατεργασία αναφέρεται στον έλεγχο των ζιζανίων μηχανικά με στόχο την καταστολή των ζιζανίων αλλά και την προετοιμασία της σποροκλίνης (Radosevich et al., 1997; Swanton et al., 1997). Έχουν αναπτυχθεί διάφορα συστήματα εδαφοκατεργασίας (συμβατική, μειωμένη, καθόλου) και χωρίζονται με βάση τον βαθμό της κατεργασίας που θα πραγματοποιηθεί στο έδαφος. Η συμβατική εδαφοκατεργασία (conventional tillage) περιλαμβάνει την βασική κατεργασία που εφαρμόζεται με σκοπό την αναστροφή του εδάφους και τις δευτερεύουσες για την καταστροφή των ζιζανίων πριν την σπορά (Chauhan et al., 2006). Η συμβατική εδαφοκατεργασία έχει επιπτώσεις στο έδαφος (διάβρωση του εδάφους, απώλεια θρεπτικών στοιχείων), στην οικονομία (υψηλό κόστος καυσίμων) και στο περιβάλλον (φαινόμενο του θερμοκηπίου) (Šarauskis et al., 2018). Η μειωμένη εδαφοκατεργασία (reduced tillage) αφορά την επιφανειακή κατεργασία του εδάφους όπου δεν χρησιμοποιούνται υνιοφόρα άροτρα

(Melander et al., 2013). Μηδενική εδαφοκατεργασία σημαίνει ότι δεν πραγματοποιείται καμία προετοιμασία του εδάφους πριν τη σπορά και είναι απαραίτητο το 30% του εδάφους να είναι καλυμμένο από φυτικά υπολείμματα (Triplett and Dick, 2008). Γενικά, τα συστήματα μειωμένης ή μηδενικής εδαφοκατεργασίας μειώνουν την χρήση καυσίμων, την διάβρωση του εδάφους και συνεπώς τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Oorts et al., 2007; Triplett Jr and Dick, 2008). Ωστόσο, οι επιπτώσεις της εφαρμογής τους διεγείρουν προβληματισμούς. Στα ανεπιθύμητα χαρακτηριστικά τέτοιων συστημάτων συγκαταλέγεται η ανάπτυξη ανθεκτικών βιότυπων, η διαστρωμάτωση δυσκίνητων θρεπτικών συστατικών και άνθρακα στην επιφάνεια του εδάφους και τέλος την εμφάνιση μεταδιδόμενων ασθενειών μέσω του εδάφους (Thomas et al., 2007).

Στελεχοκοπή

Η στελεχοκοπή των ζιζανίων μπορεί να πραγματοποιηθεί μηχανικά είτε με καταστροφέα που τοποθετείται πάνω σε γεωργικό ελκυστήρα είτε χειροκίνητα με χορτοκοπτικό. Αυτή η τεχνική εφαρμόζεται κυρίως σε δενδρώδεις καλλιέργειες, χλοοτάπητες ή δασικές περιοχές (Summerford, 2008; McCarthy et al., 2011; Martinelli et al., 2017). Η στελεχοκοπή διακόπτει την ανάπτυξη των ζιζανίων και έτσι μειώνει ή καθυστερεί την παραγωγή σπόρων (Wicks et al., 2017) που αποτελεί το μέσο πολλαπλασιασμού τους. Αποτελεσματική φαίνεται να είναι η στελεχοκοπή του είδους *Ambrosia artemisiifolia* πριν την άνθιση σε συνδυασμό με κοπές ανά 3-4 εβδομάδες (Milakovic et al., 2014). Ενδιαφέρον αποτελεί ο συνδυασμός της στελεχοκοπής με ζιζανιοκτόνα ή και με βιολογικούς παράγοντες. Έχει αναφερθεί ότι ο συνδυασμός της στελεχοκοπής και του παθογόνου *Sclerotinia minor* ήταν αποτελεσματικός για τον έλεγχο ζιζανίων σε χλοοτάπητα (Abu-Dieyeh et al., 2005).

Ψευδοσπορά

Πρόκειται για τεχνική κατά την οποία πραγματοποιείται η προετοιμασία της σποροκλίνης μέρες, εβδομάδες ή και μήνες πριν την σπορά ή τη μεταφύτευση της καλλιέργειας (Heatherly et al., 1992). Ουσιαστικά, εκμεταλλευόμαστε την βλάστηση των ζιζανίων που προκύπτει από τις προεργασίες του εδάφους με σκοπό την καταστροφή τους πριν την σπορά και την μείωση της τράπεζας σπόρου (Travlos et al., 2020). Σημαντικό ρόλο στην αποτελεσματικότητα της ψευδοσποράς παίζει ο χρόνος, το βάθος, ο τύπος της εδαφοκατεργασίας καθώς επηρεάζουν το φύτρωμα των ζιζανίων (Travlos et al., 2020). Έχει δυνατότητα εφαρμογής σε φυτά μεγάλης καλλιέργειας όπως το κριθάρι, η αραχίδα, το σιτάρι και το ρύζι. Η εφαρμογή της ψευδοσποράς

σε καλλιέργεια αραχίδας οδήγησε σε 53,9% έλεγχο των ζιζανίων (Senthilkumar et al., 2019). Επίσης, μπορεί να συνδυαστεί με την εφαρμογή ζιζανιοκτόνων ή με εδαφοκατεργασία. Ο συνδυασμός της τεχνικής της ψευδοσποράς και της εφαρμογής ζιζανιοκτόνου μείωσε σημαντικά την πυκνότητα του είδους *Echinochloa crus galli* σε καλλιέργεια ρυζιού (Singh and Singh, 2012). Στην καλλιέργεια της αραχίδας η επιφανειακή εδαφοκατεργασία συνδυαστικά με την ψευδοσπορά οδήγησαν σε σημαντική μείωση των ειδών *C. esculentus*, *Desmodium tortuosum* (L.), and *Panicum texanum* (L.) (Jain and Tiwari, 1995).

Συγκαλλιέργεια

Αφορά την καλλιέργεια δύο ή παραπάνω ειδών στο ίδιο αγροτεμάχιο αλλά όχι απαραίτητα την ίδια χρονική στιγμή αλλά κατά την ίδια καλλιεργητική περίοδο (Mousavi and Eskandari, 2011). Μπορούν να συνδυαστούν μονοετής καλλιέργειες με πολυετής, μονοετής με μονοετής και πολυετής με πολυετής (Dariush et al., 2006). Τα συστήματα της συγκαλλιέργειας χωρίζονται σε μικτά, γραμμικά, σε λωρίδες και ασύγχρονα (Horwith, 1985). Έχει αναφερθεί ότι στο 86% των περιπτώσεων η συγκαλλιέργεια καταστέλλει τα ζιζάνια περισσότερο συγκριτικά με μόνο μια καλλιέργεια (Stomph et al., 2020). Επίσης, έχει βρεθεί ότι η συγκαλλιέργεια μείωσε την βιομάζα των ζιζανίων κατά 58% και ότι αποτελεί καλύτερη λύση συγκριτικά με μια ετήσια καλλιέργεια με χαμηλή κατασταλτική ικανότητα (Gu et al., 2021). Γενικά, στα οφέλη της συγκαλλιέργειας περιλαμβάνεται α) η αύξηση της παραγωγικότητας και της απόδοσης των καλλιεργειών (Ghanbari and Lee, 2002) β) η μείωση των προσβολών από εχθρούς-παθογόνα-ζιζάνια λόγω της αύξησης της ποικιλομορφίας (Anil et al., 1998) γ) η βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους και η αύξηση του αζώτου (Eskandari et al., 2009).

Φυτά κάλυψης

Πρόκειται για είδη που καλλιεργούνται είτε παράλληλα με την κύρια καλλιέργεια (cash crop) είτε πριν την σπορά της κύριας καλλιέργειας με στόχο τα οικολογικά οφέλη που προσφέρει και όχι την οικονομική εκμετάλλευση (Teasdale et al., 2007). Η τεχνική φυτοκάλυψης αφορά τόσο ετήσιες καλλιέργειες πριν την σπορά τους όσο και πολυετείς (Linares et al., 2008; Wittwer et al., 2017) και μπορεί να εφαρμοστεί σε συστήματα βιολογικής και συμβατικής καλλιέργειας. Ο τερματισμός τους συνήθως πραγματοποιείται με στελεχοκοπή και τα φυτικά υπολείμματα παραμένουν ως επίστρωση (mulch) στο έδαφος (Alonso-Ayuso et al., 2020). Ως φυτά κάλυψης μπορούν να χρησιμοποιηθούν αγρωστώδη είδη (π.χ. σίκαλη, βρώμη) αλλά και πλατύφυλλα (πχ

βίκος, σινάπι) ή ακόμα και μίγμα αυτών (Ranells and Wagger, 1996; Alcántara et al., 2011; Osipitan et al., 2018). Όπως έχει αναφερθεί, τα φυτά κάλυψης βελτιώνουν την ποιότητα του εδάφους, μειώνουν την διάβρωση του, μειώνουν το φύτρωμα των ζιζανίων και διατηρούν τα ωφέλιμα έντομα (Tillman et al., 2004; Norsworthy et al., 2007; Baets et al., 2011; Bachie and McGiffen, 2013).

Χημική καταπολέμηση

Αφορά την εφαρμογή ζιζανιοκτόνων που ως τώρα αποτελεί μια από τις πιο αποτελεσματικές μεθόδους διαχείρισης των ζιζανίων. Η χημική καταπολέμηση περιγράφεται αναλυτικά στην Ενότητα 1.2.

1.3.3 Καινοτόμες μέθοδοι – Νέες τάσεις

Η ανάπτυξη καινοτόμων προσεγγίσεων για την διαχείριση των ζιζανίων κρίνεται απαραίτητη. Η προσέγγιση διαχείρισης των ζιζανίων θα πρέπει να έχει πολυδιάστατο χαρακτήρα και να εμπλουτιστεί περαιτέρω. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικές καινοτόμες τεχνικές που μελλοντικά θα αποτελέσουν σημαντικά εργαλεία της ολοκληρωμένης διαχείρισης των ζιζανίων.

Συστήματα Υποστήριξης Απόφασης

Η στρατηγική που πρέπει να σχεδιάσουν οι καλλιεργητές και οι γεωπόνοι για την διαχείριση των ζιζανίων είναι πολύπλοκη καθώς πρέπει να υπολογίσουν οικονομικούς, αγρονομικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Τα Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (Decision Support Systems) είναι υπολογιστικά συστήματα που έχουν την δυνατότητα διαχείρισης και επεξεργασίας μεγάλου όγκου δεδομένων με σκοπό να βοηθήσουν τους καλλιεργητές να καταλήξουν σε κατάλληλες αποφάσεις διαχείρισης των ζιζανίων (Chantre and González-Andújar, 2020). Η στρατηγική που προτείνεται από αυτού του είδους τα συστήματα στοχεύει στην ισορροπία μεταξύ του κόστους, της αποτελεσματικότητας και των περιβαλλοντικών επιδράσεων. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τα Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων για την διαχείριση των ζιζανίων σχετίζονται με την σύνθεση της ζιζανιοχλωρίδας και την βλάστηση των ζιζανίων αλλά και με την ανταγωνιστικότητα της καλλιέργειας με τα ζιζάνια (Kanatás et al., 2022). Απαραίτητη είναι η μετατόπιση της ολοκληρωμένης διαχείρισης των ζιζανίων σε νέες, τεχνολογικές μεθοδολογίες που στοχεύουν σε αποτελεσματικές και αειφόρες προτάσεις.

Βιολογικά ζιζανιοκτόνα

Τα βιολογικά ζιζανιοκτόνα (bioherbicides) αποτελούν σκευάσματα που περιέχουν είτε φυσικούς μεταβολίτες είτε μικροοργανισμούς και στοχεύουν στον έλεγχο των ζιζανίων χωρίς να είναι επιβλαβή προς το περιβάλλον (Hoagland et al., 2007). Οι μικροοργανισμοί που μπορούν να αξιοποιηθούν ως βιοζιζανιοκτόνα αποτελούν είδη μυκήτων και βακτηρίων (Júnior et al., 2019; Harding and Raizada, 2015). Στους φυσικούς μεταβολίτες συγκαταλέγονται φυτικά έλαια με αλληλοχημικές ιδιότητες (Mendes and Rezende, 2014). Τα βιοζιζανιοκτόνα μπορούν να προκαλέσουν διάφορες μεταβολικές αλλαγές (πχ μείωση κυτταρικής δραστηριότητας) οι οποίες οδηγούν στην αναστολή της ανάπτυξης των ζιζανίων (Xie et al., 2013; Lee et al., 2015).

Νανοζιζανιοκτόνα

Η νανοτεχνολογία αποτελεί έναν πολλά υποσχόμενο κλάδο για την ανάπτυξη της γεωργίας. Γενικά, νανοσκευάσματα θεωρούνται όσα διαθέτουν μέγεθος μικρότερο από 100 nm (Christian et al., 2005) και αυτός είναι λόγος που παρουσιάζουν τόσο μεγάλο ενδιαφέρον αφού θα υπάρχει η δυνατότητα εφαρμογής μικρότερων δόσεων. Έχει αναφερθεί ότι μπορούν να αξιοποιηθούν για τον έλεγχο πολυτετών δυσεξόντων ζιζανίων όπως τα είδη *Cyperus* spp και *Solanum elaeagnifolium* όπου οι μεταφυτρωτικοί ψεκασμοί των ζιζανιοκτόνων καταλήγουν σε μειωμένη αποτελεσματικότητα (Choudhary, 2020).

Θερμικές μέθοδοι

Οι θερμικές μέθοδοι χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στην κατηγορία που δρα με θερμότητα άμεσα στην οποία συγκαταλέγονται ο ζεστός αφρός, το ζεστό νερό και ο ατμός και στην κατηγορία που δρα έμμεσα στην οποία περιλαμβάνονται η ηλεκτροπληξία, τα μικροκύματα, η ακτινοβολία με λέιζερ και η ακτίνες UV (Korres et al., 2019). Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μέθοδος ελέγχου των ζιζανίων μέσω ζεστού αφρού. Η μέθοδος έχει εφαρμοστεί στην Ελλάδα στην καλλιέργεια της ελιάς οδηγώντας σε ικανοποιητικό έλεγχο πλατύφυλλων ζιζανίων (Antonopoulos et al., 2023).

Στις καινοτόμες μεθόδους συγκαταλέγονται και τεχνικές που προέρχονται από τον τομέα της Γεωργίας Ακριβείας οι οποίες περιγράφονται αναλυτικά στην Ενότητα 4.1.

1.4 Γεωργία Ακριβείας και Διαχείριση των ζιζανίων

1.4.1 Η έννοια της Γεωργίας Ακριβείας

Η Γεωργία Ακριβείας (Precision Agriculture) αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές προσθήκες του 21^{ου} αιώνα στο κλάδο της αειφόρου γεωργίας (Berry et al., 2003). Η Γεωργία Ακριβείας μπορεί να οριστεί ως “η διαχείριση της χωρικής και της χρονικής μεταβλητότητας της καλλιέργειας με την εφαρμογή τεχνολογιών που έχουν αναπτυχθεί στο τομέα της πληροφορικής και των επικοινωνιών” (Fountas et al., 2015). Οι μεθοδολογίες που έχουν αναπτυχθεί βασίζονται στην τηλεπισκόπηση (remote sensing). Η Γεωργία Ακριβείας συμβάλλει στην διαχείριση των ζιζανίων είτε παρέχοντας πληροφορίες και δεδομένα σχετικά με την ζιζανιοχλωρίδα είτε δρώντας άμεσα σύμφωνα με αυτά τα δεδομένα. Πιο αναλυτικά, υπάρχουν συστήματα που αναγνωρίζουν τα ζιζάνια που υπάρχουν μεταξύ των γραμμών της καλλιέργειας και εφαρμόζεται σκάλισμα (Kunz et al., 2015; Gerhards et al., 2020) συμβάλλοντας στην μηχανική καταπολέμηση των ζιζανίων. Παρόμοιος είναι και ο τρόπος που πραγματοποιείται η χημική καταπολέμηση μέσω μεθόδων της Γεωργίας Ακριβείας. Ουσιαστικά, αναγνωρίζονται τα σημεία που υπάρχουν ζιζάνια και πραγματοποιείται εφαρμογή ζιζανιοκτόνου (Felton and McCloy, 1992). Επομένως, ο ψεκασμός είναι στοχευμένος μειώνοντας την ποσότητα του ζιζανιοκτόνου που χρησιμοποιείται. Τα τελευταία χρόνια διενεργούνται εναέριοι ψεκασμοί με την χρήση μη επανδρωμένων ιπτάμενων οχημάτων (drone) (Esposito et al., 2021; Paul et al., 2023). Ωστόσο, έως σήμερα ο εναέριος ψεκασμός με drone δεν είναι νόμιμος αφού δεν έχει δοθεί ακόμη έγκριση από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Δεδομένα σχετικά με την ζιζανιοχλωρίδα είναι εφικτό να εξάγουμε τόσο με επίγεια όσο και με εναέρια μέσα. Οι πληροφορίες και τα δεδομένα μπορεί να σχετίζονται με την χαρτογράφηση των ζιζανίων (López-Ganados, 2011) και με την αναγνώριση των ειδών των ζιζανίων μέσω της ανάπτυξης νευρωνικών συστημάτων (Shah et al., 2021) κ.ά. Η εξαγωγή των δεδομένων μέσω αισθητήρων μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με εικόνες είτε χωρίς εικόνες.

1.4.2 Δορυφόροι

Η χαρτογράφηση της ζιζανιοχλωρίδας από εικόνες που προέρχονται από δορυφόρους έχει αναφερθεί σε πολλές έρευνες (Rist et al., 2019; Brinkhoff et al., 2018; Sarkota et al., 2020). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη που σχετίζεται με την αναγνώριση του είδους *Cirsium arvense* L. σε καλλιέργεια κριθαριού και σιταριού (Rasmussen et al., 2021). Ωστόσο, το

μειονέκτημα των δορυφόρων σχετίζεται με την χρονική στιγμή που είναι εφικτό να αναγνωριστούν τα ζιζάνια. Στην συγκεκριμένη έρευνα όπως και σε άλλες, η αναγνώριση των ζιζανίων δεν πραγματοποιείται όταν βρίσκονται στα αρχικά στάδια ανάπτυξης αλλά στην άνθιση τους (López-Ganados, 2011; Shendryk et al., 2020). Τέλος, περιοριστικό παράγοντα αποτελούν οι κλιματικές συνθήκες που δυσκολεύουν την εξαγωγή δεδομένων μέσω εικόνων από δορυφόρους (Thorp and Tian, 2004).

1.4.3 Μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα (drones)

Τα μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα (UAV) αποτελούν μια από τις πιο σημαντικές τεχνολογίες που αναπτύχθηκαν στο τομέα της Γεωργίας Ακριβείας (Raj et al., 2020). Τα μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα φέρουν κάμερες υψηλής ανάλυσης ή αισθητήρες και κινούμενο δείκτη GPS και έτσι να παρέχουν πληροφορίες σχετικές με την ζιζανιοχλωρίδα σε μεγάλες καλλιεργητικές εκτάσεις σε μικρό χρονικό διάστημα (Lottes et al., 2017). Παρόλα αυτά, σημαντικό μειονέκτημα αποτελεί το κόστος τους. Με την χρήση μη επανδρωμένων ιπτάμενων οχημάτων είναι εφικτή η αναγνώριση ζιζανίων μεταξύ των γραμμών της καλλιέργειας (Hassanein and El-Sheimy, 2018). Διάφορες έρευνες αναφέρουν ότι η εφαρμογή τους βοήθησε στην αναγνώριση πλατύφυλλων και αγρωστωδών ζιζανίων σε φυτά μεγάλης καλλιέργειας (López-Ganados et al., 2006; Hansen et al., 2013; Louargant et al., 2017). Πολύ σημαντικό μειονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι το γεγονός ότι δεν μπορούν να παρέχουν πολλών ειδών πληροφορίες με αποτέλεσμα να μην δίνουν μια ολιστική εικόνα του αγρού (Daronte et al., 2019). Επίσης, έχουν υψηλό κόστος και χρειάζεται αρκετός χρόνος για να ρυθμιστούν κατάλληλα.

1.4.4 Αισθητήρες

Οι αισθητήρες μπορούν να διαχωριστούν σε αυτούς που καταγράφουν την πληροφορία μέσω εικόνας και σε αυτούς που δεν χρησιμοποιούν εικόνα. Και τα δύο είδη αισθητήρων τοποθετούνται είτε σε drone είτε σε ελκυστήρα και καταγράφουν δεδομένα. Οι αισθητήρες που λειτουργούν μέσω εικόνας είναι ψηφιακές κάμερες που ανήκουν στις εξής κατηγορίες: RGB, διφασματικές, πολύ φασματικές, υπερφασματικές (Xu et al., 2021). Οι συγκεκριμένες κάμερες λαμβάνουν φωτογραφίες υψηλής ανάλυσης από τον αγρό και στη συνέχεια μέσω λογισμικών εξάγουν τα δεδομένα (Bogue, 2017). Στους αισθητήρες που δεν λειτουργούν μέσω λήψης εικόνων ανήκουν: τα φασματόμετρα, οι αισθητήρες απόστασης, οι υπερηχητικοί αισθητήρες, οι φθορίζουσες ακτινοβολίας και οι οπτικοηλεκτρικοί αισθητήρες (Pallottino et al., 2019). Η λήψη

των δεδομένων πραγματοποιείται μέσω της ανάκλασης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (Xue and Su, 2017). Γνωρίζουμε ότι το φάσμα φωτός που αντανακλάται από τα φυτά αλλάζει όταν ανάλογα με το είδος του φυτού και τις καταπονήσεις ή καλλιεργητικές φροντίδες που δέχεται (Liu et al., 2017). Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της βλάστησης μια καλλιέργειας βασίζονται σε διαφορετικά μήκη κύματος (Xue and Su, 2017). Τα δεδομένα που λαμβάνονται από αυτούς τους αισθητήρες αφορούν τιμές κάποιου δείκτη βλάστησης (Basso et al., 2004). Υπάρχουν διάφοροι δείκτες βλάστησης, μερικοί από αυτούς είναι οι εξής: RVI (Ratio Vegetation Index, DVI (Difference Vegetation Index), PVI (Perpendicular Vegetation Index), NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index) (Rouse et al., 1974; Richardson, and Wiegand, 1977; Huete, 1988; Quan et al., 2011). Οι δείκτες RVI, DVI, PVI είναι ευαίσθητοι στις αλλαγές του εδάφους, στην αντανάκλαση του εδάφους και δεν αποδίδουν καλά όταν η φυτοκάλυψη είναι χαμηλή (Xue and Su, 2017). Τον πιο διαδεδομένο δείκτη βλάστησης αποτελεί ο δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης (NDVI) (Gago et al., 2015).

Κεφάλαιο 2. Υλικά και Μέθοδοι

2.1.1 Αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ζιζανιοκτόνων *in situ* στη καλλιέργεια του σιταριού

2.1.1.1 Πειραματικοί αγροί

Κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος διεξήχθησαν πειράματα αγρού που αφορούσαν την καλλιέργεια του σιταριού (*Triticum durum* Desf.) σε διαφορετικές περιοχές της Ελλάδας. Γεωπόνοι και παραγωγοί της εκάστοτε περιοχής υπέδειξαν αγρούς στους οποίους αντιμετώπιζαν προβλήματα μειωμένης αποτελεσματικότητας των ζιζανιοκτόνων. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν επισκοπήσεις με στόχο την επιλογή των κατάλληλων πειραματικών αγρών. Οι επισκοπήσεις πραγματοποιήθηκαν ακολουθώντας τις προσεγγίσεις προηγούμενων μελετών (Economou et al., 2005; Travlos and Giannopolitis, 2010). Πιο συγκεκριμένα, κριτήρια επιλογής των πειραματικών αγρών αποτέλεσαν η αντιπροσωπευτική και η ομοιόμορφη ζιζανιοχλωρίδα.



Εικόνα 2.1 Πείραμα αγρού στην καλλιέργεια του σιταριού στην περιοχή των Φαρσάλων.

Επιλέχθηκαν πέντε πειραματικοί αγροί στις εξής περιοχές: Δομοκός, Λάρισα, Φάρσαλα, Βελεστίνο και Ορεστιάδα. Στον Πίνακα 2.1 φαίνονται οι περιοχές, οι ακριβείς συντεταγμένες οι οποίες σημειώθηκαν μέσω του Παγκόσμιου Συστήματος Στιγματοθέτησης (Global Positioning System), καθώς και οι ημερομηνίες σποράς της καλλιέργειας. Η ζιζανιοχλωρίδα που καταγράφηκε στους παραπάνω αγρούς περιλάμβανε αγρώστωδη και πλατύφυλλα ζιζάνια. Όσο αφορά τα αργωστώδη εντοπίστηκαν τα εξής: ήρα (*Lolium rigidum* L.) και αγριοβρώμη (*Avena sterilis* L.). Από πλατύφυλλα συναντήσαμε σινάπι (*Sinapis arvensis* L.), μεγαλόκαρπη κολλητσίδα (*Gallium aparine* L.), βερόνικα (*Veronica hederifolia* L.), καπνόχορτο (*Fumaria officinalis* L.), αγριομαργαρίτα (*Chrysanthemum segetum* L.) και χαμομήλι (*Matricaria recutita* L.).

Πίνακας 2.1 Ακριβής γεωγραφική τοποθεσία των πειραματικών αγρών και οι ημερομηνίες σποράς τους κατά το πειραματικό πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος για την καλλιέργεια του σιταριού.

Πειραματικός αγρός	Συντεταγμένες	Ημερομηνία σποράς (1 ^ο έτος)	Ημερομηνία σποράς (2 ^ο έτος)
DOM (Δομοκός)	39.104530, 22.294052	7 Νοεμβρίου	9 Νοεμβρίου
LAR (Λάρισα)	39.461422, 22.299992	9 Νοεμβρίου	11 Νοεμβρίου
FAR (Φάρσαλα)	39.387257, 22.407629	1 Δεκεμβρίου	18 Νοεμβρίου
VEL (Βελεστίνο)	39.369394, 22.733237	5 Νοεμβρίου	8 Νοεμβρίου
ORS (Ορεστιάδα)	41.558385, 26.487903	12 Δεκεμβρίου	11 Δεκεμβρίου

Από κάθε πειραματικό αγρό πραγματοποιήθηκε η λήψη δειγμάτων εδάφους με σκοπό την διεξαγωγή εδαφολογικών αναλύσεων (Πίνακας 2.2). Η δειγματοληψίες διενεργήθηκαν σε 5 διαφορετικά σημεία και η διαδρομή που ακολουθήσαμε είχε σχηματισμό του γράμματος "W". Οι εδαφολογικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Εδαφολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Πίνακας 2.2 Εδαφολογικά δεδομένα των πειραματικών αγρών της καλλιέργειας του σιταριού.

Αγροί	Τύπος εδάφους	pH	Οργανική ουσία —%—
Δομοκός	Αργιλώδες	7.16	7.19
Λάρισα	Αμμοπηλώδες	7.54	6.59
Φάρσαλα	Αργιλοαμμώδες	7.49	6.28
Βελεστίνο	Αργιλοαμμώδες	7.41	6.31
Ορεστιάδα	Αργιλώδες	6.72	6.37

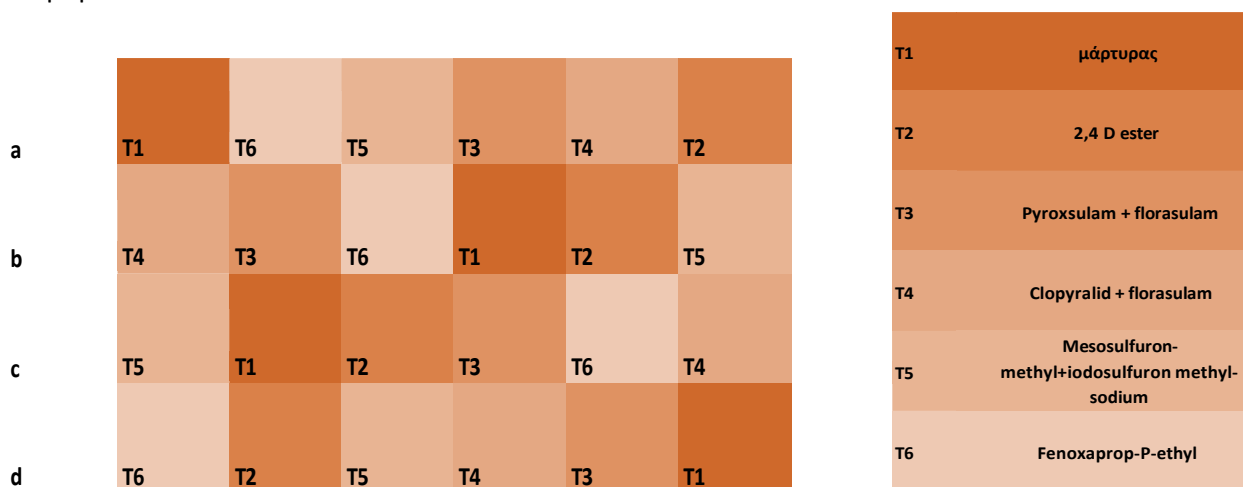
Κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής των πειραμάτων συλλέγονταν από κάθε περιοχή τα μετεωρολογικά δεδομένα, η μηνιαία μέση θερμοκρασία και το μέσο ύψος βροχόπτωσης. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2.3) παρουσιάζονται τα μετεωρολογικά δεδομένα

Πίνακας 2.3 Οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες και το συνολικό ύψος των βροχοπτώσεων σε κάθε περιοχή για τα πειράματα αγρού στη καλλιέργεια του σιταριού κατά το πρώτο και το δεύτερο έτος.

Περιοχή	Κλιματικός παράγοντας	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος
Πρώτο πειραματικό έτος									
Δομοκός	Μέση Τ °C	12.6	6.2	4.7	7.6	9.4	11.6	18.2	21.2
	Βροχόπτωση mm	41.8	62.8	41.8	59.5	43.5	40.2	51.5	38.6
Λάρισα	Μέση Τ °C	10.25	9.6	11.7	11.5	12.7	13.6	20.1	24.1
	Βροχόπτωση mm	53.1	49.9	46.7	51.5	53.1	53.4	40.2	46.7
Φάρασαλα	Μέση Τ °C	13.2	7.4	4.3	8.4	10.7	12.8	19.6	22.7
	Βροχόπτωση mm	40.2	53.1	38.6	61.2	48.3	48.3	41.8	48.3
Βελεστίνο	Μέση Τ °C	17.3	10.8	8.4	11.3	13.1	15	21	25.2
	Βροχόπτωση mm	51.5	67.6	72.4	69.2	48.3	74	59.5	41.8
Ορεσιτιάδα	Μέση Τ °C	13.7	6.3	3.2	6.9	9.9	11.8	17.7	22
	Βροχόπτωση mm	59.5	77.2	59.5	66	51.5	45.1	51.5	43.5
Δεύτερο πειραματικό έτος									
Περιοχή	Κλιματικός παράγοντας	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος
Δομοκός	Μέση Τ °C	9.4	8.2	6.7	7.7	7.3	11.7	19.6	22.3
	Βροχόπτωση mm	25.7	43.5	48.3	61.2	46.7	49.9	53.1	37
Λάρισα	Μέση Τ °C	11.5	10	7.5	7.9	9.3	13.2	21	24.1
	Βροχόπτωση mm	35.4	37	40.2	51.5	51.5	53.1	46.7	49.9
Φάρασαλα	Μέση Τ °C	10.6	10.1	7.9	7.3	8.7	12.9	20.7	23.9
	Βροχόπτωση mm	30.6	49.9	53.1	64.4	57.9	59.5	49.9	53.1
Βελεστίνο	Μέση Τ °C	13.9	13.1	11	11.1	11.7	15.4	22.3	25.4
	Βροχόπτωση mm	41.8	56.3	70.8	61.2	72.4	54.7	49.9	59.5
Ορεσιτιάδα	Μέση Τ °C	9.2	8.1	6.3	6.9	6.9	11.8	18.9	22
	Βροχόπτωση mm	40.2	48.3	64.4	59.5	46.7	49.9	51.5	56.3

2.1.1.2 Πειραματικό Σχέδιο

Μετά την πλήρη καταγραφή του ιστορικού κάθε αγρού ακολούθησε η επιλογή του καταλληλότερου σημείου για την εγκατάσταση του πειράματος. Βασικό βήμα στην επιλογή του κατάλληλου σημείου αποτέλεσε η επισκόπηση όλου του αγρού. Κριτήρια επιλογής του σημείου αποτέλεσαν η πυκνότητα και η ομοιόμορφη κατανομή των ζιζανίων στα πειραματικά τεμάχια καθώς και η ευρωστία της καλλιέργειας με σκοπό τόσο την ακρίβεια όσο και την αντιπροσωπευτικότητα της έρευνας. Ακολούθως, κάθε πειραματικός αγρός χωρίστηκε σε 4 πειραματικά τεμάχια (επαναλήψεις) τα οποία χωρίστηκαν σε έξι υποτεμάχια. Η συνολική έκταση του κάθε πειραματικού αγρού ήταν 280 m². Πιο συγκεκριμένα, το κάθε τεμάχιο ήταν 70m² και κάθε υποτεμάχιο είχε διαστάσεις 2,5mX4m. Εφαρμόστηκε το πειραματικό σχέδιο τυχαιοποιημένων πλήρων ομάδων (randomized complete block design). Στην Εικόνα 2.2 παρουσιάζεται σχηματικά το πειραματικό σχέδιο που εφαρμόστηκε κατά την διάρκεια των δύο πειραματικών ετών.



Εικόνα 2.2 Σχηματική απεικόνιση του πειραματικού σχεδίου που εφαρμόστηκε κατά τα δύο πειραματικά έτη στη καλλιέργεια του σιταριού (T1, T2, T3, T4, T5, T6 οι επιμέρους επεμβάσεις και a,b,c,d οι επαναλήψεις).

Οι επεμβάσεις περιλάμβαναν την εφαρμογή πέντε μεταφυτρωτικών ζιζανιοκτόνων και τον αψέκαστο μάρτυρα. Κατά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων το σιτάρι βρισκόταν στο στάδιο του αδελφώματος (BBCH 21) και τα ζιζάνια στο στάδιο ανάπτυξης των 3 έως 5 φύλλων. Η εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων πραγματοποιήθηκε με ψεκαστήρα προπιέσεως τύπου Gloria 405 T sprayer (Gloria Haus- & Gartengerate GmbH, Daermannsbusch 7, 58456 Witten, Germany) του οποίας η πίεση ρυθμίστηκε με βάση την ετικέτα των ζιζανιοκτόνων στα 300kPa. Εξάιρεση αποτέλεσε το ζιζανιοκτόνο 2,4 D- ester όπου η πίεση ρυθμίστηκε στα 200 kPa σύμφωνα με τις οδηγίες της ετικέτας. Το εμπορικό όνομα, η δραστική ουσία, ο μηχανισμός δράσης και η δόση των επεμβάσεων φαίνονται στον Πίνακα 2.4.

Πίνακας 2.4 Περιγραφή των επεμβάσεων που εφαρμόστηκαν στους πειραματικούς αγρούς της καλλιέργειας του σιταριού.

Επεμβάση	Δραστική ουσία	Μηχανισμός δράσης	Δόση (g ai ha ⁻¹)	Εμπορικό όνομα
T1 (μάρτυρας)	-		-	-
T2	2,4 D- ester	Φυσικές αυξίνες	600	Crossbow 600 EC
T3	Pyroxsulam + florasulam	Αναστολείς ALS	18.82 + 3.71	Broadway 85 WG
T4	Clopyralid + florasulam	Αναστολείς ALS	4.5 + 3.75	Primus Perfect SC
T5	Mesosulfuron-methyl + iodosulfuron methyl-sodium	Αναστολείς ALS	15 + 3	Atlantis WG
T6	Fenoxaprop-P-ethyl	Αναστολείς ACCase	82.8	Puma S 6.9 EW

2.1.1.3 Μετρήσεις και παρατηρήσεις

Σε κάθε πειραματικό αγρό τοποθετήθηκαν μεταλλικά πλαίσια (0,25 m²) με σκοπό την ορθή λήψη των μετρήσεων. Συγκεκριμένα, σε κάθε υποτεμάχιο τοποθετήθηκαν σε μόνιμες θέσεις 3 μεταλλικά πλαίσια. Οι θέσεις τοποθέτησης απείχαν από τα όρια του υποτεμαχίου και περιλάμβαναν αντιπροσωπευτικό κομμάτι της ζιζανιοχλωρίδας. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν ήταν οι εξής: ο δείκτης NDVI (Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης), η πυκνότητα των ζιζανίων, το συνολικό ξηρό βάρος των ζιζανίων και η απόδοση της καλλιέργειας του σιταριού. Οι μετρήσεις του δείκτη NDVI και της πυκνότητας των ζιζανίων πραγματοποιήθηκαν ακριβώς πριν τον ψεκασμό (ημέρα 0), στις 7, 14 και 21 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων. Η βιομάζα των ζιζανίων μετρήθηκε στις 7, 14 και 21 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων. Τέλος, η απόδοση μετρήθηκε 3-5 ημέρες πριν από την συγκομιδή της καλλιέργειας από τους παραγωγούς.

Μέτρηση NDVI (Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης)

Οι μετρήσεις του δείκτη NDVI (Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης) πραγματοποιήθηκαν με σκοπό την αξιολόγηση της ευρωστίας των ζιζανίων όπως έχει συμβεί και σε άλλες έρευνες (Franke and Menz, 2007; Nansen et al., 2009). Για την λήψη των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας GeenSeeker® handheld crop sensor της εταιρίας Trimble agriculture Division, Westminster, CO, USA. Ο δείκτης NDVI ορίζεται από το ορατό και το εγγύς υπέρυθρο φως που ανακλάται από τη βλάστηση (Rouse et al., 1974) και υπολογίζεται βάση του παρακάτω τύπου:

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

όπου NIR= κοντινή υπέρυθρη ζώνη (780-2500nm)

και Red= ζώνη Red Edge (670-760nm)

Κατά την διάρκεια των πειραμάτων διεξήχθησαν μετρήσεις σε κάθε πλαίσιο (0,25m²). Ο αισθητήρας απείχε από την κορυφή των φυτών περίπου 25-30cm και ήταν τοποθετημένος σε οριζόντια θέση ως προς την βλάστηση. Η διάρκεια της κάθε μετρήσης ήταν περίπου 5 δευτερόλεπτα. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφερθεί ότι για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ορίστηκε ένα κατώφλι τιμών του δείκτη NDVI. Συγκεκριμένα, εάν η μείωση του ποσοστού του δείκτη NDVI συγκριτικά με τον μάρτυρα προκύψει κάτω του 20% τότε

το ζιζανιοκτόνο κρίνεται μη αποτελεσματικό. Αντιθέτως, εάν προκύψει άνω του 20% το ζιζανιοκτόνο κρίνεται αποτελεσματικό.

Μέτρηση της πυκνότητας των ζιζανίων

Σε κάθε πλαίσιο πραγματοποιήθηκε η αναγνώριση καθώς και η καταγραφή του συνολικού αριθμού του κάθε είδους ανά μονάδα επιφάνειας (φυτά ανά m²). Πρέπει να σημειωθεί ότι η μέτρηση της πυκνότητας επαναλήφθηκε στις 0, 7, 14 και 21 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων. Η πυκνότητα υπολογίστηκε βάση του παρακάτω τύπου (Brix & Andreasen, 2000):

$$\text{Πυκνότητα} = \frac{\text{αριθμός ατόμων είδους}}{\text{επιφάνεια μονάδας δειγματοληψίας}}$$

Υπολογισμός του δείκτη κυριαρχίας του Simpson (D)

Είναι ευρέως χρησιμοποιούμενος δείκτης και εκφράζει τον βαθμό κυριαρχίας ειδών από μια δειγματοληπτική επιφάνεια. Ο δείκτης Simpson (D) χρησιμοποιήθηκε με σκοπό τον προσδιορισμό της ποικιλομορφίας των ειδών κάθε πειραματικού αγρού. Για να υπολογιστεί εφαρμόστηκε η παρακάτω εξίσωση (Simpson, 1949):

$$D = \sum_{i=1}^s p_i^2$$

Όπου:

p_i=το ποσοστό των ατόμων του i είδους στο σύνολο του δείγματος, δηλαδή η πιθανότητα ένα τυχαίο άτομο της κοινότητας να ανήκει στο i είδος

S= ο αριθμός των ειδών μέσα στην κοινότητα

Η τιμή του δείκτη Simpson (D) κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1. Όσο μειώνεται η τιμή του δείκτη, τόσο μεγαλύτερη είναι η ποικιλότητα των ζιζανίων.

Μέτρηση της βιομάζας των ζιζανίων

Για την μέτρηση της βιομάζας των ζιζανίων (g m⁻²), συλλέχθηκε από κάθε πλαίσιο ο συνολικός αριθμός των ζιζανίων (αγρωστώδη και πλατύφυλλα). Τα δείγματα συλλέχθηκαν με κοπή του υπέργειου τμήματος στην επιφάνεια του εδάφους, τοποθετήθηκαν σε χάρτινες σακούλες και μεταφέρθηκαν στον Εργαστήριο Γεωργίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών όπου αποξηράθηκαν στον φούρνο αποξήρανσης φυτικού ιστού για 48 ώρες στους 60°C. Το ζύγισμα πραγματοποιήθηκε σε ζυγό ακριβείας τριών δεκαδικών ψηφίων.

Μέτρηση απόδοσης της καλλιέργειας σε καρπό

Για την διεξαγωγή της μέτρησης της απόδοσης, πραγματοποιήθηκε συλλογή των στάχων από κάθε πλαίσιο (0,25 m²). Στη συνέχεια ακολούθησε ο υπολογισμός των παρακάτω συστατικών:

Αριθμός των στάχων ανά μονάδα επιφάνειας

Μετρήθηκε ο αριθμός των στάχων για κάθε πλαίσιο (0,25 m²) και στη συνέχεια διενεργήθηκε η αναγωγή σε μονάδα επιφάνειας τετραγωνικού μέτρου (m²).

Αριθμός καρπών ανά στάχυ

Μετρήθηκε ο αριθμός των καρπών που έφερε ο κάθε στάχυ που συλλέχθηκε από τα πλαίσια κάθε πειραματικού τεμαχίου και στην συνέχεια ζυγίστηκαν. Οι τιμές των αποδόσεων της καλλιέργειας σε καρπό (κιά/στρ.) υπολογίστηκαν βάση της παρακάτω συνάρτησης:

$$\begin{aligned} & \text{Απόδοση σε καρπο} \\ & = \text{αριθμός στάχων } m^2 \times \text{αριθμός καρπών ανά στάχυ} \times \text{βάρος καρπού} \end{aligned}$$

2.1.1.4 Στατιστική ανάλυση των δεδομένων

Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων διενεργήθηκε με την χρήση του προγράμματος Statgraphics Centurion XVI (Statpoints technologies, Ink). Το επίπεδο σημαντικότητας που εφαρμόστηκε τόσο για την ANOVA όσο και για τις συγκρίσεις των μέσων ήταν 5%. Οι διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων συγκρίθηκαν με την χρήση του τεστ Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς κατά Fisher [Fisher's least significant difference (LSD) test], όπου οι πιθανότητες ήταν ίσες ή μικρότερες του 0.05 ($\alpha = 5\%$). Η γραμμικές συσχετίσεις πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με την γραμμική εξίσωση:

$$y = a + b \times x$$

Όπου y = εξαρτημένη μεταβλητή, x = ανεξάρτητη μεταβλητή, b = η κλίσης της γραμμικής εξίσωσης.

2.1.2 Αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ζιζανιοκτόνων σε φυτοδοχεία για την καλλιέργεια του σιταριού

Τα παράλληλα πειράματα σε φυτοδοχεία πραγματοποιήθηκαν για την επαλήθευση της ταχείας μεθόδου σε συνθήκες αγρού καθώς και την περαιτέρω μελέτη του κυρίαρχου είδους.

2.1.2.1 Συλλογή φυτικού υλικού

Παράλληλα με τα πειράματα αγρού πραγματοποιήθηκαν πειράματα σε φυτοδοχεία. Το φυτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε προήρθε από τους πειραματικούς αγρούς. Μετά την επισκόπηση των πειραματικών αγρών (βλ. Ενότητα 2.1.1.1), καταγράφηκε η πυκνότητα των ζιζανίων και υπολογίστηκε ο δείκτης κυριαρχίας του Simpson (D) (βλ. Ενότητα 2.2.2.4). Δεδομένου του υπολογισμού του δείκτη Simpson (D), συλλέχθηκε από τον κάθε πειραματικό αγρό πληθυσμός φυτών από το κυρίαρχο ζιζάνιο (Πίνακας 2.5). Τα φυτά ήταν στο αναπτυξιακό στάδιο των 3 έως 5 φύλλων. Στη συνέχεια, τοποθετήθηκαν σε φυτοδοχεία από φελιζόλ (5L) τα οποία περιείχαν έτοιμο μείγμα φυτοχώματος. Τέλος, τα φυτοδοχεία μεταφέρθηκαν στο Εργαστήριο Γεωργίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Πίνακας 2.5 Τα είδη ζιζανίων που χρησιμοποιήθηκαν για τη διεξαγωγή πειραμάτων σε φυτοδοχεία.

Πειραματικός αγρός	Συντεταγμένες	Είδος ζιζανίου
DOM (Δομοκός)	39.104530, 22.294052	Σινάπι - <i>Sinapis arvensis</i> L.
LAR (Λάρισα)	39.461422, 22.299992	Αγριοβρώμη - <i>Avena sterilis</i> L.
FAR (Φάρσαλα)	39.387257, 22.407629	Αγριοβρώμη - <i>Avena sterilis</i> L.
VEL (Βελεστίνο)	39.369394, 22.733237	Κολλητσίδα – <i>Galium aparine</i> L.
ORS (Ορεσιάδα)	41.558385, 26.487903	Ήρα – <i>Lolium rigidum</i> L.

2.1.2.2 Συνθήκες ανάπτυξης φυτών

Μετά την μεταφορά των φυτών στο Εργαστήριο Γεωργίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών ακολούθησε η μεταφύτευση τους σε πλαστικά φυτοδοχεία μικρότερου μεγέθους (1L) τα οποία περιείχαν μείγμα εδάφους του αγρού του Εργαστηρίου Γεωργίας και τύρφης σε αναλογία 2:1 (ν/ν). Ύστερα από την διεξαγωγή εδαφολογικών αναλύσεων στο έδαφος του πειραματικού αγρού του εργαστηρίου το έδαφος χαρακτηρίστηκε αργιλοπηλώδες με pH 7,29, περιεκτικότητα σε CaCO₃ 15.99% και οργανική ουσία 2.37%. Κάθε φυτοδοχείο περιείχε 2-3 αγρωστώδη είδη και 1-2 πλατύφυλλα είδη. Στη συνέχεια, τα φυτοδοχεία τοποθετήθηκαν στο πειραματικό αγρό του Εργαστηρίου Γεωργίας και αναπτύχθηκαν υπό φυσικές συνθήκες φωτός, θερμοκρασίας με επαρκές πότισμα και τακτική αλλαγή θέσεων κατά τη διάρκεια του πειράματος. Τα μετεωρολογικά δεδομένα που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια του πειράματος παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.6.

Πίνακας 2.6 Οι τιμές των μέσων θερμοκρασιών και των μέσων βροχοπτώσεων κατά την διεξαγωγή του πειράματος σε φυτοδοχεία κατά το πρώτο και το δεύτερο έτος πειραματισμού.

Κλιματικός παράγοντας	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος
Πρώτο πειραματικό έτος						
Μέση T °C	17.7	12.2	9.2	11.3	13.3	15.3
Βροχόπτωση mm	41.8	53.1	61.2	43.5	53.1	70.8
Δεύτερο πειραματικό έτος						
Κλιματικός παράγοντας	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος
Μέση T °C	14.9	13.6	11.5	11.3	12.1	15.7
Βροχόπτωση mm	51.5	43.5	49.9	48.3	48.3	40.2

2.1.2.3 Εφαρμογή ζιζανιοκτόνων

Η εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων πραγματοποιήθηκε όταν τα ζιζάνια βρισκόντουσαν στο αναπτυξιακό στάδιο των 5 φύλλων (BBCH 15). Η εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων διεξήχθη με ψεκαστήρα προπιέσεως τύπου Gloria 405 T sprayer (Gloria Haus- & Gartengerate GmbH, Daermannsbusch 7, 58456 Witten, Germany) της οποίας η πίεση ρυθμίστηκε με βάση την ετικέτα των ζιζανιοκτόνων στα 300kPa. Εξάιρεση αποτέλεσε το ζιζανιοκτόνο 2,4 D- ester όπου η πίεση ρυθμίστηκε στα 200 kPa σύμφωνα με τις οδηγίες της ετικέτας.

Οι επεμβάσεις ήταν διαφορετικές για τα πλατύφυλλα (*Sinapis arvensis*, *Galium aparine*) και για τα αγρωστώδη ζιζάνια (*Avena sterilis*, *Lolium rigidum*). Ο διαχωρισμός αυτός ήταν απαραίτητος εξαιτίας του διαφορετικού φάσματος δράσης των ζιζανιοκτόνων. Κοινή επέμβαση για το σύνολο των ειδών των ζιζανίων αποτέλεσε ο μάρτυρας (μη εφαρμογή ζιζανιοκτόνου).

Πίνακας 2.7 Οι επεμβάσεις στα πειράματα φυτοδοχείων σε ζιζάνια που συλλέχθηκαν από τους πειραματικούς αγρούς της καλλιέργειας του σιταριού (δραστική ουσία, δόση, εμπορικό όνομα).

Δραστική ουσία	Δόση (g ai ha ⁻¹)	Μηχανισμός δράσης	Εμπορικό όνομα
Πλατύφυλλα ζιζάνια			
2,4 D- ester	600	Φυσικές αυξίνες	Crossbow 600 EC
Pyroxulam + florasulam	18.82 + 3.71	ALS παραμποδιστές	Broadway 85 WG
Clopyralid + florasulam	4.5 + 3.75	ALS παραμποδιστές	Primus Perfect SC
Mesosulfuron-methyl + iodosulfuron methyl- sodium	15 + 3	ALS παραμποδιστές	Atlantis WG
Fenoxaprop-P-ethyl	82.8	ACCase παραμποδιστές	Puma S 6.9 EW
Αγρωστώδη ζιζάνια			
Pyroxulam + florasulam	18.82 + 3.71	ALS παραμποδιστές	Broadway 85 WG
Mesosulfuron-methyl + iodosulfuron methyl- sodium	15 + 3	ALS παραμποδιστές	Atlantis WG
Fenoxaprop-P-ethyl	82.8	ACCase παραμποδιστές	Puma S 6.9 EW

2.1.2.4 Παρατηρήσεις και μετρήσεις

Αφού εφαρμόστηκαν τα διαφορετικά ζιζανιοκτόνα ακολούθησε η διεξαγωγή των μετρήσεων που αφορούσαν την ανάπτυξη των ζιζανίων. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν.

Μέτρηση NDVI (Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης)

Όσον αφορά το δείκτη NDVI αναφερθήκαμε πιο αναλυτικά στην Ενότητα 2.2.1.4. Παρόλα αυτά, υπήρξε μια διαφοροποίηση στον τρόπο λήψης των δεδομένων. Πιο αναλυτικά, κάθε φυτοδοχείο τοποθετήθηκε σε κομμάτι εδαφοκάλυψης μαύρου χρώματος (0,25 m²). Οι μετρήσεις του δείκτη NDVI πραγματοποιήθηκαν 0, 4, 7 και 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων.

Μέτρηση φθορισμού της χλωροφύλλης

Στα πλαίσια του συγκεκριμένου πειράματος, αξιολογήθηκαν ακόμη οι επιδράσεις της εφαρμογής των ζιζανιοκτόνων σε ορισμένες φυσιολογικές παραμέτρους της φωτοσύνθεσης των ζιζανίων. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τη μεθοδολογία που εφαρμόστηκε από τους Kanatas et al. (2021; 2022) χρησιμοποιήθηκε το επιστημονικό όργανο χειρός FluorPen FP110 (PSI, Photon Systems Instruments, Czech Republic) για την *in situ* μέτρηση παραμέτρων που αφορούν τον φθορισμό της χλωροφύλλης. Τα φυτοδοχεία καλύφθηκαν με μαύρες σακούλες για 30 λεπτά και στη συνέχεια μετρήθηκε ο λόγος Fv/Fm ή αλλιώς Qy (Quantum Yield) που ουσιαστικά αποτυπώνει τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα (PSII). Αυτή η διαδικασία γινόταν στις 1, 2, 5, 7, 10, 14 και 21 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων ενώ παράλληλα λαμβανόταν μέτρηση του δείκτη NDVI. Ο σκοπός των συγκεκριμένων μετρήσεων ήταν η συγκριτική αξιολόγηση του δείκτη NDVI με τον λόγο Fv/Fm και η διερεύνηση τυχόν διαφοροποιήσεων.

Μέτρηση ύψους των φυτών

Οι μετρήσεις του ύψους των φυτών διενεργήθηκαν στις 7 και στις 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων. Χρησιμοποιήθηκε μέτρο μικρής κλίμακας. Το ύψος των φυτών μετρήθηκε για τα αγρωστώδη ζιζάνια από την βάση του φυτού ως την κορυφή και για τα πλατύφυλλα ζιζάνια από την βάση του φυτού έως το ακραίο μερίστωμα.

Μέτρηση νωπού βάρους

Για την μέτρηση του νωπού βάρους πραγματοποιήθηκε κοπή του υπέργειου τμήματος των φυτών. Στην συνέχεια, τα φυτά τοποθετήθηκαν σε χάρτινες σακούλες με την κατάλληλη σήμανση και μεταφέρθηκαν στο εργαστηριακό χώρο για ζύγισμα. Χρησιμοποιήθηκε ζυγός ακριβείας με τρία δεκαδικά ψηφία.

Μέτρηση ξηρού βάρους

Μετά την μέτρηση του νωπού βάρους τα φυτά μεταφέρθηκαν στον φούρνο όπου παρέμειναν για 48 ώρες στους 60°C με σκοπό την ξήρανση τους. Ακολούθως, ζυγίστηκαν σε ζυγός ακριβείας με τρία δεκαδικά ψηφία.

2.1.2.5 Πειραματικό σχέδιο και στατιστική ανάλυση των δεδομένων

Το πειραματικό σχέδιο που ακολουθήσαμε για τα πειράματα φυτοδοχείων ήταν το εντελώς τυχαίοποιημένο (randomized complete design). Περιλάμβανε για τα πλατύφυλλα ζιζάνια έξι επεμβάσεις και τέσσερις επαναλήψεις και για τα αγρωστώδη τέσσερις επεμβάσεις και τέσσερις επαναλήψεις.

Τέλος, διενεργήθηκε στατιστική επεξεργασία των δεδομένων με την χρήση του προγράμματος Statgraphics Centurion XVI (Statpoints technologies, Ink). Το επίπεδο σημαντικότητας που εφαρμόστηκε τόσο για την ANOVA όσο και για τις συγκρίσεις των μέσων ήταν 5%.

2.2 Πειράματα στη καλλιέργεια του αραβόσιτου

2.2.1 Αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ζιζανιοκτόνων *in situ* στη καλλιέργεια του αραβόσιτου

2.2.1.1 Πειραματικοί αγροί

Κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος διεξήχθησαν πειράματα αγρού που αφορούσαν την καλλιέργεια του αραβόσιτου (*Zea mays* L.). Γεωπόνοι και παραγωγοί της περιοχής του νομού Ηλείας μας υπέδειξαν αγρούς στους οποίους αντιμετώπιζαν προβλήματα μειωμένης αποτελεσματικότητας των ζιζανιοκτόνων. Στη συνέχεια ακολούθησαν επισκοπήσεις με στόχο την επιλογή των κατάλληλων πειραματικών αγρών. Επιλέχθηκαν 4 πειραματικοί αγροί των οποίων οι συντεταγμένες όπως και οι ημερομηνίες σποράς παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.8. Οι αποστάσεις σποράς μεταξύ των γραμμών ήταν 75-80 cm και επί των γραμμών 15 cm. Όσον αφορά την ζιζανιοχλωρίδα, αναγνωρίστηκαν τόσο πλατύφυλλα όσο και αγρωστώδη ζιζάνια. Αναλυτικότερα, τα αγρωστώδη ζιζάνια που καταγράφηκαν ήταν ο βέλιουρας (*Sorghum halepense* L.) και η μουχρίτσα (*Echinochloa* spp). Στα πλατύφυλλα περιλάμβαναν τα εξής είδη: τάτουλας (*Datura stramonium* L.), αγριοτοματιά (*Solanum nigrum* L.), τραχύ βλήτο (*Amaranthus* spp).

Πίνακας 2.8 Ακριβής γεωγραφική τοποθεσία των πειραματικών αγρών και οι ημερομηνίες σποράς τους κατά το πειραματικό πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος για την καλλιέργεια του αραβόσιτου.

Πειραματικός αγρός	Συντεταγμένες	Ημερομηνία σποράς (1 ^ο έτος)	Ημερομηνία σποράς (2 ^ο έτος)
Πύργος 1	37.667872, 21.477450	8 Απριλίου	5 Απριλίου
Πύργος 2	37.661711, 21.469247	10 Απριλίου	6 Απριλίου
Πύργος 3	37.5543099, 21.5860696	6 Απριλίου	9 Απριλίου
Πύργος 4	37.6512367, 21.4501098	10 Απριλίου	8 Απριλίου

Από κάθε πειραματικό αγρό πραγματοποιήθηκε η λήψη δειγμάτων εδάφους με σκοπό την διεξαγωγή εδαφολογικών αναλύσεων (Πίνακας 2.9). Οι εδαφολογικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Εδαφολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Πίνακας 2.9 Εδαφολογικά δεδομένα των πειραματικών αγρών για την καλλιέργεια του αραβόσιτου.

Αγροί	Τύπος εδάφους	pH	Οργανική ουσία —%—
Πύργος 1	Πηλώδες	7.15	3.1
Πύργος 2	Πηλώδες	7.41	2.65
Πύργος 3	Πηλώδες	7.29	3.92
Πύργος 4	Πηλώδες	7.24	4.05

Κατά τη διάρκεια διεξαγωγής των πειραμάτων συλλέγονταν από κάθε περιοχή τα μετεωρολογικά δεδομένα, η μηνιαία μέση θερμοκρασία και το μέσο ύψος βροχόπτωσης. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2.10) παρουσιάζονται τα μετεωρολογικά δεδομένα:

Πίνακας 2.10 Οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες και το συνολικό ύψος των βροχοπτώσεων σε κάθε περιοχή για τα πειράματα αγρού στη καλλιέργεια του αραβόσιτου κατά το πρώτο και το δεύτερο έτος.

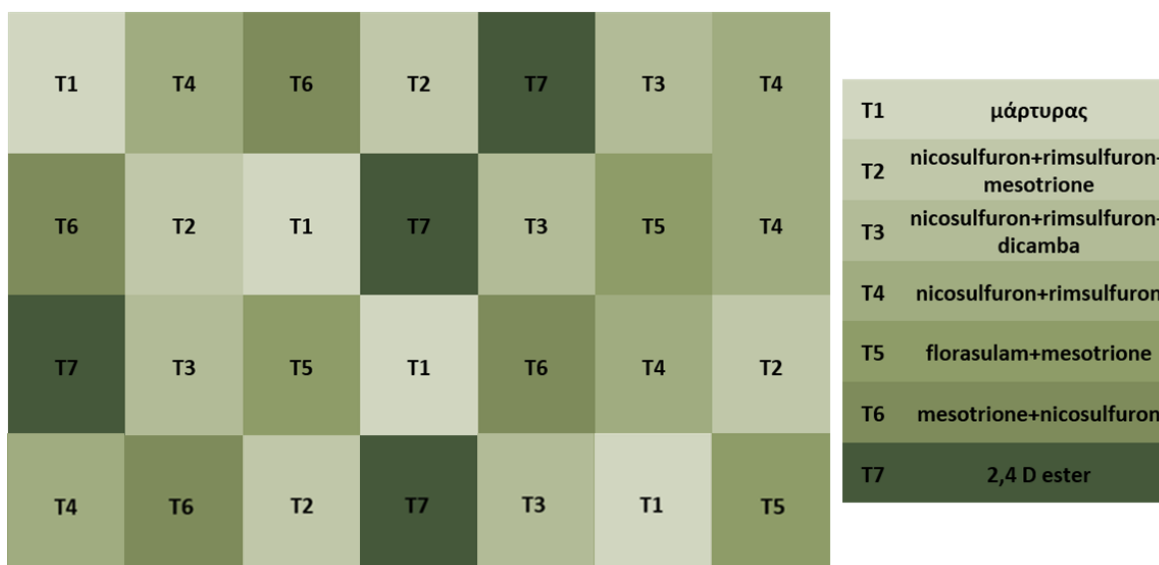
Κλιματικός παράγοντας	Απρίλιος	Μαΐος	Ιουνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος
Πρώτο πειραματικό έτος						
Μέση T °C	16	21.2	23.2	27.5	27.8	25.1
Βροχόπτωσ η mm	38.6	37.0	41.8	41.8	33.8	49.9
Δεύτερο πειραματικό έτος						
Κλιματικός παράγοντας	Απρίλιος	Μαΐος	Ιουνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος
Μέση T °C	16.4	21.1	24.4	28.6	29	24.3
Βροχόπτωσ η mm	46.7	37.0	41.8	45.1	38.6	37.0



Εικόνα 2.3 Πείραμα αγρού στη καλλιέργεια του αραβόσιτου στον Πύργο.

2.2.1.2 Πειραματικό Σχέδιο

Το πειραματικό σχέδιο που εφαρμόστηκε στα πειράματα αγρού για την καλλιέργεια του αραβόσιτου περιγράφεται αναλυτικά στην Ενότητα 2.2.1.2. Η μόνη διαφοροποίηση είναι στον αριθμό των επεμβάσεων όπου σε αυτή τη περίπτωση έχουμε επτά. Στην Εικόνα παρουσιάζεται σχηματικά το πειραματικό σχέδιο που εφαρμόστηκε κατά την διάρκεια των δύο πειραματικών ετών.



Εικόνα 2.4 Σχηματική απεικόνιση του πειραματικού σχεδίου που εφαρμόστηκε κατά τα δύο πειραματικά έτη στη καλλιέργεια του αραβόσιτου όπου T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 οι επιμέρους επεμβάσεις και a,b,c,d οι επαναλήψεις.

Οι επεμβάσεις αποτελούνταν από 6 μεταφυτρωτικά ζιζανιοκτόνα και τον αψέκαστο μάρτυρα. Κατά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων ο αραβόσιτος βρισκόταν στο στάδιο των 2- έως- 6 φύλλων (BBCH 12-16) και τα ζιζάνια στο αναπτυξιακό στάδιο των 3- έως- 5 φύλλων. Η εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων πραγματοποιήθηκε με την ψεκαστήρα Gloria 405 T sprayer (Gloria Haus- & Gartengerate GMBH, Daermannsbusch 7, 58456 Witten, Germany) της οποίας η πίεση ρυθμίστηκε με βάση την ετικέτα των ζιζανιοκτόνων στα 300kPa. Εξάιρεση αποτέλεσε το ζιζανιοκτόνο 2,4 D- ester όπου η πίεση ρυθμίστηκε στα 200 kPa σύμφωνα με τις οδηγίες της ετικέτας. Το εμπορικό όνομα, η δραστική ουσία και η δόση των επεμβάσεων παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 2.11.

Πίνακας 2.11 Περιγραφή των επεμβάσεων που εφαρμόστηκαν στους πειραματικούς αγρούς της καλλιέργειας του αραβόσιτου.

Επεμβάση	Δραστική ουσία	Μηχανισμός δράσης	Δόση (g ai ha ⁻¹)	Εμπορικό όνομα
T1 (μάρτυρα)	-	-	-	-
T2	Nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrion e+rapeseed oil	ALS+ALS+4-HPPD Αναστολείς	39.6+99+118.8+1080	Arigo 51 WG+Codacide EC
T3	Nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba+r apeseed oil	ALS+ALS Αναστολείς +φυσικές αυξίνες	400.4+422.4+374+108 0	Hector max WG+Codacide EC
T4	Nicosulfuron+rimsulfuron	ALS+ALS Αναστολείς	38.61+9.63	Principal
T5	Florasulam+mesotrione	ALS+4-HPPD Αναστολείς	7.515+120.15	Cabatex extra
T6	Mesotrione+nicosulfuron	4-HPPD+ALS Αναστολείς	112.5+45	Elumis 105 OD
T7	2,4- D ester	Φυσικές αυξίνες	600	Crossbow 600 EC

2.2.1.3 Μετρήσεις και παρατηρήσεις

Οι διαδικασίες που ακολουθήσαμε περιγράφονται αναλυτικά στην Ενότητα 2.1.1.3. Παρακάτω θα παρουσιαστούν μόνο κάποιες διαφοροποιήσεις στην λήψη των δεδομένων.

Μέτρηση NDVI (Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης)

Οι μετρήσεις του δείκτη NDVI για την καλλιέργεια του αραβόσιτου πραγματοποιήθηκαν μόνο στα ζιζάνια. Αυτό μας το επέτρεψαν οι μεγάλες αποστάσεις σποράς και η ορθοτενής ανάπτυξη της καλλιέργειας.

Μέτρηση της πυκνότητας των ζιζανίων

Όμοια με Ενότητα 2.1.1.3.

Μέτρηση δείκτη Simpson

Όμοια με Ενότητα 2.1.1.3.

Μέτρηση της βιομάζας των ζιζανίων

Όμοια με Ενότητα 2.1.1.3.

Μέτρηση απόδοσης της καλλιέργειας σε καρπό

Ο υπολογισμός της απόδοσης σε καρπό πραγματοποιήθηκε όπως περιγράφεται στην 2.1.1.3. Υπάρχει διαφοροποίηση μόνο σε κάποιες ορολογίες λόγω της διαφορετικής καλλιέργειας. Συγκεκριμένα, όπου στάχυς= σπάδικας και όπου σπόρος=κόκκος.

2.2.1.4 Στατιστική ανάλυση των δεδομένων

Όμοια με την Ενότητα 2.1.1.4

2.1.2 Αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ζιζανιοκτόνων σε φυτοδοχεία για την καλλιέργεια του αραβόσιτου

2.2.2.1 Συλλογή φυτικού υλικού

Η διαδικασία της συλλογής του φυτικού υλικού περιγράφεται αναλυτικά στην Ενότητα 2.1.2.1. Διαφοροποιούνται τα είδη των ζιζανίων που συλλέξαμε (Πίνακας 2.12).

Πίνακας 2.12 Τα είδη των ζιζανίων που χρησιμοποιήθηκαν για την διεξαγωγή των πειραμάτων σε φυτοδοχεία για την καλλιέργεια του αραβόσιτου.

Πειραματικός αγρός	Συντεταγμένες	Βιότυπος
Πύργος 1	37.667872, 21.477450	<i>Solanum nigrum</i> (SOL1)
Πύργος 2	37.661711, 21.469247	<i>Echinochloa</i> spp (ECH2)
Πύργος 3	37.5543099, 21.5860696	<i>Solanum nigrum</i> (SOL3)
Πύργος 4	37.6512367, 21.4501098	<i>Echinochloa</i> spp (ECH4)

2.2.2.2 Συνθήκες ανάπτυξης φυτών

Περιγράφονται στην Ενότητα 2.1.2.2, διαφοροποιούνται τα μετεωρολογικά δεδομένα τα οποία παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.13.

Πίνακας 2.13 Οι τιμές των μέσων θερμοκρασιών και των μέσων βροχοπτώσεων κατά την διεξαγωγή του πειράματος σε φυτοδοχεία για τα ζιζάνια της καλλιέργειας του αραβόσιτου κατά το πρώτο και το δεύτερο έτος πειραματισμού.

Κλιματικός παράγοντας	Απρίλιος	Μαΐος	Ιουνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος
Πρώτο πειραματικό έτος						
Μέση T °C	15.3	21.2	24.8	28.8	28.5	26
Βροχόπτωση mm	70.8	43.5	40.2	46.7	40.2	49.9
Δεύτερο πειραματικό έτος						
Κλιματικός παράγοντας	Απρίλιος	Μαΐος	Ιουνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος
Μέση T °C	15.3	21.2	24.8	28.8	28.5	26
Βροχόπτωση mm	70.8	43.5	40.2	46.7	40.2	46.7

2.2.2.3 Εφαρμογή ζιζανιοκτόνων

Η εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων είναι όμοια με της Ενότητας 2.1.2.3 με εξαίρεση τις επεμβάσεις των ζιζανιοκτόνων που εφαρμόστηκαν. Οι επεμβάσεις παρουσιάζονται αναλυτικά στον παρακάτω Πίνακα 2.14.

Πίνακας 2.14 Οι επεμβάσεις που εφαρμόστηκαν στα πειράματα φυτοδοχείων σε ζιζάνια που συλλέχθηκαν από τους πειραματικούς αγρούς της καλλιέργειας του αραβόσιτου.

Επέμβαση	Δραστική ουσία	Μηχανισμός δράσης	Δόση (g ai ha ⁻¹)	Εμπορικό όνομα
Αγριοτοματιά (<i>S.nigrum</i>)				
T2	Nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione	ALS+ALS+4-HPPD Αναστολείς	39.6+99+118.8+1080	Arigo 51 WG+Codacide EC
T3	Nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba	ALS+ALS Αναστολείς +φυσικές αυξίνες	400.4+422.4+374+1080	Hector max WG+Codacide EC
T4	Nicosulfuron+rimsulfuron	ALS+ALS Αναστολείς	38.61+9.63	Principal
T5	Florasulam+mesotrione	ALS+4-HPPD Αναστολείς	7.515+120.15	Cabatex extra
T6	Mesotrione+nicosulfuron	4-HPPD+ALS Αναστολείς	112.5+45	Elumis 105 OD
T7	2,4 D- ester	Φυσικές αυξίνες	600	Crossbow 600 EC
Μουχρίτσα (<i>Echinochloa spp</i>)				
T1 (μάρτυρα)	-	-	-	-
T2	Nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione	ALS+ALS+4-HPPD Αναστολείς	39.6+99+118.8+1080	Arigo 51 WG+Codacide EC
T3	Nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba	ALS+ALS Αναστολείς +φυσικές αυξίνες	400.4+422.4+374+1080	Hector max WG+Codacide EC
T4	Nicosulfuron+rimsulfuron	ALS+ALS Αναστολείς	38.61+9.63	Principal
T5	Mesotrione+nicosulfuron	4-HPPD+ALS Αναστολείς	112.5+45	Elumis 105 OD

Πρέπει να σημειωθεί ότι επιλέχθηκαν τα ίδια ζιζανιοκτόνα με αυτά του πειράματος σε συνθήκες αγρού. Καταλήξαμε σε αυτή την απόφαση έχοντας ως σκοπό την επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων του *in situ* πειράματος.

2.2.2.4 Παρατηρήσεις και μετρήσεις

Οι διαδικασίες και η συλλογή των δεδομένων είναι όμοια με της Ενότητας 2.1.2.4.

2.2.2.5 Πειραματικό σχέδιο και στατιστική ανάλυση των δεδομένων

Το πειραματικό σχέδιο που ακολουθήσαμε για τα πειράματα φυτοδοχείων ήταν το εντελώς τυχαιοποιημένο (randomized complete design). Περιλάμβανε για τους βιότυπους της αγριοτοματιάς έξι επεμβάσεις και τέσσερις επαναλήψεις και για τους βιότυπους της μουχρίτσας τέσσερις επεμβάσεις και τέσσερις επαναλήψεις. Παράγοντα αποτέλεσαν τα διαφορετικά ζιζανιοκτόνα και οι βιότυποι.

Τέλος, διενεργήθηκε στατιστική επεξεργασία των δεδομένων με την χρήση του προγράμματος Statgraphics Centurion XVI (Statpoints technologies, Ink). Το επίπεδο σημαντικότητας που εφαρμόστηκε τόσο για την ANOVA όσο και για τις συγκρίσεις των μέσων ήταν 5%.

2.3 Σύγκριση μεθόδων - Εκτίμηση της αξιοπιστίας και της ακρίβειας της μεθόδου

2.1.3 Πείραμα δόσης- απόκρισης σε συνθήκες αγρού στη καλλιέργεια του σιταριού

2.1.3.1 Περιγραφή του πειραματικού αγρού

Κατά το τρίτο πειραματικό έτος πραγματοποιήθηκε πείραμα αγρού στον πειραματικό αγρό του Εργαστηρίου Γεωργίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών όπου οι συντεταγμένες 37.9837639, 23.7026348 αντιστοιχούν στην ακριβή τοποθεσία μέσω του Παγκόσμιου Συστήματος Στιγματοθέτησης (Global Positioning System). Στο συγκεκριμένο πειραματικό αγρό διενεργήθηκε σπορά σκληρού σιταριού (*Triticum durum* Desf.) στις 21 Νοεμβρίου, 2022. Πρέπει να σημειωθεί ότι είχε προηγηθεί άρρωση στα 25cm με σκοπό την προετοιμασία της σποροκλίνης. Διατηρήθηκαν αποστάσεις σποράς, μεταξύ των γραμμών 20cm και επί των γραμμών 5cm. Το πότισμα ήταν ομοιόμορφο και επαρκές και τα μετεωρολογικά δεδομένα για την χρονική διάρκεια του πειράματος φαίνονται στον Πίνακα 2.15. Η συνολική έκταση του πειραματικού αγρού ήταν 900m². Πριν το αδέλφωμα του σιταριού πραγματοποιήθηκε βοτάνισμα και στην συνέχεια μεταφυτεύθηκαν δύο βιότυποι (ένας ευαίσθητος S και ένας ανθεκτικός R) του είδους *Sisymbrium orientale* L.

Πίνακας 2.15 Οι τιμές των μέσων θερμοκρασιών και των μέσων βροχοπτώσεων κατά την διεξαγωγή του πειράματος δόσης-απόκρισης.

Μήνας	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μαΐος	Ιούνιος
Μέση T °C	16.3	13.8	11.7	9.8	13.8	16	19.6	25.1
Βροχόπτωση mm	44.6	49.9	57.9	45.1	45.1	43.5	40.2	41.8

2.3.1.2 Φυτικό υλικό

Χρησιμοποιήθηκαν δύο βιότυποι του ζιζανίου *Sisymbrium orientale* L. (σισύμπριο) οι οποίοι προήλθαν από την Αυστραλία. Ο ένας είναι ανθεκτικός (S) και ο άλλος ευαίσθητος (R) στην δραστική ουσία chlorsulfuron. Και για τους δύο βιότυπους πραγματοποιήθηκε τεστ βλαστικότητας ακολουθώντας το πρωτόκολλο προηγούμενης έρευνας (Chauhan et al., 2006). Συγκεκριμένα, για κάθε βιότυπο προετοιμάστηκαν 10 τριβλία διαμέτρου 9cm που περιείχαν διηθητικό χαρτί. Ακολούθως, σε κάθε τριβλίο τοποθετήθηκαν 25 σπόροι και 4ml απεσταγμένου νερού. Τα κλείσαμε με parafilm και τα καλύψαμε με αλουμινόχαρτο. Στη συνέχεια, τοποθετήθηκαν σε θάλαμο ελεγχόμενων συνθηκών με ρυθμισμένη θερμοκρασία ημέρας στους 25 °C και νύχτας στους 15 °C. Το πείραμα διήρκησε 10 ημέρες όπου καθημερινά μετρούσαμε τον αριθμό των σπόρων που βλάστησαν. Το πείραμα αυτό διεξάχθηκε με σκοπό την εκτίμηση της βλαστικότητας πριν πραγματοποιηθεί η σπορά.

Μια βδομάδα πριν την σπορά του σιταριού (14 Νοεμβρίου, 2022) διενεργήθηκε η σπορά των βιότυπων (R,S) σισύμπριου *Sisymbrium orientale* L.. Πιο αναλυτικά, προετοιμάσαμε φυτοδοχεία χωρητικότητας τεσσάρων λίτρων και τα ποτίσαμε επαρκώς. Στη συνέχεια, προχωρήσαμε στη σπορά των βιότυπων. Λόγω της πολύ μικρής διαμέτρου του σπόρου καλύψαμε επιφανειακά με το μείγμα χώματος και ποτίσαμε. Τα φυτοδοχεία τοποθετήθηκαν σε φυσικές συνθήκες φωτός, θερμοκρασίας στον πειραματικό αγρό του Εργαστηρίου Γεωργίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών και το πότισμα ήταν επαρκές. Τα μετεωρολογικά δεδομένα αναφέρονται στην Ενότητα 2.3.1.1 ενώ οι εδαφολογικές αναλύσεις στην Ενότητα 2.2.2.2. Στο στάδιο των 1- έως- 2 φύλλων τα φυτά των βιότυπων του *Sisymbrium orientale* L. μεταφυτεύθηκαν στον πειραματικό αγρό αφού πραγματοποιήθηκε βοτάνισμα με σκοπό την αφαίρεση όλης της ζιζανιοχλωρίδας. Τέλος, το βοτάνισμα των λοιπών ζιζανίων, εκτός των βιότυπων του *Sisymbrium orientale*, επαναλήφθηκε 3 φορές.

2.3.1.3 Πειραματικό Σχέδιο

Το πειραματικό σχέδιο που ακολουθήσαμε ήταν το εντελώς τυχαίοποιημένο πλήρων ομάδων (randomized complete block design) με δύο παράγοντες (βιότυπος, δόση ζιζανιοκτόνου). Ο πειραματικός αγρός χωρίστηκε σε τέσσερα τεμάχια που αποτέλεσαν τις επαναλήψεις τα οποία χωρίστηκαν σε 12 υποτεμάχια που αποτελέσαν τις επεμβάσεις. Το κάθε τεμάχιο είχε εμβαδό 120 m² και το κάθε υποτεμάχιο είχε διαστάσεις 2,5 m x 4 m. Παρακάτω παρουσιάζεται αναλυτικά το πειραματικό σχέδιο (Εικόνα 2.5).

Rc	Sc	Rx/4	Sx	S4x	Sx/2	Rx	S2x	R2x	Sx/4	Rx/2	R4x	a
R4x	Rx	Sx/4	R2x	Rx/4	S2x	Rc	Rx/2	Sc	S4x	Sx	Sx/2	b
R2x	S4x	Rc	S2x	Sc	Rx/2	Sx/4	Rx	Sx/2	Rx/4	Sx	R2x	c
S4x	Rc	Sc	Rx/2	Sx	Rx	R4x	S2x	Rx/4	Sx/4	R2x	Sx/2	d

Εικόνα 2.5 Το πειραματικό σχέδιο του πειράματος δόσης-απόκρισης σε συνθήκες αγρού όπου R ο ανθεκτικός βιότυπος, S ο ευαίσθητος βιότυπος, x/4 έως 4x οι δόσεις του chlorsulfuron, c ο μάρτυρας και a,b,c,d οι επαναλήψεις.

Στη συνέχεια, σε κάθε υποτεμάχιο τοποθετήθηκαν δύο μεταλλικά πλαίσια τα οποία παραμέναν μέχρι τη λήξη του πειράματος. Η εφαρμογή του chlorsulfuron πραγματοποιήθηκε όταν η καλλιέργεια βρισκόταν στο στάδιο του αδελφώματος (BBCH 21) και το σισύμπριο στο αναπτυξιακό στάδιο των 3- έως- 5 φύλλων . Οι επεμβάσεις αποτελούνταν από το μάρτυρα και το chlorsulfuron σε δόσεις από x/4 έως 4x (Πίνακας 2.15). Σε όλες της επεμβάσεις εκτός του μάρτυρα προστέθηκε το επιφανειοδραστικό Trend 90 (900 g ai ha⁻¹) όπως συνίσταται στην ετικέτα του ζιζανιοκτόνου. Η εφαρμογή του πραγματοποιήθηκε με ψεκαστήρα προπιέσεως τύπου Gloria 405 T sprayer (Gloria Haus- & Gartengerate GMBH, Daermannsbusch 7, 58456 Witten, Germany) της οποίας η πίεση ρυθμίστηκε με βάση την ετικέτα των ζιζανιοκτόνων στα 300kPa.

Πίνακας 2.16 Οι επεμβάσεις του ζιζανιοκτόνου που εφαρμόστηκαν στο πείραμα δόσης-απόκρισης σε συνθήκες αγρού.

Επεμβάση	Δόση (g ai ha ⁻¹)	Δραστική ουσία	Μηχανισμός Δράσης
Control (μάρτυρας)	-		
x/4	3.75		
x/2	7.5		ALS
x	15	chlorsulfuron	Αναστολείς
2x	30		
4x	60		

2.3.1.4 Παρατηρήσεις και μετρήσεις

Μέτρηση NDVI (Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης)

Η συλλογή των τιμών του NDVI πραγματοποιήθηκε όπως περιγράφεται στην ενότητα 2.1.1.3.

Μέτρηση νωπού βάρους ζιζανίων

Η μέτρηση του νωπού βάρους των ζιζανίων διεξάχθηκε όπως και στην Ενότητα 2.2.2.4. Στην συνέχεια, οι τιμές εκφράστηκαν ως ποσοστά του μάρτυρα.

Μέτρηση ξηρού βάρους ζιζανίων

Η μέτρηση του νωπού βάρους των ζιζανίων διεξάχθηκε όπως και στην Ενότητα 2.2.2.4. Στην συνέχεια, οι τιμές εκφράστηκαν ως ποσοστά του μάρτυρα.

Υπολογισμός G₅₀

Ο υπολογισμός των G₅₀ πραγματοποιείται με σκοπό την επιβεβαίωση της ανθεκτικότητας, όπου G₅₀ η δόση της δραστικής ουσίας που προκάλεσε την μείωση του νωπού βάρους κατά 50%. Τα δεδομένα προσαρμόστηκαν στην παρακάτω λογαριθμική εξίσωση (Seefeldt et al., 1995):

$$y = d/1 + \{epx [(blogx - loge)]\}$$

Όπου γ= το ποσοστό του νωπού βάρους % μάρτυρα, d= το ανώτερο όριο, e= G₅₀ , b= κλίση της

καμπύλης στο σημείο καμπής, $x = \eta$ δόση του ζιζανιοκτόνου

Επιβίωση ζιζανίων

Η μέτρηση της επιβίωσης των ζιζανίων πραγματοποιήθηκε με στόχο την εκτίμηση της αξιοπιστίας (accuracy) και της ακρίβειας (precision) της μεθόδου. Συνεπώς, σε κάθε μεταλλικό πλαίσιο μετρήθηκε ο αριθμός των φυτών σισύμπριου που επιβίωσαν στις 28 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων καθώς και ο συνολικός αριθμός τους στις 0 ημέρες μετά την εφαρμογή.

Αξιοπιστία (accuracy) και ακρίβεια (accuracy)

Για την εκτίμηση της αξιοπιστίας και της ακρίβειας της μεθόδου έγιναν οι παρακάτω υποθέσεις και εφαρμόστηκαν οι παρακάτω μαθηματικές εξισώσεις όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενες έρευνες (Fawcett, 2006; Shirzadifar, 2020).

- Στην περίπτωση του ανθεκτικού βιότυπου:

Έστω ότι τα ζιζάνια, στα οποία έχει εφαρμοστεί η συνιστώμενη δόση, επιβίωσαν χαρακτηρίζονται ανθεκτικά (αληθώς ανθεκτικά). Συνεπώς, όσα δεν επιβίωσαν χαρακτηρίζονται ψευδώς ανθεκτικά.

Έτσι θα ισχύει το εξής:

Αληθώς ανθεκτικά (TR) = αριθμός ζιζανίων που επιβίωσαν

Ψευδώς ανθεκτικά (FR) = αριθμός ζιζανίων που δεν επιβίωσαν

Συνολικός αριθμός ζιζανίων του ανθεκτικού βιότυπου (R) = αριθμός ζιζανίων που επιβίωσαν + αριθμός ζιζανίων που δεν επιβίωσαν

- Στην περίπτωση του επιβεβαιωμένα ευαίσθητου βιότυπου:

Έστω ότι τα ζιζάνια, στα οποία εφαρμόστηκε η συνιστώμενη δόση, δεν επιβίωσαν χαρακτηρίζονταν ως αληθώς ευαίσθητα. Συνεπώς, τα ζιζάνια που επιβίωσαν χαρακτηρίζονται ψευδώς ευαίσθητα.

Αληθώς ευαίσθητα (TS) = αριθμός ζιζανίων που επιβίωσαν

Ψευδώς ευαίσθητα (FS) = αριθμός ζιζανίων που δεν επιβίωσαν

Συνολικός αριθμός ζιζανίων του ευαίσθητου βιότυπου (S) = αριθμός ζιζανίων που επιβίωσαν + αριθμός ζιζανίων που δεν επιβίωσαν

Συνεπώς, η αξιοπιστία (accuracy) και η ακρίβεια (precision) υπολογίστηκαν με βάση τους παρακάτω τύπους:

$$Accuracy = \frac{TR + TS}{R + S}$$

$$Precision = \frac{TR}{TR + FR}$$

2.3.1.5 Στατιστική ανάλυση των δεδομένων

Όμοια με την Ενότητα 2.1.2.5

2.3.2 Πείραμα δόσης- απόκρισης σε φυτοδοχεία

2.3.2.1 Φυτικό υλικό

Οι διαδικασίες που ακολουθήσαμε αναφέρονται στην Ενότητα 2.3.1.2. Μόνη διαφοροποίηση αποτέλεσε ότι τα φυτά που προοριζόντουσαν για το αυτό το πείραμα μεταφυτεύθηκαν σε φυτοδοχεία χωρητικότητας 1L (2-3 φυτά/ φυτοδοχείο).

2.3.2.2 Συνθήκες ανάπτυξης φυτών

Οι συνθήκες ανάπτυξης περιγράφονται στην ενότητα 2.3.1.2 και τα μετεωρολογικά δεδομένα που επικράτησαν κατά τη διάρκεια του πειράματος στον Πίνακα 2.15 της Ενότητας 2.3.1.1.

2.3.2.3 Εφαρμογή ζιζανιοκτόνου

Η πλήρης περιγραφή των επεμβάσεων καθώς και η διαδικασία της εφαρμογής του ζιζανιοκτόνου παρουσιάζονται στην Ενότητα 2.3.1.3. Συμπληρωματικά, μπορούμε να αναφέρουμε ότι τα φυτοδοχεία παρέμειναν σε φυσικές συνθήκες του πειραματικού αγρού μετά την εφαρμογή του ζιζανιοκτόνου.

2.3.2.4 Παρατηρήσεις και μετρήσεις

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις όπως περιγράφονται στην Ενότητα 2.1.2.4. με την διαφορά ότι σε αυτό το πείραμα δεν μετρήθηκε ο δείκτης NDVI.

2.3.2.5 Πειραματικό σχέδιο και στατιστική ανάλυση των δεδομένων

Όμοια με την Ενότητα 2.1.2.5.

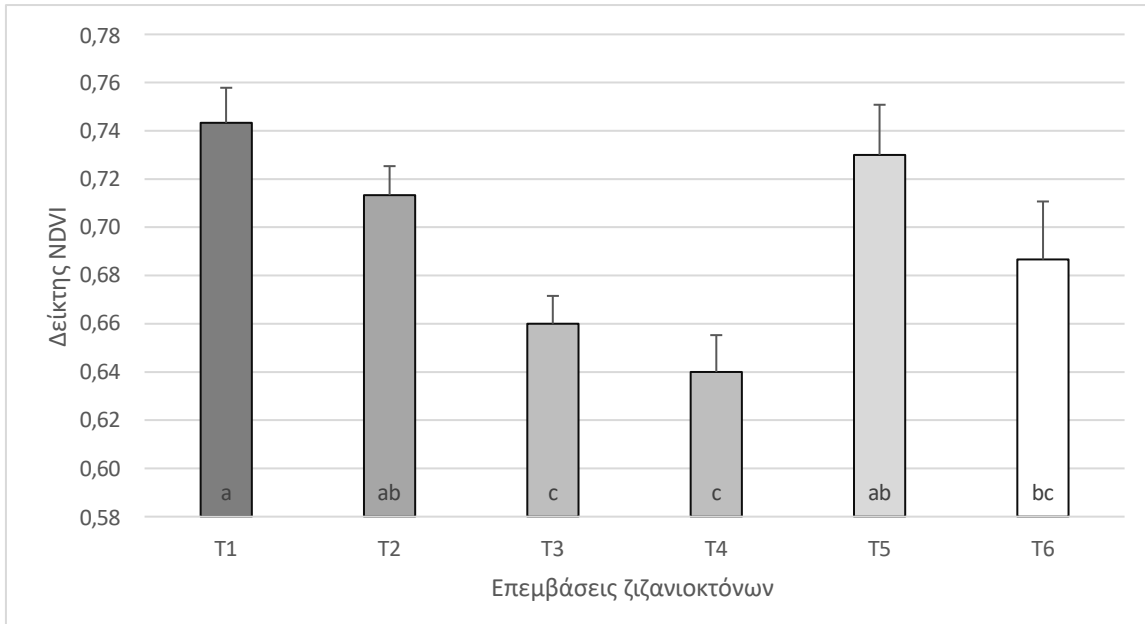
Κεφάλαιο 3. Αποτελέσματα

3.1 Πειράματα αγρού στη καλλιέργεια του σιταριού

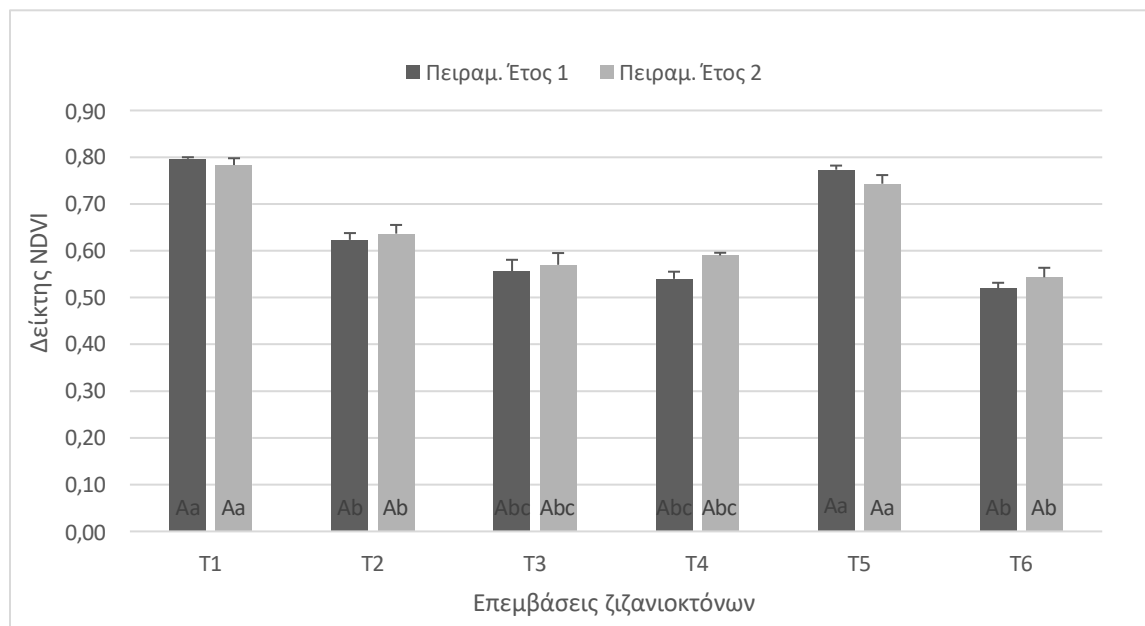
3.1.1 Αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ζιζανιοκτόνων *in situ* στη καλλιέργεια του σιταριού

3.1.1.1 Πειραματικός αγρός στο Δομοκό

Κατά το πρώτο πειραματικό έτος, οι τιμές του δείκτη NDVI παρουσίασαν μικρές διαφορές 7 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (Διάγραμμα 3.1). Πιο αναλυτικά, η μείωση των τιμών του δείκτη NDVI κυμάνθηκε από 2%-10% συγκριτικά με τις τιμές του μάρτυρα. Στην συνέχεια, οι μέσες τιμές του δείκτη NDVI για τις επεμβάσεις ζιζανιοκτονίας εμφανίζουν σημαντικές διαφορές (Πίνακας 3.1 & Διάγραμμα 3.2). Στην επέμβαση T3 (ργροxsulam+florasulam) παρουσιάζεται μείωση των τιμών του δείκτη NDVI κατά 24% και στην επέμβαση T6 (fenoxarrop-P-ethyl) κατά 26% συγκριτικά με τις τιμές του μάρτυρα. Οπότε, η επέμβαση T6 (fenoxarrop-P-ethyl) μπορεί να χαρακτηριστεί ως η πιο αποτελεσματική για τον πειραματικό αγρό. Από την άλλη, οι υψηλές τιμές του δείκτη NDVI 14 ημέρες μετά την εφαρμογή του μίγματος mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium υποδεικνύουν μειωμένη αποτελεσματικότητα (Διάγραμμα 3.2). Στο Διάγραμμα 3.4, παρουσιάζονται οι μέσες τιμές του ξηρού βάρους των ζιζανίων κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος, οι οποίες επαληθεύουν τα παραπάνω αποτελέσματα. Η στατιστική ανάλυση δεν εμφάνισε στατιστικά σημαντικές διαφορές για τον παράγοντα χρόνο ($P= 0,1353$). Αυτό σημαίνει ότι η αποτελεσματικότητα των ζιζανιοκτόνων δεν μεταβλήθηκε σημαντικά από χρονιά σε χρονιά. Αντιθέτως, και τα δύο πειραματικά έτη υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μόνο μεταξύ των επεμβάσεων ($P < 0,05$).



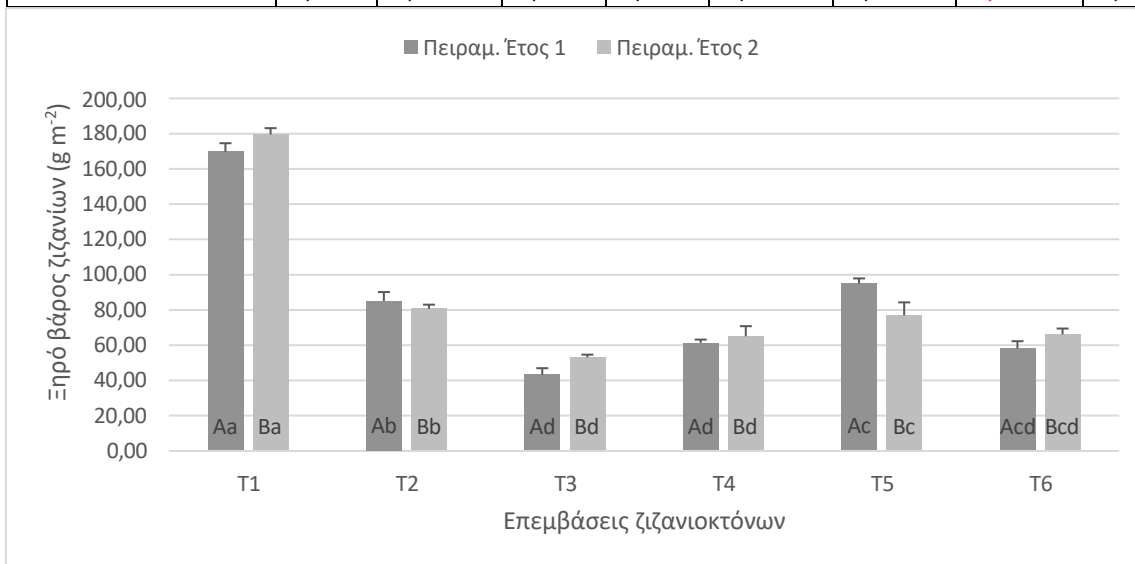
Διάγραμμα 3.1 Ο δείκτης NDVI για τον πειραματικό αγρό στον Δομοκό 7 ημέρες μετά την επέμβαση των ζιζανιοκτόνων (7 HME) κατά το πρώτο πειραματικό έτος. T1= αψέκαστος μάρτυρας, T2= 2,4 D- ester, T3= pyroxsulam+florasulam, T4=clorpyralid+florasulam, T5= mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium, T6= fenoxaprop-P-ethyl.



Διάγραμμα 3.2 Ο δείκτης NDVI για τον πειραματικό αγρό στον Δομοκό 14 ημέρες μετά την επέμβαση των ζιζανιοκτόνων (14 HME) κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. T1= αψέκαστος μάρτυρας, T2= 2,4 D- ester, T3= pyroxsulam+florasulam, T4=clorpyralid+florasulam, T5= mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium, T6= fenoxaprop-P-ethyl.

Πίνακας 3.1 Μέσοι όροι του δείκτη NDVI 7 και 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (7 & 14 ΗΜΕ) κατά το πρώτο πειραματικό έτος. Όπου LSD= Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά και P-value= Τιμή Σημαντικότητας. Τα a,b,c υποδηλώνουν τις διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων

Παράγοντας								
Μεταβλητή	T1	T2	T3	T4	T5	T6	P-value	LSD
NDVI 7 ΗΜΕ	0,74a	0,72ab	0,66c	0,64c	0,72ab	0,69bc	0,0065	0,052
NDVI 14 ΗΜΕ	0,80a	0,77a	0,56b	0,54b	0,77a	0,52b	0,0000	0,043



Διάγραμμα 3.3 Ξηρό βάρος ζιζανίων για τον πειραματικό αγρό στον Δομοκό 14 ημέρες μετά την επέμβαση των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ) κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων. T1= αψέκαστος μάρτυρας, T2= 2,4 D- ester, T3= pyroxsulam+florasulam, T4=clorpyralid+florasulam, T5= mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium, T6= fenoxaPROP-P-ethyl.

Fenoxaprop-P-ethyl



Control



2,4 D ester



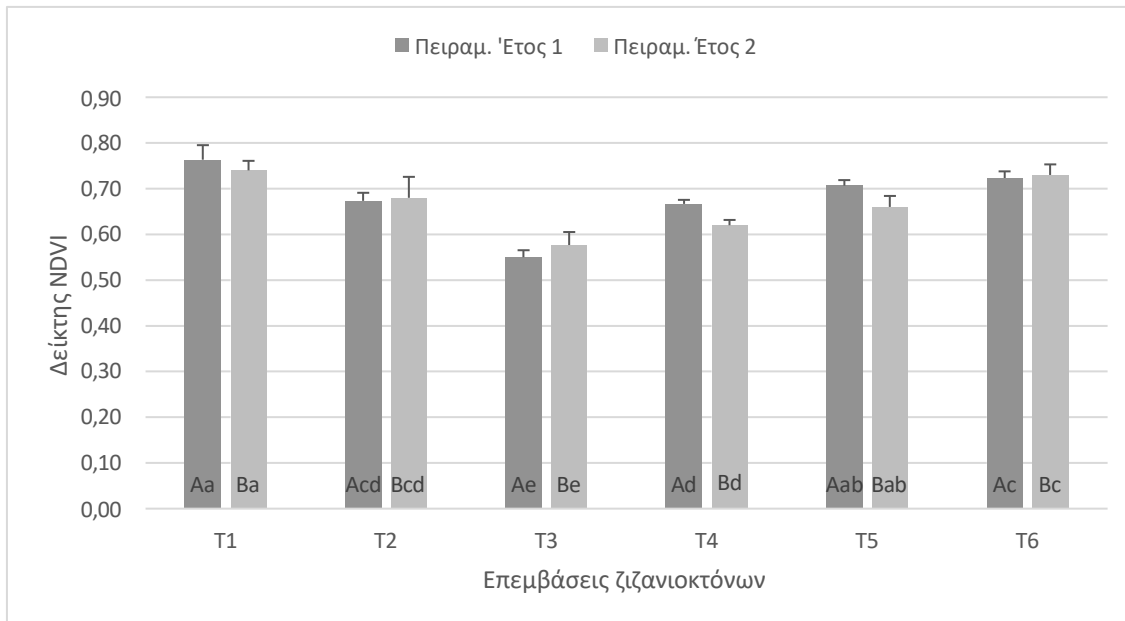
Εικόνα 3.1 Η πυκνότητας του σιναπιού (*S. arvensis*) στις 21 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (21 ΗΜΕ) στον πειραματικό αγρό του Δομοκού.

3.1.1.2 Πειραματικός αγρός στην Λάρισα

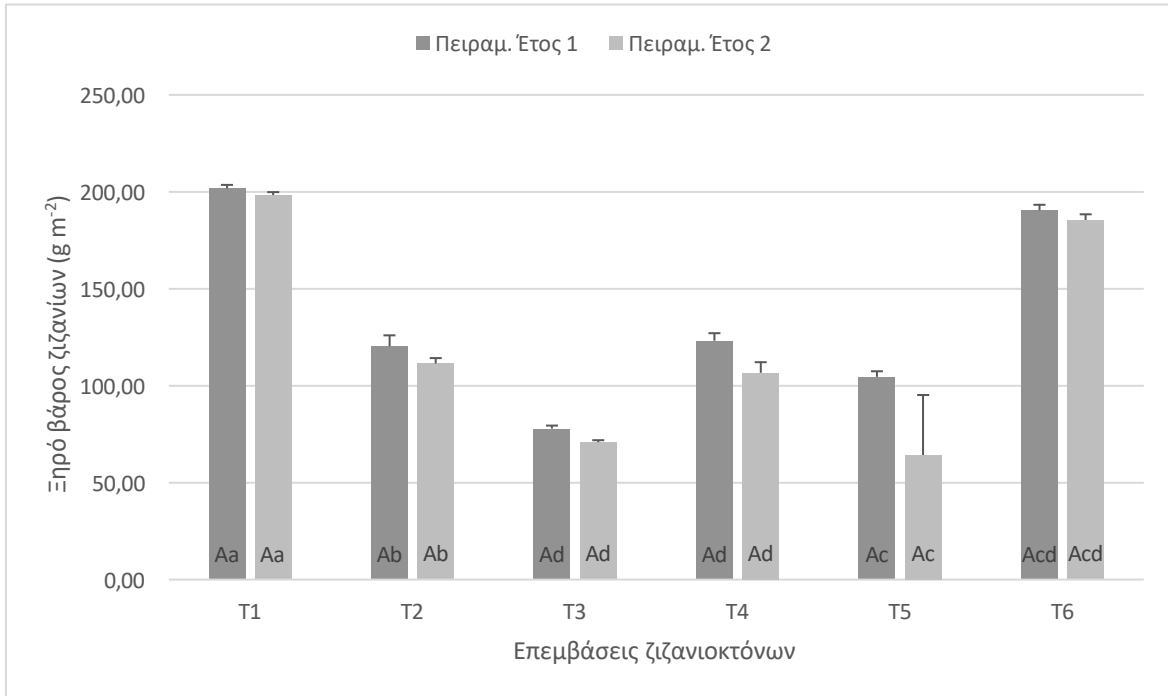
Στον πειραματικό αγρό της Λάρισας, οι τιμές του δείκτη NDVI 14 ημέρες μετά την επέμβαση των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ) παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο παραγόντων (επέμβαση, έτος) (Πίνακας 3.2). Συγκεκριμένα, το μίγμα ργοxsulam+florasulam προκάλεσε αξιοσημείωτη μείωση των τιμών του δείκτη (25,3%) σε σύγκριση με τον μάρτυρα (Διάγραμμα 3.4). Επίσης, χαμηλές τιμές του ξηρού βάρους των ζιζανίων ($77,87\text{g m}^{-2}$) σημειώθηκαν 14 ημέρες μετά την εφαρμογή του μίγματος ργοxsulam+florasulam, συγκριτικά με τον μάρτυρα ($201,73\text{g m}^{-2}$) (Διάγραμμα 3.5). Συμπερασματικά, θα μπορούσαμε να χαρακτηρίσουμε αυτό το μίγμα αποτελεσματικό.

Αντίθετα, στο Διάγραμμα 3.4 φαίνεται ότι μετά την εφαρμογή της δραστικής ουσίας fenoxarprop-P-ethyl η μέση τιμή του NDVI που σημειώθηκε ήταν υψηλή (0,72) σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή του μάρτυρα. Επίσης, μετά την εφαρμογή της παραπάνω δραστικής ουσίας η απόδοση της καλλιέργειας ήταν σε αντίστοιχα επίπεδα με αυτή του αψέκαστου μάρτυρα (Διάγραμμα 3.6). Αυτό το γεγονός, επιβεβαιώνει την χαμηλή αποτελεσματικότητα του ζιζανιοκτόνου fenoxarprop-P-ethyl.

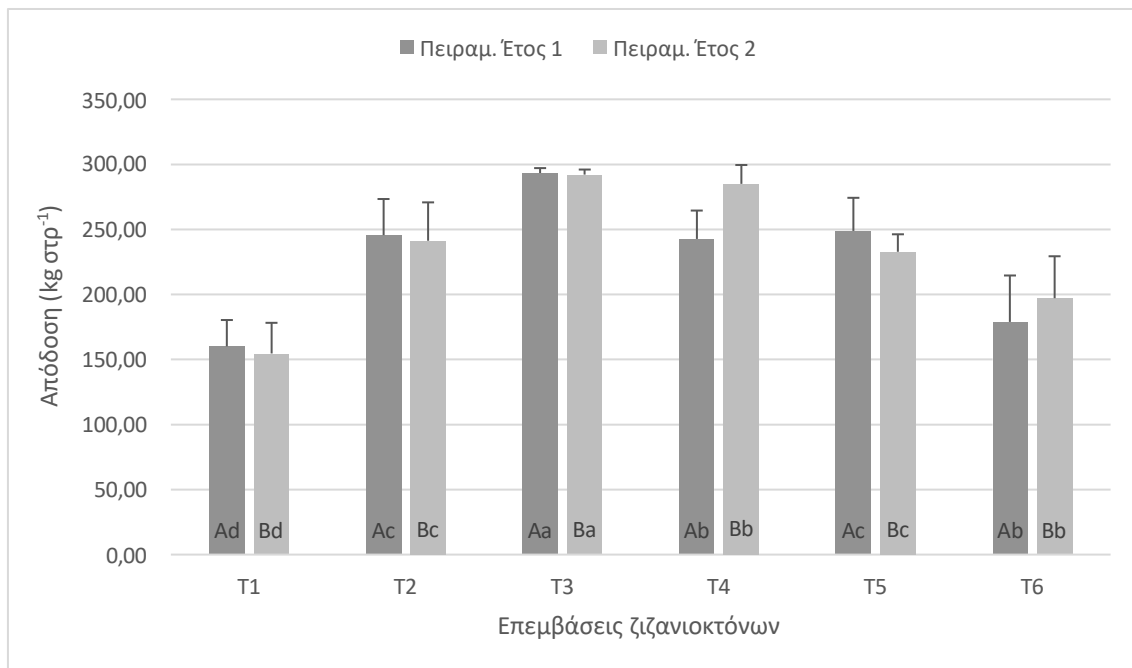
Τέλος, στην απόδοση της καλλιέργειας προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων, ενώ δεν παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ετών πειραματισμού (Διάγραμμα 3.6; Πίνακας 3.2).



Διάγραμμα 3.4 Ο δείκτης NDVI για τον πειραματικό αγρό στη Λάρισα 14 ημέρες μετά την επέμβαση των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ) κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. T1= αψέκαστος μάρτυρας, T2= 2,4 D- ester, T3= ργοxsulam+florasulam, T4=clorpyralid+florasulam, T5= mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium, T6= fenoxarprop-P-ethyl.



Διάγραμμα 3.5 Ξηρό βάρος ζιζανίων για τον πειραματικό αγρό στη Λάρισα 14 ημέρες μετά την επέμβαση των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ) κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. T1= αψέκαστος μάρτυρας, T2= 2,4 D- ester, T3= pyroxsulam+florasulam, T4=clorpyralid+florasulam, T5= mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium, T6= fenoxaprop-P-ethyl



Διάγραμμα 3.6 Απόδοση σε καρπό για τον πειραματικό αγρό στη Λάρισα κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. T1= αψέκαστος μάρτυρας, T2= 2,4 D- ester, T3= pyroxsulam+florasulam, T4=clorpyralid+florasulam, T5= mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium, T6= fenoxaprop-P-ethyl.

Πίνακας 3.2 Μέσοι όροι του δείκτη NDVI, του ξηρού βάρους ζιζανίων ($g\ m^{-2}$) και της απόδοσης σε καρπό ($kg\ στρ^{-1}$) κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος στον αγρό της Λάρισας. Όπου LSD= Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά και P-value= Τιμή Σημαντικότητας. Τα a,b,c υποδηλώνουν τις διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων.

Μεταβλητές	P-value		Επεμβάσεις					
	Επέμβαση	Έτος	T1	T2	T3	T4	T5	T6
NDVI	0,0000	0,3749	0,75a	0,68cd	0,56e	0,64e	0,72ab	0,69c
Ξηρό βάρος	0,0000	0,1368	200,03a	115,9b	74,35d	114,9d	100,71c	187,95cd
Απόδοση	0,0000	0,9482	157,33d	243,43c	355,87a	314,93b	240,82c	292,72b

Μάρτυρας



fenoxaprop-P-ethyl



pyroxsulam+florasulam



Εικόνα 3.2 Η πυκνότητα της αγριοβρώμης (*A. sterilis*) 21 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (21 ΗΜΕ) στον πειραματικό αγρό στην Λάρισα

3.1.1.3 Πειραματικός αγρός στα Φάρσαλα

Στο Διάγραμμα 3.7, δεν παρατηρούμε σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων του δείκτη NDVI 7 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων. Ωστόσο, υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των πειραματικών ετών (Πίνακας 3.3). Το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος οι τιμές του δείκτη NDVI μειώθηκαν 28% και 23% αντίστοιχα, σε σύγκριση με τον μάρτυρα 14 ημέρες μετά την εφαρμογή του μίγματος mesosulfuron-methyl+iodosulfuron methyl-sodium (Διάγραμμα 3.8). Στο Διάγραμμα 3.9, παρατηρούμε ότι το ξηρό βάρος των ζιζανίων μετά την επέμβαση mesosulfuron-methyl+iodosulfuron methyl-sodium είναι χαμηλότερο συγκριτικά με τον μάρτυρα (μείωση κατά 51,3%). Συνεπώς, παρατηρούμε μια αντίστοιχη τάση των τιμών του δείκτη NDVI και του ξηρού βάρους των ζιζανίων, γεγονός που αποδεικνύεται από την υψηλή συσχέτιση των δύο μεταβλητών, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.4.

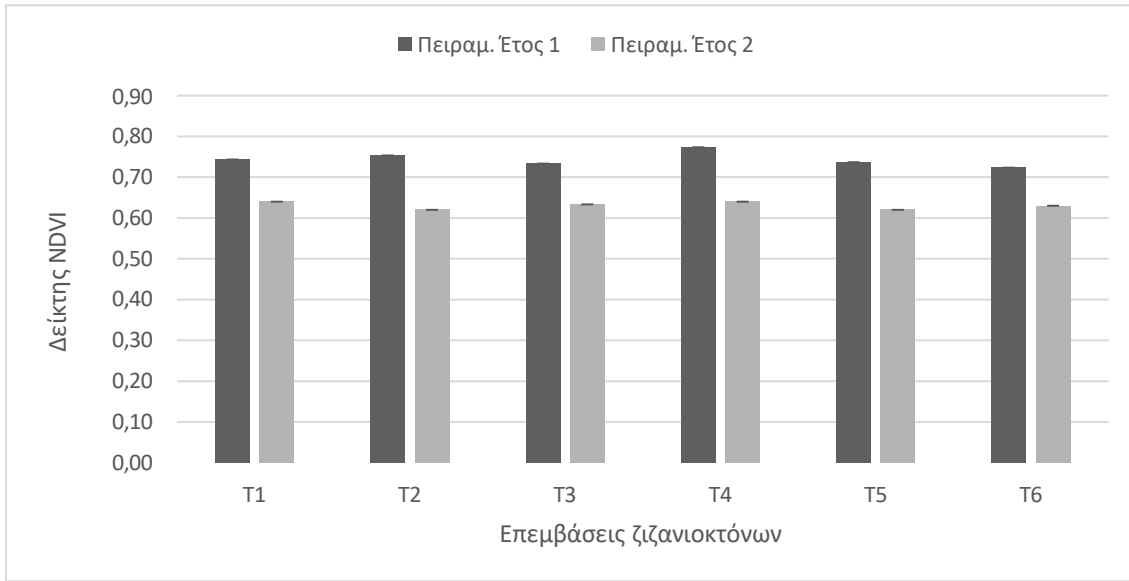
Ωστόσο, οι λοιπές επεμβάσεις οδήγησαν σε υψηλές τιμές του δείκτη NDVI σε σύγκριση με τον απέκαστο μάρτυρα 14 ημέρες μετά την εφαρμογή τους (Διάγραμμα 3.8). Αναλυτικότερα, το πρώτο και το δεύτερο έτος πειραματισμού την πιο υψηλή τιμή του δείκτη εμφάνισε η επέμβαση T4 (0,77) συγκριτικά με τον μάρτυρα (0,81). Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι η αγριοβρώμη ήταν εκτός φάσματος δράσης του μίγματος και στον συγκεκριμένο αγρό καταγράφηκε υψηλή πυκνότητα του ζιζανίου (Ενότητα 3.1.1.6; Πίνακας 3.11). Αξίζει να σημειωθεί ότι για την μεταβλητή NDVI καταγράφηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των παραγόντων επέμβαση και έτος (Πίνακας 3.3) .

Πίνακας 3.3 Ανάλυση της διακύμανσης για την επίδραση των επεμβάσεων και του πειραματικού έτους στις τιμές των μεταβλητών NDVI (7 και 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων) και του ξηρού βάρους των ζιζανίων.

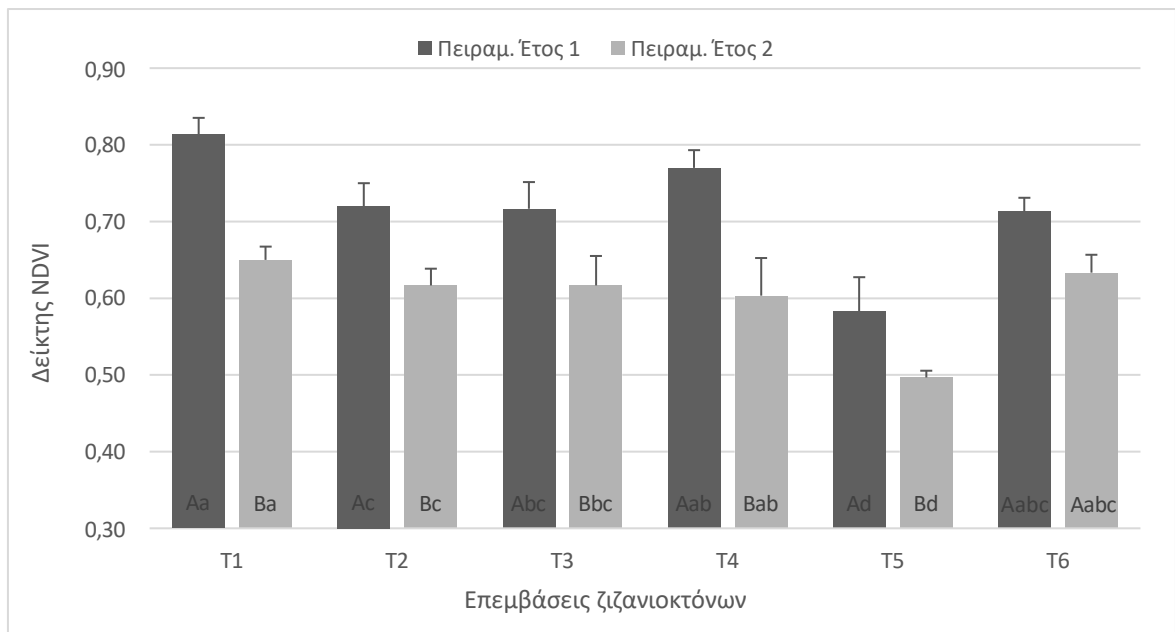
NDVI (7 HME)					
	AT	BE	MT	F-Ratio	P-Value
Επέμβαση	0,0040	5	0,0008	1,05	0,4098
Έτος	0,1213	1	0,1213	157,69	0,0000
Σφάλμα	0,0223	41	0,0008		
Σύνολο	0,1477	47			
NDVI (14 HME)					
	AT	BE	MT	F-Ratio	P-Value
Επέμβαση	0,1314	5	0,0263	10,4900	0,0000
Έτος	0,1133	1	0,1133	45,2600	0,0000
Σφάλμα	0,0726	41	0,0025		
Σύνολο	0,3173	47			
Ξηρό βάρος					
	AT	BE	MT	F-Ratio	P-Value
Επέμβαση	20414	5	4082,8	19,81	0,0000
Έτος	12410	1	12410	60,22	0,0000
Σφάλμα	5976,37	41	206,082		
Σύνολο	38800,3	47			

Πίνακας 3.4 Συντελεστής συσχέτισης (coefficient correlation) και ποσοστό διασποράς(R-squared) για τις μεταβλητές ξηρό βάρος-δείκτης NDVI στο πρώτο και στο δεύτερο έτος πειραματισμού για τον αγρό στα Φάρσαλα.

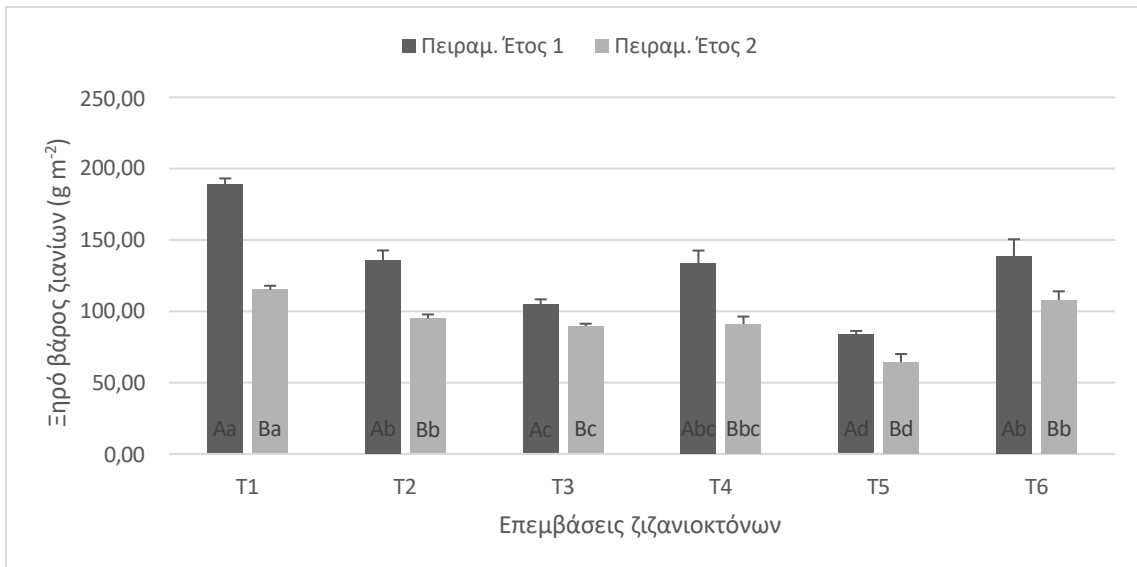
Πειραματικό έτος	Συντελεστής συσχέτισης	Ποσοστό διασποράς
1 ^ο	0,6869	47,19
2 ^ο	0,6932	48,05



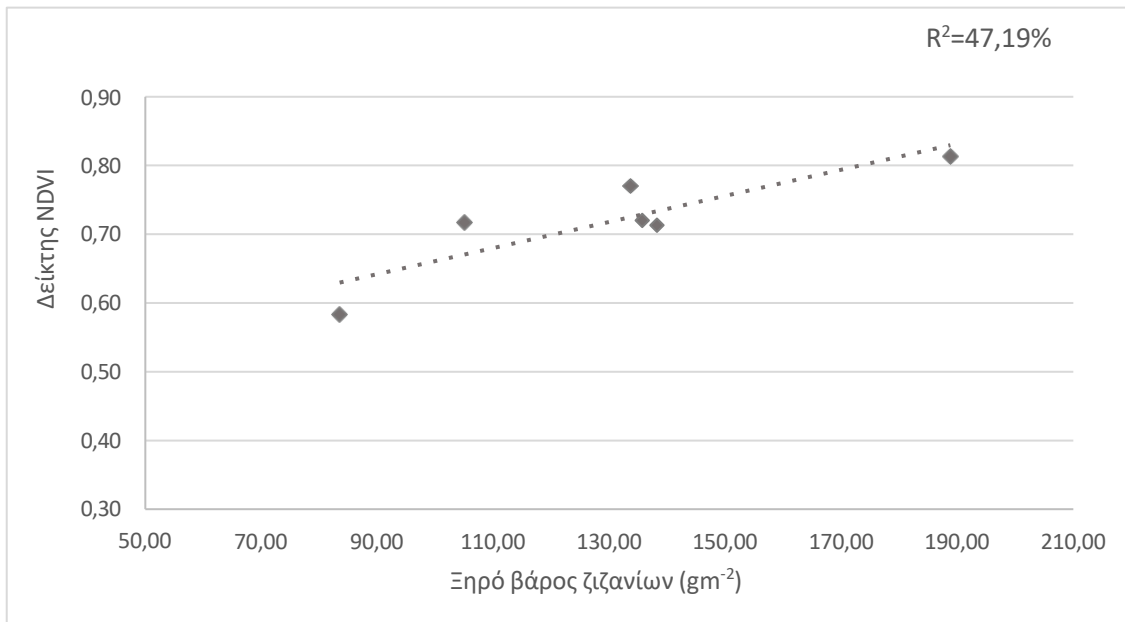
Διάγραμμα 3.7 Ο δείκτης NDVI για τον πειραματικό αγρό στα Φάρσαλα κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος 7 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (7 ΗΜΕ). Όπου T1= αψέκαστος μάρτυρας, T2= 2,4 D- ester, T3= pyroxsulam+florasulam, T4=clopyralid+florasulam, T5= mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium, T6= fenoxaprop-P-ethyl



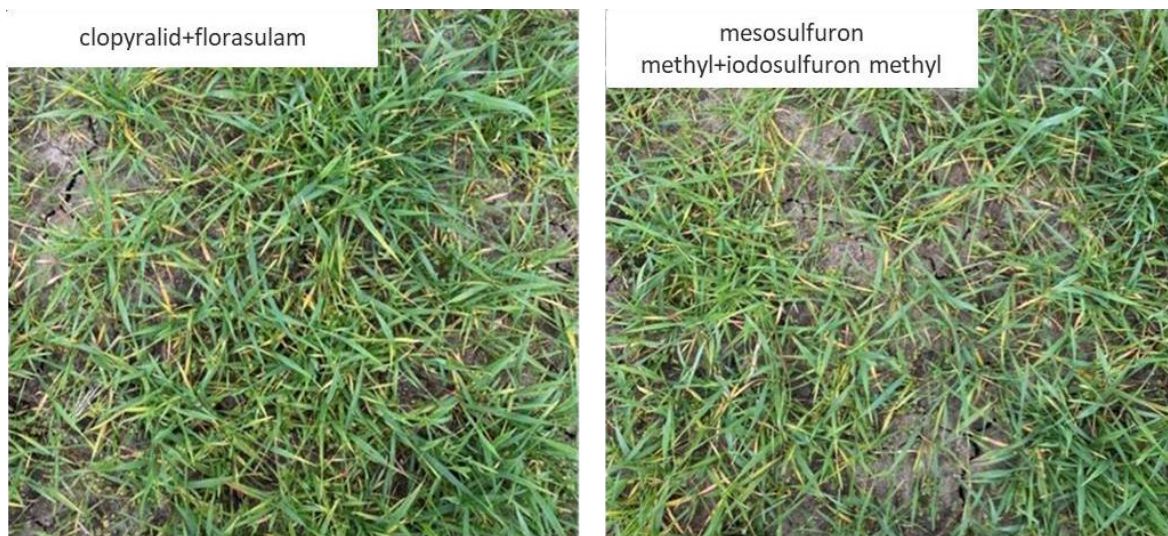
Διάγραμμα 3.8 Ο δείκτης NDVI για τον πειραματικό αγρό στα Φάρσαλα κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ). T1= μάρτυρας, T2= 2,4 D- ester, T3= pyroxsulam+florasulam, T4=clopyralid+florasulam, T5= mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium, T6= fenoxaprop-P-ethyl.



Διάγραμμα 3.9 Ξηρό βάρος ζιζανίων για τον πειραματικό αγρό στα Φάρσαλα κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME). T1= αψέκαστος μάρτυρας, T2= 2,4 D- ester, T3= pyroxsulam+florasulam, T4=clorpyralid+florasulam, T5= mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium, T6= fenoxaprop-P-ethyl.



Διάγραμμα 3.10 Γραμμική συσχέτιση των παραγόντων NVDI και ξηρό βάρος ζιζανίων 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME), το δεύτερο πειραματικό έτος για τον αγρό στα Φάρσαλα. Όπου R² το ποσοστό διασποράς (%).



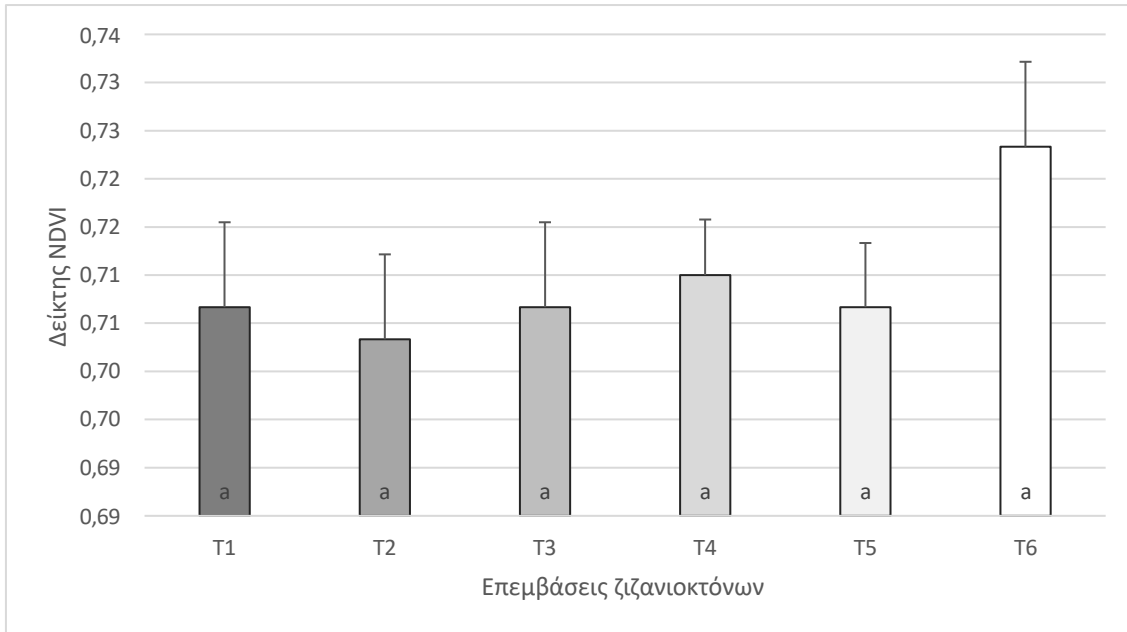
Εικόνα 3.3 Η πυκνότητα της αγριοβρώμης (*A.sterilis*) 21 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (21 ΗΜΕ) στον πειραματικό αγρό στα Φάρσαλα.

3.1.1.4 Πειραματικός αγρός στο Βελεστίνο

Στο Διάγραμμα 3.11, παρατηρούμε ότι οι τιμές του δείκτη NDVI 7 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων κυμαίνονται μεταξύ 0,70 και 0,72 χωρίς να παρουσιάζονται στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων (Πίνακας 3.5). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των ζιζανιοκτόνων να μην είναι εφικτή 7 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων.

Αντιθέτως, στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο παραγόντων (επέμβαση, έτος) προέκυψαν για την μεταβλητή NDVI 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (Πίνακας 3.6). Πιο αναλυτικά, οι επεμβάσεις T3 και T6 προκάλεσαν μείωση των τιμών του NDVI κατά 20,5%, συγκριτικά με τον μάρτυρα (Διάγραμμα 3.12). Αξιοσημείωτη ήταν η μείωση της μεταβλητής NDVI κατά 5,1% μετά την εφαρμογή του μίγματος mesosulfuron-methyl+iodosulfuron methyl-sodium (Διάγραμμα 3.12). Σύμφωνα με τις τιμές του δείκτη NDVI 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων, κρίνονται αποτελεσματικές οι επεμβάσεις T3 και T6 ενώ μη αποτελεσματικό το μίγμα mesosulfuron-methyl+iodosulfuron methyl-sodium. Η υψηλή συσχέτιση ($R^2=63,758$) του δείκτη NDVI και του ξηρού βάρους των ζιζανίων επαληθεύει το παραπάνω αποτέλεσμα (Διάγραμμα 3.13).

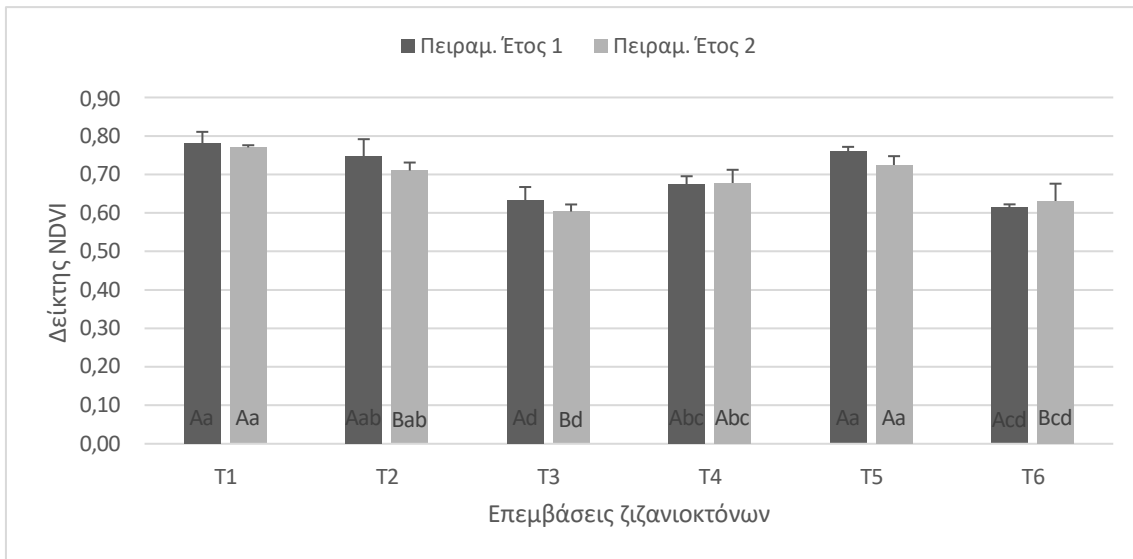
Τέλος, στατιστικά σημαντικές διαφορές παρατηρήθηκαν στις μεταβλητές NDVI 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων- απόδοση για τους παράγοντες επέμβαση και πειραματικό έτος (Πίνακας 3.6).



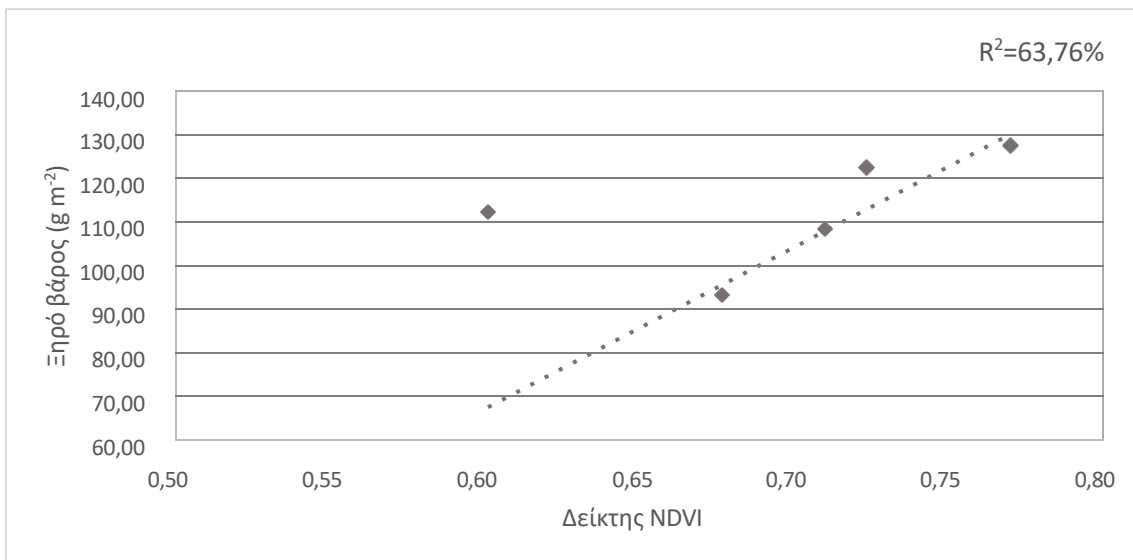
Διάγραμμα 3.11 Ο δείκτης NDVI για τον πειραματικό αγρό στο Βελεστίνο κατά το πρώτο πειραματικό έτος 7 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (7 HME). T1= αψέκαστος μάρτυρας, T2= 2,4 D- ester, T3= pyroxsulam+florasulam, T4=clopyralid+florasulam, T5= mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium, T6= fenoxaprop-P-ethyl

Πίνακας 3.5 Οι μέσοι όροι του παράγοντα NDVI 7 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (7 HME), το πρώτο έτος στον πειραματικό αγρό στο Βελεστίνο. Όπου LSD= Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά και P-value= Τιμή Σημαντικότητας. Τα a,b,c υποδηλώνουν τις διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων.

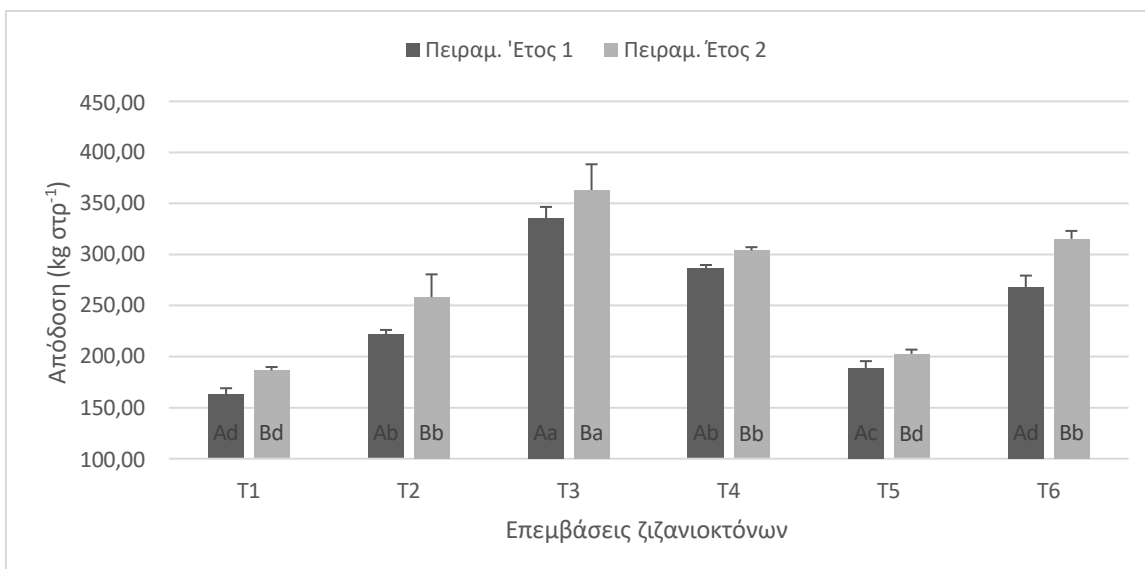
Επεμβάσεις	T1	T2	T3	T4	T5	T6	P-value	LSD
NDVI	0,71a	0,70a	0,71a	0,71a	0,71a	0,72a	0,5811	0,0248



Διάγραμμα 3.12 Ο δείκτης NDVI για τον πειραματικό αγρό στο Βελεστίνο 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ) κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. T1= αψέκαστος μάρτυρας, T2= 2,4 D-ester, T3= rygoxulam+florasulam, T4=clorpyralid+florasulam, T5= mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium, T6= fenoxaprop-P-ethyl.



Διάγραμμα 3.13 Γραμμική συσχέτιση των παραγόντων NVDI και ξηρό βάρος ζιζανίων 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ), το δεύτερο πειραματικό έτος για τον αγρό στο Βελεστίνο. Όπου R² το Ποσοστό διασποράς (%).



Διάγραμμα 3.14 Απόδοση σε καρπό για τον πειραματικό αγρό κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. Όπου T1= μάρτυρας, T2= 2,4 D- ester, T3= pyroxsulam+florasulam, T4=clorpyralid+florasulam, T5= mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium, T6= fenoxarprop-P-ethyl.

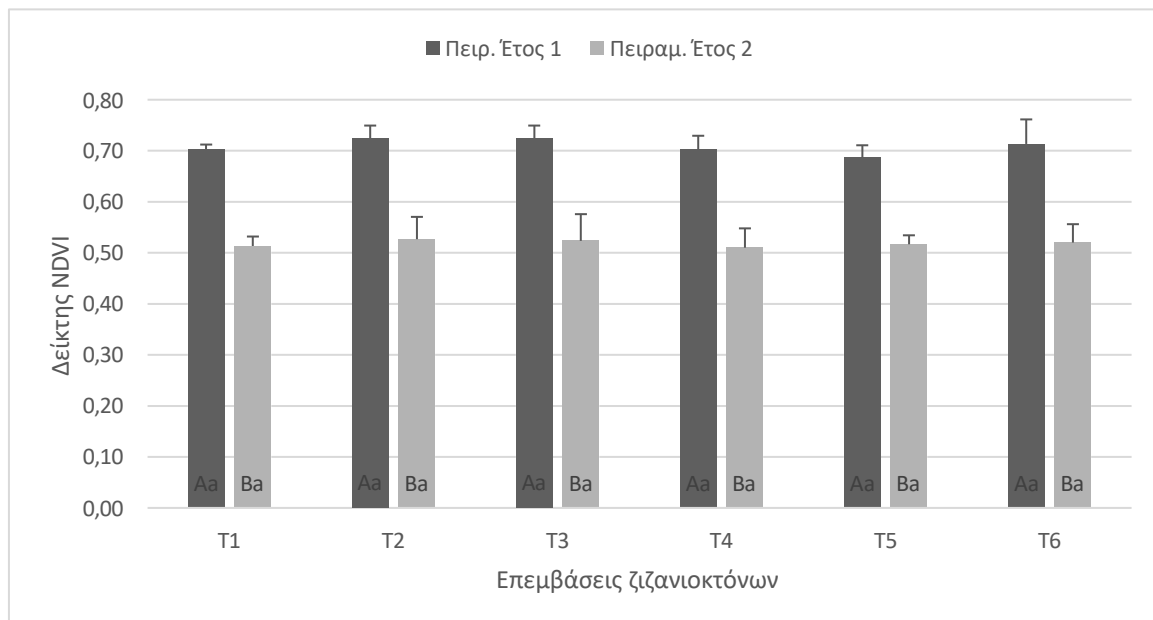
Πίνακας 3.6 Ανάλυση της διακύμανσης για την επίδραση των επεμβάσεων και του πειραματικού έτους στις τιμές των μεταβλητών NDVI και της απόδοσης σε καρπό της καλλιέργειας.

NDVI					
	AT	BE	MT	F-ratio	P-value
Επέμβαση	0,127967	5	0,025593	12,2	0,0000
Έτος	0,002178	1	0,002178	1,04	0,3168
Σφάλμα	0,060856	41	0,002098		
Σύνολο	0,191	47			
ΑΠΟΔΟΣΗ					
	AT	BE	MT	F-ratio	P-value
Επέμβαση	131995	5	26399	70,46	0,0000
Έτος	7019,65	1	7019,65	18,74	0,0002
Σφάλμα	10864,6	41	374,642		
Σύνολο	149879	47			

3.1.1.5 Πειραματικός αγρός στην Ορεσιτιάδα

Στο πειραματικό αγρό στην Ορεσιτιάδα, δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ του παράγοντα επέμβαση για την μεταβλητή του δείκτη NDVI κατά τα δύο έτη πειραματισμού (Πίνακας 3.8). Πιο αναλυτικά, οι τιμές του δείκτη NDVI 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων, είτε ήταν όμοιες του μάρτυρα, είτε αυξήθηκαν λίγο σε σχέση με τον μάρτυρα (1,6%-3,2% αύξηση) (Διάγραμμα 3.15). Όσον αφορά το ξηρό βάρος των ζιζανίων, σημειώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (Πίνακας 3.8). Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 3.16, χαμηλές τιμές ξηρού βάρους προέκυψαν 14 ημέρες μετά την εφαρμογή του μίγματος rygoxulam+florasulam. Συγκεκριμένα, το ξηρό βάρος των ζιζανίων μετά την εφαρμογή του μίγματος rygoxulam+florasulam μειώθηκε 61,2% σε σχέση με αυτό του μάρτυρα.

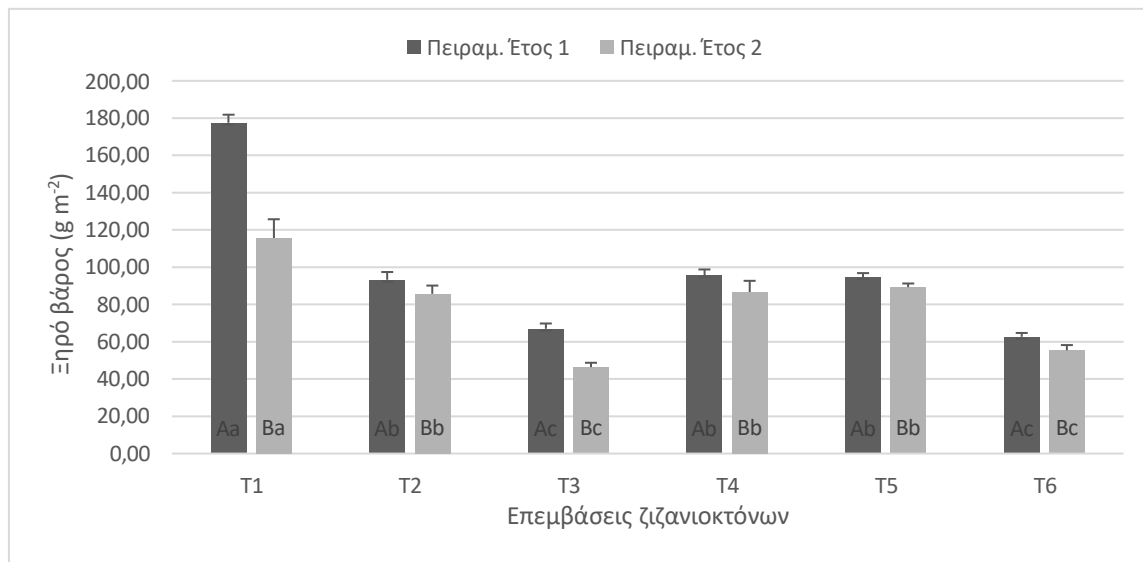
Τα παραπάνω αποτελέσματα συνδυαστικά με την αρνητική συσχέτιση ξηρού βάρους - NDVI (Διάγραμμα 3.17) οδηγούν στην μη εφικτή αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας με την βοήθεια του δείκτη NDVI.



Διάγραμμα 3.15 Ο δείκτης NDVI για τον πειραματικό αγρό στην Ορεσιτιάδα 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ), κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. T1= απέκαστος μάρτυρας, T2= 2,4 D- ester, T3= rygoxulam+florasulam, T4=clorpyralid+florasulam, T5= mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium, T6= fenoxaprop-P-ethyl.

Πίνακας 3.7 Μέσοι όροι του δείκτη NDVI 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ). Όπου NDVI 1 αντιστοιχεί στο πρώτο έτος πειραματισμού, NDVI 2 στο δεύτερο και τα Α,Β & α υποδηλώνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ετών και μεταξύ των επεμβάσεων, αντίστοιχα

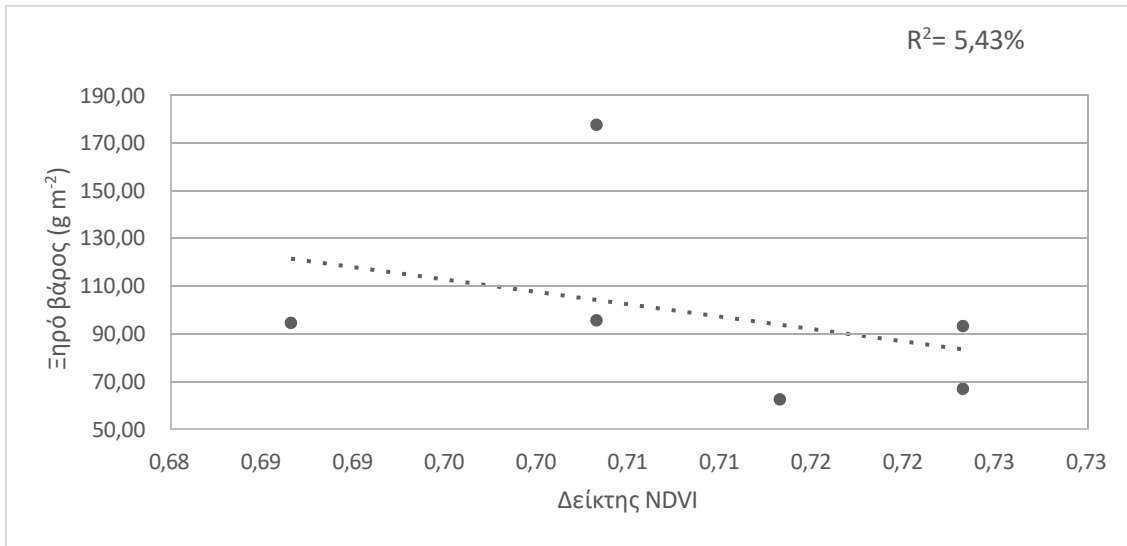
Επεμβάσεις ζιζανιοκτόνων						
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
NDVI 1	0,7Aa	0,72Aa	0,72Aa	0,7Aa	0,69Aa	0,71Aa
NDVI 2	0,61Ba	0,63Ba	0,62Ba	0,61Ba	0,60Ba	0,62Ba



Διάγραμμα 3.16 Ξηρό βάρος ζιζανίων για τον πειραματικό αγρό στην Ορεσιτιάδα 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ), κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. T1= απέκατος μάρτυρας, T2= 2,4 D- ester, T3= pyroxsulam+florasulam, T4=clopyralid+florasulam, T5= mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium, T6= fenoxaprop-P-ethyl.

Πίνακας 3.8 Ανάλυση της διακύμανσης για την επίδραση των επεμβάσεων και του πειραματικού έτους στις τιμές των μεταβλητών NDVI και του ξηρού βάρους των ζιζανίων 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων.

NDVI					
	AT	BE	MT	F-ratio	P-value
Επέμβαση	0,002714	5	0,000543	0,2	0,9603
Έτος	0,326803	1	0,326803	119,79	0,0000
Σφάλμα	0,079114	41	0,002728		
Σύνολο	0,408631	47			
Ξηρό βάρος					
	AT	BE	MT	F-ratio	P-value
Επέμβαση	31605,2	5	6321,05	36,15	0,0000
Έτος	3139,73	1	3139,73	17,96	0,0002
Σφάλμα	5071,11	41	174,866		
Σύνολο	39816,1	47			



Διάγραμμα 3.17 Γραμμική συσχέτιση των μεταβλητών NDVI και ξηρό βάρος των ζιζανίων στις 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ), κατά το πρώτο πειραματικό έτος για τον αγρό στην Ορεσιτιάδα. Όπου R^2 το ποσοστό διασποράς (%).



Εικόνα 3.4 Χλωρωτικά συμπτώματα που προκάλεσε το μίγμα rygoxulam+florasulam στο είδος *Lolium rigidum* στον πειραματικό αγρό στην Ορεσιτιάδα.

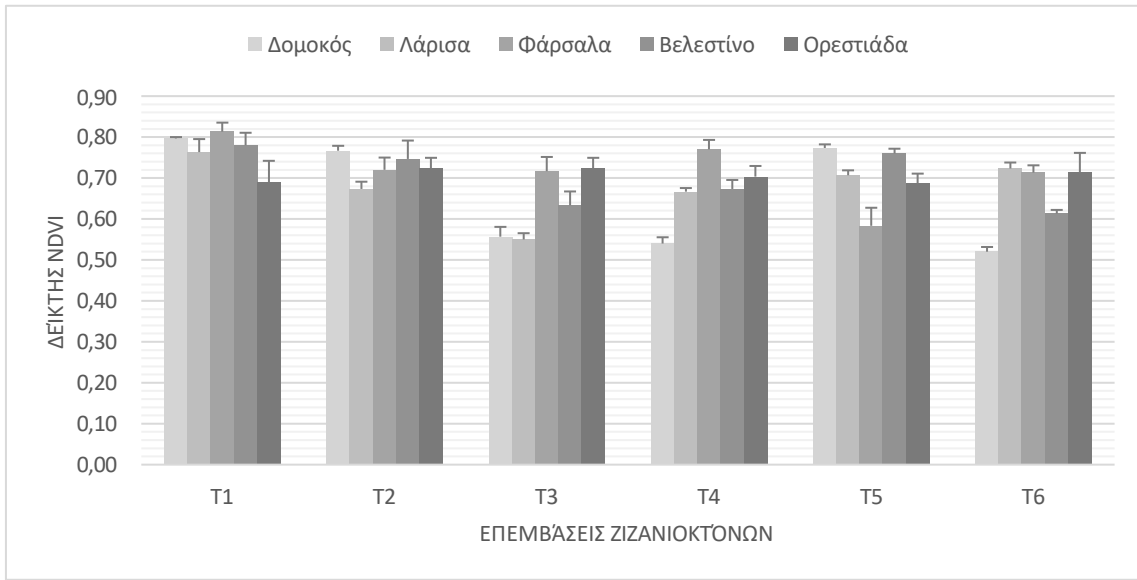
3.1.1.6 Δείκτης NDVI και πληθυσμιακοί δείκτες ανά έτος πειραματισμού

Και τα δύο έτη πειραματισμού, σημειώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των παραγόντων επέμβαση και περιοχή για τον δείκτη NDVI στις 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (Πίνακας 3.9). Στο Διάγραμμα 3.18, παρατηρούμε ότι το εύρος των τιμών του NDVI είναι 0,52-0,81, ενώ στο Διάγραμμα 3.19 είναι 0,51-0,76. Αξίζει να σημειωθεί, ότι συνολικά οι τιμές της μεταβλητής NDVI το πρώτο έτος είναι υψηλότερες από αυτές του δεύτερου (Διάγραμμα 3.18; Διάγραμμα 3.19). Συμπερασματικά, φαίνεται ότι οι διαφορές που εντοπίστηκαν μπορεί να οφείλονται στις διαφορετικές εδαφοκλιματικές συνθήκες.

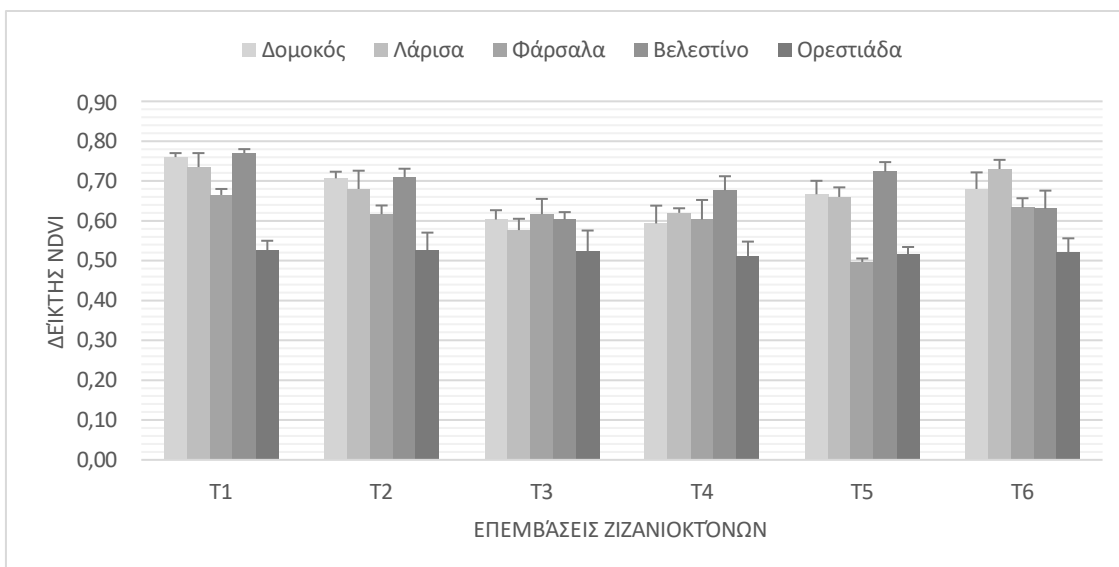
Στον Πίνακα 3.10, παρουσιάζονται η συνολική πυκνότητα των ζιζανίων και η πυκνότητα του κυρίαρχου ζιζανίου σε κάθε πειραματικό αγρό ανά έτος πειραματισμού. Στον πειραματικό αγρό στο Δομοκό και τα δύο έτη πειραματισμού, κυρίαρχο ζιζάνιο αποτέλεσε το *S. arvensis* (13-14 φυτά m⁻²) με την συνολική πυκνότητα των ζιζανίων να κυμαίνεται από 18-20 φυτά m⁻² (Πίνακας 3.10). Τόσο στο πειραματικό αγρό στη Λάρισα, όσο και στα Φάρσαλα, κυριάρχησε το είδος *A. sterilis* (Πίνακας 3.10). Για τους παραπάνω αγρούς, ο δείκτης Simpson επιβεβαιώνει την κυριαρχία των ειδών υποδεικνύοντας χαμηλή ποικιλομορφία με τιμές του να κυμαίνονται από 0,45-0,58 (Πίνακας 3.10; Πίνακας 3.11). Συνολικά, φαίνεται ότι σε κάθε πειραματικό αγρό το κυρίαρχο είδος αποτελούσε σχεδόν το 70% της συνολικής πυκνότητας (Πίνακας 3.10). Αυτό το αποτέλεσμα επαληθεύεται από τον δείκτη Simpson, ο οποίος υπέδειξε χαμηλή ποικιλομορφία για το σύνολο των πειραματικών αγρών και τα δύο πειραματικά έτη (Πίνακας 3.11). Αξίζει να σημειωθεί, ότι τα είδη που χαρακτηρίστηκαν κυρίαρχα ήταν τα ίδια για τα οποία οι καλλιεργητές είχαν αναφέρει δυσκολία διαχείριση τους.

Μεγάλο ενδιαφέρον έχει η σύνδεση του δείκτη NDVI, της πυκνότητας- των ειδών των ζιζανίων και του δείκτη Simpson. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο πειραματικός αγρός στην Ορεστιάδα, όπου η μέθοδος δεν λειτούργησε (βλ. Ενότητα 3.1.2.3). Στον συγκεκριμένο πειραματικό αγρό, καταγράφηκε υψηλή πυκνότητα ήρας και τα δύο έτη πειραματισμού (13-19 φυτά m⁻²) και χαμηλή ποικιλομορφία (D=0,53-0,57). Συνεπώς, η ήρα αποτέλεσε το κυρίαρχο είδος. Η ήρα μορφολογικά έχει πολλές ομοιότητες με το σιτάρι όταν και τα δύο βρίσκονται σε μικρό αναπτυξιακό στάδιο και όπως φαίνεται οι επιπτώσεις της ζιζανιοκτονίας δεν μπόρεσαν να αποτυπωθούν στις τιμές του δείκτη NDVI (Διάγραμμα 3.18; Διάγραμμα 3.19). Αντιθέτως, στο Βελεστίνο και στο Δομοκό, όπου τα κυρίαρχα ζιζάνια ήταν πλατύφυλλα, οι τιμές του δείκτη NDVI

υπέδειξαν διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων (Διάγραμμα 3.18; Διάγραμμα 3.19; Πίνακας 3.10). Τέλος, στη Λάρισα και στα Φάρσαλα, όπου το κυρίαρχο είδος ήταν η αγριοβρώμη (αγρωστώδες), ο αισθητήρας έδειξε διαφορές στις 14 ημέρες μετά την επέμβαση των ζιζανιοκτόνων (Διάγραμμα 3.18; Διάγραμμα 3.19; Πίνακας 3.10), γεγονός που οφείλεται στην μορφολογία του είδους σε σχέση με το σιτάρι.



Διάγραμμα 3.18 Ο δείκτης NDVI 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ) για κάθε πειραματικό αγρό κατά το πρώτο έτος πειραματισμού. T1= μάρτυρας, T2= 2,4 D- ester, T3= pyraoxulam+florasulam, T4=clopyralid+florasulam, T5= mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium, T6= fenoxaprop-P-ethyl.



Διάγραμμα 3.19 Ο δείκτης NDVI 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ) για τον κάθε πειραματικό αγρό κατά το δεύτερο έτος πειραματισμού. T1= μάρτυρας, T2= 2,4 D- ester, T3= pyroxsulam+florasulam, T4=clopyralid+florasulam, T5= mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium, T6= fenoxaprop-P-ethyl.

Πίνακας 3.9 Ανάλυση της διακύμανσης για την επίδραση των επεμβάσεων και των πειραματικών αγρών στις τιμές της μεταβλητής NDVI το πρώτο και το δεύτερο έτος πειραματισμού.

1° Πειραματικό έτος					
	AT	BE	MT	F-ratio	P-value
Πειραματικός αγρός	0,106904	5	0,026726	4,84	0,0015
Επέμβαση	0,147182	4	0,03	5,33	0,0003
Σφάλμα	0,441896	110	0,01		
Σύνολο	0,695982	119			
2° Πειραματικό έτος					
	AT	BE	MT	F-ratio	P-value
Πειραματικός αγρός	0,168966	5	0,033793	6,76	0,0000
Επέμβαση	0,333882	4	0,083471	16,7	0,0000
Σφάλμα	0,399918	110	0,004999		
Σύνολο	0,902766	119			

Πίνακας 3.10 Η συνολική πυκνότητα και η πυκνότητα του κυρίαρχου ζιζανίου για κάθε πειραματικό αγρό ανά έτος πειραματισμού. Η πυκνότητα εκφράζεται σε φυτά m⁻².

Δομοκός		
Πειραματικό έτος	<i>S. arvensis</i> (φυτά m ⁻²)	Συνολική (φυτά m ⁻²)
1	13	18
2	14	20
Λάρισα		
Πειραματικό έτος	<i>A. sterilis</i> (φυτά m ⁻²)	Συνολική (φυτά m ⁻²)
1	13	20
2	15	20
Φάρσαλα		
Πειραματικό έτος	<i>A. sterilis</i> (φυτά m ⁻²)	Συνολική (φυτά m ⁻²)
1	13	19
2	8	12
Βελεστίνο		
Πειραματικό έτος	<i>G. aparine</i> (φυτά m ⁻²)	Συνολική (φυτά m ⁻²)
1	14	19
2	10	13
Ορεσιάδα		
Πειραματικό έτος	<i>Lolium rigidum</i> (φυτά m ⁻²)	Συνολική (φυτά m ⁻²)
1	13	19
2	19	25

Πίνακας 3.11 Ο δείκτης Simpson των υποτεμάχιων T1-T7 για τους πειραματικούς αγρούς της καλλιέργειας του σιταριού. Όπου LSD= Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά και P-value= Τιμή Σημαντικότητας.

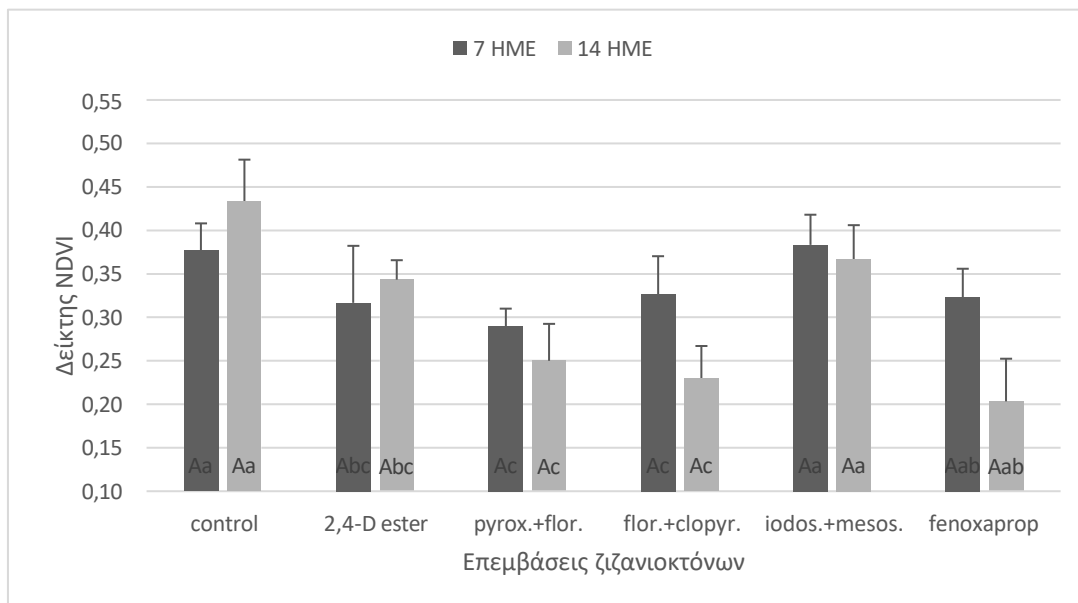
Δομοκός								
Παράγοντας	Υποτεμάχια						P-value	LSD
	T1	T2	T3	T4	T5	T6		
Πειραμ. Έτος 1	0,30Aa	0,32Aa	0,35Aa	0,39Aa	0,32Aa	0,33Aa	0,3246	0,03526
Πειραμ. Έτος 2	0,36Aa	0,33Aa	0,34Aa	0,35Aa	0,35Aa	0,35Aa		
Λάρισα								
Παράγοντας	Υποτεμάχια						P-value	LSD
	T1	T2	T3	T4	T5	T6		
Πειραμ. Έτος 1	0,46Aab	0,49Aab	0,52Aa	0,47Aab	0,48Aab	0,46Ab	0,3366	0,02326
Πειραμ. Έτος 2	0,48Aab	0,49Aab	0,48Aa	0,45Aab	0,48Aab	0,45Ab		
Φάρσαλα								
Παράγοντας	Υποτεμάχια						P-value	LSD
	T1	T2	T3	T4	T5	T6		
Πειραμ. Έτος 1	0,52Aa	0,53Aa	0,53Aa	0,53Aa	0,52Aa	0,54Aa	0,3101	0,01890
Πειραμ. Έτος 2	0,55Aa	0,58Aa	0,55Aa	0,55Aa	0,52Aa	0,56Aa		
Βελεστίνο								
Παράγοντας	Υποτεμάχια						P-value	LSD
	T1	T2	T3	T4	T5	T6		
Πειραμ. Έτος 1	0,49Aa	0,4Aab	0,49Aab	0,42Aab	0,40Ab	0,40Ab	0,0074	0,0238723
Πειραμ. Έτος 2	0,64Aa	0,69Aab	0,60Aab	0,60Aab	0,61Ab	0,65Ab		
Ορεσιάδα								
Παράγοντας	Υποτεμάχια						P-value	LSD
	T1	T2	T3	T4	T5	T6		
Πειραμ. Έτος 1	0,54Aab	0,51Aa	0,55Aab	0,54Aab	0,55Aab	0,53Ab	0,3717	0,0225
Πειραμ. Έτος 2	0,56Aab	0,53Aa	0,55Aab	0,55Aab	0,57Aab	0,54Ab		

3.1.2 Αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ζιζανιοκτόνων σε φυτοδοχεία για την καλλιέργεια του σιταριού

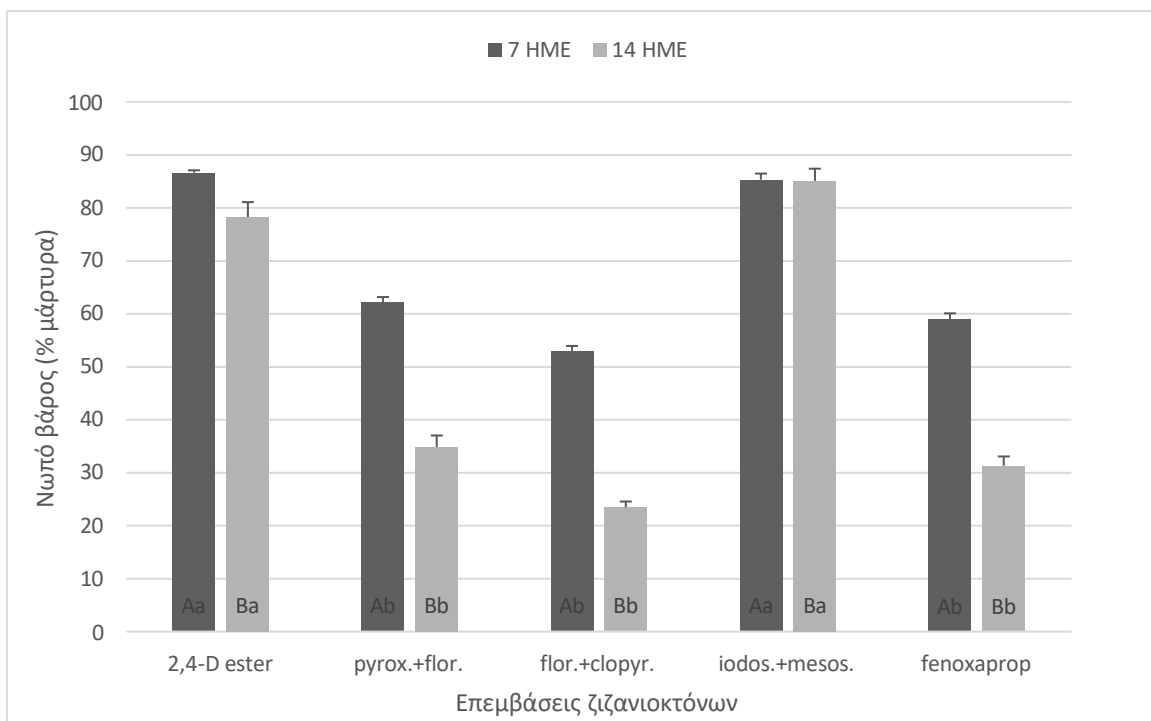
3.1.2.1 *Sinapis arvensis* – Πειραματικός αγρός Δομοκού

Η μεταβλητή NDVI βοήθησε στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των ζιζανιοκτόνων, αφού στατιστικά σημαντικές διαφορές υπήρξαν μεταξύ των επεμβάσεων τόσο στις 7 όσο και στις 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (Πίνακας 3.12). Η μείωση των τιμών του NDVI, που παρατηρούμε 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων, οφείλεται στην αύξηση των συμπτωμάτων φυτοτοξικότητας (Διάγραμμα 3.20).

Όπως παρατηρούμε στο Διάγραμμα 3.20, η τιμή του NDVI παραμένει σταθερά υψηλή σε σχέση με τον μάρτυρα μετά την εφαρμογή του μίγματος iodosulfuron methyl+mesosulfuron methyl. Το ίδιο ισχύει και για τις τιμές του νωπού βάρους, οι οποίες κυμαίνονται σε ποσοστό 85% επί του μάρτυρα (Διάγραμμα 3.21). Αυτό το ποσοστό υποδεικνύει πιθανή ανθεκτικότητα του *Sinapis arvensis* στα συγκεκριμένα ζιζανιοκτόνα (σουλφονουλουρίες). Αυτό το αποτέλεσμα έρχεται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα, που προέκυψαν από το πείραμα σε συνθήκες αγρού.



Διάγραμμα 3.20 Ο δείκτης NDVI του *Sinapis arvensis* 7 και 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων.



Διάγραμμα 3.21 Το νωπό βάρος του *Sinapis arvensis* 7 και 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων εκφρασμένοι ως ποσοστό επί του μάρτυρα.

Πίνακας 3.12 Ανάλυση της διακύμανσης για την επίδραση των επεμβάσεων και των ημερών μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (7 HME και 14 HME) στις τιμές των μεταβλητών NDVI και νωπό βάρος του ζιζανίου *Sinapis Arvensis*.

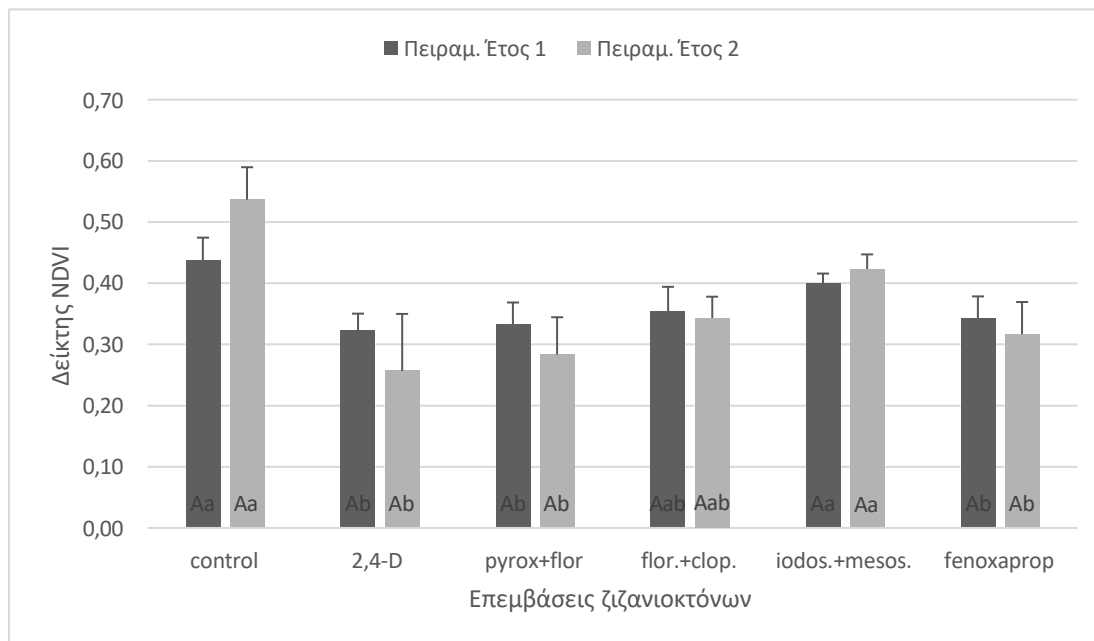
NDVI					
	AT	BE	MT	F-ratio	P-value
Επέμβαση	0,111967	5	0,022393	4,93	0,0022
HME	0,013611	1	0,013611	2,99	0,0942
Σφάλμα	0,131822	41	0,004546		
Σύνολο	0,2574	47			
Νωπό βάρος					
	AT	BE	MT	F-ratio	P-value
Επέμβαση	11788,5	4	2947,13	16,1	0,0000
HME	2613,33	1	2613,33	14,28	0,0009
Σφάλμα	4392	34	183		
Σύνολο	18793,9	39			

3.1.2.2 *Galium aparine*- Πειραματικός αγρός Βελεστίου

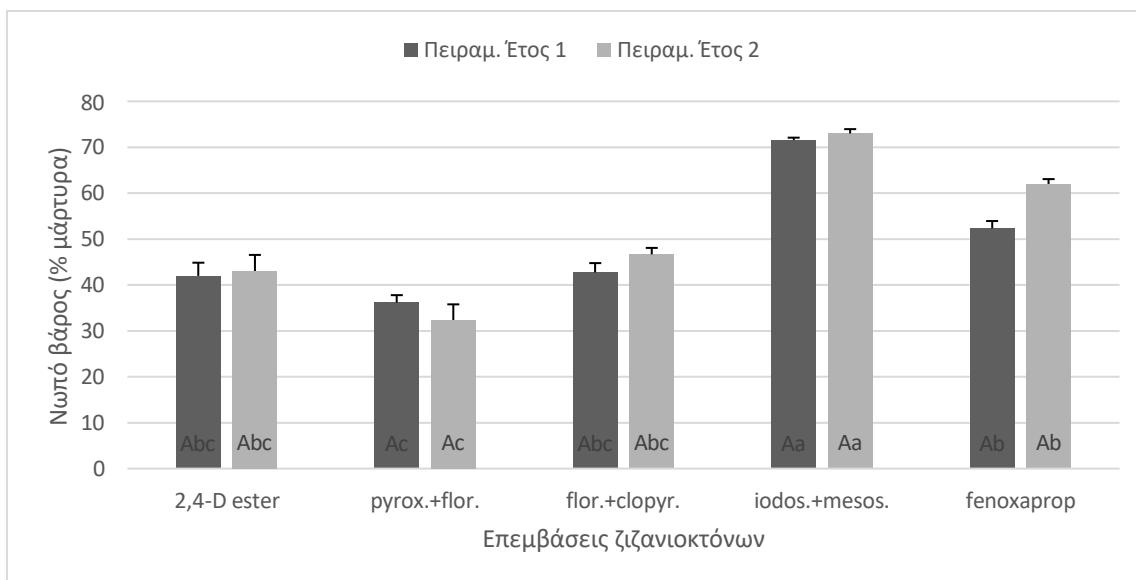
Στο Διάγραμμα 3.23, παρατηρούμε το χαμηλό νωπό βάρος (32-36%) της επέμβασης ργοxsulam+florasulam. Εξίσου χαμηλές ήταν οι τιμές του δείκτη NDVI μετά την εφαρμογή του μίγματος (Διάγραμμα 3.22). Επομένως, φαίνεται ότι το μίγμα ργοxsulam+florasulam διαθέτει υψηλή αποτελεσματικότητα έναντι του *Galium aparine*.

Αντίθετα, στις δύο μεταβλητές (δείκτης NDVI-νωπό βάρος) παρατηρούμε υψηλές τιμές μετά την εφαρμογή του μίγματος iodosulfuron methyl+mesosulfuron methyl (Διαγράμματα 3.22 & 3.23). Πιο αναλυτικά, η πιο υψηλή τιμή NDVI που σημειώθηκε ήταν 0,46 με την τιμή του μάρτυρα να είναι 0,54 και το νωπό βάρος 73% επί του μάρτυρα. Η χαμηλή αποτελεσματικότητα του μίγματος αποτυπώθηκε και στο πείραμα αγρού στο Βελεστίνο (Ενότητα 3.1.1.4).

Τέλος, οι μεταβλητές NDVI-νωπό βάρος παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων και τα δύο πειραματικά έτη, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.13.



Διάγραμμα 3.22 Ο δείκτης NDVI του *Galium aparine* 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων για το πρώτο και το δεύτερο έτος πειραματισμού.



Διάγραμμα 3.23 Το νωπό βάρος του *Galium aparine* 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων για το πρώτο και το δεύτερο έτος πειραματισμού εκφρασμένοι ως ποσοστό επί του μάρτυρα.

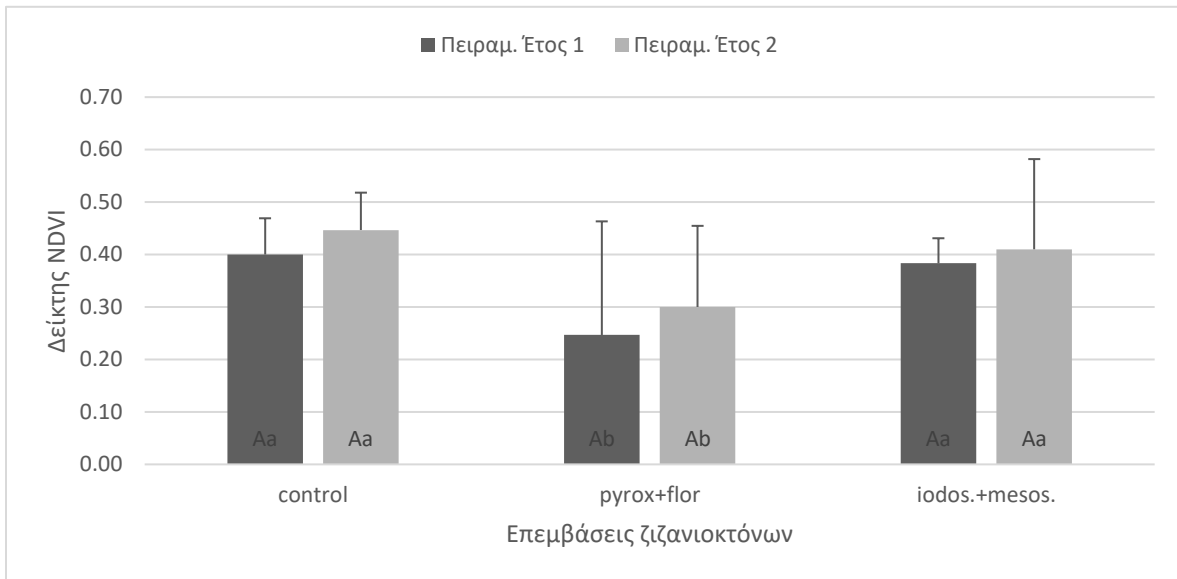
Πίνακας 3.13 Το νωπό βάρος του *Galium aparine* 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων για το πρώτο και το δεύτερο έτος πειραματισμού εκφρασμένοι ως ποσοστό επί του μάρτυρα.

NDVI					
	AT	BE	MT	F-ratio	P-value
Επέμβαση	0,154589	5	0,030918	3,73	0,0099
Έτος	0,0009	1	0,0009	0,11	0,7441
Σφάλμα	0,240333	41	0,008287		
Σύνολο	0,395822	47			
Νωπό βάρος					
	AT	BE	MT	F-ratio	P-value
Επέμβαση	5317	4	1329,25	8,39	0,0002
Έτος	45,6333	1	45,6333	0,29	0,5964
Σφάλμα	3801,53	34	158,397		
Σύνολο	9164,17	39			

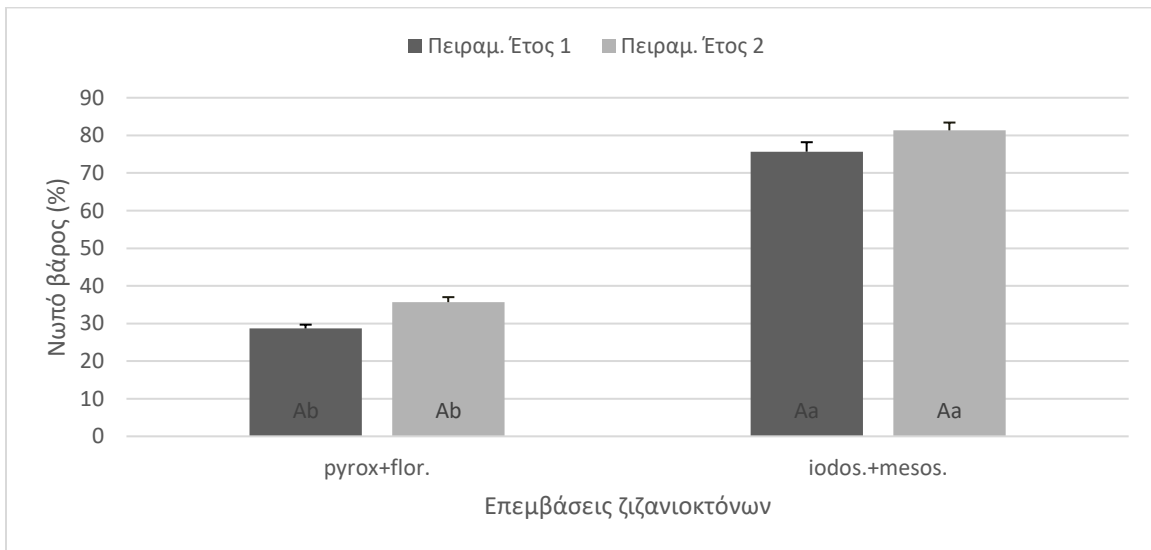
3.1.2.3 *Lolium rigidum*- Πειραματικός αγρός Ορεστιάδας

Το πρώτο πειραματικό έτος σημειώθηκε μείωση του δείκτη NDVI 37,5% σε σχέση με τον μάρτυρα στις 14 ημέρες μετά την εφαρμογή του ζιζανιοκτόνου rygoxulam+florasulam (Διάγραμμα 3.24). Επίσης, το δεύτερο έτος η μείωση ήταν 35% συγκριτικά με τον μάρτυρα (Διάγραμμα 3.24). Οι τιμές του νωπού βάρους ήταν αντίστοιχα χαμηλές (Διάγραμμα 3.25). Συνεπώς, το μίγμα rygoxulam+florasulam κρίνεται αποτελεσματικό έναντι του *Lolium* spp. Αντιθέτως, παρατηρούμε ότι προέκυψαν υψηλές τιμές συγκριτικά με τους μάρτυρες για τις μεταβλητές NDVI και νωπό βάρος μετά την εφαρμογή του μίγματος iodosulfuron methyl+mesosulfuron methyl (Διάγραμμα 3.24; Διάγραμμα 3.25). Πιο αναλυτικά, το ποσοστό νωπού βάρους ήταν 52% το πρώτο πειραματικό έτος και 62% το δεύτερο (Διάγραμμα 3.25). Όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.13, στατιστικά σημαντικές διαφορές προέκυψαν μεταξύ επεμβάσεων για τις μεταβλητές NDVI-νωπό βάρος. Από την άλλη, μεταξύ των ετών πειραματισμού δεν υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (Πίνακα 3.14). Σύμφωνα με τα παραπάνω, ο βιότυπος του είδους *Lolium rigidum* χαρακτηρίζεται πιθανώς ανθεκτικός (putative resistant) στο μίγμα. Μειωμένη αποτελεσματικότητα προέκυψε και από το πείραμα αγρού στην Ορεστιάδα (Ενότητα 3.1.1.5) σύμφωνα με το ξηρό βάρος όπως αυτό προέκυψε 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων.

Τα αποτελέσματα δείχνουν σε γενικές γραμμές μια αναμενόμενη ικανοποιητική συσχέτιση μεταξύ του δείκτη NDVI και του φθορισμού της χλωροφύλλης (Fv/Fm) (Πίνακας 3.15). Συγκεκριμένα, στην περίπτωση ενός ζιζανιοκτόνου, όπως το μίγμα των σουλφονουριών iodosulfuron+mesosulfuron με χαμηλή έως μέτρια αποτελεσματικότητα έναντι του ζιζανίου, τα δύο μεγέθη δεν μεταβάλλονταν σημαντικά στην πάροδο του χρόνου (έως τις 21 HME). Αντίθετα, στην περίπτωση του πιο αποτελεσματικού rygoxulam+florasulam, η μέτρηση του δείκτη NDVI έδωσε σημαντικές διαφορές από τις 7 ημέρες μετά την εφαρμογή, κάτι που δεν ίσχυε για τον λόγο Fv/Fm, ο οποίος και ξεκίνησε να μεταβάλλεται σημαντικά στις 14 ημέρες μετά την εφαρμογή. Συνεπώς, τα δεδομένα μας δείχνουν ότι η προτεινόμενη μεθοδολογία έχει τη δυνατότητα της ταχείας εκτίμησης της αποτελεσματικότητας ζιζανιοκτόνων έναντι ζιζανίων, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν υπάρχουν περιορισμοί και περιπτώσεις στις οποίες η μέθοδος δεν είναι επιτυχημένη.



Διάγραμμα 3.24 Ο δείκτης NDVI του *Lolium rigidum* 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων για το πρώτο και το δεύτερο έτος πειραματισμού.



Διάγραμμα 3.25 Το νωπό βάρος του *Lolium rigidum* 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων για το πρώτο και το δεύτερο έτος πειραματισμού εκφρασμένο ως ποσοστό επί του μάρτυρα.

Πίνακας 3.14 Ανάλυση της διακύμανσης για την επίδραση των επεμβάσεων και των ετών πειραματισμού στις τιμές των μεταβλητών NDVI και νωπό βάρος του *Lolium rigidum* 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων.

NDVI					
	AT	BE	MT	F-ratio	P-value
Επέμβαση	0,07685	3	0,025617	6,99	0,0023
Έτος	0,00735	1	0,00735	2,01	0,1728
Σφάλμα	0,069583	27	0,003662		
Σύνολο	0,153783	31			
Νωπό βάρος					
	AT	BE	MT	F-ratio	P-value
Επέμβαση	6449,33	2	3224,67	9,72	0,0023
Έτος	6,72222	1	6,72222	0,02	0,8888
Σφάλμα	4642,44	20	331,603		
Σύνολο	11098,5	23			

Πίνακας 3.15 Μέσοι όροι των τιμών δείκτη NDVI και του λόγου Fv/Fm για τη λεπτή ήρα (*Lolium rigidum*) στις 1, 2, 5, 7, 10, 14 και 21 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (α) pyroxsulam+florasulam και (β) iodosulfuron+mesosulfuron (πρώτο έτος). Όπου R²= ποσοστά διασποράς.

(α) pyroxsulam+florasulam

HME	1	2	5	7	10	14	21
NDVI	0,45	0,42	0,36	0,28	0,28	0,25	0,22
Fv/Fm	0,71	0,70	0,68	0,68	0,66	0,58	0,51
R ²	81%						

(β) iodosulfuron+mesosulfuron

HME	1	2	5	7	10	14	21
NDVI	0,44	0,44	0,41	0,39	0,38	0,38	0,41
Fv/Fm	0,72	0,70	0,68	0,68	0,65	0,62	0,62
R ²	71%						



Εικόνα 3.5 Τα φυτά *Lolium rigidum* 7 ημέρες μετά τις εφαρμογές των ζιζανιοκτόνων (7 ΗΜΕ).

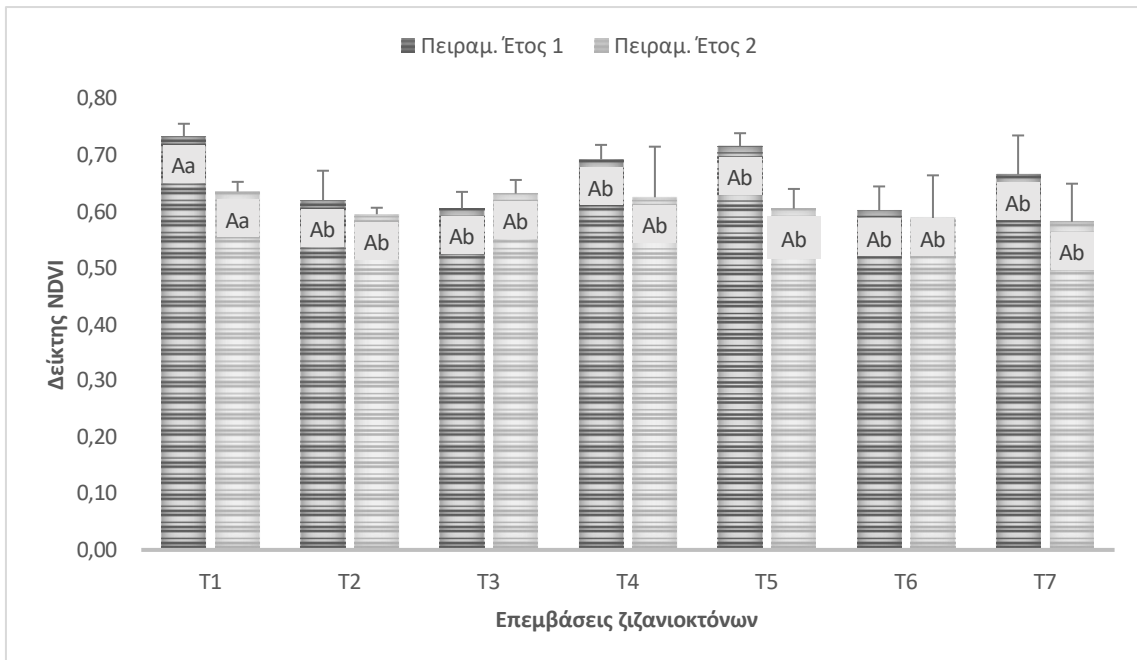
3.2 Πειράματα στη καλλιέργεια του αραβόσιτου

3.2.1 Αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ζιζανιοκτόνων in situ στη καλλιέργεια του αραβόσιτου

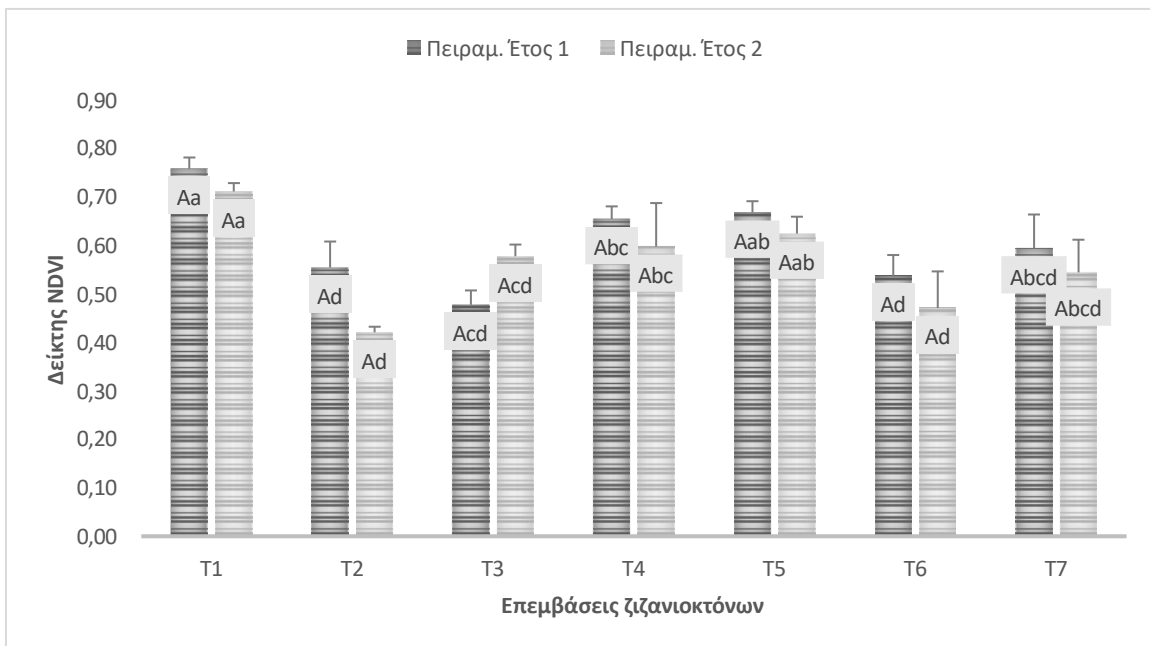
3.2.1.1 Πειραματικός αγρός Πύργος 1 (Π1)

Στον πειραματικό αγρό Πύργος 1 , 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ), διακρίνουμε υψηλές μειώσεις του NDVI σε σύγκριση με τον μάρτυρα. Συγκεκριμένα, το πρώτο πειραματικό έτος το μίγμα nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba οδήγησε σε 30,9% μείωση του NDVI σε σχέση με τον μάρτυρα (Διάγραμμα 3.27). Ωστόσο, το δεύτερο πειραματικό έτος πιο αποτελεσματικό κρίθηκε το μίγμα nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione με ποσοστιαία μείωση του NDVI 40,8% (Διάγραμμα 3.27). Τόσο στις 7 όσο και στις 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων, στατιστικά σημαντικές διαφορές υπήρξαν μεταξύ των επεμβάσεων ($P < 0,05$) αλλά όχι μεταξύ των ετών πειραματισμού (Πίνακας 3.16). Παρόλα αυτά, οι διαφορές που παρατηρήθηκαν για τον δείκτη NDVI 7 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων δεν ανέδειξαν το πιο αποτελεσματικό (Διάγραμμα 3.26; Πίνακας 3.16) . Όσον αφορά το ξηρό βάρος των ζιζανίων, το σύνολο των επεμβάσεων παρουσίασε χαμηλότερες τιμές συγκριτικά με τον μάρτυρα (Διάγραμμα 3.28). Αποτέλεσμα που αποτυπώθηκε και στην απόδοση της καλλιέργειας, όπου προέκυψαν υψηλές αποδόσεις μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (Διάγραμμα 3.29).

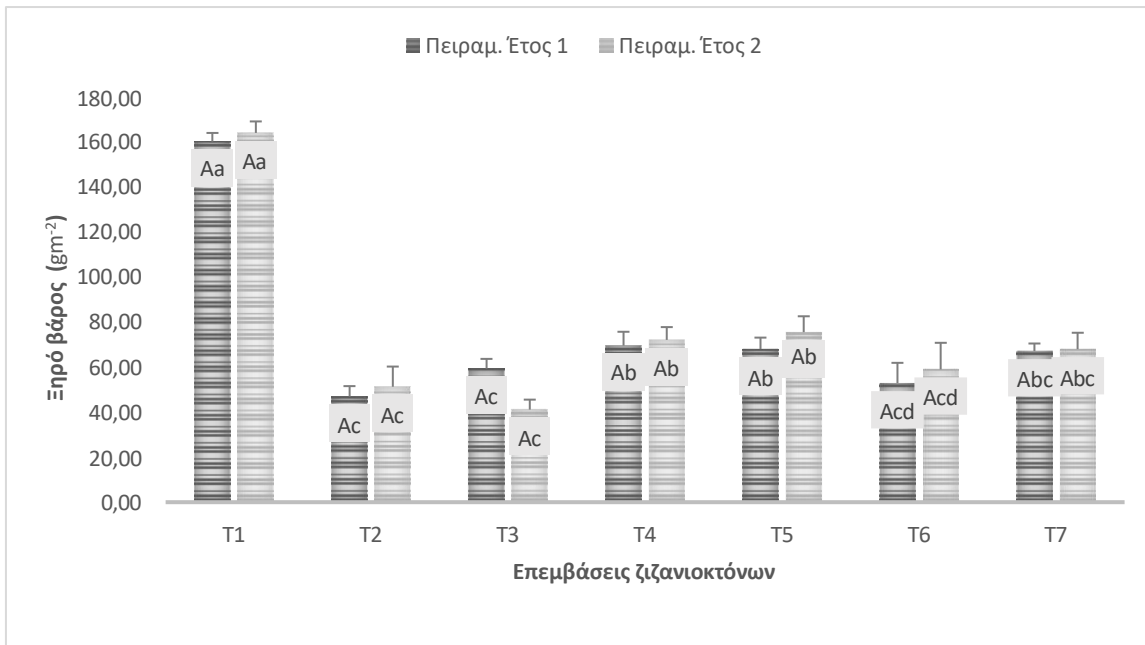
Στα Διαγράμματα 3.30 και 3.31, παρατηρούμε την υψηλή συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών NDVI-ξηρό βάρος, η οποία μας δείχνει ότι με την βοήθεια του δείκτη NDVI μπορούμε να αξιολογήσουμε την αποτελεσματικότητα των ζιζανιοκτόνων. Συγκεκριμένα, η στατιστική ανάλυση έδειξε ισχυρή συσχέτιση όπου το πρώτο πειραματικό έτος το $R^2 = 66,3\%$ και το δεύτερο το $R^2 = 63,9\%$ (Πίνακας 3.17).



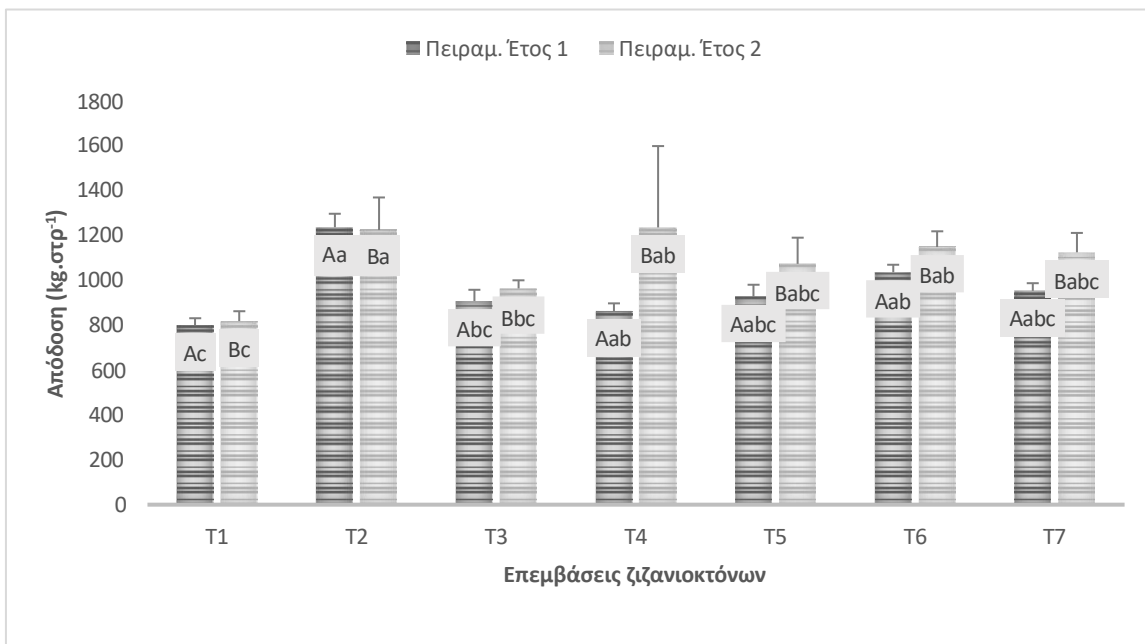
Διάγραμμα 3.26 Ο δείκτης NDVI για τον πειραματικό αγρό Π1 7 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (7 ΗΜΕ) κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. T1=μάρτυρας, T2=nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3= nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4= nicosulfuron+rimsulfuron, T5= florasulam+mesotrione, T6=mesotrione+nicosulfuron, T7= 2,4 D- ester.



Διάγραμμα 3.27 Ο δείκτης NDVI για τον πειραματικό αγρό Π1 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ) κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. T1=μάρτυρας, T2=nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3= nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4= nicosulfuron+rimsulfuron, T5= florasulam+mesotrione, T6=mesotrione+nicosulfuron, T7= 2,4 D- ester.



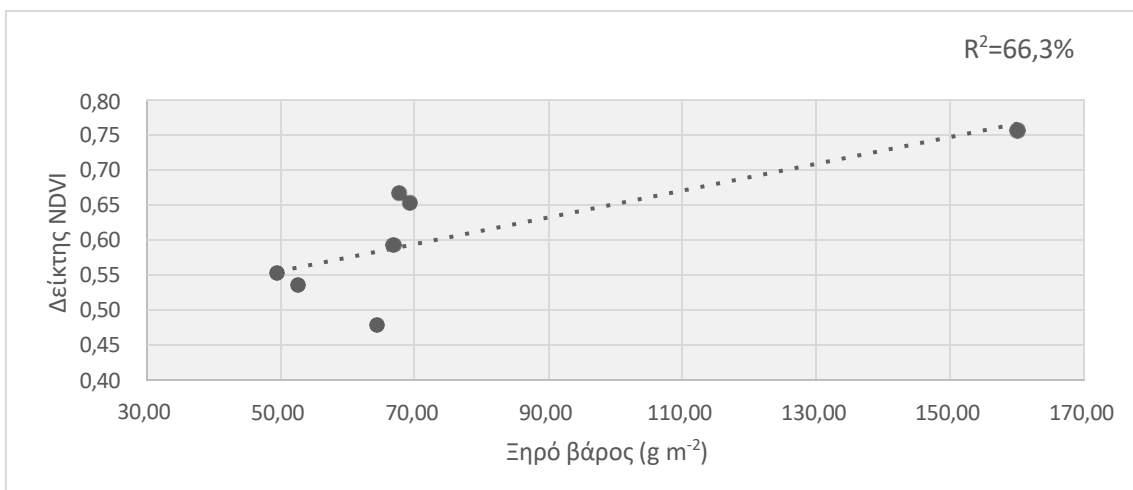
Διάγραμμα 3.28 Το ξηρό βάρος των ζιζανίων για τον πειραματικό αγρό Π1 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ) κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. T1=μάρτυρας, T2=nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3=nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4=nicosulfuron+rimsulfuron, T5= florasulam+mesotrione, T6=mesotrione+nicosulfuron, T7= 2,4 D- ester.



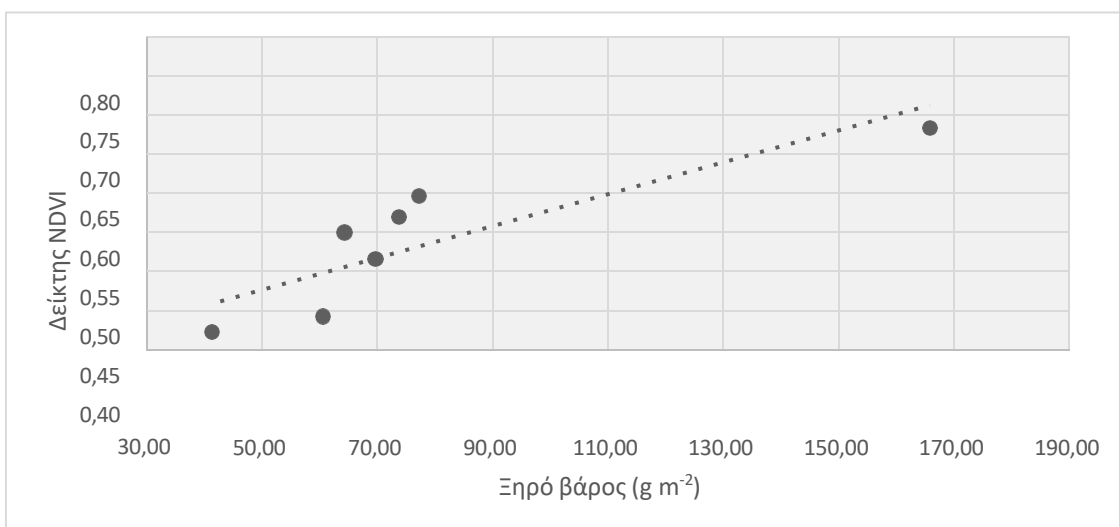
Διάγραμμα 3.29 Η απόδοση σε καρπό για τον πειραματικό αγρό Π1 κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. T1= μάρτυρας, T2= nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3= nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4= nicosulfuron+rimsulfuron, T5= florasulam+mesotrione, T6= mesotrione+nicosulfuron, T7= 2,4 D- ester

Πίνακας 3.16 Ανάλυση της διακύμανσης για την επίδραση των επεμβάσεων και των ετών πειραματισμού στις τιμές της μεταβλητής NDVI και ξηρό βάρος ζιζανίων.

NDVI (7 HME)					
	AT	BE	MT	F-ratio	P-value
Επέμβαση	0,095924	6	0,015987	2,43	0,0464
Έτος	3,81E-05	1	3,8105	0,01	0,9398
Σφάλμα	0,224029	48	0,006589		
Σύνολο	0,31999	55			
NDVI (14 HME)					
	AT	BE	MT	F-ratio	P-value
Επέμβαση	0,01886	6	0,01886	2,67	0,0001
Έτος	0,283295	1	0,047216	6,69	0,1113
Σφάλμα	0,239857	48	0,007055		
Σύνολο	0,542012	55			
Ξηρό βάρος					
	AT	BE	MT	F-ratio	P-value
Επέμβαση	56546,5	6	9424,42	77,44	0,0000
Έτος	18,5336	1	18,5336	0,15	0,6988
Σφάλμα	4137,95	48	121,704		
Σύνολο	60703	55			



Διάγραμμα 3.30 Γραμμική συσχέτιση των μεταβλητών NVDI, ξηρό βάρος των ζιζανίων 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ) για το πρώτο πειραματικό έτος για τον αγρό Π1. Όπου R² το ποσοστό διασποράς (%).



Διάγραμμα 3.31 Γραμμική συσχέτιση των μεταβλητών NVDI, ξηρό βάρος των ζιζανίων 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ) στο πρώτο πειραματικό έτος για τον αγρό Π1. Όπου R² το Ποσοστό διασποράς (%).

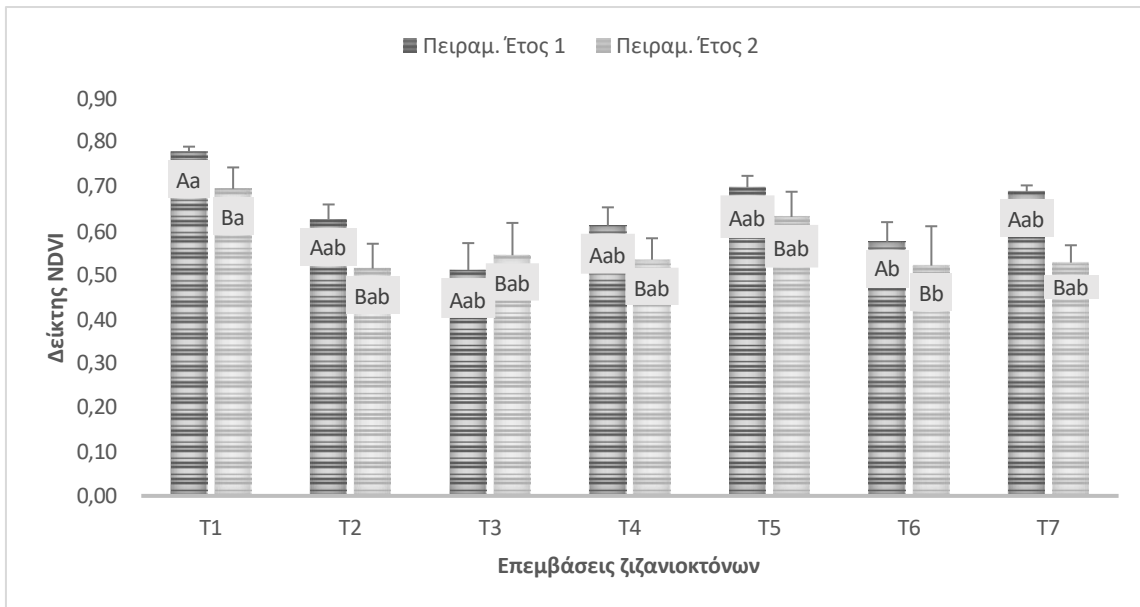
Πίνακας 3.17 Ο συντελεστής συσχέτισης (coefficient correlation) και το ποσοστό διασποράς (R-squared) για τις μεταβλητές ξηρό βάρος-δείκτης NDVI στο πρώτο και στο δεύτερο έτος πειραματισμού για τον αγρό Π1.

Πειραμ. Έτος	Συντελεστής συσχέτισης	Ποσοστό διασποράς (%)	P-value
1ο	0.8143	66.3	0.0030
2ο	0.7994	63.9	0.0041

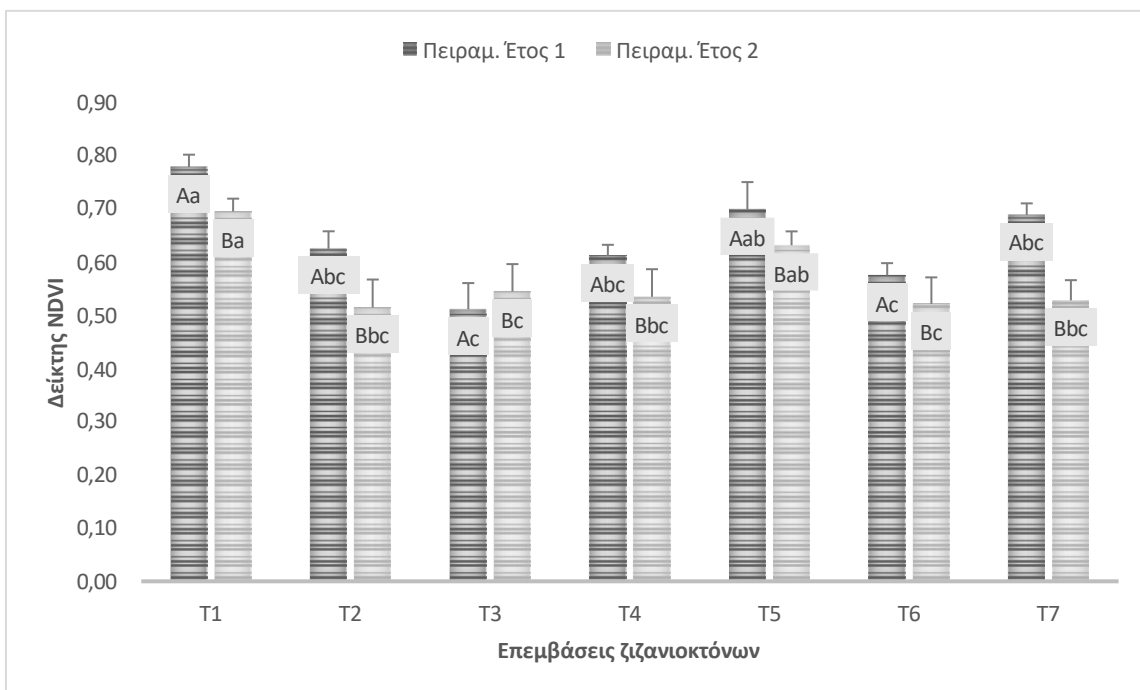
3.2.1.2 Πειραματικός αγρός Πύργος 2 (Π2)

Στο Διάγραμμα 3.32, παρουσιάζονται οι τιμές της μεταβλητής NDVI, του πειραματικού αγρού Π2, 7 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (7 ΗΜΕ), όπου η μείωση τους συγκριτικά με τον μάρτυρα δεν ήταν αξιοσημείωτη (Πίνακας 3.18). Από την άλλη, 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ) προέκυψαν σημαντικές μειώσεις των τιμών του NDVI (Διάγραμμα 3.33). Αναλυτικότερα, τόσο το πρώτο, όσο και το δεύτερο πειραματικό έτος, υψηλή αποτελεσματικότητα προέκυψε 14 ημέρες μετά την εφαρμογή του μίγματος nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba (Διάγραμμα 3.33). Τα ποσοστά μείωσης του δείκτη NDVI, που σημειώθηκαν, ήταν 34% και 26% αντίστοιχα (Διάγραμμα 3.33). Από την άλλη, το χαμηλό ποσοστό μείωσης του δείκτη NDVI, που καταγράφηκε 14 ημέρες μετά την εφαρμογή του μίγματος florasulam+mesotrione και τα δύο έτη πειραματισμού, υποδηλώνει την μειωμένη αποτελεσματικότητα (Διάγραμμα 3.33). Αυτό το αποτέλεσμα συνάδει με του ξηρού βάρους των ζιζανίων, αφού μετά την εφαρμογή του μίγματος florasulam+mesotrione προέκυψαν υψηλές τιμές συγκριτικά με τον μάρτυρα (Διάγραμμα 3.34).

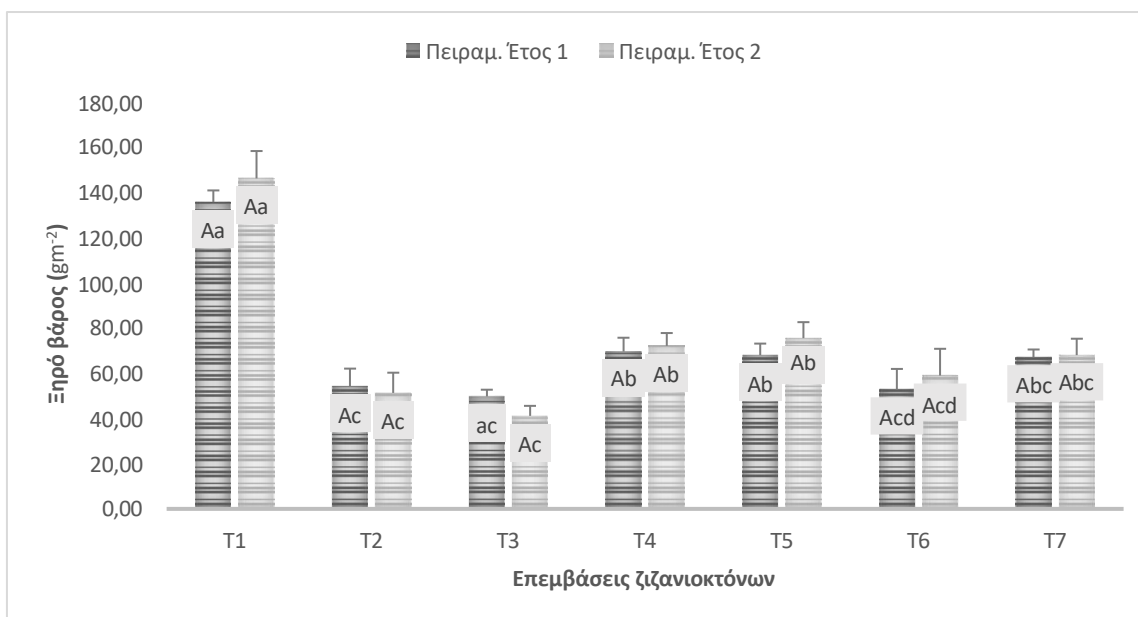
Οι συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών NDVI-ξηρό βάρος ζιζανίων τόσο το πρώτο, όσο και το δεύτερο πειραματικό έτος, ήταν ισχυρές (Διάγραμμα 3.35; Διάγραμμα 3.36; Πίνακας 3.19). Συγκεκριμένα, για το πρώτο και το δεύτερο έτος προέκυψαν $R^2= 51,37\%$ και $R^2= 42,71\%$ αντίστοιχα (Πίνακας 3.19). Τέλος, και σε αυτή την περίπτωση μπορέσαμε να αξιολογήσουμε την αποτελεσματικότητα των ζιζανιοκτόνων σε συνθήκες αγρού με την χρήση του δείκτη NDVI.



Διάγραμμα 3.32 Ο δείκτης NDVI για τον πειραματικό αγρό Π2 7 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (7 ΗΜΕ) κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. T1=μάρτυρας, T2=nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3= nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4= nicosulfuron+rimsulfuron, T5= florasulam+mesotrione, T6=mesotrione+nicosulfuron, T7= 2,4 D- ester.



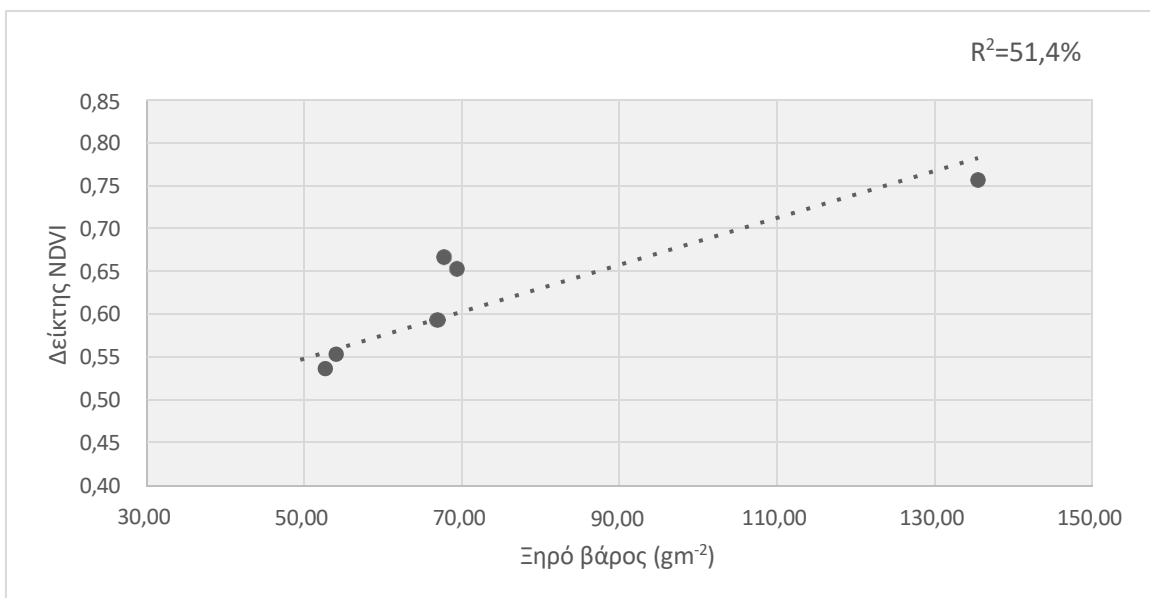
Διάγραμμα 3.33 Ο δείκτης NDVI για τον πειραματικό αγρό Π2 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ) κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. T1=μάρτυρας, T2=nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3= nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4= nicosulfuron+rimsulfuron, T5= florasulam+mesotrione, T6=mesotrione+nicosulfuron, T7= 2,4 D- ester.



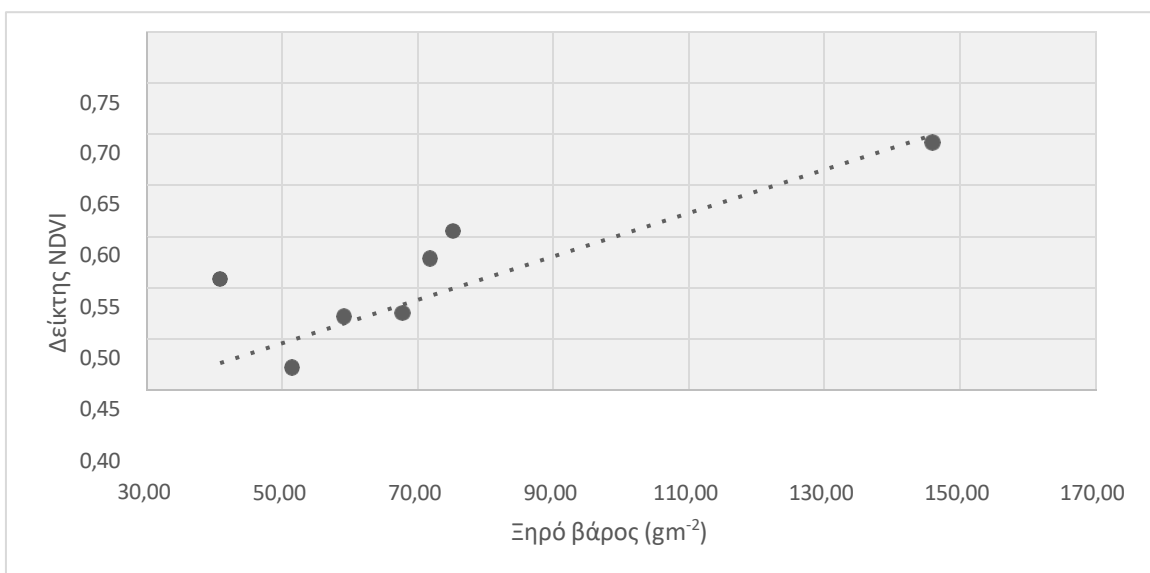
Διάγραμμα 3.34 Το ξηρό βάρος των ζιζανίων για τον πειραματικό αγρό Π2 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ) κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. Όπου T1=μάρτυρας, T2=nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3= nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4= nicosulfuron+rimsulfuron, T5= florasulam+mesotrione, T6=mesotrione+nicosulfuron, T7= 2,4 D- ester.

Πίνακας 3.18 Οι μέσοι όροι των μεταβλητών NDVI, ξηρό βάρος για τους παράγοντες επέμβαση-πειραματικό έτος του πειραματικού αγρού Π2. Όπου P-value= Τιμή Σημαντικότητας. Τα Α, Β υποδηλώνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ετών και τα a, b, c, d μεταξύ των επεμβάσεων.

Μεταβλητή	Παράγοντας	Επεμβάσεις							P-value	
	Έτος	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	Επέμβαση	Έτος
NDVI 7	1ο	0,71Aa	0,62Aab	0,60Aab	0,69Aab	0,71Aab	0,6Ab	0,66Aab	0,3086	0,3086
	2ο	0,63Ba	0,59Bab	0,63Bab	0,62Bab	0,60Bab	0,58Bb	0,58Bab		
NDVI 14	1ο	0,77Aa	0,62Abc	0,51Ac	0,61Abc	0,70Aab	0,57Ac	0,69Abc	0,0019	0,0079
	2ο	0,69Ba	0,51Bbc	0,54Bc	0,53Bbc	0,63Bab	0,52Bc	0,53Bbc		
Ξηρό βάρος	1ο	135,8Aa	54,33Ad	49,76Ad	69,63Ab	68,07Ab	52,93Ac	67,16Abc	0,0000	0,5472
	2ο	146,33Aa	51,33Ad	41,16Ad	72,17Ab	75,60Ab	59,03Ac	68,07Abc		



Διάγραμμα 3.35 Γραμμική συσχέτιση των μεταβλητών NVDI, ξηρό βάρος των ζιζανίων 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ) το πρώτο πειραματικό έτος για τον αγρό Π2. Όπου R^2 το ποσοστό διασποράς (%).



Διάγραμμα 3.36 Γραμμική συσχέτιση των μεταβλητών NVDI, ξηρό βάρος των ζιζανίων 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ) το δεύτερο πειραματικό έτος για τον αγρό Π2. Όπου R^2 το ποσοστό διασποράς (%).

Πίνακας 3.19 Γραμμική συσχέτιση των μεταβλητών NVDI, ξηρό βάρος των ζιζανίων 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ) το δεύτερο πειραματικό έτος για τον αγρό Π2. Όπου R^2 το Ποσοστό διασποράς (%).

Πειραμ. Έτος	Συντελεστής συσχέτισης	Ποσοστό διασποράς (%)	P-value
1ο	0,7167	51,37	0,0003
2ο	0,6535	42,71	0,0013



μάρτυρας

florasulam+mesotrione

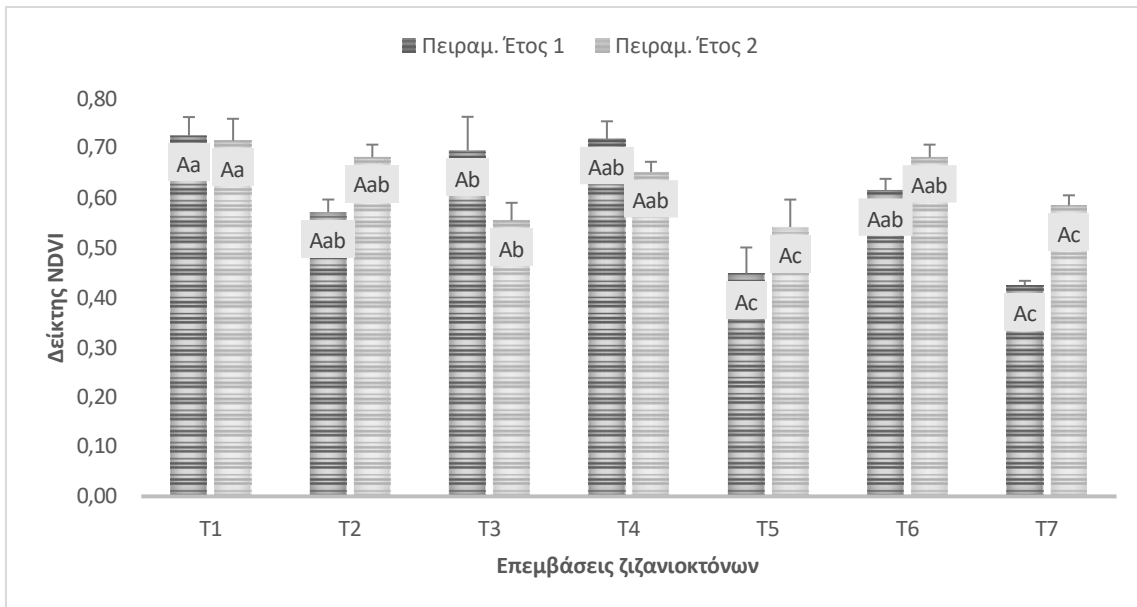
nicosulfuron+rimsulfuron+
dicamba

Εικόνα 3.6 Η πυκνότητα της ζιζανιοχλωρίδας 21 μέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (21 ΗΜΕ) στον πειραματικό αγρό Πύργος 2, κατά το δεύτερο έτος πειραματισμού.

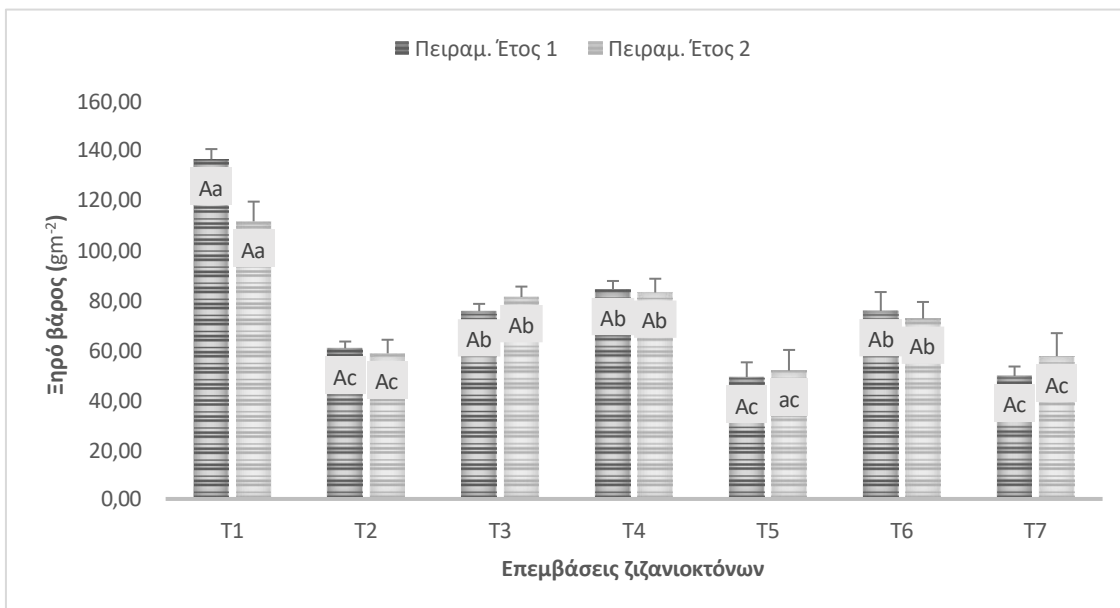
3.2.1.3 Πειραματικός αγρός Πύργος 3 (Π3)

Στον πειραματικό αγρό Π3, προέκυψε μείωση του δείκτη NDVI κατά 37,5% (πειρατικό έτος 1) και κατά 24% (πειραματικό έτος 2) 14 ημέρες μετά την εφαρμογή του μίγματος florasulam+mesotrione (Διάγραμμα 3.37). Τόσο το πρώτο πειραματικό έτος, όσο και το δεύτερο, το ξηρό βάρος των ζιζανίων 14 ημέρες μετά την εφαρμογή του παραπάνω μίγματος μειώθηκε 64% και 53% αντιστοίχως (Διάγραμμα 3.37). Αντιθέτως, σημειώθηκαν υψηλές τιμές του δείκτη NDVI 14 ημέρες μετά την εφαρμογή του μίγματος nicosulfuron+rimsulfuron (Διάγραμμα 3.37). Συγκεκριμένα, το πρώτο πειραματικό έτος η μείωση του δείκτη NDVI συγκριτικά με τον μάρτυρα ήταν 0% και το δεύτερο 8,4% (Διάγραμμα 3.37). Επίσης, από το Διάγραμμα 3.38 φαίνεται η ίδια τάση στις τιμές του ξηρού βάρους των ζιζανίων 14 ημέρες μετά την εφαρμογή του μίγματος nicosulfuron+rimsulfuron. Οι ισχυρές συσχετίσεις που σημειώθηκαν και τα δύο έτη πειραματισμού μεταξύ του δείκτη NDVI και του ξηρού βάρους των ζιζανίων επιβεβαιώνουν τα αποτελέσματα του δείκτη NDVI (Διαγραμμα 3.40; Διάγραμμα 3.41). Συνεπώς, για τα δύο έτη πειραματισμού πιο αποτελεσματικό κρίθηκε το μίγμα florasulam+mesotrione, ενώ μειωμένη αποτελεσματικότητα προέκυψε μετά την εφαρμογή του μίγματος nicosulfuron+rimsulfuron.

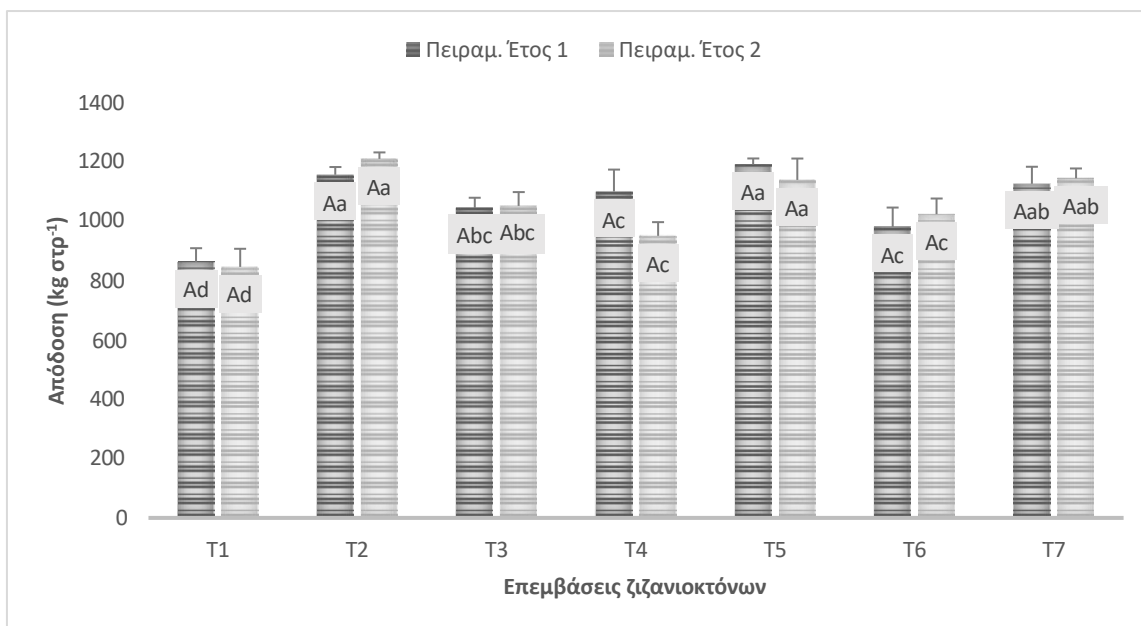
Η απόδοση για την πλειοψηφία των επεμβάσεων ήταν πιο υψηλή συγκριτικά με τον μάρτυρα, κάτι που θεωρείται αναμενόμενο (Διάγραμμα 3.39). Ωστόσο, οι πιο υψηλές αποδόσεις προέκυψαν μετά την επέμβαση T2 (nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione) και T5 (florasulam+mesotrione) (Διάγραμμα 3.39). Τέλος, σημειώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων για τις μεταβλητές NDVI-ξηρό βάρος των ζιζανίων-απόδοση, ενώ μεταξύ των ετών δεν σημειώθηκαν (Πίνακας 3.20).



Διάγραμμα 3.37 Ο δείκτης NDVI για τον πειραματικό αγρό Π3 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ) κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. Όπου T1=μάρτυρας, T2=nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3= nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4= nicosulfuron+rimsulfuron, T5= florasulam+mesotrione, T6=mesotrione+nicosulfuron, T7= 2,4 D- ester.



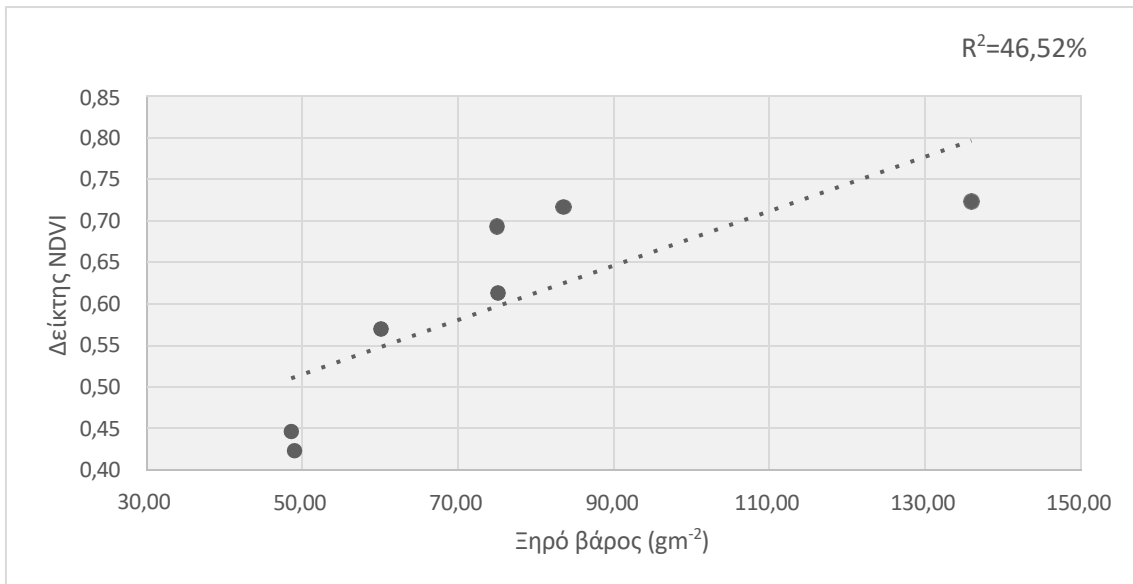
Διάγραμμα 3.38 Το ξηρό βάρος των ζιζανίων για τον πειραματικό αγρό Π3 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ) κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. Όπου T1=μάρτυρας, T2=nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3= nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4= nicosulfuron+rimsulfuron, T5= florasulam+mesotrione, T6=mesotrione+nicosulfuron, T7= 2,4 D- ester.



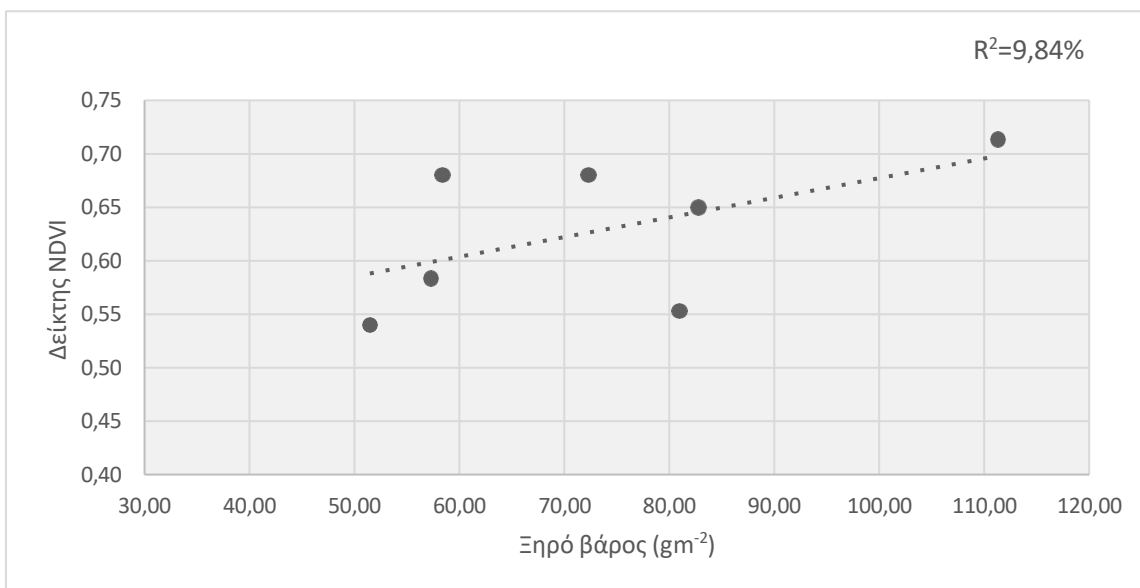
Διάγραμμα 3.39 Οι Μέσοι όροι της καλλιέργειας για τον πειραματικό αγρό Π3 κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. T1=μάρτυρας, T2=nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3=nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4=nicosulfuron+rimsulfuron, T5= florasulam+mesotrione, T6=mesotrione+nicosulfuron, T7= 2,4 D- ester.

Πίνακας 3.20 Οι μέσοι όροι των μεταβλητών NDVI, ξηρό βάρος των ζιζανίων για τους παράγοντες επέμβαση-πειραματικό έτος του πειραματικού αγρού Π3. Όπου P-value= Τιμή Σημαντικότητας. Τα A,B υποδηλώνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ετών και τα a, b, c, d μεταξύ των επεμβάσεων.

Μεταβλητή	Παράγοντας	Επεμβάσεις							P-value	
	Έτος	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	Επέμβαση	Έτος
NDVI 14	1ο	0,72Aa	0,57Aab	0,69Aa	0,72Aab	0,45Ac	0,61Aab	0,42Ac	0,0001	0,2277
	2ο	0,71Aa	0,68Aab	0,55Aa	0,65Aab	0,54Ac	0,68Aab	0,58Ac		
Ξηρό βάρος	1ο	136,17Aa	60,37Ac	75,27Ab	83,8Ab	48,83Ac	75,33Ab	49,27Ac	0,0000	0,538
	2ο	111,3Aa	58,37Ac	80,97Ab	82,77Ab	51,47Ac	72,30Ab	57,27Ac		
Απόδοση	1ο	860Ad	1153Aa	1042Abc	1097Ac	1188Aa	978Ac	1123Ab	0,0000	0,6079
	2ο	844Ad	1207Aa	1049Abc	948Ac	1136Aa	1021Ac	1142Ab		



Διάγραμμα 3.40 Γραμμική συσχέτιση των μεταβλητών NVDI, ξηρό βάρος των ζιζανίων 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ), το πρώτο πειραματικό έτος για τον αγρό Π3. Όπου R² το ποσοστό διασποράς (%).



Διάγραμμα 3.41 Γραμμική συσχέτιση των μεταβλητών NVDI, ξηρό βάρος των ζιζανίων 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ) το δεύτερο πειραματικό έτος για τον αγρό Π3. Όπου R² το ποσοστό διασποράς (%).

Πίνακας 3.21 Ο συντελεστής συσχέτισης (coefficient correlation) και το ποσοστό διασποράς (R-squared) για τις μεταβλητές ξηρό βάρος-δείκτης NDVI στο πρώτο και στο δεύτερο έτος πειραματισμού για τον αγρό Π3.

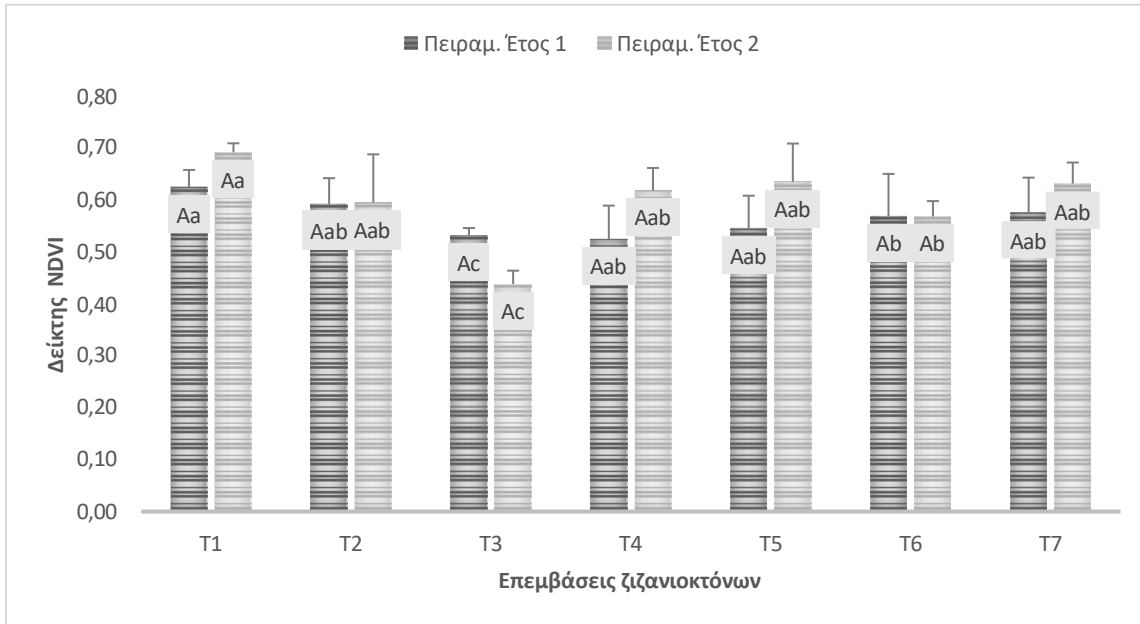
Πειραμ. Έτος	Συντελεστής συσχέτισης	Ποσοστό διασποράς (%)	P-value
1ο	0,5820	46,52	0,0007
2ο	0,3137	9,84	0,1661

3.2.1.4 Πειραματικός αγρός Πύργος 4 (Π4)

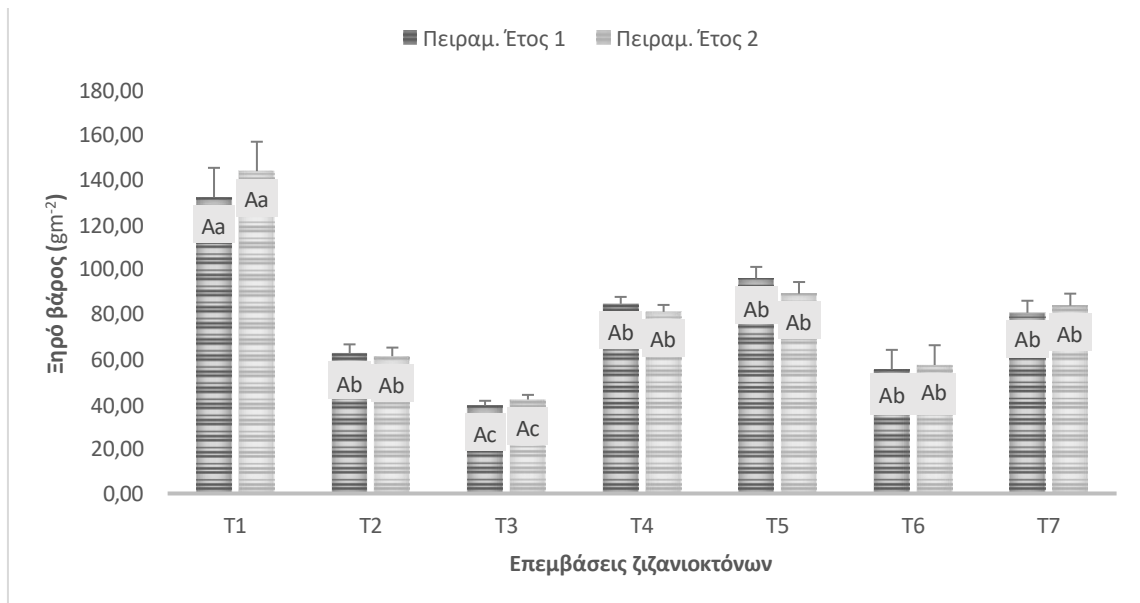
Στον πειραματικό αγρό Π4, οι επεμβάσεις T4, T5 και T6 έδειξαν την πιο χαμηλή αποτελεσματικότητα 14 ημέρες μετά την εφαρμογή τους (Διάγραμμα 3.42; Διάγραμμα 3.43). Αυτό το αποτέλεσμα αποτυπώθηκε τόσο από τις υψηλές τιμές του δείκτη NDVI όσο και του ξηρού βάρους σε σχέση με τον μάρτυρα (Διάγραμμα 3.42; Διάγραμμα 3.43). Για παράδειγμα, 14 ημέρες μετά την εφαρμογή του μίγματος nicosulfuron+rimsulfuron τα ποσοστά μείωσης του δείκτη NDVI συγκριτικά με τον μάρτυρα ήταν 6% για το πρώτο πειραματικό έτος και 13% για το δεύτερο (Διάγραμμα 3.42). Αντίθετα, κατά τα δύο έτη πειραματισμού οι χαμηλότερες τιμές του δείκτη NDVI προέκυψαν 14 ημέρες μετά την εφαρμογή του μίγματος nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba (Διάγραμμα 3.42). Πιο αναλυτικά, παρατηρήθηκε μείωση κατά 27,2% συγκριτικά με τον μάρτυρα το πρώτο έτος και κατά 40% το δεύτερο (Διάγραμμα 3.42). Όμοια τάση ακολούθησαν και οι τιμές του ξηρού βάρους των ζιζανίων, με την υψηλότερη μείωση να σημειώνεται το δεύτερο έτος πειραματισμού 14 ημέρες μετά την εφαρμογή του μίγματος nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba (71,5%) (Διάγραμμα 3.43). Επίσης, η υψηλή απόδοση, που προέκυψε και τα δύο πειραματικά έτη μετά την εφαρμογή του μίγματος nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, συνάδει με τα παραπάνω αποτελέσματα (Διάγραμμα 3.44). Στον Πίνακα 3.22, παρατηρούμε ότι υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές για τις μεταβλητές NDVI-ξηρό βάρος ζιζανίων-απόδοση μόνο μεταξύ των επεμβάσεων. Συμπερασματικά, η επέμβαση T3 (nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba) κρίθηκε η πιο αποτελεσματική για τον συγκεκριμένο πειραματικό αγρό.

Τέλος, ισχυρές συσχετίσεις σημειώθηκαν μεταξύ των μεταβλητών NDVI-ξηρό βάρος (Διάγραμμα 3.45 και 3.46). Συγκεκριμένα, το πρώτο έτος προέκυψε $R^2 = 41,56 \%$ και το δεύτερο $R^2 = 53,31\%$

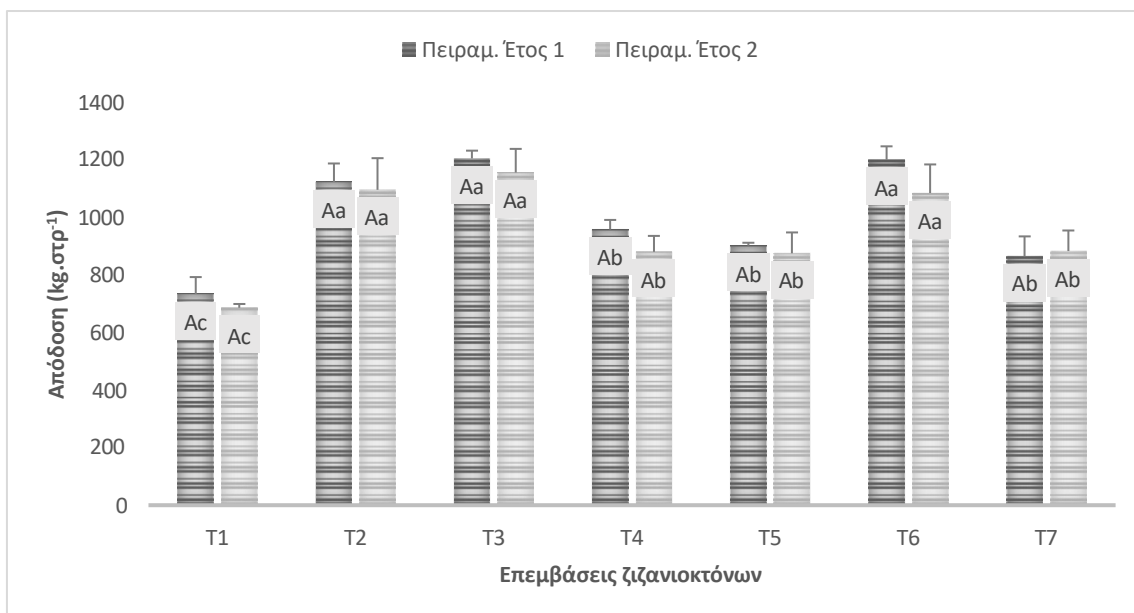
(Πίνακας 3.23). Οι υψηλές συσχετίσεις επιβεβαιώνουν την υπόθεση ότι την χρήση του δείκτη NDVI είναι εφικτή η εκτίμηση της αποτελεσματικότητας των ζιζανιοκτόνων.



Διάγραμμα 3.42 Ο δείκτης NDVI για τον πειραματικό αγρό Π4 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ) κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. T1=μάρτυρας, T2=nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3= nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4= nicosulfuron+rimsulfuron, T5= florasulam+mesotrione, T6=mesotrione+nicosulfuron, T7= 2,4 D- ester.



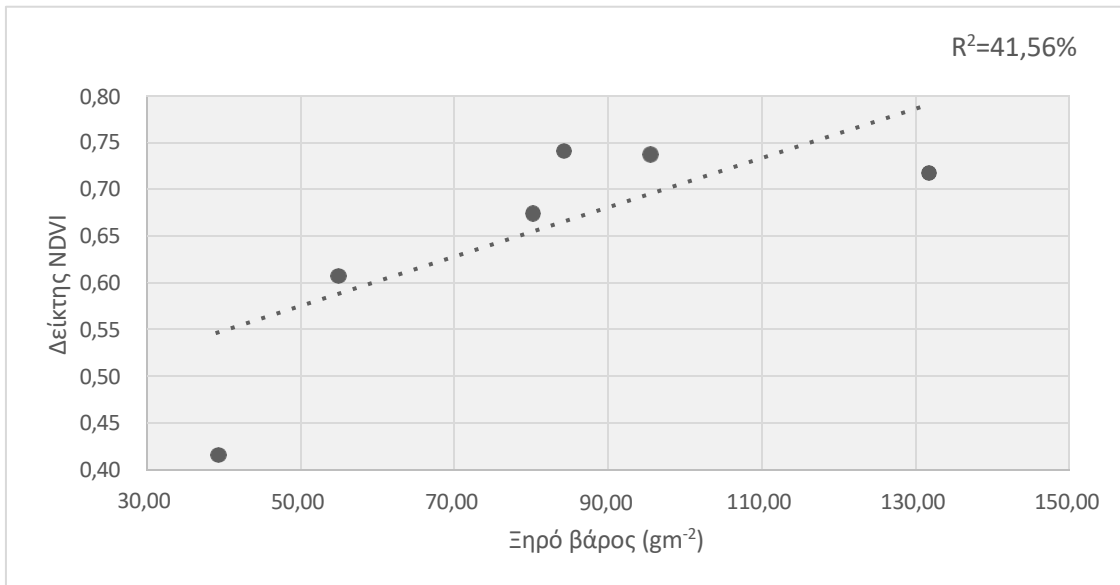
Διάγραμμα 3.43 Το ξηρό βάρος των ζιζανίων για τον πειραματικό αγρό Π4 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ) κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. T1=μάρτυρας, T2=nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3= nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4= nicosulfuron+rimsulfuron, T5= florasulam+mesotrione, T6=mesotrione+nicosulfuron, T7= 2,4 D- ester.



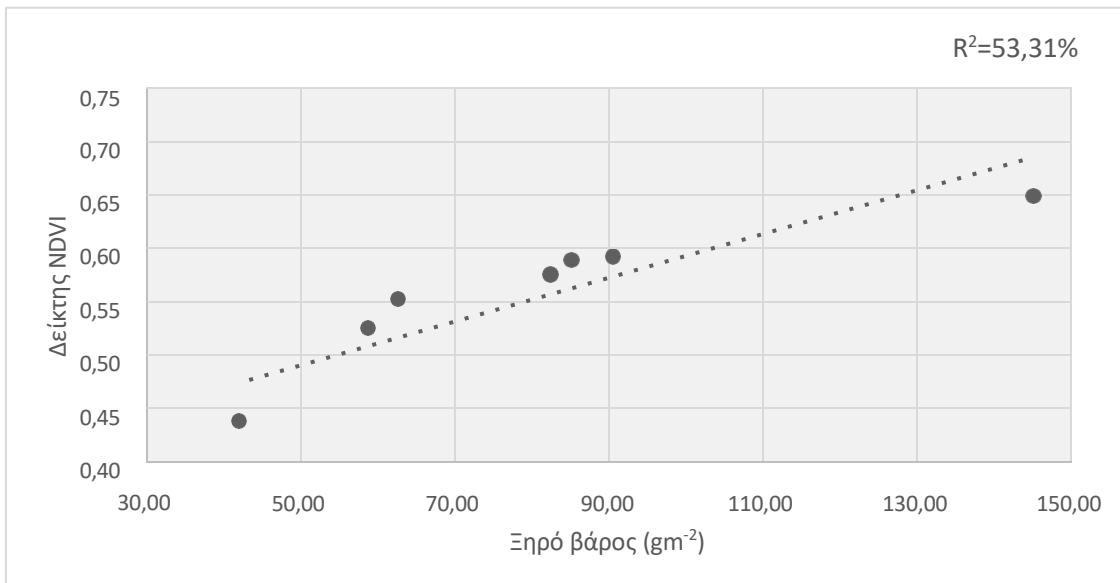
Διάγραμμα 3.44 Η απόδοση σε καρπό της καλλιέργειας για τον πειραματικό αγρό P4 κατά το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος. T1=μάρτυρας, T2=nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3=nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4= nicosulfuron+rimsulfuron, T5= florasulam+mesotrione, T6=mesotrione+nicosulfuron, T7= 2.4 D- ester.

Πίνακας 3.22 Οι μέσοι όροι των μεταβλητών NDVI, ξηρό βάρος των ζιζανίων για τους παράγοντες επέμβαση-πειραματικό έτος του πειραματικού αγρού P4. Τα A,B υποδηλώνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ετών και τα a, b, c, d μεταξύ των επεμβάσεων. Όπου P-value= Τιμή Σημαντικότητας.

Μεταβλητή	Παράγοντας	Επεμβάσεις							P-value	
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	Επέμβαση	Έτος
NDVI 14	1ο	0,66Aa	0,55Aab	0,41Ac	0,69Aab	0,68Aab	0,55Ab	0,62Aab	0,0004	0,9863
	2ο	0,69Aa	0,59Aab	0,44Ac	0,62Aab	0,63Aab	0,57Ab	0,63Aab		
Ξηρό βάρος	1ο	132,0Aa	62,6Ab	39,2Ac	84,5Ab	95,8Ab	55,2Ab	80,5Ab	0,0000	0,5153
	2ο	143,7Aa	61,2Ab	41,9Ac	80,9Ab	89,1Ab	57,3Ab	83,7Ab		
Απόδοση	1ο	732Ac	1120Aa	1202Aa	956Ab	900Ab	1197Aa	863Ab	0,0000	0,1580
	2ο	684Ac	1093Aa	1153Aa	878Ab	873Ab	1082Aa	881Ab		



Διάγραμμα 3.45 Γραμμική συσχέτιση των μεταβλητών NDVI, ξηρό βάρος των ζιζανίων 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ) το πρώτο πειραματικό έτος για τον αγρό Π4. Όπου R² το ποσοστό διασποράς (%).



Διάγραμμα 3.46 Γραμμική συσχέτιση των μεταβλητών NDVI, ξηρό βάρος των ζιζανίων 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ) το δεύτερο πειραματικό έτος για τον αγρό Π4. Όπου R² το ποσοστό διασποράς (%).

Πίνακας 3.23 Ο συντελεστής συσχέτισης (coefficient correlation) και το ποσοστό διασποράς (R-squared) για τις μεταβλητές ξηρό βάρος-δείκτης NDVI στο πρώτο και στο δεύτερο έτος πειραματισμού για τον αγρό Π3.

Πειραμ. Έτος	Συντελεστής συσχέτισης	Ποσοστό διασποράς (%)	P-value
1ο	0,6447	41,56	0,0064
2ο	0,7302	53,31	0,0115



nicosulfuron+rimsulfuron+
dicamba



μάρτυρας



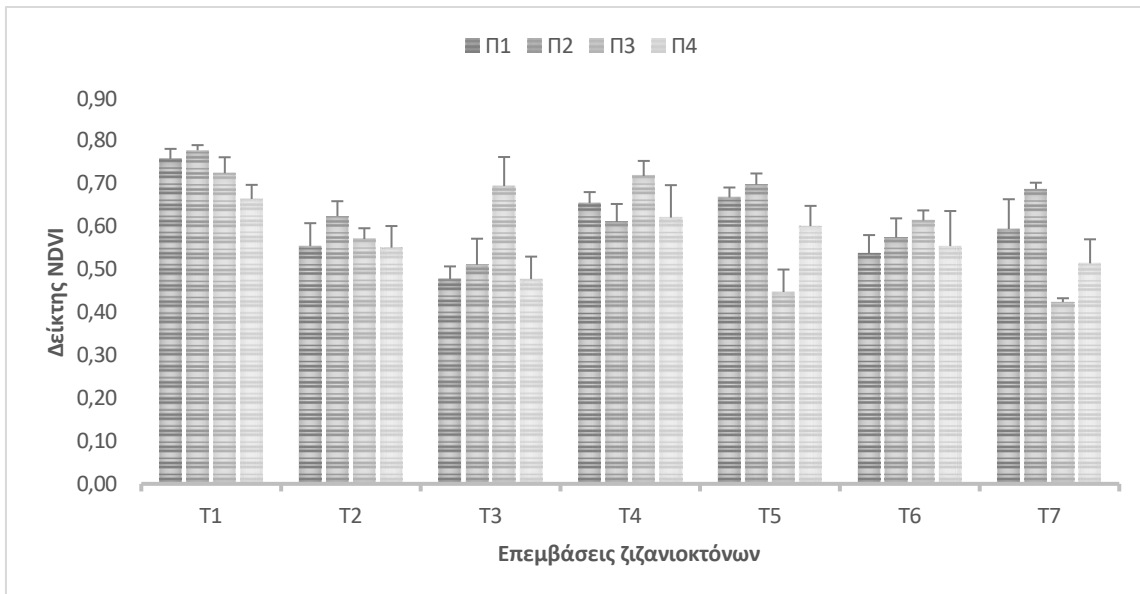
mesotrione+nicosulfuron

Εικόνα 3.7 Η πυκνότητα της ζιζανιοχλωρίδας 21 μέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (21 ΗΜΕ) στον πειραματικό αγρό Πύργος 4, κατά το δεύτερο έτος πειραματισμού.

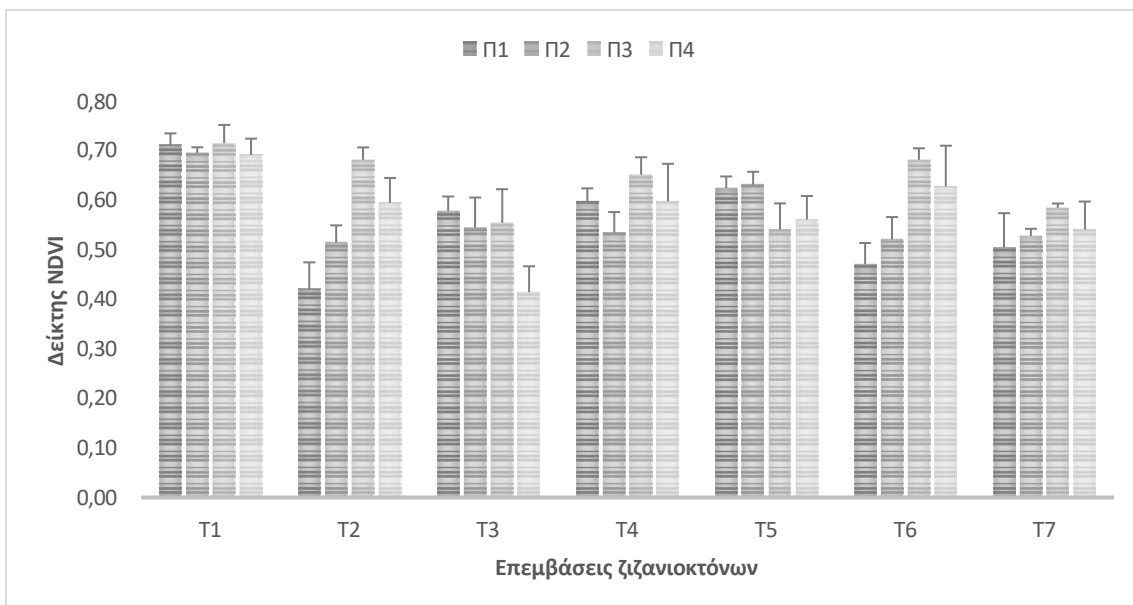
3.2.1.5 Δείκτης NDVI και πληθυσμιακοί δείκτες ανά έτος πειραματισμού για την καλλιέργεια του αραβόσιτου

Οι τιμές του δείκτη NDVI, τόσο για το πρώτο, όσο και για το δεύτερο έτος πειραματισμού, παρουσίασαν διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων (Διάγραμμα 3.47; Διάγραμμα 3.48). Στον Πίνακα 3.24, φαίνονται οι στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων όπου για το πρώτο έτος πειραματισμού $P=0,0010$ και για το δεύτερο $P=0,0000$. Οι διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων βοήθησαν να εκτιμήσουμε την αποτελεσματικότητα των ζιζανιοκτόνων με την χρήση του δείκτη NDVI 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων για το σύνολο των πειραματικών αγρών. Δεν διακρίνουμε στατιστικά σημαντικές διαφορές για τον δείκτη NDVI μεταξύ των πειραματικών αγρών (Πίνακας 3.24). Οι τιμές του μάρτυρα κάθε πειραματικού αγρού μας βοηθούν να το κατανοήσουμε ξεκάθαρα μιας και δεν έχουν δεχτεί επέμβαση ζιζανιοκτόνου (Διάγραμμα 3.47; Διάγραμμα 3.48). Για παράδειγμα, το δεύτερο έτος πειραματισμού ο δείκτης NDVI για τους πειραματικούς αγρούς Π1, Π2, Π3, Π4 ήταν 0,71-0,69-0,71-0,69 αντίστοιχα (Διάγραμμα 3.48). Αυτό το αποτέλεσμα πιθανώς οφείλεται στις παρόμοιες εδαφοκλιματικές συνθήκες όπως αυτές αναφέρονται στην Ενότητα 2.2.1.1.

Ο δείκτης Simpson σε συνδυασμό με την καταγραφή της πυκνότητας των ειδών των ζιζανίων βοήθησε να συμπεράνουμε, εάν η ποικιλομορφία είναι υψηλή ή κυριαρχεί ένα είδος και πως αυτό επηρεάζει την μέθοδο. Στους πειραματικούς αγρούς Π1 και Π4, η ποικιλομορφία ήταν χαμηλή (Πίνακας 3.26). Στον πειραματικό αγρό Π1, κυρίαρχο ζιζάνιο αποτέλεσε η αγριοτοματιά (*S.nigrum*) με πυκνότητα 11-12 φυτά m^{-2} (Πίνακας 3.25) καλύπτοντας σχεδόν το 70% της ζιζανιοχλωρίδας. Παρόμοια είναι και τα αποτελέσματα της πυκνότητας για τον πειραματικό αγρό Π4 με την διαφοροποίηση να έγκειται στο κυρίαρχο ζιζάνιο, όπου εδώ ήταν η μουχρίτσα (*Echinochloa spp*) (Πίνακας 3.25). Στους πειραματικούς αγρούς Π2 και Π3, σημειώθηκε υψηλή ποικιλομορφία (Πίνακας 3.26) και έτσι δεν προέκυψε κάποιο κυρίαρχο είδος. Η κυριαρχία ενός είδους ή η υψηλή ποικιλομορφία, όπως φαίνεται δεν επηρέασε την επιτυχημένη διεξαγωγή της μεθόδου.



Διάγραμμα 3.47 Ο δείκτης NDVI για το σύνολο των πειραμάτικων αγρών του αραβόσιτου 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ) κατά το πρώτο πειραματικό έτος. T1=μάρτυρας, T2=nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3= nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4= nicosulfuron+rimsulfuron, T5= florasulam+mesotrione, T6=mesotrione+nicosulfuron, T7= 2,4 D- ester.



Διάγραμμα 3.48 Ο δείκτης NDVI για το σύνολο των πειραμάτικων αγρών του αραβόσιτου 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ) κατά το δεύτερο πειραματικό έτος. T1=μάρτυρας, T2=nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3= nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4= nicosulfuron+rimsulfuron, T5= florasulam+mesotrione, T6=mesotrione+nicosulfuron, T7= 2,4 D- ester.

Πίνακας 3.24 Ανάλυση διακύμανσης της επίδρασης των επεμβάσεων και των πειραματικών αγρών στη μεταβλητή NDVI κατά το πρώτο και το δεύτερο έτος πειραματισμού.

1 ^ο Πειραματικό έτος					
	AT	BE	MT	F-ratio	P-value
Πειραματικός αγρός	0,054204	6	0,018068	1,98	0,1241
Επέμβαση	0,321279	3	0,053546	5,87	0,0000
Σφάλμα	0,674788	102	0,009119		
Σύνολο	1,05027	111			
2 ^ο Πειραματικό έτος					
	AT	BE	MT	F-ratio	P-value
Πειραματικός αγρός	0,06	6	0,02	2,09	0,1085
Επέμβαση	0,243098	3	0,040516	4,24	0,0010
Σφάλμα	0,707417	102	0,00956		
Σύνολο	1,01051	111			

Πίνακας 3.25 Η συνολική πυκνότητα και η πυκνότητα ενός είδους για κάθε πειραματικό αγρό ανά έτος πειραματισμού. Η πυκνότητα εκφράζεται σε φυτά m⁻².

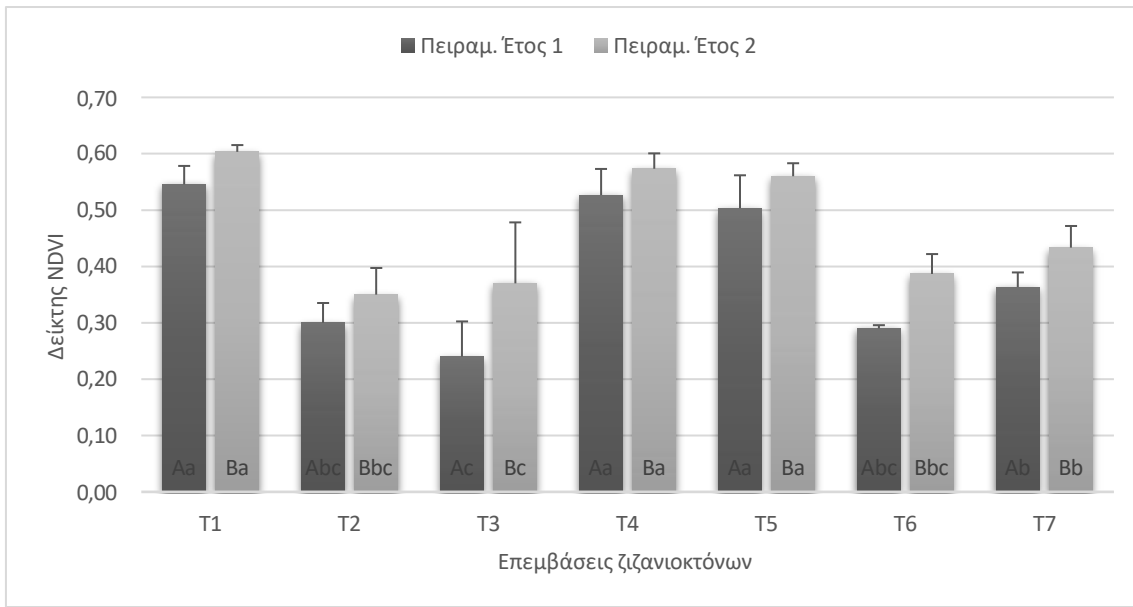
Πύργος 1		
Πειραματικό έτος	<i>S. nigrum</i> (φυτά m ⁻²)	Συνολική (φυτά m ⁻²)
1	11	16
2	12	17
Πύργος 2		
Πειραματικό έτος	<i>Echinochloa</i> spp (φυτά m ⁻²)	Συνολική (φυτά m ⁻²)
1	5	14
2	6	15
Πύργος 3		
Πειραματικό έτος	<i>S. nigrum</i> (φυτά m ⁻²)	Συνολική (φυτά m ⁻²)
1	7	15
2	6	12
Πύργος 4		
Πειραματικό έτος	<i>Echinochloa</i> spp. (φυτά m ⁻²)	Συνολική (φυτά m ⁻²)
1	11	16
2	10	14

Πίνακας 3.26 Ο δείκτης Simpson των υποτεμάχιων T1-T6 για τους πειραματικούς αγρούς της καλλιέργειας του αραβόσιτου. Όπου LSD= Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά και P-value= Τιμή Σημαντικότητας.

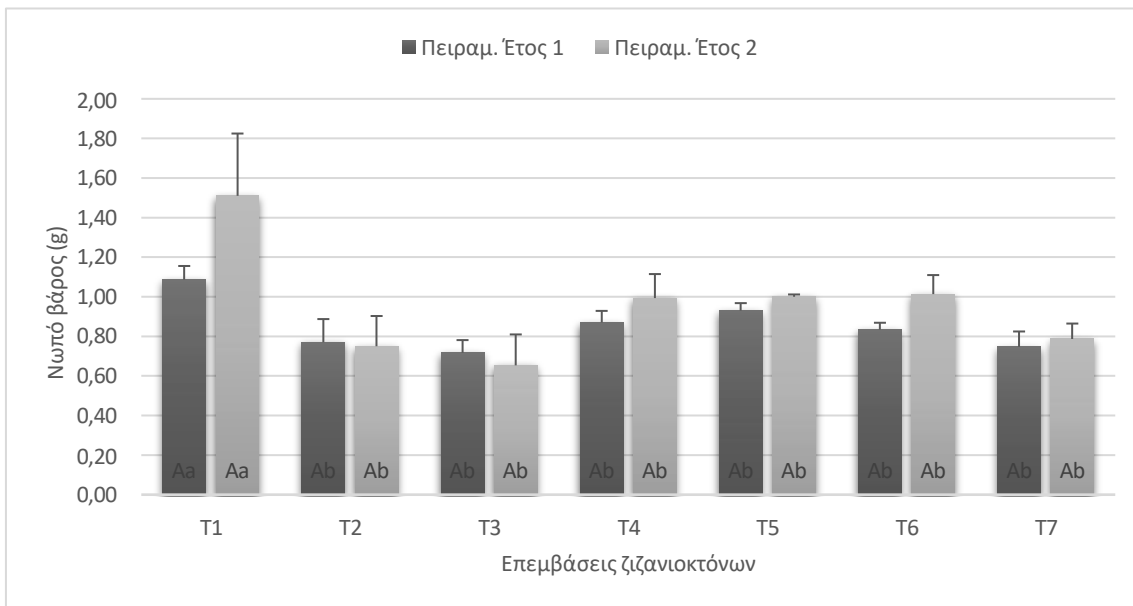
Πύργος 1									
Παράγοντας	Υποτεμάχια							P-value	LSD
	1	2	3	4	5	6	7		
Πειραμ. Έτος 1	0,37Aab	0,40Aab	0,40Aab	0,41Aa	0,39Ab	0,37Aab	0,33Aab	0,0434	0,02506
Πειραμ. Έτος 2	0,39Aab	0,41Aab	0,37Aab	0,41Aa	0,34Ab	0,41Aab	0,42Aab		
Πύργος 2									
Παράγοντας	Υποτεμάχια							P-value	LSD
	1	2	3	4	5	6	7		
Πειραμ. Έτος 1	0,69Abc	0,74Ab	0,7Aabc	0,75Aa	0,75Aa	0,70Aab c	0,73Ac	0,7772	0,02386
Πειραμ. Έτος 2	0,70Abc	0,72Ab	0,68Abc	0,74Aa	0,73Aa	0,74Aab c	0,71Ac		
Πύργος 3									
Παράγοντας	Υποτεμάχια							P-value	LSD
	1	2	3	4	5	6	7		
Πειραμ. Έτος 1	0,86Aa	0,90Aa	0,87Aa	0,87Aa	0,84Aa	0,81Aa	0,82Aa	0,1052	0,0292
Πειραμ. Έτος 2	0,88Aa	0,84Aa	0,91Aa	0,88Aa	0,89Aa	0,90Aa	0,83Aa		
Πύργος 4									
Παράγοντας	Υποτεμάχια							P-value	LSD
	1	2	3	4	5	6	7		
Πειραμ. Έτος 1	0,43Aab	0,44Aa	0,46Aab	0,43Aab	0,41Ab	0,44Aab	0,41Aab	0,302	0,01838
Πειραμ. Έτος 2	0,44Aab	0,45Aa	0,44Aab	0,41Aab	0,42Ab	0,40Aab	0,44Aab		

3.2.2 Αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ζιζανιοκτόνων σε φυτοδοχεία για την καλλιέργεια του αραβόσιτου

Ο βióτυπος της αγριοτοματιάς (SOL1) συλλέχθηκε από τον πειραματικό αγρό Π1, αφού αποτελούσε το κυρίαρχο είδος (Ενότητα 2.2.1.5; Πίνακας 3.11) με σκοπό την περαιτέρω μελέτη της αποτελεσματικότητας των ζιζανιοκτόνων και της επαλήθευσης της *in situ* μεθόδου. Ο βióτυπος SOL1 σημείωσε χαμηλές τιμές NDVI 14 μετά τις επεμβάσεις T2, T3, T6 και T7 (Διάγραμμα 3.49). Το χαμηλότερο ποσοστό μείωσης του NDVI σε σχέση με τον μάρτυρα προέκυψε μετά την εφαρμογή του μίγματος nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba και ήταν 56% (Διάγραμμα 3.49). Το αποτέλεσμα αυτό αποτυπώθηκε και στον πείραμα, που πραγματοποιήθηκε στον αγρό Π1 (Βλ. Ενότητα 3.2.1.1) επαληθεύοντας ότι η μέθοδος του αγρού είναι ικανή να μας οδηγήσει στην εκτίμηση της αποτελεσματικότητας των ζιζανιοκτόνων. Επίσης, στο πείραμα των φυτοδοχείων χαμηλές τιμές προέκυψαν και από μεταβλητή νωπό βάρος 14 ημέρες μετά τις επεμβάσεις T2, T3, T6 (Διάγραμμα 3.50). Συνεπώς, οι επεμβάσεις T2, T3, T6 και T7 οδήγησαν σε υψηλή αποτελεσματικότητα. Αντιθέτως, οι επεμβάσεις T4 και T5 οδήγησαν σε χαμηλή αποτελεσματικότητα. Πιο συγκεκριμένα, 14 ημέρες μετά τις παραπάνω επεμβάσεις ο δείκτης NDVI μειώθηκε ελάχιστα συγκριτικά με τον μάρτυρα (Διάγραμμα 3.50). Η ίδια τάση παρατηρήθηκε και στην μεταβλητή νωπό βάρος. Αναλυτικότερα, ο δείκτης NDVI μειώθηκε 3-5% και το νωπό βάρος 20-34,4% σε σχέση με τον μάρτυρα 14 ημέρες μετά την εφαρμογή του μίγματος nicosulfuron+rimsulfuron (Διάγραμμα 3.49; Διάγραμμα 3.50). Επιπλέον, 14 ημέρες μετά την εφαρμογή του μίγματος mesotrione+nicosulfuron τα ποσοστά μείωσης του δείκτη NDVI ήταν 6-9% και του νωπού βάρους 14%-33,7% (Διάγραμμα 3.49; Διάγραμμα 3.50).



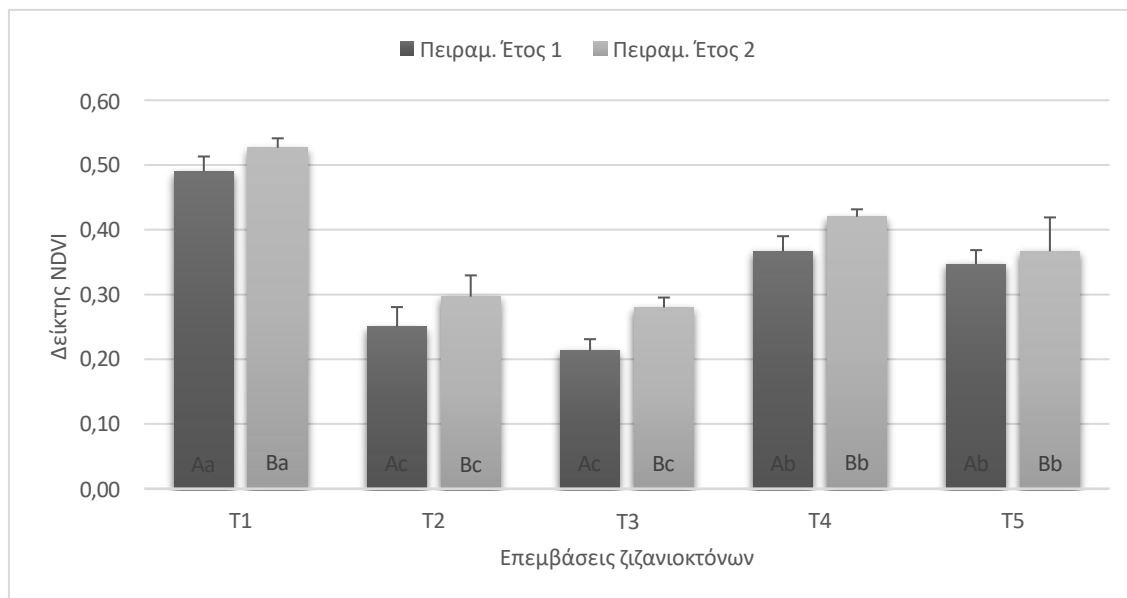
Διάγραμμα 3.49 Ο δείκτης NDVI του βιότυπου *Solanum nigrum* 2 (SOL2) 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ). T1=μάρτυρας, T2=nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3=nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4= nicosulfuron+rimsulfuron, T5= florasulam+mesotrione, T6=mesotrione+nicosulfuron, T7= 2,4 D- ester.



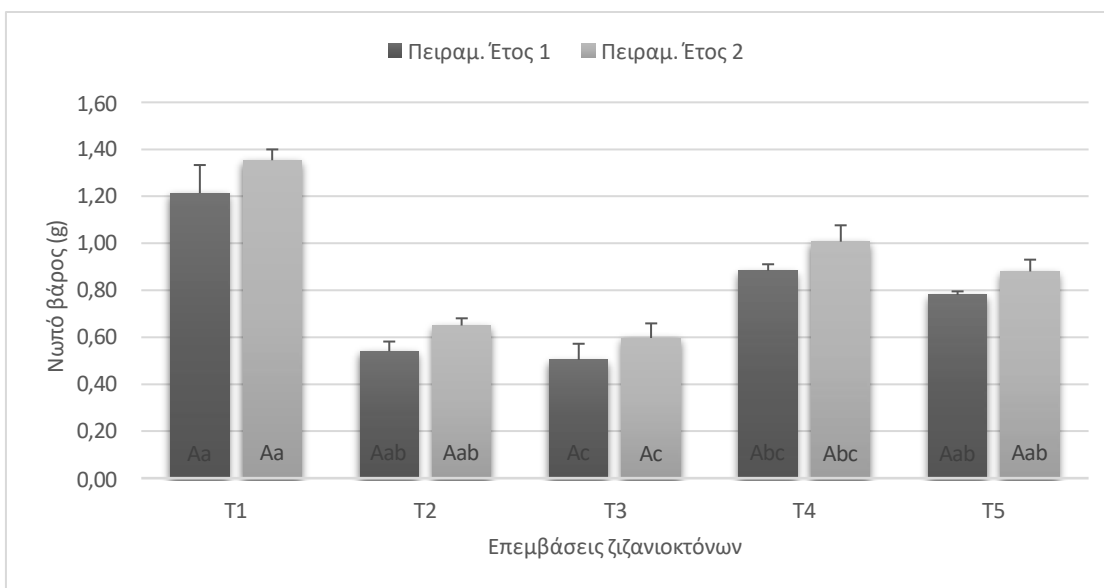
Διάγραμμα 3.50 Το νωπό βάρος του βιότυπου *Solanum nigrum* 2 (SOL2) 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ). T1= μάρτυρας, T2=nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3=nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4=nicosulfuron+rimsulfuron, T5=florasulam+mesotrione, T6=mesotrione+nicosulfuron, T7= 2,4 D- ester.

Ο βióτυπος ECH4 συλλέχθηκε από τον πειραματικό αγρό Π4, αφού αποτελούσε το κυρίαρχο είδος (Ενότητα 2.2.1.5) με σκοπό την περαιτέρω μελέτη τα αποτελεσματικότητας των ζιζανιοκτόνων και της επαλήθευσης της *in situ* μεθόδου. Υψηλή αποτελεσματικότητα σημειώθηκε μετά τις επεμβάσεις T2 και T3 (Διάγραμμα 3.51; Διάγραμμα 3.52). Μετά την εφαρμογή του μίγματος nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, η μείωση του NDVI σε σχέση με τον μάρτυρα κυμάνθηκε μεταξύ 43% και 48% και του νωπού βάρους μεταξύ 43% έως και 52% (Διάγραμμα 3.51; Διάγραμμα 3.52). Παρόμοια υψηλά ποσοστά μείωσης προέκυψαν και μετά την εφαρμογή του μίγματος nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba (Διάγραμμα 3.51; Διάγραμμα 3.52). Οι υψηλές τιμές του δείκτη NDVI και του νωπού βάρους 14 ημέρες μετά την εφαρμογή του μίγματος nicosulfuron+rimsulfuron υπέδειξαν την μειωμένη αποτελεσματικότητά του έναντι του είδους *Echinochloa* spp (Διάγραμμα 3.51; Διάγραμμα 3.52). Στατιστικά σημαντικές διαφορές παρατηρήθηκαν μεταξύ των επεμβάσεων και τα δύο πειραματικά έτη, ενώ μεταξύ των ετών δεν υπήρξαν σημαντικές διαφορές (Πίνακας 3.27).

Τα παραπάνω αποτελέσματα της βιοδοκιμής σε φυτοδοχεία έρχονται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα του πειράματος στον αγρό του αγρού Πύργος 4 αναδεικνύοντας την αποτελεσματικότητα του μίγματος nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba (Ενότητα 2.2.1.4).



Διάγραμμα 3.51 Ο δείκτης NDVI του βióτυπου *Echinochloa* spp 4 (ECH4) 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 HME). T1=control, T2=nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3=nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4=nicosulfuron+rimsulfuron, T5=mesotrione+nicosulfuron.



Διάγραμμα 3.52 Το νωπό βάρος του βιότυπου *Echinochloa* spp 4 (ECH4) 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ). T1=control, T2=nicosulfuron+rimsulfuron+mesotrione, T3=nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, T4=nicosulfuron+rimsulfuron, T5=mesotrione+nicosulfuron.

Πίνακας 3.27 Το P-value και το LSD των βιότυπων SOL1, SOL3, ECH2, ECH4 για τους παράγοντες έτος-επέμβαση των μεταβλητών NDVI και νωπό βάρος 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ).

Μεταβλητή		NDVI		Νωπό βάρος	
Βιότυπος	Παράγοντας	P-value	LSD	P-value	LSD
SOL1	Έτος	0,0036	0,04704	0,2002	0,1385
	Επέμβαση	0,0000	0,08800	0,0009	0,2591
ECH4	Έτος	0,0094	0,0327	0,2961	0,1790
	Επέμβαση	0,0000	0,0516	0,0077	0,2831

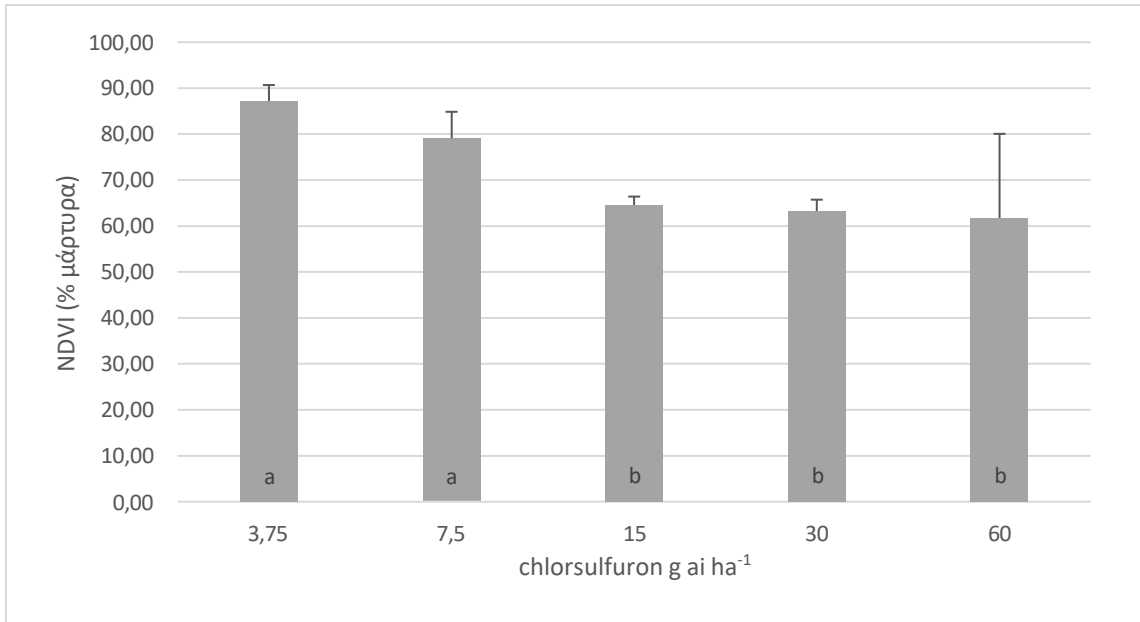
3.3 Σύγκριση μεθόδων - Εκτίμηση της αξιοπιστίας και της ακρίβειας της ταχείας μεθόδου

3.3.1 Πείραμα δόσης- απόκρισης σε συνθήκες αγρού στη καλλιέργεια του σιταριού

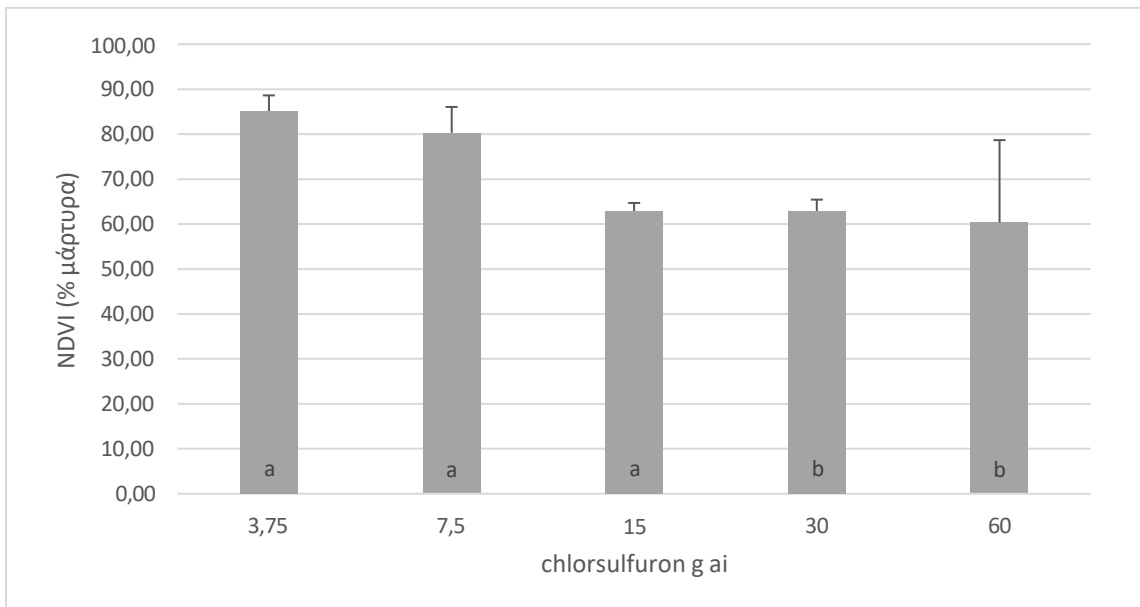
3.3.1.1 Ευαίσθητος βιότυπος *Sisymbrium orientale*

Οι τιμές του δείκτη NDVI παρουσίασαν διαφορές τόσο στις 7 όσο και στις 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των διαφορετικών δόσεων του ζιζανιοκτόνου chlorsulfuron στον ευαίσθητο βιότυπο του *Sisymbrium orientale* (Διάγραμμα 3.53; Διάγραμμα 3.54). Συγκεκριμένα, στα Διάγραμμα 3.53 και Διάγραμμα 3.54 παρατηρούμε ότι τα χαμηλότερα ποσοστά προέκυψαν από την δόση 2X και 4X, όπου κυμάνθηκαν από 60,35% έως 63,15%. Επίσης, για τον δείκτη NDVI σημειώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($P < 0,05$) μεταξύ των επεμβάσεων, τόσο στις 7, όσο και στις 14 ημέρες μετά την εφαρμογή του ζιζανιοκτόνου (Πίνακας 3.28). Από την μεταβλητή νωπό βάρος, όπως ήταν αναμενόμενο λόγω της εφαρμογής του ζιζανιοκτόνου, προέκυψαν χαμηλά ποσοστά ως προς το μάρτυρα (Διάγραμμα 3.55). Πιο αναλυτικά, 7 ημέρες μετά την εφαρμογή 15 g ai ha⁻¹ chlorsulfuron προέκυψε ποσοστό νωπού βάρους 43,91% επί του μάρτυρα (Διάγραμμα 3.55). Το χαμηλότερο ποσοστό προέκυψε 14 ημέρες μετά την εφαρμογή της αντίστοιχης δόσης (25,65%) (Διάγραμμα 3.55). Όσον αφορά την συσχέτιση των μεταβλητών NDVI-νωπό βάρος, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 3.56 ήταν ισχυρή. Από τον Πίνακα 3.30, βλέπουμε ότι το $R^2 = 57,87$ και $R = 0,7607$, αποτέλεσμα, που επαληθεύει την υψηλή συσχέτιση των μεταβλητών.

Στο Διάγραμμα 3.57, παρουσιάζεται η καμπύλη δόσης απόκρισης 21 ημέρες μετά την εφαρμογή των διαφορετικών δόσεων του ζιζανιοκτόνου chlorsulfuron. Παρατηρούμε ότι στις πιο υψηλές δόσεις (30 και 60 g ai ha⁻¹) το νωπό βάρος του βιότυπου ήταν 0% γεγονός αναμενόμενο, καθώς πρόκειται για έναν ευαίσθητο βιότυπο στη δραστική ουσία chlorsulfuron (Διάγραμμα 3.57). Η δόση που απαιτήθηκε για την μείωση του νωπού βάρους κατά 50% ήταν 7,7641 g ai ha⁻¹ (Gr_{50}), η οποία είναι κατά πολύ χαμηλότερη της συνιστώμενης (Πίνακας 3.31).



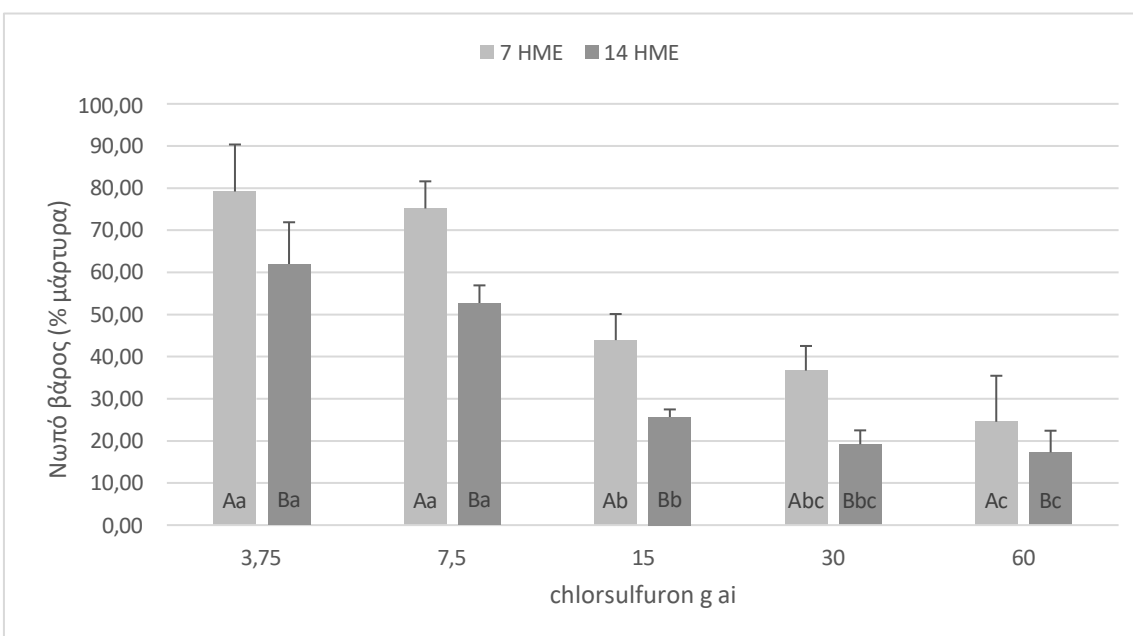
Διάγραμμα 3.53 Ο δείκτης NDVI του ευαίσθητου βιότυπου του *Sisymbrium orientale* (S) 7 ημέρες μετά την εφαρμογή (7 ΗΜΕ) διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron.



Διάγραμμα 3.54 Ο δείκτης NDVI του ευαίσθητου βιότυπου *Sisymbrium orientale* (S) 14 ημέρες μετά την εφαρμογή (14 ΗΜΕ) διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron εκφρασμένος ως ποσοστό επί του μάρτυρα.

Πίνακας 3.28 Ανάλυση της διακύμανσης για την επίδραση των διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron στον ευαίσθητο βιότυπο *Sisymbrium orientale* (S) στη μεταβλητή NDVI 7 και 14 ημέρες μετά την εφαρμογή τους (7 και 14 HME).

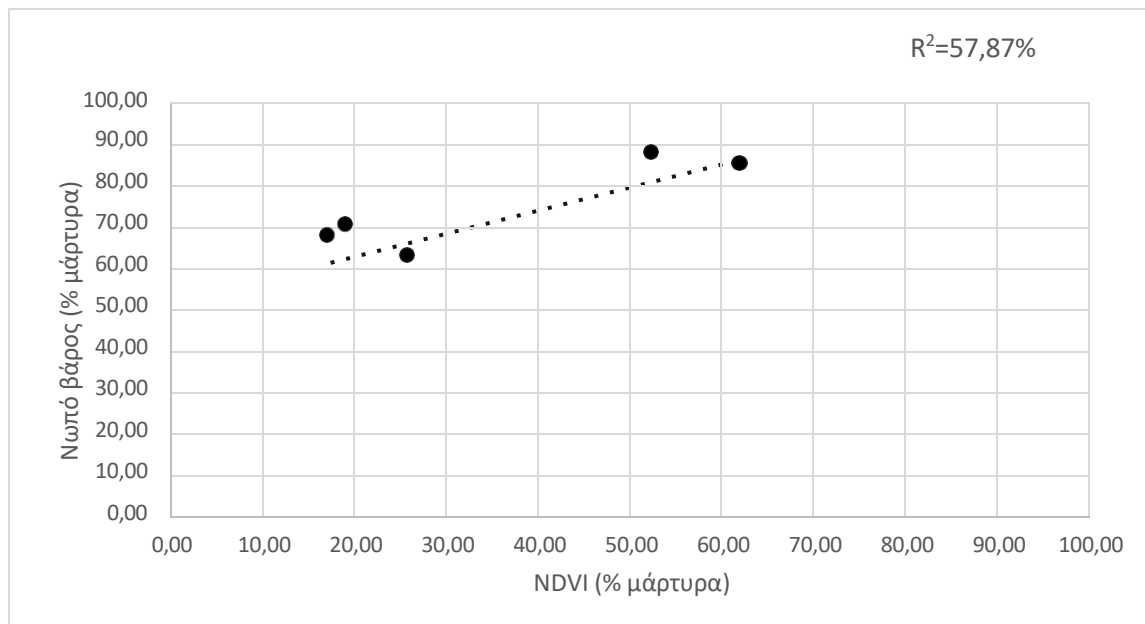
7 HME					
	AT	BE	MT	F-ratio	P-value
Επέμβαση	3096,2	4	774,05	14,97	0,0000
Σφάλμα	1292,5	25	51,7		
Σύνολο	4388,7	29			
14 HME					
	AT	BE	MT	F-ratio	P-value
Επέμβαση	3096,53	4	774,133	9,36	0,0001
Σφάλμα	2066,83	25	82,6733		
Σύνολο	5163,37	29			



Διάγραμμα 3.55 Το νωπό βάρος του ευαίσθητου βιότυπου *Sisymbrium orientale* (S) 7 και 14 ημέρες μετά την εφαρμογή (7 και 14 HME) διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron εκφρασμένο ως ποσοστό επί του μάρτυρα.

Πίνακας 3.29 Ανάλυση της διακύμανσης για την επίδραση των διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron στις 7 και 14 ημέρες μετά την εφαρμογή τους στον ευαίσθητο βιότυπο *Sisymbrium orientale* (S) στη μεταβλητή νωπό βάρος.

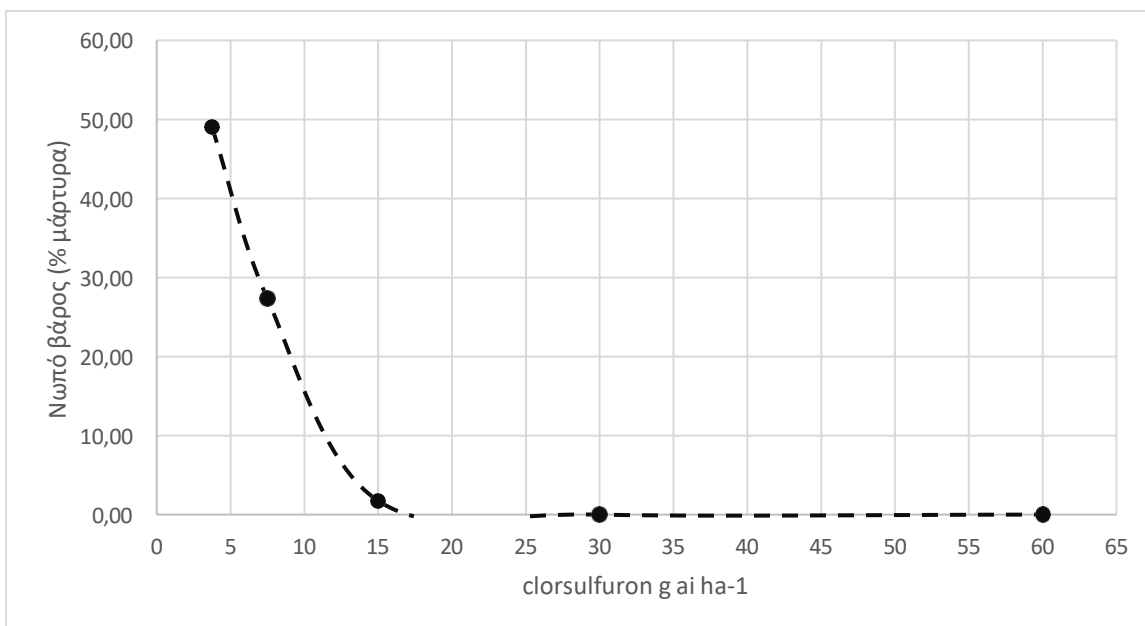
Νωπό βάρος					
	AT	BE	MT	F-ratio	P-value
Επέμβαση	24023,3	4	6005,83	27,45	0,0000
HME	3985,35	1	3985,35	18,21	0,0001
Σφάλμα	11815,9	54	218,813		
Σύνολο	39824,6	59			



Διάγραμμα 3.56 Γραμμική συσχέτιση των μεταβλητών NDVI, ξηρό βάρος του ευαίσθητου βιότυπου *Sisymbrium orientale* (S) 14 ημέρες μετά την εφαρμογή διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron. Όπου R^2 το ποσοστό διασποράς (%).

Πίνακας 3.30 Ο συντελεστής συσχέτισης (coefficient correlation) και το ποσοστό διασποράς (R-squared) για τις μεταβλητές ξηρό βάρος-δείκτης NDVI του ευαίσθητου βιότυπου *Sisymbrium orientale* (S) 14 ημέρες μετά την εφαρμογή διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron.

Νωπό βάρος*NDVI	
Συντελεστής συσχέτισης	0,7607
Ποσοστό διασποράς (%)	57,87
P-value	0,0000



Διάγραμμα 3.57 Καμπύλη δόσης-απόκρισης ως προς το ποσοστό μείωσης του νωπού βάρους του ευαίσθητου βιότυπου του *Sisymbrium orientale* (S) 21 ημέρες μετά την εφαρμογή διαφορετικών δόσεων του ζιζανιοκτόνου chlorsulfuron ($x/4-4x$). Η καμπύλη είναι προσαρμοσμένη σε λογαριθμική κλίμακα δόσης για τον ευαίσθητο βιότυπο του *Sisymbrium orientale*.

Πίνακας 3.31 Οι παράμετροι της λογαριθμικής εξίσωσης^a για τον υπολογισμό του Gr_{50} του ευαίσθητου βιότυπου(S), δηλαδή της δόσης του ζιζανιοκτόνου chlorsulfuron που απαιτείται για την μείωση του νωπού βάρους κατά 50%.

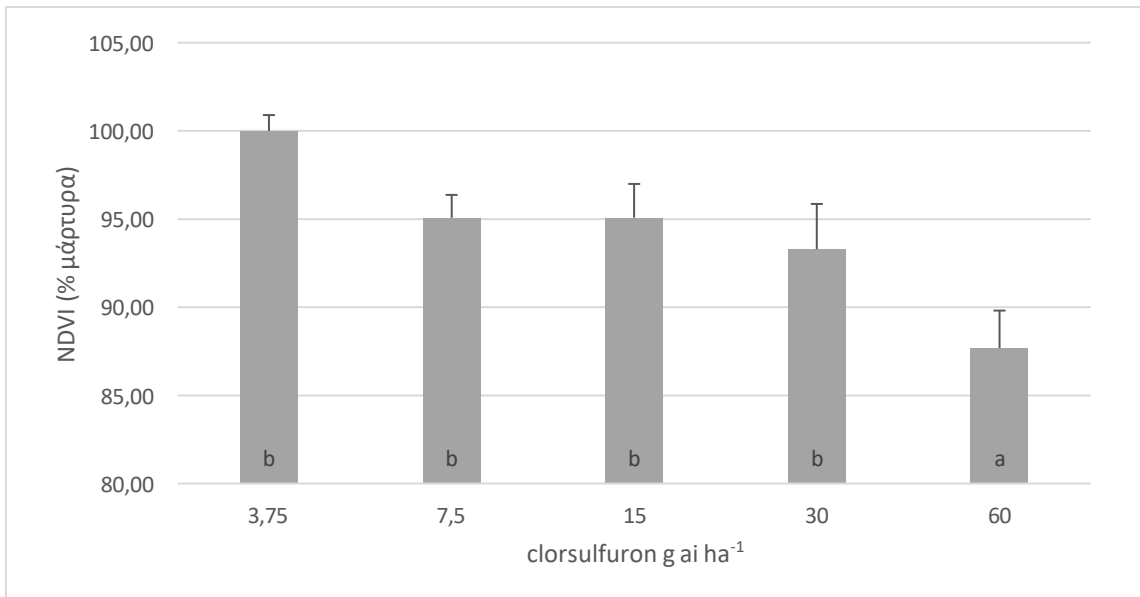
b	5,0222 ($\pm 0,0416$)
d	-0,0028 ($\pm 0,0284$)
Gr_{50} (g ai ha ⁻¹)	7,7641

^a $y = d/1 + \{epx [(blogx - loge)]\}$, όπου y = το ποσοστό του νωπού βάρους % μάρτυρα, d = το ανώτερο όριο, $e = Gr_{50}$, b = κλίση της καμπύλης στο σημείο καμπής, x = η δόση του ζιζανιοκτόνου.

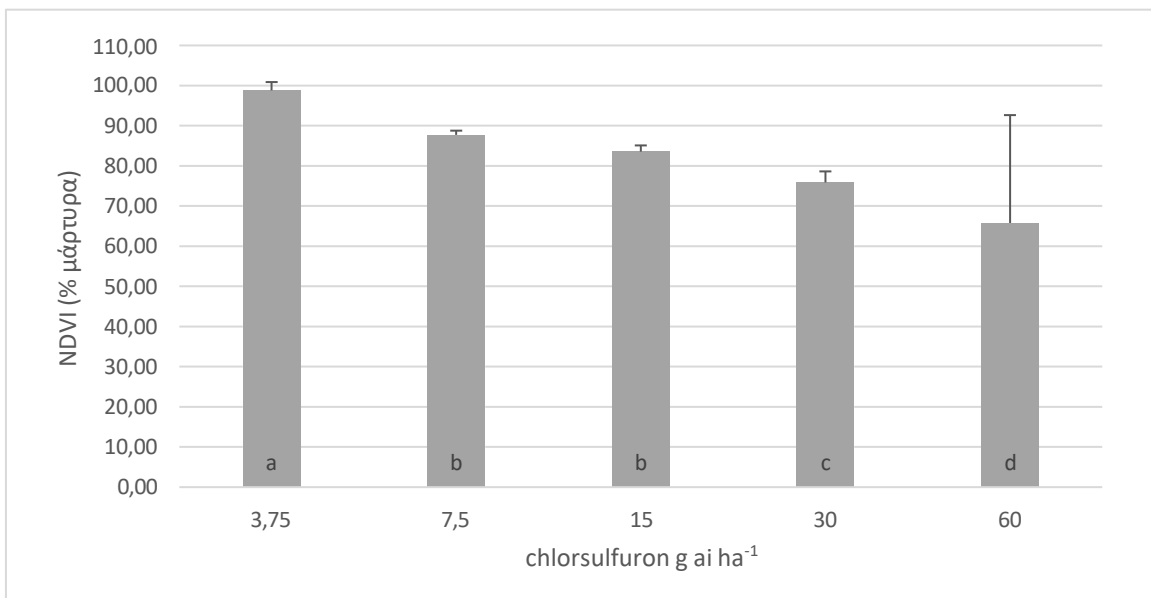
3.3.1.2 Ανθεκτικός βιότυπος *Sisymbrium orientale*

Ο ανθεκτικός βιότυπος *Sisymbrium orientale* (R) σημείωσε υψηλά ποσοστά NDVI ως προς το μάρτυρα 7 και 14 ημέρες μετά τις διαφορετικές δόσεις του ζιζανιοκτόνου chlorsulfuron (Διάγραμμα 3.58; Διάγραμμα 3.59). Στις 7 ημέρες μετά την εφαρμογή της δόσης 60 g ai ha⁻¹ το ποσοστό ήταν 87,68%, ενώ στις 14 65,79% (Διάγραμμα 3.58; Διάγραμμα 3.59). Στις μετρήσεις του νωπού βάρους παρατηρήσαμε μια παρόμοια τάση, τόσο στις 7, όσο και στις 14 ημέρες μετά την εφαρμογή του ζιζανιοκτόνου (Διάγραμμα 3.60). Πιο συγκεκριμένα, πολύ υψηλό ποσοστό (47,96%) νωπού βάρους σημειώθηκε 14 ημέρες μετά την εφαρμογή της μέγιστης δόσης του ζιζανιοκτόνου (Διάγραμμα 3.60). Επίσης, τόσο στις 7 όσο και στις 14 ημέρες ημέρες μετά τις διαφορετικές δόσεις του ζιζανιοκτόνου σημειώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων για τις μεταβλητές NDVI-νωπό βάρος (Πίνακας 3.32; Πίνακας 3.33). Ισχυρή συσχέτιση παρατηρήθηκε μεταξύ των δύο παραπάνω μεταβλητών (Διάγραμμα 3.61) όπου R²= 33,01 και R= 0,545 (Πίνακας 3.34).

Στο Διάγραμμα 3.62, φαίνεται η καμπύλη δόσης απόκρισης του ανθεκτικού βιότυπου *Sisymbrium orientale* (R), όπου παρατηρούμε μια πτωτική τάση του νωπού βάρους, καθώς αυξάνεται η δόση του chlorsulfuron, γεγονός που επαληθεύει την ανθεκτικότητα του βιότυπου (Διάγραμμα 3.62). Η τιμή του Gr₅₀ ήταν 18,035 g ai ha⁻¹, δόση που είναι υψηλότερη από την συνιστώμενη (Πίνακας 3.35). Συνολικά, τα αποτελέσματα υποδεικνύουν την ανθεκτικότητα του συγκεκριμένου βιότυπου του είδους *Sisymbrium orientale*.



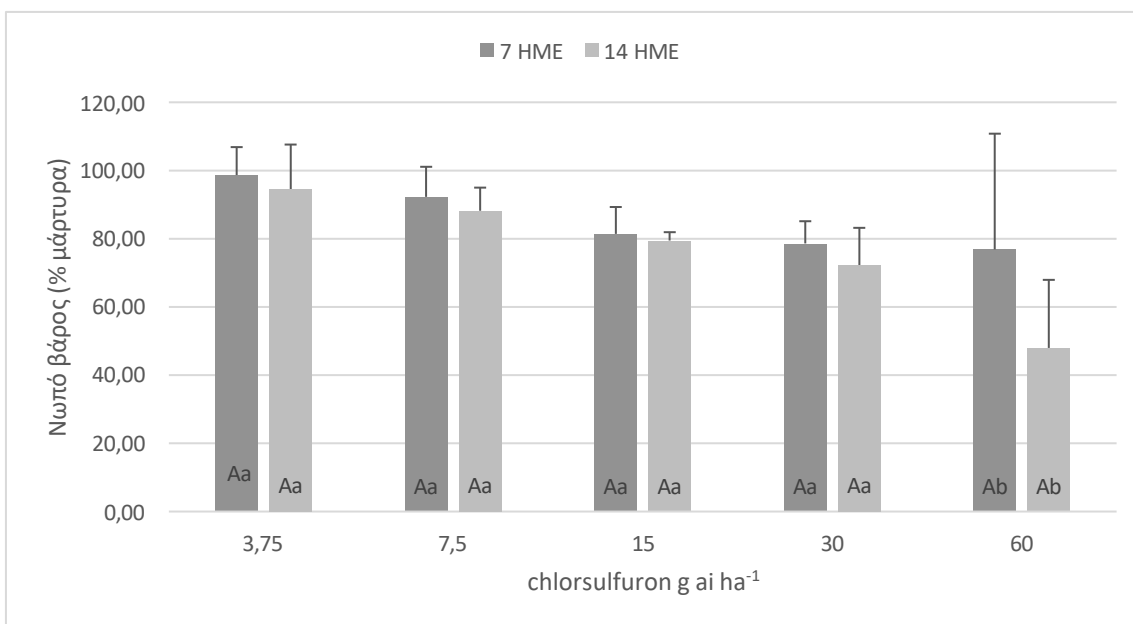
Διάγραμμα 3.58 Ο δείκτης NDVI του ανθεκτικού βιότυπου του *Sisymbrium orientale* (R) 7 ημέρες μετά την εφαρμογή (7 ΗΜΕ) διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron εκφρασμένος ως ποσοστό επί του μάρτυρα.



Διάγραμμα 3.59 Ο δείκτης NDVI του ανθεκτικού βιότυπου του *Sisymbrium orientale* (R) 14 ημέρες μετά την εφαρμογή (14 ΗΜΕ) διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron εκφρασμένος ως ποσοστό επί του μάρτυρα.

Πίνακας 3.32 Ανάλυση της διακύμανσης για την επίδραση των διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron στον ανθεκτικό βιότυπο *Sisymbrium orientale* (R) στη μεταβλητή NDVI 7 και 14 ημέρες μετά την εφαρμογή τους (7 και 14 ΗΜΕ).

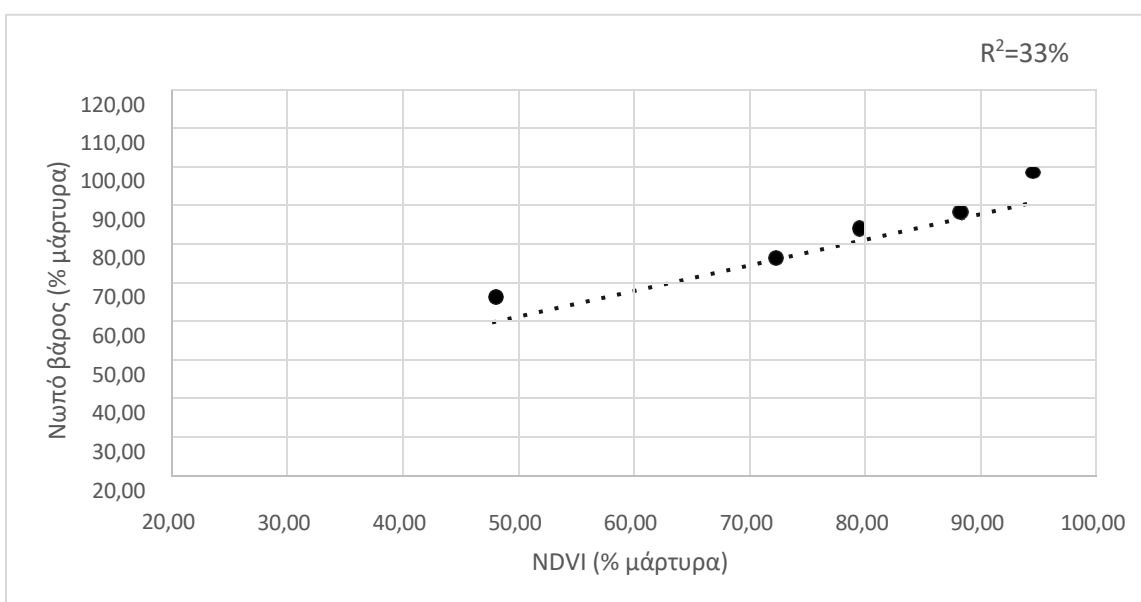
7 ΗΜΕ					
	AT	BE	MT	F-ratio	P-value
Επέμβαση	3096,2	4	774,05	14,97	0,0000
Σφάλμα	1292,5	25	51,7		
Σύνολο	4388,7	29			
14 ΗΜΕ					
	AT	BE	MT	F-ratio	P-value
Επέμβαση	1888,47	4	472,117	8,4	0,0002
Σφάλμα	1404,5	25	56,18		
Σύνολο	3292,97	29			



Διάγραμμα 3.60 Το νωπό βάρος του ανθεκτικού βιότυπου του *Sisymbrium orientale* (R) 7 και 14 ημέρες μετά την εφαρμογή (7 & 14 ΗΜΕ) διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron εκφρασμένο ως ποσοστό επί του μάρτυρα.

Πίνακας 3.33 Ανάλυση της διακύμανσης για την επίδραση των διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron στις 7 και 14 ημέρες μετά την εφαρμογή τους στον ανθεκτικό βιότυπο *Sisymbrium orientale* (R) στη μεταβλητή νωπό βάρος.

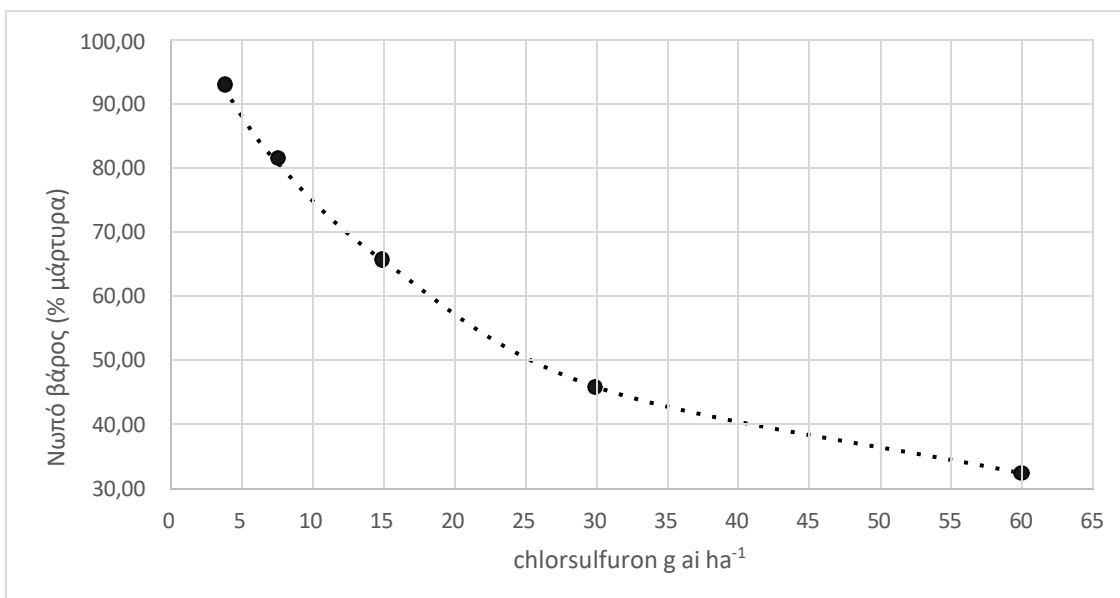
Νωπό βάρος					
	AT	BE	MT	F-ratio	P-value
Επέμβαση	6262,17	4	1565,54	4,61	0,0028
Ημέρες	498,817	1	498,817	1,47	0,2308
Σφάλμα	18339,6	54	339,622		
Σύνολο	25100,6	59			



Διάγραμμα 3.61 Γραμμική συσχέτιση των μεταβλητών NDVI, ξηρό βάρος του ανθεκτικού βιότυπου *Sisymbrium orientale* (R) 14 ημέρες μετά την εφαρμογή διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron. Όπου R² το ποσοστό διασποράς (%).

Πίνακας 3.34 Ο συντελεστής συσχέτισης (coefficient correlation) και το ποσοστό διασποράς (R-squared) για τις μεταβλητές ξηρό βάρος-δείκτης NDVI του ανθεκτικού βιότυπου *Sisymbrium orientale* (R) 14 ημέρες μετά την εφαρμογή διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron.

Νωπό βάρος*NDVI	
Συντελεστής συσχέτισης	0,5745
Ποσοστό διασποράς (%)	33,01
P-value	0,0009



Διάγραμμα 3.62 Καμπύλη δόσης-απόκρισης ως προς το ποσοστό μείωσης του νωπού βάρους του ανθεκτικού βιότυπου του *Sisymbrium orientale* (R) 21 ημέρες μετά την εφαρμογή διαφορετικών δόσεων του ζιζανιοκτόνου chlorsulfuron (x/4-4x). Η καμπύλη είναι προσαρμοσμένη σε λογαριθμική κλίμακα δόσης για τον ανθεκτικό βιότυπο του *Sisymbrium orientale*.

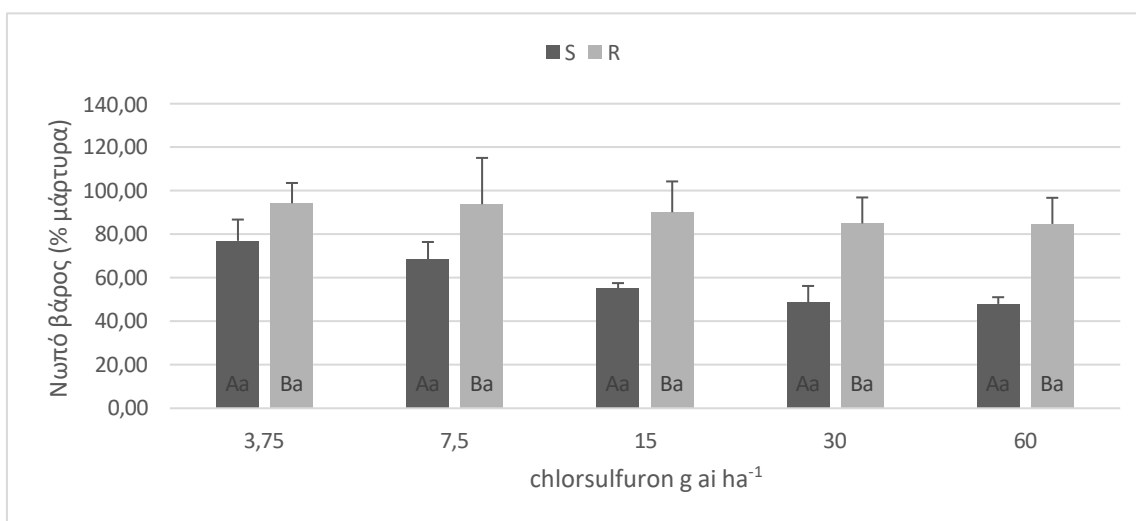
Πίνακας 3.35 Οι παράμετροι της λογαριθμικής εξίσωσης^α για τον υπολογισμό του Gr₅₀ του ανθεκτικού βιότυπου (R), δηλαδή της δόσης του ζιζανιοκτόνου chlorsulfuron που απαιτείται για την μείωση του νωπού βάρους κατά 50%.

b	1,299 (±0,2506)
d	17,530 (±7,089)
Gr ₅₀ (g ai ha ⁻¹)	18,035

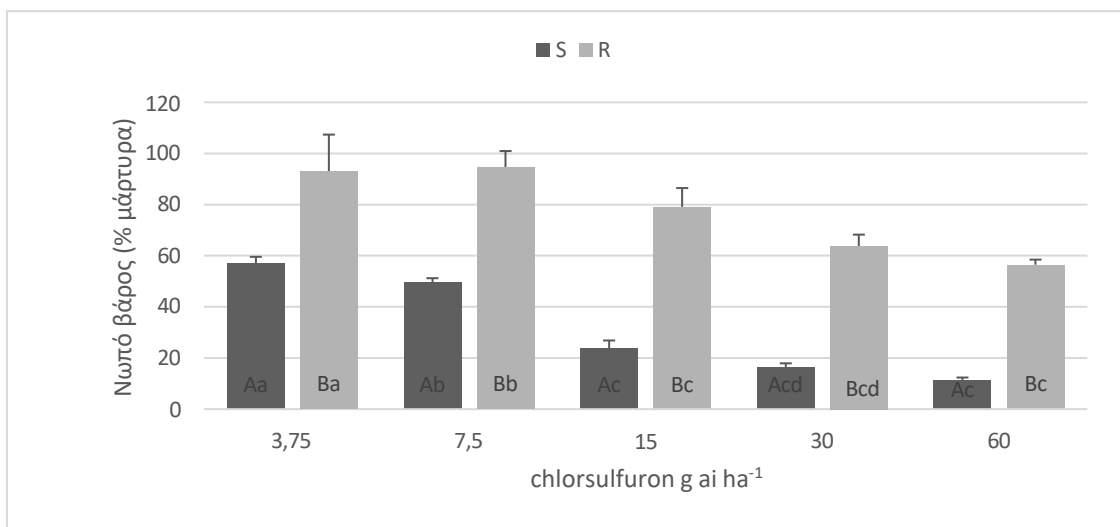
^α $y = d/1 + \{exp [(blogx - loge)]\}$ όπου γ= το ποσοστό του νωπού βάρους % μάρτυρα, d= το ανώτερο όριο, e= Gr₅₀ , b= κλίση της καμπύλης στο σημείο καμπής, x= η δόση του ζιζανιοκτόνου

3.3.2 Πείραμα δόσης- απόκρισης σε φυτοδοχεία

Στα Διαγράμματα 3.63 και 3.64, παρατηρούμε τις σημαντικές διαφορές στο νωπό βάρος μεταξύ του ευαίσθητου και του ανθεκτικού βιότυπου *Sisymbrium orientale*. Πιο συγκεκριμένα, ο ευαίσθητος βιότυπος S σημείωσε ποσοστό νωπού βάρους 24% στις 14 ημέρες μετά την εφαρμογή 15 g ai ha⁻¹ chlorsulfuron (Διάγραμμα 3.64). Ωστόσο, ο ανθεκτικός βιότυπος R σημείωσε 79% νωπό βάρος ως προς τον μάρτυρα 14 ημέρες μετά την εφαρμογή 15 g ai ha⁻¹ chlorsulfuron (Διάγραμμα 3.64). Στατιστικά σημαντικές διαφορές προέκυψαν, τόσο μεταξύ των επεμβάσεων, όσο και μεταξύ των βιότυπων, 14 ημέρες μετά την εφαρμογή διαφορετικών δόσεων του ζιζανιοκτόνου chlorsulfuron (Πίνακας 3.36). Επιπλέον, το Gr₅₀ του S βιότυπου ήταν 8,1069 g ai ha⁻¹ και του R 14,1667 g ai ha⁻¹ (Πίνακας 3.37). Πιο αναλυτικά, η τιμή του Gr₅₀ του R βιότυπου ήταν κατά 43% υψηλότερη συγκριτικά με του ευαίσθητου (Πίνακας 3.37). Συνεπώς, από το πείραμα δόσης-απόκρισης σε φυτοδοχεία διαπιστώνουμε πράγματι ότι πρόκειται για έναν ανθεκτικό και έναν ευαίσθητο βιότυπο του είδους *Sisymbrium orientale*. Παρόμοια αποτελέσματα προέκυψαν και από το πείραμα σε συνθήκες αγρού (Ενότητα 3.3.1). Η περαιτέρω σύγκριση των μεθόδων αναλύεται στην Ενότητα 3.3.3.



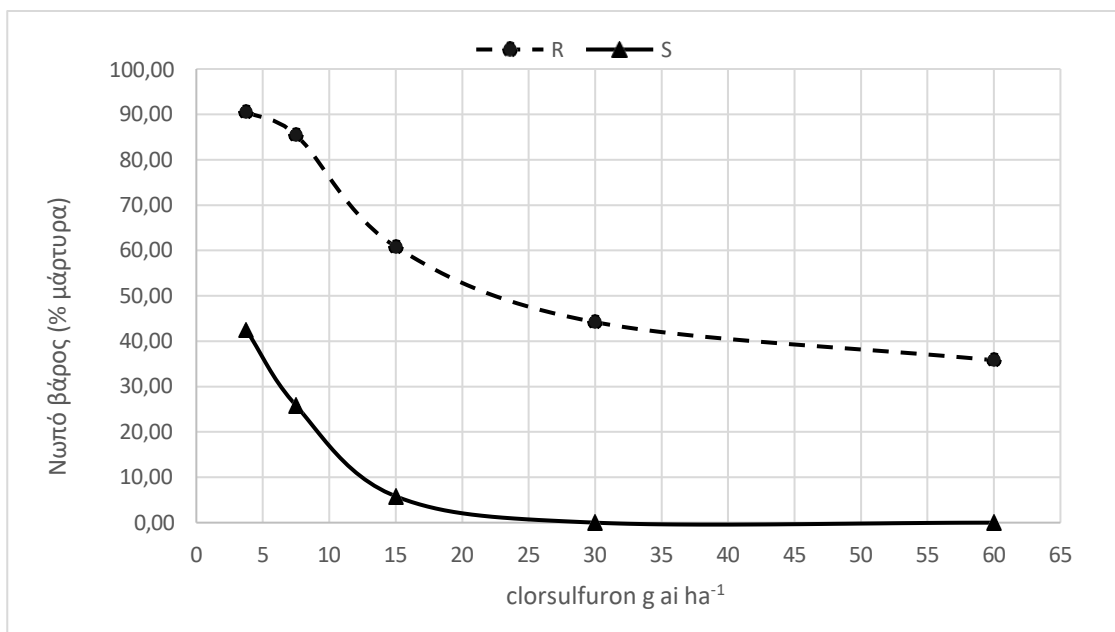
Διάγραμμα 3.63 Το νωπό βάρος του ευαίσθητου και του ανθεκτικού βιότυπου του *Sisymbrium orientale* 7 ημέρες μετά την εφαρμογή διαφορετικών δόσεων του ζιζανιοκτόνου chlorsulfuron εκφρασμένο ως ποσοστό επί του μάρτυρα.



Διάγραμμα 3.64 Το νωπό βάρος του ευαίσθητου και του ανθεκτικού βιότυπου του *Sisymbrium orientale* 14 ημέρες μετά την εφαρμογή διαφορετικών δόσεων του ζιζανιοκτόνου chlorsulfuron εκφρασμένο ως ποσοστό επί του μάρτυρα.

Πίνακας 3.36 Ανάλυση της διακύμανσης της επίδρασης διαφορετικών δόσεων του ζιζανιοκτόνου chlorsulfuron 7 και 14 ημέρες μετά την εφαρμογή τους στον ευαίσθητο και στον ανθεκτικό βιότυπο του *Sisymbrium orientale* για την μεταβλητή νωπό βάρος.

Νωπό βάρος (7 ΗΜΕ)					
	AT	BE	MT	F-ratio	P-value
Επέμβαση	3560,07	4	890,018	1,24	0,3034
Βιότυπος	13548,6	1	13548,6	18,94	0,0001
Σφάλμα	38631,7	54	715,402		
Σύνολο	55740,4	59			
Νωπό βάρος (14 ΗΜΕ)					
	AT	BE	MT	F-ratio	P-value
Επέμβαση	16506	4	4126,49	20,02	0,0000
Βιότυπος	31522,3	1	31522,3	152,97	0,0000
Σφάλμα	11127,7	54	206,068		
Σύνολο	59156	59			



Διάγραμμα 3.65 Καμπύλη δόσης-απόκρισης ως προς το ποσοστό μείωσης του νωπού βάρους του ευαίσθητου και του ανθεκτικού βιότυπου του *Sisymbrium orientale* 21 ημέρες μετά την εφαρμογή διαφορετικών δόσεων του ζιζανιοκτόνου clorsulfuron (x/4-4x). Η καμπύλη είναι προσαρμοσμένη σε λογαριθμική κλίμακα δόσης.

Πίνακας 3.37 Οι παράμετροι της λογαριθμικής εξίσωσης^a για τον υπολογισμό του Gr_{50} , δηλαδή της δόσης του ζιζανιοκτόνου clorsulfuron που απαιτείται για την μείωση του νωπού βάρους κατά 50%.

Ευαίσθητος βιότυπος	
b	3,08734 (±0,218)
d	-0,4088 (±0,1932)
Gr_{50} (g ai ha ⁻¹)	8,1069
Ανθεκτικός βιότυπος	
b	2,6840 (±0,806)
d	14,1674 (±1,461)
Gr_{50} (g ai ha ⁻¹)	14,1674

$y = d/1 + \{epx [(blogx - loge)]\}$ όπου y = το ποσοστό του νωπού βάρους % μάρτυρα, d = το ανώτερο όριο, $e = Gr_{50}$, b = κλίση της καμπύλης στο σημείο καμπής, x = η δόση του ζιζανιοκτόνου

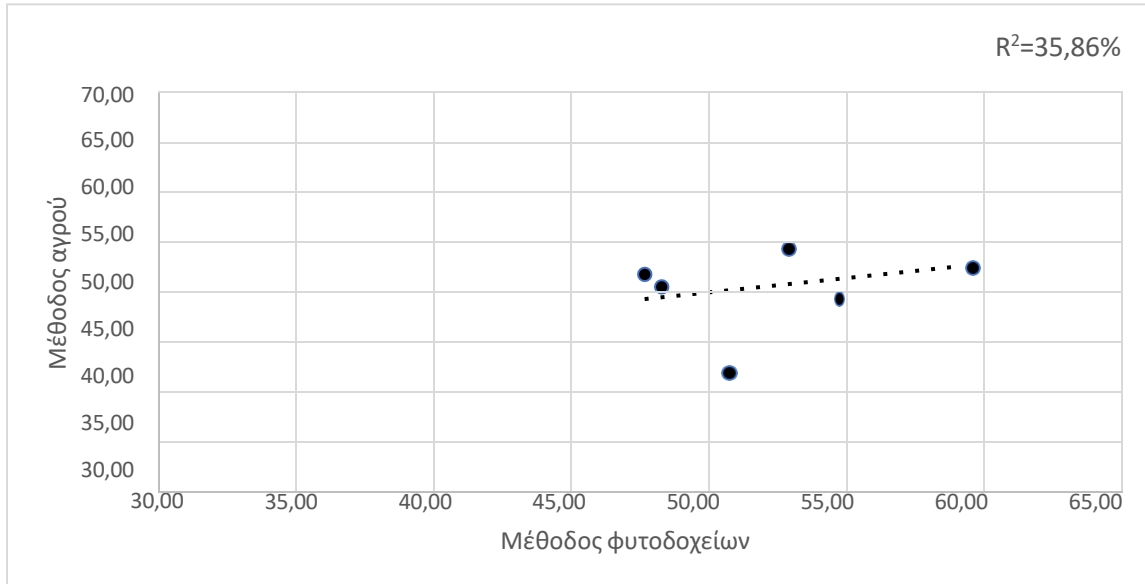
3.3.3 Σύγκριση των δύο μεθόδων και εκτίμηση της αξιοπιστίας-ακρίβειας

Για την σύγκριση των μεθόδων πραγματοποιήθηκαν γραμμικές συσχετίσεις μεταξύ των τιμών του νωπού βάρους όπως αυτό προέκυψε από την κάθε μέθοδο. Στον ευαίσθητο βιότυπο, επιλέχθηκαν προς σύγκριση οι τιμές του νωπού βάρους μετά την εφαρμογή των δόσεων $X/2$ και X . Στα Διαγράμματα 3.66 και 3.67, παρουσιάζεται η γραμμική συσχέτιση του νωπού βάρους του ευαίσθητου βιότυπου *Sisymbrium orientale* για την μέθοδο, που πραγματοποιήθηκε σε συνθήκες αγρού και για τη μέθοδο σε φυτοδοχεία. Παρατηρούμε ότι στη δόση $7,5 \text{ g ai ha}^{-1}$ chlorsulfuron η συσχέτιση, που προέκυψε ήταν ισχυρή, όπου $R=0,5989$ και $R^2=35,86\%$ (Διάγραμμα 3.66; Πίνακας 3.38). Στην συνιστώμενη δόση, η συσχέτιση των δύο μεθόδων ήταν πιο ισχυρή, όπου $R= 0,6409$ και $R^2= 41,07\%$ (Διάγραμμα 3.67; Πίνακας 3.38).

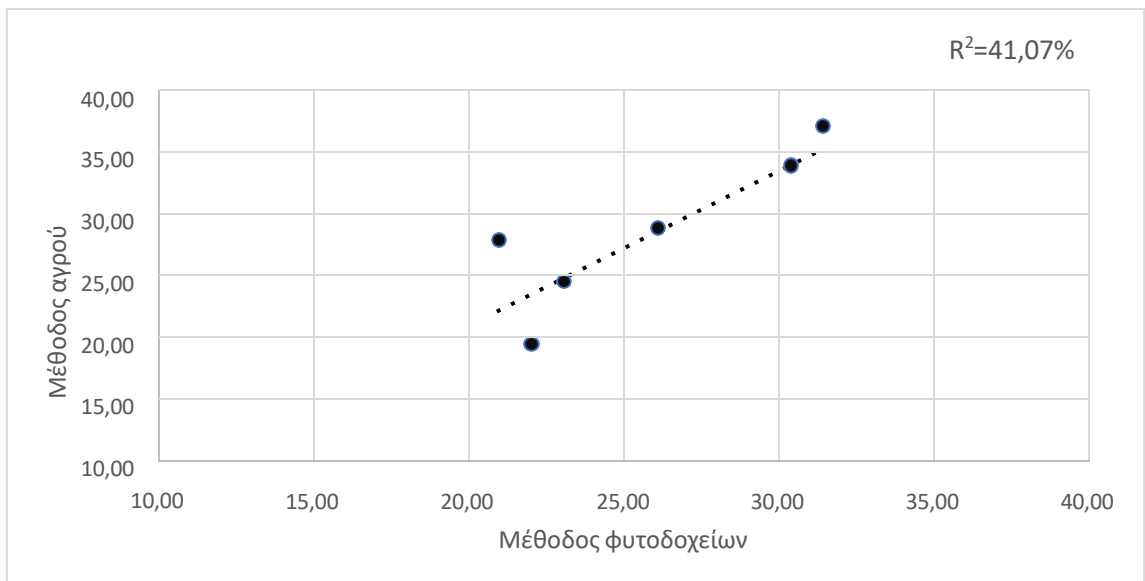
Όσον αφορά τον ανθεκτικό βιότυπο *Sisymbrium orientale*, επιλέχθηκαν να συγκριθούν οι τιμές του νωπού βάρους, όπως αυτές προέκυψαν μετά την εφαρμογή των δόσεων X και $2X$ του ζιζανιοκτόνου chlorsulfuron. Παρατηρούμε ότι, τόσο για την συνιστώμενη, όσο και για την διπλάσια δόση του chlorsulfuron προέκυψε υψηλή συσχέτιση μεταξύ των τιμών του νωπού βάρους των δύο μεθόδων (Διάγραμμα 3.68; Διάγραμμα 3.69). Πιο αναλυτικά, στη δόση 15 g ai ha^{-1} σημειώθηκε $R= 0,8072$ και στην δόση 30 g ai ha^{-1} $R= 0,7246$ (Πίνακας 3.38). Οι υψηλές συσχετίσεις που σημειώθηκαν υποδεικνύουν ότι τα αποτελέσματα που λάβαμε από την μέθοδο στον αγρό είναι εξίσου αξιόπιστα με αυτά, που λάβαμε από την κλασική προσέγγιση στα φυτοδοχεία.

Η εκτίμηση της αξιοπιστίας και της ακρίβειας της μεθόδου σε συνθήκες αγρού υπολογίστηκε σύμφωνα με τις εξισώσεις, που περιγράφονται αναλυτικά στην Ενότητα 2.3.1.4. Στον Πίνακα 3.39, παρουσιάζονται οι τιμές της αξιοπιστίας και της ακρίβειας όπως προέκυψαν 21 ημέρες μετά την εφαρμογή των διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron στον ανθεκτικό και στον ευαίσθητο βιότυπο του είδους *Sisymbrium orientale*. Παρατηρούμε ότι τα αληθώς ανθεκτικά (TR) σε όλο το εύρος των δόσεων ήταν περισσότερα από τα ψευδώς ανθεκτικά (FR) (Πίνακας 3.39). Για παράδειγμα, στην συνιστώμενη δόση από τα 120 φυτά επιβίωσαν τα 95, ενώ δεν επιβίωσαν μόνο 25 (Πίνακας 3.39). Παρόμοια τάση παρατηρούμε και στον ευαίσθητο βιότυπο, όπου στη X δόση δεν επιβίωσαν 98 φυτά (TS), ενώ επιβίωσαν μόνο 22 φυτά (FS). Επομένως, οι τιμές που προέκυψαν ήταν κοντά στο 1 υποδεικνύοντας υψηλή ακρίβεια και αξιοπιστία (Πίνακας 3.39).

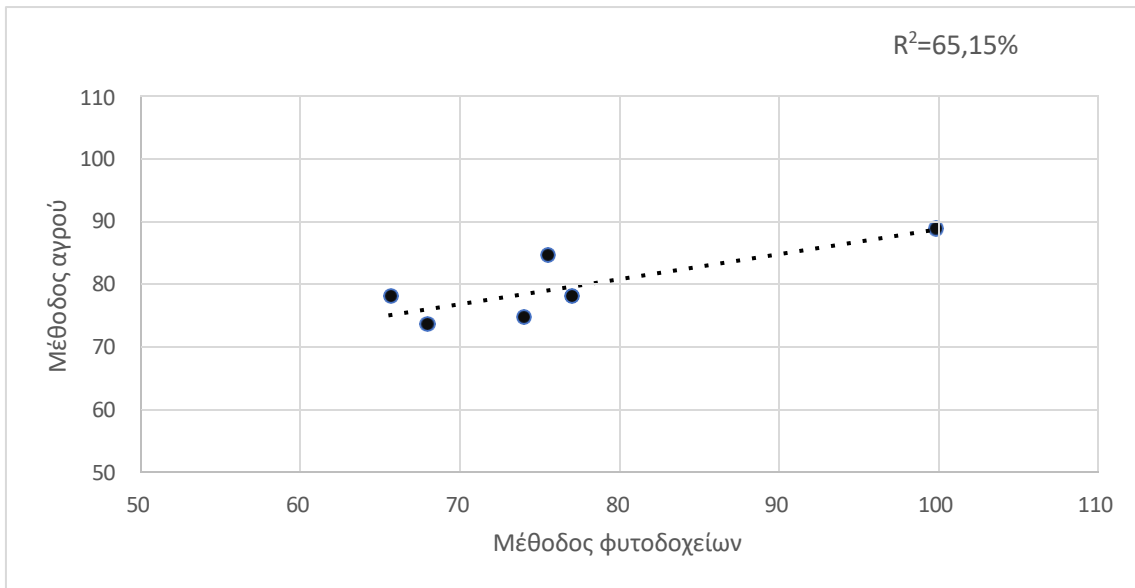
Συγκεκριμένα, η πιο υψηλή ακρίβεια που καταγράφηκε ήταν 0,97 στη δόση $x/4$, όπου και η αξιοπιστία ήταν σε ικανοποιητικό επίπεδο (0,65) (Πίνακας 3.39). Ισορροπία μεταξύ αξιοπιστίας και ακρίβειας φαίνεται στη δόση X , όπου οι τιμές που σημειώθηκαν ήταν 0,8 και 0,79 αντίστοιχα.



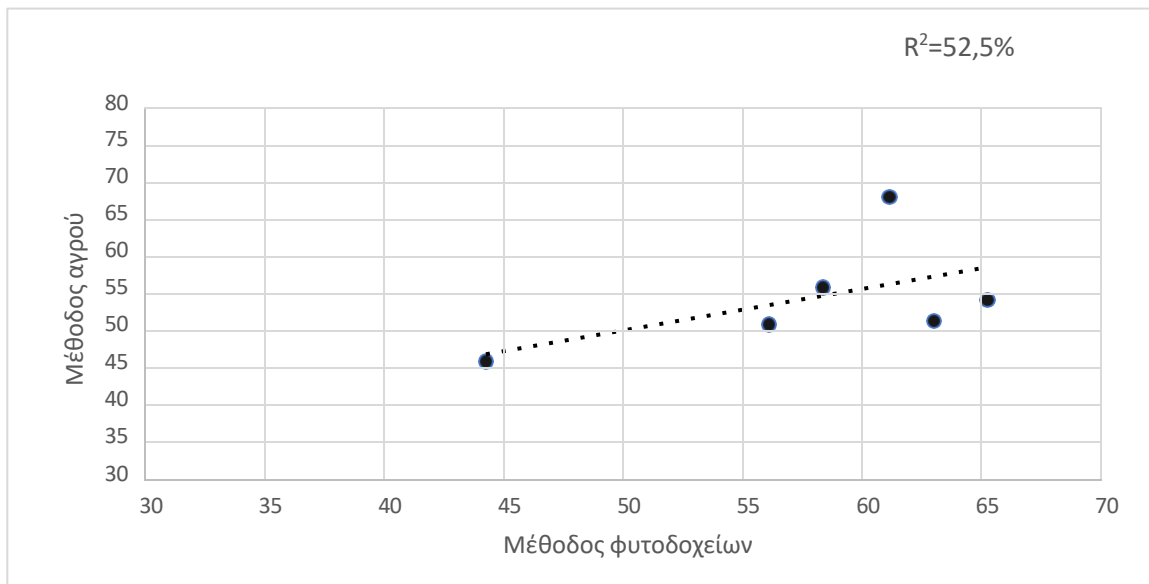
Διάγραμμα 3.66 Γραμμική συσχέτιση του νωπού βάρους των δύο μεθόδων για τον ευαίσθητο βιότυπο. Οι τιμές του νωπού βάρους όπως προέκυψαν 14 ημέρες μετά την εφαρμογή $g\ ai\ ha^{-1}$ chlorsulfuron.



Διάγραμμα 3.67 Γραμμική συσχέτιση του νωπού βάρους των δύο μεθόδων για τον ευαίσθητο βιότυπο. Οι τιμές του νωπού βάρους όπως προέκυψαν 14 ημέρες μετά την εφαρμογή $15\ g\ ai\ ha^{-1}$ chlorsulfuron.



Διάγραμμα 3.68 Γραμμική συσχέτιση του νωπού βάρους των δύο μεθόδων για τον ανθεκτικό βιότυπο. Οι τιμές του νωπού βάρους όπως προέκυψαν 14 ημέρες μετά την εφαρμογή 15 g ai ha⁻¹ chlorsulfuron.



Διάγραμμα 3.69 Γραμμική συσχέτιση του νωπού βάρους των δύο μεθόδων για τον ανθεκτικό βιότυπο. Οι τιμές του νωπού βάρους όπως προέκυψαν 14 ημέρες μετά την εφαρμογή 30 g ai ha⁻¹ chlorsulfuron.

Πίνακας 3.38 Συντελεστής συσχέτισης (coefficient correlation) και ποσοστό διασποράς (R-squared) που αφορούν το νωπό βάρος των δύο μεθόδων, όπως αυτό προέκυψε 14 ημέρες μετά την εφαρμογή του chlosulfuron. S= ευαίσθητος βιότυπος, R= ανθεκτικός βιότυπος, 15 g ai ha⁻¹ = συνιστώμενη δόση, 30 g ai ha⁻¹=διπλάσια της συνιστώμενης, 7,5 g ai ha⁻¹= υποδιπλάσια της συνιστώμενης.

Ευαίσθητος βιότυπος			
	Συντελεστής συσχέτισης	Ποσοστό διασποράς (%)	P-value
15 g ai ha ⁻¹	0,6409	41,07	0,5649
7,5 g ai ha ⁻¹	0,5989	35,86	0,2559
Ανθεκτικός βιότυπος			
	Συντελεστής συσχέτισης	Ποσοστό διασποράς (%)	P-value
15 g ai ha ⁻¹	0,8072	65,15	0,0522
30 g ai ha ⁻¹	0,7246	52,5	0,2853

Πίνακας 3.39 Η αξιοπιστία (accuracy) και η ακρίβεια (precision) της μεθόδου σε συνθήκες αγρού. Όπου οι δόσεις του chlosulfuron x= 15 g ai ha⁻¹, x/2= 7,5 g ai ha⁻¹, x/4= 3,75 g ai ha⁻¹. TR= αληθώς ανθεκτικά φυτά, FR= ψευδώς ανθεκτικά φυτά, TS= αληθώς ευαίσθητα φυτά, FS=ψευδώς ευαίσθητα φυτά.

Δόση	x	x/2	x/4
TR	95	105	117
FR	25	15	3
TS	98	65	41
FS	22	55	79
Αξιοπιστία (accuracy)	0,8	0,7	0,65
Ακρίβεια (precision)	0,79	0,87	0,97

Κεφάλαιο 4. Συζήτηση

Στα πλαίσια της Ολοκληρωμένης Διαχείρισης των ζιζανίων η χημική ζιζανιοκτονία αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς πυλώνες. Ωστόσο, η εκτεταμένη, αλόγιστη και σε πολλές περιπτώσεις λανθασμένη χρήση των ζιζανιοκτόνων οδηγεί σε επιπτώσεις τόσο στο περιβάλλον όσο και στην οικονομία. Επίσης, έχει ως αποτέλεσμα της ανάπτυξη ανθεκτικών βιότυπων ζιζανίων όπου σε συνδυασμό με την έλλειψη νέων δραστικών ουσιών εντείνουν τα κλιματικά και οικονομικά προβλήματα. Τα τελευταία χρόνια, αντιλαμβανόμαστε όλο και πιο έντονα αυτές τις αρνητικές επιδράσεις λόγω των ακραίων κλιματικών φαινομένων. Τον Δεκέμβριο του 2019, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε την Πράσινη Συμφωνία κομμάτι της οποίας αποτελεί η στρατηγική “Από το αγρόκτημα στο πιρούνι” (“Farm to fork”). Έναν από τους στόχους της στρατηγικής αποτελεί η σημαντική μείωση της χρήσης και της επικινδυνότητας των προϊόντων φυτοπροστασίας. Συνεπώς, είναι αναγκαίο οι τεχνικές της Ολοκληρωμένης Διαχείρισης των ζιζανίων να εμπλουτιστούν, να διαφοροποιηθούν και να βελτιστοποιηθούν με απώτερο σκοπό την περαιτέρω ανάπτυξη της αειφόρου γεωργίας. Σε συνέχεια των παραπάνω υλοποιήθηκαν τα πειράματα της παρούσας διδακτορικής διατριβής σε δύο πολύ σημαντικές καλλιέργειες (σιτάρι, αραβόσιτος) με στόχο την ανάπτυξη ταχείας μεθόδου για την στοχευμένη, ορθή χρήση των ζιζανιοκτόνων αλλά και την πρόβλεψη φαινομένων ανθεκτικότητας.

Για την ανάπτυξη, την βελτίωση και την επαλήθευση της μεθόδου ταχείας μεθόδου διενεργήθηκαν πειράματα αγρού και φυτοδοχείων για δύο πειραματικά έτη. Επιλέχθηκε η καλλιέργεια του σιταριού μιας και ανήκει στις πιο σημαντικές καλλιέργειες παγκοσμίως και τα ζιζάνια αποτελούν σημαντικό παράγοντα μείωσης της απόδοσης σε καρπό.

Χαμηλή αποτελεσματικότητα του μίγματος *iodosulfuron methyl+mesosulfuron methyl sodium* παρατηρήθηκε στο πείραμα αγρού που πραγματοποιήθηκε στο Δομοκό. Το συμπέρασμα προέκυψε τόσο από τον δείκτη NDVI όσο και από το ξηρό βάρος των ζιζανίων 14 ημέρες μετά την εφαρμογή του ζιζανιοκτόνου. Η κυριαρχία του άγριου σιναπιού (*Sinapis arvensis* L.) στον εν λόγω πειραματικό αγρό οδήγησε στη διεξαγωγή παράλληλων πειραμάτων σε φυτοδοχεία για περαιτέρω αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας μέσω άλλης μεθόδου. Εξίσου σε χαμηλή αποτελεσματικότητα οδήγησε το μίγμα *iodosulfuron methyl+mesosulfuron methyl sodium* έναντι του πληθυσμού. Συνεπώς, στον συγκεκριμένο αγρό η αποφυγή χρήσης του συγκεκριμένου μίγματος ήταν απαραίτητη με σκοπό τον έλεγχο των ζιζανίων και την πρόληψη ανάπτυξης ανθεκτικότητας.

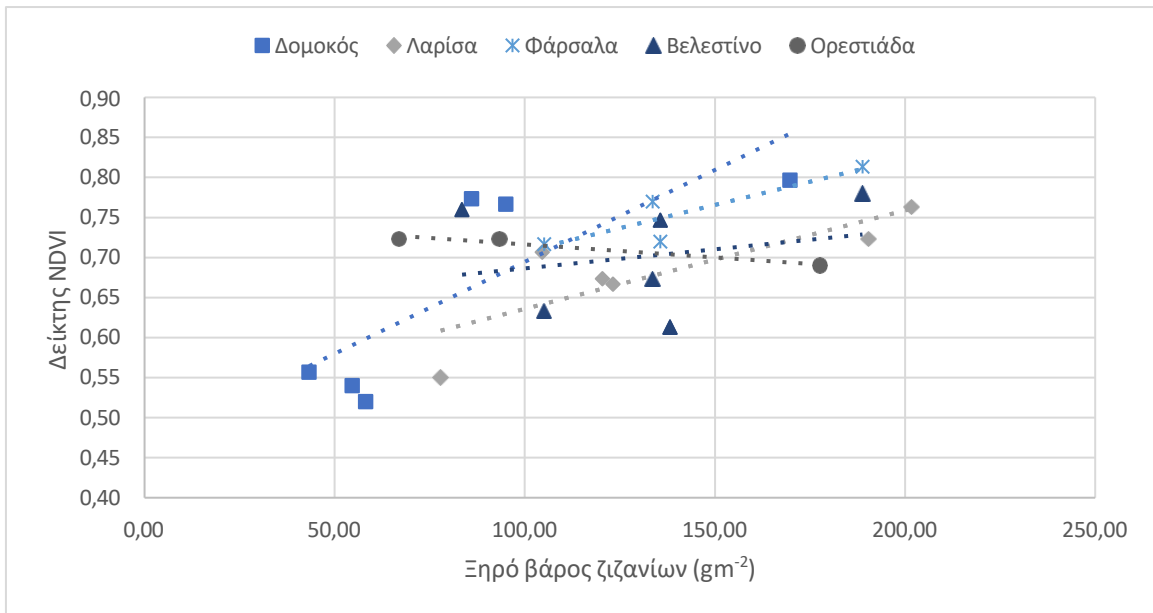
Σύμφωνα με έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην Τουρκία βρέθηκαν 47 πιθανώς ανθεκτικοί βιότυποι άγριου σιναπιού στο μίγμα iodosulfuron methyl+mesosulfuron methyl sodium (Turgum et al., 2022). Στον ίδιο πειραματικό αγρό, οι χαμηλότερες τιμές του δείκτη NDVI συγκριτικά με τον μάρτυρα κατέδειξαν την αποτελεσματικότητα του fenoxaprop-P-ethyl, αποτέλεσμα που συνάδει με προηγούμενη έρευνα στη καλλιέργεια του σιταριού (Yasin et al., 2010). Η άμεση ανάσχεση της βλάστησης επιφέροντας τελικά την νέκρωση των ζιζανίων που προκαλείται από ζιζανιοκτόνα που ανήκουν στους ACCase παρεμποδιστές επηρέασε τις τιμές του δείκτη NDVI σε μικρό χρονικό διάστημα από την εφαρμογή του ζιζανιοκτόνου, γεγονός που επιβεβαιώθηκε από το νωπό βάρος των ζιζανίων. Σε έρευνα έχει αναφερθεί ότι τα νεκρωτικά συμπτώματα που προκαλούνται από τους ACCase αναστολείς μπορεί να εμφανιστούν ακόμα και μια εβδομάδα μετά την εφαρμογή ζιζανιοκτόνων με αυτόν τον μηχανισμό δράσης (Gaines et al., 2020).

Αντίθετα αποτελέσματα διαπιστώσαμε στον πειραματικό αγρό στη Λάρισα όπου 14 ημέρες μετά την εφαρμογή του fenoxaprop-P-ethyl σημειώθηκαν υψηλές τιμές τόσο στον δείκτη NDVI όσο και στο νωπό βάρος των ζιζανίων. Αξίζει να σημειωθεί ότι στο συγκεκριμένο πειραματικό αγρό κυρίαρχο ζιζάνιο αποτέλεσε η αγριοβρώμη (*Avena sterilis* L.) όπου σε προηγούμενες έρευνες έχει αναφερθεί ανθεκτικότητα του ζιζανιού στη δραστική ουσία fenoxaprop-P-ethyl (Uludag et al., 2007; Travlos et al., 2011; Papapanagiotou et al., 2020). Η χαμηλή αποτελεσματικότητα του fenoxaprop-P-ethyl έναντι της αγριοβρώμης προκάλεσε σημαντική μείωση της απόδοσης της καλλιέργειας. Σε προηγούμενη έρευνα έχει αναφερθεί ότι η υψηλή πυκνότητα αγριοβρώμης μπορεί να προκαλέσει 30%-80% μείωση της απόδοσης φυτών μεγάλης καλλιέργειας (Beckie et al., 2012). Επίσης, στον πειραματικό αγρό στα Φάρσαλα παρατηρήθηκε κυριαρχία της αγριοβρώμης με τον ο δείκτης Simpson να το αποδεικνύει ($D= 0,52-0,58$) (Ενότητα 3.1.1.6). Σύμφωνα με τις υψηλές τιμές του δείκτη NDVI η πλειοψηφία των ζιζανιοκτόνων οδήγησαν σε χαμηλή αποτελεσματικότητα. Ωστόσο, το μίγμα mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium οδήγησε σε μειωμένο NDVI κατά 51,3% συγκριτικά με τον μάρτυρα και κρίθηκε το πιο αποτελεσματικό. Προηγούμενη έρευνα στην καλλιέργεια του σιταριού αναφέρει ότι την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των ζιζανιοκτόνων με την χρήση του δείκτη NDVI είναι εφικτή (Travlos et al., 2021). Συνεπώς, το ίδιο καλλιεργητικό έτος ήταν εφικτό να προσδιορίσουμε το πιο αποτελεσματικό ζιζανιοκτόνο για τον συγκεκριμένο αγρό αποφεύγοντας αστοχίες που θα οδηγούσαν σε μειωμένη αποτελεσματικότητα, μειωμένη απόδοση και υψηλότερο κόστος.

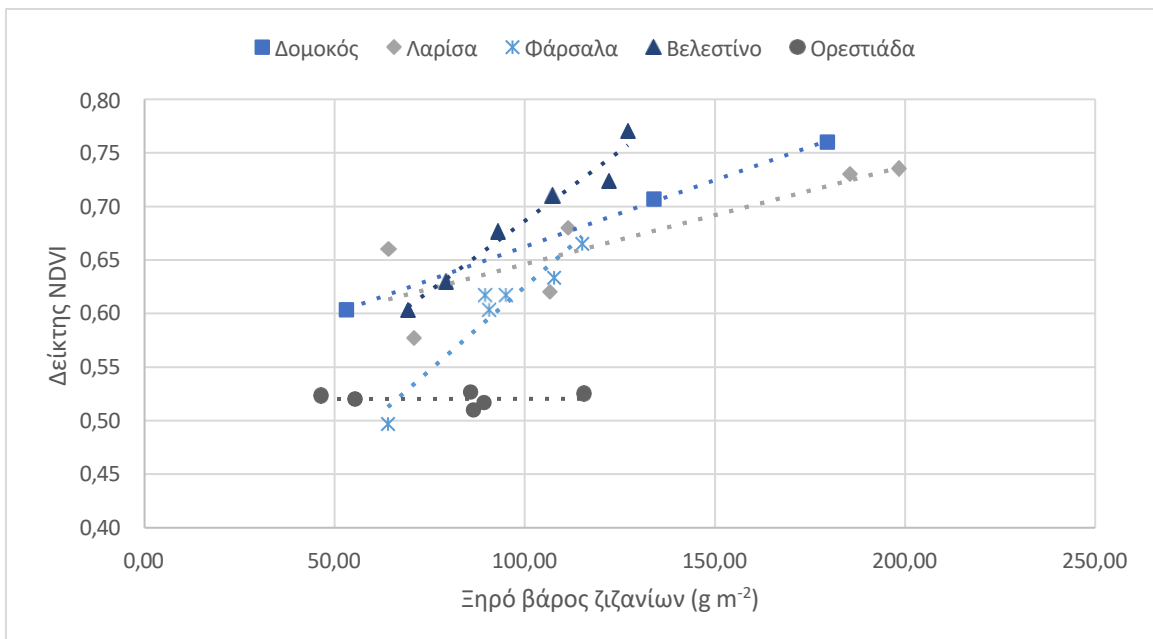
Παρόμοια αποτελέσματα έχουν αναφερθεί σε παλαιότερη έρευνα όπου το μίγμα mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium κρίθηκε αποτελεσματικό σε πειραματικούς αγρούς με διαφορετικές ποικιλίες σιταριού στους οποίους κυριαρχούσαν αγρωστώδη ζιζάνια (Travlos 2012; Raj et al., 2020).

Ο παραγωγός στον αγρό του Βελεστίνου μας είχε πληροφορήσει για την δυσκολία ελέγχου του μεγάλου πληθυσμού κολλητσίδας (*Galium aparine*) καθώς και για την συνεχόμενη εφαρμογή του μίγματος mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium. Μετά από δύο έτη πειραματισμού η μειωμένη αποτελεσματικότητα αποτελεσματικότητα του μίγματος επιβεβαιώθηκε. Συγκεκριμένα, το πρώτο πειραματικό έτος ο δείκτης NDVI μειώθηκε κατά 5,1% σε σχέση με τον μάρτυρα (Ενότητα 3.1.1.3) στις 14 ημέρες μετά την εφαρμογή του μίγματος mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium. Ο μεγάλος πληθυσμός του είδους *Galium aparine* σε συνδυασμό με τις πληροφορίες του παραγωγού μας οδήγησε στην περαιτέρω αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας με την κλασική προσέγγιση των φυτοδοχείων. Τα πειράματα στα φυτοδοχεία επιβεβαίωσαν την χαμηλή αποτελεσματικότητα του μίγματος. Παρόμοια αποτελέσματα προέκυψαν για πληθυσμό του είδους *G. aparine* σε πείραμα αγρού στο Ιράν όπου η συνιστώμενη δόση του mesosulfuron methyl+iodosulfuron methyl sodium οδήγησε σε μειωμένο έλεγχο του ζιζανίου (Nosratti & Muhammadyari, 2019).

Στους παραπάνω πειραματικούς αγρούς σημειώθηκαν ισχυρές συσχετίσεις μεταξύ του δείκτη NDVI και του ξηρού βάρους των ζιζανίων επιβεβαιώνοντας ότι η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των ζιζανιοκτόνων ήταν εφικτή με την χρήση του δείκτη NDVI (Διάγραμμα 4.1; Διάγραμμα 4.2). Σε προηγούμενες έρευνες έχει αναφερθεί η υψηλή συσχέτιση του δείκτη NDVI και του ξηρού βάρους των φυτών (Thelen et al., 2004; Ge et al., 2007; Kumar et al., 2019).



Διάγραμμα 4.1 Γραμμική συσχέτιση των τιμών του δείκτη NDVI και του ξηρού βάρους των ζιζανίων 14 ημέρες μετά τις επεμβάσεις των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ) κατά το πρώτο πειραματικό έτος για το σύνολο των πειραματικών αγρών του σιταριού.



Διάγραμμα 4.2 Γραμμική συσχέτιση των τιμών του δείκτη NDVI και του ξηρού βάρους των ζιζανίων 14 ημέρες μετά τις επεμβάσεις των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ) κατά το δεύτερο πειραματικό έτος για το σύνολο των πειραματικών αγρών του σιταριού.

Ωστόσο, η εφαρμογή της μεθόδου δεν ήταν σε όλες τις περιπτώσεις επιτυχής. Για παράδειγμα, στον πειραματικό αγρό στην Ορεστιάδα δεν ήταν εφικτή η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των ζιζανιοκτόνων σύμφωνα με τον δείκτη NDVI καθώς συνολικά οι τιμές που προέκυψαν ήταν πολύ υψηλές σε σχέση με τον μάρτυρα (Ενότητα 3.1.1.5). Οι συσχετίσεις του ξηρού βάρους των ζιζανίων με τον δείκτη ήταν εξαιρετικά χαμηλές και μόνο το ξηρό βάρος των ζιζανίων οδήγησε στην εκτίμηση της επίδρασης των ζιζανιοκτόνων (Ενότητα 3.1.1.5). Αξίζει να αναφερθεί ότι στο συγκεκριμένο πειραματικό αγρό κυρίαρχο είδος αποτέλεσε το *Lolium rigidum*. Τα παρόμοια μορφολογικά χαρακτηριστικά του είδους *Lolium rigidum* με του είδους *Triticum durum* όταν αυτά βρίσκονται σε μικρό αναπτυξιακό στάδιο φαίνεται να οδηγούν σε αστοχίες στις τιμές του δείκτη NDVI. Συνεπώς, τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των ειδών των ζιζανίων αποτελούν περιοριστικό παράγοντα για την επιτυχή εφαρμογή της μεθόδου στη καλλιέργεια του σιταριού.

Η δυσκολία εκτίμησης της αποτελεσματικότητας των ζιζανιοκτόνων στον πειραματικό αγρό της Ορεστιάδας οδήγησε σε περαιτέρω μελέτη της με την κλασική προσέγγιση των φυτοδοχείων. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στο είδος *Lolium rigidum* που αποτέλεσε το κυρίαρχο ζιζάνιο στον συγκεκριμένο πειραματικό αγρό (Ενότητα 3.1.1.6). Από τα αποτελέσματα προέκυψε αρκετά μειωμένη αποτελεσματικότητά του μίγματος iodosulfuron methyl+mesosulfuron methyl sodium. Έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε διαφορετικούς πληθυσμούς του είδους *Lolium multiflorum* οδήγησε σε ανθεκτικότητα στο μίγματος iodosulfuron methyl+mesosulfuron methyl sodium στο 24% των πληθυσμών (Hill et al., 2022). Επίσης, έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην Τουρκία πάλι σε βιότυπους του είδους *Lolium multiflorum* που προέρχονται από εκτάσεις σιταριού ανέδειξε την υψηλή ανθεκτικότητα των βιότυπων στο παραπάνω μίγμα (Kaya et al., 2022). Επιπλέον, έρευνα που διεξήχθη σε βιότυπους του είδους *Lolium perenne*, οι οποίοι προήλθαν από εκτάσεις σιταριού της Βορειοανατολικής Ελλάδας, αναφέρει την πιθανή διασταυρωτή ανθεκτικότητα του είδους στο μίγμα iodosulfuron methyl+mesosulfuron methyl sodium και στη δραστική ουσία pinoxaden (Papapanagiotou et al., 2023).

Ενδιαφέρον εύρημα αποτέλεσε η υψηλή συσχέτιση που προέκυψε μεταξύ των τιμών του δείκτη NDVI και του φθορισμού της χλωροφύλλης (Fv/Fm). Πιο συγκεκριμένα, μετά την σύγκριση των τιμών του δείκτη NDVI και του φθορισμού της χλωροφύλλης (Fv/Fm) στις 1, 2, 5, 7, 10, 14 και 21 ημέρες μετά την εφαρμογή του μίγματος rygoxulam+florasulam προέκυψε στατιστικά σημαντική συσχέτιση $R^2=81\%$. Αυτό το αποτέλεσμα μπορεί να θεωρηθεί αναμενόμενο αφού και οι δύο δείκτες σχετίζονται με την μεταβολή της χλωροφύλλης όταν το φυτό βρεθεί σε συνθήκες καταπόνησης. Η συνδυαστική χρήση των δύο δεικτών έχει αναφερθεί και σε άλλες μελέτες που αφορούν την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ζιζανιοκτόνων σε φυτοδοχεία (Kanas et al., 2022; 2021).

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι υπάρχουν διαφορές μεταξύ των πειραματικών αγρών όσον αφορά την αποτελεσματικότητα των ζιζανιοκτόνων. Οι περιβαλλοντικές συνθήκες καθώς και οι διαφορετικές καλλιεργητικές τεχνικές που εφαρμόζουν οι καλλιεργητές οδηγούν στην παραλλακτικότητα των βιότυπων ζιζανίων εντός του ίδιου είδους και επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα των ζιζανιοκτόνων.

Όσον αφορά τις περιβαλλοντικές συνθήκες έχει αναφερθεί ότι η θερμοκρασία, η υγρασία, το φως και η συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα επηρεάζουν σημαντικά την αποτελεσματικότητα των μεταφυτρωτικών ζιζανιοκτόνων (Stagnari 2007; Varanasi et al., 2016). Η θερμοκρασία επηρεάζει με πολλούς τρόπους την αποτελεσματικότητα των ζιζανιοκτόνων μιας και παίζει καθοριστικό ρόλο στην βλάστηση και στην ανάπτυξη των ζιζανίων. Οι υψηλές θερμοκρασίες μειώνουν την διαπερατότητα και την διάχυση των ζιζανιοκτόνων (Sharma and Singh, 2001). Πολλές έρευνες αναφέρουν ότι η αποτελεσματικότητα των μεταφυτρωτικών ζιζανιοκτόνων επηρεάζεται σε μεγαλύτερο βαθμό από την υγρασία παρά από την θερμοκρασία (Skuterud et al., 1998; Shaw et al., 2000; Coetzer et al., 2001). Η υψηλή υγρασία μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων οδηγεί σε υψηλότερη απορρόφηση (Anderson et al., 1993).

Το φως επηρεάζει άμεσα την ανάπτυξη των φυτών και κατ' επέκταση την αποτελεσματικότητα των ζιζανιοκτόνων. Πιο αναλυτικά, υπό υψηλή ένταση φωτός τα στόματα των φύλλων παραμένουν ανοιχτά με αποτέλεσμα η απορρόφηση των ζιζανιοκτόνων να είναι υψηλότερη. Ωστόσο, η περίσσεια ή η μειωμένη ένταση του φωτός οδηγεί σε φυτά με λεπτότερα φύλλα και μεγαλύτερο ύψος στην προσπάθειά τους να μειώσουν τις επιπτώσεις και να φωτοσυνθέσουν (Matos et al., 2009). Αυτές η αλλαγές επηρεάζουν το ποσοστό απορρόφησης των ζιζανιοκτόνων και οδηγούν στη μειωμένη αποτελεσματικότητά τους (Riederer and Schonherr, 1985).

Η αυξημένη συγκέντρωση CO₂ στην ατμόσφαιρα μειώνει την δραστηριότητα των στομάτων του φύλλου οδηγώντας στην μειωμένη απορρόφηση των ζιζανιοκτόνων (Bunce, 1993). Η κλιματική αλλαγή που βιώνουμε τα τελευταία έτη προκαλεί ακραία καιρικά φαινόμενα όπως απότομες αλλαγές της θερμοκρασίας και έντονες βροχοπτώσεις. Αυτό περιμένουμε να έχει επιπτώσεις στην αποτελεσματικότητα των ζιζανιοκτόνων καθώς υπάρχει πιθανότητα να επηρεαστεί ο μεταβολισμός ή η αποδόμηση των ζιζανιοκτόνων (Ramesh et al., 2017).

Επίσης, διάφορες έρευνες αναφέρουν την θετική επίδραση των καλλιεργητικών τεχνικών όπως η αμειψισπορά, η επιφανειακή εδαφοκατεργασία, η ψευδοσπορά κ.ά. στην αποτελεσματικότητα των ζιζανιοκτόνων (Blackshaw et al., 2005; Satin et al., 2019; Kanatas et al., 2020). Συνεπώς, παραγωγοί που συνδυάζουν τις καλλιεργητικές μεθόδους με την ορθή χρήση των ζιζανιοκτόνων πετυχαίνουν υψηλότερο έλεγχο των ζιζανίων. Όπως έχει αναφερθεί όλα τα παραπάνω απορρέουν στην παραλλακτικότητα ή αλλιώς στην γενετική ποικιλομορφία (genetic diversity) των βιότυπων των ζιζανίων (Dekker 1997).

Συνολικά, οι πειραματικοί αγροί της καλλιέργειας του σιταριού χαρακτηρίστηκαν από μειωμένη ποικιλομορφία μεταξύ των ειδών των ζιζανίων. Σύμφωνα με τους παραγωγούς τα συγκεκριμένα αγροτεμάχια καλλιεργούνται πολλά συνεχόμενα χρόνια, έχει γίνει εκτεταμένη εδαφοκατεργασία και πολλές εφαρμογές λιπασμάτων και ζιζανιοκτόνων. Η μείωση της ποικιλομορφίας των ειδών των ζιζανίων οφείλεται στην εντατικοποίηση καλλιεργητικών τεχνικών και στην συνεχόμενη εφαρμογή ζιζανιοκτόνων και λιπασμάτων στις γεωργικές καλλιέργειες (Murphy and Lemerle 2006; Storkey et al. 2010; Storkey et al. 2012; Salonon et al. 2013). Συνεπώς, κρίνεται απαραίτητη η ορθή χρήση των ζιζανιοκτόνων που να μην παρέχει ικανοποιητικό έλεγχο των ζιζανίων αλλά προστατεύει τα ωφέλιμα είδη των ζιζανίων διατηρώντας την ποικιλομορφία τους.

Τα πειράματα στην καλλιέργεια του αραβόσιτου πραγματοποιήθηκαν για την ανάπτυξη, τη βελτίωση και την επαλήθευση της *in situ* μεθόδου σε μια θερινή, πολύ σημαντική καλλιέργεια με διαφορετικά μορφολογικά χαρακτηριστικά σε σχέση με αυτή του σιταριού.

Στον πειραματικό αγρό Πύργος 1, με την χρήση του δείκτη NDVI αξιολογήσαμε την αποτελεσματικότητα των ζιζανιοκτόνων 14 ημέρες μετά την εφαρμογή τους. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με το ποσοστό μείωσης του δείκτη NDVI σε σχέση με τον μάρτυρα το μίγμα nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba σημείωσε υψηλή αποτελεσματικότητα και τα δύο έτη πειραματισμού (Ενότητα 3.2.1.1). Η αποτελεσματικότητα του μίγματος αποτυπώθηκε, τόσο στο ξηρό βάρος των ζιζανίων, όσο και στην απόδοση σε καρπό (Ενότητα 3.2.1.1).

Σε παλαιότερη έρευνα, έχει αναφερθεί υψηλός έλεγχος των ζιζανίων στη καλλιέργεια του αραβόσιτου μετά την εφαρμογή του μίγματος nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba (Gołębniowska, 2008). Μάλιστα, έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε καλλιέργεια αραβόσιτου αναφέρει 90% αποτελεσματικότητα του μίγματος nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba στις 14 ημέρες μετά την εφαρμογή του (Mitkon et al., 2019). Η ταχεία αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας συνδέεται με την άμεση δράση του μίγματος, καθώς αποτελείται από δραστικές ουσίες, που ανήκουν στις σουλφονουρίες (nicosulfuron+rimsulfuron) και στις φυσικές αυξίνες (dicamba). Ο Wall (1994) έχει αναφέρει ότι τα χλωρωτικά συμπτώματα, που προκαλούνται από τις σουλφονουρίες, είναι εμφανή 14 ημέρες μετά την εφαρμογή τους. Επίσης, έχει αναφερθεί ότι η ανάσχεση της βλάστησης, που προκαλείται από τις σουλφονουρίες, ξεκινάει 1-2 ώρες μετά την εφαρμογή τους (Brown 1990). Συνεπώς, η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ζιζανιοκτόνων, που ανήκουν στις σουλφονουρίες, μπορεί να πραγματοποιηθεί λίγες μέρες μετά την εφαρμογή τους με την χρήση του δείκτη NDVI, αφού η ανάσχεση της ανάπτυξης του ζιζανίου ξεκινά σε σύντομο χρονικό διάστημα.

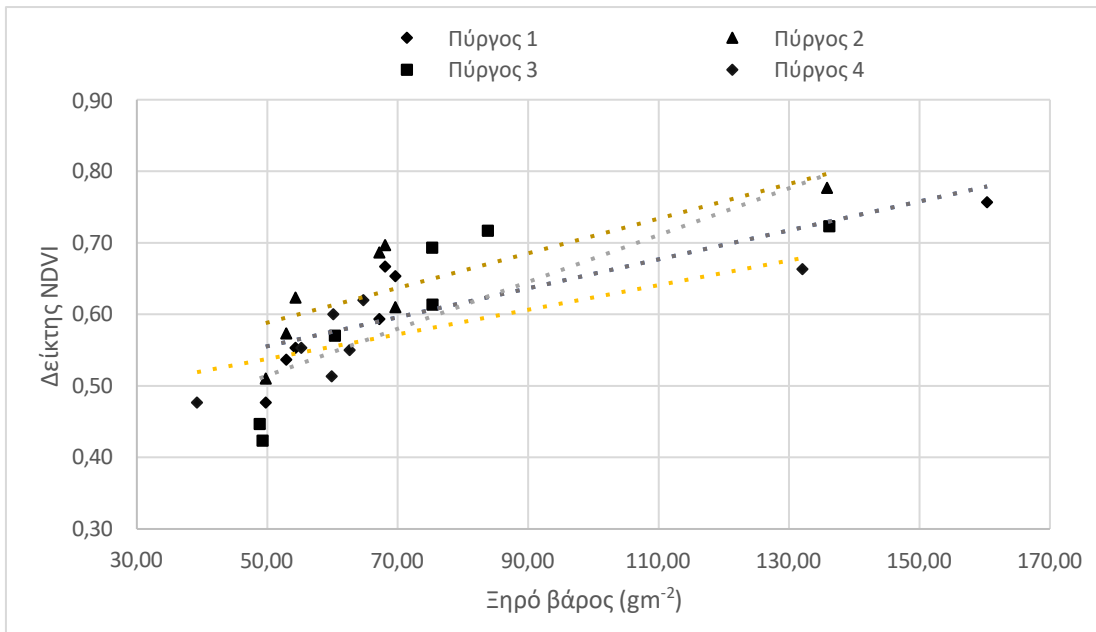
Η υψηλή πυκνότητα της αγριοτοματιάς στον πειραματικό αγρό Πύργος 1 (Ενότητα 3.1.2.5) οδήγησε στην παράλληλη μελέτη του βιότυπου με την κλασική προσέγγιση των φυτοδοχείων. Τα πειράματα σε φυτοδοχεία επιβεβαίωσαν την αποτελεσματικότητα του μίγματος nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba. Συμπερασματικά, η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των ζιζανιοκτόνων με την ταχεία μέθοδο σε συνθήκες αγρού επιτεύχθηκε 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων κατά την ίδια καλλιεργητική περίοδο.

Μειωμένη αποτελεσματικότητα προέκυψε 14 ημέρες μετά την εφαρμογή του μίγματος florasulam+mesotrione στον πειραματικό αγρό Πύργος 2. Το αποτέλεσμα αναδείχθηκε από τον δείκτη NDVI και επιβεβαιώθηκε από το ξηρό βάρος των ζιζανίων 14 ημέρες μετά την εφαρμογή του μίγματος (Ενότητα 3.2.1.2). Στον ίδιο πειραματικό αγρό, κατά το πρώτο πειραματικό έτος σημειώθηκε υψηλή αποτελεσματικότητα μετά την εφαρμογή του μίγματος

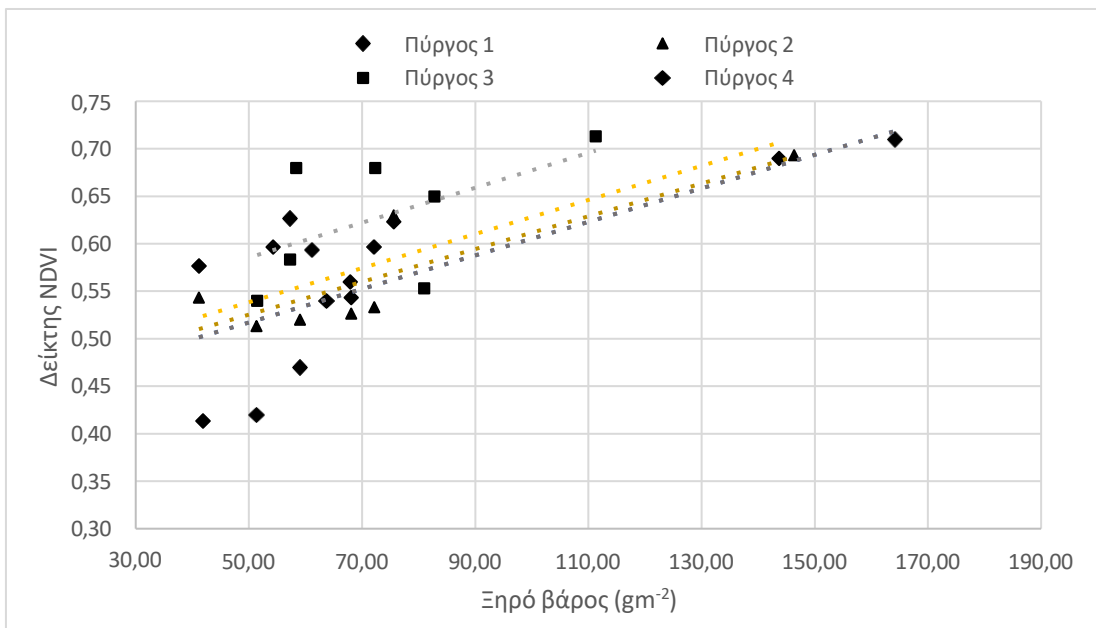
nicosulfuron+rimsulfuron+dicamba, όπου η ποσοστιαία μείωση του δείκτη NDVI ήταν 34% συγκριτικά με τον μάρτυρα (Ενότητα 3.2.1.2). Γενικά, παρατηρήθηκε ότι όταν το ποσοστό μείωσης του δείκτη NDVI σε σχέση με τον μάρτυρα είναι κάτω του 20% τα ζιζανιοκτόνα διαθέτουν μειωμένη αποτελεσματικότητα. Αντίθετα, όταν το ποσοστό μείωσης είναι άνω του 20%, τότε το ζιζανιοκτόνο μπορεί να κριθεί αποτελεσματικό. Το συγκεκριμένο συμπέρασμα έχει επιβεβαιωθεί από την μέτρηση του ξηρού βάρους των ζιζανίων, όπου στην πλειοψηφία των πειραματικών αγρών οι συσχετίσεις μεταξύ ξηρού βάρους- δείκτη NDVI ήταν υψηλές. Σε παλαιότερη έρευνα έχει αναφερθεί η ισχυρή συσχέτιση του δείκτη NDVI με την βιομάζα των φυτών (Cabrera-Bosquet et al., 2011). Στα Διαγράμματα 4.3 και 4.4, παρουσιάζεται η γραμμική συσχέτιση των δύο μεταβλητών. Όπως φαίνεται, όσο μειώνεται ο δείκτης NDVI μειώνεται και το ξηρό βάρος των ζιζανίων. Η ισχυρή σχέση των δύο μεταβλητών αποδεικνύεται από τα υψηλά ποσοστά διασποράς, όπως αυτά παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1 Το ποσοστό διασποράς (R^2) των μεταβλητών δείκτης NDVI-ξηρό βάρος ζιζανίων 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ). Όπου $R^2_{\text{έτος1}}$ = ποσοστό διασποράς για το πρώτο πειραματικό έτος, $R^2_{\text{έτος2}}$ = ποσοστό διασποράς για το δεύτερο πειραματικό έτος.

Πειραματικοί αγροί	Πύργος 1	Πύργος 2	Πύργος 3	Πύργος 4
$R^2_{\text{έτος1}}$	66,3	51,37	46,52	41,56
$R^2_{\text{έτος2}}$	63,9	42,71	9,84	53,31



Διάγραμμα 4.3 Γραμμική συσχέτιση των τιμών του δείκτη NDVI και του ξηρού βάρους των ζιζανίων 14 ημέρες μετά τις επεμβάσεις των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ) κατά το πρώτο πειραματικό έτος για το σύνολο των πειραματικών αγρών στο Πύργο.



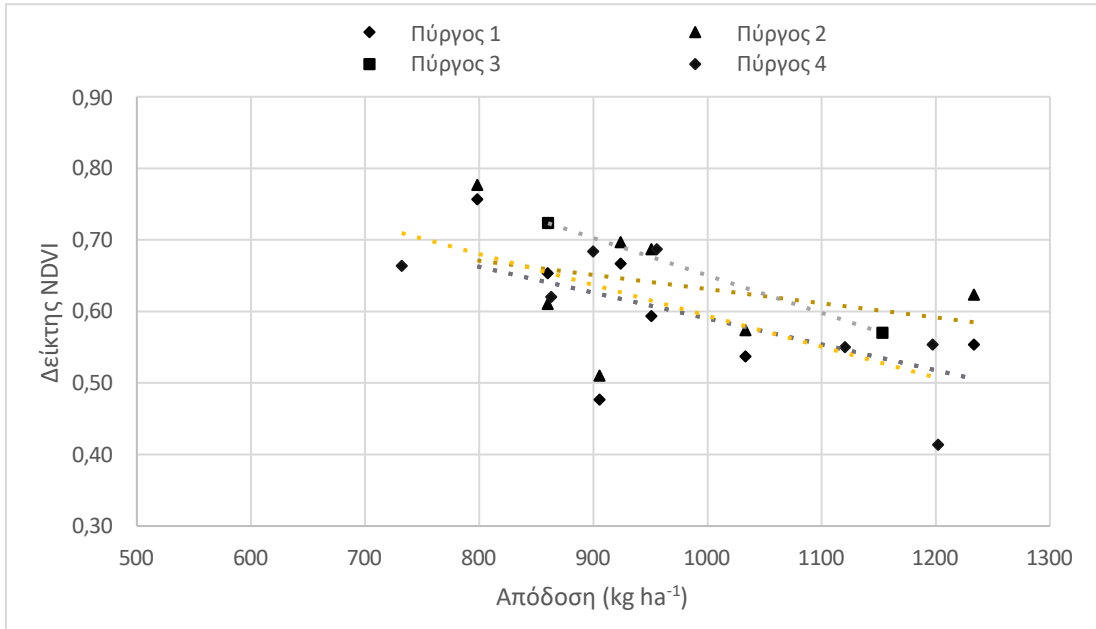
Διάγραμμα 4.4 Γραμμική συσχέτιση των τιμών του δείκτη NDVI και του ξηρού βάρους των ζιζανίων 14 ημέρες μετά τις επεμβάσεις των ζιζανιοκτόνων (14 ΗΜΕ) κατά το δεύτερο πειραματικό έτος για το σύνολο των πειραματικών αγρών στο Πύργο.

Σύμφωνα με τις τιμές του δείκτη NDVI, υψηλή κρίθηκε η αποτελεσματικότητα του μίγματος florasulam+mesotrione και για τα δύο έτη πειραματισμού στο πειραματικό αγροτεμάχιο Πύργος 3. Ο συγκεκριμένος πειραματικός αγρός σημείωσε υψηλή ποικιλομορφία με τα περισσότερα είδη να είναι πλατύφυλλα, γεγονός που δικαιολογεί την υψηλή αποτελεσματικότητα του παραπάνω μίγματος. Έρευνα που έχει πραγματοποιηθεί σε καλλιέργεια του αραβόσιτου με μεγάλο αριθμό διαφορετικών ειδών πλατύφυλλων ζιζανίων, αναφέρει την υψηλή αποτελεσματικότητα του μίγματος florasulam+mesotrione οδηγώντας σε υψηλή απόδοση σε καρπό (Kierzek et al., 2011). Διάφορες έρευνες έχουν αναφερθεί στην θετική συσχέτιση του δείκτη NDVI και της απόδοσης της καλλιέργειας (Wall et al., 2008; Mkhabela et al., 2011; Huang et al., 2014).

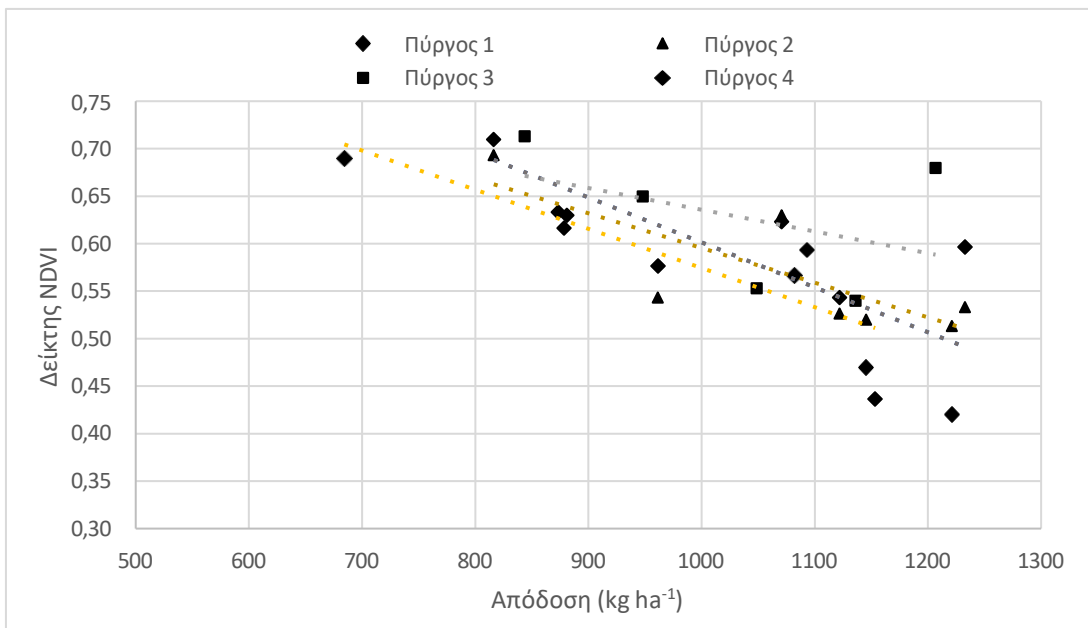
Στα πλαίσια της μελέτης της ταχείας μεθόδου, προσπαθήσαμε να συνδέσουμε την αποτελεσματικότητα των ζιζανιοκτόνων με τον δείκτη NDVI. Η υψηλή αποτελεσματικότητα των ζιζανιοκτόνων συγγέεται με τις υψηλές αποδόσεις της καλλιέργειας. Ενδιαφέρον εύρημα αποτελεί η συσχέτιση του δείκτη NDVI με την απόδοση της καλλιέργεια σε καρπό (Διάγραμμα 4.5; Διάγραμμα 4.6). Όπως φαίνεται από τα Διαγράμματα 4.5 και 4.6, όσο μειώνονται οι τιμές του NDVI λόγω της εφαρμογής των ζιζανιοκτόνων, τόσο αυξάνεται η απόδοση της καλλιέργειας σε καρπό. Στον Πίνακα 4.2, φαίνεται ο συντελεστής συσχέτισης και προσδιορισμού για τα δύο έτη πειραματισμού. Πιο αναλυτικά, οι αρνητικές τιμές του R που προέκυψαν επιβεβαιώνουν την αρνητική συσχέτιση των μεταβλητών (Πίνακα 4.2). Τα υψηλά ποσοστά διασποράς R^2 που σημειώθηκαν για τους περισσότερους πειραματικούς αγρούς αποδεικνύουν την ισχυρή σχέση των μεταβλητών (Πίνακα 4.2). Αξίζει να σημειωθεί ότι τα παραπάνω ευρήματα προέκυψαν και για τα δύο έτη πειραματισμού.

Πίνακας 4.2 Ο συντελεστής συσχέτισης (R) των μεταβλητών δείκτης NDVI-απόδοση σε καρπό. Όπου $R_{\text{έτος}1}$ =συντελεστής συσχέτισης για το πρώτο πειραματικό έτος, $R_{\text{έτος}2}$ = συντελεστής συσχέτισης για το δεύτερο πειραματικό έτος $R^2_{\text{έτος}1}$ =ποσοστό διασποράς για το πρώτο πειραματικό έτος, $R^2_{\text{έτος}2}$ = ποσοστό διασποράς για το δεύτερο πειραματικό έτος.

Πειραματικοί αγροί	Πύργος 1	Πύργος 2	Πύργος 3	Πύργος 4
$R_{\text{έτος}1}$	-0,5492	-0,5209	-0,7554	-0,7785
$R_{\text{έτος}2}$	-0,5801	-0,6117	-0,7214	-0,8557
$R^2_{\text{έτος}1}$	30,16	27,13	57,07	60,61
$R^2_{\text{έτος}2}$	33,65	37,42	52,04	73,22



Διάγραμμα 4.5 Γραμμική συσχέτιση των τιμών του δείκτη NDVI και της απόδοσης σε καρπό κατά το πρώτο πειραματικό έτος για το σύνολο των πειραματικών αγρών στο Πύργο.



Διάγραμμα 4.6 Γραμμική συσχέτιση των τιμών του δείκτη NDVI και της απόδοσης σε καρπό κατά το δεύτερο πειραματικό έτος για το σύνολο των πειραματικών αγρών στον Πύργο.

Στον πειραματικό αγρό Πύργος 4, κατά τα δύο έτη πειραματισμού, κυρίαρχο είδος αποτέλεσε η μουχρίτσα (*Echinochloa* spp.) καλύπτοντας περίπου το 70% της συνολικής ζιζανιοχλωρίδας (Ενότητα 3.2.1.5). Η κυριαρχία του είδους σε συνδυασμό με την χαμηλή αποτελεσματικότητα του μίγματος nicosulfuron+rimsulfuron οδήγησε στην υποψία ανάπτυξης ανθεκτικότητας. Η πολύ χαμηλή αποτελεσματικότητα αξιολογήθηκε από τον δείκτη NDVI με το ξηρό βάρος των ζιζανίων να επαληθεύει το αποτέλεσμα. Η περαιτέρω μελέτη του βιότυπου της μουχρίτσας με την κλασική προσέγγιση των φυτοδοχείων επιβεβαίωσε το αποτέλεσμα της ταχείας μεθόδου. Αξίζει να σημειωθεί ότι η κυριαρχία του είδους αποτελεί ένδειξη της πιθανής ανάπτυξης της ανθεκτικότητας. Όπως έχει αναφερθεί σε άλλη έρευνα, όσο αυξάνεται ένας πληθυσμός και οι επιλογές των ζιζανιοκτόνων μειώνονται, η πίεση της επιλογής αυξάνεται και τα φυτά του πληθυσμού προσαρμόζονται γρήγορα οδηγώντας στην ανάπτυξη της ανθεκτικών βιότυπων (Neve et al., 2014). Επομένως, με την χρήση του δείκτη NDVI μπορέσαμε να εκτιμήσουμε τόσο την αποτελεσματικότητα των ζιζανιοκτόνων όσο και να προβλέψουμε την πιθανή ανάπτυξη ανθεκτικότητας κατά την ίδια καλλιεργητική περίοδο.

Η πρόβλεψη των ανθεκτικών περιπτώσεων συνεπάγεται με την πρόληψη ανάπτυξης ανθεκτικότητας (proactive resistance management). Η πρόληψη της ανθεκτικότητας περιλαμβάνει διάφορες τεχνικές: α) μέτρα που στοχεύουν στον περιορισμό της εξάπλωσης των ανθεκτικών βιότυπων β) καλλιεργητικές τεχνικές (αμειψισπορά, ψευδοσπορά, εδαφοκατεργασία, αποστάσεις φύτευσης) γ) εναλλαγή των ζιζανιοκτόνων δ) εφαρμογή μιγμάτων δραστικών ουσιών ε) ορθή χρήση των ζιζανιοκτόνων βάση της ετικέτας του σκευάσματος (Morrison and Bourgeois, 1995; Jordan et al., 1997; Bararpour & Oliver, 1998; Lyon et al., 1996; Friesen et al., 2000; Merfield, 2015; Norsworthy et al., 2012; Travlos, 2013). Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια είναι απαραίτητο να εμπλουτιστούν οι παραπάνω τεχνικές. Σημαντικές προσθήκες αποτελούν τα Συστήματα Λήψης Απόφασης (Decision support systems DSS) και νέες-ταχείες μέθοδοι, όπως η παρούσα μελέτη. Αναλυτικότερα, με την χρήση των συγκεκριμένων συστημάτων προάγεται η στήριξη των παραγωγών για την λήψη σωστών αποφάσεων ως προς την διαχείριση των ζιζανίων, όπως η ορθή δόση του ζιζανιοκτόνου (Kanatas et al., 2020). Στα Συστήματα Λήψης Απόφασης συμπεριλαμβάνεται η ταχεία μέθοδος, αφού δίνει την δυνατότητα αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας των ζιζανιοκτόνων την ίδια καλλιεργητική χρονιά παρέχοντας τις κατάλληλες συστάσεις στον παραγωγό.

Συνολικά, στην καλλιέργεια του αραβόσιτου για τον δείκτη NDVI δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των πειραματικών αγρών (Ενότητα 3.2.1.5). Αυτό οφείλεται: α) στις παρόμοιες κλιματικές συνθήκες και β) στην παρόμοια εδαφική σύσταση (Ενότητα 2.2.1.1). Οι κλιματικές συνθήκες (αβιοτικός παράγοντας) επηρεάζουν τόσο την μορφολογία, όσο και την ανάπτυξη των ζιζανίων (Varanasi 2016). Επομένως, για τους πειραματικούς αγρούς του αραβόσιτου, που βρίσκονταν στην ίδια περιοχή υπό κοινές κλιματικές συνθήκες, η ανάπτυξη των ζιζανίων ήταν παρόμοια. Το ίδιο ισχύει και για την απορρόφηση των ζιζανιοκτόνων. Όπως αναλύθηκε στην Ενότητα 4.1, η απορρόφηση των μεταφυτρωτικών ζιζανιοκτόνων επηρεάζεται από τις κλιματικές συνθήκες. Συνεπώς, υπό ίδιες περιβαλλοντικές συνθήκες η απορρόφηση των ζιζανιοκτόνων από τα φυτά είναι κοινή.

Ωστόσο, οι διαφορές που αποτυπώθηκαν μεταξύ των επεμβάσεων σε κάθε πειραματικό αγρό σχετίζονται με τις τεχνικές διαχείρισης των ζιζανίων, που εφαρμόζει ο κάθε καλλιεργητής. Στις καλλιεργητικές τεχνικές διαχείρισης των ζιζανίων συγκαταλέγονται: α) η εδαφοκατεργασία, β) η αμειψισπορά, γ) η ψευδοσπορά, δ) τα φυτά κάλυψης και ε) η εφαρμογή ζιζανιοκτόνων. Γενικά, οι μη χημικές μέθοδοι στοχεύουν στη μείωση της βλάστησης των ζιζανίων και στη μείωση της τράπεζας του σπόρου των ζιζανίων. Έρευνα στην οποία μελετήθηκε η επίδραση της αμειψισποράς συνδυαστικά με την χημική ζιζανιοκτονία αναφέρει ότι για το σύνολο των καλλιεργειών ο καλύτερος έλεγχος των ζιζανίων επιτεύχθηκε με τον συνδυασμό των δύο τεχνικών (Dowler et al., 1974). Επίσης, αλληλεπιδράσεις έχουν σημειωθεί μεταξύ των διαφρών συστημάτων εδαφοκατεργασίας και της αποτελεσματικότητας προφυτρωτικών ζιζανιοκτόνων (Chauhan et. al., 2006). Επομένως, ο συνδυασμός μη χημικών και χημικών μεθόδων μπορεί να οδηγήσει στον βέλτιστη διαχείριση των ζιζανίων.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στην καλλιέργεια του αραβόσιτου οι τιμές του δείκτη NDVI αφορούσαν μόνο την ζιζανιοχλωρίδα. Σε αυτό συνετέλεσαν δύο παράγοντες α) η ορθοτενής και γρήγορη ανάπτυξη της καλλιέργειας και β) οι μεγάλες αποστάσεις φύτευσης της καλλιέργειας. Συνολικά, στην πλειονότητα των πειραματικών αγροτεμαχίων του αραβόσιτου ήταν εφικτή η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των ζιζανιοκτόνων μέσω της ταχείας μεθόδου σε συνθήκες αγρού.

Παρόμοια αποτελέσματα έχουν αναφερθεί από άλλες έρευνες. Για παράδειγμα, έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε τρεις πολύ σημαντικές πολυετής καλλιέργειες (ελιά, λεμονιά, αμπέλι) αναφέρει ότι η χρήση του δείκτη NDVI οδήγησε στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας μεταφυτρωτικών ζιζανιοκτόνων (Kanatas et al., 2021). Επίσης, έχει αναφερθεί ότι στην καλλιέργεια ελιάς τα ζιζάνια που είχαν υποστεί στρες, είτε από την εφαρμογή ζιζανιοκτόνων, είτε από εναλλακτικές τεχνικές διαχείρισης τους σημείωσαν χαμηλότερες τιμές NDVI συγκριτικά με τον μάρτυρα (Antonopoulos et al., 2023). Επιπλέον, ο δείκτης NDVI έχει χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας εναέριων ψεκασμών με glyphosate δίνοντας θετικά αποτελέσματα (Zhang et al., 2010). Ο αισθητήρας που χρησιμοποιήθηκε στις παραπάνω έρευνες είναι ίδιος με αυτόν, που χρησιμοποιήσαμε και εμείς για την διεξαγωγή των πειραμάτων της παρούσας μελέτης. Η μόνη διαφοροποίηση είναι ότι στην τελευταία έρευνα ο αισθητήρας δεν ήταν χειρός, αλλά ήταν τοποθετημένος πάνω σε γεωργικό ελκυστήρα.

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης ερευνήθηκε η αξιοπιστία και η ακρίβεια της μεθόδου με δύο τρόπους: α) με την σύγκριση της με την κλασική μέθοδο πειραμάτων δόσης-απόκρισης σε φυτοδοχεία β) με τον υπολογισμό δεικτών που αξιολογούν την αξιοπιστία και την ακρίβεια μιας μεθόδου. Για τον λόγο αυτό πραγματοποιήθηκαν παράλληλα ένα πείραμα δόσης-απόκρισης σε φυτοδοχεία και ένα πείραμα δόσης απόκρισης σε συνθήκες αγρού. Χρησιμοποιήθηκαν δύο βιότυποι του είδους *Sysimbrium orientale*. Ο ένας επιβεβαιωμένα ανθεκτικός και ο άλλος επιβεβαιωμένα ευαίσθητος στη δραστική ουσία chlorsulfuron. Χρησιμοποιήσαμε ήδη επιβεβαιωμένους βιότυπους γιατί ο σκοπός δεν ήταν η διερεύνηση της ανθεκτικότητας αλλά η σύγκριση και η εκτίμηση της αξιοπιστίας της μεθόδου.

Οι βιοδοκιμές στα φυτοδοχεία όπως ήταν αναμενόμενο ανέδειξαν την ανθεκτικότητα του R βιότυπου του είδους *Sysimbrium orientale* στο chlorsulfuron. Συγκεκριμένα, η τιμή του G_{50} του R βιότυπου ήταν κατά 43% υψηλότερη συγκριτικά με του ευαίσθητου (Ενότητα 3.3.2). Παλαιότερες έρευνες έχουν αναφέρει ανθεκτικούς βιότυπους του είδους *Sysimbrium orientale* στο chlorsulfuron αλλά και σε άλλες δραστικές ουσίες που ανήκουν στους ALS παρεμποδιστές (Boutsalis et al., 1999; Preston et al., 2013). Επίσης, επαληθεύτηκε και η ευαισθησία του S βιότυπου σημειώνοντας ποσοστό νωπού βάρους 24% στις 14 ημέρες μετά την εφαρμογή της συνιστώμενης δόσης chlorsulfuron (Ενότητα 3.3.2).

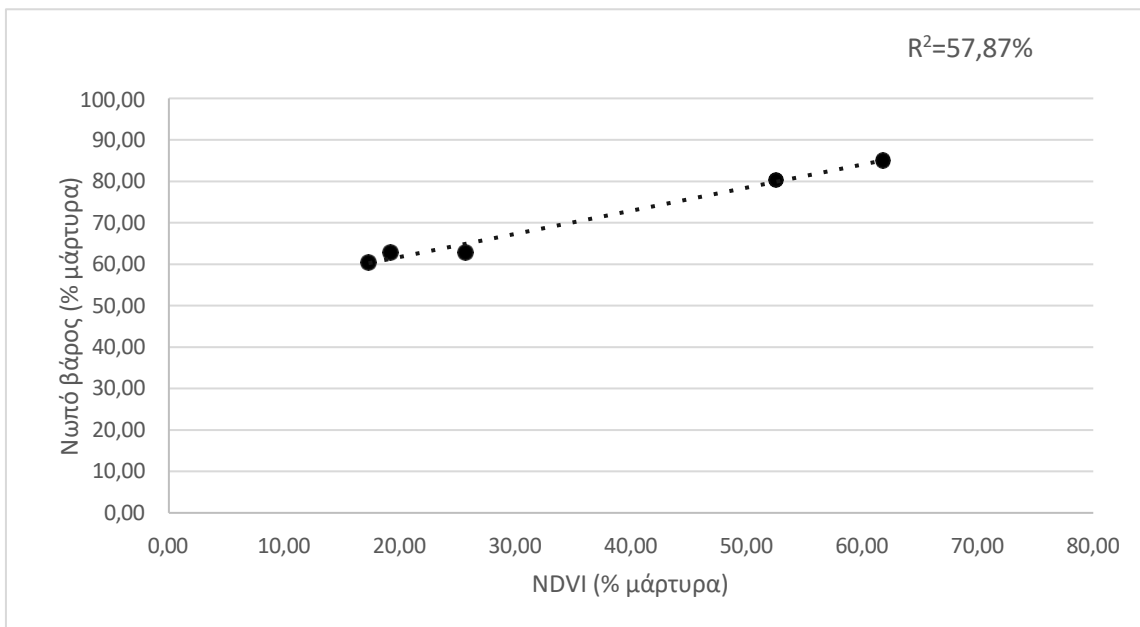
Συνεπώς, η μέθοδος των φυτοδοχείων χαρακτηρίστηκε επιτυχής. Οι βιοδοκιμές στα φυτοδοχεία αποτελούν μια κλασική προσέγγιση διερεύνησης ανθεκτικών βιότυπων ζιζανίων, πλατύφυλλων και αγρωστωδών. Πολλές έρευνες έχουν βασιστεί στη συγκεκριμένη μέθοδο για την αξιολόγηση της ανθεκτικότητας σε ζιζανιοκτόνα (Perez et al., 2003; Legleiter et al., 2008; Crespo et al., 2017; Shergill et al., 2018; Travlos et al., 2020). Επομένως, αποτελεί μια αξιόπιστη και εδραιωμένη μέθοδο. Ωστόσο, μειονεκτεί σε διάφορες παραμέτρους. Πιο αναλυτικά, για την διεξαγωγή της χρειάζεται μεγάλος χώρος και για την ολοκλήρωσή της απαιτείται διάστημα 2 μηνών, γεγονός που καθιστά ανέφικτο ένα μεγάλης κλίμακας πείραμα (Burgos et al., 2013). Επίσης, η συγκεκριμένη μέθοδος είναι χρονοβόρα αφού απαιτείται η συλλογή των σπόρων των ζιζανίων στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου και η διεξαγωγή της βιοδοκιμής σε μεταγενέστερο χρόνο (Kaundun et al., 2014).

Το πείραμα δόσης-απόκρισης σε συνθήκες αγρού στο οποίο εφαρμόστηκε η ταχεία μέθοδος οδήγησε σε θετικά αποτελέσματα. Όσον αφορά τον ευαίσθητο βιότυπο προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων για τον δείκτη NDVI τόσο στις 7 όσο και στις 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron (Ενότητα 3.3.1.1). Το ποσοστό επί του μάρτυρα του δείκτη NDVI που σημειώθηκε 14 ημέρες μετά την εφαρμογή της συνιστώμενης δόσης του chlorsulfuron ήταν 55% (Ενότητα 3.3.1.1). Τα ποσοστά του ξηρού βάρους του ευαίσθητου βιότυπου S 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron επιβεβαίωσαν το αποτέλεσμα που προέκυψε από την μέτρηση του δείκτη NDVI (Ενότητα 3.3.1.1). Σε συμφωνία ήρθαν και τα αποτελέσματα του G_{50} όπως αυτό προέκυψε από τις καμπύλες δόσης-απόκρισης (Ενότητα 3.3.1.1). Επομένως, με την χρήση του δείκτη NDVI ήταν εφικτή η επιβεβαίωση της ευαισθησίας του S βιότυπου του είδους *Sysimbrium orientale* σε σύντομο χρονικό διάστημα από την εφαρμογή του chlorsulfuron.

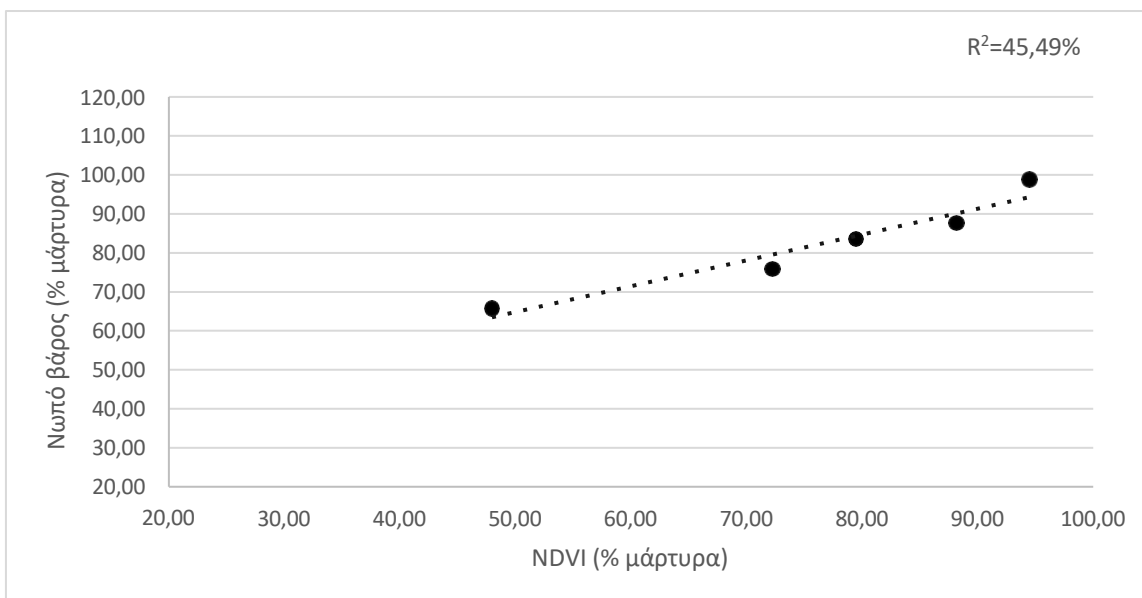
Όσον αφορά τον ανθεκτικό βιότυπο R, το ποσοστό του δείκτη NDVI 14 ημέρες μετά την εφαρμογή της μέγιστης δόσης chlorsulfuron ήταν 83,79%, αναδεικνύοντας την ανθεκτικότητα του βιότυπου (Ενότητα 3.3.1.2). Οι μετρήσεις του νωπού βάρους επαληθεύουν το παραπάνω αποτέλεσμα αφού ακολούθησαν παρόμοια τάση (Ενότητα 3.3.1.2). Επίσης, το G_{50} του βιότυπου R ήταν 55% πιο υψηλό από του βιότυπου S του είδους *Sysimbrium orientale*. Αξίζει να σημειωθεί ότι τόσο στην περίπτωση του R βιότυπου όσο και στη περίπτωση του S σημειώθηκαν θετικές συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών νωπό βάρος-δείκτης NDVI (Διάγραμμα 4.7; Διάγραμμα 4.8).

Οι συσχετίσεις χαρακτηρίζονται ισχυρές αφού για τον R βιότυπο σημειώθηκε $R^2=45,49\%$ και για τον S $R^2=57,87\%$ (Πίνακας 4.3). Συνεπώς, ήταν δυνατόν να επιβεβαιωθεί η ανθεκτικότητα του R βιότυπου του είδους *Sysimbrium orientale* μέσω των μετρήσεων του δείκτη NDVI.

Διάφορες έρευνες έχουν μελετήσει την διερεύνηση της ανθεκτικότητας με την χρήση του δείκτη NDVI. Για παράδειγμα, έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκηπίου και σε συνθήκες αγρού αναφέρει ότι με την χρήση του δείκτη NDVI επιβεβαιώθηκε επιτυχώς η ανθεκτικότητα πληθυσμού του είδους *Kochia scoraria* στις δραστικές glyphosate και dicamba (Nugent et al., 2018). Πρέπει να σημειωθεί ότι ο υπολογισμός του NDVI πραγματοποιήθηκε μέσω της λήψης υπερφασματικών εικόνων. Επίσης, έρευνα που διεξήχθη με σκοπό την διερεύνηση της ανθεκτικότητας διαφορετικών ειδών στο glyphosate επισημάνει ότι ο δείκτης NDVI οδήγησε σε αξιόπιστα αποτελέσματα (Eide et al., 2021). Τέλος, έρευνα αναφέρει ότι με την χρήση του δείκτη NDVI διερευνήθηκε επιτυχώς η ανθεκτικότητα βιότυπων ήρας και βλήτου σε συνθήκες θερμοκηπίου (Huang et al., 2016). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στις παραπάνω έρευνες ο υπολογισμός του δείκτη NDVI πραγματοποιήθηκε μέσω πολυφασματικών εικόνων και όχι με αισθητήρα χειρός όπως στη παρούσα μελέτη.



Διάγραμμα 4.7 Γραμμική συσχέτιση των μεταβλητών NDVI, ξηρό βάρος του ευαίσθητου βιότυπου *Sysimbrium orientale* (S) 14 ημέρες μετά την εφαρμογή διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron. Όπου R^2 το ποσοστό διασποράς (%).



Διάγραμμα 4.8 Γραμμική συσχέτιση των μεταβλητών NDVI, ξηρό βάρος του ανθεκτικού βιότυπου *Sisymbrium orientale* (R) 14 ημέρες μετά την εφαρμογή διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron. Όπου R² το ποσοστό διασποράς (%).

Πίνακας 4.3 Ο συντελεστής συσχέτισης (coefficient correlation) και το ποσοστό διασποράς (R-squared) για τις μεταβλητές ξηρό βάρος-δείκτης NDVI του ανθεκτικού βιότυπου *Sisymbrium orientale* (R) και του ευαίσθητου βιότυπου (S) 14 ημέρες μετά την εφαρμογή διαφορετικών δόσεων του chlorsulfuron.

	R βιότυπος	S βιότυπος
Συντελεστής συσχέτισης	0,6745	0,7607
Ποσοστό διασποράς (%)	45,49	57,87
P-value	0,0009	0,0000

Για την σύγκριση των μεθόδων πραγματοποιήθηκαν γραμμικές συσχετίσεις μεταξύ του νωπού βάρους που προέκυψε από την μέθοδο σε φυτοδοχεία και του νωπού βάρους που προέκυψε από τη μέθοδο στον αγρό. Αρχικά, συσχετίστηκε το νωπό βάρος του ευαίσθητου βιότυπου των δύο μεθόδων σε δύο δόσης εφαρμογής του chlorsulfuron. Οι συσχετίσεις που σημειώθηκαν ήταν θετικές, ισχυρότερη συσχέτιση προέκυψε από τη σύγκριση των μεταβλητών στην συνιστώμενη δόση (Ενότητα 3.3.3).

Ακολούθως, πραγματοποιήθηκαν οι συσχετίσεις που αφορούν τον ανθεκτικό βιότυπο στη δόση Χ και 2Χ. Οι συσχετίσεις του ανθεκτικού βιότυπου ήταν πιο ισχυρές σε σύγκριση με του ευαίσθητου.

Συγκεκριμένα, για τον ανθεκτικό βιότυπο σημειώθηκε $R^2=65,15\%$ στην συνιστώμενη δόση και $R^2=52.5\%$ στην δόση 2Χ (Ενότητα 3.3.3). Η γραμμική συσχέτιση με σκοπό την σύγκριση δύο μεθόδων έχει εφαρμοστεί και σε άλλες έρευνες. Οι Cardina and Sparrow (2017) πραγματοποίησαν έρευνα με σκοπό την σύγκριση δύο μεθόδων που προβλέπουν τον αριθμό των ζιζανίων που φυτρώνουν από την τράπεζα σπόρων. Για να συγκρίνουν τις δύο μεθόδους υπολόγισαν το R^2 που προέκυψε από την γραμμική συσχέτιση των δύο μεθόδων. Σε άλλη έρευνα συγκρίθηκαν δύο μέθοδοι που αφορούν την αξιολόγηση διαφορετικών επεμβάσεων σε χλοοτάπητα (Hoyle et al., 2013). Και σε αυτή την περίπτωση υπολογίστηκε R^2 αφού πραγματοποιήθηκε γραμμική συσχέτιση των δύο μεθόδων.

Η εκτίμηση της ακρίβειας και της αξιοπιστίας της μεθόδου ανέδειξε την χρησιμότητα της μεθόδου σε συνθήκες αγρού. Η ακρίβεια της μεθόδου χαρακτηρίστηκε υψηλή αφού για την πλειονότητα των υπολογισμών τα αποτελέσματα ήταν άνω του 79% (Ενότητα 3.3). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για την αξιοπιστία της μεθόδου ήταν εξίσου θετικά. Πιο συγκεκριμένα στη συνιστώμενη δόση η αξιοπιστία της μεθόδου που σημειώθηκε ήταν 80% (Ενότητα 3.3).

Η μεθοδολογία που εφαρμόσαμε έχει αναφερθεί και σε άλλη έρευνα που σχετίζεται με την ανθεκτικότητα ζιζανίων σε ζιζανιοκτόνα (Shirzadifar et al., 2020). Πιο αναλυτικά, η συγκεκριμένη έρευνα είχε ως σκοπό την αναγνώριση ανθεκτικών πληθυσμών ζιζανίων στο glyphosate σε συνθήκες αγρού μέσω υπερφασματικών και θερμικών εικόνων. Τα ποσοστά της ακρίβειας και της αξιοπιστίας που σημειώθηκαν ήταν άνω του 88%. Επομένως, παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα της εν λόγω έρευνας σχετίζονται με αυτά της παρούσας διδακτορικής διατριβής.

Έπειτα από τρία έτη πειραματισμού εντοπίστηκαν ορισμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που διαθέτει η ταχεία μέθοδος. Σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου αποτελεί η ταχύτητα της αφού μπορούμε να αξιολογήσουμε την αποτελεσματικότητα των ζιζανιοκτόνων 14 ημέρες μετά την εφαρμογή τους. Αυτό έχει ως επακόλουθο, την αποφυγή άσκοπων ψεκασμών και την πρόληψη από την ανάπτυξη ανθεκτικών πληθυσμών μειώνοντας έτσι τις οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Επιπλέον, η συγκεκριμένη μέθοδος δεν απαιτεί μεγάλο κόστος για την εφαρμογή της αφού δεν προϋποθέτει ακριβό εξοπλισμό. Παρόλα αυτά, το κόστος της μπορεί να αυξηθεί λόγω των ατόμων που είναι απαραίτητο να απασχοληθούν για την διεξαγωγή της.

Περιοριστικό παράγοντα αποτελεί η μορφολογία και οι αποστάσεις σποράς της καλλιέργειας. Επίσης, μπορεί να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα των ζιζανιοκτόνων έναντι των πρώιμων ζιζανίων και όχι των όψιμων. Αυτή η παράμετρος δεν είναι πολύ σημαντική διότι η καλλιέργεια έχει περάσει το κρίσιμο στάδιο, έχει κλείσει και ο ανταγωνισμός με τα ζιζάνια δεν αποτελεί σημαντικό πρόβλημα. Τέλος, η ταχεία μέθοδος αφορά ζιζανιοκτόνα με μηχανισμό δράσης που μπορεί να έχει άμεση επίδραση στα ζιζάνια.

Συνοπτικά

- ✓ Για την πλειονότητα των πειραματικών αγρών του σιταριού και του αραβόσιτου, η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των ζιζανιοκτόνων με την χρήση του δείκτη NDVI ήταν εφικτή 14 ημέρες μετά την εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων.
- ✓ Με την ταχεία μέθοδο καταφέραμε σε ορισμένες περιπτώσεις να προβλέψουμε την πιθανή ανάπτυξη ανθεκτικών βιότυπων ζιζανίων 14 ημέρες μετά την εφαρμογή του ζιζανιοκτόνου.
- ✓ Παρατηρήθηκε ότι όταν το ποσοστό μείωσης του δείκτη NDVI σε σχέση με τον μάρτυρα είναι κάτω του 20% τα ζιζανιοκτόνα διαθέτουν μειωμένη αποτελεσματικότητα.
- ✓ Η υψηλή και θετική συσχέτιση του δείκτη NDVI με το ξηρό βάρος των ζιζανίων επαληθεύει την μέθοδο.
- ✓ Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των ειδών των ζιζανίων αποτελούν περιοριστικό παράγοντα για την επιτυχή εφαρμογή της μεθόδου στη καλλιέργεια του σιταριού.
- ✓ Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας καθώς και οι αποστάσεις σποράς επιδρούν στην αποτελεσματικότητα της ταχείας μεθόδου.
- ✓ Η ταχεία μέθοδος είναι εφικτό να εφαρμοστεί για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ζιζανιοκτόνων που ανήκουν στους ALS αναστολείς, ACCase αναστολείς, 4-HPPD αναστολείς και στις φυσικές αυξίνες.

- ✓ Η ταχεία μέθοδος αφορά τα πρώιμα ζιζάνια που εμφανίζονται στην καλλιέργεια. Συνεπώς, δεν μπορούμε να αξιολογήσουμε την αποτελεσματικότητα των ζιζανιοκτόνων σε όψιμα είδη ζιζανίων.
- ✓ Η ταχεία μέθοδος μπορεί να οδηγήσει στην ορθή χρήση των ζιζανιοκτόνων για τον ικανοποιητικό έλεγχο των ζιζανίων και ταυτόχρονα να βοηθήσει στην προστασία των ωφέλιμων ζιζανίων διατηρώντας την ποικιλομορφία των ειδών.
- ✓ Η ταχεία μέθοδος δίνει την δυνατότητα αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας των ζιζανιοκτόνων την ίδια καλλιεργητική χρονιά παρέχοντας τις κατάλληλες συστάσεις στον παραγωγό. Επομένως, θα μπορούσε να συμπεριληφθεί στις μεθόδους που σχετίζονται με τα Συστήματα Υποστήριξης Απόφασης
- ✓ Η ακρίβεια και η αξιοπιστία της μεθόδου διαπιστώθηκε ότι είναι υψηλή αποδεικνύοντας την αρχική υπόθεση της παρούσας μελέτης.
- ✓ Αποτελεί μια σημαντική προσθήκη στις τεχνικές ολοκληρωμένης διαχείρισης των ζιζανίων.

Κεφάλαιο 5. Βιβλιογραφικές αναφορές

- Abella, S. R., Spencer, J. E., Hoines, J., & Nazarchyk, C. (2009). Assessing an exotic plant surveying program in the Mojave Desert, Clark County, Nevada, USA. *Environmental Monitoring and Assessment*, 151, 221-230.
- Abu-Dieyeh, M., & Watson, A. (2005). Impact of mowing and weed control on broadleaf weed population dynamics in turf. *Journal of Plant Interactions*, 1(4), 239-252.
- Alcántara, C., Pujadas, A., & Saavedra, M. (2011). Management of *Sinapis alba* subsp. *mairei* winter cover crop residues for summer weed control in southern Spain. *Crop Protection*, 30(9), 1239-1244.
- Alonso-Ayuso, M., Gabriel, J. L., Hontoria, C., Ibáñez, M. Á., & Quemada, M. (2020). The cover crop termination choice to designing sustainable cropping systems. *European Journal of Agronomy*, 114, 126000.
- Amor, R. L., & Francisco, T. M. (1987). Survey of weeds in field peas, chickpeas and rapeseed in the Victorian Wimmera. *Plant Protection Quarterly*, 2(3), 124-127.
- Anderson, D. M., Swanton, C. J., Hall, J. C., & Mersey, B. G. (1993). The influence of soil moisture, simulated rainfall and time of application on the efficacy of glufosinate-ammonium. *Weed Research*, 33(2), 149-160.
- Anil, Park, & Phipps. (1998). Temperate intercropping of cereals for forage: a review of the potential for growth and utilization with particular reference to the UK. *Grass and Forage Science*, 53(4), 301-317.
- Antonopoulos, N., Kanatas, P., Gazoulis, I., Tataridas, A., Ntovakos, D., Ntaoulis, V. N., & Travlos, I. (2023). Hot foam: Evaluation of a new, non-chemical weed control option in perennial crops. *Smart Agricultural Technology*, 3, 100063.
- Bachie, O. G., & McGiffen, M. E. (2013). Effects of summer cover cropping on weed population density and biomass in a subsequent broccoli crop. *International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering (IPCBE)*, 57, 31-36.
- Badu-Apraku, B., Fakorede, M. A. B., Badu-Apraku, B., & Fakorede, M. A. B. (2017). Morphology and Physiology of Maize. *Advances in genetic enhancement of early and extra-early maize for sub-Saharan Africa*, 33-53.
- Bararpour, M. T., & Oliver, L. R. (1998). Effect of tillage and interference on common cocklebur (*Xanthium strumarium*) and sicklepod (*Senna obtusifolia*) population, seed production, and seedbank. *Weed science*, 46(4), 424-431.
- Basit, A., Irshad, M., Salman, M., Abbas, M., & Hanan, A. (2019). Population dynamics of weeds (canary grass, broad leaf and wild oats), Aphid and Abiotic factors in association with wheat production in Southern Punjab: Pakistan. *J Appl Microb Res*, 2, 17-23.
- Basso, B., Cammarano, D., & De Vita, P. (2004). Remotely sensed vegetation indices: Theory and applications for crop management. *Rivista Italiana di Agrometeorologia*, 1(5), 36-53.
- Beckie, H. J. (2006). Herbicide-resistant weeds: management tactics and practices. *Weed Technology*, 20(3), 793-814.
- Beckie, H. J., & Tardif, F. J. (2012). Herbicide cross resistance in weeds. *Crop Protection*, 35, 15-28.

- Beckie, H. J., Friesen, L. F., Nawolsky, K. M., & Morrison, I. N. (1990). A rapid bioassay to detect trifluralin-resistant green foxtail (*Setaria viridis*). *Weed Technology*, 4(3), 505-508.
- Beckie, H. J., Warwick, S. I., & Sauder, C. A. (2012). Basis for herbicide resistance in Canadian populations of wild oat (*Avena fatua*). *Weed Science*, 60(1), 10-18.
- Bendixen, L. E. (1988). Johnsongrass (*Sorghum halepense*) management systems. *Weed Technology*, 2(1), 64-67.
- Bensch, C. N., Horak, M. J., & Peterson, D. (2003). Interference of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*), Palmer amaranth (*A. palmeri*), and common waterhemp (*A. rudis*) in soybean. *Weed Science*, 51(1), 37-43.
- Bitarafan, Z., & Andreasen, C. (2019). Harvest Weed Seed Control: Seed production and retention of *Fallopia convolvulus*, *Sinapis arvensis*, *Spergula arvensis* and *Stellaria media* at spring oat maturity. *Agronomy*, 10(1), 46.
- Blackshaw, R., Beckie, H., Molnar, L., Entz, T., & Moyer, J. (2005). Combining agronomic practices and herbicides improves weed management in wheat–canola rotations within zero-tillage production systems. *Weed Science*, 53(4), 528-535.
- Bleasdale, J. K. A. (1960). Studies on plant competition. In *Biology of Weeds, Symp. Brit. Ecol. Soc.* (pp. 133-42).
- Bogue, R. (2017). Sensors key to advances in precision agriculture. *Sensor Review*, 37(1), 1-6.
- Boutsalis, P. (2001). Syngenta quick-test: a rapid whole-plant test for herbicide resistance. *Weed Technology*, 15(2), 257-263.
- Boutsalis, P., Karotam, J., & Powles, S. B. (1999). Molecular basis of resistance to acetolactate synthase-inhibiting herbicides in *Sisymbrium orientale* and *Brassica tourneforti*. *Pesticide Science*, 55(5), 507-516.
- Bowles, T. M., Mooshammer, M., Socolar, Y., Calderón, F., Cavigelli, M. A., Culman, S. W., & Gandy, A. S. (2020). Long-term evidence shows that crop-rotation diversification increases agricultural resilience to adverse growing conditions in North America. *One Earth*, 2(3), 284-293.
- Boyette, C. D., & Hoagland, R. E. (2015). Bioherbicidal potential of *Xanthomonas campestris* for controlling *Conyza canadensis*. *Biocontrol Science and Technology*, 25(2), 229-237.
- Brinkhoff, J., Hornbuckle, J., & Barton, J. L. (2018). Assessment of aquatic weed in irrigation channels using UAV and satellite imagery. *Water*, 10(11), 1497.
- Brix, A., & Andreasen, C. (2000). The relation between densities and frequencies of weeds in arable fields. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 372-386.
- Brown, H. M. (1990). Mode of action, crop selectivity, and soil relations of the sulfonylurea herbicides. *Pesticide Science*, 29(3), 263-281.
- Buhler, D. D. (1996). Development of alternative weed management strategies. *Journal of Production Agriculture*, 9(4), 501-505.
- Bunce, J. A. (1993). Growth, survival, competition, and canopy carbon dioxide and water vapor exchange of first year alfalfa at an elevated CO₂ concentration. *Photosynthetica (Praha)*, 29(4), 557-565.

- Burgos, N. R. (2015). Whole-plant and seed bioassays for resistance confirmation. *Weed Science*, 63(SP1), 152-165.
- Burgos, N. R., Tranel, P. J., Streibig, J. C., Davis, V. M., Shaner, D., Norsworthy, J. K., & Ritz, C. (2013). Confirmation of resistance to herbicides and evaluation of resistance levels. *Weed Science*, 61(1), 4-20.
- Burgos, N., Tranel, P., Streibig, J., Davis, V., Shaner, D., Norsworthy, J., & Ritz, C. (2013). Review: Confirmation of Resistance to Herbicides and Evaluation of Resistance Levels. *Weed Science*, 61(1), 4-20.
- Busi, R., Goggin, D. E., Heap, I. M., Horak, M. J., Jugulam, M., Masters, R. A., & Wright, T. R. (2018). Weed resistance to synthetic auxin herbicides. *Pest Management Science*, 74(10), 2265-2276.
- Butchlotz, K.A., 1967. Reports of the terminology committee of the Weed Science Weed Science Society of America. *Weeds* 15, 388-389.
- Cabrera-Bosquet, L., Molero, G., Stellacci, A. N. N. A., Bort, J., Nogués, S., & Araus, J. (2011). NDVI as a potential tool for predicting biomass, plant nitrogen content and growth in wheat genotypes subjected to different water and nitrogen conditions. *Cereal Research Communications*, 39(1), 147-159.
- Cardina, J., & Sparrow, D. (1996). A Comparison of Methods to Predict Weed Seedling Populations from the Soil Seedbank. *Weed Science*, 44(1), 46-51.
- Cavero, Zaragoza, Suso, & Pardo. (1999). Competition between maize and *Datura stramonium* in an irrigated field under semi-arid conditions. *Weed Research*, 39(3), 225-240.
- Chancellor, R. J. (1986). Decline of arable weed seeds during 20 years in soil under grass and the periodicity of seedling emergence after cultivation. *Journal of Applied Ecology*, 631-637
- Chantre, G. R., & González-Andújar, J. L. (Eds.). (2020). *Decision Support Systems for Weed Management*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing.
- Chauhan, B. S., Gill, G. S., & Preston, C. (2006). Tillage system effects on weed ecology, herbicide activity and persistence: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 46(12), 1557-1570.
- Chauhan, B. S., Gill, G. S., & Preston, C. (2006). Tillage system effects on weed ecology, herbicide activity and persistence: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 46(12), 1557-1570.
- Chauhan, B., Gill, G., & Preston, C. (2006). Influence of environmental factors on seed germination and seedling emergence of Oriental mustard (*Sisymbrium orientale*). *Weed Science*, 54(6), 1025-1031.
- Choudhary, S. K. (2020). Novel nanotechnological tools for weed management—A review. *Chemical Science Review and Letter*, 9(36), 886-894.
- Christensen, S. (1994). Crop weed competition and herbicide performance in cereal species and varieties. *Weed Research*, 34(1), 29-36.
- Christian, P., Von der Kammer, F., Baalousha, M., & Hofmann, T. (2008). Nanoparticles: structure, properties, preparation and behavior in environmental media. *Ecotoxicology*, 17, 326-343.
- Clayton, W. D., & Renvoize, S. A. (1986). *Genera graminum. Gasses of the world*, 13.

- Coetzer, E., Al-Khatib, K., & Loughin, T. M. (2001). Glufosinate efficacy, absorption, and translocation in amaranth as affected by relative humidity and temperature. *Weed Science*, 49(1), 8-13.
- Collavo, A., & Sattin, M. (2012). Resistance to glyphosate in *Lolium rigidum* selected in Italian perennial crops: bioevaluation, management and molecular bases of target-site resistance. *Weed Research*, 52(1), 16-24.
- Conway, G. R., & Barbie, E. B. (1988). After the green revolution: sustainable and equitable agricultural development. *Futures*, 20(6), 651-670.
- Cousens, & Mokhatari. (1998). Seasonal and site variability in the tolerance of wheat cultivars to interference from *Lolium rigidum*. *Weed Research*, 38(4), 301-307.
- Crespo, R. J., Wingeyer, A. B., Kruger, G. R., Riggins, C. W., Tranel, P. J., & Bernardis, M. L. (2017). Multiple-herbicide resistance in a 2, 4-D-resistant waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*) population from Nebraska. *Weed Science*, 65(6), 743-754.
- Daponte, P., De Vito, L., Glielmo, L., Iannelli, L., Liuzza, D., Picariello, F., & Silano, G. (2019, May). A review on the use of drones for precision agriculture. In *IOP conference series: earth and environmental science* (Vol. 275, No. 1, p. 012022). IOP Publishing.
- Dariush, M., Ahad, M., & Meysam, O. (2006). Assessing the land equivalent ratio (LER) of two corn [*Zea mays* L.] varieties intercropping at various nitrogen levels in Karaj, Iran. *Journal of Central European Agriculture*, 7(2), 359-364.
- Daws, M. I., Davies, J., Pritchard, H. W., Brown, N. A., & Van Staden, J. (2007). Butenolide from plant-derived smoke enhances germination and seedling growth of arable weed species. *Plant Growth Regulation*, 51, 73-82.
- De Baets, S., Poesen, J., Meersmans, J., & Serlet, L. (2011). Cover crops and their erosion-reducing effects during concentrated flow erosion. *Catena*, 85(3), 237-244.
- Defelice, M. S. (2003). The Black Nightshades, *Solanum nigrum* L. et al.—Poison, Poultry, and Pie. *Weed Technology*, 17(2), 421-427.
- Dekker, J. (1997). Weed diversity and weed management. *Weed Science*, 45(3), 357-363.
- Délye, C. (2013). Unravelling the genetic bases of non-target-site-based resistance (NTSR) to herbicides: a major challenge for weed science in the forthcoming decade. *Pest Management Science*, 69(2), 176-187.
- Délye, C., Duhoux, A., Pernin, F., Riggins, C. W., & Tranel, P. J. (2015). Molecular mechanisms of herbicide resistance. *Weed Science*, 63(SP1), 91-115.
- Dhima, K., & Eleftherohorinos, I. (2005). Wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) competition with three winter cereals as affected by nitrogen supply. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 191(4), 241-248.
- Dowler, C. C., Hauser, E. W., & Johnson, A. W. (1974). Crop-herbicide sequences on a southeastern coastal plain soil. *Weed Science*, 22(5), 500-505.
- Duke, S. O. (2012). Why have no new herbicide modes of action appeared in recent years? *Pest Management Science*, 68(4), 505-512.

- Duke, S. O. (2018). The history and current status of glyphosate. *Pest Management Science*, 74(5), 1027-1034.
- Economou, G., Bilalis, D., & Avgoulas, C. (2005). Weed flora distribution in Geek cotton fields and its possible influence by herbicides. *Phytoparasitica*, 33, 406-419.
- Egan, J. F., Maxwell, B. D., Mortensen, D. A., Ryan, M. R., & Smith, R. G. (2011). 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid (2, 4-D)–resistant crops and the potential for evolution of 2, 4-D–resistant weeds. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(11), E37-E37.
- Ehsas, J., Desai, L. J., Ahir, N. B., & Joshi, J. R. (2016). Effect of integrated weed management on growth, yield, yield attributes and weed parameters on summer maize (*Zea mays* L.) under South Gujarat condition. *journal?*
- Eide, A., Koparan, C., Zhang, Y., Ostlie, M., Howatt, K., & Sun, X. (2021). UAV-assisted thermal infrared and multispectral imaging of weed canopies for glyphosate resistance detection. *Remote Sensing*, 13(22), 4606.
- Eskandari, H., A. Ghanbari and A. Javanmard, (2009). Intercropping of cereals and legumes for forage production. *Notulae Scientia Biologicae*, 1, 7-13.
- Esposito, M., Crimaldi, M., Cirillo, V., Sarghini, F., & Maggio, A. (2021). Drone and sensor technology for sustainable weed management: A review. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 8(1), 1-11.
- EWRS, (2023). The official website of the European Weed Research Society. Available online: www.ewrs.org
- FAO, (2023). The international database for Food and Agriculture. Available online: www.fao.org/food-agiculture-statistics
- Fawcett, T. (2006). An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognition Letters*, 27(8), 861-874.
- Felton, W.L. & McCloy, K.R. (1992) Spot spraying. *Agricultural Engineering*, 9-12.
- Fountas, S., Aggelopoulou, K., & Gemtos, T. A. (2015). Precision agriculture: crop management for improved productivity and reduced environmental impact or improved sustainability. *Supply chain management for sustainable food networks*, 41-65
- Franke, J., Menz, G. (2007). Multi-temporal wheat disease detection by multi-spectral remote sensing. *Precision Agric* 8, 161–172.
- Friesen, L. S., Ferguson, G. M., & Hall, J. C. (2000). Management strategies for attenuating herbicide resistance: untoward consequences of their promotion. *Crop Protection*, 19(8-10), 891-895.
- Froud-Williams, R. J. (2002). Weed competition. *Weed management handbook*, 9, 16-38.
- Gago, J., Douthe, C., Coopman, R. E., Gallego, P. P., Ribas-Carbo, M., Flexas, J., & Medrano, H. (2015). UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture. *Agricultural Water Management*, 153, 9-19.
- Gaines, T. A., Duke, S. O., Morran, S., Rigon, C. A., Tranel, P. J., Küpper, A., & Dayan, F. E. (2020). Mechanisms of evolved herbicide resistance. *Journal of Biological Chemistry*, 295(30), 10307-10330.
- Ge, S., Xu, M., Anderson, G., & Carruthers, R. (2007). Estimating Yellow Starthistle (*Centaurea solstitialis*) Leaf Area Index and Aboveground Biomass with the Use of Hyperspectral Data. *Weed*

Science, 55(6), 671-678. doi:10.1614/WS-06-212.1

Gerhards, R., Kollenda, B., Machleb, J., Möller, K., Butz, A., Reiser, D., & Giegentrog, H. W. (2020). Kamera-gesteuertes Hacken in Getreide mit engem Reihenabstand. *Gesunde Pflanzen*, 72, 403-411.

Ghanbari-Bonjar, A., & Lee, H. C. (2002). Intercropped field beans (*Vicia faba*) and wheat (*Triticum aestivum*) for whole crop forage: effect of nitrogen on forage yield and quality. *The Journal of Agricultural Science*, 138(3), 311-315.

Ghanizadeh, H., Anderson, C. B., Franzmayr, B. K., Cook, M., Buddenhagen, C. E., Ngow, Z., & Giffiths, A. G. (2023). Evaluation of high-resolution melting and RT-qPCR probe assays for high-throughput detection of target-site mutations conferring glyphosate resistance in *Lolium perenne*. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 1-12.

Gherekhloo, J., Rashed Mohassel, M. H., Mahalati, M. N., Zand, E., Ghanbari, A. L. I., Osuna, M. D., & de Prado, R. (2011). Confirmed resistance to aryloxyphenoxypropionate herbicides in *Phalaris minor* populations in Iran. *Weed biology and management*, 11(1), 29-37.

Gianessi, L. P. (2013). The increasing importance of herbicides in worldwide crop production. *Pest Management Science*, 69(10), 1099-1105.

Gill, G. S. (1996). Why annual ryegrass is a problem in Australian agriculture. *Plant Protection Quarterly*, 11, 193-194.

Gołębiowska, H. (2008). The problems of weed management by herbicide systems applied in maize. *Journal of Plant Protection Research*, 48, 1-10.

Golmohammadzadeh, S., Gherekhloo, J., Rojano-Delgado, A. M., Osuna-Ruiz, M. D., Kamkar, B., Ghaderi-Far, F., & De Prado, R. (2019). The first case of short-spiked canarygrass (*Phalaris brachystachys*) with cross-resistance to ACCase-inhibiting herbicides in Iran. *Agronomy*, 9(7), 377.

Geen, J. M. (2012). The benefits of herbicide-resistant crops. *Pest Management Science*, 68(10), 1323-1331.

Gossmann, K. (2003). News from old compounds: the mode of action of auxin herbicides. *Chemistry of crop protection: progress and prospects in science and regulation*, 131- 142.

Gossmann, K. (2010). Auxin herbicides: current status of mechanism and mode of action. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 66(2), 113-120.

Gu, C., Bastiaans, L., Anten, N. P., Makowski, D., & van Der Werf, W. (2021). Annual intercropping suppresses weeds: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 322, 107658.

Guma, I. R., de la Vega, M. P., & García, P. (2006). Isozyme variation and genetic structure of populations of *Avena barbata* from Argentina. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 53, 587- 601.

Hansen, K. D., Garcia-Ruiz, F., Kazmi, W., Bisgaard, M., la Cour-Harbo, A., Rasmussen, J., & Andersen, H. J. (2013). An autonomous robotic system for mapping weeds in fields. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(10), 217-224.

Harding, D. P., & Raizada, M. N. (2015). Controlling weeds with fungi, bacteria and viruses: a review. *Frontiers in Plant Science*, 6, 659.

Harker, K., & O'Donovan, J. (2013). Recent Weed Control, Weed Management, and Integrated Weed Management. *Weed Technology*, 27(1), 1-11. doi:10.1614/WT-D-12-00109.1

- Hassanein, M., & El-Sheimy, N. (2018). An efficient weed detection procedure using low-cost UAV imagery system for precision agriculture applications. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 181-187.
- Holm, L. G., Plucknett, D. L., Pancho, J. V., & Herberger, J. P. (1977). *The world's worst weeds. Distribution and biology*. University Press of Hawaii, 610.
- Horowitz, M. (1973). Spatial growth of *Sorghum halepense* (L.) Pers. *Weed Research*, 13(2), 200-208.
- Horwith, B. (1985). A role for intercropping in modern agriculture. *BioScience*, 35(5), 286-291.
- Hoyle, J., Yelverton, F., & Gannon, T. (2013). Evaluating Multiple Rating Methods Utilized in Turfgrass Weed Science. *Weed Technology*, 27(2), 362-368.
- Huang, J., Wang, H., Dai, Q., & Han, D. (2014). Analysis of NDVI data for crop identification and yield estimation. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(11), 4374-4384.
- Huang, Y., Lee, M. A., Thomson, S. J., & Reddy, K. N. (2016). Ground-based hyperspectral remote sensing for weed management in crop production. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 9(2), 98-109.
- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295-309.
- Jabran, K., Ali, A., Sattar, A., Ali, Z., Yaseen, M., Iqbal, M. H. J., & Munir, M. K. (2012). Cultural, mechanical and chemical weed control in wheat. *Crop and Environment*, 3, 50-53.
- Jain, K. K., & Tiwari, J. P. (1995). Effect of herbicides and tillage operations on weeds, yield attributes and yield of soybean. *Indian Journal of Weed Science*, 27(1and2), 32-35.
- Jordan, D. L., Giffin, J. L., Vidrine, P. R., Shaw, D. R., & Reynolds, D. B. (1997). Comparison of gaminicides applied at equivalent costs in soybean (*Glycine max*). *Weed Technology*, 11(4), 804-809.
- Júnior, F. W. R., Scariot, M. A., Forte, C. T., Pandolfi, L., Dil, J. M., Weirich, S., & Mossi, A. J. (2019). New perspectives for weeds control using autochthonous fungi with selective bioherbicide potential. *Heliyon*, 5(5).
- Jursík, M., Kolářová, M., Soukup, J., & Žďárková, V. (2016). Effects of adjuvants and carriers on propoxycarbazone and pyroxsulam efficacy on *Bromus sterilis* in winter wheat. *Plant, Soil and Environment*, 62(10), 447-452.
- Kakade, S. U., Deshmukh, J. P., Thakare, S. S., & Solanke, M. S. (2020). Efficacy of pre-and post-emergence herbicides in maize. *Indian Journal of Weed Science*, 52(2), 143-146.
- Kanatas, P. J., Travlos, I. S., Gazoulis, J., Antonopoulos, N., Tsekoura, A., Tataridas, A., & Zannopoulos, S. (2020). The combined effects of false seedbed technique, post-emergence chemical control and cultivar on weed management and yield of barley in Greece. *Phytoparasitica*, 48, 131-143.
- Kanatas, P., Antonopoulos, N., Gazoulis, I., & Travlos, I. (2021). Screening glyphosate-alternative weed control options in important perennial crops. *Weed Science*, 69(6), 704-718.
- Kanatas, P., Gazoulis, I., Antonopoulos, N., Tataridas, A., & Travlos, I. (2023). The Potential of a Precision Agriculture (PA) Practice for In Situ Evaluation of Herbicide Efficacy and Selectivity in

- Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.). *Agronomy*, 13(3), 732.
- Kanatas, P., Tataridas, A., Dellaportas, V., & Travlos, I. (2021). First report of *Amaranthus palmeri* S. Wats. in cotton, maize and sorghum in Greece and problems with its management. *Agronomy*, 11(9), 1721.
- Kanatas, P., Travlos, I. S., Gazoulis, I., Tataridas, A., Tsekoura, A., & Antonopoulos, N. (2020). Benefits and limitations of decision support systems (DSS) with a special emphasis on weeds. *Agronomy*, 10(4), 548.
- Kanatas, P., Travlos, I., Tataridas, A., & Gazoulis, I. (2022). Decision-making and Decision Support System for a successful weed management. In *Information and Communication Technologies for Agriculture—Theme III: Decision* (pp. 159-179). Cham: Springer International Publishing.
- Kanatas, P., Zavra, S. M., Tataridas, A., Gazoulis, I., Antonopoulos, N., Synowiec, A., & Travlos, I. (2022). Pelargonic acid and caraway essential oil efficacy on barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.) and johnsongrass (*Sorghum halepense* (L.) Pers.). *Agronomy*, 12(8), 1755.
- Kannan, S., & Chinnagounder, C. (2013). Evaluation of bio-efficacy, weed control efficiency in herbicide resistant transgenic stacked and conventional corn hybrids (NK603 x TC 1507) for crop productivity. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(7), 1-8.
- Kaundun, S. S. (2014). Resistance to acetyl-CoA carboxylase-inhibiting herbicides. *Pest Management Science*, 70(9), 1405-1417.
- Kaundun, S. S., & Windass, J. D. (2006). Derived cleaved amplified polymorphic sequence, a simple method to detect a key point mutation conferring acetyl CoA carboxylase inhibitor herbicide resistance in grass weeds. *Weed Research*, 46(1), 34-39.
- Kaundun, S., Hutchings, S., Harris, S., Jackson, L., Shashi-Kiran, R., Dale, R., & McIndoe, E. (2014). A Simple In-Season Bioassay for Detecting Glyphosate Resistance in Grass and Broadleaf Weeds Prior to Herbicide Application in the Field. *Weed Science*, 62(4), 597-607.
- Kaya Altop, E., Erken Meral, S., Zandstra, B. H., & Mennan, H. (2022). Target-Site Point Mutation Conferring Resistance to ALS Herbicides in Italian Ryegrass (*Lolium multiflorum* L.). *Phytoparasitica*, 50(5), 1133-1142.
- Khan, I. A., Gul, H., Marwat, K. B., & Munir, K. (2006). Interspecific competition of tall and dwarf wheat cultivars with wild oats (*Avena fatua* L.). *Pakistan Journal of Weed Science Research*, 12(3), 151-156.
- Kierzek, R., Paradowski, A., & Krawczyk, R. (2011). Effectiveness of weed control in maize (*Zea mays* L.) depending on the date and method of herbicide application. *Acta Scientiarum Polonorum. Agricultura*, 10(2).
- Kolb, L. N., Gallandt, E. R., & Mallory, E. B. (2012). Impact of spring wheat planting density, row spacing, and mechanical weed control on yield, grain protein, and economic return in maize. *Weed Science*, 60(2), 244-253.
- Korres, N. E., Burgos, N. R., Travlos, I., Vurro, M., Gitsopoulos, T. K., Varanasi, V. K., & Salas-Perez, R. (2019). New directions for integrated weed management: Modern technologies, tools and knowledge discovery. *Advances in Agronomy*, 155, 243-319.
- Krähmer, H., Walter, H., Jeschke, P., Haaf, K., Baur, P., & Evans, R. (2021). What makes a molecule a pre- or a post-herbicide—how valuable are physicochemical parameters for their design? *Pest*

Management Science, 77(11), 4863-4873.

Kreuz, K., Tommasini, R., & Martinoia, E. (1996). Old enzymes for a new job (herbicide detoxification in plants). *Plant Physiology*, 111(2), 349.

Kudsk, P., & Streibig, J. C. (2003). Herbicides—a two-edged sword. *Weed Research*, 43(2), 90-102.

Kukorelli, G., Reisinger, P., & Pinke, G. (2013). ACCase inhibitor herbicides—selectivity, weed resistance and fitness cost: a review. *International Journal of Pest Management*, 59(3), 165-173.

Kumar, A., Rana, M. C., Sharma, N., & Rana, S. S. (2017). Effect of post-emergence herbicide-tembotrione on yield, soil dehydrogenase activity and its phytotoxicity on maize (*Zea mays* L.) under mid hill conditions of Himachal Pradesh, India. *Int J Curr Microbiol App Sci*, 6, 2297-2303.

Kumar, V., Sharma, A., Bhardwaj, R., & Thukral, A. K. (2018). Comparison of different reflectance indices for vegetation analysis using Landsat-TM data. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 12, 70-77.

Kunz, C., Weber, J. F., & Gerhards, R. (2015). Benefits of precision farming technologies for mechanical weed control in soybean and sugar beet—Comparison of precision hoeing with conventional mechanical weed control. *Agronomy*, 5(2), 130-142.

Lee, S. M., Radhakrishnan, R., Kang, S. M., Kim, J. H., Lee, I. Y., Moon, B. K., & Lee, I. J. (2015). Phytotoxic mechanisms of bur cucumber seed extracts on lettuce with special reference to analysis of chloroplast proteins, phytohormones, and nutritional elements. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 122, 230-237.

Legleiter, T. R., & Bradley, K. W. (2008). Glyphosate and multiple herbicide resistance in common waterhemp (*Amaranthus rudis*) populations from Missouri. *Weed Science*, 56(4), 582-587.

Lemerle, D., Verbeek, B., & Coombes, N. (1995). Losses in gain yield of winter crops from *Lolium rigidum* competition depend on crop species, cultivar and season. *Weed Research*, 35(6), 503-509.

Letouzel, & Gasquez. (1999). A rapid reliable test for screening aryloxyphenoxy-propionic acid resistance within *Alopecurus myosuroides* and *Lolium* spp. populations. *Weed Research*, 39(1), 37-48.

Liebman, M., Ohno, T., Hatfield, J. L., Buhler, D. D., & Stewart, B. A. (1998). Crop rotation and legume residue effects on weed emergence and growth: applications for weed management. *Integrated Weed and Soil Management*, 181-221.

Linares, J., Scholberg, J., Boote, K., Chase, C. A., Ferguson, J. J., & McSorley, R. (2008). Use of the cover crop weed index to evaluate weed suppression by cover crops in organic citrus orchards. *HortScience*, 43(1), 27-34.

Liu, C., Sun, P. S., & Liu, S. R. (2016). A review of plant spectral reflectance response to water physiological changes. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 40(1), 80.

Long, R. L., Stevens, J. C., Giffiths, E. M., Adamek, M., Gorecki, M. J., Powles, S. B., & Merritt, D. J. (2011). Seeds of *Brassicaceae* weeds have an inherent or inducible response to the germination stimulant karrikinolide. *Annals of Botany*, 108(5), 933-944.

López-Ganados, F. (2011). Weed detection for site-specific weed management: mapping and real-time approaches. *Weed Research*, 51(1), 1-11.

López-Ganados, F., Jurado-Expósito, M., Peña-Barragán, J. M., & García-Torres, L. (2006). Using

remote sensing for identification of late-season grass weed patches in wheat. *Weed Science*, 54(2), 346-353.

Lottes, P., Khanna, R., Pfeifer, J., Siegart, R., & Stachniss, C. (2017, May). UAV-based crop and weed classification for smart farming. In *2017 IEEE international conference on robotics and automation (ICRA)* (pp. 3024-3031). IEEE.

Louargant, M., Villette, S., Jones, G., Vigneau, N., Paoli, J. N., & Gée, C. (2017). Weed detection by UAV: Simulation of the impact of spectral mixing in multispectral images. *Precision Agriculture*, 18(6), 932-951.

Lyon, D. J., Miller, S. D., & Wicks, G. A. (1996). The future of herbicides in weed control systems of the Great Plains. *Journal of Production Agriculture*, 9(2), 209-215.

Macchia, M. (1997). Ecofisiologia della germinazione ed emergenza dei semi di *Echinochloa crus galli* L. *Rivista di Agonomia*, 4, 925-933.

Mallory-Smith, C. A., & Retzinger, E. J. (2003). Revised classification of herbicides by site of action for weed resistance management strategies. *Weed Technology*, 17(3), 605-619.

Maqbool, M. M., Naz, S., Ahmad, T., Nisar, M. S., Mehmood, H., Alwahibi, M. S., & Alkahtani, J. (2020). The impact of seed burial depths and post-emergence herbicides on seedling emergence and biomass production of wild oat (*Avena fatua* L.): Implications for management. *Plos ONE*, 15(10), e0240944.

Marques Hill, S., Vila-Aiub, M., Hernández, M., Kaspary, T. E., & García, M. A. (2022). Cross-and multiple herbicide resistance in *Lolium multiflorum* across Uruguay. *Weed Research*, 62(4), 296-305.

Martinelli, R., Monquero, P. A., Fontanetti, A., Conceição, P. M., & Azevedo, F. A. (2017). Ecological mowing: An option for sustainable weed management in young citrus orchards. *Weed Technology*, 31(2), 260-268.

Massinga, R. A., Currie, R. S., Horak, M. J., & Boyer, J. (2001). Interference of *Palmer amaranth* in corn. *Weed Science*, 49(2), 202-208.

Matos, F. S., Wolfgamm, R., Gonçalves, F. V., Cavatte, P. C., Ventrella, M. C. and DaMatta, F. M. (2009). Phenotypic plasticity in response to light in the coffee tree. *Environmental and Experimental Botany* 67(2), 421-427.

McCarthy, N., Bentsen, N. S., Willoughby, I., & Balandier, P. (2011). The state of forest vegetation management in Europe in the 21st century. *European Journal of Forest Research*, 130, 7-16.

Mehra, S. P., & Gill, H. S. (1988). Effect of temperature on germination of *Phalaris minor* Retz. and its competition in wheat. *J. Res. Punjab Agric. Univ*, 25, 529-533.

Melander, B., Munier-Jolain, N., Charles, R., Wirth, J., Schwarz, J., Van Der Weide, R., & Kudsk, P. (2013). European perspectives on the adoption of non chemical weed management in reduced-tillage systems for arable crops. *Weed Technology*, 27(1), 231-240.

Mendes, I. D. S., & Rezende, M. O. O. (2014). Assessment of the allelopathic effect of leaf and seed extracts of *Canavalia ensiformis* as postemergent bioherbicides: A green alternative for sustainable agriculture. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 49(5), 374-380.

Mennan, H., & Zandstra, B. H. (2005). Effect of wheat (*Triticum aestivum*) cultivars and seeding rate on yield loss from *Galium aparine* (cleavers). *Crop Protection*, 24(12), 1061-1067.

- Merfield, C. N. (2015). False and Stale Seedbeds: The most effective non-chemical weed management tools for cropping and pasture establishment. *The FFC Bulletin*, 2015(V4), 25.
- Michael, P. W. (1983). Taxonomy and distribution of *Echinochloa* species with special reference to their occurrence as weeds of rice. In *Proceeding of the Conference on Weed Control in Rice* (Vol. 31, pp. 291-306).
- Milakovic, I., Fiedler, K., & Karrer, G. (2014). Fine-tuning of a mowing regime, a method for the management of the invasive plant, *Ambrosia artemisiifolia*, at different population densities. *Weed Biology and Management*, 14(4), 232-241.
- Mitkov, A., Yanev, M., Neshev, N., Tityanov, M., & Tonev, T. (2019). Herbicide control of the weeds in maize (*Zea mays* L.). *Agon. Ser. Sci. Res. Lucr. Stiintifice Ser. Agon*, 61, 168-173.
- Mitskas, M. B., Tsolis, C. E., Eleftherohorinos, I. G., & Damalas, C. A. (2003). Interference between corn and johnsongrass (*Sorghum halepense*) from seed or rhizomes. *Weed Science*, 51(4), 540-545.
- Mkhabela, M. S., Bullock, P., Raj, S., Wang, S., & Yang, Y. (2011). Crop yield forecasting on the Canadian Prairies using MODIS NDVI data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(3), 385-393.
- Morrison, I. N., & Bourgeois, L. (1995). Approaches to managing ACCase inhibitor resistance in wild oat on the Canadian Prairies. In Brighton Crop Protection Conference. Vol. 2, pp. 567-576.
- Mousavi, S. R., & Eskandari, H. (2011). A general overview on intercropping and its advantages in sustainable agriculture. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*, 1(11), 482-486.
- Mulligan, G. A., & Bailey, L. G. (1975). The biology of Canadian weeds: 8. *Sinapis arvensis*L. *Canadian Journal of Plant Science*, 55(1), 171-183.
- Murphy C.E., Lemerle D. (2006): Continuous cropping systems and weed selection. *Euphytica*, 148: 61–73.
- Murphy, B. P., & Tranel, P. J. (2019). Target-site mutations conferring herbicide resistance. *Plants*, 8(10), 382.
- Nansen, C., Macedo, T., Swanson, R., & Weaver, D. K. (2009). Use of spatial structure analysis of hyperspectral data cubes for detection of insect-induced stress in wheat plants. *International Journal of Remote Sensing*, 30(10), 2447-2464.
- Naylor, R. E., & Drummond, C. (2002). Integrated weed management. *Weed Management Handbook*, 302-310.
- Neve, P., Busi, R., Renton, M., & Vila-Aiub, M. M. (2014). Expanding the eco-evolutionary context of herbicide resistance research. *Pest Management Science*, 70(9), 1385-1393.
- Norsworthy, J. K., Malik, M. S., Jha, P., & Riley, M. B. (2007). Suppression of *Digitaria sanguinalis* and *Amaranthus palmeri* using autumn-sown glucosinolate-producing cover crops in organically grown bell pepper. *Weed Research*, 47(5), 425-432.
- Norsworthy, J. K., Ward, S. M., Shaw, D. R., Llewellyn, R. S., Nichols, R. L., Webster, T. M., & Barrett, M. (2012). Reducing the risks of herbicide resistance: best management practices and recommendations. *Weed Science*, 60(SP1), 31-62.
- Nosratti, I., & Muhammadyari, A. (2019). First report of multiple resistance in *Galium aparine* to ALS-inhibiting and auxin analog herbicides in Kermanshah, Iran. *Planta Daninha*, 37, e019187358.
- Nugent, P. W., Shaw, J. A., Jha, P., Scherrer, B., Donelick, A., & Kumar, V. (2018). Discrimination of

herbicide-resistant kochia with hyperspectral imaging. *Journal of Applied Remote Sensing*, 12(1), 016037-016037.

Osipitan, O. A., Dille, J. A., Assefa, Y., & Knezevic, S. Z. (2018). Cover crop for early season weed suppression in crops: Systematic review and meta-analysis. *Agronomy Journal*, 110(6), 2211-2221.

Ostlie, M. H., & Howatt, K. A. (2013). Downy brome (*Bromus tectorum*) competition and control in no-till spring wheat. *Weed Technology*, 27(3), 502-508.

Pallottino, F., Antonucci, F., Costa, C., Bisaglia, C., Figorilli, S., & Menesatti, P. (2019). Optoelectronic proximal sensing vehicle-mounted technologies in precision agriculture: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162, 859-873.

Papapanagiotou, A. P., Damalas, C. A., Menexes, G. C., & Eleftherohorinos, I. G. (2020). Resistance levels and chemical control options of sterile oat (*Avena sterilis* L.) in Northern Greece. *International Journal of Pest Management*, 66(2), 106-115.

Papapanagiotou, A. P., Loukovitis, D., Anthimidou, E., & Eleftherohorinos, I. G. (2023). Impact of ALS Herbicide-Resistant Perennial Ryegrass (*Lolium perenne*) Population on Growth Rate and Competitive Ability against Wheat. *Agronomy*, 13(6), 1641.

Paul, R., Arthanari, P., Pazhanivelan, S., Kavitha, R., & Djanaguiraman, M. (2023). Drone-based herbicide application for energy saving, higher weed control and economics in direct-seeded rice (*Oryza sativa* L.). *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 93(7), 704-709.

Perez, A., & Kogan, M. (2003). Glyphosate-resistant *Lolium multiflorum* in Chilean orchards. *Weed Research*, 43(1), 12-19.

Perez, M. B., Beckie, H. J., Cawthray, G. R., Goggin, D. E., & Busi, R. (2021). Developing a Petri dish test to detect resistance to key herbicides in *Lolium rigidum*. *BioRxiv*, 2021-04.

Peters, N. C. B., Froud-Williams, R. J., & Orson, J. H. (1993). The rise of barren brome *Bromus sterilis* in UK cereal crops. In *Brighton crop protection conference, weeds. Proceedings of an international conference, Brighton, UK, 22-25 November 1993*. (Vol. 2, pp. 773-780).

Petit, C., Duhieu, B., Boucansaud, K., & Délye, C. (2010). Complex genetic control of non-target-site-based resistance to herbicides inhibiting acetyl-coenzyme A carboxylase and acetolactate-synthase in *Alopecurus myosuroides* Huds. *Plant Science*, 178(6), 501-509.

Pline, W. A., & Hatzios, K. K. (2003). Physiological factors affecting resistance to herbicides in crop and weed species. In *Abstracts of Papers of the American Chemical Society* (Vol. 226, pp. U97-U97).

Powles, S. B., & Matthews, J. M. (1992). Multiple herbicide resistance in annual ryegrass (*Lolium rigidum*): a driving force for the adoption of integrated weed management. In *Resistance'91: Achievements and developments in combating pesticide resistance* (pp. 75-87).

Powles, S. B., & Yu, Q. (2010). Evolution in action: plants resistant to herbicides. *Annual Review of Plant Biology*, 61, 317-347.

Preston, C., Dolman, F., & Boutsalis, P. (2013). Multiple Resistance to Acetohydroxyacid Synthase-Inhibiting and Auxinic Herbicides in a Population of Oriental Mustard (*Sisymbrium orientale*). *Weed Science*, 61(2), 185-192. doi:10.1614/WS-D-12-00117.1

Quan, Z., Xianfeng, Z., & Miao, J. (2011). Eco-environment variable estimation from remote sensed data and eco-environment assessment: models and system. *Acta Botanica Sinica*, 47, 1073-1080.

- Radosevich, S. R., Holt, J. S., & Ghera, C. (1997). *Weed ecology: implications for management*. John Wiley & Sons.
- Raj, R., Kar, S., Nandan, R., & Jagarlapudi, A. (2020). Precision agriculture and unmanned aerial Vehicles (UAVs). *Unmanned aerial vehicle: Applications in agriculture and environment*, 7-23.
- Raj, R., Kumar, B., & Singh, M. (2020). Efficacy of different weed management practices on growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(5), 2250-2253.
- Ramachandran, A., Veeramani, A., & Prema, P. (2012). Effect of brown manuring on weed growth, yield and economics of irrigated maize. *Indian Journal of Weed Science*, 44(3), 204-206.
- Ramesh, K., Matloob, A., Aslam, F., Florentine, S. K., & Chauhan, B. S. (2017). Weeds in a changing climate: vulnerabilities, consequences, and implications for future weed management. *Frontiers in plant science*, 8, 95.
- Ranells, N. N., & Wagger, M. G. (1996). Nitrogen release from grass and legume cover crop monocultures and biocultures. *Agronomy Journal*, 88(5), 777-882.
- Rasmussen, J., Azim, S., & Nielsen, J. (2021). Pre-harvest weed mapping of *Cirsium arvense* L. based on free satellite imagery–The importance of weed aggregation and image resolution. *European Journal of Agronomy*, 130, 126373.
- Retzinger, E. J., & Mallory-Smith, C. (1997). Classification of herbicides by site of action for weed resistance management strategies. *Weed Technology*, 11(2), 384-393.
- Richardson, A. J., & Wiegand, C. L. (1977). Distinguishing vegetation from soil background information. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 43(12), 1541-1552.
- Rist, Y., Shendryk, I., Diakogiannis, F., & Levick, S. (2019). Weed mapping using very high resolution satellite imagery and fully convolutional neural network. In *IGARSS 2019-2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp. 9784-9787). IEEE.
- Rodenburg, J., Riches, C. R., & Kayeke, J. M. (2010). Addressing current and future problems of parasitic weeds in rice. *Crop Protection*, 29(3), 210-221.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA Spec. Publ*, 351(1), 309.
- Salonen, J., Hyvönen, T., Kaseva, J., & Jalli, H. (2013). Impact of changed cropping practices on weed occurrence in spring cereals in Finland—a comparison of surveys in 1997–1999 and 2007–2009. *Weed Research*, 53(2), 110-120.
- Sapkota, B., Singh, V., Cope, D., Valasek, J., & Bagavathiannan, M. (2020). Mapping and estimating weeds in cotton using unmanned aerial systems-borne imagery. *AgriEngineering*, 2(2), 24.
- Sarani, M., Oveisi, M., Mashhadi, H. R., Alizade, H., & Gonzalez-Andujar, J. L. (2014). Interactions between the tillage system and crop rotation on the crop yield and weed populations under arid conditions. *Weed Biology and Management*, 14(3), 198-208.
- Šarauski, E., Kriaučiūnienė, Z., Romaneckas, K., & Buragienė, S. (2018). Impact of tillage methods on environment, energy and economy. *Sustainable Agriculture Reviews 33: Climate Impact on Agriculture*, 53-97.
- Sarwar, M., Ali, A., Maqbool, M. M., Ahmad, M., Mahmood, R., & Haq, T. U. (2013). Suppressing Impact of *Avena fatua* and *Phalaris minor* on the Growth and Yield in Wheat. *Pakistan Journal of*

Nutrition, 12(10), 912.

Sattin, M., Berti, A., & Zanin, G. (2019). Agronomic aspects of herbicide use. In *Pesticide risk in groundwater* (pp. 45-70). CRC Press.

Schmidt, R. R. (1997). HRAC classification of herbicides according to mode of action. In *1997 Brighton crop protection conference: weeds. Proceedings of an international conference, Brighton, UK, 17-20 November 1997*. (No. Volume 3, pp. 1133-1140).

Scott, G. H., Askew, S. D., Wilcut, J. W., & Brownie, C. (2000). *Datura stramonium* interference and seed rain in *Gossypium hirsutum*. *Weed Science*, 48(5), 613-617.

Scursoni, J. A., Palmano, M., De Notta, A., & Delfino, D. (2012). Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) density and N fertilization on wheat (*Triticum aestivum* L.) yield in Argentina. *Crop protection*, 32, 36-40.

Seefeldt, S., Jensen, J., & Fuerst, E. (1995). Log-Logistic Analysis of Herbicide Dose-Response Relationships. *Weed Technology*, 9(2), 218-227.

Senthilkumar, D., Chinnusamy, C., Bharathi, C., & Lavanya, Y. (2019). Stale seed bed techniques as successful weed management practice. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(25), 120-123.

Shah, T. M., Nasika, D. P. B., & Otterpohl, R. (2021). Plant and weed identifier robot as an agroecological tool using artificial neural networks for image identification. *Agriculture*, 11(3), 222.

Shaner, D. L. (2009). Role of translocation as a mechanism of resistance to glyphosate. *Weed Science*, 57(1), 118-123.

Sharma, S. D., & Singh, M. (2001). Environmental factors affecting absorption and bio-efficacy of glyphosate in Florida beggarweed (*Desmodium tortuosum*). *Crop Protection*, 20(6), 511-516.

Shaw, D. R., Morris, W. H., Webster, E. P., & Smith, D. B. (2000). Effects of spray volume and droplet size on herbicide deposition and common cocklebur (*Xanthium strumarium*) control. *Weed Technology*, 14(2), 321-326.

Shendryk, Y., Rossiter-Rachor, N. A., Setterfield, S. A., & Levick, S. R. (2020). Leveraging high-resolution satellite imagery and gradient boosting for invasive weed mapping. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 4443-4450.

Shergill, L. S., Barlow, B. R., Bish, M. D., & Bradley, K. W. (2018). Investigations of 2, 4-D and multiple herbicide resistance in a Missouri waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*) population. *Weed Science*, 66(3), 386-394.

Shirzadifar, A., Bajwa, S., Nowatzki, J., & Bazrafkan, A. (2020). Field identification of weed species and glyphosate-resistant weeds using high resolution imagery in early growing season. *Biosystems Engineering*, 200, 200-214.

Simpson, E. H. (1949). Measurement of diversity. *Nature*, 163(4148), 688-688.

Singh, M. K., & Singh, A. (2012). Effect of stale seedbed method and weed management on growth and yield of irrigated direct-seeded rice. *Indian Journal of Agronomy*, 44, 176-180.

Singh, S., & Malik, R. K. (1994). Effect of application method of chlosulfuron on the control of *Phalaris minor* in wheat. *Indian Journal of Agronomy*, 39(1), 23-26.

- Skuterud, R., Bjugstad, N., Tyldum, A., & Tørresen, K. S. (1998). Effect of herbicides applied at different times of the day. *Crop Protection*, 17(1), 41-46.
- Stagnari, F. (2007). A review of the factors influencing the absorption and efficacy of lipophilic and highly water-soluble post-emergence herbicides. *European Journal of Plant Science and Biotechnology*, 1(1), 22-35.
- Stevens, J. C., Merritt, D. J., Flematti, G. R., Ghisalberti, E. L., & Dixon, K. W. (2007). Seed germination of agricultural weeds is promoted by the butenolide 3-methyl-2 H-furo [2, 3-c] pyran-2-one under laboratory and field conditions. *Plant and Soil*, 298, 113-124.
- Stomph, T., Dordas, C., Baranger, A., de Rijk, J., Dong, B., Evers, J., & van Der Werf, W. (2020). Designing intercrops for high yield, yield stability and efficient use of resources: Are there principles?. *Advances in agronomy*, 160(1), 1-50.
- Stone, J. C., Peeper, T. F., & Stone, A. E. (2006). Rotational cropping systems to reduce cheat (*Bromus secalinus*) densities. *Weed technology*, 20(2), 445-452.
- Storkey, J., Meyer, S., Still, K. S., & Leuschner, C. (2012). The impact of agricultural intensification and land-use change on the European arable flora. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279(1732), 1421-1429.
- Storkey, J., Moss, S. R., & Cussans, J. W. (2010). Using assembly theory to explain changes in a weed flora in response to agricultural intensification. *Weed Science*, 58(1), 39-46.
- Summerford, J. A. (2008). *Cultural practices to improve the establishment, performance, and transition of overseeded meadow fescue and tetraploid ryegrass*. University of Arkansas.
- Sunitha, N., Reddy, P. M., & Sathineni, M. (2010). Effect of cultural manipulation and weed management practices on weed dynamics and performance of sweet corn (*Zea mays* L.).
- Swanton, C., Clements, D., & Derksen, D. (1993). Weed Succession under Conservation Tillage: A Hierarchical Framework for Research and Management. *Weed Technology*, 7(2), 286-297.
- Taab, Alireza, and Lars Andersson (2009). Primary dormancy and seedling emergence of black nightshade (*Solanum nigrum*) and hairy nightshade (*Solanum physalifolium*). *Weed Science* 57, no. 5 (2009): 526-532.
- Takano, H. K., Ovejero, R. F. L., Belchior, G. G., Maymone, G. P. L., & Dayan, F. E. (2020). ACCase-inhibiting herbicides: mechanism of action, resistance evolution and stewardship. *Scientia Agricola*, 78.
- Taylor, K. (1999). *Galium aparine* L. *Journal of Ecology*, 87(4), 713–730.
- Teasdale, J. R., Brandsaeter, L. O., Calegari, A. D. E. M. I. R., Neto, F. S., Upadhyaya, M. K., & Blackshaw, R. E. (2007). Cover crops and weed management. *Non-chemical weed management: principles, concepts and technology*, 49-64.
- Thelen, K., Kravchenko, A., & Lee, C. (2004). Use of Optical Remote Sensing for Detecting Herbicide Injury in Soybean. *Weed Technology*, 18(2), 292-297.
- Thomas, G. A., Titmarsh, G. W., Freebairn, D. M., & Radford, B. J. (2007). No-tillage and conservation farming practices in gain growing areas of Queensland—a review of 40 years of development. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47(8), 887-898.
- Thorp, K. R., & Tian, L. F. (2004). A review on remote sensing of weeds in agriculture. *Precision Agriculture*, 5(5), 477-508.

- Tillman, G., Schomberg, H., Phatak, S., Mullinix, B., Lachnicht, S., Timper, P., & Olson, D. (2004). Influence of cover crops on insect pests and predators in conservation tillage cotton. *Journal of economic entomology*, 97(4), 1217-1232.
- Torra, J., Gonzalez-Andujar, J. L., & Recasens, J. (2008). Modelling the population dynamics of *Papaver rhoeas* under various weed management systems in a Mediterranean climate. *Weed Research*, 48(2), 136-146.
- Travlos, I. S. (2012). Reduced herbicide rates for an effective weed control in competitive wheat cultivars. *International Journal of Plant Production*, 6, 1735-8043.
- Travlos, I. S. (2013). Competition between ACCase-inhibitor resistant and susceptible sterile wild oat (*Avena sterilis*) biotypes. *Weed Science*, 61(1), 26-31.
- Travlos, I. S., & Chachalis, D. (2010). Glyphosate-resistant hairy fleabane (*Conyza bonariensis*) is reported in Greece. *Weed Technology*, 24(4), 569-573.
- Travlos, I. S., & Giannopolitis, C. N. (2010). Assessment of distribution and diversity of *Avena sterilis* L. and *Avena fatua* L. in cereal crops of Greece based on a 3-year survey and selected morphological traits. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 57, 337-341.
- Travlos, I. S., Giannopolitis, C. N., & Economou, G. (2011). Diclofop resistance in sterile wild oat (*Avena sterilis* L.) in wheat fields in Greece and its management by other post-emergence herbicides. *Crop Protection*, 30(11), 1449-1454.
- Travlos, I. S., Giannopolitis, C. N., & Paspatis, E. A. (2008). Wild oat variability in wheat fields of Viotia in Central Greece. *Hellenic Plant Protection Journal*, 107.
- Travlos, I. S., Gkotsi, T., Roussis, I., Kontopoulou, C. K., Kakabouki, I., & Bilalis, D. J. (2017). Effects of the herbicides benfluralin, metribuzin and propyzamide on the survival and weight of earthworms (*Octodrilus complanatus*). *Plant, Soil and Environment*, 63(3), 117-124.
- Travlos, I. S., Montull, J. M., Kukorelli, G., Malidza, G., Dogan, M. N., Cheimona, N., & Peteinatos, G. (2019). Key aspects on the biology, ecology and impacts of Johnsongrass [*Sorghum halepense* (L.) Pers] and the role of glyphosate and non-chemical alternative practices for the management of this weed in Europe. *Agronomy*, 9(11), 717.
- Travlos, I., Gazoulis, I., Kanatas, P., Tsekoura, A., Zannopoulos, S., & Papastylianou, P. (2020). Key factors affecting weed seeds' germination, weed emergence, and their possible role for the efficacy of false seedbed technique as weed management practice. *Frontiers in Agronomy*, 2,1.
- Travlos, I., Kanatas, P., Tsekoura, A., Gazoulis, I., Papastylianou, P., Kakabouki, I., & Antonopoulos, N. (2020). Efficacy of different herbicides on *Echinochloa colona* (L.) Link control and the first case of its glyphosate resistance in Greece. *Agronomy*, 10(7), 1056.
- Travlos, I., Tsekoura, A., Antonopoulos, N., Kanatas, P., & Gazoulis, I. (2021). Novel sensor-based method (quick test) for the in-season rapid evaluation of herbicide efficacy under real field conditions in durum wheat. *Weed Science*, 69(2), 147-160.
- Triplett Jr, G. B., & Dick, W. A. (2008). No-tillage crop production: A revolution in agriculture!. *Agonomy Journal*, 100, S-153.
- Turgut, N. C., Mennan, H., & Altop, E.K. (2022). Determination of resistance to ALS inhibitor herbicides in wild mustard is a problem in wheat fields in Amasya and Corum provinces. *Agibalkan*, 213.
- Uludağ, A., Gözcü, D., Ruşen, M., Güvercin, R. S., & Demir, A. (2007). The Effect of johnsongrass

densities (*Sorghum halepense* (L.) Pers) on cotton yield. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10, 523-525.

Uludag, A., Nemli, Y., Tal, A., & Rubin, B. (2007). Fenoxaprop resistance in sterile wild oat (*Avena sterilis*) in wheat fields in Turkey. *Crop Protection*, 26(7), 930-935.

Uremis, I., Arslan, M., Uludag, A., & Sangun, M. (2009). Allelopathic potentials of residues of 6 brassica species on johnsongrass [*Sorghum halepense* (L.) Pers.]. *African Journal of Biotechnology*, 8(15).

Valverde BE, Gessel J (2006). Dealing with the evolution and spread of *Sorghum halepense* glyphosate resistance in Argentina. *Consultancy Report to SENASA*, Buenos Aires.

Varanasi, A., Prasad, P. V., & Jugulam, M. (2016). Impact of climate change factors on weeds and herbicide efficacy. *Advances in Agronomy*, 135, 107-146.

Velini, E. D. I. V. A. L. D. O., Duke, S. O., Trindade, M. L. B., Meschede, D. K., & Carbonari, C. A. (2009). Mode of action of glyphosate. *USDA: Washington, DC, USA*, 113-134.

Wagner, J., Haas, H. U., & Hurle, K. (2002). Identification of ALS inhibitor-resistant *Amaranthus* biotypes using polymerase chain reaction amplification of specific alleles. *Weed Research*, 42(4), 280-286.

Wakelin, A. M., Lorraine-Colwill, D. F., & Preston, C. (2004). Glyphosate resistance in four different populations of *Lolium rigidum* is associated with reduced translocation of glyphosate to meristematic zones. *Weed Research*, 44(6), 453-459.

Wall, D. A. (1994). Tolerance of five annual broadleaf crops to simulated thifensulfuron: tribenuron (2: 1) spray drift. *Weed Technology*, 8(4), 785-793.

Wall, L., Larocque, D., & Léger, P. M. (2008). The early explanatory power of NDVI in crop yield modelling. *International Journal of Remote Sensing*, 29(8), 2211-2225.

Wang, L., Zhao, Y., Al-Kaisi, M., Yang, J., Chen, Y., & Sui, P. (2020). Effects of seven diversified crop rotations on selected soil health indicators and wheat productivity. *Agronomy*, 10(2), 235.

Whitcomb, C. E. (1999). An introduction to ALS-inhibiting herbicides. *Toxicology and Industrial Health*, 15(1-2), 232-240.

Wicks, G. A., Burnside, O. C., & Felton, W. L. (2017). Mechanical weed management. In *Handbook of weed management systems* (pp. 51-99). Routledge.

Wilson, B. J., & Wright, K. J. (1990). Predicting the growth and competitive effects of annual weeds in wheat. *Weed Research*, 30(3), 201-211.

Wittwer, R. A., Dorn, B., Jossi, W., & van der Heijden, M. G. (2017). Cover crops support ecological intensification of arable cropping systems. *Scientific Reports*, 7(1), 41911.

WSSA, (2012). The official website of the Weed Science Society of America. Available online: www.wssa.net

Xie, Chengjian, Chunyan Wang, Xiaokun Wang, & Xingyong Yang (2013). "Proteomics-based analysis reveals that *Verticillium dahliae* toxin induces cell death by modifying the synthesis of host proteins." *Journal of General Plant Pathology* 79: 335-345.

Xu, R., Li, C., & Bernardes, S. (2021). Development and testing of a uav-based multi-sensor system for plant phenotyping and precision agriculture. *Remote Sensing*, 13(17), 3517.

- Xue, J., & Su, B. (2017). Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. *Journal of Sensors*, 2017.
- Yabuno, T. (1966). Biosystematic study of the genus *Echinochloa*. *Japanese Journal of Botany*, 19, 277-323.
- Yadav, D. B., Yadav, A., Punia, S. S., & Duhan, A. (2018). Tembotrione for post-emergence control of complex weed flora in maize. *Indian Journal of Weed Science* 50(2): 133–136.
- Yasin, M., Tanveer, A., Iqbal, Z., & Ali, A. (2010). Effect of herbicides on narrow leaved weeds and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*, 4(8), 619-621.
- Yates, F. (1954). The analysis of experiments containing different crop rotations. *Biometrics*, 324-346.
- Yu, Q., & Powles, S. B. (2014). Resistance to AHAS inhibitor herbicides: current understanding. *Pest Management Science*, 70(9), 1340-1350.
- Zhang, H., Lan, Y., Lacey, R., Hoffmann, W. C., Martin, D. E., Fritz, B., & Lopez Jr, J. (2010). Gound-based spectral reflectance measurements for evaluating the efficacy of aerially-applied glyphosate treatments. *Biosystems engineering*, 107(1), 10-15.