

אפיון תפרושת מרחבית של עלקת מצרית

(Phelipanche aegyptiaca)

בחלקות עגבנייה לתעשייה בישראל

עבודת גמר מוגשת לפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה ע"ש

רוברט ה. סמית, האוניברסיטה העברית בירושלים

לשם קבלת תואר "מוסמך למדעי החקלאות"

על ידי

איתי רועי

כסלו ה'תשע"ד / אוגוסט 2013

רחובות

אפיון תפרושת מרחבית של עלקת מצרית

(Phelipanche aegyptiaca)

בחלקות עגבנייה לתעשייה בישראל

עבודת גמר מוגשת לפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה ע"ש

רוברט ה. סמית, האוניברסיטה העברית בירושלים

לשם קבלת תואר "מוסמך למדעי החקלאות"

על ידי

איתי רועי

כסלו ה'תשע"ד / אוגוסט 2013

רחובות

עבודה זו נעשתה בהנחיית:

דר' יפית כהן, המחלקה להנדסת מערכות חישה, מידע ומיכון, המכון להנדסה חקלאית, מנהל המחקר החקלאי, בית דגן.

דר' חנן איזנברג, המחלקה לפיטופתולוגיה וחקר עשבים רעים, מנהל המחקר החקלאי, מרכז מחקר נוה-יער.

הבעת תודה

חובה נעימה היא לי, להודות לכל האנשים והמוסדות, אשר סייעו בעצה במימון ובמעשה להוציא עבודה זו מהכח אל הפועל:

ראשית תודה למנחים:

לד"ר יפית כהן- תודה על פתיחת האופקים לכיווני מחקר חדשים עבורי, הבעת האמון לאורך הדרך המשותפת, חדות העשייה המדבקות, הרעיונות הטובים אשר סייעו לקידום המחקר, החתירה למצוינות אקדמית יחד עם הקפדה על יחסי אדם לחברו. ללא הנחייתך המסורה לא הייתה עבודה זו מגיעה למתכונתה הנוכחית.

לד"ר חנן אייזנברג- תודה על הכרת דרכי ההתמודדות כנגד עלקת מצרית בגידולי שדה, הדחיפה והסיוע בהצבת הניסויים בחוות עדן ונווה יער, תודה על מתן הבמה האקדמית להצגת תוצאות בנייים של העבודה בהזדמנויות שונות.

למדען הראשי של משרד החקלאות ופיתוח הכפר ולענף הירקות במועצת הצמחים- תודה על מימון מיזם עלקת אשר במסגרתו בוצעה עבודה זו.

תודות לצוות המקצועי אשר ליווה את העבודה:

לשאול גרף- תודה על ההפניה לחלקות בעלות עניין לעבודת המחקר, הקישור למגדלי עג"ת לרוונטיים, לימוד ממשק גידול עג"ת ודרכי התמודדות הענף עם נזקי עלקת מצרית.

אנשי מחלקת עשבים רעים בנווה יער: דר' יוסי הרשנהורן, גיא אנדרי ויבגני סמירנוב- תודה על הסיוע הרב בהצבת הניסויים בחוות עדן והמבחן הביולוגי בנווה יער.

למנהלים המקצועיים בחוות ניסיונות עדן: אברום גלבע ומחליפו טל לנדה- תודה על האפשרות להציב ניסויים בשטח החווה, רתימת ידיעותיהם וניסיונם למחקר וגילוי מעורבות ועניין בניסויים.

לשי מיטל מנכ"ל חברת "אגם חקלאות מתקדמת"- תודה על ביצוע מיפוי נגיעות בשלוש חלקות לפני כניסתי למחקר, תודה על העלאת חלק מתוצאות העבודה לאתר "האגודה הישראלית למדע העשבים הרעים".

לאברהם ארליך ("נונה"), ענף הירקות, מועצת הצמחים- תודה על אספקת המידע השנתי אודות מגדלי עג"ת.

למגדלי עג"ת ומדריכי שה"מ אשר השתתפו בסקר האזורי- תודה על תרומת ידיעותיהם וניסיונם לנתוני הסקר האזורי, תודה על הסכמתם לפרסום נתוני החלקות הרלוונטיות בעבודה זו.

תודה למארחי בצפון: איל גל, צדוק ונעמי ליפשיץ, מיכאל ויפה לזר, עמי ונעמי רבינוביץ', תמר סוקולסקי, דניאל רועי - בלעדיכם לא הייתי מצליח לעמוד במשימה ולמפות חלקות שלמות בתנאי הקיץ הקשים.

תודות לעמיתי במכון להנדסה חקלאית :

לאיתן גולדשטיין - תודה על הסיוע הרב בלימוד מפרטי מכשירי ה-GPS וכן התמיכה והפתרונות לקשיים בשימוש בכלי התוכנה ArcGIS

לרומן בריקמן - תודה על הנסיעות המשותפות, הסיפורים והבדיחות.

לנתיב רוטברט, רונית רוד, תימאה איגנט ורון ברנשטיין - תודה על הטרמפים לנס ציונה, העצות החבריות והמקצועיות. נוכחותכם במכון הפכה את מקום העבודה לבית שני עבורי.

לפרופ' אברהם גמליאל ("גמלי") וצוות המעבדה בראשותו - תודה על הטרמפים לבית שאן, האירוח הלבבי והאפשרות להשתמש בציוד המעבדה לצורכי העבודה. **תודה מיוחדת לגלי ששון** על הסיוע הרב בעצה ובמעשה בזמן שהותי במעבדה.

תודות לגופים והמוסדות אשר סייעו לי כלכלית ואפשרו לי להתמקד בלימודי וביצוע עבודה זו :

הקרן ע"ש נתן יפה (מטעם חברת רימי), קרן סם המבורג (מטעם מועצת הכותנה), מכון המחקר של הקבוץ הדתי, עמותת "חברים למען הטבע" בגדרה.

תודה אחרונה חביבה להורי, אבנר ודליה רועי - תודה רבה על התמיכה הרבה, ברוח ובחומר, במהלך שנות לימודי (תואר ראשון ושני). זאת הזדמנות נאותה להודות במקצת על הרב שנתתם.

תקציר

עלוקת מצרית (*Phelipanche aegyptiaca*) הינה צמח טפיל מוחלט בעל טווח פונדקאים נרחב. הנזק מעלוקת מצרית מתבטא בהתייבשות הפונדקאי וירידה מובהקת ביבול. עלוקת מצרית הינה אחד האיומים העיקריים על גידול עגבניות תעשייה (עג"ת) בישראל. מטרת המחקר הינן אפיון דגמי פיזור מרחבי של עלוקת מצרית בחלקת גידול ומציאת גורמים להערכת פוטנציאל הנגיעות בחלקת הגידול ולהמצאות דגמי פיזור שונים. מימוש מטרת המחקר יאפשר שיפור מערכת קבלת החלטות "פקעית" להדברה מושכלת של עלוקת בחלקת הגידול. כמו-כן יסייע מחקר זה בעתיד לביצוע ניטור יעיל של רמת הנגיעות בחלקה בשלב טרום שתילה.

תפוצת עלוקת בחלקות נחקרה בקנ"מ של החלקה הבודדת ובקנ"מ אזורי. עבור בחינת דגמי הפיזור בקנ"מ של החלקה, מופתה נגיעות עלוקת מצרית באופן אינטנסיבי במרחב ב-43 חלקות עג"ת בשלוש עונות גידול, 2010-2012, באמצעות ממ"ל-ממ"ג (GPS-GIS). מדד הנגיעות אופיין באמצעות ארבע רמות נגיעות (0- אין נגיעות עד 3- נגיעות חמורה) על-סמך ספירת תפוחות עלוקת בחלקה לפני קטיף העגבניות. על-סמך המיפוי הנקודתי בוצעה אינטרפולציה המאפשרת הערכת נגיעות רציפה בכל החלקה.

על מנת לבחון את האפשרות להקטין את מספר הדגימות בוצעו ניתוחים גיאוסטטיסטיים עבור החלקות, לפיהם צומצם מספר נקודות הדגימה בחלקה: מ-4 דגימות לדונם לדגימה אחת ל-4 דונם. בחינת תפוצת עלוקת בקנ"מ אזורי התבצעה באמצעות סקר אצל מגדלי עג"ת בשלוש עונות גידול, 2010-12. במסגרת הסקר נאסף מידע אודות רמת הנגיעות בחלקת הגידול וממשק גידול בחלקה כולל היסטוריית נגיעות בעלוקת ומחזור גידולים משנת 2000 והילך.

על בסיס המיפוי בקנ"מ של החלקה התקבלו חמישה דגמי פיזור עיקריים: מקבץ נגיעות מוקדי; מקבץ נגיעות לאורך שורות הגידול; מקבץ נגיעות כיווני (בצד מסוים של החלקה); נגיעות אקראית בחלקה; נגיעות אחידה בחלקה. השוואה בין אינטרפולציה על-פי מספר הנקודות המקורי והמצומצם הראתה כי דגם הפיזור נשמר, למעט מקבצי נגיעות קטנים.

המידע מהסקר האזורי סייע בהערכת הגורמים להחמרה ברמת נגיעות עלוקת בחלקה והשפעה על דגם הפיזור של הנגיעות. נמצא כי היסטוריית נגיעות בעלוקת והיסטוריית גידול עג"ת בחלקה גורמים באופן משמעותי לעלייה בפוטנציאל הנגיעות בחלקה ואילו גידול עג"ת באזור גידול חדש (אזור ללא היסטוריית נגיעות בעלוקת או גידול עג"ת בחלקה ובחלקות הסמוכות לה) מפחית את פוטנציאל הנגיעות בחלקה. כמו-כן נמצא כי המצאות חלקה שכנה מאולחת בזרעי עלוקת מעלה את הסבירות לקבלת דגם פיזור נגיעות כיווני.

באמצעות זיהוי הגורמים המשפיעים על נגיעות עלוקת בחלקה וקבלת דגם פיזור ייחודי מוצעת בעבודה זו שיטת דיגום לניטור עלוקת טרום שתילה. כמו-כן מוצעת מערכת קבלת החלטות המיועדת לשיפור מערכת קבלת החלטות "פקעית".

תוכן עניינים

1	1 רקע
1	1.1 ביולוגיה של עלקת מצרית
1	1.2 נזקי עלקת מצרית
2	1.3 תפרושת עלקת
3	1.3.1 מודלים לחיזוי נגיעות עלקת בחלקת גידול
4	1.4 השפעת גורמים על תפרושת עשבים
5	1.4.1 השפעת גורמים ביולוגיים על תפרושת עשבים
5	1.4.2 השפעת גורמי סביבה על תפרושת עשבים
7	1.4.3 השפעת גורמי פעילות חקלאית על תפרושת עשבים
8	1.4.4 השפעת ממשק גידול על תפרושת וחומרת נגיעות עשבים
9	1.5 שיטות סקירה עבור תפרושת עשבים
9	1.5.1 גישות ליצירת "מפת נגיעות" עשב בחלקת הגידול
10	1.5.2 גישות שונות עבור שיטת דגימה במקטעים
10	1.5.3 השפעת קנה-מידה על תפרושת עשבים
11	1.5.4 קשיים באיתור והבנת הגורמים למיקומי מקבצי נגיעות
12	2 מטרות המחקר וחיבותן
12	2.1 חשיבות המחקר
12	2.2 פערי הידע בנושא מחקר
12	2.3 הנחות עבודה במחקר
12	2.4 השערות המחקר
13	2.5 מטרות המחקר
13	3 שיטות
13	3.1 אזור המחקר
14	3.2 איתור גורמים לשונות בחומרת נגיעות עלקת
14	3.2.1 איסוף נתונים
15	3.2.2 ניתוח גורמים לשונות בחומרת נגיעות ברמת החלקה
15	3.3 אפיון דגמי פיזור מרחביים של נגיעות עלקת בחלקה
15	3.3.1 גישה למיפוי נגיעות ברמת החלקה הבודדת
15	3.3.2 קביעת צפיפות הדיגום
16	3.3.3 מועדי המיפוי
17	3.3.4 אמצעי המיפוי
20	3.4 איתור גורמים המשפיעים על שונות דגם הפיזור של עלקת בחלקה
21	3.4.1 הערכת השפעת חלקה סמוכה מאולחת על דגם הפיזור
23	3.4.2 אפיון התפשטות מרחבית של עלקת בין עונות גידולים פונדקאים

23	.....קביעת צפיפות מיטבית לדיגום עלקת.	3.5
25	.....בחינת שיטות דיגום בצפיפות דיגום נמוכה.	3.6
25	.....בניית "עץ קבלת החלטות" להערכת פוטנציאל אילוח עלקת בחלקה.	3.7
26	.....תוצאות	4
26	.....איתור גורמים לשונות בחומרת הנגיעות בעלקת.	4.1
30	.....אפיון דגמי פיזור מרחביים של נגיעות עלקת בחלקה.	4.2
32	.....4.2.1 השפעת גורם "חלקה שכנה מאולחת" על דגם פיזור כיווני.	4.2.1
37	.....4.3 אפיון מקבצים מוקדיים.	4.3
38	.....4.4 אפיון דגם פיזור אקראי ואחיד.	4.4
39	.....4.4.1 תוצאות ניסוי התפשטות עלקת מפונדקאי חורף-אביב לפונדקאי אביב-קיץ בעונות עוקבות.	4.4.1
	.....4.4.2 השוואה בין דגמי פיזור מרחבי של עלקת בגידול פונדקאי חורף (כוסברה, גזר, תפ"א) לאחר גידול פונדקאי קיץ (עג"ת).	4.4.2
40	.....
41	.....4.5 קביעת צפיפות דגימות נמוכה המאפשרת שמירה על דגם פיזור מרחבי.	4.5
	.....RMS 4.5.1מדד	4.5.1
41	.....4.5.2 ניתוח ויזואלי של תוצאות האינטרפולציה.	4.5.2
42	.....4.6 השוואה בין שיטות דיגום שונות בצפיפות דגימות נמוכה.	4.6
	.....RMS 4.6.1מדד	4.6.1
43	.....4.7 "עץ קבלת החלטות" עבור הערכת נגיעות עלקת ובחירת שיטת דיגום.	4.7
43	.....4.7.1 פיתוח מערכת קבלת החלטות.	4.7.1
43	.....4.7.2 תוצרי מערכת קבלת החלטות.	4.7.2
43	.....4.7.3 הצגת אפשרויות מערכת קבלת החלטות המובילות לפעולות דיגום וממשק הדברה שונות.	4.7.3
46	.....דיון	5
46	.....5.1 איתור גורמים לשונות בחומרת נגיעות עלקת.	5.1
46	.....5.1.1 היסטוריית נגיעות עלקת בחלקה.	5.1.1
46	.....5.1.2 המצאות עג"ת במחזור הגידולים ב-10 שנים האחרונות.	5.1.2
46	.....5.1.3 חוסר פונדקאים בחלקת הגידול.	5.1.3
47	.....5.2 אפיון דגמי פיזור מרחבי של נגיעות עלקת ואיתור גורמים לדגמי הפיזור השונים.	5.2
48	.....5.2.1 מקבצים כיווניים.	5.2.1
49	.....5.2.2 מקבצים מוקדיים.	5.2.2
50	.....5.2.3 חיזוי מיקום מקבץ מוקדי והערכת גודל המקבץ.	5.2.3
50	.....5.2.4 מקבצים מאורכים לאורך שורת הגידול.	5.2.4
51	.....5.2.5 דגמי פיזור אקראי ואחיד.	5.2.5
51	.....5.2.6 יציבות מקבצים.	5.2.6
52	.....5.3 מאפייני אינטרפולציה לדגמי הפיזור השונים.	5.3
52	.....5.3.1 שגיאה ריבועית ממוצעת (RMS).	5.3.1

52	.....שגיאת מדידה (nugget) 5.3.2
53	.....טווח אוטוקורלציה (range) 5.3.3
53	.....קביעת צפיפות דגימות נמוכה לאפיון דגם פיזור מרחבי 5.4
53	.....השוואת תוצאות אינטרפולציה תחת צפיפויות דיגום שונות 5.4.1
54	.....השוואה בין פיזור דגימות אקראי למכוון תחת צפיפות דגימות נמוכה 5.4.2
54	.....מסקנות מתוצאות אינטרפולציה תחת צפיפויות דיגום שונות 5.4.3
54	.....השוואה בין שיטות דיגום שונות בצפיפות דגימות נמוכה 5.4.4
55	....."עץ קבלת החלטות" עבור צורך בדיגום קרקע והערכת פוטנציאל נגיעות 5.5
55	.....5.5.1 יתרונות "עץ קבלת החלטות"
55	.....5.5.2 חסרונות "עץ קבלת החלטות"
56	.....6 סיכום והמלצות להמשך מחקר
56	.....6.1 ממצאים עיקריים
56	.....6.1.1 חומרת נגיעות עלקת בחלקה
56	.....6.1.2 גורמים לדגמי פיזור מרחבי
56	.....6.1.3 אופן דיגום אופטימאלי השומר על דגם הפיזור בחלקה
56	.....6.2 המלצות להמשך מחקר
57	.....6.2.1 שיפור מאגר המידע האזורי
57	.....6.2.2 שיפור שיטת בחינת אופן הדיגום האופטימאלי
58	.....7 רשימת ספרות

רשימת איורים וטבלאות

- איורים
- 1 איור 1: הצגת שלבי מחזור חיים במיני עלקת
- 14 איור 2: מפת אזורי המחקר
- 16 איור 3: תמונות המייצגות רמות נגיעות עלקת במדד הנגיעות
- 19 איור 4: דוגמא תיאורטית של גרף הסמיואריוגרם
- 20 איור 5: דוגמא מוחשית לשימוש בסמיואריוגרם בחלקות המחקר
- 22 איור 6: שלבי ניתוח מרחבי לבחינת השפעת חלקה שכנה מאולחת על חלקה נבחנת
- 24 איור 7: המחשת שיטת השוואת צפיפויות דיגום שונות
- 25 איור 8: המחשת שיטת השוואה בין שיטות דיגום בצפיפות דיגום נמוכה
- 26 איור 9: התפלגות נגיעות עלקת כתלות בגורם "אזור הגידול"
- 27 איור 10: התפלגות נגיעות עלקת תחת גורם "היסטוריית נגיעות עלקת בחלקת הגידול"
- 27 איור 11: התפלגות נגיעות עלקת תחת גורם "המצאות עג"ת במחזור גידולים משנת 2000 ואילך"
- 27 איור 12: התפלגות נגיעות עלקת תחת גורם "פונדקאי עלקת (חמניות, חימצה, סוככיים) במ"ג משנת 2000 ואילך"
- 28 איור 13: התפלגות נגיעות עלקת תחת גורם "ללא פונדקאים במ"ג משנת 2000 ואילך"
- 29 איור 14: התפלגות נגיעות עלקת בנוכחות גורם "חלקה שכנה מאולחת"
- 31 איור 15: אפיון דגמי פיזור
- 32 איור 16: התפלגות שכיחות דגמי פיזור בחלקות נבחנות ברמת החלקה
- 33 איור 17: בחינת התפלגות נגיעות עלקת בחלקה כתלות במרחק מגבול חלקה שכנה מאולחת
- 33 איור 18: בחינת התפלגות נגיעות עלקת בחלקת הגידול כתלות במרחק מגבול חלקה שכנה מאולחת עם וללא הימצאות גורם אילוח פנימי (היסטוריית נגיעות) בחלקה
- 35 איור 19: תוצאות לכידת זרעים בניסויי שדה להערכת פוטנציאל פיזור זרעים מחלקה נגועה
- 36 איור 20: הצגת נתונים מטאורולוגיים לימי הצבת ניסויי השדה בחוות עדן וחוות
- 37 איור 21: דוגמאות לזרעי עלקת אשר נלכדו בניסויי השדה
- 38 איור 22: דוגמאות להמצאות גורמי אילוח עבור דגם פיזור מקובץ
- 40 איור 23: בחינת ממוצע צמחי עלקת במיקומי טיפולי אילוח בבקיה
- 40 איור 24: בחינת יבול עג"ת במיקומי טיפולי אילוח בבקיה
- 42 איור 25: בחינת ערכי RMS כתלות בצפיפויות דיגום שונות
- 43 איור 26: השוואת ערכי RMS עבור שלוש שיטות דיגום בצפיפות דיגום נמוכה
- 45 איור 27: "עץ קבלת החלטות" לבחירת פעולת הדברה וניטור עלקת בחלקת גידול טבלאות
- 30 טבלה 1: טבלה מסכמת למבחני חי-טסט על בסיס הסקר האזורי
- רשימת נספחים
- נספח 1: שאלון למגדל עג"ת בסקר האזורי
- נספח 2: הצגת חלקות נבחנות בקנה מידה אזורי
- נספח 3: הצגת חלקות נבחנות בקנה מידה של החלקה
- נספח 4: השוואת תוצאות גרף סמיואריוגרם וגרף SPD.
- נספח 5: רשימת תוצאות גרף סמיואריוגרם לחלקות נבחרות.
- נספח 6: תוצאות מבחן ביולוגי
- נספח 7: תיאור ניסויי שדה להערכת פוטנציאל פיזור זרעים מחלקה נגועה
- נספח 8: התפשטות עלקת במהלך גידול פונדקאים בחלקת הגידול
- נספח 9: הצגת מפות נגיעות כתלות בצפיפות דיגום שונה
- נספח 10: השוואת מפות נגיעות בצפיפות דיגום נמוכה כתלות בשיטות דיגום שונות

1 רקע

1.1 ביולוגיה של עלקת מצרית

עלקת מצרית [*Phelipanche aegyptiaca*] הינה צמח טפיל שורש מוחלט, חסר כלורופיל ממשפחת העלקתיים [*Orobanchaceae*]. מחזור החיים של העלקת המצרית (להלן עלקת) מבוסס כולו על טפילות לצמח הפונדקאי. זרעי העלקת הינם מהקטנים בעולם הצמחים וקוטרם נע בין 200 ל-400 מיקרון. לכל מין עלקת צורה וקליפת זרע אופייניים באמצעותם אפשר לזהות את מין העלקת. זרעי העלקת נשארים בקרקע שנים רבות ויכולים לנבוט בהימצא פונדקאי מתאים (גולדוסר וחובי, 2003). זרעי העלקת נובטים בקרקע לאחר "תקופת הכנה" (preconditioning) הכוללת תנאי טמפרטורה ולחות מתאימים. תנאים אלו מתקיימים בפועל בחלקות גידול פונדקאי קיץ קודם לשתילת הפונדקאי. לאחר תקופת ההכנה, נובט זרע העלקת רק בתגובה למשרנים (stimulants) המופרשים משורשי פונדקאי העלקת. בעלקת מצרית מתפתחים עמודי פריחה המסתעפים על-פני הקרקע. גבעול הפריחה חסר עלים וכלורופיל. פרחי העלקת המצרית הינם דמויי שופר בצבע סגול בהיר, כחלחל ולעיתים לבן. ברוב מיני העלקת מתקיימת הפרייה עצמית אך בעלקת מצרית מתקיימת אף הפרייה זרה, עובדה התורמת לשונות גנטית גבוהה באוכלוסיית העלקת המצרית. הפרי הנוצר הינו הלקט דמוי אגס המכיל זרעים זעירים רבים, לפיכך צמח עלקת בודד עשוי להניב מאות אלפי זרעים (גולדוסר וחובי, 2003). איור 1 מציג את השלבים בהתפתחות העלקת.



איור 1: הצגת שלבי מחזור חיים במיני עלקת
מתוך (י. גולדוסר וחובי, 2003)

1.2 נזקי עלקת מצרית

העלקת נטפלת לשורשי צמחים רחבי-עלים ממשפחות שונות, בכללן: סולניים, פרפריים, סוככיים, מצליבים, מורכבים ופשתיים. העלקת נפוצה באזורים בעלי אקלים ים תיכוני. אזורי תפוצה עיקריים של העלקת הינם אגן הים התיכון ומזרח אירופה. עלקת מצרית גורמת לנזקים רבים באזור האגן המזרחי של הים התיכון (Parker, 2009). בישראל, בתקופת האביב והקיץ, מתקיימים בגידולי שלחן תנאים אופטימאליים להיטפלות והתפתחות העלקת על גידולים פונדקאים (Hershenhom *et al.*, 2009). טווח הפונדקאים הרחב של עלקת מאפשר לה להתבסס ולהגדיל את בנק הזרעים בקרקע ע"י השלמת מחזור חיים בעת היטפלותה לגידולים פונדקאים שונים. בין הגידולים הנפוצים בישראל, המשמשים כפונדקאים לעלקת, ניתן למצוא: תפוח"א, עגבניות, אגוזי אדמה, חמנית, גזר, כרוב וחימצה. ישנן חלקות גידול בישראל (דרום רמת הגולן, בקעת נטופה) הסובלים מאילוח כבד של זרעי

עלקת, בעקבות כך נמנע מבעלי חלקות אלו לגדל גידולים פונדקאים לעלקת מצרית (Hershenhorn *et al.*, 2009) (Goldwasser *et al.*, 2003).

אחת הסיבות לנגיעות החמורה של עלקת בעגבניות לתעשייה (עג"ת) נובעת מהעובדה כי בעונת הגידול בשטח פתוח שוררים תנאי טמפרטורה ורטיבות קרקע מיטביים עבור העלקת. תנאים אלו מאפשרים התפתחות נמרצת של עלקת תוך כדי גרימת נזקים חמורים לצמחי העגבנייה בשדות נגועים (Eizenberg *et al.*, 2012) (Herhenhorn *et al.*, 2009). עיקר הנזק הנגרם לגידול הפונדקאי בעקבות היטפלות העלקת חל קודם להצצת צמח העלקת על-פני הקרקע (Goldwasser and Kleifeld, 2003). לפיכך, ממשק הדברה יעיל למניעת נזקי העלקת חייב להתבצע קודם להצצת צמחי העלקת על-פני השטח על-סמך הערכה/ניטור פוטנציאל אילוח עלקת בחלקת עג"ת והערכת דינאמיקת ההיטפלות של העלקת בעת הגידול (Herhenhorn *et al.*, 2009). מקובל בממשק הגידול לרסס את צמחי העלקת הצצים בחלקה ב"קדרה" (חומר פעיל: 24% Imazapic) למניעת העשרת בנק הזרעים בחלקה בזרעי עלקת חדשים אם כי יעילות הטיפול מוגבלת (ח. איזנברג, קשר אישי). על מנת להדביר עלקת, פותחה במהלך השנים האחרונות מערכת קבלת החלטות להדברה מושכלת של עלקת בעגבניות המכונה "פקעית" (Eizenberg *et al.*, 2012). המערכת מבוססת על שני משתנים עיקריים: א. הערכת רמת האילוח והסיכון לנזק מעלקת. ב. מודל חיזוי דינאמיקה של הטפילות מבוסס ימי מעלה והדברה כימית המבוססת על מודל זה. נמצא כי אחת מנקודות התורפה של המערכת הינה היעדר מידע מהימן המתאר את הפיזור המרחבי של זרעי עלקת בקרקע. עד עתה בוצעה הערכה להימצאות זרעי עלקת בקרקע לפני גידול העגבנייה באמצעות בדיקות קרקע, בהן מוצו זרעי העלקת מהקרקע (L'opez-Granados *et al.*, 1993b) תהליך המיזוי נמשך זמן רב, האמיר את עלות בדיקות הקרקע והפך אותן ללא כדאיות (ח. איזנברג, קשר אישי). בשל כך כולל הפרויקט האינטגרטיבי להתמודדות עם עלקת צוות מחקר מקביל בראשות דר' ר. עלי הבוחן חלופה יעילה יותר לאבחון בנק הזרעים של העלקת. אחת הדרכים המקובלות למיפוי פגעי קרקע הינה דיגום ומיזוי חומר גנטי מדגימות הקרקע. צוות המחקר המקביל מפתח פרוטוקול לזיהוי מקטעי DNA של עלקת בקרקע (Aly *et al.*, 2012). מכל מקום, אין אפשרות כלכלית לערוך בדיקות קרקע במרווחים קטנים (מטרים ספורים) בחלקה. ניתוח גיאוסטטיסטי יכול להגדיר צפיפות מזערית לדיגום אמין וכך לאפשר שיפור בקבלת ההחלטות של מערכת "פקעית".

1.3 תפישת עלקת

מסקירת הספרות בתחום נראה כי לא נערכו מחקרים אודות תפישת מרחבית של עלקת מצרית בעג"ת או בגידולים פונדקאים אחרים. נערכו מחקרים אודות תפישת מרחבית של מין קרוב גנטית לעלקת מצרית, עלקת חרוקה, בגידול פול בספרד. המחקרים אודות תפישת עלקת חרוקה בפול נערכו בשטח ניסוי קטן (20*40 מטר) מכלל השדה והתמקדו בשינויים בתפישת המרחבית בשטח הניסוי לאורך זמן (עונות גידול עוקבות של פול). (González-Andujar (2001) ניתח גיאוסטטיסטית

את תוצאות מחקרו של L'opez-Granados (1993a) אשר נערך במשך שש עונות גידול רצופות. תוצאות המחקר הראו עלייה מתמדת במספר צמחי העלקת החרוקה בעקבות הגידול הרצוף של הפונדקאי למעט שנת הניסוי האחרונה. בשתי העונות הראשונות נמצאו צמחי העלקת במקבצים קטנים, אשר התרחבו משמעותית בעונה בשלישית. בעונה הרביעית חלה עלייה משמעותית בצפיפות צמחי העלקת בחלקת הניסוי ודגם פיזור הנגיעות הפך ממקובץ למתפשט על פני רוב חלקת הניסוי. בעונה החמישית נצפתה הצפיפות הגבוהה ביותר של עלקת בחלקה ובעונה השישית נצפתה ירידה קלה בצפיפות העלקת (כנראה בשל תחרות תוך-מינית). לצורך קבלת מידע רציף על נגיעות העלקת בשטח הניסוי (יצירת "מפת" נגיעות) השתמשו החוקרים בשיטת אינטרפולציה מסוג ordinary Kriging. האינטרפולציה אומתה באמצעות cross validation ובחירת מודל בעל (MSE) Mean Square Error הנמוך ביותר. בשתי עונות הגידול הראשונות, בהן נמצאו מקבצים מוקדיים, נמצא יחס nugget/sill גבוה לעומת עונות הניסוי האחרות. יחס nugget/sill גבוה מצביע על אחוז גבוה מהשונות הקיימת בין נקודות דיגום במרחב הנבחן אשר אינו מוסבר באמצעות השונות המרחבית. בנוסף נמצא כי ערכי שגיאת המודל המרחבי (MSE) היו גבוהים בעונות הגידול בהן התקיים יחס nugget/sill גבוה. תוצאות אלו מצביעות על רגישות נמוכה של שיטת ordinary Kriging לזיהוי וחיזוי מקבצים. מחקר נוסף (Oveisi et al., 2010) ניתח את נתוני מחקרו של L'opez-Granados (1993a) בשיטה הגיאוסטטיסטית [SADIE] spatial analysis by distance indices. נמצא כי המתאם במיקומי מקבצי העלקת בין עונה לעונה נמוך אך מובהק חיובית החל מהעונה השלישית. ניתן לשער כי המקבצים הראשונים בשתי עונות הגידול הראשונות נוצרו באירועי אילוח לא קשורים והחל מהעונה השלישית התפשטו צמחי העלקת ממוקדי מקבצי הצמחים בשתי העונות הראשונות. המחקרים שעסקו בתפרושת מרחבית של עלקת חרוקה לא ניסו לאפיין את הגורמים לדגמי הפיזור בחלקה (מאחר ונלקחו מקטעים קטנים בשתי חלקות הניסוי, לא היה ביכולתם לאפיין גורמים לדגמי הפיזור) אך Oveisi (2010) מייחס את דגם פיזור עלקת חרוקה במקבצים לגורם דינאמיקת אוכלוסיית העלקת. על-פי, רובם המכריע של זרעי הצמח מתפזרים במרחק מטרים ספורים מצמח האם.

1.3.1 מודלים לחיזוי נגיעות עלקת בחלקת גידול

א. מערכת קבלת החלטות "פקעית"

מודל שפותח לחיזוי הדינמיקה של טפילות עלקת מצרית (Eizenberg et al., 2012) התמקד בזיהוי מועד ההיטפלות של העלקת על שורשי הגידול הפונדקאי (עג"ת) וזיהוי מועד אופטימאלי ליישום קוטלי עשבים (להלן ק"ע) בעקבות זיהוי מועד ההיטפלות (המועד האופטימאלי ליישום ק"ע הינו שלב ה"פקעית" דינאמיקת ההיטפלות של העלקת). מודל זיהוי מועד ההיטפלות מבוסס על מודל צבירת ימי מעלה ממדידת טמפרטורת הקרקע בעומק 10 ס"מ משלב שתילת העגבניות בחלקה ואילך. מודל זה מהווה נדבך חשוב במערכת קבלת החלטות אשר ייעודה הינו המלצה על ממשק הדברה אופטימאלי להתמודדות עם מפגע העלקת בחלקה מחד וחסכון בתשומות ומתן ק"ע מאידך. ממשק ההדברה המומלץ כולל מועדי יישום ק"ע, ק"ע מומלצים ליישום כתלות במועד ההיטפלות החזוי והערכת פוטנציאל הנגיעות בחלקה. מערכת קבלת החלטות מכונה "פקעית" על-שם שלב במחזור החיים של העלקת בו יישום הק"ע אופטימאלי מבחינת יעילות פעולת הק"ע על העלקת ומניעת נזק

לגידול הפונדקאי. מועדי יישום ק"ע ב"פקעית" נקבעו על-סמך מודל חיזוי ההיטפלות. לעומת זאת, הערכת פוטנציאל הנגיעות ב"פקעית" הסתמכה על ניסיונם האישי של מחברי מערכת "פקעית" ומדריכי שדה ותיקים בתחום זה (חנן איזנברג, שאול גרף, קשר אישי). כאמור לעיל, אחת ממטרות מחקר זה הינה שיפור הערכת פוטנציאל הנגיעות ב"פקעית" על-סמך ניתוח מאגר מידע רב גורמי של חלקות עג"ת רבות וניסויי שדה.

ב. מודלים נוספים הבוחנים תפוצת מיני עלקת בגישות שונות

מודלים שפותחו לבחינת התפוצה של עלקת חרוקה בפול עסקו בהבנת הדינאמיקה בין כמות זרעי העלקת בבנק הזרעים בקרקע לכמות תפרחות העלקת הצצות בגידול הפונדקאי (L'opez-Granados and Garcia-Torres, 1993b) וקביעת סף הנזק הכלכלי מהערכת מספר צמחי עלקת שהצצו. בהקשר זה נבחנה הערכת מספר צמחי עלקת צצים המגיעים לרמת סף נזק כלכלי המצדיק יישום ק"ע ובחינת גורמים סביבתיים וממשקיים (טמפרטורה ולחות, תדירות גידול פונדקאי במחזור הזרעים, יישום ק"ע, הקדמה/איחור זריעת הגידול הפונדקאי) על חומרת הנגיעות בעלקת חרוקה (Grenz *et al.*, 2005, 2006). מכיוון שמין עלקת חרוקה קרוב גנטית למין עלקת מצרית, השערת המחקר הינה כי מגמות ממצאי המודלים אודות דינאמיקת אוכלוסיית עלקת חרוקה תואמות בקירוב מגמות בדינאמיקת אוכלוסיית העלקת המצרית (ההשוואה התקיימה עבור יכולת התפשטות העלקת מעונת גידול אחת לשנייה והיחס בין בנק הזרעים למספר צמחי עלקת צצים ולא עבור תנאי נביטה והתאמת פונדקאי למין העלקת). תוצאות בדיקות הקרקע עבור עלקת חרוקה בגידול פול הראו כי ככל שעולה חומרת אילוח זרעי העלקת בקרקע קטן אחוז השגיאה בהערכת כמות הזרעים בבנק הזרעים בהתאמה (על-סמך סטיית התקן בין ארבע זגימות קרקע במיקום אחד). כמו-כן נמצא כי על אף האחוז הנמוך של זרעי העלקת הנטפל לשורשי הפונדקאי מכלל זרעי העלקת בבנק הזרעים, ישנו מתאם מובהק אך נמוך (בין 0.4 ל- 0.55) בין רמת האילוח של זרעי עלקת בקרקע לרמת נגיעות עלקת בגידול הפונדקאי (L'opez-Granados and Garcia-Torres, 1993b).

ישנם קשיים בהערכת חומרת הנגיעות במיני עלקת בחלקת הגידול הנובעים ממספר סיבות: א. יש קושי בכימות מדויק של זרעי עלקת בבדיקות קרקע בשל קוטרם הזעיר של זרעי העלקת (400um). הערכה של L'opez-Granados (1993b) הינה זיהוי של 45-46% בלבד מכלל זרעי העלקת בדגימות הקרקע. ב. על-פי המודל של L'opez-Granados, רק 0.01% מכלל זרעי העלקת מבנק הזרעים אכן נטפלים לשורשי הפונדקאי ורק כאלפית האחוז ($9 \cdot 10^{-4}\%$) מהזרעים בבנק הזרעים יוצרים צמח עלקת הצץ מעל פני הקרקע. אחוזי טפילות והצצה נמוכים אלו נובעים מהעובדה כי חלק ניכר מזרעי העלקת בבנק הזרעים מצוי בתרדמה ואך זרעים הממוקמים במרחק מילימטרים בודדים משורש הפונדקאי יכולים להיטפל לשורש. ג. הערכות אודות אובדן חיוניות זרעי העלקת ותרדמת זרעי עלקת בבנק הזרעים בעקבות גורמים סביבתיים וביולוגיים הינן גסות מאד בעקבות הקשיים בהערכת בנק הזרעים וכימות השפעת הגורמים השונים על בנק זה לאורך שנים.

1.4 השפעת גורמים על תפוצת עשבים

בעקבות חוסר מידע (ספרות רלוונטית) אודות גורמים אפשריים לדגמי פיזור של מיני עלקת בחלקת הגידול למעט פיזור זרעים סביב מוקד הנגיעות הראשוני (צמח האם) והחמרת הנגיעות בכלל החלקה

עקב תדירות גבוהה של גידול פונדקאי וממשק גידול, הורחבה יריעת הרקע הספרותי לגורמים אפשריים לדגמי פיזור של מיני עשבים שונים בחלקת גידול. סבירות השפעת גורמים אלו על תפרושת עלקת תתואר בסוף הצגת הגורם על-סמך הידוע לנו על דינאמיקת אוכלוסיית עלקת.

1.4.1 השפעת גורמים ביולוגיים על תפרושת עשבים

Cuosens and Mortimer (1995b) מציינים שלושה גורמים עיקריים המשפיעים על תפוצת עשבים: א. שכיחות ו"חוזק" גורמי ההפצה בסביבת העשב. ב. מידת ההתאמה (אדפטציה) של זרעי העשב לגורמי ההפצה. ג. המאפיינים הפיזיקאליים של סביבת העשב. עם זאת מציינים החוקרים כי אין כמעט בנמצא מחקרים המוכיחים קשר מובהק בין מאפייני הזרעים ודינאמיקת האוכלוסייה של עשבים לדגמי הפיזור של עשבים אלו. בנוסף, אין מין עשב המתאפיין בדגם פיזור מרחבי אחד בלבד (Cardina *et al.*, 1996)

השפעת תכונות זרעי העשב על תפרושת נגיעות עשבים

לגודל זרעים מתאם שלילי עם מרחק פיזור הזרעים מצמח האם, הן על-ידי גורמים מכאניים (Rew *et al.*, 1997) והן על-ידי גורמים ביולוגיים (McCanny *et al.*, 1988). כלומר, ככל שהזרעים קטנים יותר, הם יפוצו למרחק גדול יותר מצמח האם. דגם פיזור בעל כיווניות חזקה לכיוון שורות הגידול נצפה בזרעים עם יכולת הישרדות גבוהה בקרקע (Wiles *et al.*, 2004).

צפיפות זרעים בבנק הזרעים נמצא במחקרים שונים כגורם הראשון בחשיבותו בהשפעה על דגם פיזור העשבים הצצים על פני הקרקע. בהקשר זה, בולט מחקרו של Wiles (2004), אשר בחן השפעת גורמים שונים (מאפיינים ביולוגיים של העשבים ומאפייני ממשק הגידול) על דגמי הפיזור בבנק הזרעים באמצעות שיטת Classification And Regression Tree (CART). צפיפות הזרעים בבנק הזרעים נמצא כגורם ראשון בחשיבותו בהשפעה על דגמי פיזור שונים בבנק הזרעים (Wiles *et al.*, 2004). Cardina (1996) בחן מתאם בין הצצת עשבים לבנק זרעים בקרקע בשיטות סטטיסטיות קונבנציונליות ובשיטות גיאוסטטיסטיות [cross-semivariogram]. ממצאיו הראו מתאם מרחבי מובהק בין אוכלוסיית העשבים החד שנתיים הצצים לבנק הזרעים בחלקות עם וללא עיבוד (בחלקות ללא עיבוד (no-till) המתאם היה גבוה יותר).

1.4.2 השפעת גורמי סביבה על תפרושת עשבים

מאפייני קרקע

ישנן עדויות רבות על מתאמים בין מאפייני קרקע שונים דוגמת הרכב הקרקע, ריכוזי מינרלים שונים וחומר אורגני בקרקע על המצאות מיני עשבים שונים אך הקשר בין מיני העשב הספציפיים למאפייני הקרקע המשפיעים על הימצאותם אינו מוחוור דיו בכל המקרים.

ממצאי הספרות מצביעים כי מאפייני הקרקע משפיעים באופן שונה על מיני עשבים שונים וישנם מיני עשבים שכלל אינם מושפעים ממאפייני הקרקע (Andreasen and Skovgaard, 2009). בנוסף, אחוז ההסבר של מאפייני הקרקע על השונות בשכיחות העשבים ברבים מהמחקרים אינו גבוה (Mueller-Warrant *et al.*, 2008). לעיתים אין די במאפיין קרקע בודד לקבלת מתאם מובהק לשכיחות מין העשב אך הקבצת מספר מאפייני קרקע למשתנה אחד מביאה לקבלת מתאם מובהק לשכיחות מין העשב (Dieleman *et al.*, 2000).

בחנית השפעת מאפייני קרקע על חומרת נגיעות עלקת התבצעה בעקיפין ע"י יישום מבחני נגיעות ביולוגיים (גידול צמח פונדקאי בקרקע עציץ מאולחת בזרעי עלקת בתנאי גידול מבוקרים בחממה וספירת עלקות צצות בעציץ) בסוגי קרקע שונים ממקורות שונים בישראל. תוצאות המבחנים הביולוגיים הראו נגיעות בעלקת בכל קרקעות הניסוי (חנן איזנברג, קשר אישי). מבחנים אלו אינם מוכיחים כי אין השפעה של מאפייני קרקע על חומרת נגיעות עלקת או תפרושת עלקת בחלקה משום שאינם לוקחים גורמים שונים דוגמת ספיחת ק"ע בסוגי הקרקע השונים, תכולת רטיבות ורמת pH בתנאי שדה שאינם מיטביים וכן גורמים נוספים העלולים להשפיע בתנאי שדה ולא בתנאי חממה מבוקרים. עם זאת, ניתן לומר כי תוצאות המבחנים הביולוגיים אינן מצביעות על סוג קרקע המפחית באופן ניכר את חומרת הנגיעות בעלקת. במבחני מעבדה נמצא כי אמוניום גורע ביכולת נבטי זרעי העלקת להתארך ובכך מפחית את טווח המרחק של זרעים העשויים להיטפל לשורשי הפונדקאי (Westwood *et al.*, 1999).

בעקבות הנאמר לעיל, לא עסק מחקר זה בהשפעת מאפייני הקרקע על חומרת הנגיעות ודגם התפרושת המרחבי של נגיעות עלקת בחלקה. ייתכן ובעתיד ייבחן כיוון מחקר זה מחדש.

רוח

המשוואה הבסיסית להערכת מרחק הגעת הזרעים ע"י רוח הינה $d=HU/Vs$. כאשר d הינו המרחק אליו מגיע הזרע, H הינו הגובה ממנו נפוץ הזרע (נקבע על-סמך גובה ממוצע של העשב ומיקום ממוצע של הלקטי הזרעים על העשב), U הינה מהירות הרוח, ו- Vs הינה מהירות סופית של הזרעים. המהירות הסופית של הזרעים מקטינה את מרחק הפצת הזרעים מצמח האם משום שמרבית הלקטי הזרעים מופנים כלפי מטה. לפיכך, מהירות זרעים גבוהה מביאה את הזרעים לקרקע בפרק זמן קצר והשפעת הרוח על הזרעים קטנה. לזרעים קטנים מהירות סופית קטנה ו בנוסף הינם מושפעים יותר ממערבולות באוויר (טרבלונציות) ולא רק מכיוון הרוח הישיר. לפיכך, תיאור פיזור זרע דורש משוואות מורכבות יותר. מחקר תיאורטי אשר השווה בין זרעים עם מהירות סופית משתנה ורוח במהירות משתנה הראה כי לזרעים בעלי מהירות סופית נמוכה (5 cm/s^{-1}) תחת תנאי עוצמת רוח בינונית (0.5 m/s^{-1}) d_{50} (מרחק אליו מגיעים 50% מהזרעים) יכול להגיע ל-200 מטר ואף יותר מכך (Bunce *et al.*, 1990). בפועל, מרבית הניסויים האמפיריים אודות פיזור זרעים ע"י רוח הצביעו d_{50} של מטרים בודדים ואף פחות מכך. כמו-כן, ה- d_{max} (מרחק מקסימאלי אליו מגיעים זרעים) בניסויים אלו נע סביב מטרים ספורים לעשרות מטרים ולא הגיע ל-100 מטר ויותר כפי שנצפה במודל התיאורטי (Cousens and Mortimer, 1995b). מחקרים רבים אודות פיזור זרעים מצמח האם מראים כי אחוז ניכר מזרעי העשב מפוזר ברדיוס קטן מצמח האם. המחקרים חלוקים ביניהם בגודל הרדיוס (מ-20 ס"מ עד 3 מטר) ובאחוז הזרעים המצויים ברדיוס זה (מ-58% ועד 90%) בהתאם למין העשב. בכל אופן מדובר ברדיוס קטן מצמח האם ובאחוז ניכר מזרעי צמח האם (Cousens and Mortimer, 1995b). המשוואה הבסיסית למרחק פיזור זרעים ע"י הרוח אינה לוקחת בחשבון את כלל מרכיבי הסביבה הנוספים, דוגמת הגידול התרבותי אשר יכול לחסום את הרוח ואת פיזור הזרעים. מחקר שנערך על פיזור זרע ארס צובא בתירס (Ghersa *et al.*, 1993) הראה כי ישנה השפעה גדולה יותר לעוצמת הרוח בכיוון מסוים (לעומת תדירות רוח בכיוון מסוים) על פיזור הזרעים מצמח האם אך השפעת הרוח ניכרת אך במרחק שני מטר מצמח האם. במרחק של מעל שני מטר כמות זרעי הדורה הייתה אפסית. מחקר

שנערך על צמח הסטריגה (דינאמיקת אוכלוסיית הסטריגה דומה במאפיינים רבים לאוכלוסיית העלקת) במספר גידולים פונדקאים הראה תוצאות דומות (Bernier *et al.*, 1994). במחקר זה הושמו מדבקות מצידי השדה המאולח בתשעה מרחקים שונים במהלך שמונה שבועות בעונת הגידול. עיקר זרעי הסטריגה פוזרו עד למרחק שני מטר מגבולות החלקה. המרחק המקסימאלי אליו הגיעו זרעי סטריגה היה 12 מטר.

1.4.3 השפעת גורמי פעילות חקלאית על תפישת עשבים

עיבודים בחלקת הגידול

במחקרים שונים (Colbach *et al.*, 2000; Johnson *et al.*, 1996; Rew *et al.*, 1997) נמצא כי מגמת פיזור זרעי עשבים נוטה במובהק לכיוון תלם העיבוד. בנוסף נמצא כי עיבוד עמוק הקובר את זרעי העשבים בקרקע מפחית את מרחק הפיזור של העשבים (נמצא הבדל מובהק בין מרחק פיזור זרעים על-פני הקרקע למרחק פיזור זרעים קבורים). לא נמצאה השפעה מובהקת למספר העיבודים בחלקת הגידול. נמצא מתאם שלילי בין גודל הזרעים למרחק הפיזור בעקבות העיבוד (Rew *et al.*, 1997).

קטיף ממוכן בחלקת הגידול

מחקרים מוקדמים (Leguizamón *et al.*, 1982) עמדו על תהליך קציר הגידול ע"י קומביין כגורם חשוב בפיזור זרעי מיני עשבים ואילוח חלקות במיני עשבים חדשים אך לא כימתו את מספר הזרעים המועברים ע"י הקומביין ואת מרחק פיזור הזרעים באמצעות הקומביין. Mccanny (1988) ערך ניסוי מסודר אודות פיזור זרעי שני מיני דוחן בר במהלך קציר תירס. נמצא כי זרעי שני מיני הדוחן הובלו ע"י הקומביין למרחק של 50 מטר ואף יותר מכך. כמו-כן נמצא כי אחוז מין הדוחן בעל הזרעים הקטנים (משקל זרע: 3-4 mg) המועבר ע"י הקומביין גדול יותר לעומת מין הדוחן בעל הזרעים הגדולים (משקל: 5 mg) (האחוזים היו 3% ו-1% בהתאמה). Mccanny מסיק מתוצאות מחקרו כי כאשר הקומביין אינו עובר ניקוי, הוא מהווה גורם מאלח בחלקות הסמוכות לחלקה נגועה.

Cuosens&Mortimer (1995b) סיכמו את המחקרים אשר נערכו עד לעריכת ספרם אודות טווח המרחק הפוטנציאלי של גורמי הפצה שונים אך מציינים כי מספר המחקרים המכמתים את טווח המרחק של גורמי הפצה שונים נמוך יחסית. לפי סיכומם נע ה- d_{50} בטווח של מטרים ספורים עבור גורם הרוח וגורם העיבוד בחלקה אך בעוד ה- d_{max} עבור גורם העיבוד מסתכם בחמישה מטר, גורם הרוח עבור זרעים בעלי יכולת "סחרור" (זרעים קטנים מאד) נע לטווח עשרות מטרים ואף יכול להגיע לקילומטר. עבור גורם הקטיף הממוכן (פיזור זרעים ע"י קומביין) נמצא טווח d_{50} בין חמישה ל-50 מטרים וטווח d_{max} של 20 עד 100 מטר.

לאור סיכום תוצאות זה, מעריכים Cuosens&Mortimer (1995b) את גורם הקטיף הממוכן כגורם המשפיע ביותר על פיזור עשבים בחלקה עבור עשבים בעלי זרעים בשלים, הנותרים על צמח האם בעת הקטיף, בעיקר עבור זגם פיזור של מקבצים מאורכים לאורך שורת הגידול.

השפעת ק"ע על תפישת עשבים

א. מיסוך גורם מתן ק"ע על גורם מאפייני קרקע בהשפעה על תפישת עשבים - במחקרים שונים נמצא כי יישום ק"ע בחלקת הגידול עלול להאפיל על השפעת מאפייני הקרקע (Dieleman *et al.*,)

(2000), (Kalivas *et al.*, 2010). ניסויים אשר התקיימו בממשק הדברת עשבים קונבנציונלי בחנו את השפעת מאפייני הקרקע על העשבים ששרדו את הדברת הק"ע. Kalivas (2010) הראה במחקרו אודות מיפוי עשבים בכותנה כי עבור שכיחות עשבים חד שנתיים אשר מרבית אוכלוסייתן נקטלה בממשק מתן הק"ע בכותנה לא נמצא מתאם למאפייני הקרקע ולעומת זאת, נמצא מתאם בין מאפייני הקרקע לשכיחות עשבים רב-שנתיים אשר מרבית אוכלוסייתן שרדה את מתן הק"ע.

ב. השפעת ק"ע על חומרת נגיעות עשבים בחלקה ועל דגם פיזור - Dessaint (1991) הראה במחקרו קשר שלילי בין צפיפות העשבים לבין יעילות ההדברה ע"י ק"ע. תוצאה זו מובילה להשערה כי טיפול ק"ע בחלקה יכול לחזק דגמי פיזור בעלי שונות מרחבית גבוהה לעומת דגמי פיזור אקראיים או אחידים של עשבים בחלקה. זאת משום שהפערים בין אזורים בחלקה בעלי צפיפות עשבים גבוהה לאזורים בעלי צפיפות עשבים נמוכה יגדלו בעקבות פעילות הק"ע.

ג. השפעת ק"ע על התפשטות עשבים במהלך הזמן - מטרת ק"ע, בהכללה, הינה להפחית חומרת נגיעות עשב במהלך עונת גידול נוכחית וכן למנוע את התפתחות חומרת הנגיעות בעונות הגידול הבאות. ישנו קשר ישיר בין קצב ההתפשטות הטבעי של העשב ליעילות ההדברה הנדרשת מק"ע למילוי מטרתו. Cuosens&Mortimer (1995a) מביאים דוגמא היפותטית (על-סמך מודל המניח כי יעילות ק"ע זהה בכל רמות צפיפות העשב) בה עבור עשב שקצב גידולו הטבעי הינו פי שלושה ($R=3$) מעונת גידול למשניה, יש צורך ביעילות הדברה של 67% על-מנת לשמור על חומרת הנגיעות ההתחלתית (שלב t_0). לעומת זאת, עבור עשב עם קצב התפשטות טבעי של פי 10 ($R=10$) יש צורך ביעילות הדברה של 90% לשמירה על חומרת נגיעות של t_0 . בעקבות האמור לעיל, ישנו קושי רב לשמור על חומרת נגיעות עלקת כפי שנמצאה בשלב t_0 . זאת מכיוון שקצב ההתפשטות הטבעי של העלקת גדול מאד (אין הערכה מספרית אך כמות הזרעים לצמח עלקת גדול לפחות בסדר גודל לעומת עשבים אחרים וחיוניות הזרעים נשמרת לאורך זמן) ובנוסף, יעילות הדברת זרעי העלקת לאחר הצצת הצמח אינה גבוהה (יעילות הדברת בנק הזרעים בקרקע נמוכה מאד בממשק ההדברה המקובל).

1.4.4 השפעת ממשק גידול על תפישות וחומרת נגיעות עשבים

א. אילוח זרעי עשבים באצוות זרעי הגידול - במחקרו של Berner (1994) נמצא כי גורם האילוח המרכזי של חלקות נקיות מסטריגה בצמחי סטריגה הוא הגעת זרעי סטריגה לחלקה באצוות זרעי הגידול (בעיקר בגידולי דוחן וסורגום). ישנן עדויות על אילוח חלקות בעלקת חרוקה בעקבות אילוח זרעי עלקת באצוות זרעי אפונה (מגדלים, קשר אישי). תחילת גידול עג"ת מתאפיין בשתילת שתילים ולא בזריעה והסבירות לאילוח חלקות ע"י זרעי עלקת הספוחים לשתיל הינה אפסית. ייתכן אילוח חלקות ע"י אילוח זרעי עלקת באצוות זרעי גידולים פונדקאים אחרים דוגמת חימצה, אפונה וגזר. במחקר גורם אילוח זה הוערך כגורם בעל חשיבות זניחה באילוח חלקות נקיות ע"י עלקת ולא הובא בחשבון.

ב. מחזור גידולים בחלקה - עבור מיני העלקת, התלויים באופן מוחלט בגידול הפונדקאי לשם נביטה והשלמת מחזור חיים, מחזור הגידולים בחלקה הינו גורם מכריע בהשפעתו על חומרת נגיעות עלקת בחלקה. במחקר שנערך על עלקת חרוקה, בו גודל פול כגידול פונדקאי יחיד במחזורי גידול של גידול פול בשנות גידול עוקבות וגידול פול כל שלוש שנים נמצא הבדל מובהק בין שני מחזורי הגידולים

(L'opez-Granados *et al.*, 1997). מודל חיזוי עבור רמת נגיעות בעלוקת חרוקה בפול העריך על-סמך תוצאות מחקרו של L'opez Grandos (1997) כי גידול פול כגידול פונדקאי יחיד כל חמש שנים מעלה את כמות הזרעים בבנק הזרעים ב-15% במוצע ואילו גידול פול כל עשר שנים אינו מעלה את גודל בנק הזרעים בחלקה (Grenz *et al.*, 2006). אין מידע במחקרים לעיל אודות שינויים בדגם הפיזור של העלוקת בחלקה עקב שינויים במחזור גידולים.

ג. תאריכי זריעה/ שתילת הגידול הפונדקאי - אחת השיטות להתמודדות בנוזקי עלקת לגידולים פונדקאים הינה התאמת מועדי הזריעה/שתילה לתנאי סביבה המאפשרים גידול תקין וריווחי של הגידול מחד ומעכבים תהליכי טפילות מאידך. בכך מפחיתה שיטה זו את הנזק הכלכלי של מיני עלקת ליבול הפונדקאי. בפונדקאי חורף נמצא כי איחור מועדי זריעת פול מאוקטובר לדצמבר הפחית משמעותית את חומרת הנגיעות סופית של עלקת חרוקה בחלקה אך הפחית את היבול הסופי של הפול עקב קיצור עונת הגידול (L'opez Grandos *et al.*, 1997). בפונדקאים קיציים, דוגמת עגבנייה, חמנית, אגוזי אדמה וזני תפוז"א ישנו קושי להקדים את תאריך השתילה/זריעה בצורה המתאימה לגידול ולא לעלקת, עקב רגישות הפונדקאים לטמפרטורות נמוכות.

ד. ממשקי השקיה - נמצאה צפיפות עשבים גבוהה יותר בממשק המטרה לעומת ממשק טפטוף, אם כי רק עבור גומא הפקעים נמצא הבדל מובהק (מבחן חי בריבוע) בין ממשקי ההשקיה (Kalivas *et al.*, 2012). עובדה זו אינה מפתיעה מכיוון שממשק המטרה מרטיב פרופיל קרקע נרחב יותר בעומק 0-15 ס"מ (בו מרוכזים עיקר זרעי העשבים בעלי פוטנציאל נביטה ופקעי גומא הפקעים) לעומת ממשק טפטוף. בממשק ההדברה של עלקת ישנו הבדל מובהק בין יישום ק"ע בריסוס תחת ממשק טפטוף ליישום ק"ע בריסוס בתוספת המטרה (יישום ק"ע בתוספת המטרה יעיל יותר במובהק) (Eizenberg *et al.*, 2004). מכיוון שממשק גידול עג"ת בתוספת המטרה כולל בחובו אף מועדי יישום שונים ויעילות שונה של פעילות ק"ע, אין אפשרות להפריד בין גורם ממשק ההשקיה לגורם יישום ק"ע.

דירוג רמת ההשפעה של הגורמים השונים אשר הובאו לעיל על דגמי הפיזור המרחבי של עשבים על-סמך מחקרים שונים מוביל להנחה כי במרבית המקרים פעולות חקלאיות בחלקה (מתן הרביצידיים, קטיף ממוכן, עיבודים) משפיעות יותר על דגם הפיזור לעומת מאפייני קרקע בחלקה (Dieleman *et al.*, 2000) ותכונות פיזיקליות ספציפיות של זרעי העשב הנבחן (Dessaint *et al.*, 1991). הנחה זו מסבירה את תוצאות המחקרים, בהם לא נמצא קשר מובהק בין מאפיינים דמוגרפיים לדינמיקה מרחבית (Rew and Cussans, 1997 ; Cardina *et al.*, 1997).

1.5 שיטות סקירה עבור תפירות עשבים

1.5.1 גישות ליצירת "מפת נגיעות" עשב בחלקת הגידול

ישנן שלוש גישות עיקריות ליצירת מפת המצאות עשב בשדה: א. לקיחת קואורדינטות של פרטי העשב בשדה. ב. דגימה רציפה של העשב בשדה. ג. לקיחת דגימות במקטעים. לקיחת קואורדינטות עבור פרטי העשב הינה בדיקה אינטנסיבית מאד, המתאימה רק לדיגום שטח קטן מכלל השדה או לחלופין דיגום עשב אשר הימצאותו בשדה נדירה. שיטת הדגימה הרציפה אינה מסוגלת לתת הערכה כמותית מדויקת אלא משתמשת במדד הימצאות (יש/אין) או מדד נגיעות (אין/מעט/בינוני/הרבה). המדד מאפשר לקבל מידע רציף על החלקה בזמן סביר. לקביעת מדד נגיעות

יש צורך במידע מוקדם אודות העשב הנבחן. בקביעת המדד, בהתייחסות אליו ובאזורי החפיפה בין רמות המדד עלולות להתקבל שגיאות מדידה של הערכת חסר או הערכת יתר. ברבים ממקרי השימוש בשיטת דגימה רציפה משתמשים באמצעי צילום וחישה מרחוק. היתרון בקבלת מידע רציף בשדה באמצעים אלו מובן מאליו- קבלת מידע אובייקטיבי על מצב העשב בכלל החלקה בזמן קצר. מגרעת השימוש באמצעים אלו זו הינה העובדה כי למרבית העשבים הרעים אין כיום בנמצא אלגוריתמים המאפשר לקבל הפרדה טובה שלהם מכלל הצמחים בתמונה. דגימה במקטעים הינה השיטה המקובלת ביותר כיום ליצירת מפות נגיעות עשבייה בשדה. קביעת גודל הדגימה והמרחק בין הדגימות (קני"מ הדגימה) משתנה על-פי מטרת הדגימה. התאמת קנה המידה לדגימה חיונית להשגת מטרת הדגימה מחד ולמניעת זמן ובזבוז משאבים מאידך (במקרה של ציפוף דיגום מיותר). בנוסף, דגם פיזור העשב עלול להשתנות תחת התייחסות אליו בקני מידה שונים (Rew *et al.*, 2001). עבור מחקר זה בחרנו בשיטת דגימה במקטעים בעזרת מדד נגיעות. הסיבות לבחירה בשיטה זו הינן הצורך במיפוי כלל החלקה להבנת הגורמים לדגם הפיזור ברמת החלקה מחד וחוסר האפשרות לקבל מידע רציף על נגיעות עלקת בחלקה מאידך (אין כיום אלגוריתמים המאפשר זיהוי עלקת בכלים של חישה מרחוק).

1.5.2 גישות שונות עבור שיטת דגימה במקטעים

ניתן לחלק את הגישות ללקיחת דגימות על-סמך קטגוריות משנה: א. גישות דגימה מבוססות מידע קודם (bias, stratified) ושאינן מבוססות מידע קודם (anbias). ב. גישות דגימה שיטתיות (systemic) הלוקחות דגימה במרחקים קבועים תחת תרשים הנקבע מראש לחלקה (ניתן לפרוס "רשת" (grid) על החלקה ולקחת דגימה ממרכז כל משבצת ברשת, ניתן לתאר מסלול לקיחת דגימות בחלקה – המסלולים יכולים להיות בצורת N,Z,S ועוד). לעומת זאת ניתן לבחור בגישות דגימה אקראיות (randomly). יש להתאים את הגישה לשאלת המחקר ולאזן בין דיוק מפת העשבים בשדה ע"י הדגימות ליוקר הדגימות - זמן ומשאבים הנדרשים להשלים את לקיחת הדגימות בשדה ואת בדיקתן (Rew *et al.*, 2006). Rew (2006) בחנה שיטות שונות לסקירת מקבצים ונגיעות יחסית של ארבעה סוגי עשבים פולשים בשמורת טבע. מידע קודם אשר שימש אותה בשיטות הסקירה היה מידע אודות עליית הנגיעות ושכיחות מקבצי העשבים בסמיכות לשבילי הפארק. Rew (2006) הוכיחה כי ניתן באמצעות מידע זה לשפר את שיטת הדגימה (ע"י stratified sampling) עם מספר דגימות דומה ובחסכון זמן משמעותי. בנוסף הראתה Rew כי התאמת מודל שונות מרחבית על-סמך מרחק מהשבילים ותוצאות הדגימות משפר משמעותית את הערכת הנגיעות ושכיחות העשבים.

1.5.3 השפעת קנה-מידה על תפישת עשבים

אופי דגם הפיזור יכול להשתנות כתלות בקנה מידה של המדגם. נמצא כי עבור מיני עשבים הנמצאים בשכיחות גבוהה בשדה ובעקבות כך בעלי דגם פיזור הנוטה יותר להומוגניות, אין שונות מובהקת במיפוי העשבים תחת דיגום בקני מידה משתנים. עבור מיני עשבים הנמצאים בשכיחות נמוכה בשדה או נוטים לדגם פיזור של מקבצים נמצאה שונות מובהקת בדיגום העשבים בקני מידה משתנים (Cousens *et al.*, 2004).

1.5.4 קשיים באיתור והבנת הגורמים למיקומי מקבצי נגיעות

ישנם מיני עשבים אשר דגם מקבצי הנגיעות שלהם בשדה יציב במהלך עונות הגידול עם תנודות קלות בקצוות המקבץ (Gerhards *et al.*, 1997). לעומת זאת, ישנם מיני עשבים בהם מיקומי המקבצים אינם קבועים ומשתנים עוד במהלך עונת הגידול- לדוגמא, העשב "כף אווז" (Benoit *et al.*, 1992) וזיפן (Cardina *et al.*, 1997). במחקרים אחרים נמצא כי מיקום מרכז המקבץ נותר קבוע אך מקבץ הנגיעות נוטה להתפשט בשדה במהלך עונות הגידול (הממצאים עבור עשב אבוטילון בסויה ותירס). התפשטות העשב משנה את מיקומי החלקה הדורשים יישום ק"ע ואין אפשרות לקבוע את מיקומי יישום ק"ע על-סמך מפת הנגיעות הראשונית (Johnson *et al.*, 1996). מקבצים מאורכים לאורך שורות הגידול אופייניים לפיזור זרעים בעקבות פעילות חקלאית (דוגמת עיבוד הקרקע או קציר). נמצא כי דגם פיזור המקבצים נותר יציב יותר בחלקות ללא עיבוד לעומת חלקות מעובדות (Cardina *et al.*, 1997). בחלקות מעובדות ניכרת התפשטות רבה יותר של מקבצים לאורך שורת הגידול ויציבות יחסית בגבולות המקבץ בניצב לשורת הגידול (Johnson *et al.*, 1996). למיני עשבים אשר נמצאים בשלב פונולוגי של ייצור זרעים בשלים המוכנים להפצה בעת קציר הגידול ישנה נטייה גדולה יותר לדגם מקבצים מאורכים לאורך שורת הגידול. טעויות בממשק הגידול, דוגמת אי-ריסוס ערוגה בשורת הגידול או סתימת אחת מפומיות המרסס בעת יישום הק"ע, יכולות אף הן להוביל ליצירת מקבצי עשב מאורכים לאורך שורת הגידול (Rew *et al.*, 2001).

במקרים רבים, ההתפלגות הנורמלית המאפיינת את התפשטות העשבים הרעים הינה אקספוננציאלית שלילית (Cousens and Mortimer, ; Rew *et al.*, 2001 ; Cardina *et al.*, 1997). התפלגות זו שימשה חוקרים לקביעת מדדי אגריגציה עבור מין העשב ע"י השוואה בין התפלגות העשב בשדה להתפלגות הנורמלית (Brain *et al.*, 1990). במקרים בהם כיוון כניסת העשבים היה ידוע מראש, שימשה התפלגות זו לבחירת שיטת סקירה המאבחנת היטב את שכיחות מין העשב באזור המחקר (Rew *et al.*, 2006).

המידע הקיים כיום בספרות אודות גורמים למקבצים במיני עשבים שונים הינו חסר ולא מספק. תוצאות מודלים עבור חיזוי מיקומי מקבצים על-סמך מאפייני אוכלוסיית העשב הראו דגמי פיזור פחות מקובצים לעומת דגמי הפיזור שהתקבלו בשדה. להערכת החוקרים הסיבה לכך היא חוסר התייחסות בפרמטרי המודל למאפייני הסיבה בשדה (קרקע, טופוגרפיה) המשפיעים על דגם פיזור העשבים (Paice *et al.*, 1998). בנוסף, לא נמצא קנה מידה קבוע או מרחק קבוע בין משבצות הדגימה, המסוגלים להבטיח את גילוי כלל דגמי המקבצים בכלל מיני העשבים. גורמים אלו מגבילים מאד את האפשרות להעריך מראש את צורת הדגימה המתאימה ומחייבים סקר מוקדם של החלקה להערכת שיטת מדידה ספציפית התואמת את מין העשב הנבחן והחלקה הנבחנת (Rew *et al.*, 2001). כאמור לעיל, שיטות ניתוח גיאוסטטיסטיות דוגמת Kriging אינן מתאימות בהכרח לאפיון ומיפוי מקבצים משום שהתאמת המודלים בהם מבוססת על שינוי הדרגתי בשונות בין זוגות דגימה ככל שהמרחק בין הדגימות גדל (שונות גלובאלית) ואילו דגמי פיזור של מקבצים יוצרים שיאים על גרף הסמיואיוגרם במרחקים מסוימים (שונות לוקאלית) (Rew *et al.*, 2001).

במחקר זה ננסה לאפיין גורמים שונים המשפיעים על דגם פיזור של מקבצים בתפרושת עלקת ולקבל החלטות מושכלות אודות מיקומי דגימה המעלות את סבירות איתור המקבצים.

2 מטרות המחקר וחשיבותן

2.1 חשיבות המחקר

נוקי עלקת בדרגת נגיעות גבוהה לגידול עג"ת, יכולים להגיע לכדי אבדן יבול של 5-100% כתלות בחומרת הנגיעות (Hershenhoren et al., 2009). מאידך, עלות ממשק הדברה עבור חלקה בעלת פוטנציאל נגיעות חמור הינה כ-300 ש"ח לדונם. סכום כסף המהווה כ-10% מתשומות הגידול (מידע ממגדלים, קשר אישי). עובדות אלו מציבות את מגדלי עג"ת בין הפטיש לסדן- שגיאה בממשק ההדברה יכול להוביל לאובדן יבול כבד או לעלויות ניכרות בתשומות הגידול הנוגסות ברווחי הגידול. לפיכך, אמצעי ניטור יעילים וזולים יאפשרו למגדל יכולת לקבל החלטה מושכלת אודות ממשק ההדברה כנגד עלקת. בכך יכולים אמצעי הניטור לחסוך עלויות גבוהות למגדל הבודד בפרט ולענף עג"ת בכלל.

2.2 פערי הידע בנושא מחקר

א. קביעת פיזור מרחבי של נגיעות בעלקת מצרית ברמת החלקה-

מחקרים אשר עסקו בפיזור מרחבי של מינים אחרים ממשפחת העלקתיים (עלקת חרוקה בגידול פול) בחנו את התפשטות המין במהלך השנים על פני שטח מחקר מצומצם ולא את הגורמים לשונות בדגמי הפיזור המרחבי במספר רב של חלקות (González-Andujar et al., 2001; Oveisi et al., 2010).
ב. קביעת צפיפות דגימות מומלצת להערכת רמת נגיעות עלקת מצרית בחלקת הגידול- מחקרים שעסקו בעלקת חרוקה עבדו על שטח מחקר קטן ובצפיפות דגימות גבוהה שאינה אפשרית עבור דיגום חלקה מסחרית שלמה.

2.3 הנחות עבודה במחקר

א. ישנו מתאם חיובי בין רמת הנגיעות (מס' תפרחות עלקת הצצות על-פני הקרקע) לרמת האילוח (גודל בנק זרעי עלקת בקרקע) של עלקת תחת תנאי גידול פונדקאי בחלקה- עוצמת המתאם משתנה בין מיני עלקת ומידת מתאם הטפילות לפונדקאים השונים. מתאם זה נמצא עבור עלקת חרוקה בפול (López-Granados et al., 1993b) ונבחן במתכונת מצומצמת אף עבור עלקת מצרית בעג"ת במחקר זה (ראה נספח 6).

ב. קיימת שונות בדגמי פיזור המרחבי וברמת נגיעות עלקת בחלקות הגידול השונות- השונות בדגמי הפיזור וברמת הנגיעות של עלקת בגידולים פונדקאים שונים בולטת לעין ומקובלת על כל המגדלים והחוקרים המתמודדים עם נגיעות עלקת מצרית בגידולים שונים.

2.4 השערות המחקר

א. השפעת פעילות חקלאית על נגיעות עלקת בחלקת הגידול- ממצאי סקירת הספרות עבור השפעת גורמים שונים על נגיעות עשבים רעים בכלל ומיני עלקת בפרט בחלקת הגידול, מציבים את כלל הפעילות החקלאית כגורם עיקרי בהסלמת חומרת נגיעות העשב בחלקה.

השערת המחקר הינה כי אף עבור עלקת מצרית ישנה השפעה מכרעת לפעילות החקלאית בחלקה על חומרת הנגיעות.

ב. השפעת גורמים שונים על דגמי הפיזור המרחבי של עלקת בחלקת הגידול- קיימים גורמים ספציפיים בסביבה החקלאית המשפיעים על תפישת עלקת בחלקה. דגם פיזור מוקדי (מאופיין במקבץ נגיעות חמורה במקום ספציפי בחלקה) מאפיין את מקור האילוח (אינוקולום) של עלקת בחלקה. לעומת זאת, דגם פיזור אקראי/אחיד מאפיין את שלב התבססות העלקת בחלקה. השערה זו נובעת בין השאר מתוצאות המחקר אודות עלקת חרוקה בפול (L'opez-Granados.,1993b).

2.5 מטרת המחקר

- א. הערכת פוטנציאל לנגיעות עלקת בחלקת הגידול על-סמך גורמים בממשק הגידול של החלקה וסביבתה.
- ב. פיתוח מודל לדיגום מיטבי של בדיקות קרקע להערכה אמינה של הנגיעות המשתנה במרחב החלקה אשר תהווה בסיס לקבלת החלטות להדברה (אחידה או משתנה במרחב).

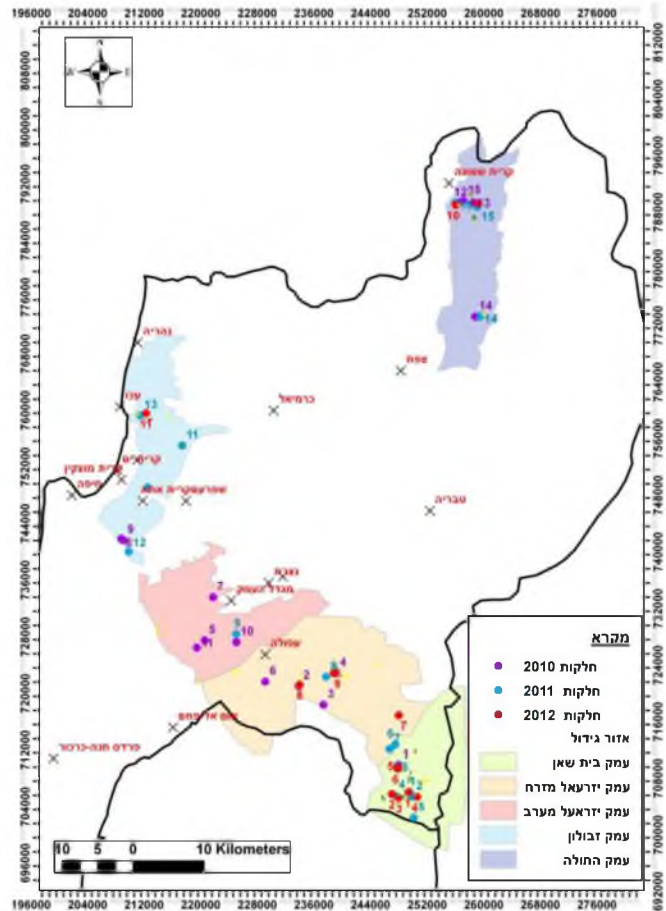
3 שיטות

3.1 אזור המחקר

אזור המחקר כלל את חמשת אזורי הגידול העיקריים בהווה לגידול עגבניות לתעשייה: עמק בית שאן, עמק יזרעאל המזרחי, עמק יזרעאל המערבי, עמק זבולון ועמק החולה (איור 2). מועדי השתילה והקטיפה שונים בין אזורי הגידול בעקבות השונות באקלים האזורים. מועדי השתילה והקטיפה נקבעים על-פי התאמת הטמפרטורות לתנאי גידול העגבנייה (בעיקר התאמת הטמפרטורות בזמן החנטה). תאריכי השתילה והקטיפה בסדר יורד ממוקדם למאוחר הינם כדלקמן:

עמק בית שאן-	<u>שתילה</u> : אמצע עד סוף פברואר.	<u>קטיפה</u> : אמצע עד סוף יוני.
עמק יזרעאל המזרחי-	<u>שתילה</u> : סוף פברואר עד תחילת מרץ.	<u>קטיפה</u> : סוף יוני עד אמצע יולי.
עמק יזרעאל המערבי-	<u>שתילה</u> : סוף מרץ עד אמצע אפריל.	<u>קטיפה</u> : סוף יולי עד אמצע אוגוסט.
עמק זבולון-	<u>שתילה</u> : סוף מרץ עד סוף אפריל.	<u>קטיפה</u> : סוף יולי עד אמצע אוגוסט.
עמק החולה-	<u>שתילה</u> : סוף אפריל עד אמצע מאי.	<u>קטיפה</u> : מתחילת אוגוסט עד תחילת ספטמבר.

על-אף השונות בתאריכי השתילה והקטיפה, תקופת הגידול בכל האזורים דומה (כ-120 ימי גידול). כמו-כן, ממשק הגידול בכל אזורי הגידול זהה מבחינת ממשק השתילה והקטיפה, ממשק העיבוד וההשקיה וממשק ההדברה (ישנם שינויים בין הממשקים המוזכרים לעיל בין מגדלים שונים ללא קשר לאזור הגידול). יתרה מכך, קבלני הביצוע לשתילת וקטיפה העגבניות הינם אותם קבלנים בכל אזורי הגידול. עובדות אלו מאפשרות להניח כי אין הבדל בהשפעת גורם השתילה ואיסוף הפרי או גורם ממשק הגידול בין אתרי המחקר השונים.



איור 2: מפת אזורי המחקר

כאמור, המטרה העיקרית של עבודה זו הינה לפתח מודל לדיגום המעריך נכונה את רמת נגיעות עלקת בחלקת עג"ת ואת דגם הפיזור המרחבי של העלקת בחלקה. מענה לאתגר זה מחייב מיפוי דגם פיזור מרחבי של עלקת במספר רב של חלקות עג"ת והבנת הגורמים לרמת הנגיעות ולדגמי הפיזור השונים בחלקות. עבודה זו פעלה להשגת המטרה בשני מישורים המשלימים זה את זה:

א. סקר אזורי בחלקות גידול עג"ת בשנות המחקר (2010-12) בחמישה אזורי הגידול העיקריים של עג"ת בארץ.

ב. מיפוי אינטנסיבי של נגיעות בעלקת בקנה מידה של החלקה הבודדת לאפיון דגמי פיזור עיקריים. להלן יפורטו שיטות איסוף הנתונים והניתוח בשני המישורים. כמו-כן יוצגו ניסיונות אשר נערכו לבחינת הערכות אשר עלו מניתוח המידע במישורים השונים ושילוב המידע ביניהם.

3.2 איתור גורמים לשונות בחומרת נגיעות עלקת

3.2.1 איסוף נתונים

על-מנת ללמוד את היקף חומרת נגיעות חלקות עג"ת בעלקת והיקף התפשטות נגיעות עלקת בחלקות מסחריות נאספו נתונים לגבי חומרת הנגיעות בעלקת בחלקות גידול עג"ת באזורי הגידול העיקריים: עמק בית שאן, עמק יזרעאל המזרחי והמערבי, עמק זבולון, עמק הכולה. במהלך שלוש עונות מחקר (2010-12) נאספו נתונים באמצעות סקר שבוצע בקרב מגדלי עג"ת (ראה שאלון למגדל עג"ת בנספח 1).

במסגרת הסקר נאסף מידע על ממשק גידול עג"ת וממשק הדברה כנגד עלקת עבור כל חלקות הגידול בעונה הרלוונטית. להלן פירוט הנתונים שנאספו בסקר:

מידע אודות רמת נגיעות בעלקת: המגדל התבקש לסווג את רמת נגיעות העלקת בעונת הגידול הנוכחית ואת היסטוריית רמת הנגיעות בחלקה. לשם כך סווגו שלוש רמות נגיעות (נמוכה, בינונית וגבוהה) אשר הוצגו למגדלים באמצעות תמונות המייצגות את הרמות השונות (איור 3)

מידע אודות ממשק הגידול: א. מועדי שתילה וקטיף בעונת הסקר. ב. מחזור גידולים בחלקת הגידול (משנת 2000 ואילך). ג. מיקום אמבטיות איסוף בעונת גידול נוכחית ובעונות גידול קודמות. ד. מידע על היסטורית נגיעות בחלקות סמוכות לחלקת הגידול (עד 250 מטר מחלקת הגידול).

מידע אודות ממשק ההדברה:

- א. שימוש במערכת תומכת החלטה "פקעית".
- ב. מועדי יישום ק"ע שרוססו נגד עלקת: מוניטור (Sulfosulfuron 75% WG), קדרה (Imazapic 24%), וטיטוס (rimsulfuron 25% WG).
- ג. מועד עישובים ידניים.

גבולות החלקות ומיקומי אמבטיות האיסוף של עג"ת אוחסנו בבסיס נתונים מרחבי בסביבת ממ"ג [ArcGIS 10, ESRI, Ltd.] וכלל הנתונים האחרים שנאספו עבור כל חלקה אוחסנו בבסיס נתונים אלפא-נומרי (כדוגמת Excel). במידת הצורך אוחדו שני בסיסי הנתונים לניתוח משולב.

3.2.2 ניתוח גורמים לשונות בחומרת נגיעות ברמת החלקה

על בסיס הנתונים המאוחד התבצעו מבחני χ^2 לאיתור גורמים שונים בעלי השפעה מובהקת על שונות חומרת הנגיעות בחלקה. במבחני χ^2 הושוותה התפלגות חומרת הנגיעות הצפויה (expected) על-סמך תוצאות הנגיעות בכלל החלקות בסקר האזורי להתפלגות רמות הנגיעות שנצפתה בפועל (observed) בחלקות שנמצאו תחת הגורם הנבחן.

הגורמים שנבחנו היו: אזור גידול, היסטורית נגיעות עלקת בחלקה, היסטורית נגיעות בחלקות סמוכות לחלקת הגידול, המצאות גידול עג"ת במחזור הגידולים בחלקה, המצאות פונדקאי עלקת נוספים (חמנייה, חמצה, סוככיים) במחזור הגידולים בחלקה.

3.3 אפיון דגמי פיזור מרחביים של נגיעות עלקת בחלקה

3.3.1 גישה למיפוי נגיעות ברמת החלקה הבודדת

מיפוי התפרושת המרחבית של הנגיעות בעלקת נערך על פי מספר אגדי התפרחות אשר נמצא בכל תא שטח בגודל של 240 מ"ר (כארבע דגימות לדונם). במהלך שלוש עונות גידול עג"ת בין השנים 2010 ל-2012 מופו בצורה זו 43 חלקות. נספח 3 מפרט את מאפייני החלקות. חלקות הגידול בהן נערך המיפוי נבחרו על-סמך שונות ברמת הנגיעות בתוך חלקת הגידול ועל-סמך מיקום. מיון על-סמך מיקום נערך על-מנת לתת ייצוג הולם של חלקות מחמשת אזורי הגידול העיקריים שצוינו לעיל.

3.3.2 קביעת צפיפות הדיגום

קביעת רמת הנגיעות בעלקת נעשתה בכל תא שטח בגודל של 240 מ"ר: 10 מטר לאורך השורה ו-24 מטר (12 שורות עג"ת) לרוחב שורות הגידול. צפיפות דיגום זו של כארבע דגימות לדונם נקבעה על

סמך ההשערה כי צפיפות דגימה זו הינה גבוהה מספיק כדי לאפשר הערכה נכונה של דגם הפיזור המרחבי של נגיעות עלקת בחלקה. ההשערה התבססה על ניתוח גיאוסטטיסטי של מיפוי צפוף עבור נגיעות עלקת נטויה אשר הראה כי צפיפות דיגום טובה מתאפשרת אף בדגימה אחת ל-2.5 דונם (Jurado-Exposito *et al.*, 2003). בנוסף משבצת דיגום זו אפשרה להספיק מיפוי של כ-100 דונם ביום וכך חלקות של עד 200 דונם מופו תוך יומיים. שיקול זה גם הוביל לכך שמרבית החלקות שנבחרו לדיגום היו בגודל שטח של עד 200 דונם (בפועל, נע שטח החלקות מ-12 דונם ל-220 דונם ומספר נקודות הדגימה מ-40 עד ל-745 נקודות בהתאמה לגודל שטח החלקה).



ב



א



ג

איור 3: תמונות המייצגות רמות נגיעות עלקת במדד הנגיעות.
 א. רמת נגיעות נמוכה;
 ב. רמת נגיעות בינונית;
 ג. רמת נגיעות גבוהה.
 התמונות הוצגו למגדלים במסגרת הסקר האזורי.

קביעת רמות הנגיעות: רמות הנגיעות נקבעו במהלך סיור משותף עם המנחים בחלקות עג"ת נגועות בעלקת על-סמך ניסיון המנחים בהערכת חומרת נגיעות עלקת. מספר אגדי עלקת מעל פני הקרקע למשבצת דיגום (קבוצת תפרחות עלקת צמודות) חולק לארבע רמות: א. אין אגדי עלקת; ב. 1-50 אגדי עלקת; ג. 50-200 אגדי עלקת; ד. מעל 200 אגדי עלקת (ראה איור 3). ערכי החציון של כל רמה עברו log transformation להמשך ניתוח (0,1,2,3) לרמות א-ד בהתאמה).

3.3.3 מועדי המיפוי

מיפוי החלקות נערך בין חודשים יוני לאוגוסט בכל עונת מחקר (תאריך המיפוי תואם את עונות הקטיפה באזורי הגידול השונים). תאריך מיפוי החלקה תואם עם מגדל החלקה לטווח הזמן שבין שבועיים לפני קטיפה עד ליום הקטיפה. תאריך המיפוי נסמך על ההנחה כי בטווח זמן זה, רמת נגיעות

העלאת בחלקה הינה מרבית ומייצגת את פוטנציאל הנגיעות בחלקה בצורה הטובה ביותר. יש לציין כי צמחי עלקת שרוססו בק"ע לאחר הצאתם, מתים ומשנים צבעם לחום אך נותרים זקופים ושומרים על מבנם הייחודי (שרביט פרחים ללא עלים). לפיכך, זיהוי ומיפוי רמת נגיעות העלקת אינו תלוי במועדי הריסוס בק"ע.

3.3.4 אמצעי המיפוי

מיפוי הנגיעות בחלקות בוצע באמצעות מערכת ממ"ל-ממ"ג (GPS-GIS). נקודות הציון של ערכי הדגימות נלקחו באמצעות מחשב כף-יד [Astech10] בו מותקן GPS (סטייה מרחבית ממוצעת של 1.5 מטר) ותוכנת ממ"ג ניידת [mobileMapper10, spectra precision, Ltd.].

ניתוח דגמי פיזור מרחבי של נגיעות עלקת בחלקה

קבלת מידע רציף ממיקומי ערכים מדודים הפזורים במרחב הנבחן מתאפשרת בעזרת כלי ניתוח גיאוסטטיסטיים. הנחות היסוד של הניתוח הגיאוסטטיסטי הינן: א. ערכי תצפיות (ערכי נקודות המדידה) קרובות זו לזו יגלו שונות קטנה מערכי תצפיות מרוחקות זו מזו ב. האוטוקורלציה המרחבית הקיימת בשונות בין שני ערכים במרחק אחיד תלויה במרחק והתפלגות ערכים נורמאלית (Tobler, 1970). האינטרפולציה לקבלת שכבת מידע רציפה על בסיס הדיגום הצפוף ברמת החלקה בוצעה באמצעות שיטת Kriging. Kriging הינה שיטה סטוכסטית גיאוסטטיסטית המבוססת על סמיואריוגרם (Isaaks *et al.*, 1989). הסמיואריוגרם הינו גרף המתאר את השונות הכללית של ערכי תופעה במרחב נבחן. ישנה חשיבות בהגדרות המרחב הנבחן בסמיואריוגרם כדי להעריך נכונה את השונות המרחבית במרחב. פרמטר ה-lag size או בעברית פער בין דגימות מבטא את טווחי המרחק הנלקחים במשוואת הסמיואריוגרם. לדוגמא, פער של 25 מטר מציין כי כל צמדי הנקודות בטווחים של 25 מטר (כולל נקודות שהמרחק ביניהן 10, 15 או 20) נכללות יחד בהשוואת השונות המרחבית. לאחר מכן נלקחים כל צמדי הנקודות בין 25 ל-50 מטר וכן הלאה. הפרמטר number of lags, או בעברית מספר הפערים בין דגימות, מציין את טווח המרחק הנבחן בסמיואריוגרם. לדוגמא, 10 פערים בין דגימות בגודל של 25 מטר נותן סמיואריוגרם על מרחב נתון של 250 מטר (25*10). פער קטן מדי בין דגימות יגרום למיעוט נתונים במקטעי הסמיואריוגרם ובעקבות כך לסטיות גבוהות בשונות המרחבית. פער גדול מדי בין דגימות עלול להתעלם משינויים קיימים בשונות המרחבית במרחקים משתנים. הפער המקובל בין דגימות הינו המרחק הממוצע הקיים בין זוג דגימות. טווח המרחק המקובל לניתוח הסמיואריוגרם (lag*number of lags) הינו מעל לחצי מהמרחק בין זוג הנקודות הרחוקות ביותר (מרחק המייצג את מרחב התופעה הנבחנת). לפיכך, עבור סמיואריוגרם לחלקות הממופות, נבחרו 20 פערים של 25 מטר בין דגימות (מרחב של 500 מטר) למעט חלקות קטנות, בהן נבחרו 12 פערים בלבד (מרחב של 300 מטר).

גרף הסמיואריוגרם המתקבל מיישום השיטה מתאר במשוואה מתמטית את יחס השונות בין זוגות תצפיות (ערכי נקודות המדידה) והמרחק המפריד בין זוגות התצפיות. מתקבל גרף המתאר את רמת שונות במדגם התצפיות במרחק ספציפי (ציר Y) על-פי מרחק גיאוגרפי בין זוגות תצפיות באוכלוסיה (ציר X).

משוואת הסמיואריוגרם הינה:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2m(h)} \sum_{i=1}^{m(h)} \{z(x_i) - z(x_i + h)\}^2$$

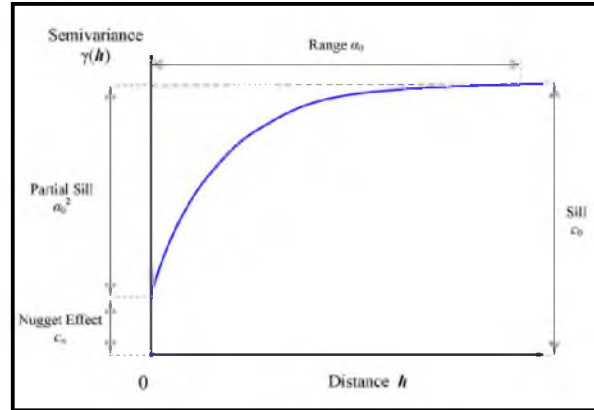
$\hat{\gamma}(h)$ = חצי מהשוונות (semivariance) עבור זוג נקודות במרחק h.

$m(h)$ = סך זוגות הדגימות הנמצאות במרחק h זו מזו.

$z(x_i)$ = ערך הדגימה בנקודה i.

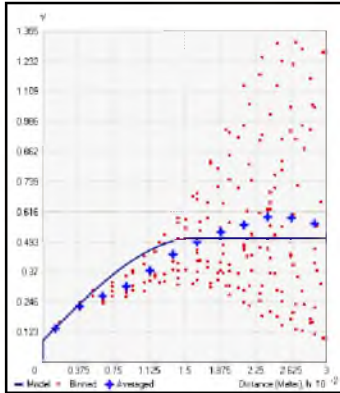
$z(x_i + h)$ = ערך הדגימה בנקודה i + h

ניתן לשפר את הבנת השוונות המרחבית המתוארת ע"י סמיואריוגרם בעזרת התייחסות למרכיבי הגרף השונים (איור 4): $nugget(C_0)$, $sill(C_0+C)$, $range$, $partial\ sill(C)$. מרכיב $nugget$ מבטא את השוונות כאשר המרחק בין צמד הנקודות הינו אפס. מכיוון שתיאורטית אין שונות בין צמד נקודות הממוקם באותו מקום, מייצג מרכיב $nugget$ את שגיאת המדידה. מרכיב $sill$ מבטא את השוונות המקסימאלית בגרף הסמיואריוגרם (גרף הסמיואריוגרם מתיישר) או לחלופין, את ערך השוונות בנקודה על ציר Y, בה שיפוע הגרף הופך לזניח לעומת שיפוע הגרף קודם לנקודה זו (במקרה זה מבטא מרכיב $sill$ שונות קרובה מאד לשוונות המקסימאלית). מרכיב $partial\ sill$ מבטא את השוונות המרחבית המקסימאלית בגרף הסמיואריוגרם ע"י הפחתת מרכיב $nugget$ ממרכיב $sill$ ($partial\ sill = sill - nugget$). לפיכך מבטא $partial\ sill$ את רכיב השוונות המרחבית על ציר Y. יחס $nugget/sill$ מבטא את אחוז הסבר מרכיב השוונות המרחבית בסך השוונות הכללית בין ערכי נקודות דגימה במרחב הנבחן. תוצאה של יחס $nugget/sill$ נמוך מצביעה על אוטוקורלציה גבוהה הקיימת בין נקודות הדגימה במרחב הנבחן. לעומת זאת, יחס $nugget/sill$ גבוה מצביע על אוטוקורלציה חלשה. כאשר היחס עולה על 0.3, מקובל לא לגזור מסקנות מניתוח הסמיואריוגרם בשל אוטוקורלציה חלשה מידי במרחב הנבחן (Kerry *et al.*, 2004). מרכיב טווח המרחק ($range$) מתייחס לנקודה על ציר ה-X (המבטא את המרחק בין צמד נקודות) בו מגיע גרף הסמיואריוגרם לשוונות מקסימאלית ($sill$) או לחלופין, שיפוע עליית השוונות מתמתן ונהפך לזניח ביחס לשיפוע עליית השוונות קודם לנקודה זו על ציר ה-X. טווח המרחק מבטא את המרחק בו ישנו קשר מרחבי (אוטוקורלציה) בין צמד נקודות. באופן תיאורטי, עלייה במרחק העולה על טווח המרחק בין צמד נקודות לא ישפיע (או יהיה זניח בהשפעתו) על השוונות בין צמד נקודות. שיטות המבוססות על גרף הסמיואריוגרם מתעלמות מרגישות לוקאלית (שוונות גבוהה בין זוג תצפיות במרחק ספציפי) ומתייחסות לשוונות המרחבית בכלל המרחב הנדגם.

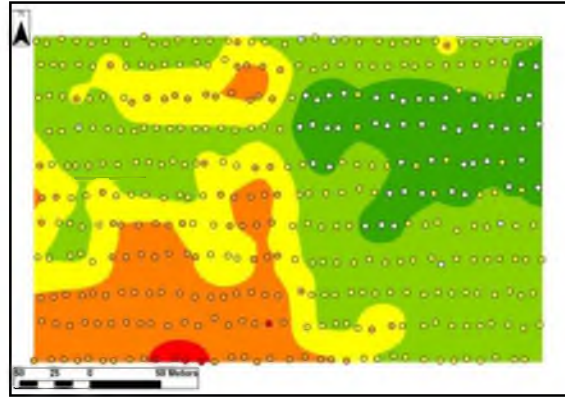


איור 4 : דוגמה תיאורטית של גרף הסמיאריוגרם (support.sas.com)

קיימות מספר שיטות אינטרפולציה עבור יצירת גרף הסמיאריוגרם. המקובלות ביניהן הינן שיטות אינטרפולציה סטוכסטיות (להבדיל מדטרמיניסטיות כמו IDW) מסוג Kriging (Rw and Cousens, 2001). בסוג אינטרפולציה זה נעשה שימוש במודל המתמטי של גרף הסמיאריוגרם על-מנת לחשב את המשקולות היחסיים של ערכי הנקודות השונות עבור כל נקודה במרחב הנבחן לקבלת שכבת מידע רציפה. יתרונות משמעותיים של שיטת Kriging, בנוסף לאפשרות לחשב משקולות על פי מודלים מתמטיים שונים, הינם: א. יכולת חישוב שגיאת המודל המתמטי ביחס לכל נקודה בקלט הנקודות המשמש לגרף הסמיאריוגרם. שגיאת המודל מחושבת בשיטת cross-validation. בשיטה זו מפחיתים בכל הרצת מודל (איטרציה) נקודה אחת מקלט הנתונים ומשווים בין הערך הניתן ע"י המודל למיקום הנקודה החסרה לבין ערך הנקודה בפועל. ב. יכולת חישוב שגיאה כללית של המודל לעומת קלט הנקודות. RMS מייצג שורש שגיאה כללית המחושב על-סמך סך הפרשים בין ערכי קלט הנתונים לערכי המודל במרחב התופעה הנבחן. מגוון המודלים המתמטיים לתיאור הקשר בין מרחק התצפיות לשונות ביניהן נרחב (linear, Gaussian, exponential, circular, spherical). יש לבחור את המודל המתמטי הנותן את השגיאה הכללית הקטנה ביותר (RMS נמוך). המודל המתמטי spherical מייצג היטב שונות מרחבית העולה באופן אקספוננציאלי עד טווח מרחק מסוים, כאשר מעבר לטווח מרחק זה, מתייצבת רמת השונות (גרף הסמיאריוגרם במקרים אלו מכונה bounded). המודל המתמטי exponential מייצג היטב שונות מרחבית אשר עולה באופן אקספוננציאלי בכל מרחב התופעה הנבחן (גרף הסמיאריוגרם במקרים אלו מכונה unbounded). השונות המרחבית במרבית החלקות התאימה למודל מתמטי spherical ומקצתן למודל המתמטי exponential. ניתן לחלק את הניתוחים מסוג Kriging לניתוחים שאינם מתחשבים במרכיבים מרחביים נוספים במרחב התופעה הנמדדת (ordinary Kriging) ומתייחסים לכל מרחב התופעה כמקשה אחת ולניתוחים המתחשבים במרכיבים מרחביים נוספים במרחב התופעה (universal Kriging). בעבודה זו בוצע שימוש ב- ordinary Kriging. בעקבות האמור לעיל, במידה ולא צוין אחרת, אינטרפולצית החלקה מבוססת על Ordinary Kriging ומודל spherical (דוגמה באיור 5).



Semivariogram
 Type model:
 spherical
 Major range:
 160
 Nugget: 0.091
 P. sill: 0.417
 Lag size: 25
 Number of lags:
 12



איור 5: דוגמא מוחשית לשימוש בסמיואריוגרם בחלקות המחקר: אינטרפולציה בשיטת Kriging באמצעות מודל spherical בחוות גד"ש חלקה 20.

מימין מפת החלקה על-סמך אינטרפולציה. ומשמאל גרף הסמיואריוגרם ונתוני מודל האינטרפולציה.

הדגמים המרחביים שקיימים הינם: אחד, אקראי ודגמי מקבצים שונים. קביעת דגם הפיזור של נגיעות העלקת בחלקה נקבע באמצעות ניתוח חזותי של האינטרפולציה שבוצעה לכל חלקה וחלקה. בסופם של הליכי המיפוי והניתוח נבנה בסיס נתונים אשר אגר לכל חלקה את ממוצע חומרת הנגיעות בעלקת, דגם פיזור מרחבי וערכי מרכיבי הסמיואריוגרם אשר שימשו לביצוע האינטרפולציה. שימוש במדדים גיאוסטטיסטיים, דוגמת אינטרפולציה באמצעות kriging וערכי גרף הסמיואריוגרם מתבסס בדרי"כ על ערכים רציפים (interval, ratio). הנתונים שנאספו במחקר זה הינם נתונים לא רציפים (ordinal) המבוססים על טווחים שונים של מספר אגדי עלקת. לפי הגישה המחמירה בגיאוסטטיסטיקה, לא ניתן להשתמש בשיטת kriging לניתוח נתונים לא רציפים (Bregt *et al.*, 1992). Bregt (1992) מציע לחלופין גרף (Spatial Difference Probability) SDP במקום גרף הסמיואריוגרם ואינטרפולציה באמצעות Theissen Polygon במקום kriging. עם זאת, ניתוח מרחבי סטטיסטי של נתונים אורדינאליים נערך במחקרים העוסקים במיפוי עשבים (site 3 in Rew *et al.*, 2001). לאור זאת, ביצענו השוואה בין תוצאות גרף הסמיואריוגרם וגרף ה-SDP (ראה נספח 4). ההתאמה הטובה אשר התקבלה בין הגרפים אפשרה לנו להסתמך על האינטרפולציה מסוג kriging על-אף בסיס הנתונים האורדינאלי. נספח 5 מציג פירוט של משתני סמיואריוגרם עבור חלקות בעלות נגיעות נמוכה עד בינונית.

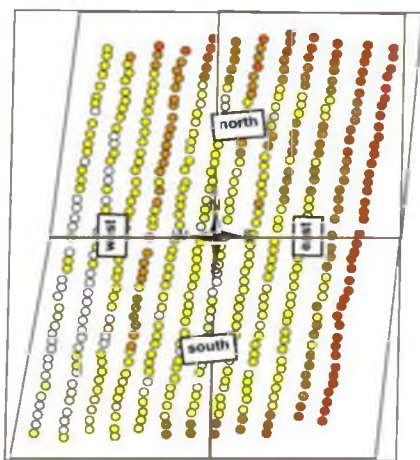
3.4 איתור גורמים המשפיעים על שונות דגם הפיזור של עלקת בחלקה

כאמור, נבנו שני בסיסי נתונים: האחד עבור המידע לגבי החלקות בסקר האזורי, הכולל את מיקומה הגיאוגרפי של החלקה יחד עם המידע אשר נאסף עבורה מהמגדל. השני עבור המידע של החלקות בהן בוצע מיפוי בקנה מידה של החלקה, הכולל רמות נגיעות עלקת בחלקה, דגם פיזור מרחבי וערכי מרכיבי הסמיואריוגרם. שילוב מאגרי המידע היווה את הבסיס לחקר הקשרים בין גורמים חשודים ובין הדגמים המרחביים. הגורמים שנחקרו הינם: היסטוריית נגיעות, מיקום אמבטיות איסוף והיסטוריית נגיעות בחלקות שכנות.

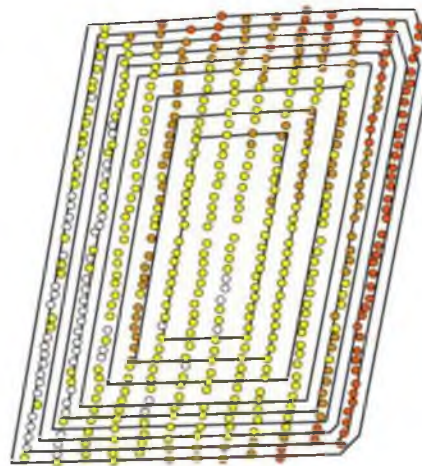
3.4.1 הערכת השפעת חלקה סמוכה מאולחת על דגם הפיזור

בהצלבת מקורות המידע בין סקר אזורי ומיפוי ברמת החלקה נחשד גורם "המצאות חלקה סמוכה בעלת היסטורית נגיעות בעלקת" כגורם בעל השפעה על דגם הפיזור המרחבי בחלקה הנבחנת. נבחרו שני אופנים להערכת השפעת גורם זה על החלקה הנבחנת, האחד מרחבי-סטטיסטי והשני אמפירי:

א. ניתוח מרחבי-סטטיסטי עבור חלקת גידול הסמוכה לחלקה מאולחת - הניתוח המרחבי-סטטיסטי התבצע באמצעות חלוקת החלקה הנבחנת לחתכי רוחב של 10 מטר מגבולות החלקה עד למרחק 110 מטר מגבול החלקה. חלוקת חתכי הרוחב נערכה באמצעות כלי התוכנה multiple ring buffer בסביבת ArcGIS. לאחר מכן, אופיינה התפלגות ערכי הנגיעות בכל חתך רוחב באמצעות כלי התוכנה spatial join בסביבת ArcGIS (איור 6א). עבור החלקה הנבחנת נבנתה שכבה מרחבית המציינת את כיווני החלקה ואופיינה התפלגות ערכי הנתונים בכיווני החלקה השונים (כיווני החלקה נלקחו ממרכז החלקה) (איור 6ב). טבלאות התפלגות ערכי הנתונים עבור חתכי רוחב וכיוון אוחדו ויוצאו לבסיס נתונים בפורמט Excel¹. לבסיס הנתונים הוסף מידע אודות המצאות חלקה סמוכה בעלת נגיעות היסטורית בעלקת באחד מכיווני החלקה הנבחנת, ממוצע נגיעות בחלקה, דגם פיזור בחלקה, המצאות גורמים פנימיים לנגיעות בחלקה וכל מידע נוסף הקיים על החלקה מנתוני הסקר האזורי. על-סמך בסיס הנתונים המאוחד נבחן הקשר בין רמת נגיעות ודגם פיזור לקרבה לקצה החלקה, לכיוון ייחודי ממרכז החלקה ולקרבה לחלקה סמוכה בעלת נגיעות עלקת בעבר (איור 6ג).



ב



א

¹ כיוון שישנה חפיפה בין הפוליגונים המייצגים את צפון ודרום החלקה לפוליגונים המייצגים את מזרח ומערב החלקה, כל נקודת דגימה מיוצגת פעמיים במאגר המידע- פעם אחת תחת התפלגות בכיוון צפון/דרום ופעם שנייה תחת התפלגות בכיוון מזרח/מערב.

איור 6: שלבי ניתוח מרחבי למטרת בחינת השפעת חלקה שכנה מאולחת על חלקה נבחנת. (בדוגמא: יפעת, קישון 1)

א. התפלגות נגיעות עלקת בחלקה כתלות במרחק תצפית מקצה חלקה.

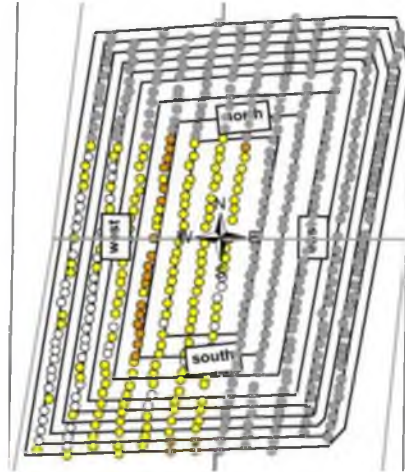
המרחקים שנבחנו ומיוצגים בקו שחור הינם:

0.1, 10, 20, 30, 40, 50, 70, 90, 110

ב. התפלגות נגיעות עלקת בחלקה כתלות בכיווני החלקה. מיקום שושנת הרוחות מייצגת את מרכז החלקה. ממרכז החלקה שורטטו פוליגונים המייצגים את כיווני החלקה.

ג. התפלגות נגיעות עלקת בחלקה כתלות במרחק תצפית מקצה חלקה הסמוך לחלקה שכנה מאולחת.

במקרה של חלקה זו (יפעת, קישון 1) קיימות חלקות שכנות מאולחות מצפון וממזרח לחלקה הנבחנת. הסימון האפור מציין את קלט הנקודות אשר נבחן להתפלגות חומרת נגיעות כתלות במרחק מגבול החלקה הסמוך לחלקה שכנה מאולחת.



ב. ניסויי שדה לבחינת השפעת חלקה בעלת היסטורית נגיעות בעלקת על חלקות סמוכות - הניתוח

המרחבי-סטטיסטי המתבסס על מיפוי של חלקות הראה כי ישנה השפעה מובהקת לחלקה בעלת היסטוריית נגיעות על הנגיעות בחלקות הסמוכות לה. עדיין נותר הצורך לקבוע את האופן בו התהליך מתרחש וכן לתקף את הניתוח המרחבי-סטטיסטי. לצרכים אלו הועמדו ניסויי שדה. ההשערה שעמדה בבסיס העמדת ניסויי השדה הייתה כי זרעי עלקת מגיעים אל החלקות הסמוכות במהלך קטיף העגבניות. על מנת לבחון זאת, נבחרו שתי חלקות עג"ת (עונת 2012) בעלות חומרת נגיעות בעלקת גבוהה ואחידה: חלקה בחוות עדן (חלקות ד'+ה') וחלקת הניסיונות בחוות גד"ש (חלקה 20). מלכודות הזרעים הוצבו במרחקים הולכים וגדלים משולי החלקות הנגועות. מלכודות הדבק הוכנו מפוליגל לבן בגודל 16*16 ס"מ, עליו נמרח דבק רימיקס (דבק ללכידת חרקים של חברת "רימי"). המלכודות הוצמדו לבזני"טים בגובה 5-10 ס"מ מפני הקרקע. מרחק המלכודות מהחלקה הנגועה נקבע על-סמך הממצאים של הניתוח הסטטיסטי המתואר בסעיף הקודם אשר הראה ירידה הדרגתית בחומרת נגיעות עד למרחק של 90 מטר. מרחקי המלכודות בפועל היו 20, 50, 90 מטר מגבול החלקה הנגועה (למעט צד דרום בחוות גד"ש, בו מוקמו מלכודות בדבק הרחוקות במרחק 70 מטר בשל מגבלות טכניות). בחוות עדן הוצבו בכל מרחק שלוש מלכודות דבק (למעט צד דרום בו הוצבו חמש מלכודות) ובחוות גד"ש ארבע מלכודות לכל מרחק. המלכודות הוצבו לאורך קו ניצב לגבולות החלקה הנגועה (לצפייה במפות הניסויים, ראה נספח 7). כל מלכודת מוספרה ומיקומה נקבע באמצעות GPS. המלכודות הוצבו לפני קטיף העגבניות והוסרו לאחריו. בחוות עדן התבצע הקטיף ב-20.06.2012 ובחוות גד"ש התבצע הקטיף ב-05.08.2012.

בשלב איסוף המלכודות נעטפה כל מלכודת בניילון נצמד. המלכודות נבחנו תחת בנוקולר במעבדה לקביעת מספר זרעי העלקת שנדבקו בהן. בנוסף נלקח ני"צ עבור מיקום אמבטיות האיסוף ונאספו נתונים מטאורולוגיים שעתיים עבור ימי הצבת הניסוי על מנת לבחון את השפעת כיווני ועוצמות הרוח על הימצאות זרעי עלקת בחלקות שכנות.

3.4.2 אפיון התפשטות מרחבית של עלקת בין עונות גידולים פונדקאים

א. בחינת התפשטות עלקת מגידול פונדקאי חורף-אביב לגידול פונדקאי אביב-קיץ - נבחנה אפשרות לחיזוי דגם הפיזור המרחבי של עלקת בגידול פונדקאי אביב-קיץ באמצעות מיפוי העלקת בגידול פונדקאי חורף-אביב. מטרת ניסוי זה הייתה בחינת שיטה להערכת נגיעות ודגם פיזור מרחבי של עלקת בחלקה בוודאות גבוהה בעזרת גידול חורף פונדקאי. גידול החורף הפונדקאי יועד לגידול בעונת החורף טרם שתילת העגבניות. קציר הגידול החורפי בשיטה זו אמור להתבצע קודם להבשלת הזרעים בצמחי העלקת. השערת המחקר הייתה כי הפיזור המרחבי של העלקת יישמר או יורחב בגידול עג"ת בעונות אביב-קיץ העוקבות לגידול הפונדקאי בחורף.

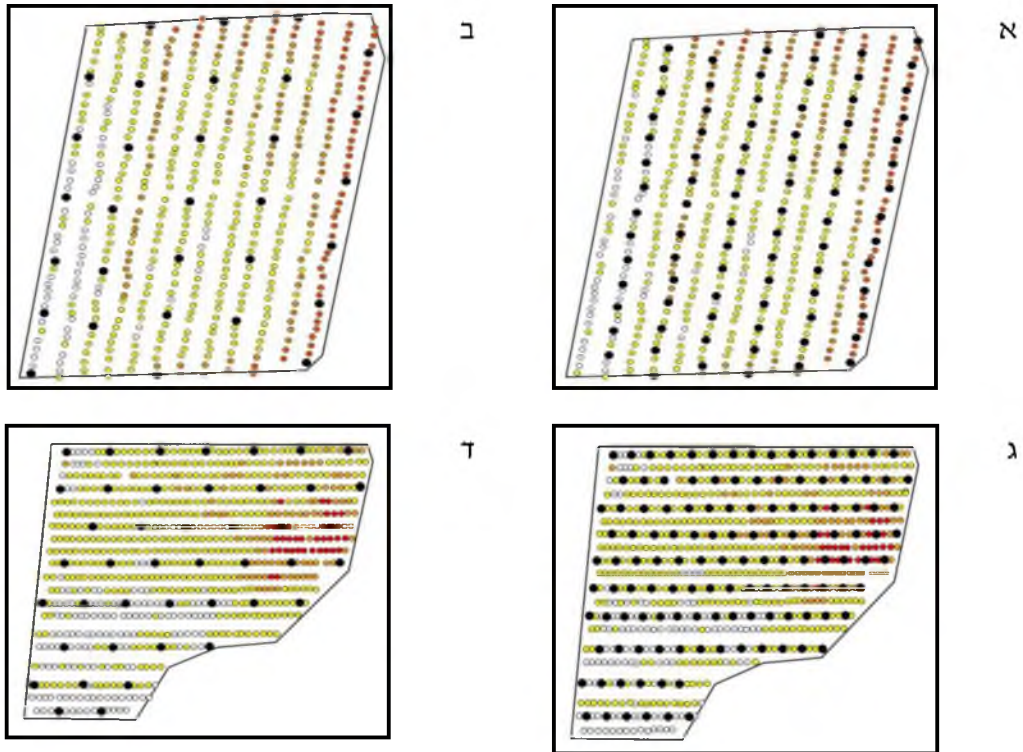
במהלך הניסוי נזרעה בחוות עדן באוקטובר 2010 (27.10.2010) בקיה יובל הרגישה לעלקת. החלקה אולחה באופן מלאכותי בזרעי עלקת בשלוש רמות אילוח שונות: 1,10,20ppm (mg seed/kg soil). כשבוע לפני קציר הבקיה. בתחילת פברואר 2011 (03.02.2011) נספרו תפרחות עלקת טפולות לבקיה. לאחר מכן, בסוף פברואר 2011 (23.02.2011) נשתלה עג"ת באותה חלקה. במהלך עונת גידול עג"ת, טופל חציה המערבי של החלקה בממשק הדברה לפי 'פקעית'. חציה המזרחי של החלקה לא טופל ושימש כביקורת. דיגום צפוף ברזולוציה דגימה כל 240 מ"ר, נערך בחלקה. בנוסף, במיקומים של טיפולי האילוח בחלקת הבקיה, נלקחו דגימות כל 100 מ"ר. הדיגום להערכת רמת נגיעות בעלקת בוצע בשני מועדים: ב-25.05.2011 וב-03.06.2011. לאחר קטיף העגבניות נספרו תפרחות עלקת שנותרו בכל רמת אילוח ובסוף העונה נשקל יבול העגבניות בכל רמת אילוח. לאחר ביצוע אינטרפולציות, הושוו דגמי הפיזור המרחבי של העלקת בעונות הגידול העוקבות: חורף-אביב (בקיה) ואביב-קיץ (עג"ת).

ב. בחינת התפשטות עלקת מגידול פונדקאי אביב-קיץ לגידול פונדקאי חורף-אביב - השוואות נוספות בין דגמי פיזור מרחבי של עלקת בגידולים שונים באותה חלקה נערכו בשתי חלקות נוספות (שדה אליהו, חלקה שוקף א. גבת, חלקה 307). בחלקות אלו סבב הגידולים היה שונה מהחלקה בחוות עדן. בתחילה גודל גידול פונדקאי קיצי (עג"ת) ולאחריו גידול פונדקאי חורפי (כוסברה וגזר בשדה אליהו ובגבת, בהתאמה). בשדה אליהו הגידולים הפונדקאים היו עוקבים (עג"ת בקיץ 2011 ולאחריה כוסברה בחורף 2011) ואילו בגבת היה הפרש של כשנה וחצי בין הגידולים הפונדקאים (עג"ת: קיץ 2010, גזר: חורף 2012).

3.5 קביעת צפיפות מיטבית לדיגום עלקת

"כלל-אצבע" בגיאוסטטיסטיקה קובע כי על-מנת לאפיין את הדגם המרחבי בחלקה יש לדגום במרחקים של עד חצי מטווח המרחק בו מתקיימת אוטוקורלציה (חצי ממרכיב ה-range של הסמיואריוגרם) (Kerry et al., 2004). לשם כך, נבחנו החלקות הממופות בקנה מידה של החלקה, בהן התקיימה אוטוקורלציה מרחבית (בחלקות בהם דגם הפיזור אקראי או אחיד, לא מתקיימת אוטוקורלציה בין נקודות הדיגום בחלקה). נמצא כי ממוצע הטווח בחלקות הללו הינו 160 מטר. חצי מממוצע הטווח בחלקות אלו שימש לקביעת צפיפות הדיגום הנמוכה ביותר, המאפשרת קבלת דגם פיזור מרחבי של עלקת בחלקה (מרווח ממוצע בין דגימות = 80 מטר; צפיפות דיגום של דגימה אחת לארבע דונם). כמו-כן נבחן טווח ביניים של רבע מממוצע הטווח (מרווח ממוצע בין דגימות = 40 מטר; צפיפות דיגום של דגימה אחת ל-1.25 דונם). לאחר קביעת צפיפות הדגימות, נבחנו

אינטרפולציות של שש חלקות בעלות דגמי פיזור של מקבץ כיווני ומקבץ מוקדי (שלוש חלקות עבור כל דגם) תחת צפיפות דיגום מקורית ותחת צפיפות דיגום בינונית ונמוכה: דגימה אחת ל-1.25 דונם ודגימה אחת ל-4 דונם, בהתאמה. מספר נקודות הדגימה נעו בטווח של 290 עד 745 נקודות בצפיפות דיגום גבוהה ובטווח של 18 עד 44 נקודות בצפיפות דיגום נמוכה. מספר נקודות הדגימה תאם את גודל החלקה בדונמים (מספר הנקודות המקסימאלי השתייך לחלקה בגודל 230 דונם ומספר הנקודות המינימאלי השתייך לחלקה בגודל 131 דונם). הבחירה בשני דגמי פיזור אלו התבצעה על-מנת לבחון בהמשך אפשרות להפחית מצפיפות הדגימות באמצעות שילוב ממקורות מידע חיצוניים למיפוי דוגמת היסטורית אילוח בחלקה, מחזור הגידולים, ריכוז אמבטיות איסוף. בפועל, מתוך נקודות הדיגום המקוריות בכל אחת משש החלקות נבחרו באופן ידני מספר נקודות במרחקים של כ-40 ו-80 מטר. צפיפות הנקודות המייצגות רבע מהטווח נלקחה באמצעות בחירת כל נקודה שלישית לאורך שורה ו"דילוג" לרוחב החלקה על-פני שורת דגימה אחת. צפיפות הדגימות המייצגות חצי מהטווח נלקחה ע"י בחירת כל נקודה שביעית לאורך שורה ו"דילוג" על-פני שתי שורות דגימה (איור 7). בשלב האינטרפולציה לצפיפויות הדיגום השונות נבחר הפער (lag) על-סמך מרחק מרבי בין זוג נקודות בשתי שורות שונות. התוצאות אשר התקבלו מאינטרפולצית נקודות הדיגום בצפיפות דיגום מקורית, בינונית ונמוכה בכל חלקה הושוו חזותית וכן ע"י פרמטר השגיאה של האינטרפולציה (RMS).

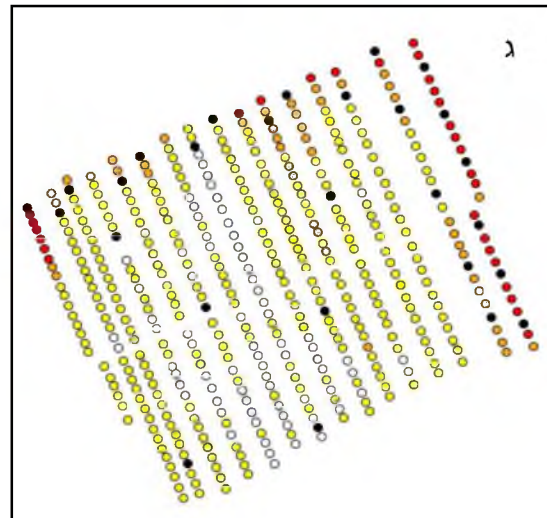
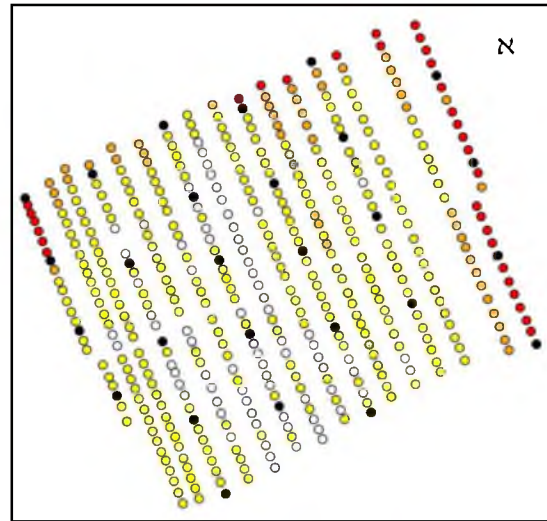
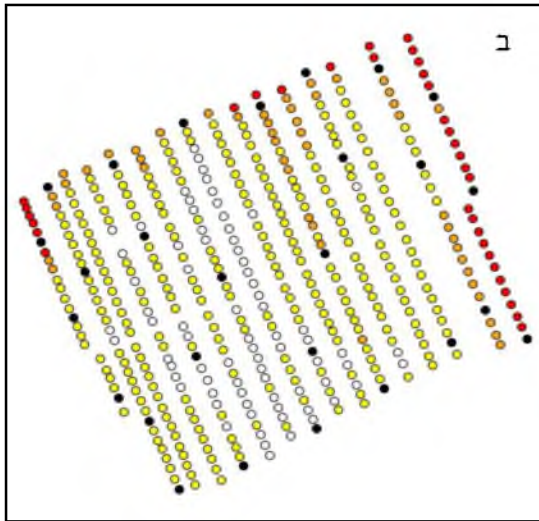


איור 7: המחשה לשיטת השוואת צפיפויות דיגום שונות

מרווחים ממוצעים של 25,40,80 מטרים בין נקודות דגימה. צפיפות הדגימה המקורית מיוצגת על-סמך מדד הנגיעות. הסימון השחור מציין את קלט הנקודות לאחר הורדת צפיפות הדיגום. א,ב: ייצוג צפיפויות דיגום בינונית ונמוכה בהתאמה עבור חלקות בעלות דגם פיזור כיווני (בדוגמא חלקת יפעת, קישון1). ג,ד: ייצוג צפיפויות דיגום בינונית ונמוכה עבור חלקות בעלות דגם פיזור מוקדי (בדוגמא חלקת עין חרוד איחוד, אבלק דרום).

3.6 בחינת שיטות דיגום בצפיפות דיגום נמוכה

נבחנו שלוש שיטות דיגום. המכנה המשותף לשיטות היה ממוצע דגימות לדונם בחלקה (דגימה אחת לארבע דונם). בשיטה הראשונה פוזרו נקודות דיגום באופן שווה בכלל החלקה. בשיטה השנייה צפיפות הדגימות בסמוך לגבולות החלקה הייתה גבוהה ואילו בשאר החלקה צפיפות הדגימות הייתה נמוכה מאד. השיטה השלישית הינה מקרה פרטי של השיטה השנייה ומתאימה לחלקות בעלות מאפיינים ספציפיים. השיטה מתייחסת לחלקות הממוקמות באזור גידול חדש ללא גורמי אילוח פנימיים בחלקה אך בסמיכות לחלקה שכנה מאולחת. בשיטה זו צפיפות הדגימות בגבול החלקה הסמוך לחלקה שכנה מאולחת גבוהה ואילו בשאר החלקה צפיפות הדגימות נמוכה (איור 8).



איור 8: המחשת שיטה להשוואה בין שיטות דיגום בצפיפות דיגום נמוכה (דוגמא: חולתה, חלקה כרד 4+3). השוואה בין שיטות דיגום ברמת צפיפות נמוכה (דגימה ל-4 דונם).

א. פיזור אחיד של דגימות בחלקה;
 ב. צפיפות דגימות גבוהה יותר בסמוך לגבולות החלקה ונמוכה יותר במרכז החלקה.

ג. צפיפות דגימות גבוהה בגבולות החלקה הסמוכים לחלקה שכנה מאולחת וצפיפות דגימות נמוכה בשאר חלקי החלקה.

סימון שחור מציין את נקודות הדגימה הנבחרות מנקודות הדגימה המקוריות.

3.7 בניית "עץ קבלת החלטות" להערכת פוטנציאל אילוח עלקת בחלקה

"עץ קבלת החלטות" הינה שיטה המאפשרת קבלת הערכה מושכלת עבור פוטנציאל אילוח עלקת בחלקה על-סמך נתוני החלקה. שיטת "עץ קבלת החלטות" מתאפיינת בצמתי הכרעה המבוססים על

גורמים אשר הוכחו כבעלי השפעה על חומרת נגיעות עלקת בחלקה. יתרון שיטה זו הינו בהנגשה של המידע למקבלי ההחלטות (בייחוד עבור המגדל בשטח) ויצירת בסיס עבודה משותף לכל העוסקים בהתמודדות עם העלקת- חוקרים, מדריכים ומגדלים.

בחירת ממשק ההדברה לפי מערכת "פקעית" וההחלטה על שיטת הדיגום בחלקה לאחר סכימת צמתי ההכרעה נערכה על-סמך העיקרון של חיסכון מרבי למגדל. תחשיב החיסכון למגדל נערך על-סמך הדירוג הבא:

- א. נזק עלקת לגידול עג"ת ברמת נגיעות בינונית ומעלה הינו הגורם הראשון במעלה בגרימת אבדן הכנסה למגדל לטווח הקצר ולטווח הארוך (הגדלת בנק זרעי העלקת בקרקע).
 - ב. שימוש בממשק הדברה המתאים עבור התמודדות עם רמת נגיעות בינונית ומעלה שלא לצורך הינו גורם שני במעלה בגרימת אבדן הכנסה למגדל.
 - ג. שימוש בדיגום שלא לצורך הינו גורם שלישי במעלה בגרימת אבדן הכנסה למגדל.
- מתוך הדירוג נגזרו הפעולות המומלצות למגדל תחת אפשרויות הסכימה השונות של צמתי ההכרעה.

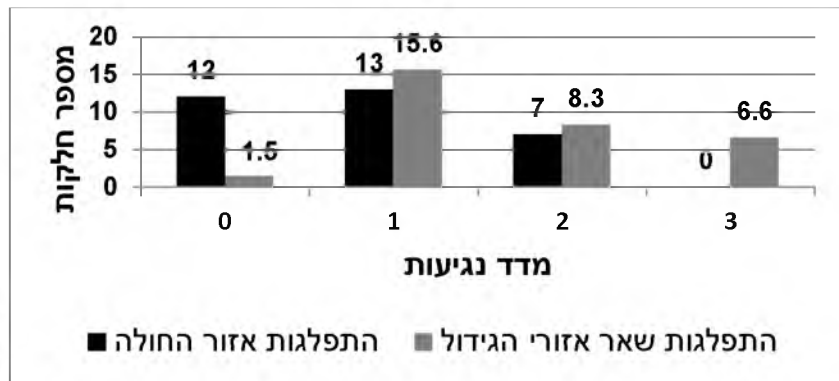
4 תוצאות

4.1 איתור גורמים לשונות בחומרת הנגיעות בעלקת

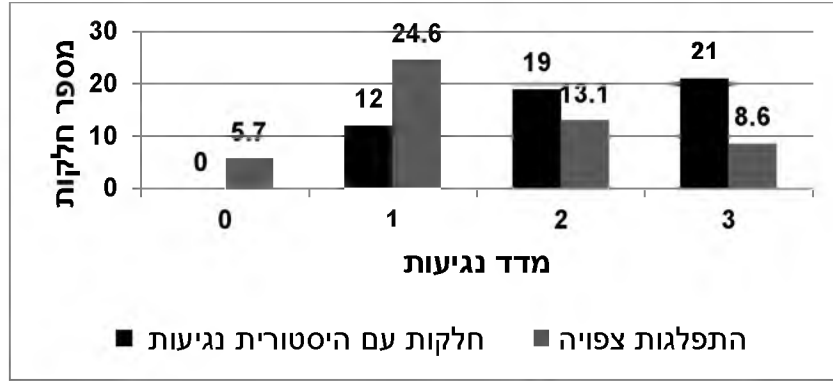
על בסיס המידע שנאסף מ-163 חלקות בעונות 2010 עד 2012, נערכו מבחני χ^2 לבחינת תלות בין חומרת נגיעות בחלקה לגורמי גידול בחלקה. נמצאו שלושה גורמים המשפיעים במובהק ($p < 0.05$) על חומרת הנגיעות בחלקה:

א. **אזור גידול** - נמצא כי באזור עמק החולה חומרת הנגיעות בחלקות נמוכה במובהק בהשוואה לארבעת אזורי הגידול האחרים ($n=32, \alpha = 7 \cdot 10^{-18}$) (איור 9).

ב. **היסטוריית נגיעות בחלקה** - נמצא כי בחלקות עם היסטוריית נגיעות בעלקת משנת 2000 ואילך, נמצאה חומרת נגיעות גבוהה יותר במובהק ($n=52, \alpha = 3 \cdot 10^{-7}$) (איור 10).

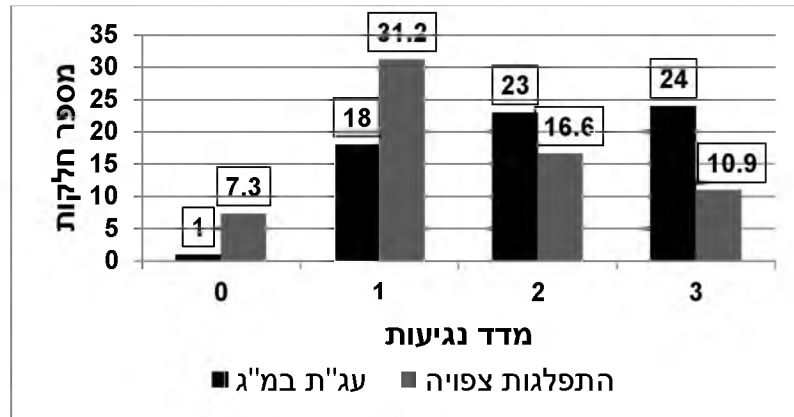


איור 9: התפלגות נגיעות עלקת כתלות בגורם "אזור הגידול"

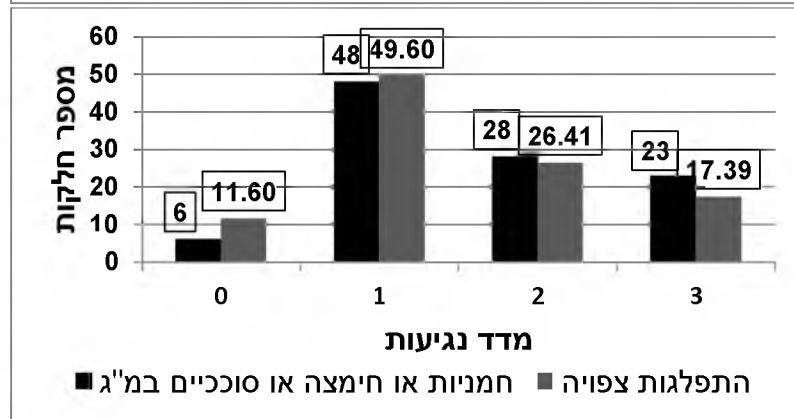


איור 10: התפלגות נגיעות עלקת תחת גורם "היסטוריית נגיעות עלקת בחלקת הגידול"

ג. היסטוריית פונדקאי עלקת- בחלקות עם היסטוריית גידול עגבניות במחזור הגידולים משנת 2000 ואילך, נמצאה חומרת נגיעות גבוהה יותר במובהק ($\alpha = 2 \cdot 10^{-6}$, $n=66$) (איור 11). לא נמצאה השפעה מובהקת על חומרת הנגיעות בחלקות הגידול בעקבות גידול פונדקאי עלקת אחרים (חמנייה, חימצה, סוככיים) במחזור הגידולים משנת 2000 ואילך ($n=105$, $\alpha=0.199$) (איור 12). כמו כן נמצאה ירידה חדה ברמת הנגיעות (בחלקות גידול ללא פונדקאים משנת 2000 ואילך) (איור 13).

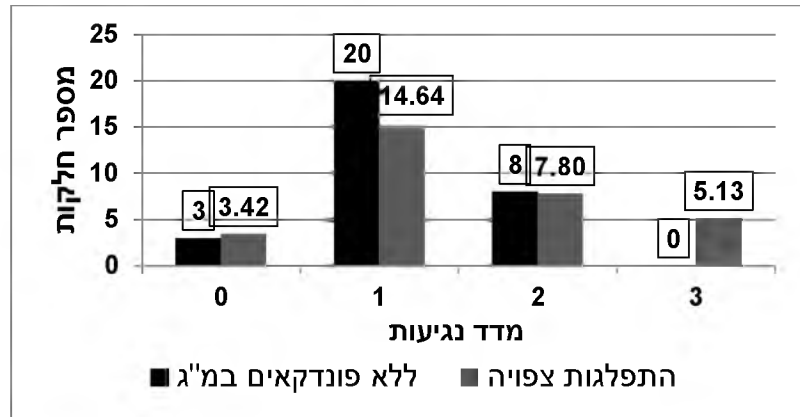


איור 11: התפלגות נגיעות עלקת תחת גורם "המצאות עג"ת במחזור גידולים משנת 2000 ואילך"

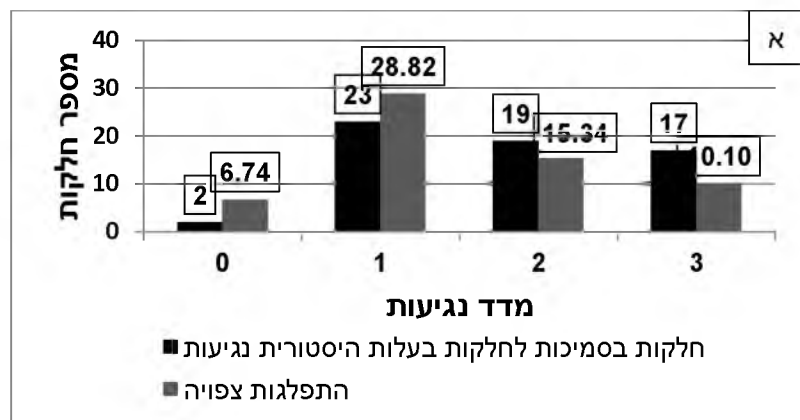


איור 12: התפלגות נגיעות עלקת תחת גורם "פונדקאי עלקת (חמניות, חימצה, סוככיים) במ"ג משנת 2000 ואילך"

איור 13: התפלגות נגיעות עלקת תחת גורם "ללא פונדקאים במ"ג משנת 2000 ואילך"



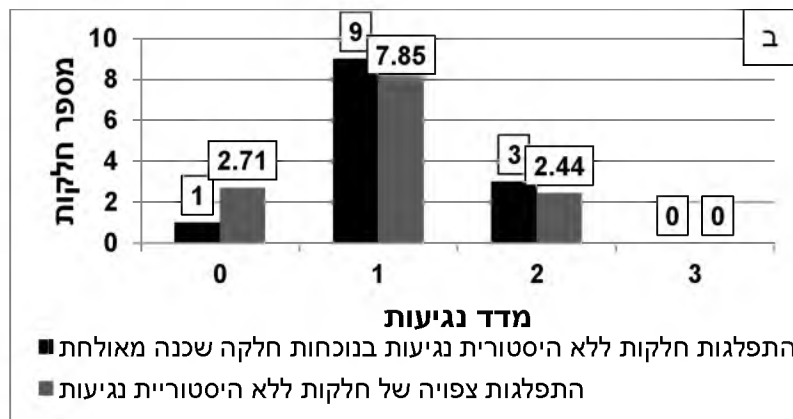
ד. המצאות חלקות מאולחות בסמיכות לחלקה הנבחנת - נמצא כי בחלקות הנמצאות בסמוך לחלקות בהן נצפתה בעבר נגיעות בעלקת, מתקיימת נגיעות עלקת חמורה יותר במובהק ($n=61, \alpha = 0.018$) (איור 14א) לעומת ההתפלגות הצפויה על סמך התפלגות כלל החלקות. עם זאת, בהשוואה בין כלל החלקות ללא היסטורית נגיעות ידועה לבין חלקות ללא היסטורית נגיעות אך בסמיכות לחלקות שכנות הידועות כמאולחות, לא נמצאה השפעה בחומרת הנגיעות לגורם "סמיכות לחלקה שכנה מאולחת" (איור 14ב). ניתן להסביר את ההבדלים החדים המתקבלים במובהקות גורם "סמיכות לחלקה בעלת היסטורית נגיעות" בתאחיזת גורם זה לגורמי אילוח אחרים. כמחצית מחלקות הגידול, עבורן קיים מידע על חלקות סמוכות, ממוקמות באזורי גידול ותיקים. לפיכך, בחלקות הללו, שילבו לרב עג"ת במחזור הגידולים או נצפתה עלקת בעבר, עובדה הגורמת לתאחיזה בין גורמי האילוח השונים. הפרדת הגורמים (לקיחת חלקות הגידול ללא היסטורית נגיעות בלבד) מראה כי השפעת החלקות השכנות על חומרת האילוח בחלקה אינה מובהקת.



איור 14: התפלגות נגיעות עלקת בנוכחות גורם "חלקה שכנה מאולחת".

א. התפלגות נגיעות עלקת תחת גורם "סמיכות לחלקות שכנות בעלות היסטורית נגיעות" בכל החלקות הנבחנות

ב. התפלגות נגיעות עלקת בנוכחות גורם "חלקה שכנה מאולחת" רק בחלקות נבחנות ללא היסטוריית נגיעות



ה. השפעת יישום מערכת החלטות להדברת עלקת "פקעית" על חומרת הנגיעות- ככלל, ישנו קושי להתייחס למערכת "פקעית" בתוצאות הסקר האזורי בשל מיעוט החלקות אשר יישמו את המלצותיה באופן מלא מחד ומאידך, בשל הדמיון הרב בין המלצות המערכת כאשר הערכת פוטנציאל הנגיעות בחלקה של המערכת הינה "לא ידוע/נמוכה מאד" לממשק ההדברה המקובל אצל המגדלים בעת הופעת עלקת ללא קשר לתנאי ה"פקעית" (בשני המקרים מיישמים ריסוסי קדרה; ח. אייזנברג וחוב', 2008). הוחלט לבחון את השפעת "פקעית" רק עבור החלקות בהן רמת הנגיעות המוערכת ע"י המערכת הינה בינונית ומעלה. תנאי המערכת להערכת הנגיעות כבינונית ומעלה הינם גידול עג"ת בחלקה והיסטורית נגיעות עלקת בחלקה או לחלופין גידול עג"ת פעמיים ומעלה באותה חלקה. בחלקות אלו ממליצה "פקעית" על יישום שני טיפולי מוניטור בהמטרה ב-200 ו-400 ימי מעלה משתילה וריסוסי קדרה במידה ונצפתה עלקת 60 יום לפני קטיף העגבניות (ח. אייזנברג וחוב', 2008). מתוך מאגר החלקות בסקר האזורי, יושומו המלצות הדברה אלו רק ב-23 חלקות. מתוכן התקיימו בוודאות תנאי המערכת עבור המלצות הריסוס רק ב-6 חלקות. בשאר החלקות יושומו המלצות המערכת בשל הערכת המגדל את שטח הגידול כמאולח בעבר, אף אם אין מידע מדויק על שנת הופעת העלקת וחומרת הנגיעות ובשל נוחות טכנית ליישום המלצות ההדברה (המצאות קונוועים בחלקה). במקרה פרטי, הוכחה יעילות המלצות הדברה של "פקעית" עבור חלקה אשר הוערכה כבעלת פוטנציאל נגיעות גבוה לעומת שטח ביקורת באותה חלקה ללא טיפול. ההדברה הוכחה כיעילה על-סמך כמות העלקות שנצפו בחלקה לקראת סוף הגידול ובעיקר ע"י שקילת יבול עגבניות בחלקה המטופלת ב"פקעית" לעומת חלקת הביקורת. יעילות "פקעית" נבחנה כפועל יוצא מניסוי התפשטות עלקת מעונה לעונה בחוות עדן חלקה ג' (ראה סעיף 4.4.1, איור 24).

סיכום השפעת גורמים לשונות בחומרת הנגיעות בעלקת- טבלה 1 מסכמת את תוצאות מבחני χ^2 לניתוח גורמים המשפיעים על חומרת הנגיעות בעלקת על-סמך מידע הסקר האזורי.

טבלה 1: טבלה מסכמת למבחני χ^2 על בסיס הסקר האזורי

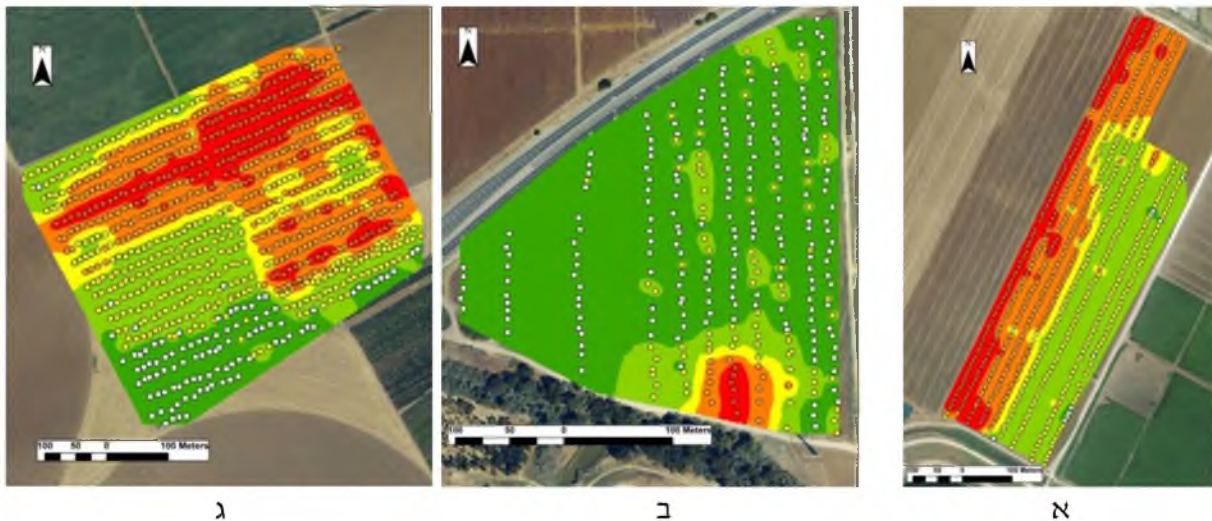
הטבלה מבטאת את הממוצע הכללי של נגיעות עלקת בחלקות הגידול לעומת ממוצע נגיעות עלקת של חלקות תחת הגורמים הנבחים. בנוסף, מצוינת ההסתברות הסטטיסטית להשפעת גורם נבחן על-פי מבחן χ^2 .

גורם/מדדים	מס' חלקות	ממוצע כללי של נגיעות בעלקת	ממוצע נגיעות עלקת תחת הגורם הנבחן	הפרש	p-value
אזור גידול	32	1.47	0.84	0.63	$9.46e^{-06}$ *
היסטורית נגיעות	52	1.47	2.17	0.70	$3.8e^{-07}$ *
עגיית במחזור גידולים	66	1.47	2.06	0.59	$2.15e^{-06}$ *
פונדקאים אחרים במיג (חמניות, חימצה, סוככיים)	105	1.47	1.65	0.18	0.2
ללא פונדקאים	31	1.47	1.16	-0.31	0.07
היסטורית נגיעות ללא עמק החולה	47	1.63*	2.21	0.58	$5.81e^{-05}$ *
עגיית במיג ללא עמק החולה	55	1.63*	2.16	0.53	$6.16e^{-05}$ *
חלקה שכנה	61	1.47	1.84	0.36	0.02 *
חלקה שכנה ללא חלקות עם היסטוריה ידועה	13	0.79**	1.15	0.76	0.5

* - ממוצע נגיעות בחלקות הגידול באזורי הגידול ללא עמק החולה. ** - ממוצע נגיעות בחלקות גידול ללא היסטורית נגיעות ידועה; * - מובהק ב- $p < 0.05$.

4.2 אפיון דגמי פיזור מרחביים של נגיעות עלקת בחלקה

איור 15 מציג את חמשת דגמי הפיזור המרחביים אשר נמצאו ברמת החלקה: מקבצים מוקדניים; מקבצים מאורכים לאורך שורות הגידול; מקבצים כיווניים; פיזור אקראי; פיזור אחיד. בנוסף נמצא דגם פיזור מרחבי אשר הינו פועל יוצא של איחוד חלקות בעלות היסטורית נגיעות ומחזור גידולים שונה. בחלקות אלו התקבל דגם פיזור בו חומרת הנגיעות מתחלקת במובהק על-סמך הגבולות הגיאוגרפיים של חלקות הגידול בעבר (איור 15).

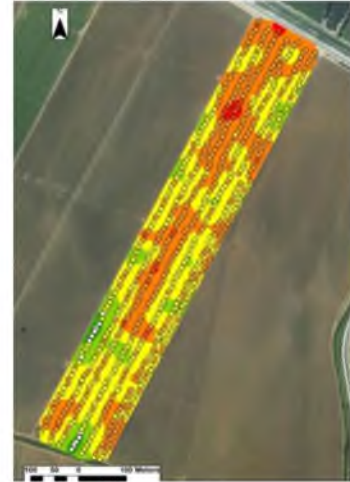




ו



ה



ד



איור 15: אפיון דגמי פיזור.

א. מקבץ כיווני מאחד מצידו החלקה (יפעת, חלקה ו')

ב. מקבץ מוקדי (יגור, מערב)

ג. מקבץ לאורך כיוון שורות החלקה (חולתה, מערב)

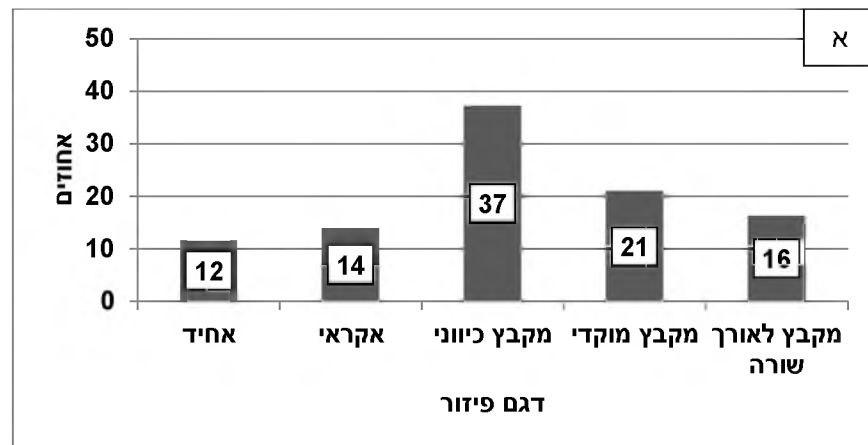
ד. פיזור אקראי בחלקה (גד"ש דן, בית הלל 3 מזרח)

ה. פיזור אחיד בחלקה (שדה אליהו, חמרה ו')

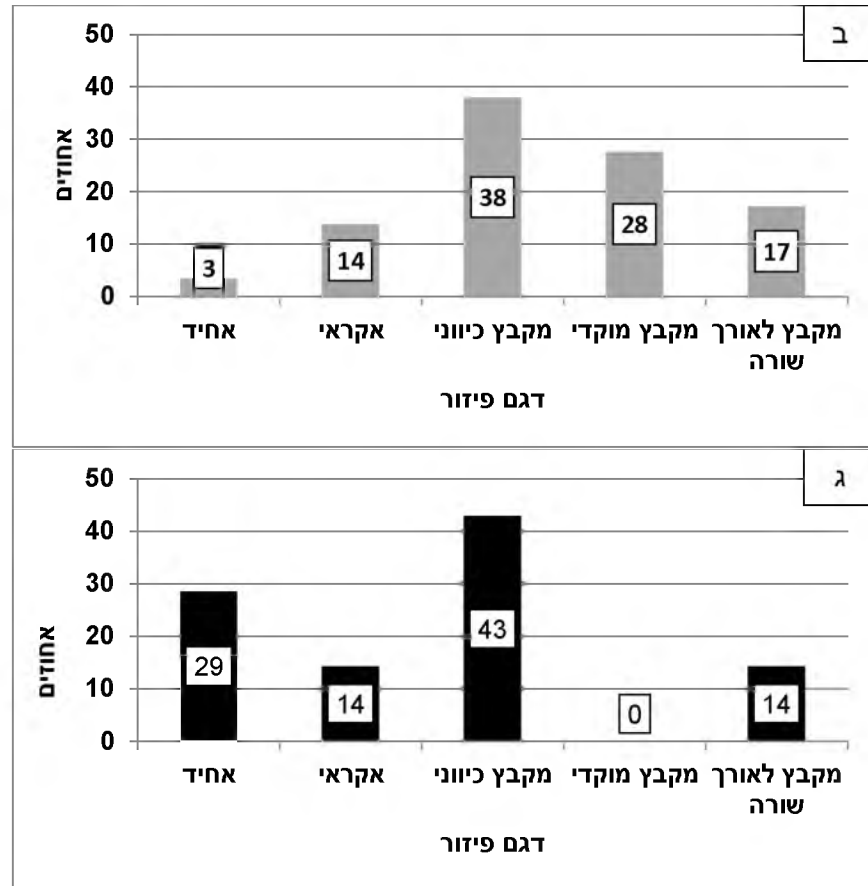
ו. מקרה פרטי של פיזור אחיד-חלקת גידול הבנויה משתי חלקות בעלות היסטוריית נגיעות שונה

התפלגות דגמי הפיזור בכלל החלקות ובחלקות ברמות נגיעות שונות (איור 16 להלן) מצביעה על שלוש נקודות חשובות המובאות כאן בתמצית ומפותחות להלן בדיון (ראה סעיף 5.2): א. דגם פיזור מרחבי של מקבצים כיווניים הינו דגם הפיזור הדומיננטי ביותר ומתקיים בקרוב ל-40 אחוזים מהחלקות הנבחנות. ב. דגם פיזור מרחבי של מקבץ מוקדי מתקיים כדגם פיזור דומיננטי רק בחלקות בעלות רמת נגיעות נמוכה עד בינונית. ג. דגם פיזור מרחבי של נגיעות כמעט אחידה ברחבי החלקה שכח יותר בחלקות בעלות רמת נגיעות בינונית עד גבוהה. להלן יסקרו תוצאות בחינת גורמים אפשריים המשפיעים על יצירת דגמי פיזור מרחבי ספציפיים.

איור 16: התפלגות שכיחות דגמי פיזור בחלקות נבחנות ברמת החלקה.
 א. התפלגות שכיחות דגמי פיזור בכלל החלקות.
 ב. התפלגות שכיחות דגמי פיזור בחלקות בנגיעות נמוכה עד בינונית.
 ג. התפלגות שכיחות דגמי פיזור בחלקות



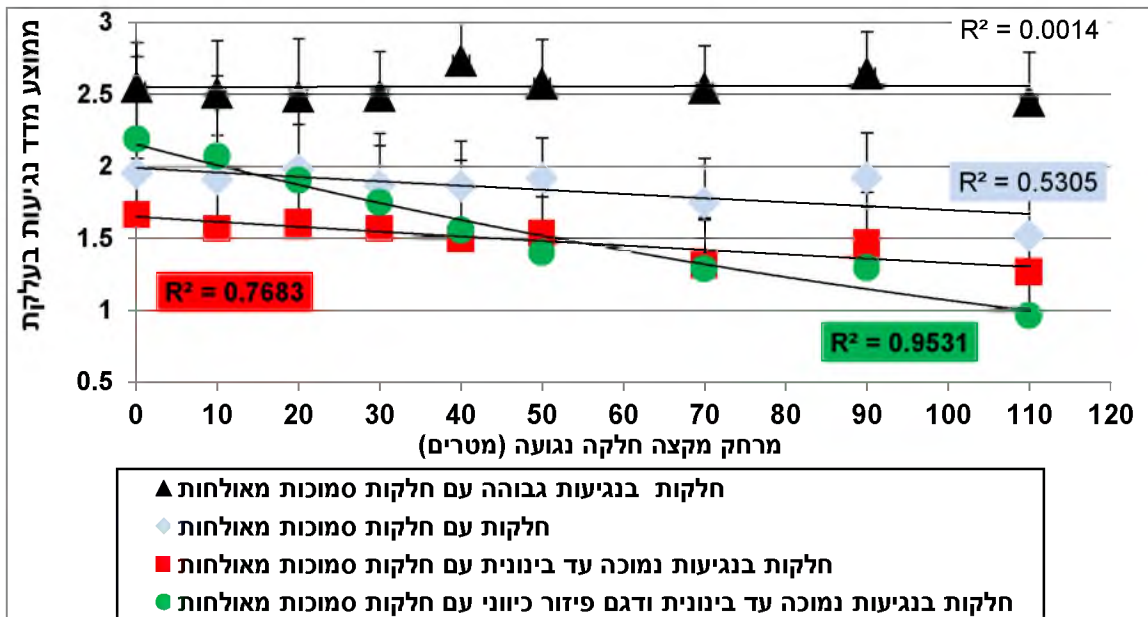
בנגיעות בינונית עד גבוהה.



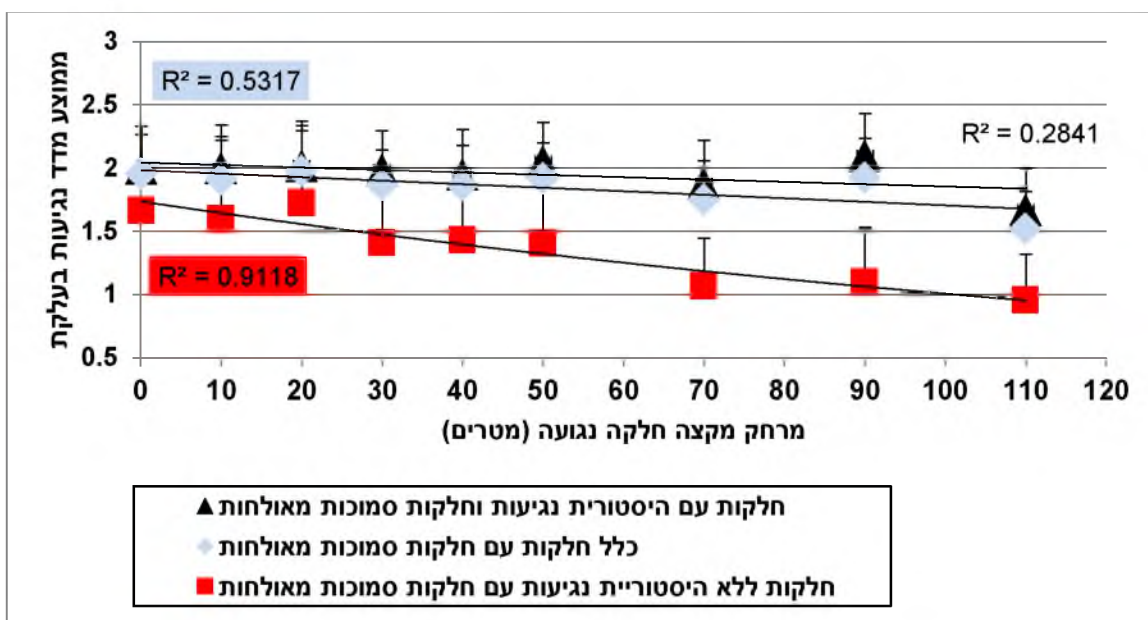
4.2.1 השפעת גורם "חלקה שכנה מאולחת" על דגם פיזור כיווני

4.2.1.1 ניתוח מרחבי-סטטיסטי עבור השפעת חלקה שכנה מאולחת

בחלקות בעלות ממוצע נגיעות בינונית ומטה בכלל החלקה (ממוצע נגיעות בחלקה הינו מדד נגיעות 2 ומטה), נמצא קשר ליניארי שלילי חזק ($R^2=0.76$, $p<0.05$, $n=21$) בין חומרת נגיעות בנקודות הדיגום לקרבה לחלקה סמוכה בעלת היסטוריית נגיעות בעלקת (כלומר, ככל שנקודות הדיגום קרובות יותר לחלקה סמוכה בעלת היסטוריית נגיעות, מדד הנגיעות בהן גבוה יותר). מתוך החלקות הללו, 9 חלקות נמצאו בעלות דגמי פיזור כיווני ומקובץ. בחלקות אלו המתאם בין מדד נגיעות למרחק מחלקה שכנה מאולחת היה חזק יותר ($R^2 = 0.95$, $p<0.05$, $n=9$) (איור 17). מכאן ניתן להסיק כי הנגיעות בחלקה סמוכה משפיעה על דגם הפיזור בחלקה. מעבר לכך, במידה ובודקים את הקשר למרחק מחלקה שכנה בחלקות ללא היסטוריית נגיעות מתקבל קשר שלילי חזק ממנו ניתן לשער (בשל מיעוט החלקות המקיים תנאים אלו) כי כאשר אין מקור פנימי לאילוח בחלקה הנבחנת, נגיעות בחלקה השכנה לחלקה הנבחנת הינה מקור משמעותי לאילוח ($R^2=0.91$, $n=6$) (איור 18).



איור 17: בחינת התפלגות נגיעות עלקת בחלקה כתלות במרחק מגבול חלקה שכנה מאולחת



איור 18: בחינת התפלגות נגיעות עלקת בחלקת הגידול כתלות במרחק מגבול חלקה שכנה מאולחת עם וללא הימצאות גורם אילוח פנימי (היסטוריית נגיעות) בחלקה הנבחנת

4.2.1.2 תוצאות ניסויים לבחינת פיזור זרעי עלקת מחלקה נגועה בזמן קטיף עג"ת

לבחינת ההשערה כי זרעי העלקת מגיעים לחלקה הנבחנת מחלקות שכנות בזמן הקטיף, בוצעו כאמור שני ניסויים, אחד בחוות עדן בעמק בית שאן והשני בחוות גד"ש בעמק החולה (ראה אודות הצבת הניסויים בפרק שיטות סעיף 3.3.1 ב'). להלן יפורטו תוצאות ניסויים אלו:

א. תוצאות ספירת זרעי עלקת במלכודות דבק עבור הניסוי בחוות עדן- ככלל, נמצא מספר זרעים מועט במלכודות הדבק, בפרט בהשוואה לפוטנציאל הפצת הזרעים ע"י מיני עלקת (לפי Gonza'lez-

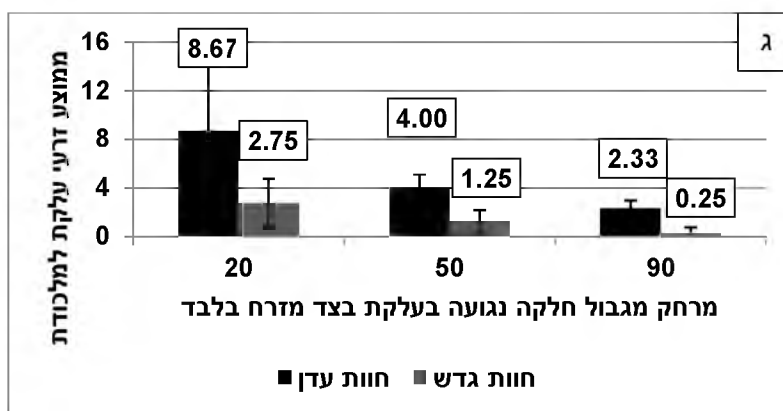
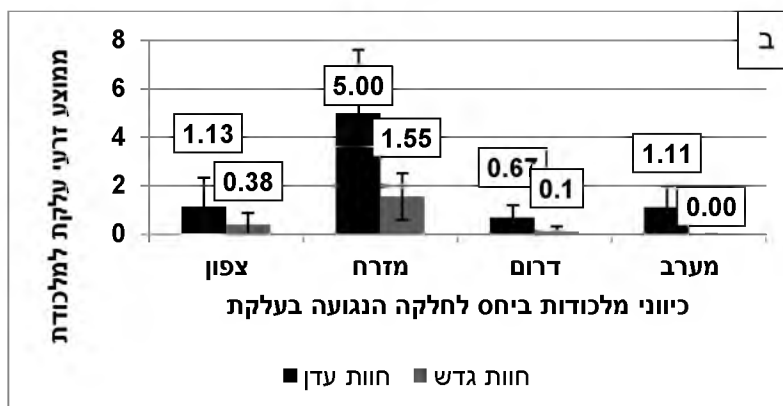
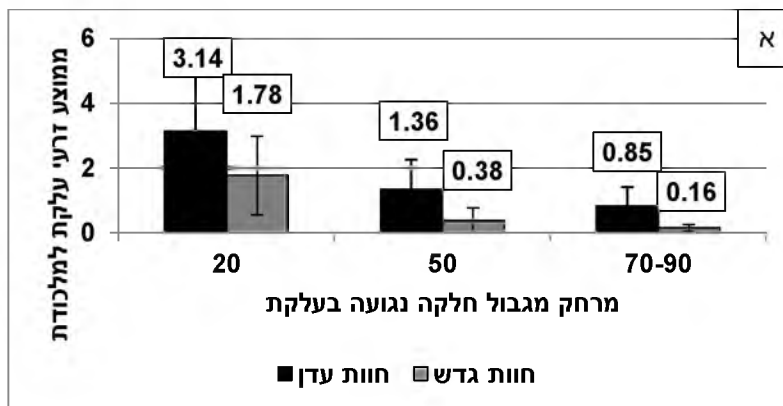
Andu'jar (2001) צמח עלקת חרוקה בודד מייצר בין 50,000 ל- 200,000 זרעים). בהקשר זה, יש להתחשב בגודלה הקטן של מלכודת הדבק (16*16 ס"מ) ביחס לגבולות החלקה הנגועה ולשטח הפיזור הפוטנציאלי (עשרות מטרים רבועים). ניתן לראות כי ישנם הפרשים במוצע הזרעים למלכודת דבק כתלות במיקומי המלכודות במרחקים שונים מחלקת העגבניות הנגועה. הפרש ממוצע הזרעים במלכודות הממוקמות במרחק 20 לשאר המרחקים מובהק ואילו ההפרש בין מרחקים 50 ו-90 אינו מובהק (איור 19א). כמו-כן נמצא כי ממוצע הזרעים למלכודת בצד מזרח גבוה ביחס לממוצע זרעים למדבקה בשאר הכיוונים (איור 19ב). תוצאה אחרונה זו תואמת בקירוב את נתוני הרוח בימי הצבת הניסוי- ניתן לראות כי ב-52% מזמן הניסוי, נשבו בחלקה רוחות מערביות וצפון מערביות (איור 20א). יתרה מכך, ניתן לראות כי מהירות הרוח (ממוצע) מכיוון מערב וצפון מערב גדולה פי שניים ויותר ממהירות הרוח בכיוונים האחרים (איור 20ב). בהשוואת ממוצע זרעים למלכודת כתלות במרחק מלכודת מגבול חלקה נגועה בצד מזרח בלבד (איור 19ג), נמצאו הבדלים מובהקים בממוצע זרעים למדבקה במרחקים השונים (3 חזרות בכל מרחק).

ב. תוצאות ספירת זרעי עלקת במלכודות דבק עבור הניסוי בחוות גז"ש- בחוות גז"ש הוצב הניסוי מספר ימים לפני קטיף העגבניות. בנוסף נערך ניטור מיקום ושעות פעילות הקומביין בזמן הקטיף. בעקבות כך התאפשר לחלק את הנתונים המטאורולוגיים לשני חלקים: נתונים מטאורולוגיים לכל תקופת הצבת הניסוי ונתונים מטאורולוגיים לזמן הקטיף בפרט. בחלקה המערבית סמוכה לחלקה הנגועה גודל תירס ומלכודות הדבק בכיוון זה הושמו בתוך גידול התירס. בתוצאות לא נמצאו זרעים במלכודות אשר מוקמו בגידול התירס, כנראה בשל חסימת הגידול את מעבר הרוח לכיוון המדבקות. לפיכך, מוצג ניתוח התפלגות זרעי עלקת במלכודות כתלות במרחק מלכודת מגבול חלקה נגועה לאחר הזנחת המלכודות שמוקמו בגידול התירס.

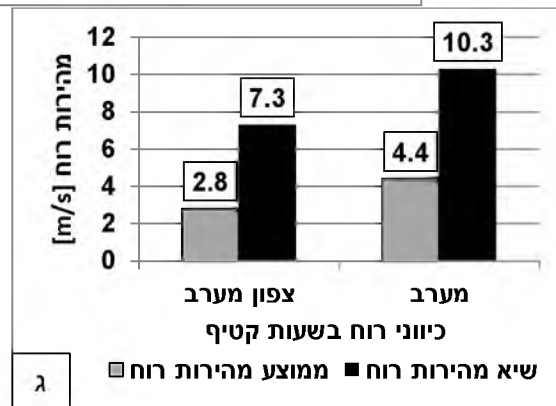
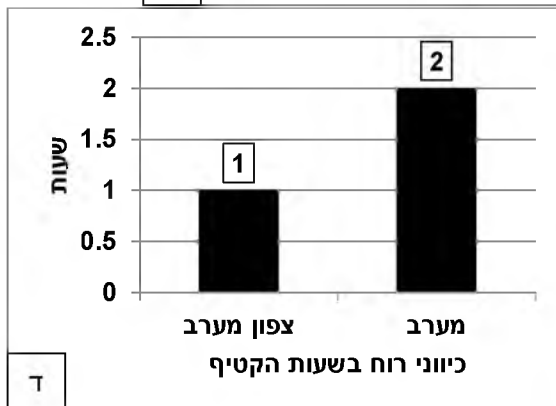
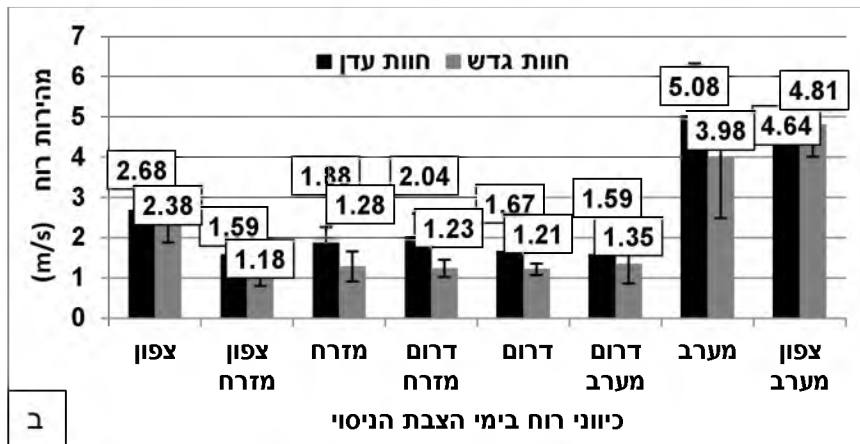
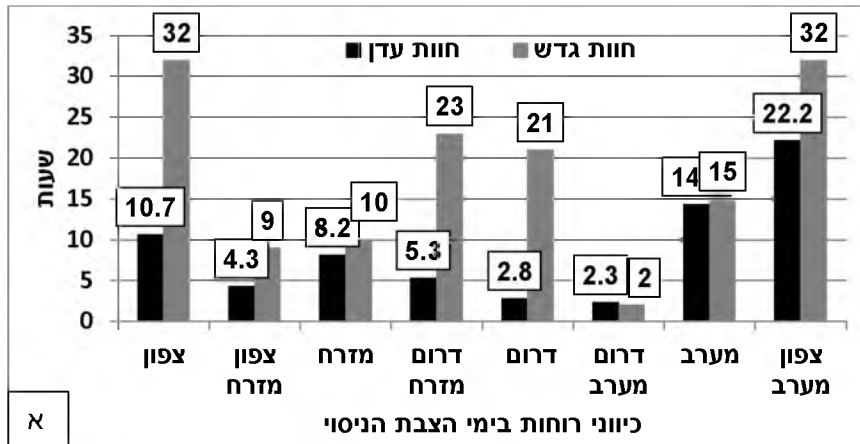
ככלל, נמצא בניסוי זה פחות זרעים במלכודות לעומת הניסוי בחוות עדן (מספר מרבי של זרעים למלכודת: 5 ו- 14 בחוות גז"ש וחוות עדן, בהתאמה) אך מגמות התוצאות אשר נראו בניסוי בחוות עדן נשמרו גם בניסוי בחוות גז"ש: נמצא הפרש מובהק במוצע הזרעים בין מלכודות הממוקמות במרחק 20 לשאר המרחקים והפרש לא מובהק בין מרחקי 50 ו- 90 (איור 19א). אף בניסוי בחוות גז"ש נמצאו יותר זרעים במלכודות הממוקמות בצד מזרח ביחס למלכודות הממוקמות בשאר כיווני החלקה (איור 19ב).

ניתוח התפלגות הנתונים המטאורולוגיים בחוות גז"ש מראה כי ב- 37% מזמן הצבת הניסוי, נשבו בחלקה רוחות מערביות וצפון מערביות ומהירותן במוצע היו בערך פי שניים ממוצע המהירות בכיוונים אחרים (איור 20א ו-ב).

התייחסות ספציפית להתפלגות הנתונים המטאורולוגיים בזמן הקטיף מראה כי בזמן הקטיף (שעתיים וחצי בין 10:00 ל- 12:30 בצהריים) נשבו בחלקה מערביות וצפון מערביות בלבד במהירות גבוהה יחסית (איור 20ג). תוצאות התפלגות הנתונים המטאורולוגיים תואמות את תוצאות התפלגות הזרעים על-פי מיקומי המלכודות בכיוונים שונים מהחלקה הנגועה.

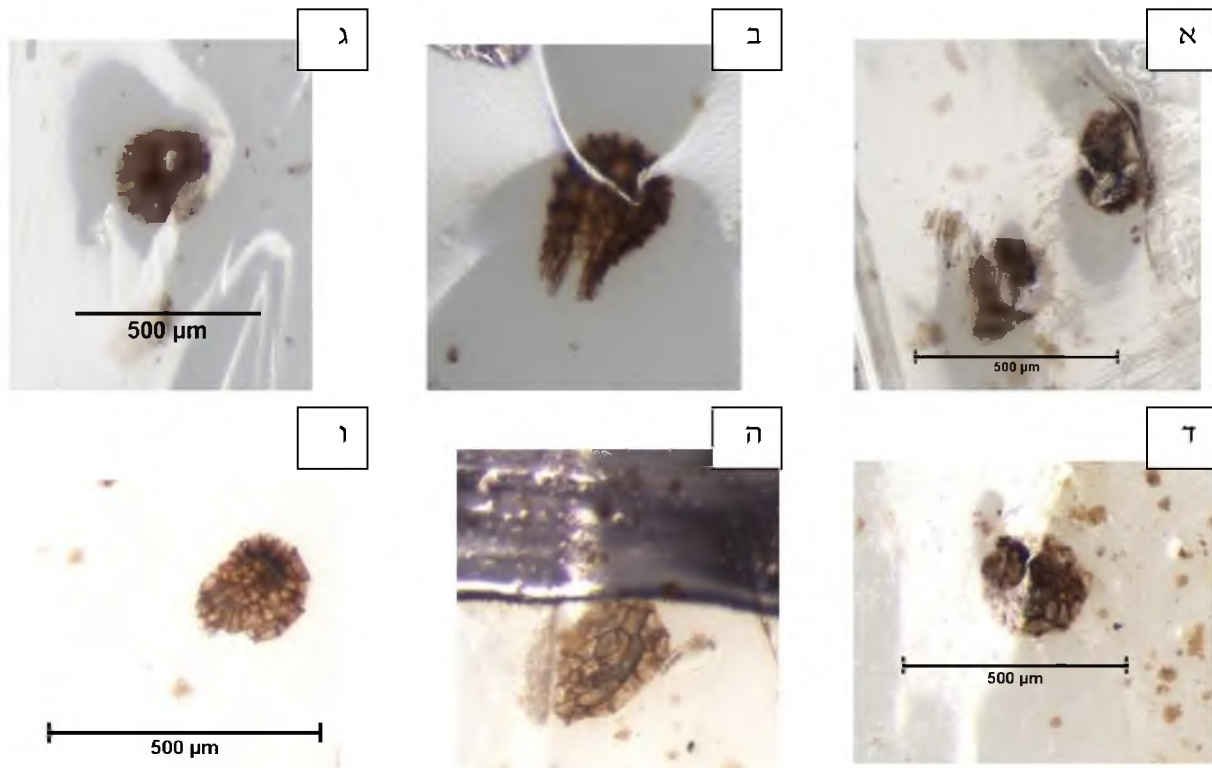


איור 19: תוצאות לכידת זרעים בניסויי שדה להערכת פוטנציאל פיזור זרעים מחלקה נגועה.
א. ממוצע זרעי עלקת במלכודת דבק כתלות במרחק מלכודת מגבול חלקה נגועה
ב. ממוצע זרעי עלקת במלכודת דבק כתלות בכיוון מלכודת מחלקה נגועה
ג. ממוצע זרעי עלקת במלכודת דבק כתלות במרחק מלכודת מגבול חלקה נגועה בצד מזרח בלבד



איור 20 : הצגת נתונים מטאורולוגיים לימי הצבת ניסויי השדה בחוות עדן (19-22.06.2012) וחוות גדש (31.07-05.08.2012).

- א. התפלגות שכיחות רוח כתלות בכיווני רוח בזמן הניסויים
 ב. התפלגות ממוצע מהירות רוח כתלות בכיווני רוח בזמן הניסויים
 ג-ד. כיווני רוח ומהירות רוח בשעות הקטיפ בלבד בחוות גדש (05.08, 10:30-12:30)

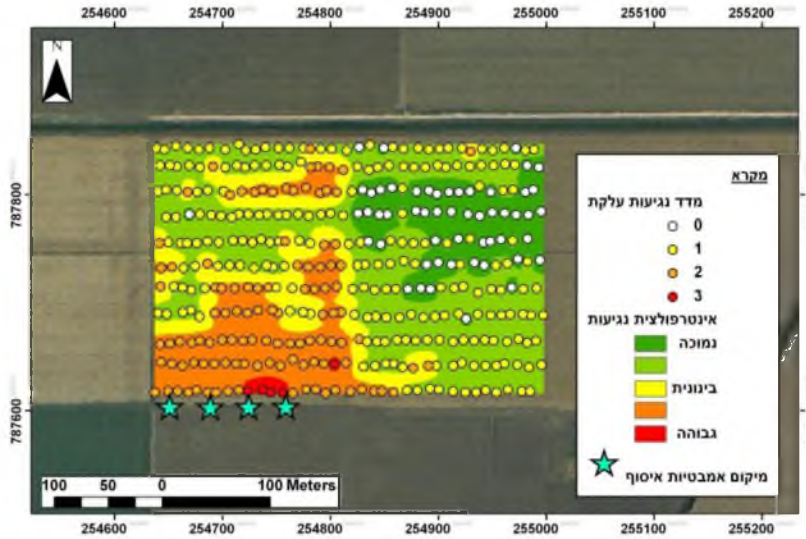


איור 21: דוגמאות לזרעי עלקת אשר נלכדו בניסויי השדה.
דוגמאות לזרעי עלקת אשר נתפסו במלכודות הממוקמות במרחקים שונים מגבול חלקה נגועה:
 א. חוות עדן, מזרח, מרחק 20, חזרה 2
 ב, ג. חוות עדן, מערב, מרחק 90, חזרות 2,3 בהתאמה
 ד, ה. חוות גד"ש, מזרח, מרחק 50 חזרות 1,2 בהתאמה
 ו. חוות גדש, מזרח, מרחק 90, חזרה 1.

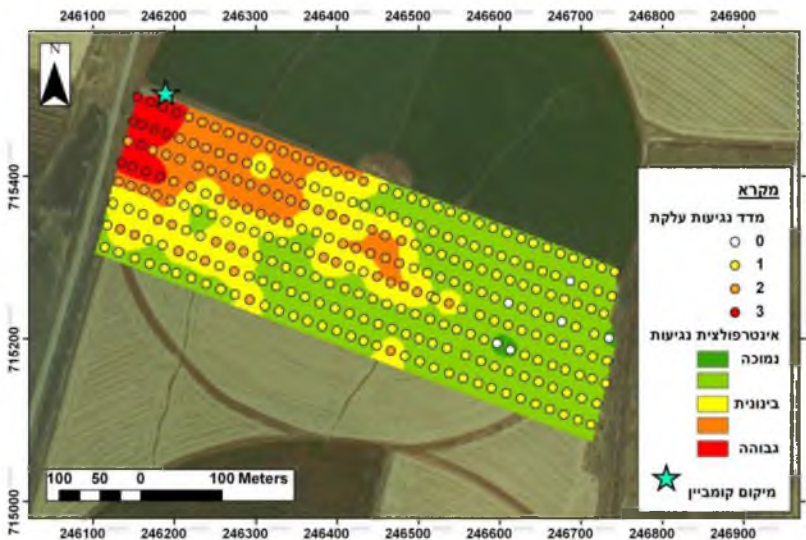
4.3 אפיון מקבצים מוקדיים

בבחינת התפלגות דגמי פיזור על-סמך ממוצע נגיעות בחלקה נמצא כי אין דגם פיזור דומיננטי של מקבץ מוקדי בחלקות בעלות ממוצע נגיעות בינונית ומעלה בכלל החלקה. דגם פיזור זה מאפיין רק חלקות בעלות נגיעות נמוכה עד בינונית (מדד נגיעות ממוצע בחלקה מתחת רמת נגיעות 2). ניתן לשער כי דגם הפיזור המוקדי מאפיין מוקד אילוח ראשוני בחלקה. עבור חלק מהחלקות בעלות דגם הפיזור של מקבץ מוקדי נמצא קשר בין מיקום מקבץ עלקת למיקום אמבטיות האיסוף מעונות גידול קודמות (איור 22א'). עבור שני מקרים נמצא קשר בין מיקום מקבץ עלקת למיקום שטיפת הקומביין (איור 22ב'). בכל אופן, אין די נתונים לבסס קשר סטטיסטי בין האירועים.

א



ב



איור 22: דוגמאות להמצאות גורמי אילוח עבור דגם פיזור מקובץ.
 א. מיקומי אמבטיות איסוף עג"ת מעונות קודמות (חוות גד"ש, חלקה 20).
 ב. נקודת שטיפת קומביין בעונת גידול קודמת (שדה נחום, צבי 3)

4.4 אפיון דגם פיזור אקראי ואחיד

מתוך כלל החלקות אשר נסקרו ברמת החלקה, נמצאו 25% מהן בעלות דגמי פיזור אחיד ואקראי (11 חלקות מתוך 43). ל- 82% מתוכן (9 חלקות מתוך 11), קיימת היסטורית נגיעות בחלקה. אין די נתונים לקביעת מובהקות סטטיסטית אך ניתן לשער כי דגם פיזור זה מאפיין התבססות עלקת בחלקה לאחר אילוח ראשוני בעונת גידול קודמת.

התפשטות עלקת בין עונות גידול פונדקאים: כאמור בשיטות, נערך ניסוי אשר כלל טיפולי אילוח מכוונים של הטמנת זרעי עלקת בכמויות שונות בחלקת הגידול לאחר הכנת מצע הזריעה עבור גידול פונדקאי חורף (בקיה) ובחינת התפשטות נגיעות העלקת בגידול פונדקאי אביב-קיץ עוקב (עג"ת).

בנוסף, נערכו תצפיות בשתי חלקות נוספות (שוקף א', גבת 307) בהן נערכה תצפית ראשונה על נגיעות עלקת בפונדקאי קיץ (עג"ת) ותצפית שנייה נערכה על נגיעות עלקת בפונדקאי חורף (שוקף א'- כוסברה, גידול עוקב לגידול עג"ת. גבת 307- גידול גזר, כשנה וחצי לאחר סיום גידול עג"ת).

4.4.1 תוצאות ניסוי התפשטות עלקת מפונדקאי חורף-אביב לפונדקאי אביב-קיץ בעונות

עוקבות

מיפוי מספר צמחי עלקת במיקום טיפולי האילוח בגידול בקיה

א. הבדלים בין הטיפולים: לא נמצא הבדל במספר צמחי העלקת בין טיפול הביקורת לטיפול 1ppm בניסוי. נמצא מספר גדול יותר של צמחי עלקת בטיפול 10ppm לעומת טיפול הביקורת וטיפול 1ppm אם כי לא באופן מובהק. נמצא הבדל מובהק בין טיפול 20ppm לשאר טיפולי הניסוי (איור 23).

ב. מגמה מרחבית של רמת הנגיעות בעלקת: נמצא מקבץ אילוח טבעי ללא קשר לטיפולים במרכז החלקה [מרכז בכיוון צפון-דרום]. (ראה נספח 8).

השוואה בין תפישות נגיעות בעלקת בעונות גידול בקיה לעונות גידול עג"ת

במיפוי עבור רמת נגיעות עלקת בבקיה נמצא כתם אילוח גדול במרכז החלקה (כיוון צפון דרום) עם נטייה לכיוון מזרח החלקה.

במיפוי הראשון עבור רמת נגיעות עלקת בעג"ת נמצא מקבץ גדול בשוליים הדרומיים של חלקת עג"ת, מקבץ קטן במרכז החלקה ומקבץ קטן בצפון החלקה. בצד המערבי הייתה נגיעות נמוכה לעומת הצד המזרחי. במיפוי השני עבור רמת נגיעות עלקת בעג"ת ניכרה נגיעות גבוהה בכל שבע השורות אשר ייצגו את הביקורת בחלקה ללא טיפול "פקעית". כמו-כן נשמר מוקד הנגיעות בדרום החלקה (ייתכן והיה תקלה ביישום טיפול ההדברה במקבץ זה).

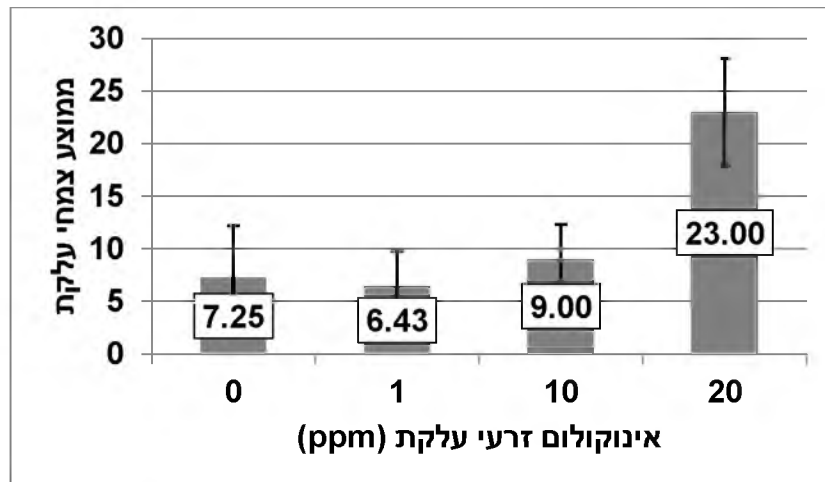
ככלל, התקבלו דגמי פיזור שונים בין גידול פונדקאי החורף (בקיה) לפונדקאי האביב קיץ (עג"ת). דגם הפיזור המרחבי של עלקת במיפוי השני בגידול עג"ת היה קשור ישירות לטיפולי ההדברה בחלקה (נגיעות חמורה במקטע הביקורת ללא טיפול "פקעית") ולא ניתן להסיק ממנו על התפשטות טבעית של נגיעות העלקת. ניתן למצוא קשר מסוים בין מקבצי הנגיעות במיפוי הראשון בגידול עג"ת לבין מיקומי המקבצים בגידול הבקיה: מקבץ נגיעות עלקת הטבעי (ללא קשר לטיפולים) בבקיה נושק מדרום למקבץ נגיעות קטן במרכז גידול עג"ת. ערכי מספר צמחי העלקת בטיפולי האילוח בבקיה היו גבוהים בצידה הדרומי של החלקה לעומת צידה הצפוני. ערכים אלו נמצאו בסמוך למיקום המקבץ הדרומי במיפוי הראשון בגידול עג"ת. (ראה נספח 8)

ניתוח תוצאות יבול עג"ת במיקומי טיפולי אילוח עלקת בגידול בקיה

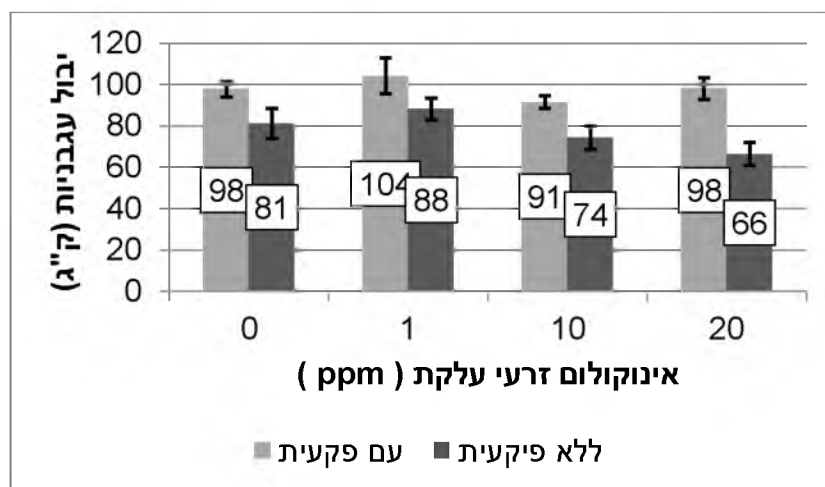
א. בצד הניסוי שטופל ב"פקעית" לא נמצא קשר בין היבול לבין טיפולי האילוח בבקיה. בצד הניסוי שלא טופל ב"פקעית" נמצא קשר שלילי בין יבול העגבנייה לטיפולי האילוח בבקיה אם כי לא קשר מובהק. (איור 24)

ב. נמצא הבדל מובהק בין יבול העגבניות תחת טיפול "פקעית" לעומת יבול העגבניות בטיפול הביקורת. (איור 24)

איור 23: בחינת ממוצע צמחי עלקת במיקומי טיפולי אילוח בבקיה.
 בחינת ממוצע צמחי עלקת צצים במיקומי טיפולי אילוח (0,1,10,20 ppm).
 הושמטו חזרות בהן התגלו תקלות בגידול הבקיה.



איור 24: בחינת יבול עג"ת במיקומי טיפולי אילוח בבקיה.
 בחינת יבול עגבניות במיקומי טיפולי אילוח בבקיה, עם וללא טיפולי הדברה על-סמך מערכת "פקעית".



4.4.2 השוואה בין דגמי פיזור מרחבי של עלקת בגידול פונדקאי חורף (כוסברה, גזר, תפ"א) לאחר גידול פונדקאי קיץ (עג"ת)

בתצפיות שנערכו בשדה אליהו, חלקה שוקף א', בה גודל פונדקאי חורף (כוסברה 9-12/2011) עוקב לגידול פונדקאי קיץ (עג"ת 2-6/2011), נמצא דמיון רב בדפוס המרחבי של נגיעות עלקת בשני הגידולים. כצפוי, כמות צמחי העלקת בפונדקאי הקיץ (עג"ת) הייתה גבוהה בסדר גודל לעומת מספר צמחי העלקת בפונדקאי החורף (כוסברה). (ראה נספח 8).

בתצפיות שנערכו בגבת, חלקה 307, בה גודל פונדקאי חורף (גזר 11/2011-3/2012) כשנה וחצי לאחר סיום גידול פונדקאי קיץ (עג"ת 3-7/2010), נמצא דמיון חלקי בין דפוסי הפיזור המרחבי של עלקת בשני הגידולים. ככלל, נגיעות העלקת בגזר הייתה נמוכה מאד (מספר צמחי עלקת מקסימאלי למשבצת דיגום-8 צמחים). ישנה סמיכות מרחבית בין מקבצי הנגיעות בעג"ת למקבצי הנגיעות בגזר. (נספח 8).

ישנה עדות נוספת לדמיון בין דפוסי פיזור מרחבי של עלקת בגידול פונדקאי חורף לאחר גידול פונדקאי קיץ: בחולתה, חלקה קונוע קטן, גודל פונדקאי חורף (תפוחי אדמה 9/2011-1/2012) כשנה

לאחר סיום גידול פונדקאי קיץ באותה חלקה (עג"ת 4-8/2010). בחלקה זו נערכה תצפית על נגיעות עלקת על גידול תפוחי אדמה בלבד, אך לפי עדות המגדל, דפוס הפיזור המרחבי של העלקת היה דומה מאד לדפוס שנמצא בגידול עג"ת כשנה קודם.

4.5 קביעת צפיפות דגימות נמוכה המאפשרת שמירה על דגם פיזור מרחבי

כאמור, נבחרו המרווחים הממוצעים בין נקודות דגימה על-סמך הטווח (range) הממוצע בגרף הסמיואריוגרם בחלקות בהן התקיימה אוטוקורלציה. המרווח המקסימאלי נבחר על-סמך חצי מהטווח הממוצע בסמיואריוגרם (מרווח בממוצע- 80 מטר) ומרווח הביניים נבחר לרבע מהטווח (מרווח ממוצע- 40). בחינת צפיפויות הדיגום נערכה על שש חלקות, כאשר שלוש חלקות מייצגות דגם פיזור כיווני ושלוש חלקות מייצגות דגם פיזור של מקבץ מוקדי. מדדי השוואה היו ערכי RMS ותצפית ויזואלית בתוצאות האינטרפולציה.

4.5.1 מדד RMS

איור 25 מציג את ממוצעי ערכי ה-RMS אשר נמצאו עבור רמות הצפיפויות השונות ודגמי הפיזור השונים (מקבץ כיווני ומקבץ מוקדי). אין אפשרות להתייחס לערכיו המוחלטים של מדד ה-RMS משום שהניתוח הגיאוסטטיטי ניתח ערכים אורדינאליים ולא רציפים. ניתן לראות מגמות בממוצעי ערכי ה-RMS עבור צפיפויות דיגום משתנות. נמצאה עליה ברורה בערכי RMS ככל שמרווחי הדגימות מתרחבים וצפיפות הדגימה יורדת בהתאם. עבור צפיפות הדגימות המקורית (מרווח דגימות ממוצע- 25 מ') התקבל RMS ממוצע של 0.35. עבור צפיפות דגימות בינונית (מרווח דגימות ממוצע- 40 מ') התקבל RMS ממוצע של 0.46 ועבור צפיפות הדגימות הנמוכה (מרווח דגימות ממוצע- 80 מ') התקבל RMS ממוצע של 0.58. באופן עקבי, בחינת שלושת צפיפויות הדיגום הראתה כי בשלוש החלקות בעלות דגם הפיזור של מקבץ כיווני ערכי RMS נמוכים לעומת שלוש החלקות בעלות דגם הפיזור של מקבץ מוקדי.

בצפיפות דיגום נמוכה תחת פיזור דגימות מכוון (מספר רב של דגימות סמוך לגבולות החלקה ומספר נמוך של דגימות במרכזה) נמצאה ירידה בערכי ה-RMS בכל החלקות למעט חלקת אחת (יפעת, חלקת קישון1) הירידה בערכי ה-RMS הייתה משמעותית יותר בחלקות בעלות דגם פיזור של מקבץ מוקדי (ירידה מ-0.6 ל-0.49).

4.5.2 ניתוח ויזואלי של תוצאות האינטרפולציה

דגמי פיזור כיווניים

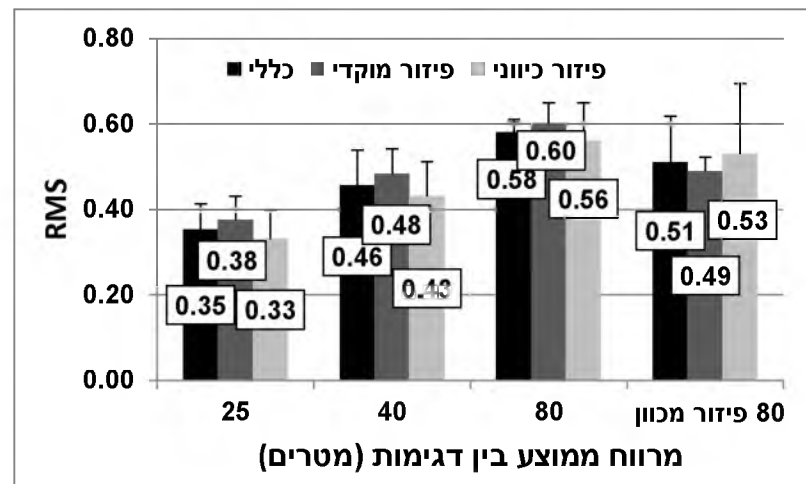
ככלל, דגם הפיזור הכיווני נשמר בשלוש החלקות גם תחת צפיפות הדיגום הנמוכה ביותר. עם זאת, עומק התפשטות המקבץ הכיווני לתוך החלקה פחת בתצוגות האינטרפולציה ככל שהאינטרפולציה נבנתה על סמך מספר נמוך יותר של דגימות (צפיפות דגימות נמוכה). בנוסף, מקבצי נגיעות קטנים אשר לא היו קשורים למקבץ הנגיעות העיקרי, נעלמו בתצוגות האינטרפולציה על-סמך צפיפות דגימות נמוכה (התופעה בולטת בחלקות שוקף א' וקישון 1-ראו נספח 9).

דגמי פיזור מקובצים

ככלל, ניכרה רגישות גבוהה יותר לשינויים מרחביים במקבצים המוקדניים עקב שינוי צפיפות הדגימה לעומת מקבצי הנגיעות הכיווניים. בצפיפות דגימות בינונית נשמרו בכל שלוש החלקות מיקום מקבץ הנגיעות העיקרי ודרגת החומרה שלו.

בצפיפות דגימות נמוכה חלו שינויים בהתפשטות המקבצים ובדרגת חומרת הנגיעות לעיתים "ליטובה" (ירידה בהתפשטות וברמת נגיעות עלקת בתצוגת האינטרפולציה) ולעיתים "לרעה" (עלייה בהתפשטות וברמת נגיעות עלקת בתצוגת האינטרפולציה): בחלקת אבלק דרום ישנה ירידה בגודל המקבץ ובדרגת החומרה שלו, במה 4 מזרח ישנה ירידה ברמת הנגיעות של המקבץ העיקרי אך עלייה בהתפשטות מקבץ אחר הקיים בחלקה. בחוות גדיש 20 ישנה עלייה בהתפשטות ובחומרת הנגיעות במקבץ הנגיעות העיקרי והיעלמות מקבץ קטן הקיים במרכז החלקה (נספח 9).

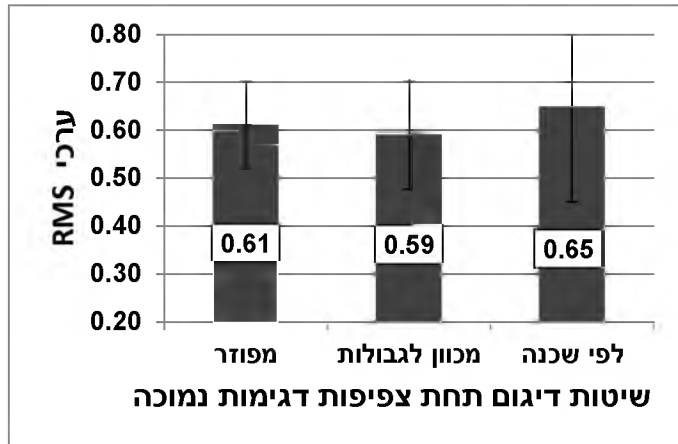
איור 25: בחינת ערכי RMS כתלות בצפיפויות דיגום שונות
בחינת ערכי שגיאה ריבועית [RMS] עבור שש חלקות (שלוש חלקות בעלות דגם פיזור כיווני ושלוש חלקות בעלות דגם פיזור מקובץ) כתלות בצפיפות דיגום גבוהה (מרווח דגימה-25 מ.) בינונית (מרווח דגימה-40 מ.) ונמוכה (מרווח דגימה-80 מ.).



4.6 השוואה בין שיטות דיגום שונות בצפיפות דגימות נמוכה

4.6.1 מדד RMS

תוצאות השגיאה הכללית באינטרפולציה (RMS) לא הראו העדפה מובהקת לאחת משיטות הדיגום (איור 26). עם זאת, ערך RMS הנמוך ביותר נמצא בשיטת דיגום צפוף לסמוך לגבולות החלקה וערך RMS הגבוה ביותר נמצא בשיטת דיגום צפוף בגבול חלקה הסמוך לחלקה שכנה מאולחת.



איור 26: השוואת ערכי RMS עבור שלוש שיטות דיגום בצפיפות דיגום נמוכה.

4.7 "עץ קבלת החלטות" עבור הערכת נגיעות עלקת ובחירת שיטת דיגום

4.7.1 פיתוח מערכת קבלת החלטות

איור 27 מציג תרשים זרימה של "עץ קבלת החלטות" מבחירת חלקת הגידול ועד בחירת שיטת הניטור/הטיפול המתאימה לה. פיתוח מערכת קבלת החלטות התבסס על תוצאות הגורמים המשפיעים במובהק על חומרת הנגיעות. כאמור, נמצאו שלושה גורמים עיקריים המשפיעים על חומרת הנגיעות: היסטוריית נגיעות עלקת בחלקה וגידול עג"ת במחזור הגידולים מעלים את חומרת הנגיעות. לעומת זאת, גידול עג"ת באזור עמק החולה הפחית את ממוצע חומרת הנגיעות בכלל החלקות. ניתן לשער כי הסיבה לפחיתות הנגיעות באזור זה נובעת מהכנסה מאוחרת של גידול עג"ת לאזור זה (משנות ה-2000 ואילך) לעומת שאר אזורי הגידול (שאול גרף, קשר אישי).

4.7.2 תוצרי מערכת קבלת החלטות

הפעולות האפשריות על-סמך מערכת קבלת החלטות הינן:

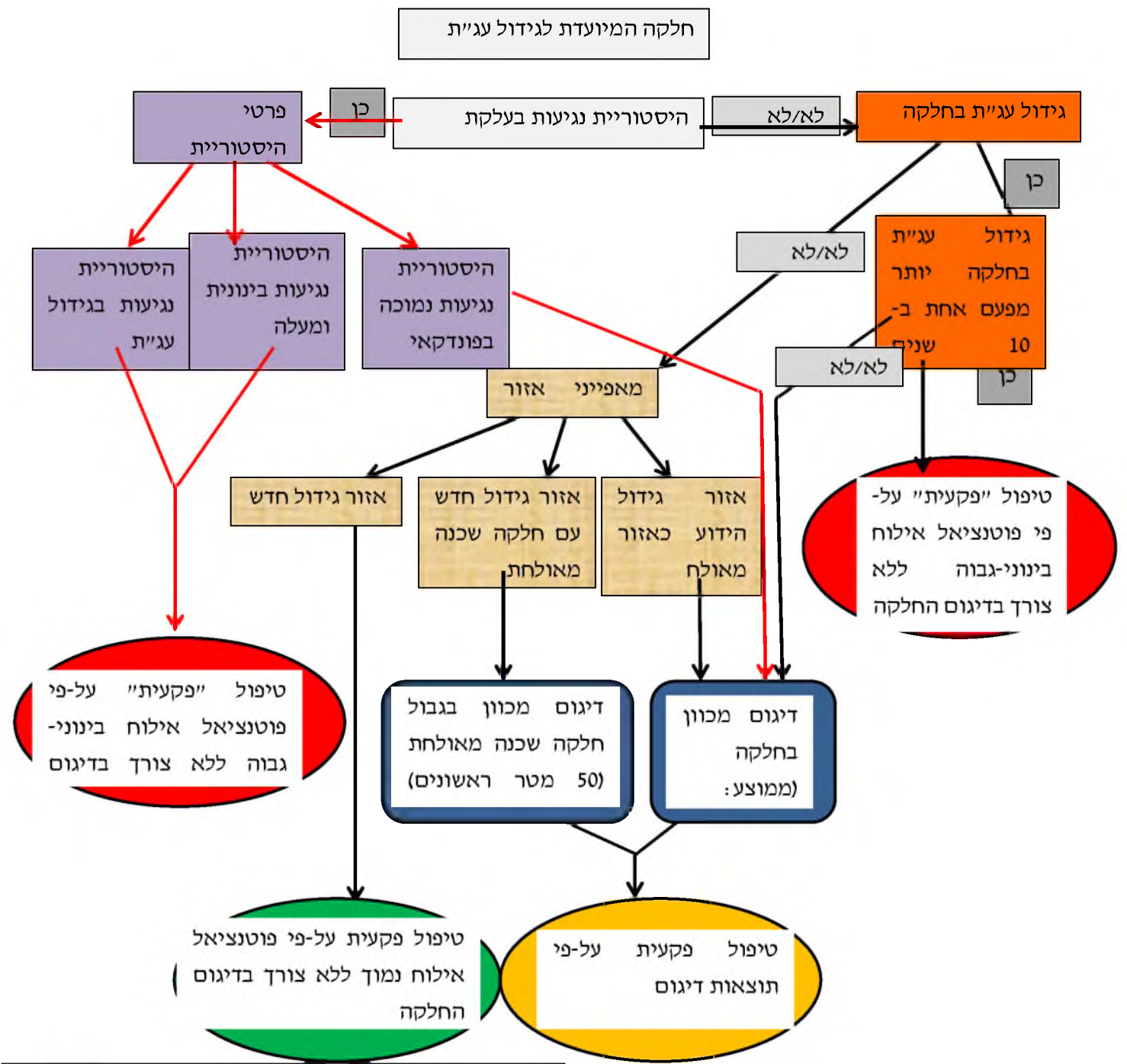
- א. יישום ממשק הדברה לפי המלצות "פקעית" ללא דיגום על-סמך פוטנציאל אילוח בינוני עד גבוה או נמוך עד ללא אילוח כלל.
- ב. בחירת אחת משיטות הדיגום- דיגום מכון (ממוצע: דגימה ל-4 דונם) או דיגום מכון בגבול חלקה סמוך לחלקה מאולחת ודיגום מפוזר בשאר החלקה. יישום ממשק הדברה לפי המלצות "פקעית" על-סמך תוצאות הדיגום.

4.7.3 הצגת אפשרויות מערכת קבלת החלטות המובילות לפעולות דיגום וממשק הדברה

שונות

- א. שילוב של גורמי האילוח העיקריים או אפשרות להשפעה חמורה של אחד הגורמים יוביל ליישום ממשק הדברה לפי המלצות "פקעית" עבור פוטנציאל אילוח בינוני עד גבוה (ח. אייזנברג וחוב', 2008). אפשרויות הסכימה למקרה זה הן כדלקמן: I המצאות היסטוריית נגיעות וגידול עג"ת במחזור הגידול באותה חלקת גידול. II היסטוריית נגיעות בינונית עד גבוהה בחלקת הגידול. III גידול עג"ת יותר מפעם אחת במחזור הגידול בחלקה ב-10 השנים האחרונות.

- ב. גידול עג"ת באזור גידול חדש ללא היסטוריית נגיעות יוביל ליישום ממשק הדברה לפי המלצות "פקעית" עבור פוטנציאל אילוח נמוך או ללא אילוח כלל (ח. אייזנברג וחוב', 2008).
- ג. המצאות גורם אילוח בודד או גידול באזור גידול ותיק לגידולי עג"ת יוביל לפעילות דיגום מכוון ויישום ממשק הדברה לפי המלצות "פקעית" לאור תוצאות הדיגום.
- אפשרויות הסכימה הן כדלקמן: I המצאות עג"ת פעם אחת במחזור הגידולים ב-10 שנים האחרונות ללא היסטוריית נגיעות. II היסטוריית נגיעות נמוכה בגידול פונדקאי שאינו עג"ת. III חלקת גידול הממוקמת באזור גידול ותיק בעל הסתברות גבוהה להמצאות בנק זרעי עלקת בקרקע.
- ד. המצאות חלקת גידול ללא היסטוריית נגיעות או גידול עג"ת במחזור הגידול ומיקום החלקה באזור גידול חדש אך עם חלקה סמוכה בעלת היסטוריית נגיעות. במקרה זה, הפעולה המומלצת הינה דיגום מכוון בגבול החלקה המאולחת ודיגום מפוזר בשאר החלקה. יישום ממשק ההדברה לפי המלצות "פקעית" התבצע לאור תוצאות הדיגום. (ראה תרשים זרימה של מערכת קבלת ההחלטות באיור 27 להלן).



שיטת דיגום מומלצת
 טיפול מערכת פקעית לפי פוטנציאל האילוח החזוי
 מערכת החלטות עבור חלקות עם היסטוריית נגיעות
 מערכת החלטות עבור חלקות ללא היסטוריית נגיעות

מקרא
 צומת החלטה הקשור בגורם גידול עג"ת
 צומת החלטות הקשור לגורם היסטוריית נגיעות בעלקת
 צומת החלטות הקשור לגורם אזור הגידול

איור 27: "עץ קבלת החלטות" לבחירת פעולת הדברה וניטור עלקת בחלקת גידול.

5.1 איתור גורמים לשונות בחומרת נגיעות עלקת

תוצאות מבחני χ^2 עבור גורמים המשפיעים על חומרת נגיעות עלקת בחלקות הגידול מוכיחות כי ישנם שני גורמים עיקריים המשפיעים על העלאת חומרת נגיעות עלקת:

א. הגורם "היסטוריית נגיעות עלקת בחלקה" ($n=52$, $\alpha = 3 \cdot 10^{-7}$) (איור 10).

ב. גידול עג"ת במחזור הגידולים בחלקה ב-10 שנים האחרונות ($n=66$, $\alpha = 2 \cdot 10^{-6}$) (איור 11).

5.1.1 היסטוריית נגיעות עלקת בחלקה

השפעת גורם זה ידועה מהספרות עבור עלקת חרוקה (L'opez-Granados et al., 1993b, 1997) ומקובלת גם על העוסקים בהדברת עלקת מצרית (חנן אייזנברג, קשר אישי). בהנחה כי אחוז הזרעים הגדלים לתפרחות עלקת הצצים על-פני הקרקע תואם בקירוב לאחוז הידוע (0.009) עבור עלקת חרוקה (L'opez-Granados et al., 1993a), מעידה המצאות צמחי עלקת בהיסטוריית הגידולים בחלקת הגידול על בנק זרעי עלקת אדיר הקיים בחלקה. מבנק זרעים זה עלולים לנבט זרעים כאשר מתקיימים התנאים המתאימים (גידול פונדקאי, תנאי טמפרטורה ולחות). יש לזכור כי הק"ע המקובלים להדברת עלקת בגידולים השונים פוגעים אך בזרעים אשר הצליחו להיטפל לצינורות ההובלה של הגידול הפונדקאי ולא בכלל הזרעים בקרקע. לפיכך, השפעת ק"ע הללו על כלל הזרעים בבנק הזרעים הינה זניחה.

5.1.2 המצאות עג"ת במחזור הגידולים ב-10 שנים האחרונות

השפעתו החזקה של גורם זה מפתיעה, זאת במיוחד עקב תוצאות ההשפעה של פונדקאים אחרים (חמנייה, חימצה, סוככיים) (איור 12), אשר להם לא נמצאה השפעה מובהקת להעלאת חומרת הנגיעות. ההשפעה הספציפית של עג"ת על העלאת חומרת הנגיעות אינה ידועה מהספרות אך מקובלת על חלק מהחוקרים והמדריכים (שאול גרף, קשר אישי). התאמת טפילות עלקת מצרית לעג"ת גבוהה יחסית (ח.אייזנברג, קשר אישי). בנוסף, ניתן לשער על-סמך עדויות מגדלים ומספר קטן של התייחסויות בסקר האזורי, כי המיכון החקלאי הנלווה (בדגש על קומביין ואמבטיות איסוף) לממשק גידול עג"ת גורם להתפשטות העלקת בתוך החלקה ולאילוח חלקות חדשות. על-פי עדויות מדריכי הענף (יפתח גלעדי, שאול גרף, קשר אישי), הכנסת גידול עג"ת לאזורי גידול חדשים גרמה להחמרה בנגיעות העלקת באזורים אלו (הכנסת עג"ת לעמק בית שאן בשנות ה-90, הכנסת עג"ת לאזור עמק החולה בשנות ה-2000)

באזור עמק החולה הראו תוצאות מבחני χ^2 השפעה מובהקת לירידה בחומרת נגיעות עלקת בחלקות. ניתן להניח כי תוצאה זו קשורה לעובדה כי לאזור זה נכנס גידול עג"ת רק משנות ה-2000.

5.1.3 חוסר פונדקאים בחלקת הגידול

העובדה כי גורם "ללא גידולים פונדקאיים במחזור גידול משנת 2000 ואילך" לא השפיע במובהק על ירידה בחומרת הנגיעות במבחן χ^2 מפתיעה ודורשת הסבר. החלקות אשר הוצגו כחסרות גידולים פונדקאיים נבחנו בשתי צורות התייחסות: א. חלקות בהן לא נמצאו גידולים פונדקאיים במחזור

הגידול משנת 2000 ואילך (איור 13). נמצאו 31 חלקות בעלות גורם זה. הסתברות מבחן χ^2 עבור השפעת גורם זה לא הייתה מובהקת אך הייתה קרובה מאד לכך ($\alpha = 0.067$). עם זאת, רבע מחלקות אלו תוארו בסקר האזורי כבעלות נגיעות בינונית. **ב.** חלקות בהן הוערך כי לא גודלו בהן גידולים פונדקאיים לאורך תקופה ארוכה מאד (בסביבות 20 שנה ומעלה). הערכה זו נבעה מהמצאות פרדס או גידולי פלחה ללא תשתית מים לגידול שלחין בחלקת הגידול קודם לגידול עג"ת בעונות הסקר האזורי. נמצאו שמונה חלקות העונות למאפיינים אלו (הנתונים לא מוצגים). כל החלקות העונות למאפיינים אלו נמצאו באזורי גידול ותיקים לגידול עג"ת (עמק בית שאן, עמק יזרעאל מזרח). חלקה אחת מתוך השמונה אופיינה כחסרת נגיעות ושבע החלקות האחרות אופיינו כבעלות נגיעות נמוכה בסקר האזורי. ניתן לשער שתי השערות בעקבות תוצאות אלו: **א.** זרעי העלוקת ידועים בחיוניותם רבת השנים. זרעי עלוקת נותרו חיוניים בתנאי מעבדה במשך 15 שנה. בנוסף ישנן עדויות שלא פורסמו על השתמרות חיוניות זרעים במשך 30 שנה (Goldwasser *et al.*, 2003). ייתכן כי אין די בהיסטוריית גידולים ונגיעות עלוקת במהלך 10 שנים להערכת פוטנציאל אילוח. **ב.** קיימת תפוצת זרעי עלוקת מחלקות סמוכות מאולחות, כלי עיבוד וקומביין קטיפי העוברים בגבולות החלקה לתוך חלקת גידול "נקייה" מזרעי עלוקת. לפיכך, יש להתייחס באזורי גידול ותיקים בגידול עג"ת לכלל החלקות כבעלות פוטנציאל אילוח נמוך לכל הפחות.

סביר להניח כי שתי ההשערות נכונות ואין דרך לבדוק את יחסי ההשפעה בין שתיהן. מכיוון שאין אפשרות לגזור פעולות ממשק הדברה מההשערה הראשונה (במרבית החלקות אין תיעוד על היסטוריית גידולים והיסטוריית נגיעות מעבר ל-10 שנים) התייחסות המחקר התמקדה בהשערה השנייה. גזירת פעולת ממשק הדברה מהשערה זו התקיימה ע"י נתינת משקל רב למאפייני אזור הגידול בבחירת פעולת הדיגום וממשק ההדברה הרצוי (ראה פרק תוצאות, סעיף 4.7).

5.2 אפיון דגמי פיזור מרחבי של נגיעות עלוקת ואיתור גורמים לדגמי הפיזור השונים

חשוב לציין כי עבודה זו ייחודית בהיקף מספר החלקות הממופות ובבחירתה ליצור מפת נגיעות עלוקת עבור חלקות שלמות. מחקרים אשר עסקו במיפוי עשבים במטרה לאפיין את דגם התפשטות או אופי פיזור עשבים בשדה בחרו שטח מחקר קטן מכלל החלקה (בין 10 ל-20 דונם) בחלקה בודדת או במספר חלקות קטן בהן הם ביצעו מיפוי בצפיפות גבוהה מאוד (ממוצע משבצות דגימה של 6 מ"ר) (Jurado-Exposito *et al.*, 2009 ; Rew *et al.*, 2001). לפיכך נראה כי יכולת מחקרים אלו להסיק מסקנות עבור דגם פיזור מרחבי של עשבים בכלל החלקה מוגבלת. בהקשר זה, בולטים מחקריהם של Lopez-Granados (1993b) ו-Gonza'lez-Andu'jar (2001) אודות פיזור מרחבי של עלוקת חרוקה. החוקרים בחרו לאפיין את דגם הפיזור על סמך שטח ניסוי קטן במיוחד מכלל החלקה (0.8 עד 2.5 דונם).

לעומת זאת, במחקר זה בוצעה דגימה צפופה מאוד ב-43 חלקות בשלוש עונות גידול. זהו בסיס הנתונים המקיף ביותר שנעשה עד כה בתחום זה וככזה מאפשר להגיע לתובנות מבוססות. עבור כלל החלקות אשר מופו בקנה-מידה של החלקה (43 חלקות) נמצאו חמישה דגמי פיזור: **א.** מקבצים מוקדיים; **ב.** מקבצים מאורכים לאורך שורות הגידול; **ג.** מקבצים כיווניים; **ד.** פיזור אקראי; **ה.** פיזור אחיד.

בניתוח ויזואלי (ראה נספח 3) ניתן לראות כי בכל דגמי הפיזור, רמת הנגיעות החמורה המאפיינת את מקבץ הנגיעות מתחילה מאחד מגבולות החלקה (בטווח של 30 מטר מגבול חלקה). הערכה ויזואלית זו הביאה להנחה כי במרבית המקרים מגיע גורם האילוח הראשוני (אינוקולום) ממקור חיצוני לחלקה ובמהלך הזמן מתפשט לאורך החלקה. הנחה זו מקובלת במחקרים אודות תפישות עשבים במערכות חקלאיות (Cousens and Mortimer, 1995a) ומחוזקת בספרות המחקר העוסקת באיתור עשבים פולשים בשמורות טבע. (Maxwell *et al.*, 2012 Rew *et al.*, 2006) בשני המחקרים הללו ירדה שכיחות העשבים ככל שגדל המרחק מכבישי השמורה (המייצגים גורם אילוח חיצוני לשמורה). עם זאת, במחקר זה, בחינת מתאם בין מרחק מגבולות החלקה לחומרת נגיעות לא העלתה מתאם חיובי. יש לשער כי גבולות החלקה שאינם כלולים במקבץ ממסכים את תחילת המקבץ באחד מגבולות החלקה.

גורם נוסף אשר נבחן הינו המצאות חלקה שכנה מאולחת באחת מגבולות החלקה. נבחן מתאם בין מרחק מגבול החלקה הסמוך לחלקה המאולחת להתפלגות חומרת הנגיעות. עבור כלל החלקות לא נמצא מתאם גבוה בין מרחק מחלקה שכנה מאולחת להתפלגות חומרת הנגיעות בחלקה. הסיבה לכך הינה המצאות חלקות בעלות נגיעות בינונית עד גבוהה, בהן קיימת נגיעות גבוהה במרחק רב מגבול החלקה. בהתייחסות בנפרד לחלקות בעלות נגיעות בינונית ומטה נמצא מתאם חיובי בין קרבה לחלקה שכנה מאולחת לחומרת נגיעות (איור 17).

5.2.1 מקבצים כיווניים

שכיחות דגם זה (37%) הייתה הגבוהה ביותר מבין דגמי הפיזור אשר אופיינו ברמת החלקה. דגם פיזור זה ידוע בספרות עבור מיני עשב רבים (Cousens and Mortimer, 1995a), אם כי ברוב המחקרים אין התייחסות לגורמים לדגם פיזור זה ועיקר המאמץ מופנה להשלכות מציאת דגם הפיזור על יישום ק"ע או הערכות אבדן יבול.

התפלגות הנגיעות האופיינית לדגם זה הינה התפלגות אקספוננציאלית שלילית. במחקרים שונים התייחסו להתפלגות זו כהתפלגות נורמאלית של תפישות עשבים בחלקה ולחריגה מהתפלגות זו כמאפיינת את רמת האגריגציה של תפישות העשב בחלקה (Johnson *et al.*, 1996). במחקרים בהם ידוע מקור האילוח, נעשה שימוש בהערכת תפישות העשבים בהתפלגות זו לקביעת שיטת ניטור עשבים היעילה ביותר להערכה נכונה של שכיחות העשב בשטח הניסוי (Rew *et al.*, 2006).

במחקר זה, הועלתה השערה, לפיה מקור האילוח של מקבצים כיווניים הינו חלקה סמוכה בעלת היסטוריית נגיעות עלקת. נמצא מתאם חיובי ($n=9$, $R^2=0.95$) בין חומרת הנגיעות בעלקת לקרבה לחלקה סמוכה מאולחת. התפלגות הנגיעות הייתה אקפוננציאלית שלילית כמצופה. עם זאת, נמצאו שתי "קפיצות" בירידה בחומרת הנגיעות כתלות במרחק מחלקה שכנה מאולחת: במרחק 20 ו-50 מטר מגבול החלקה הנבחנת.

כאמור, דגם פיזור זה היה הדומיננטי מבין דגמי הפיזור (16 חלקות אשר מהוות 37% מכלל החלקות הממופות) אך לא התקיים תמיד בנוכחות חלקה שכנה מאולחת (בהמצאות חלקה שכנה עלתה שכיחות דגם פיזור זה ל-43%).

הניסויים לבחינת פוטנציאל פיזור הזרעים באו לשם בחינה אמפירית של תוצאות הניתוח של מאגר החלקות הממופות. בתוצאות הניתוח נמצא מתאם חיובי בין קרבה לחלקה שכנה מאולחת בזרעי עלקת להתפלגות חומרת הנגיעות בחלקה נבחנת.

בצמד הניסויים נמצאו מגמות דומות, אשר בחלקן חיזקו את תוצאות ניתוח מאגר החלקות:

א. נמצאה עליה מובהקת במוצע הזרעים אשר נלכדו במלכודות הממוקמות במרחק 20 מטר מגבול החלקה לעומת ממוצע הזרעים במלכודות במרחק 50 ו-90 מטר מגבול החלקה הנגועה. לעומת זאת, לא נמצא הבדל מובהק במוצע הזרעים בין מלכודות במרחק 50 למלכודות במרחק 90 מטר מהחלקה הנגועה. זאת למרות הבדל גדול בהתפלגות הנגיעות בין מרחקים אלו (50 ו-90) בניתוח מאגר החלקות הממופות. תוצאות אלו אינן עומדות בסתירה לממצאיו של Oveisi (2010) המצביעים על פיזור עיקרי של זרעים סביב צמח האם. בעקבות כמות הזרעים האדירה, אותה מייצר צמח בודד, אף אחוז זניח של זרעים הנישא ע"י הרוח יכול לקיים אוכלוסייה חדשה של צמחי עלקת.

ב. נמצאה קורלציה ברורה בין כיווני משבי רוח דומיננטיים (הן בשכיחות והן במהירות הרוח) לנוכחות זרעים במלכודות הממוקמות בחזית לכיווני רוח אלו. בשני הניסויים נמצאו יותר זרעים במלכודות הממוקמות בצד מזרח של החלקה נגועה לעומת מלכודות הממוקמות בצדי החלקה השונים. תוצאה זו תואמת את הנתונים המטאורולוגיים, בהם נמצא כי במהלך היום נשבו בשני אזורי הניסויים רוחות מערביות וצפון מערביות עזות (ממוצע מהירות (m/s) : חוות עדן- 4.86 חוות גד"ש- 4.39). בחוות גד"ש התאפשר לבחון את כיוון הרוחות ומהירותן בזמן הקטיף בפרט. נמצא כי בשעתיים בה התבצע הקטיף, נשבו באזור החלקה רוחות מערביות וצפון מערביות בלבד.

תוצאות הניסוי בחוות גד"ש מחזקות את ההנחה כי עיקר פיזור זרעי העלקת מחוץ לגבולות החלקה מתרחש בזמן קטיף העגבניות. הנחה זו נתמכת בספרות במספר מחקרים העוסקים בפוטנציאל פיזור הזרעים של הקומביין (Mccanny *et al.*, 1988) (Bunce *et al.*, 1990). בנוסף מסבירה הנחת פיזור עיקרי ע"י קומביין את הסתירה בין תוצאות ניסויים אלו לתוצאות מחקריהם של Ghersa (1993) (מחקרו עסק בפיזור זרעי דורת ארס צובא בגידול תירס) ושל Berner (1994) (מחקרו עסק בפיזור זרעי סטריגה בגידול סורגום). בשני מחקרים אלו הגיע פיזור הזרעים ע"י רוח למרחק של מטרים ספורים. בשני המחקרים ייצגה תקופת הצבת הניסוי את עונת הגידול ולא את זמן הקטיף. בשני המחקרים, בוצעו הניסויים בגידולים צפופים העוברים בגובהם את גובה העשבים הרעים, בשונה ממצב העלקת בעג"ת. אף בניסוי בחוות גד"ש נמצא כי גידול תירס משמש כמחסום רוח יעיל ובחלקת התירס הסמוכה לחלקה הנגועה בעלקת לא נמצאו זרעים במלכודות.

5.2.2 מקבצים מוקדיים

דגם זה התקיים רק בחלקות בעלות נגיעות בינונית ומטה (ממוצע נגיעות: מדד נגיעות 2 ומטה) ולא התקיים כדגם פיזור דומיננטי בחלקות בעלות נגיעות בינונית ומעלה (ממוצע נגיעות: מדד נגיעות 2 ומעלה). תוצאה זו תואמת את תוצאות מחקריהם של Dessaint (1991) ו-Cousens (1995a) אודות קיום קשר שלילי בין בנק הזרעים בחלקה להמצאות דגם פיזור של מקבצים מוקדיים. נמצא במאגר המידע כי בעוד דגם זה מאפיין רק 21% מכלל החלקות הממופות (9 חלקות מתוך 43), בסיון החלקות בעלות גורם אילוח עצמאי בתוך החלקה (היסטורית נגיעות או גידול עג"ת) מהווה דגם פיזור זה 50%

מכלל החלקות הממופות (4 חלקות מתוך 8). בנוסף, מקבצי הנגיעות הדומיננטיים החלו תמיד מקצה חלקה (טווח של 30 מטר מגבול חלקה). על-סמך עובדות אלו ניתן להעריך כי מקבצי הנגיעות מאפיינים את כניסת זרעי העלקת לחלקה (אינוקולום ראשוני). לפיכך, השערת המחקר כי דגם זה מאפיין חלקה הנמצאת בשלבים ראשוניים של אילוח בזרעי עלקת נותרה בתוקפה.

חלק מהמקבצים בחלקות הממופות נמצא בסמוך לנקודת ריכוז אמבטיות איסוף מעונות קודמות (שתי חלקות בהן המקבץ היה דגם פיזור דומיננטי (חלקת נמה 4 מזרח וחוות גד"ש, חלקה 20) ושלוש חלקות בהן מקבץ הנגיעות היה דגם פיזור משני (חולתה, חלקות כרד 3+4 ו"מערב" וחוות גד"ש, חלקה 31)) ולמיקום שטיפת קומביין (שדה נחום, חלקה צבי 3). אף בסקר האזורי נאספו מספר עדויות אודות קרבת גורמים אלו (ריכוז אמבטיות איסוף ונקודת שטיפת קומביין) למקבצי נגיעות עלקת. מעניין להיווכח כי כל החלקות בהן נמצא קשר בין אמבטיות איסוף מעונות גידול קודמות למקבצי נגיעות בחלקות הממופות, נמצאות באזור עמק החולה. ניתן לייחס עובדה זו לכניסתו החדשה יחסית של גידול עג"ת לאזור זה ולא-המצאות נקודות ריכוז אמבטיות איסוף שאינן ידועות או זכורות למגדל. בכל אופן, לא נמצאו מספיק נתונים כדי לבסס את ההנחה כי מקבצי הנגיעות נוצרים ע"י זרעים הנישאים ע"י אמבטיות איסוף או הקומביין.

5.2.3 חיזוי מיקום מקבץ מוקדי והערכת גודל המקבץ

בעיית אפיון הגורמים להמצאות מקבצים מוקדיים ידועה בספרות מחקר העשבים הרעים ועבור מרבית מיני העשבים אין פתרונות לחזוי מקבצים וסיבת הופעתם במקומות ספציפיים בחלקה (Rew et al., 2001) מודלים שונים להערכת גודל מקבצים וחומרת נגיעות העשבים בהם, התחשבו במאפייני אוכלוסיית העשבים בלבד ולא במאפייני השטח והתאמתם למציאות הייתה נמוכה (Paice et al., 1998). במחקרים רבים נמצא כי מקבצי נגיעות קטנים נוטים ל"התפספס" ביצירת "מפות נגיעות" אף תחת צפיפות דגימות גבוהה מאד (גריד של 7*7 מטר) (Gerhards et al., 1997). השיטות הגיאוסטטיסטיות המקובלות לקבלת מידע רציף על נגיעות החלקה (סוגי "Kriging" שונים) אינן רגישות מספיק לזיהוי מקבצים מוקדיים המאופיינים ברגישות מקומית גבוהה. פרמטרים שונים של אגרגציה הראו תוצאות שונות מאד עבור מיני עשב שונים ועבור דיגום בקנה מידה שונים (Wiles et al., 1992). בנוסף, רגישות דגם פיזור זה לירידה בצפיפות הדגימות ומעבר מדיגום בקנה מידה אחד למשנהו הינה גבוהה ביחס לדגמי פיזור אחרים (Rew et al., 2001).

5.2.4 מקבצים מאורכים לאורך שורת הגידול

דגם זה מתאפיין בנגיעות חמורה המתחילה באחת מפאות החלקה לאורך מספר שורות גידול. לא נמצא בעבודה זו גורם ספציפי לדגם פיזור זה. ניתן לראות בספרות כי מבין הכלים החקלאיים העובדים בחלקה, הכלי בעל פוטנציאל האילוח הרב ביותר הינו הקומביין וזאת בשל התקיימות מספר תנאים: א. התאמה בין זמן פעילותו בחלקה לתקופה בה צמחי העלקת נמצאים על-פני הקרקע והזרעים בשלים להפצה (Rew et al., 2001). ב. יכולתו הגבוהה של הקומביין לשאת מסה גדולה של חומר צמחי הכוללת בחובה גם זרעי עשבים רעים בכלל וזרעי עלקת בפרט (McCanny et al., 1988). ג. המאווררים הפועלים בקומביין לשם הפרדת העלווה מהפרי יוצרים משבי רוח עזים העלולים להוות גורם עוצמתי לפיזור זרעים. בחלק מדגמי הקומביין מופנות ארובות האוויר במקביל לכיוון שורות

הגידול. קיימים היום אמצעים מכניים לקטילת זרעי עשבים רעים בקציר תבואות (Walsh *et al.*, 2012). יש לבחון היתכנות התאמת אמצעים אלו לקטיף עג"ת בעקבות האמור לעיל.

5.2.5 דגמי פיזור אקראי ואחיד

דגם פיזור זה שימש כהנחת עבודה עבור מחקרים אשר עסקו בנוכחות עשבים בחלקה ללא שימוש בכלי ניתוח מרחביים. מחקרים אלו התייחסו למאגר הדגימות משטח הניסוי כבעל התפלגות נורמלית (התפלגות "פעמון") ללא התייחסות לשונות מרחבית. הכנסת כלי ניתוח מרחביים הראתה כי הנחת עבודה זו מוטעית במקרים רבים (Cousens and Mortimer, 1995a). במחקר זה נמצאו במאגר החלקות הממופות שש חלקות בעלות דגם פיזור אקראי וחמש חלקות בעלות דגם פיזור אחיד. יחד מהוות חלקות אלו רבע מכלל החלקות הממופות. "יתרון" דגם פיזור לצורכי ניטור ברור: די במספר מועט של דגימות במיקומים אקראיים בחלקה כדי להעריך נכונה את חומרת הנגיעות בחלקה.

5.2.6 יציבות מקבצים

בספרות ניתן למצוא מחקרים רבים המראים מקבצים קבועים במקומם (למעט תנודות קלות בנגיעות בשולי המקבץ) לאורך שנים עבור מיני עשבים שונים (Gerhards *et al.*, 1997; Johnson *et al.*, 1996) (Dieleman *et al.*, 1999; עם זאת, עבור מיני עלקת, ברור לחלוטין כי יכולת ההתפרשות של מינים אלו גבוהה מאד, זאת לאור מחקר זה (ראה תוצאות התפשטות עלקת מפונדקאי חורף לפונדקאי קיץ וכן תוצאות הסקר האזורי) ולאור מחקרים שנערכו על עלקת חרוקה בפול (L'opez-Granados *et al.*, 2001; Gonza'lez-Andu'jar *et al.*, 1993a). המצאות מקבצים קבועים בחלקה מאפשר הכנת מפת נגיעות עשבים התואמת את מצב הנגיעות בשטח למשך שנים ומאפשרת יישום ריסוס מדויק על-סמך עקרונות חקלאות מדייקת (Rew *et al.*, 1997). מכיוון שמקבצי העלקת יציבים (Gonza'lez-Andu'jar *et al.*, 2001) אך בעלי קצב התפשטות גבוה מאד, יש לחשוב על תוכנית פעולה אחרת להערכת סיכונים עבור נגיעות החלקה בעלקת ויישום מדויק של הרביצידיים.

התפשטות עלקת מעונה לעונה

א. התפשטות עלקת מפונדקאי חורף לפונדקאי קיץ

בבחינת התפשטות עלקת מפונדקאי חורף (בקיה) לפונדקאי קיץ (עג"ת), נמצא קשר בין מקבצים קטנים של נגיעות עלקת בבקיה ובעג"ת אך דגם הפיזור הדומיננטי בעג"ת היה שונה מדגם הפיזור בבקיה. דגם הפיזור הדומיננטי בעג"ת היה תלוי בעיקר בממשק ההדברה בחלקה הנבחנת (נמצא דגם פיזור של מקבץ נגיעות מאורך לאורך שורות הגידול בשורות גידול בהן לא התבצע יישום ק"ע). בנוסף, מספר צמחי העלקת בעג"ת היה גדול בסדר גודל לעומת מספר צמחי העלקת בבקיה. תוצאות דומות התקבלו בהשוואת מספר צמחי עלקת בין פונדקאי חורף נוספים (כוסברה, גזר) לפונדקאי קיץ (תפ"א, עג"ת).

תוצאות אלו תואמות את הידוע בספרות אודות התנאים הנדרשים לנביטת זרעי עלקת, המתקיימים באופן מיטבי יותר בגידול שלחין קיצי לעומת גידול שלחין חורפי (Herthenhorn *et al.*, 2009). בכל אופן, על-סמך תוצאות ניסוי זה, לא ניתן לחזות את דגם הפיזור ואת חומרת הנגיעות הצפויה בעג"ת על-סמך תצפית על נגיעות בפונדקאי חורף בעונה קודמת.

תוצאה מעניינת נוספת, הנגזרת מניסוי זה, הינה היחס בין מספר העלקות הצצות למספר זרעי העלקת המצויים בקרקע. כאמור, לא נמצא בניסוי הבדל בין טיפול הביקורת לטיפול 1ppm. ממוצע צמחי העלקת בטיפול 10ppm היה 9 צמחים (מספר צמחים גבוה מטיפולי הביקורת ו- 1ppm אך לא באופן מובהק) ובטיפול 20ppm נמצא ממוצע של 23 צמחי עלקת (הבדל מובהק משאר הטיפולים). ניתן לומר, על בסיס ניסוי זה, כי כל חלקת הניסוי מאולחת בסדר גודל של 1ppm זרעי עלקת לפחות ואחוז הצמחים הצצים מבנק הזרעים בקרקע לאור תוצאות טיפולי 10ppm ו- 20ppm הינו 0.0001% (בפונדקאי חורף). אחוז הצצה זה תואם את מחקרו של Lopez-Granados (1993) אודות אחוזי הצצה של עלקת חרוקה בפול. ניתן לשער את גודלו האדיר של בנק הזרעים בתצפית של נגיעות נמוכה בעג"ת, קל וחומר בתצפית של נגיעות גבוהה.

ב. התפשטות עלקת מפונדקאי קיץ לפונדקאי חורף

בבחינת התפשטות עלקת מפונדקאי קיץ (עג"ת) לפונדקאי חורף (כוסברה, גזר), נמצא כי דגמי הפיזור הדומיננטים בפונדקאי חורף מתקיימים בתוך דגם הפיזור הנצפה בעג"ת. עם זאת, מפת הנגיעות בעג"ת מתבטאת בהתפשטות רבה יותר של מקבצי העלקת ובחומרת נגיעות גבוהה יותר (ראה תוצאות נגיעות בשדה אליהו, חלקה שוקף א' (עג"ת ← כוסברה) ובגבת, חלקה 307 (עג"ת ← גזר)).

5.3 מאפייני אינטרפולציה לדגמי הפיזור השונים

5.3.1 שגיאה ריבועית ממוצעת (RMS)

ערכי RMS עבור דגמי הפיזור של מקבצים מוקדניים, מקבצים מאורכים לאורך שורת הגידול ומקבצים כיווניים נעו בטווח הערכים בין 0.35 ל- 0.39. תוצאות אלו מצביעות על התאמה טובה, במרבית המקרים, בין ערך מדד הנגיעות הצפוי במיקום נקודת דגימה על-סמך ניתוח השטח הרציף בין נקודות הדיגום (לפי גרף הסמיואריוגרם) לערך מדד הנגיעות בנקודת הדגימה על-סמך התצפית בשטח. במידה וערך ה-RMS היה שווה או גבוה מ- 0.5, היה קיים חשש לערכים מוטעים של מדד הנגיעות בערכי השטח הרציף בניתוח הסמיואריוגרם. ערך ה-RMS עבור דגם הפיזור האחיד היה 0.27. ערך ה-RMS הנמוך צפוי עקב העובדה כי אכן השונות הקיימת בשטח נמוכה מאד. ערך ה-RMS עבור דגם הפיזור האקראי היה 0.46. ערך זה מבטא נכונה את השונות הרבה הקיימת בשטח בין נקודת דיגום אחת לנקודות דיגום סמוכות לה (אם כי השונות נעה לרוב בין ערך מדד נגיעות לערך מדד נגיעות עוקב לו ולא בקפיצות בין רמה נגיעות נמוכה לרמת נגיעות גבוהה או ההפך). ברבות מהחלקות בעלות דגם פיזור זה, היה קושי אמיתי בשטח לקבוע את ערכי מדד הנגיעות. ערכי מדד הנגיעות נקבעו על-סמך מספר צמחי עלקת הקרוב למספר עלקות המציין את הגבול בין רמות הנגיעות (לדוגמא: קביעת מדד נגיעות 1 על בסיס צמח עלקת בודד או קביעת מדד נגיעות 2 על בסיס ספירת 51 צמחי עלקת).

5.3.2 שגיאת מדידה (nugget)

מגמות דומות להתפלגות ערכי RMS עבור דגמי הפיזור נמצאו גם בהתפלגות ערכי ה-nugget. ערכי nugget עבור דגמי הפיזור של מקבצים מוקדניים, מקבצים מאורכים לאורך שורת הגידול ומקבצים כיווניים נעו בטווח הערכים בין 0.9 ל- 0.11. עבור דגם פיזור אחיד נמצא ערך nugget נמוך של 0.05.

עבור דגם פיזור אקראי נמצא ערך nugget גבוה של 0.19. הסיבות להבדלים בהתפלגות ערכי ה-RMS לדגמי הפיזור השונים נכונות אף עבור התפלגות ערכי שגיאת המדידה לדגמי הפיזור השונים.

5.3.3 טווח אוטוקורלציה (range)

ממוצע ערכי ה-range עבור דגמי הפיזור של מקבצים מוקדניים, מקבצים מאורכים לאורך שורת הגידול ומקבצים כיווניים הינו 164. ממוצע זה שימש בהמשך לקביעת צפיפות דיגום נמוכה המאפשרת שמירה על דגם הפיזור המרחבי (ראה פרק תוצאות, סעיף 7.5). ערך ה-range עבור דגם פיזור של מקבצים מאורכים לאורך שורת הגידול היה נמוך משמעותית בהשוואה לשני דגמי הפיזור האחרים (ערך range של 112 לעומת ערכי range 178 ו-203). אחת הסיבות העיקריות לערך ה-range הנמוך בדגם זה, הינה אי-הגעה לתוצאות טובות (מבחינת RMS, nugget, range) בביצוע אינטרפולציה מכוונת כיוון ספציפי (לקיחת כיוון שורות הגידול בלבד והזנחת הכיוונים האחרים). תוצאה זו עומדת בסתירה לתוצאות מחקרים אחרים בהם נמצא טווח (range) גבוה יותר במקבצים לאורך השורה (Johnson et al., 1997) (Rew et al., 1997). ייתכן כי בתוכנות גיאוסטטיסטיות אחרות ניתן לבצע אינטרפולציה משופרת לדגם זה.

5.4 קביעת צפיפות דגימות נמוכה לאפיון דגם פיזור מרחבי

כאמור, הוסרו נקודות דגימה משכבת נקודות הדגימה המקורית על-מנת לבחון אפשרויות לקביעת דגם הפיזור תחת צפיפות דיגום נמוכה. מרווחי הדגימות עבור צפיפות דיגום נמוכה וביוניונית נקבעו על-סמך חצי מממוצע ה-range (מרווח של 80 מטר בין דגימות) ורבע מממוצע ה-range (מרווח של 40 מטר בין דגימות). בנוסף נבחו דגם פיזור דגימות מכוון המתבסס על מספר דגימות זהה לצפיפות הדגימות הנמוכה אך סידור הדגימות שונה: בטווח שלוש שורות הקרובות לגבול החלקה (טווח של כ-75 מטר מגבול החלקה) נלקח מספר דגימות גבוה ובמרכז החלקה נלקח מספר דגימות נמוך. דגמי הפיזור עליהן בוצעה הבדיקה היו מקבצים מוקדניים ומקבצים כיווניים. זאת מכיוון שעבור שני דגמי פיזור אלו ישנו מידע על גורמים חיצוניים לחלקה, ה"חשודים" כמשפיעים על דגמי פיזור אלו (סמיכות לחלקה שכנה מאולחת עבור מקבצים כיווניים ונקודות ריכוז אמבטיות איסוף ושטיפת קומביין הממוקמות בקרבה לחלקה עבור מקבצים מוקדניים). גורמים חיצוניים אלו עשויים לסייע בהמשך המחקר להפחתת צפיפות הדגימות תוך שמירה על דגם הפיזור.

5.4.1 השוואת תוצאות אינטרפולציה תחת צפיפויות דיגום שונות

בפועל, נשמר דגם הפיזור הכיווני תחת שלוש צפיפויות הדיגום ואילו בדגם הפיזור של המקבץ המוקדי, תחת צפיפות דגימות נמוכה, התקבלה מפת נגיעות המציינת את מקבץ הנגיעות ברמת נגיעות נמוכה מרמת הנגיעות המקורית והתעלמות מהמצאות מקבצי נגיעות קטנים. ערכי ה-RMS לאורך כל צפיפויות הדיגום היו במרבית המקרים גבוהים יותר במפות הנגיעות של דגם פיזור המקבץ המוקדי לעומת דגם פיזור של המקבץ הכיווני.

ניתן לתלות את ההבדלים בתוצאות RMS לדגמי הפיזור ברגישות הנמוכה של שיטת Kriging לשונות מרחבית מקומית המתקיימת בדגם פיזור של מקבץ מוקדי. עבור דגם הפיזור הכיווני בחלקה קישון 1 נמצאו ערכי RMS גבוהים לעומת שתי החלקות הנוספות בעלות דגם פיזור כיווני תחת צפיפויות דיגום ביוניונית ונמוכה. הסיבות לכך, ככל הנראה, הן חזית התקדמות נגיעות לא אחידה

ומעבר חד בין ערכי מדד הנגיעות. תופעות מרחביות אשר גרמו להערכה מוטעית עבור מספר נקודות דיגום.

5.4.2 השוואה בין פיזור דגימות אקראי למכוון תחת צפיפות דגימות נמוכה

ממוצע ערכי ה-RMS אשר התקבלו בפיזור הדגימות המכוון היה נמוך יותר הן עבור דגם פיזור של מקבצים כיווניים (למעט חלקה קישון 1, בה התקבל ערך RMS גבוה יותר בדיגום המכוון) והן עבור דגם פיזור של מקבצים מוקדניים אך ההפרש בין שתי שיטות פיזור הדגימות היה משמעותי יותר עבור דגם המקבץ המוקדי. בהשוואה ויזואלית ניתן לראות עבור שתיים מחלקות דגם פיזור המקבץ המוקדי, גודל 20 ואבלק, כי הדיגום המכוון תאם יותר את תפרושת הנגיעות בצפיפות הדגימות המקורית. בנוסף בחלקה שוקף א' הצליח הדיגום המכוון "למצוא" מקבץ נגיעות קטן אשר לא נמצא בדיגום האקראי. עם זאת, בחלקה נמה 4 "פספס" הדיגום המכוון מקבץ נגיעות קטן בשולי החלקה. לפיכך, גם שיטת הדיגום המכוון המומלצת לעיל אינה ערובה למציאת כלל המקבצים בחלקה.

5.4.3 מסקנות מתוצאות אינטרפולציה תחת צפיפויות דיגום שונות

ניתן לראות כי דגם פיזור של מקבץ כיווני נמצא גם תחת צפיפות דגימות נמוכה (דגימה אחת ל-4 דונם). בחלקות בעלות דגם פיזור של מקבץ מוקדי, נמצא מקבץ הנגיעות העיקרי תחת צפיפות דגימות נמוכה אך גודל המקבץ ורמת חומרת הנגיעות במקבץ אינם מוערכים היטב תחת צפיפות דגימות נמוכה. שיטת הדיגום המכוון הראתה יתרון גדול עבור חלקות בעלות דגם פיזור מקובץ אך אינה ערובה למציאת כלל המקבצים בחלקה.

השוואה בין תוצאות הדגימות בגבולות החלקה השונים יכולה להיות לעזר בחיזוי דגם הפיזור בחלקת הגידול:

- א. ערך דגימות דומה בגבולות החלקה השונים מעיד על דגם פיזור אקראי או אחיד.
- ב. הפרש גדול בין ערכי דגימות בגבולות החלקה השונים מעיד על דגם פיזור כיווני.
- ג. הפרש גדול בין ערכי דגימות לאורך גבול החלקה מעיד על דגם פיזור של מקבץ מוקדי או מקבץ לאורך שורה.

הערכה נכונה של תפרושת נגיעות העלוקת בחלקת הגידול יכולה לאפשר למגדל קבלת החלטות מושכלת ביישום ממשק ההדברה. לדוגמא, בהערכת דגם הפיזור בחלקה כמקובץ ניתן לצמצם את גבולות החלקה כך שצמחי העגבנייה לא יישתלו בחפיפה למיקום המקבץ. לחלופין, בהערכת דגם פיזור העלוקת בחלקה ככיווני ניתן ליישם ק"ע באמצעות המטרה רק בצדי החלקה בעלי פוטנציאל נגיעות ברמה גבוהה.

5.4.4 השוואה בין שיטות דיגום שונות בצפיפות דגימות נמוכה

גורם מגביל בבחירת החלקות לבחינת שיטות הדיגום השונות היה הצורך בבחירת חלקות אשר מאפייניהן אפשרו שיטת דיגום של דיגום צפוף בגבול החלקה הסמוך לחלקה שכנה מאולחת ודיגום מפוזר בשאר החלקה. השערת המחקר הייתה כי מאפייני החלקה המתאימים לשיטת מיפוי זו הינם המצאות החלקה באזור גידול חדש ללא גורמי אילוח פנימיים בחלקה (היסטוריית נגיעות עלקת וגידול עג"ת במחזור הגידולים) ובסמיכות לחלקה שכנה מאולחת. מתוך 43 החלקות נמצאו אך שתי

חלקות בעלות מאפיינים אלו. לפיכך נבחרה חלקה נוספת (חולתה, כרד 3+4) העומדת במאפיינים המבוקשים למעט גידול עג"ת במחזור הגידולים בחלקה.

ניתן לראות בנספח 10 כי אין הבדלים מובהקים בין שלוש שיטות המיפוי. עם זאת, יש מקום לשיפור ההשוואה בין שיטות הדיגום השונות. ההשוואה במחקר זה בוצעה ע"י בחירת נקודות ידנית ובעזרת בחינת מאפייני אינטרפולציה המבוצעת על-סמך הנקודות הנבחרות. ניתן לבצע סימולציה ממוחשבת הבוחרת אקראית נקודות דיגום לפי שיטות הדיגום השונות. השוואה בין הרצות סימולציה בשיטות הדיגום השונות תאפשר העדפה מדויקת יותר של אחת משיטות הדיגום.

5.5 "עץ קבלת החלטות" עבור צורך בדיגום קרקע והערכת פוטנציאל נגיעות

5.5.1 יתרונות "עץ קבלת החלטות"

א. התייחסות לגורמי המפתח המשפיעים על חומרת נגיעות עלקת בחלקה

שיטת "עץ קבלת החלטות" מתייחסת לגורמים השונים אשר הוכחו כמשפיעים על חומרת הנגיעות. ישנה התייחסות לכל שילוב אפשרי בין שלושת גורמי המפתח (היסטוריית נגיעות, גידול עג"ת במחזור הגידול, אזור הגידול) ומוצגת דרך פעולה היכולה לסייע למגדל לקבל החלטה מושכלת עבור כל אחד משילובים אלו.

ב. נגישות השיטה

תהליך סכימת נתוני החלקה הינו פשוט ואינו מצריך מהמגדל גישה למקורות מידע נוספים מעבר למקורות המידע הנמצאים ברשותו- מיקום החלקה, מחזור הגידולים בחלקה והיסטוריית נגיעות עלקת בחלקה. יתרון זה יכול להוות חסרון במקרים מסוימים. מכיוון שאין מקור מידע חיצוני אשר ניתן להסתמך עליו, מגדל הניגש לחלקה חדשה עלול להיתקל בפערי מידע אשר ימנעו ממנו להשתמש בשיטה במקרים בהם לא נערך תיעוד ראוי ע"י המגדלים הקודמים בחלקה.

5.5.2 חסרונות "עץ קבלת החלטות"

צמתי הכרעה לא מוכחים

עבור צמתי ההכרעה הבאים, גידול עג"ת יותר מפעם אחת במחזור הגידול במהלך 10 שנים והיסטוריית נגיעות בינונית ומעלה בגידול פונדקאי שאינו עג"ת, לא נמצאו מספיק חלקות לביסוס מידת ההשפעה של גורמים אלו על חומרת הנגיעות. צמתי הכרעה אלו מבוססים על ניסיונם של העוסקים בתחום הדברת עלקת בעג"ת (חנן אייזנברג, שאול גרף, קשר אישי).

צמתי הכרעה נדירים

א. צומת ההכרעה "אזור גידול חדש לגידול עג"ת"- נכון להיום, כמעט ואין בנמצא בישראל אזור

חדש לגידול עג"ת. מבין חמשת אזורי הגידול אשר נכללו במחקר אך אזור עמק החולה עונה להגדרת צומת זה ואף בעמק זה הולכים ומצטמצמים שטחי הגידול החדשים לגידול עג"ת. ייתכן כי בעתיד יוחלט לגדל עג"ת באזורים חדשים (דרום הארץ) וצומת הכרעה זה יתאים ליותר מאשר חלקות בודדות.

ב. צומת ההכרעה "אזור גידול חדש לגידול עג"ת עם חלקה שכנה מאולחנת" – בסקר האזורי נמצאו אך שבע חלקות אשר היו ללא היסטוריית נגיעות או גידול עג"ת במחזור הגידול והתאימו למאפייני הצומת. מספר חלקות זה מהווה אך ארבע אחוז מכלל החלקות. על-אף מגבלות וחסרונות השיטה אשר הוצגו לעיל, יש ביכולת שיטת "עץ קבלת החלטות" להוות שלב משלים חשוב למערכת קבלת החלטות לממשק הדברה "פקעית". שיטה זו גיבשה המלצות על-סמך תוצאות מחקר זה. יהיה צורך בעתיד לתקף את המלצות השיטה על-סמך תוצאותיה בשטח ויכולתה להתמודד עם איום הנגיעות בעלוקת מחד והצלחה בחסכון תשומות למגדל מאידך.

6 סיכום והמלצות להמשך מחקר

6.1 ממצאים עיקריים

6.1.1 חומרת נגיעות עלקת בחלקה

נמצאו שני גורמים עיקריים להעלאה מובהקת של חומרת הנגיעות בחלקה – היסטוריית עלקת בחלקה וגידול עג"ת במחזור הגידול. בנוסף נמצא כי בעמק החולה חומרת הנגיעות הייתה פחותה לעומת חומרת הנגיעות בשאר אזורי הגידול. השערת המחקר הינה כי הסיבה לכך היא כניסתו החדשה היחסית (משנות ה-2000) של גידול עג"ת לאזור זה.

6.1.2 גורמים לדגמי פיזור מרחבי

נמצא כי דגם פיזור דומיננטי של מקבץ מוקדי מתקיים רק בחלקות בעלות נגיעות נמוכה עד בינונית. השערת המחקר הינה כי דגם פיזור זה מאפיין פלישה חדשה של העלקת טרם התבססות העלקת בחלקה. נמצאו עדויות אודות המצאות מקבצים מוקדיים ליד נקודות ריכוז אמבטיות איסוף מעונות גידול קודמות וכן ליד נקודות שטיפת קומביין הקטיפ. עבור דגם פיזור של מקבצי נגיעות כיווניים נמצא מתאם גבוה לקרבה לחלקה שכנה בעלת היסטוריית נגיעות בעלקת. עבור דגם הפיזור של מקבצי נגיעות לאורך שורה, לא עלו ממצאים במחקר זה. מסקירת הספרות עולה כי יש קשר בין דגם פיזור זה לפעילות קומביין קטיפ בחלקה (McCanny *et al.*, 1988). השערת המחקר בעקבות סקירת הספרות הינה כי קומביין קטיפ העגבניות מהווה גורם מאלח עיקרי עבור דגם פיזור זה.

6.1.3 אופן דיגום אופטימאלי השומר על דגם הפיזור בחלקה

במחקר נמצא כי ניתן לשמור על דגם הפיזור המרחבי בממוצע של דגימה לארבע דונם. בנוסף נמצא כי ריכוז דגימות בטווח 75 מטר מגבול החלקה ודיגום מפוזר יותר במרכז החלקה מאפשר איתור טוב יותר של מקבצי נגיעות ומקטין את שגיאת האינטרפולציה, בייחוד עבור חלקות בעלות דגם פיזור של מקבץ מוקדי.

6.2 המלצות להמשך מחקר

מחקר זה עסק רבות באיסוף מידע אודות חומרת נגיעות וגורמיה ברמה אזורית ודגם פיזור מרחבי וגורמיו ברמת החלקה. חשוב לציין כי המחקר ייחודי בהיקפו. היקף המחקר מתבטא הן במיפוי חלקה שלמה לאפיון דגם הפיזור ולא לקיחת מקטע חלקה כמדגם מייצג כמקובל במחקרים אחרים והן במיפוי חלקות רבות (43 חלקות) לתיקוף דגמי הפיזור השונים ולא בחלקה אחת או שתיים כפי שנעשה עבור מיני עלקת אחרים (L'opez-Granados *et al.*, 1993a,b). יש מקום נרחב לשיפור וקידום

המחקר במספר אופנים אשר העיקריים ביניהם הינם: **א.** שיפור מאגר המידע האזורי **ב.** שיפור שיטת בחינת אופן הדיגום האופטימאלי.

6.2.1 שיפור מאגר המידע האזורי

הסקר האזורי במחקר זה התמקד בפעולות ממשק הגידול ברמת המגדל הבודד. בשל קוצר הזמן נבחנו במהלך הסקר האזורי אך תחומים הנמצאים בשליטת המגדל הבודד והמידע אודותיהם נמצא ישירות תחת ידו (לדוגמא: מחזור גידולים, ממשק הדברה, מיקום החלקה). ייתכן ובדיקה מדוקדקת של גורמים סביבתיים ומשקיים נוספים תעלה ממצאים נוספים. לדוגמא: הרכב קרקע, מליחות מי ההשקיה, מקורות קומפוסט, עבודה מול מפעל וקבלן קטיף ספציפיים.

6.2.2 שיפור שיטת בחינת אופן הדיגום האופטימאלי

א. בחינת אופן הדיגום: בבניית שיטות המיפוי השונות נבחרו ידניות נקודות הדגימה מתוך שכבת המיפוי המקורית של החלקה הנבחנת. לאחר מכן נערכה הרצה בודדת של אינטרפולציה על-סמך הנקודות הנבחרות. העלאת הוודאות בבחירה נכונה של שיטת המיפוי הרצויה מצריכה סימולציה ממוחשבת בה נבחרים בכל פעם נקודות אחרות על-סמך שיטת המיפוי. השוואת תוצאות ההרצה של סימולציות שיטות המיפוי השונות תיתן מענה טוב יותר לבחירת שיטת דיגום אופטימאלית.

ב. שיתוף פעולה עם צוותי מחקר נוספים: במהלך השנתיים האחרונות (2010-12) עבדו במקביל צוות מחקר זה וצוותו של דר' ר. עלי וחוב' העוסקים בשיפור זיהוי זרעי עלקת בבדיקות קרקע. כל אחד מהצוותים הצליח להתקדם כברת דרך בהשגת יעדי המחקר. בשלב זה, ישנו מקום לשיתוף פעולה צמוד בין הצוותים להשגת יעדי המחקר. יש לבחון כלכלית ומחקרית את מספר הדונמים הרצוי לדגימה, יש לתקף את שיטות הזיהוי המפותחות ע"י דר' ר. עלי וחוב', יש לתקף את מודל "עץ קבלת החלטות" ושיטת הדיגום המומלצים במחקר זה.

איוזברג, ח., לנדה ט., אכדרי, ג., סמירנוב, י., הרשהורן, י. (2008). הדברה מושכלת של עלקת בעגבניות לתעשייה. תוצאות ניסויי שדה 2008 (עמ' 27-30). המחלקה לחקר עשבים רעים, מרכז מחקר נוה יער, מנהל המחקר החקלאי.

גולדוסר, י., קליפלד, י., גולן, ש. (2003). עלקת בישראל (עמ' 9-27). משרד החקלאות, שרות ההדרכה והמקצוע.

Aly R, Eizenberg H, Kocherman M, Abu-Nassar J, Taha L, Saadi I (2012) Use of its nuclear sequences from *phelipanche aegyptiaca* as a direct tool to detect single seeds of broomrape species in the soil. *European Journal of Plant Pathology* 133: 523-526

Andreasen C, skovgaard M (2009) Crop and soil factors of importance for the distribution of plant species on arable fields in denmark. *Agriculture Ecosystems & Environment* 133: 61-67

Benoit DL, Derksen DA, Panneton B (1992) Innovative approaches to seedbank studies. *Weed Science* 40: 660-669

Berner DK, Cardwell KF, Faturoti BO, Ikie FO, Williams OA (1994) Relative roles of wind, crop seeds, and cattle in dispersal of *striga* spp. *Plant Disease* 78: 402-406

Brain P, Cousens R (1990) The effect of weed distribution on predictions of yield loss. *Journal of Applied Ecology* 27: 735-742

Bregt AK, Stoorvogel JJ, Bouma J, Stein A (1992) Mapping Ordinal Data in Soil Survey: A Costa Rican Example. *Soil Science Society of America journal* 56: 525-531

Bunce RGH, haword DC (1990) *Species dispersal in agricultural habitats*, London: Behern, 133-158.

Cardina J, Johnson GA, Sparrow DH (1997) The nature and consequence of weed spatial distribution. *Weed Science* 45: 364-373

Cardina J, Sparrow DH, McCoy EL (1996) Spatial relationships between seedbank and seedling populations of common lambsquarters (*chenopodium album*) and annual grasses. *Weed Science* 44: 298-308.

Colbach N, Roger-Estrade J, Chauvel B, Caneill J (2000) Modelling vertical and lateral seed bank movements during mouldboard ploughing. *European Journal of Agronomy* 13: 111-124

Cousens R, Mortimer M (1995a) *Dynamics of weed populations*, Vol. 7, NEW YORK: CAMBRIDGE UNIVERSITY, 217-243.

Cousens R, Mortimer M (1995b) *Dynamics of weed populations*, Vol. 3, NEW YORK: CAMBRIDGE UNIVERSITY, 55-85.

- Cousens R, Wallinga J, Shaw M (2004) Are the spatial patterns of weeds scale-invariant? *Oikos* 107: 251-264
- Dessaint F, Chadoeuf R, Barralis G (1991) Spatial pattern analysis of weed seeds in the cultivated soil seed bank. *Journal of Applied Ecology* 28: 721-730
- Dieleman JA, Mortensen DA (1999) Characterizing the spatial pattern of abutilon theophrasti seedling patches. *Weed Research* 39: 455-467
- Dieleman JA, Mortensen DA, Buhler DD, Cambardella CA, Moorman TB (2000) Identifying associations among site properties and weed species abundance. I. Multivariate analysis. *Weed Science* 48: 567-575
- Eizenberg H, Aly R, Cohen Y (2012) Technologies for smart chemical control of broomrape (orobanche spp. And phelipanche spp.) *Weed Science*, Vol. 60, 316-323.
- Eizenberg H, Goldwasser Y, Golan S, Plakhine D, Hershenhorn J (2004) Egyptian broomrape (orobanche aegyptiaca) control in tomato with sulfonylurea herbicides - greenhouse studies. *Weed Technology* 18: 490-496.
- Gerhards R, WysePester DY, Mortensen D, Johnson GA (1997) Characterizing spatial stability of weed populations using interpolated maps. *Weed Science* 45: 108-119
- Ghersa CM, Martinez-Ghersa MA, Satorre EH, Esso MLv, Chichotky G (1993) Seed dispersal, distribution and recruitment of seedlings of sorghum halepense (L.) pers. *Weed Research (Oxford)* 33: 79-88
- Goldwasser Y, Kleifeld Y (2003) Recent approaches to orobanche management a review *Weed biology and management*, Vol. 22, Netherlands: Kluwer Academic.
- Gonzalez-Andujar JL, Martinez-Cob A, Lopez-Granados F, Garcia-Torres L (2001) Spatial distribution and mapping of crenate broomrape infestations in continuous broad bean cropping. *Weed Science* 49: 773-779
- Grenz JH, Manschadi AM, De Voil P, Meinke H, Sauerborn J (2005) Assessing strategies for orobanche sp control using a combined seedbank and competition model. *Agronomy Journal* 97: 1551-1559
- Grenz JH, Manschadi AM, deVoil P, Meinke H, Sauerborn J (2006) Simulating crop-parasitic weed interactions using apsim: Model evaluation and application. *European Journal of Agronomy* 24: 257-267
- Hershenhorn J, Eizenberg H, Dor E, Kapulnik Y, Goldwasser Y (2009) Phelipanche aegyptiaca management in tomato. *Weed Research* 49: 34-47
- Isaaks EA, Srivasta RM (1989) *Applied geostatistic*, NEW YORK: OXFORD UNIVERSITY.
- Johnson GA, Mortensen DA, Gotway CA (1996) Spatial and temporal analysis of weed seedling populations using geostatistics. *Weed Science* 44: 704-710

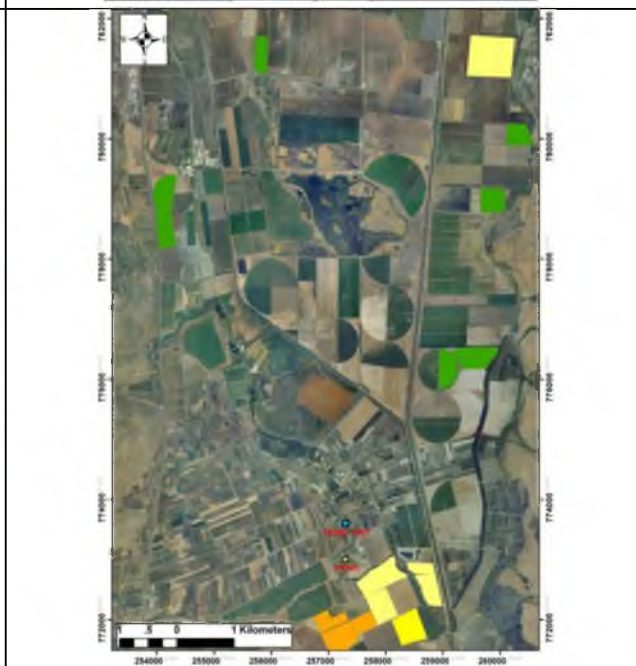
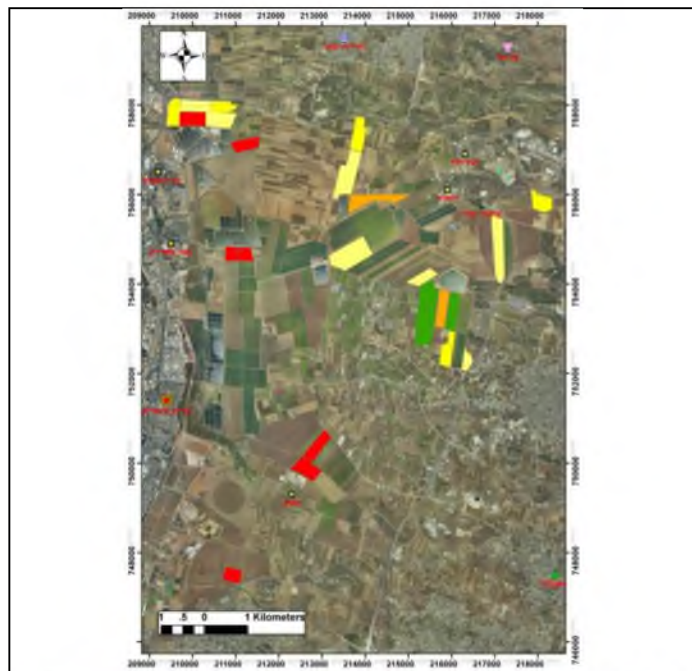
- Jurado-Exposito M, Lopez-Granados F, Garcia-Torres L, Garcia-Ferrer A, de la Orden MS, Atenciano S (2003) Multi-species weed spatial variability and site-specific management maps in cultivated sunflower. *Weed Science* 51: 319-328
- Jurado-Exposito M, Lopez-Granados F, Pena-Barragan JM, Garcia-Torres L (2009) A digital elevation model to aid geostatistical mapping of weeds in sunflower crops. *Agronomy for Sustainable Development* 29: 391-400
- Kalivas DP, Economou G, Vlachos C (2010) Using geographic information systems to map the prevalent weeds at an early stage of the cotton crop in relation to abiotic factors. *Phytoparasitica* 38: 299-312
- Kerry R, Oliver MA (2004) Average variograms to guide soil sampling. *Applied Earth Observation and Geoinformation* .5: 307-325
- Leguizamon ES, Roberts HA (1982) Seed production by an arable weed community. *Weed Research* 22: 35-39
- L'opez-Granados F, Garcia-Torres L (1993a) Population dynamics of crenate broomrape (orobanche crenata) in faba beans (vicia faba). *Weed Science* 41: 563-567
- L'opez-Granados F, Garcia-Torres L (1993b) Seed bank and other demographic parameters of broomrape (orobanche crenata forsk.) populations in faba bean (vicia faba l.). *Weed Research* 33: 319-327
- L'opez-Granados F, Garcia-Torres L (1997) Modelling the demography of crenate broomrape (orobanche crenata) as affected by broad bean (vicia faba) cropping frequency and planting date. *Weed Science* 45: 261-268
- Maxwell BD, Backus V, Hohmann MG, Irvine KM, Lawrence P, Lehnhoff EA, Rew LJ (2012) Comparison of transect-based standard and adaptive sampling methods for invasive plant species. *Invasive Plant Science and Management* 5: 178-193
- McCanny SJ, Bough M, Cavers PB (1988) Spread of proso millet (panicum miliaceum l.) in ontario, canada. I. Rate of spread and crop susceptibility. *Weed Research, UK* 28: 59-65
- Mueller-Warrant GW, Whittaker GW, Young WC (2008) Gis analysis of spatial clustering and temporal change in weeds of grass seed crops. *Weed Science* 56: 647-669
- Oveisi M, Yousefi AR, Gonzalez-Andujar JL (2010) Spatial distribution and temporal stability of crenate broomrape (orobanche crenata forsk) in faba bean (vicia faba l.): A long-term study at two localities. *Crop Protection* 29: 717-720
- Paice MER, Day W, Rew LJ, Howard A (1998) A stochastic simulation model for evaluating the concept of patch spraying. *Weed Research (Oxford)* 38: 373-388.
- Parker C (2009) Observations on the current status of orobanche and striga problems worldwide. *Pest Management Science* 65: 453-459

- Rew LJ, Cousens RD (2001) Spatial distribution of weeds in arable crops: Are current sampling and analytical methods appropriate? *Weed Research* 41: 1-18
- Rew LJ, Cussans GW (1997) Horizontal movement of seeds following tine and plough cultivation: Implications for spatial dynamics of weed infestations. *Weed Research (Oxford)* 37: 247-256
- Rew LJ, Maxwell BD, Dougher FL, Aspinall R (2006) Searching for a needle in a haystack: Evaluating survey methods for non-indigenous plant species. *Biological Invasions* 8: 523-539
- Tobler WR (1970) A computer movie simulating urban growth in detroit region. *Economic geography* 46: 234-240.
- vanDelft GJ, Graves JD, Fitter AH, Pruiksma MA (1997) Spatial distribution and population dynamics of striga hermonthica seeds in naturally infested farm soils. *Plant and Soil* 195: 1-15
- Walsh MJ, Raymond BH, Stephan BP (2012) Horrington Seed Destructor: A new Nonchemical Weed Control Tool for Global Grain Crops. *Crop Science* 52: 1343-1347
- Westwood JH, Foy CL (1999) Influence of nitrogen on germination and early development of broomrape (orobanche spp.). *Weed Science* 47: 2-7
- Wiles L, Brodahl M (2004) Exploratory data analysis to identify factors influencing spatial distributions of weed seed banks. *Weed Science* 52: 936-947.
- Wiles LJ, Oliver GW, York AC, Gold HJ, Wilkerson GG (1992) Spatial-distribution of broadleaf weeds in north-carolina soybean (glycine-max) fields. *Weed Science* 40: 554-557
- Zanin G, Berti A, Riello L (1998) Incorporation of weed spatial variability into the weed control decision-making process. *Weed Research (Oxford)* 38: 107-118

נספח 1: שאלון למגדל עג"ת בסקר האזורי

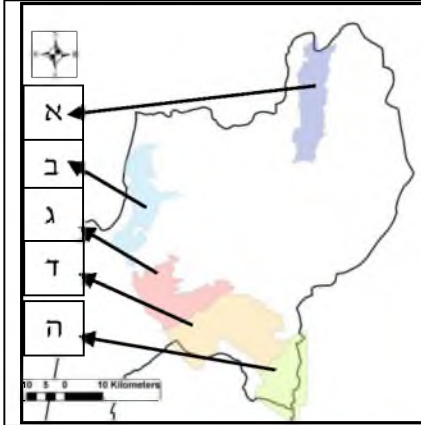
1. **ציון מיקום חלקת גידול נוכחית** (חלקה בה גידלו עג"ת בעונת הגידול אליה מתייחס הסקר): מיקום החלקה עודכן במערכת ממ"ג.
2. **מיקומי אמבטיות איסוף לעג"ת** – ציון מיקומי אמבטיות איסוף בעונת גידול נוכחית ובעונות גידול קודמות בחלקת הגידול הנוכחית. ציון מיקומי אמבטיות איסוף של חלקות גידול שכנות במידה ומיקומים אלו סמוכים לחלקת הגידול הנוכחית. המיקומים עודכנו במערכת ממ"ג.
3. **מועדי שתילה וקטיף בחלקת הגידול נוכחית.**
4. **רמת נגיעות עלקת בחלקת גידול נוכחית**- בחירה בין ארבע רמות נגיעות: א. חלקה נקייה מנוכחות עלקת. ב. נגיעות נמוכה ג. נגיעות בינונית ד. נגיעות גבוהה.
5. **היסטוריית נגיעות עלקת בחלקת הגידול.** על סמך ארבע רמות נגיעות.
6. **היסטוריית נגיעות עלקת בחלקות סמוכות לחלקות הגידול.**
7. **היסטוריית מחזור גידולים בחלקה משנת 2000 והילך.**
8. **ממשק הדברה עבור עלקת בחלקה.** יישום ק"ע במערכת- מינון ומועדי יישום. שיטת יישום (בטפטוף או בהמטרה). שימוש/אי-שימוש במערכת תומכת החלטה "פקעית".
9. **צפי לגידול עג"ת בחלקות גידול סמוכות לחלקת הגידול הנוכחית.**
10. **צפי לגידול פונדקאי עלקת אחרים בחלקת הגידול הנוכחית**
ציון אירועים חריגים בחלקת גידול נוכחית- יבול נמוך באופן חריג (מתחת 8 טון לדונם), פגיעה חמורה מגורמים ביוטיים או א-ביוטיים אחרים, שתילה ואיסוף בתאריך מוקדם או מאוחר באופן משמעותי מהצפוי

נספח 2: הצגת חלקות נבחנות בקנה מידה אזורי



ב

ז



הצגת החלקות אשר נבחנו בסקר האזורי. הסקר נערך באזורי הגידול הבאים: א. עמק החולה ב. עמק זבולון ג. עמק יזרעאל מערב ד. עמק יזרעאל מזרח ה. עמק בית שאן.

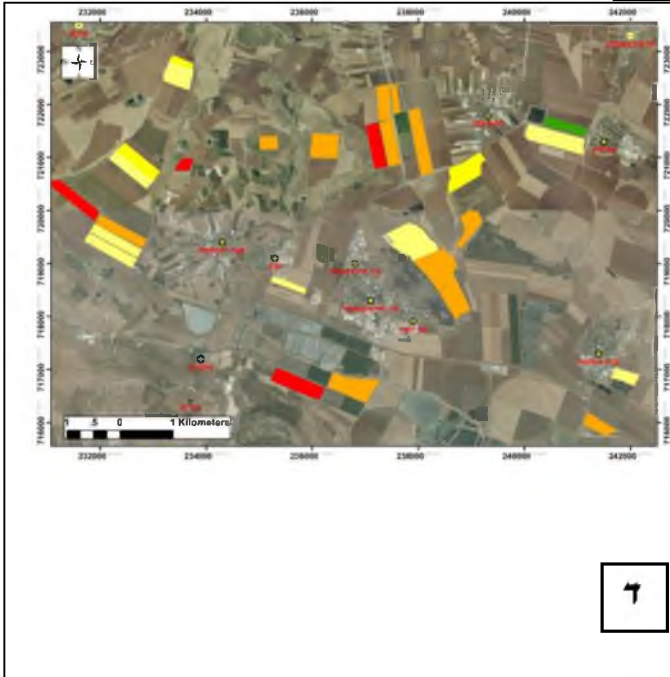
החלקות מוצגות על-פי רמת הנגיעות בהן: ירוק-ללא נגיעות צהוב-נגיעות נמוכה. כתום-נגיעות בינונית. אדום-נגיעות גבוהה. ניתן לראות כי חומרת הנגיעות בעמק החולה נמוכה לעומת חומרת הנגיעות בשאר אזורי הגידול



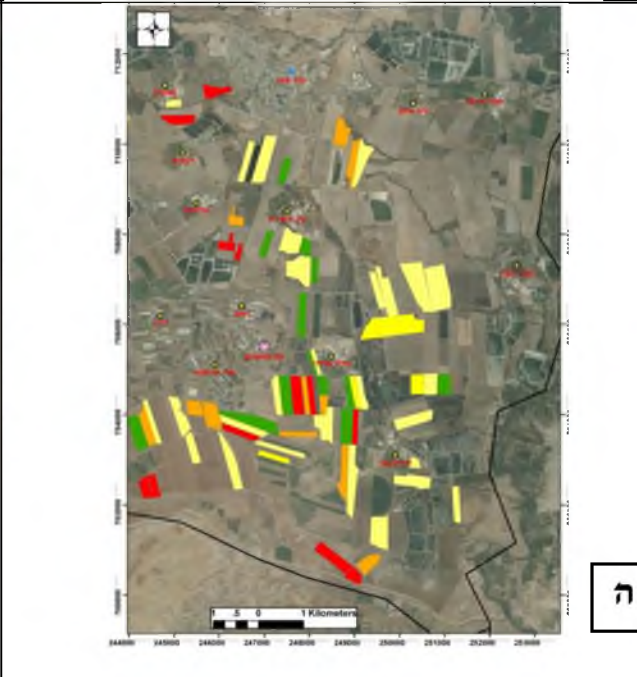
ג



א

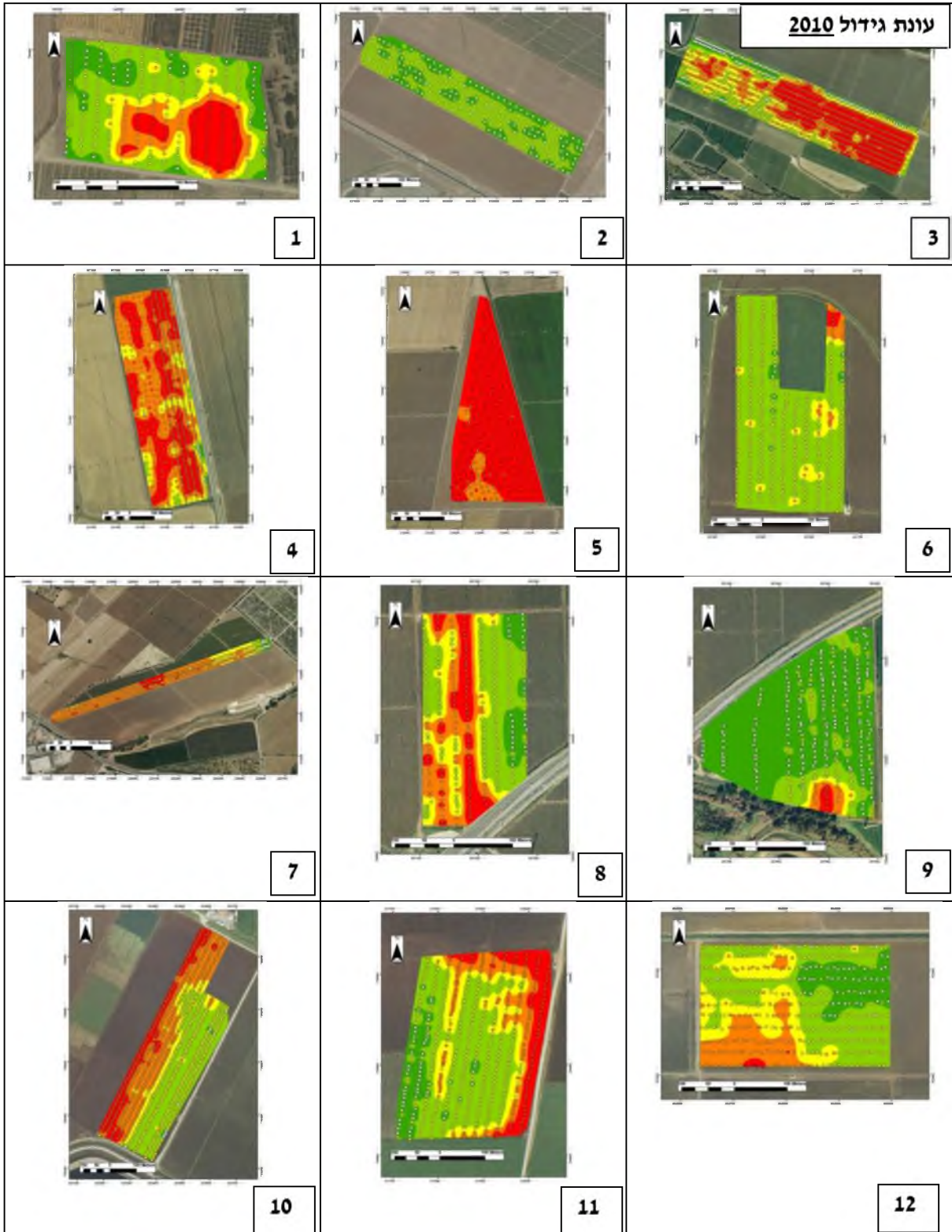


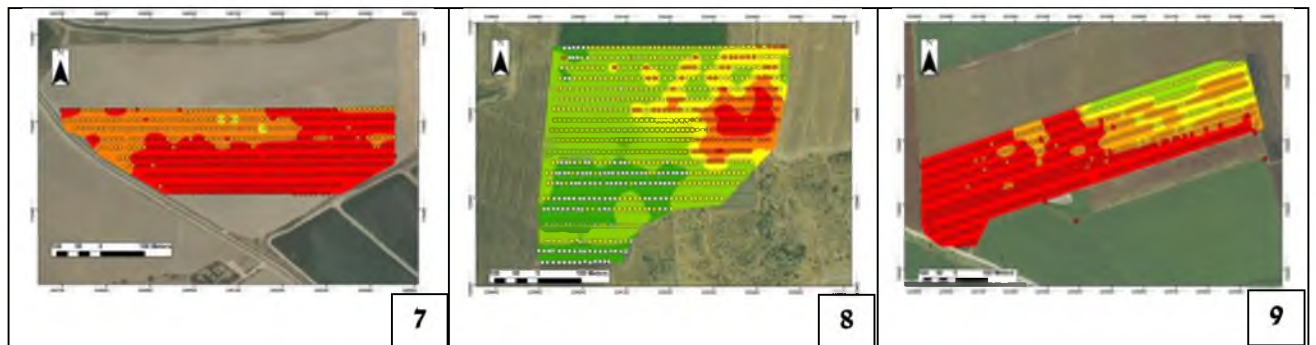
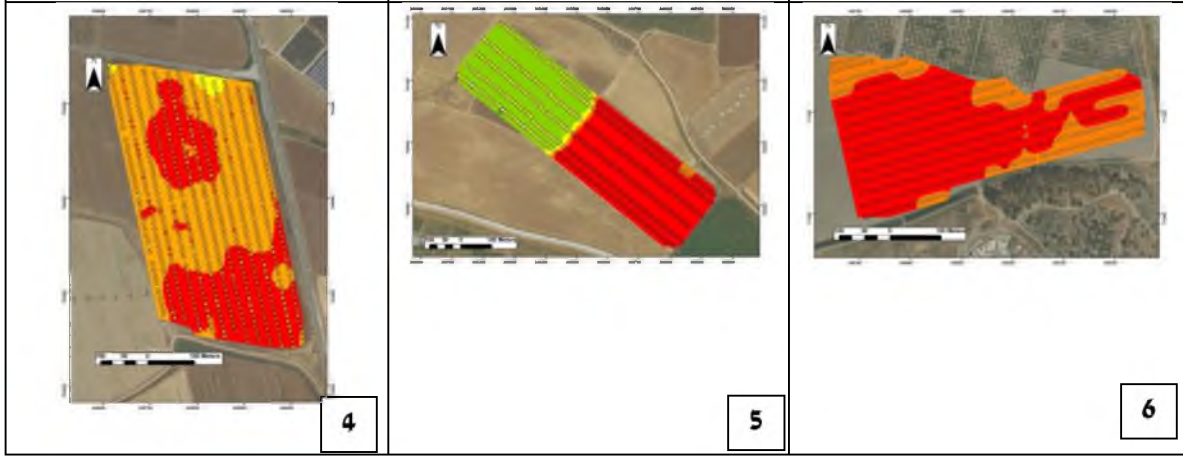
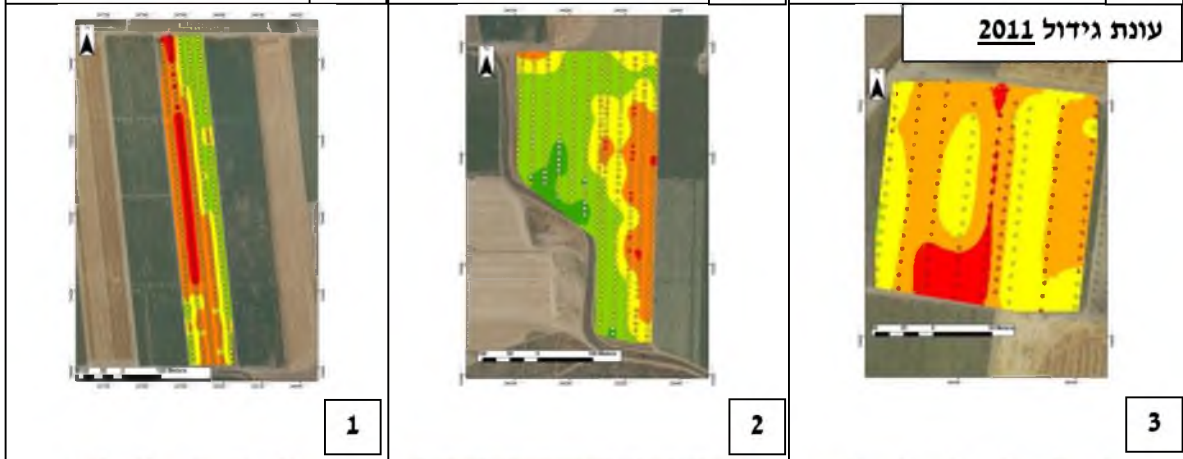
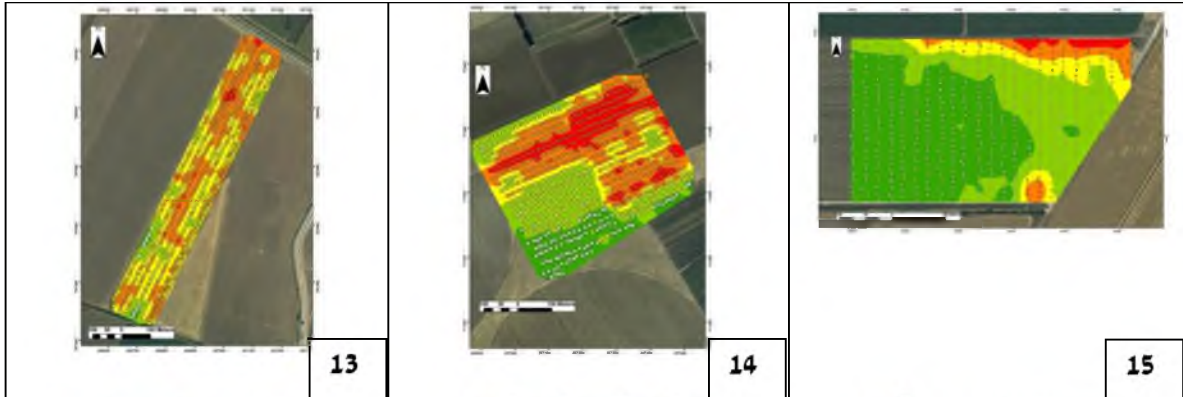
ד

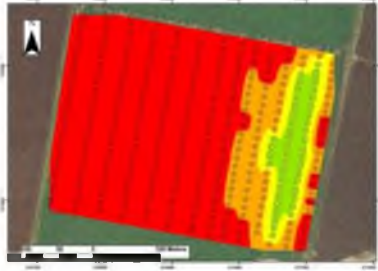


ה

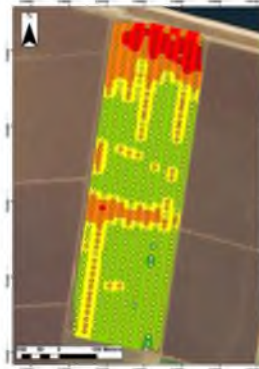
נספח 3 : הצגת חלקות נבחנות בקנה מידה של החלקה



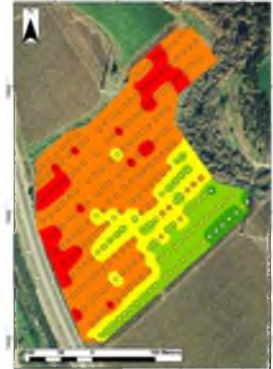




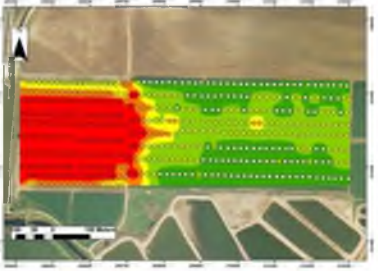
10



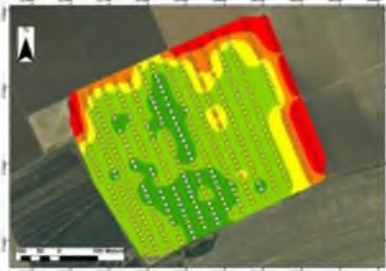
11



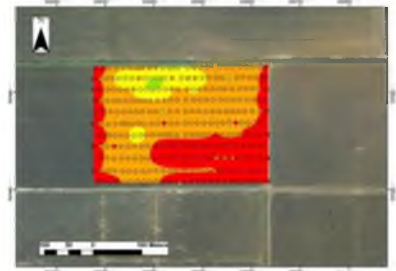
12



13



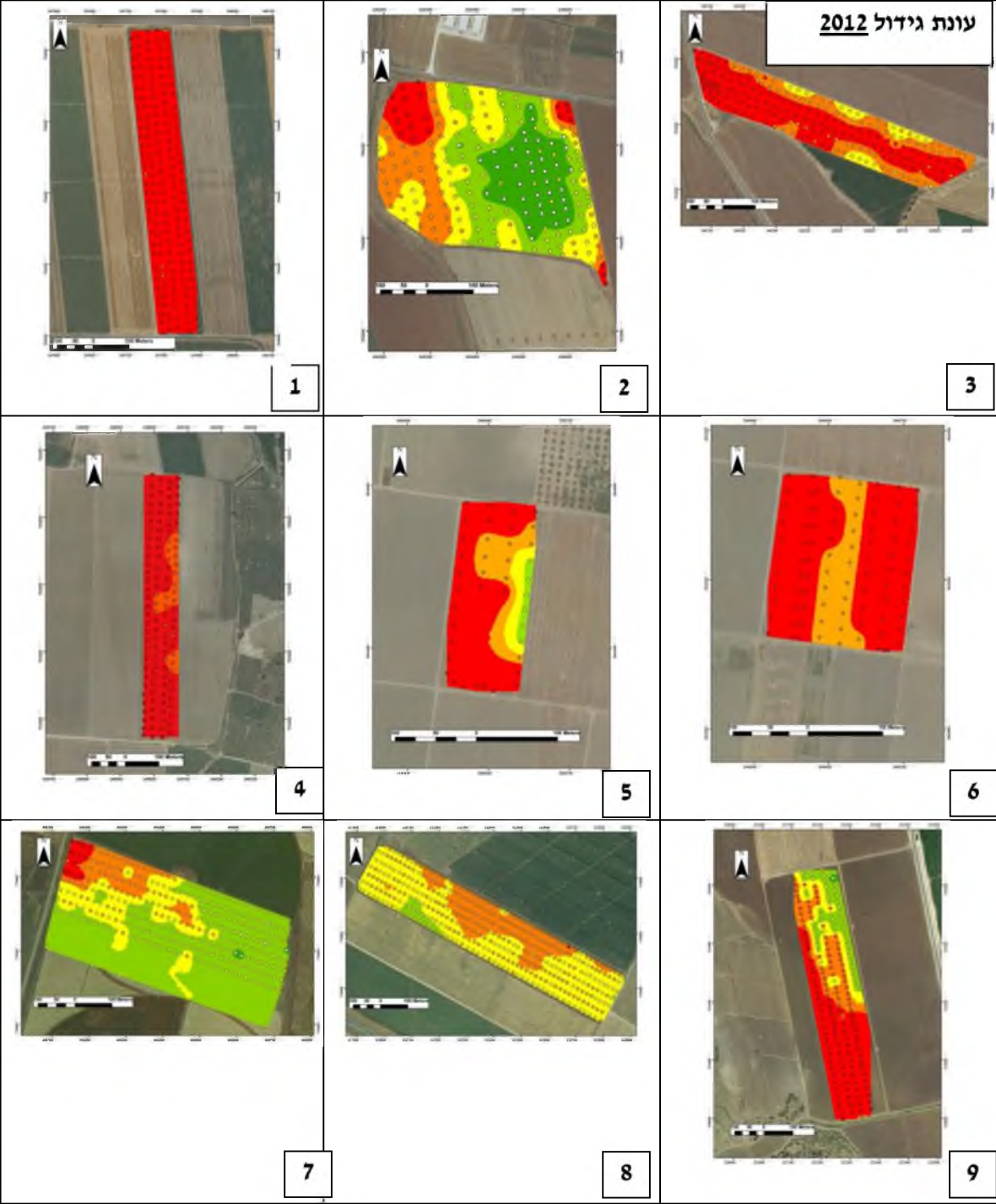
14

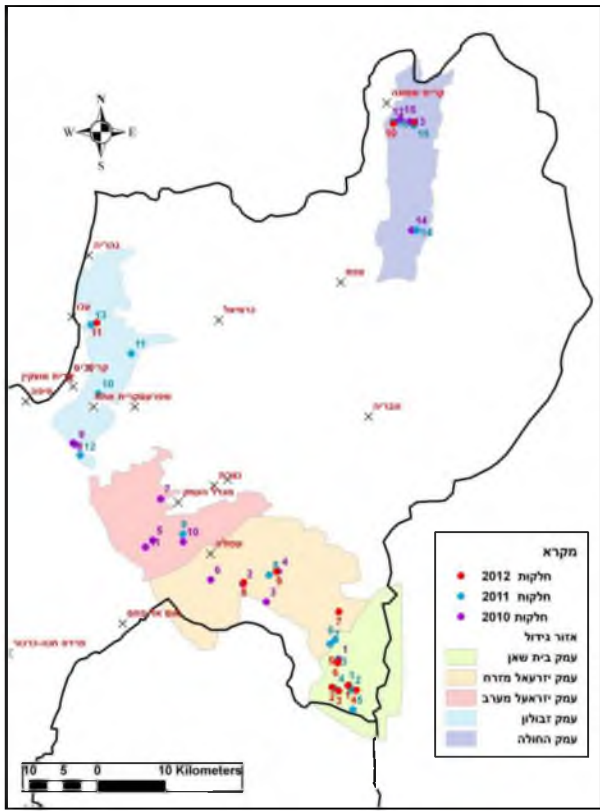
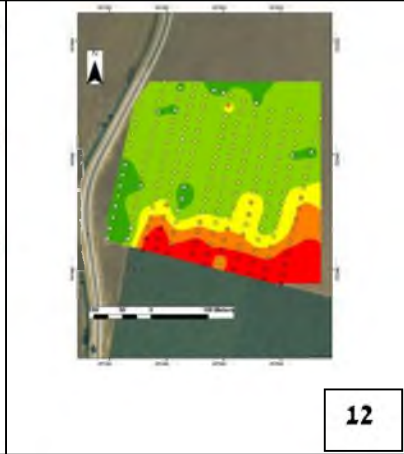
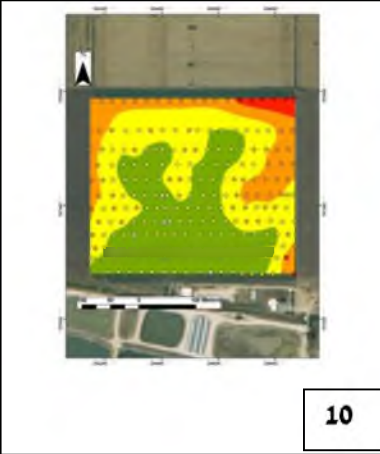


15



16





שנה	מספר חלקה	אזור	שם משק	שם חלקה	תאריך מיפוי
2010	1	עמק בית שאן	חוות עדן	ב'	09.06
	2	עמק יזרעאל מזרח	גבע	12	
	3		עין חרוד איחוד	עמק ד'	
	4		עין חרוד איחוד	ח' דרום	
	5	עמק יזרעאל מערב	גד"ש העמק	202	
	6		כפר החורש	37	18.07
	7		גד"ש העמק	307	05.07
	8	עמק זבולון	יגור	מזרח מזרחי	12.07
	9		יגור	משולש	14.07
	10	עמק יזרעאל מערב	יפעת	ו'	18.07
	11		יפעת	קישון 1	21.07
	12	עמק החולה	חוות גד"ש	10,20	28.07
	13		גד"ש דן	בית הלל 3 מזרח	10.08
	14		חולתה	מערב	17.08
	15		גדש דן	נמה 4 מזרח	25.08
2011	1		עמק בית שאן	שדה אליהו	חמרה ו'	02.06
	2	שדה אליהו		שוקף א'	02.06
	3	חוות עדן		ג'	03.06
	4	שדה אליהו		תחנת קמח מזרח	09.06
	5	מעלה-גלבע		מקרוז 4,5,6	10.06
	6	עמק יזרעאל מזרח	מסילות	מפרק מזרח	22.06
	7		מסילות	אם סוויסה	23.06
	8		עין חרוד איחוד	אבלק דרום	30.06
	9	עמק יזרעאל מערב	כפר החורש	20	01.07
	10		עמק זבולון	גד"ש רא"ם	ביאליק מערב	14.07
	11	גד"ש רא"ם		דמון 5 צפון	14.07
	12	יגור		בוקי	21.07
	13	עמק החולה	גד"ש יע"ן	קונוע בית	25.07
	14		חולתה	כרד 3,4	02.08
	15		חוות גד"ש	30	07.08
	16		כפר בלוס	1	07.08
2012	1	עמק בית שאן	שדה אליהו	חמרה ה'	30.05
	2		שדה אליהו	תחנת קמח מערב	31.05
	3		שדה אליהו	תוקן ד'	06.06
	4		שדה אליהו	שוקף ו'	10.06
	5		חוות עדן	ד'	14.06
	6		חוות עדן	ה'	15.06
	7		שדה נחום	צבי 4	21.06
	8	עמק יזרעאל מזרח	גבע	13	28.06
	9		עין חרוד איחוד	טי דרום	02.07
	10	עמק החולה	חוות גד"ש	31	05.07
	11	עמק זבולון	גד"ש יע"ן	רקאיק מזרח	20.07
	12	עמק החולה	כפר בלוס	2	26.07

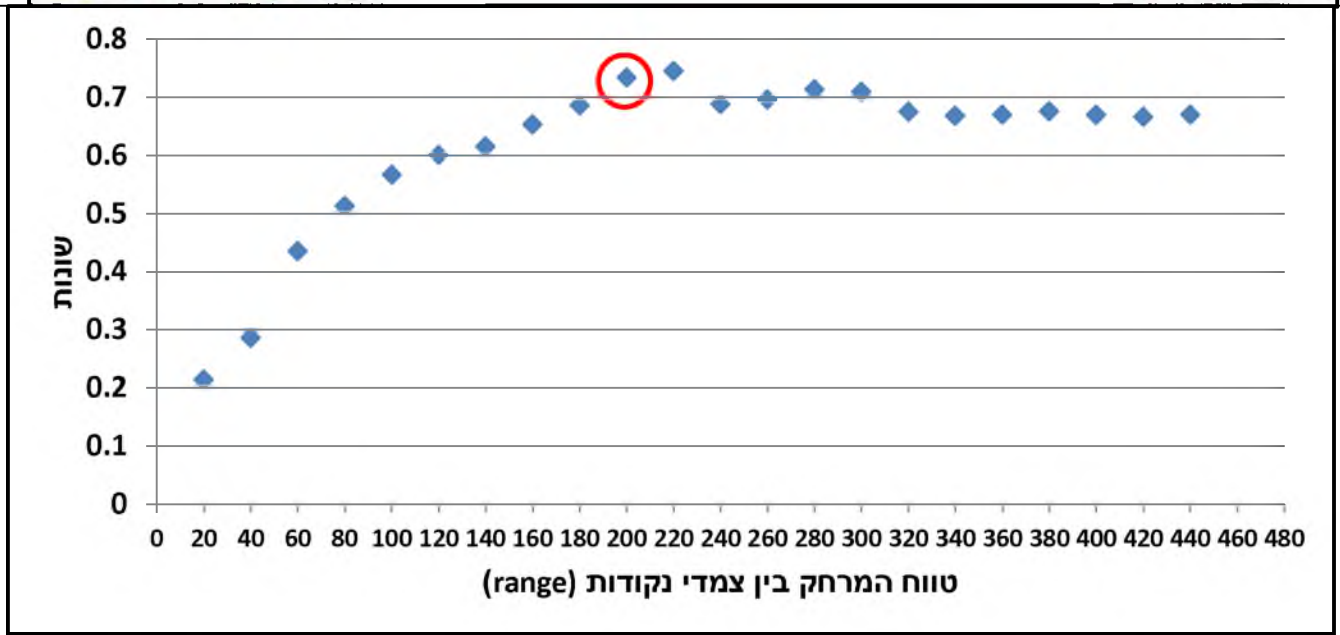
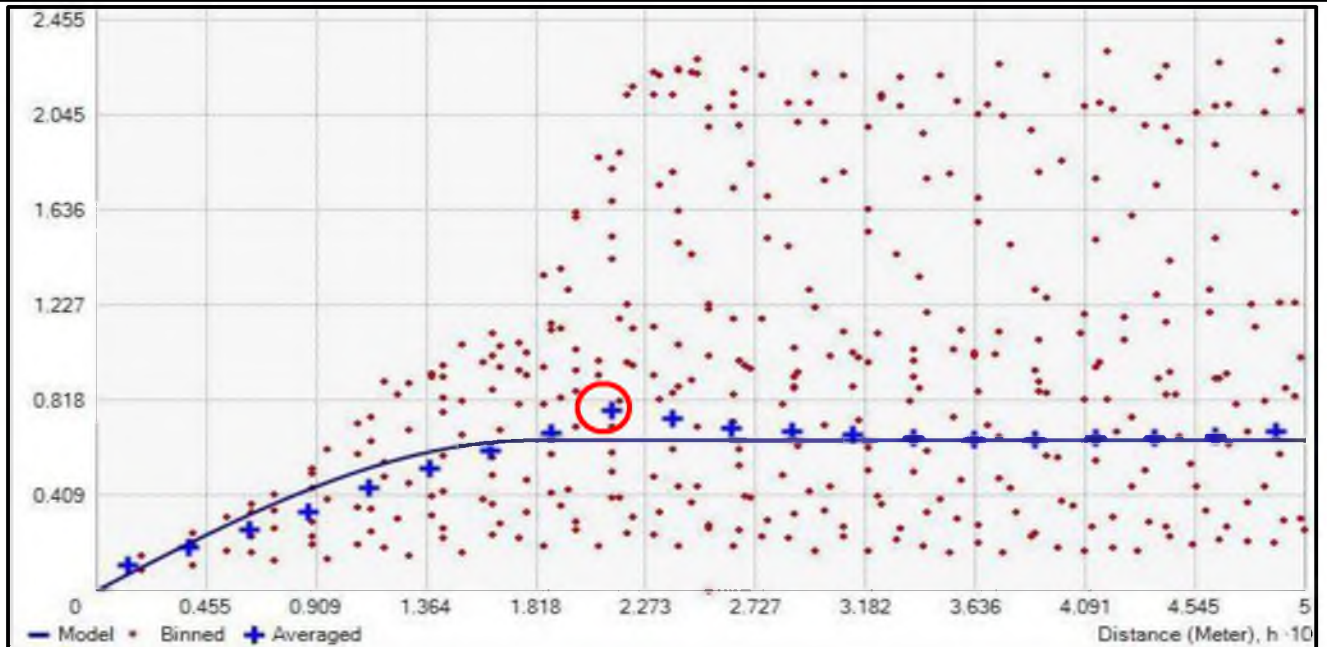
נספח 4: השוואת תוצאות גרף סמיואריוגרם וגרף SDP

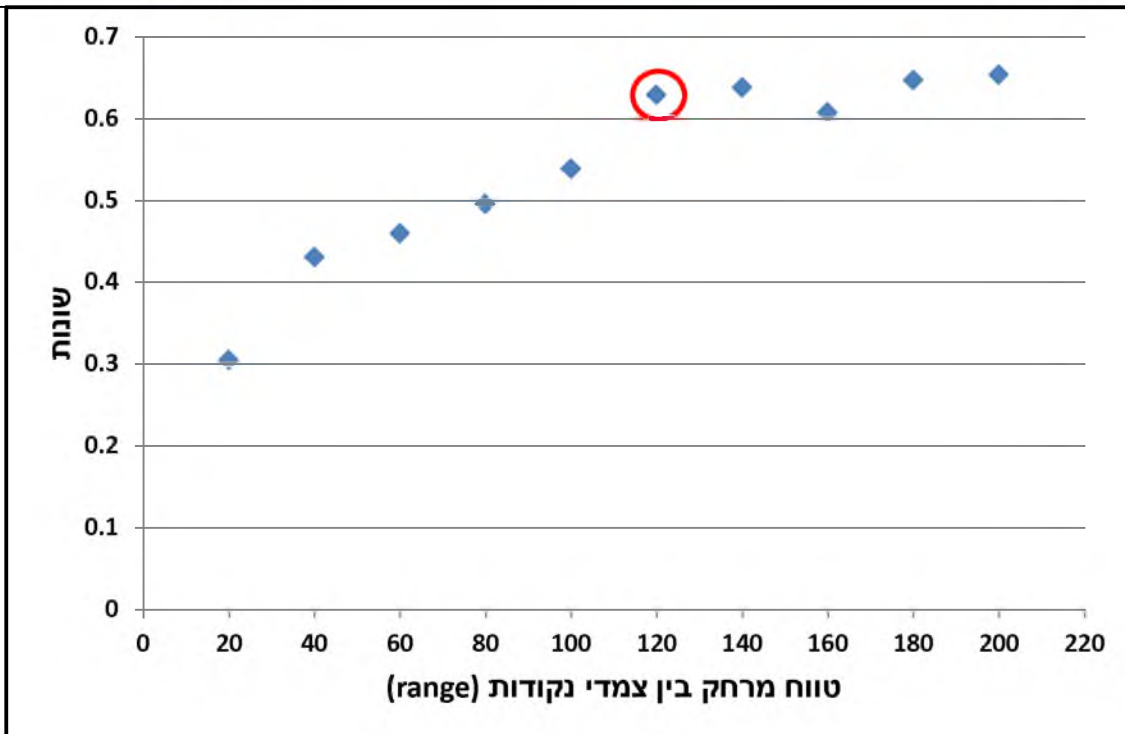
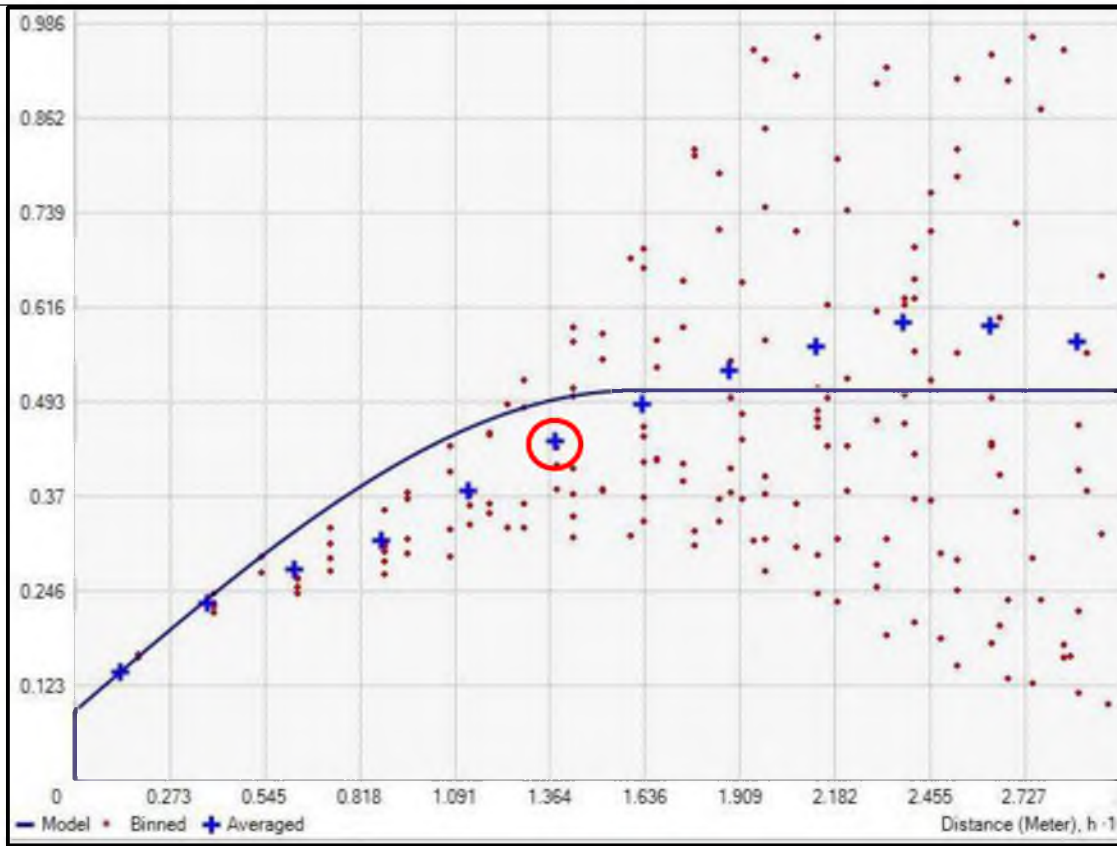
דגם פיזור כיווני: יפעת, חלקה ו'.

א. גרף סמיואריוגרם.

ב. גרף SDP

ה - גרף SDP נותן תוצאה דומה.
 - הסימון האדום מייצג את טווח המרחק (range) הנבחר לניתוח גיאוסטטיסטי על-סמך הסמיואריוגרם. ניתן לראות כי גרף





נספח 5 : הצגת נתוני גרף סמיאריוגרם עבור חלקות בעלות נגיעות נמוכה עד בינונית בעלוקת

nugget/sill	sill	nugget	range	lag	דגם פיזור	ממוצע נגיעות	מס.דגימות	חלקה	משק
0.12	0.843	0.098	300	25|12	direction	1.24	187	2	כפר בלום
0.24	0.467	0.113	270	25|20	direction	1.32	225	21	חוות גדי"ש
0.70	0.259	0.182	130	25|20	cluster	0.57	193		גדש יע"ן
0.65	0.237	0.154	200	25|20	randomal	1.64	372	13	גבע
0.14	0.347	0.050	180	25|20	cluster	1.34	290	צבי 3	שדה נחום
0.16	0.972	0.160	280	25|20	cluster	1.31	195	תחנת קמח מערב	שדה אליהו
0	0.653	0.000	65	20|12	direction	1.8	40	ד'	חוות עדן
0.08	1.056	0.086	134	25|12	cluster	1.4	270	חלקה ב'	חוות עדן
0.18	0.508	0.091	160	25|12	cluster	1.17	385	20	חוות גדש
0.15	0.480	0.070	100	25|12	cluster	0.45	305	משולש	יגור
0.30	0.129	0.039	160	25|12	cluster	1.06	361	37	כפר החורש
0.10	0.889	0.089	100	20|12	row	1.46	271	מזרח_מזרחי	יגור
0.15	0.701	0.107	190	25|12	row	1.6	905	חולתה מערב	חולתה
0.13	0.748	0.100	190	25|12	direction	1.36	502	קישון 1	יפעת
0.00	0.636	0.002	180	25|20	direction	1.76	717	חלקה ו'	יפעת
0.22	0.532	0.115	190	25|12	cluster	0.74	557	נמה_4_מזרח בית הלל 3	גדי"ש דן
0.48	0.330	0.157	77.8	25|12	randomal	1.62	691	מזרח	גדש דן
0.92	0.229	0.212	116.6	35|12	randomal	0.64	282	12	גבע
0.63	0.456	0.286	36	20|12	row	1.94	151	חלקה ג'	חוות עדן
0.18	0.466	0.085	90.9	25|12	row	1.76	382	חמרה ו'	שד"א
0.20	0.437	0.086	190	25|12	cluster	1.05	745	אבלק	עין חרוד איחוד
0.25	0.317	0.079	300	25|20	direction	1.4	514	דמון	גדש רא"ם
0.16	0.524	0.085	200	25|12	direction	1.85	253	בוקי	יגור
0.08	0.634	0.053	270	25|20	direction	1.1	463	כרד 3+4	חולתה
0.34	0.217	0.073	130	25|12	row	1.71	280	1	כפר בלום

נספח 6 : תוצאות מבחן ביולוגי

שיטות המבחן הביולוגי

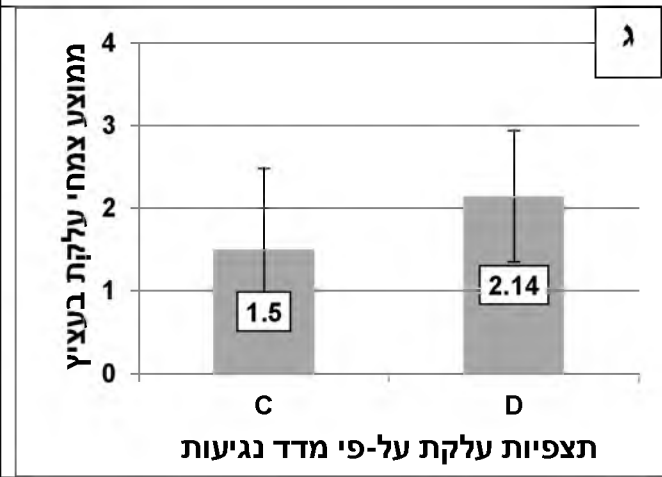
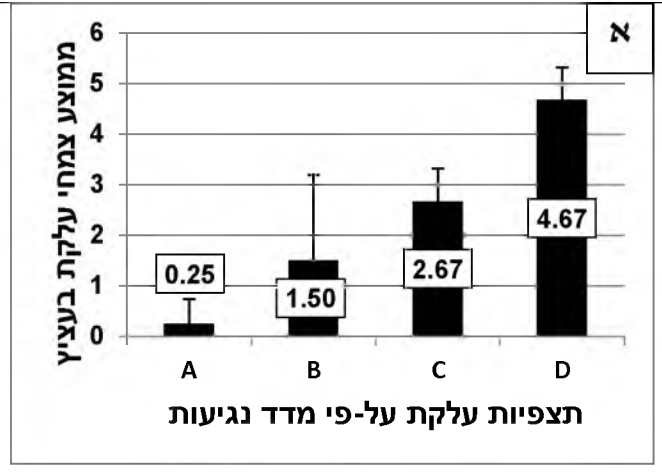
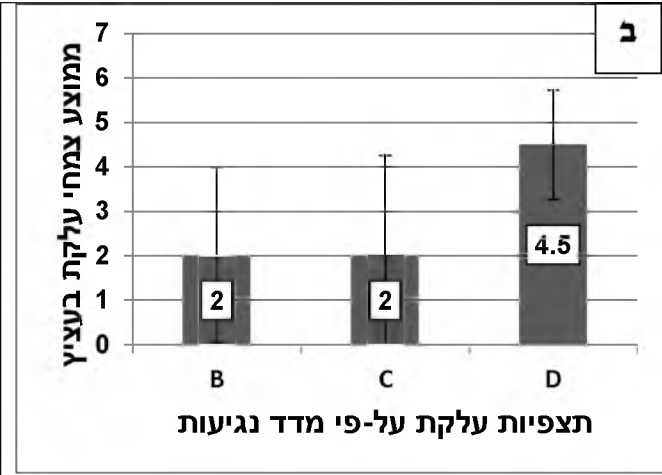
בנובמבר נלקחו מחוות עדן 40 דגימות קרקע משלוש חלקות גידול עג"ת בשנים 2010-12 : 14 דגימות מחלקה ב' (גידול עג"ת 2010), 10 דגימות מחלקה ג' (גידול עג"ת 2011) ו- 16 דגימות מחלקות ד'+ ה' (גידול עג"ת 2012). דגימות הקרקע עבור חלקות ב' ו- ג' נלקחו ממיקומים בחלקות בהם נצפו רמות שונות של מדד הנגיעות במהלך מיפוי החלקות. דגימות הקרקע עבור חלקה ה' נלקחו במבנה X' על פני חלקת הגידול. כל דגימת קרקע חולקה לארבע עציצים ובכל עציץ נשתלה עגבנייה (M82) בדצמבר 2011. לאחר הצצת עלקת ראשונה (50 יום משתילה) נספרו הצצות צמחי עלקת אחת לשבוע עד ל-100 יום משתילה (אפריל 2011).

תוצאות המבחן הביולוגי

בחלקה ב' (עונת גידול 2010) בלבד נצפו בחלקה ארבע רמות הנגיעות המיוצגות במדד הנגיעות (0-3). תוצאות המבחן הביולוגי הראו הבדל מובהק בין רמת נגיעות 0 לרמת נגיעות 1. כמו-כן נמצא הבדל מובהק בין רמת נגיעות 2 לרמת נגיעות 3. ממוצע צמחי העלקת בעציצים שמולאו מדגימות קרקע בהן נצפתה רמת נגיעות 2 היה גבוה לעומת ממוצע צמחי העלקת ברמת נגיעות 1, אם כי לא באופן מובהק (ראה איור 10א').

בחלקה ג' (עונת גידול 2011) נצפו שלוש רמות נגיעות (1-3). אף בחלקה זו נמצא הבדל מובהק בין רמת נגיעות 2 לרמת נגיעות 3. בחלקה זו לא נמצא ממוצע צמחי עלקת גבוה יותר בדגימות קרקע מרמת נגיעות 2 לעומת רמת נגיעות 1 (ראה איור 10ב').

בחלקות ד'+ ה' (עונת גידול 2012) נצפו שתי רמות נגיעות בלבד (2-3). בחלקה נמצא הבדל לא מובהק בין דגימות קרקע שנלקחו משתי רמות הנגיעות. רמת נגיעות 2 עבור עונת גידול זו, מיוצגת ע"י שתי דגימות קרקע בלבד לפיכך ישנה בעיה להתייחס לתוצאות רמה זו.



איור 10: תוצאות מבחן ביולוגי.

א (איור ימין עליון): תוצאות דגימות קרקע מחלקה ב' (עונה 2010)

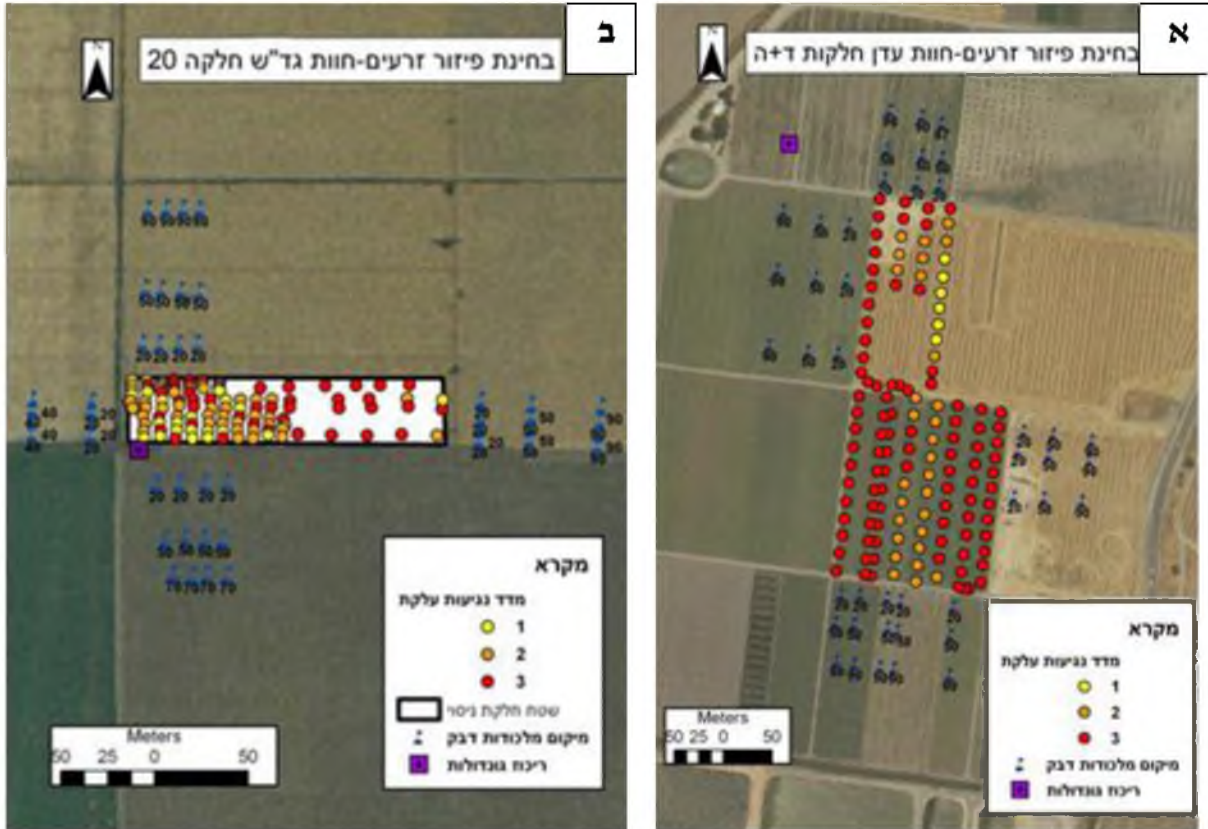
ב (איור שמאל עליון): תוצאות דגימות קרקע מחלקה ג' (עונה 2011)

ג (איור תחתון): תוצאות דגימות קרקע מחלקות ד'+ה' (עונה 2012)

דיון על תוצאות המבחן הביולוגי

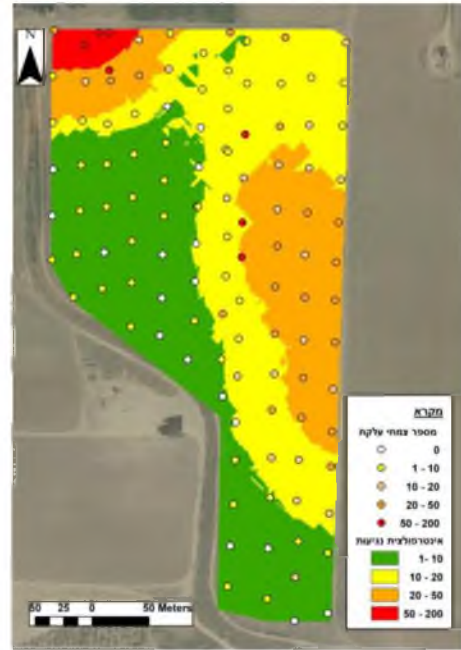
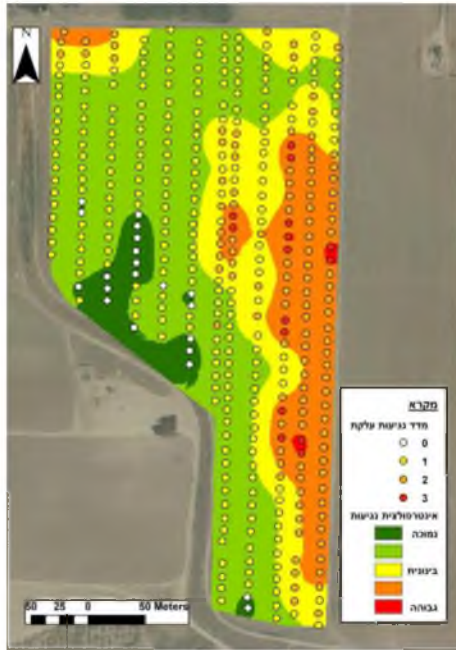
ככלל, הנחת המחקר אודות קיום מתאם חיובי בין בנק זרעי העלקת לכמות צמחי עלקת הצצים על-פני הקרקע לא הופרכה ע"י הניסוי אך גם לא הוכחה במובהק כנכונה. בניסוי התגלעו מספר בעיות: א. בדגימות הקרקע בחלקות ד'+ה' (עונה 2012) ייצגו שתי דגימות בלבד את רמת נגיעות 2. ב. בשתי רמות הנגיעות אשר נמצאו בעונה זו נמצאו במבחן הביולוגי פחות צמחי עלקת לעומת תוצאות המבחן הביולוגי בעונות הגידול האחרות (2010 ו-2011). ייתכן כי הייתה שגיאה בהערכת הנגיעות בעונה זו. בעקבות האמור לעיל, יש לחזור על ניסוי זה עם כמות חזרות גדולה יותר ובדיוק רב יותר על-מנת לבסס את הנחת המחקר. יש לשקול הערכה כמותית ישירה של בנק זרעי הקרקע על-אף הקשיים הכרוכים בכך משום שהמבחן הביולוגי מאפשר אך הערכה עקיפה של בנק הזרעים בקרקע.

נספח 7: תיאור ניסויי שדה להערכת פוטנציאל פיזור זרעים מחלקה נגועה

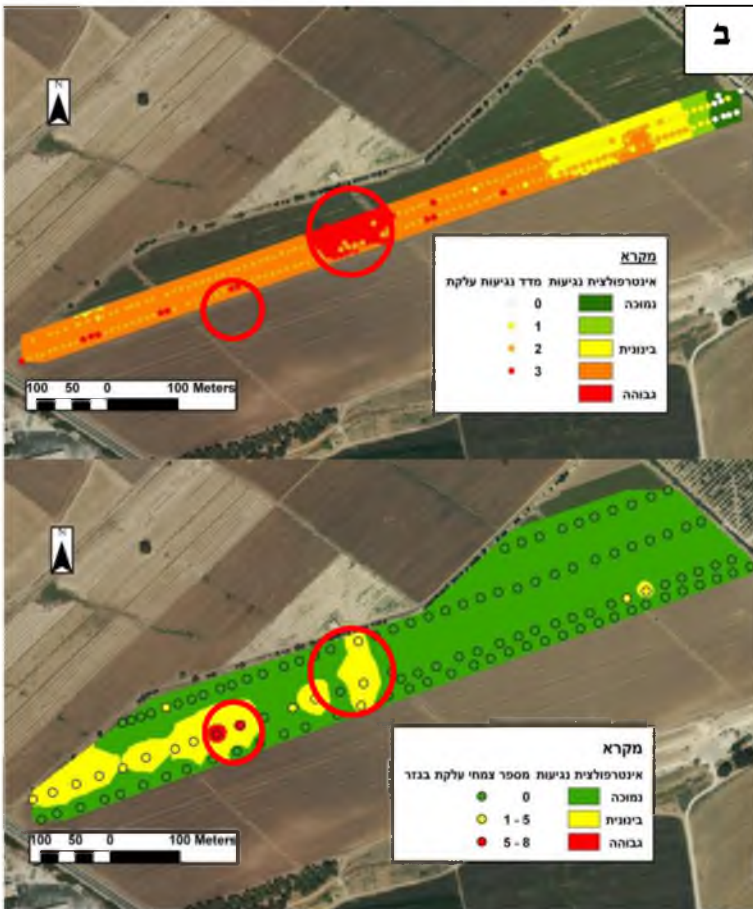


א. איור ימין: הצבת ניסוי בחוות עדן (19-22.06.2012)
 ב. איור שמאל: הצבת ניסוי בחוות גד"ש (27.7-05.08.2012)

נספח 8: התפשטות עלקת במהלך גידול פונדקאים בחלקת הגידול

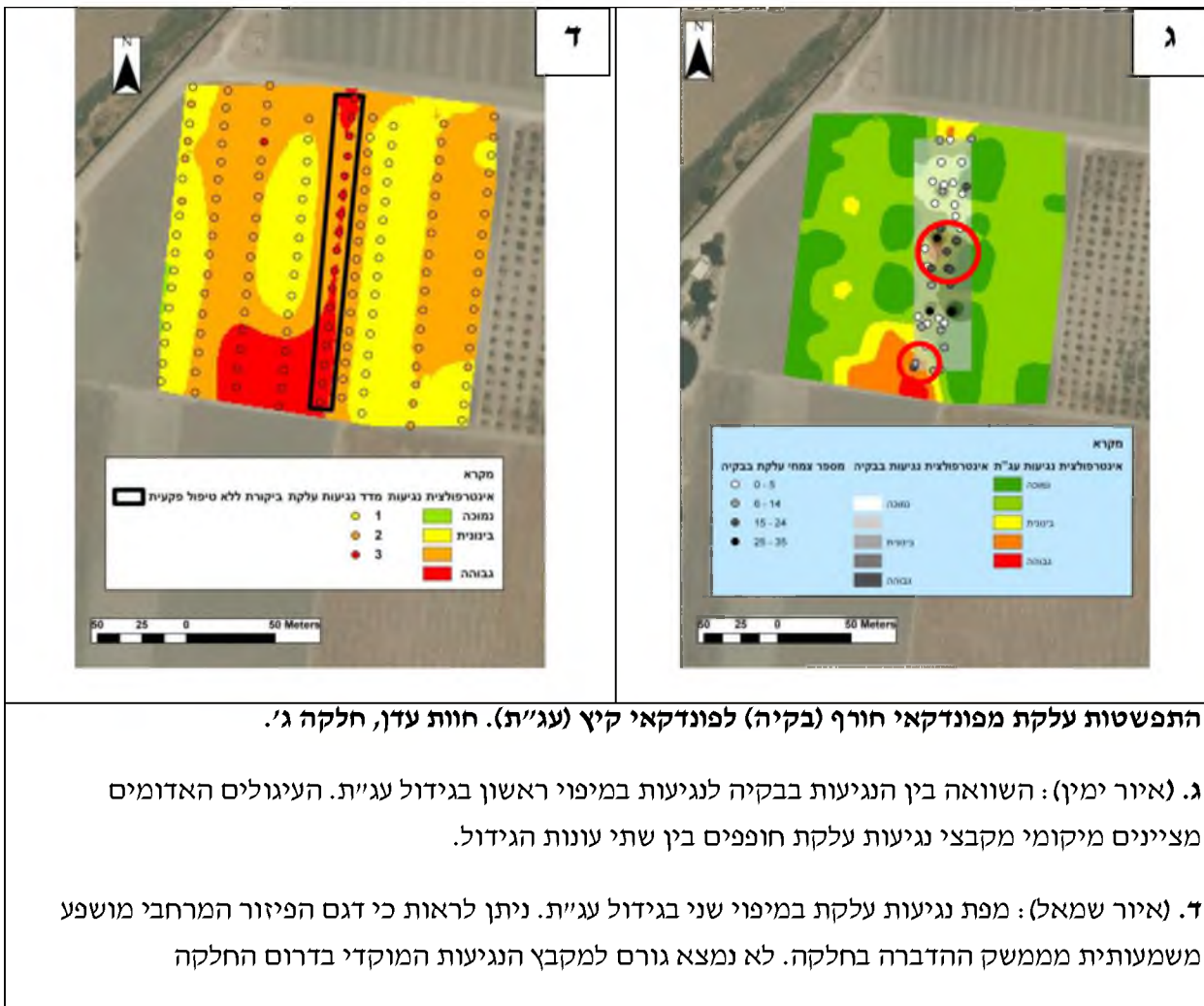


א

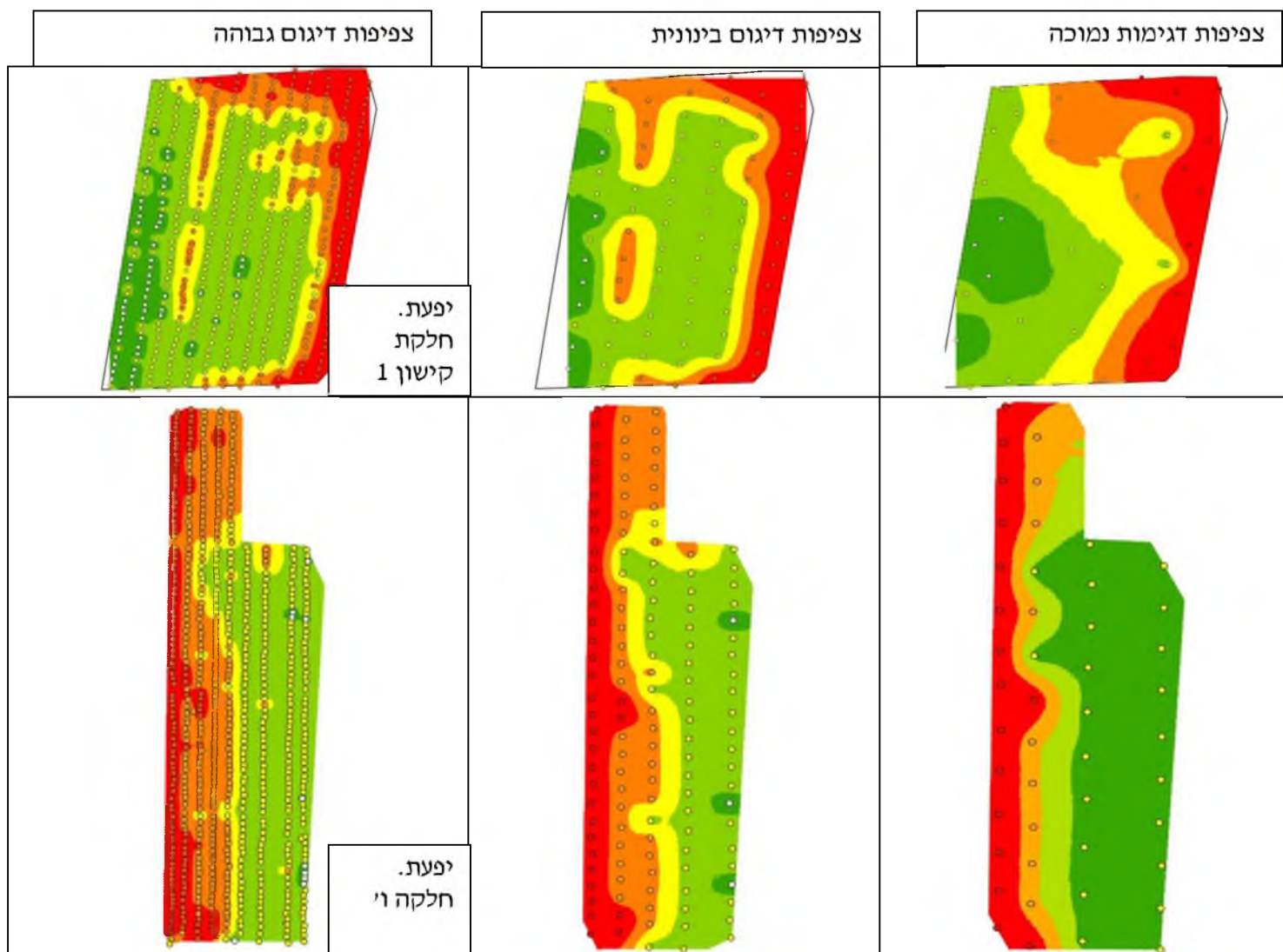


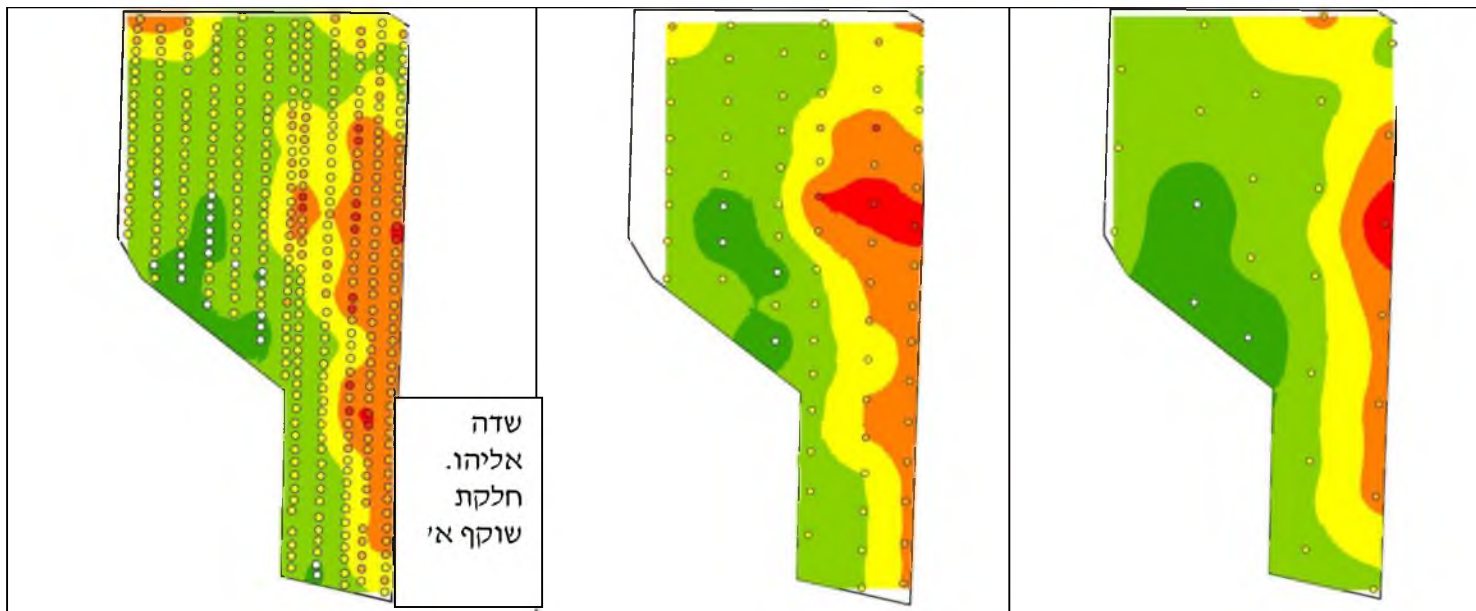
התפשטות עלקת מפונדקאי קיץ לפונדקאי חורף
 א. (איור עליון): גידול עגיית (איור שמאל) ולאחריו גידול כוסברה (איור ימין) בשדה אליהו, שוקף א'. ניתן לראות כי דגם הפיזור המרחבי של נגיעות עלקת דומה בשתי העונות.

ב. (איור תחתון): גידול עגיית (איור עליון) ולאחר מכן גזר (איור תחתון) בגבת, חלקה 307. העיגולים האדומים מציינים מקבצי נגיעות בעלקת חופפים בין עונות הגידול. עם זאת, נגיעות עלקת בעגיית הייתה בינונית ונגיעות עלקת בגזר הייתה נמוכה מאד

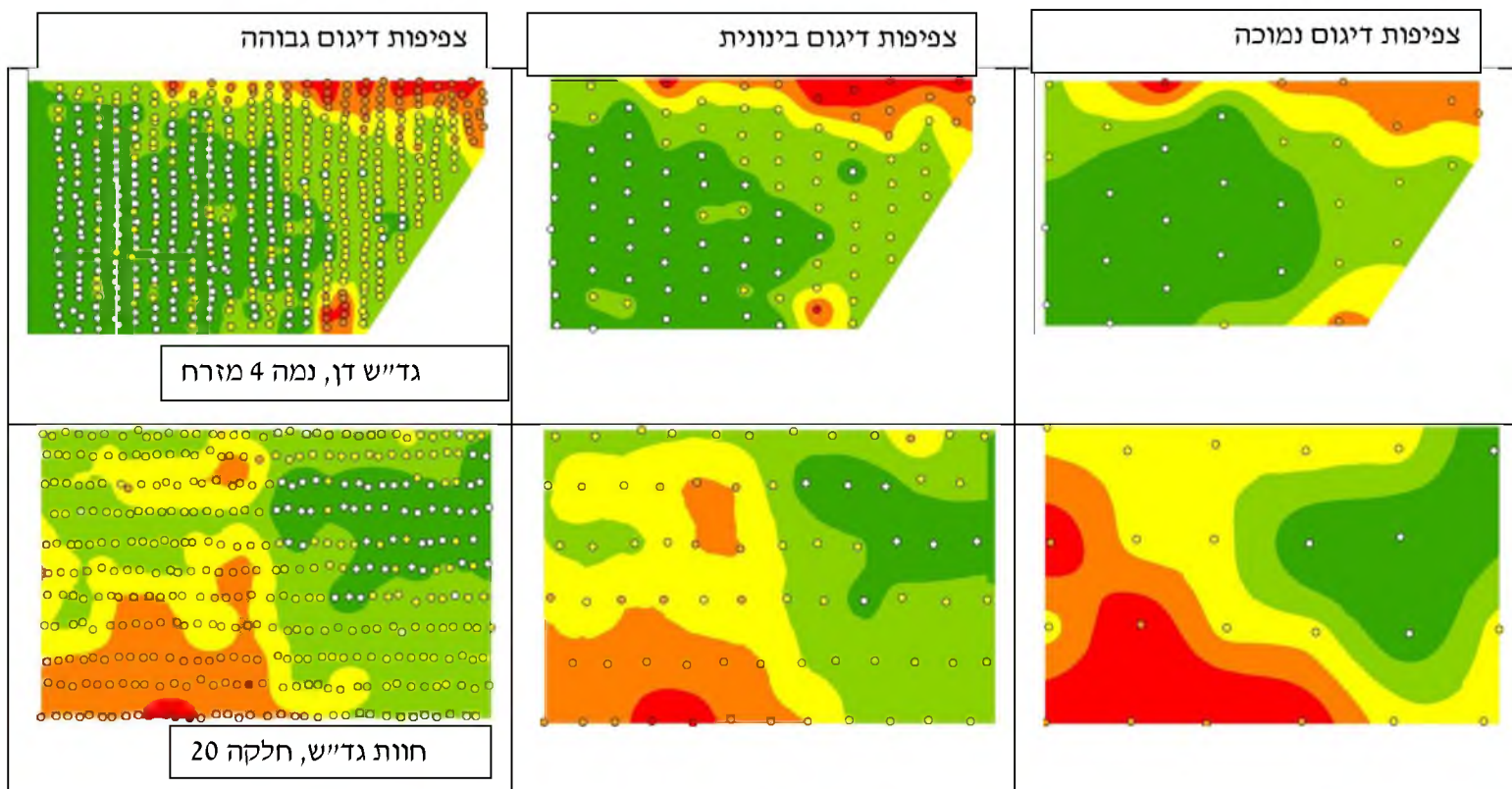


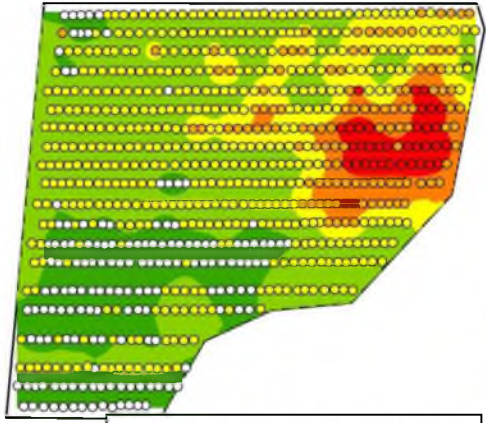
א. חלקות בעלות דגם פיזור של מקבץ כיווני



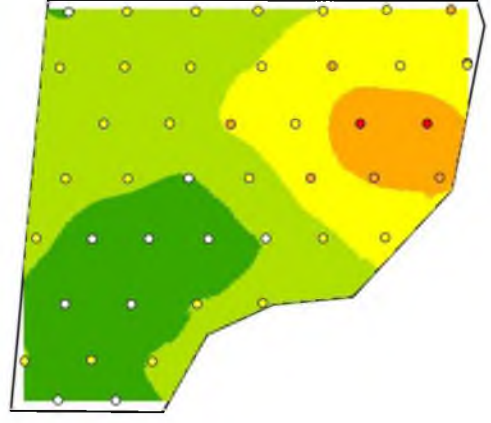
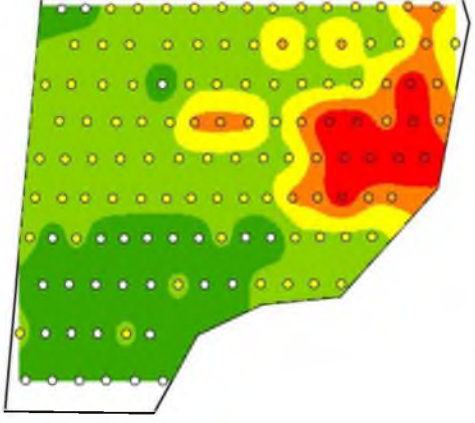


ב. חלקות בעלות דגם פיזור של מקבץ מוקדי

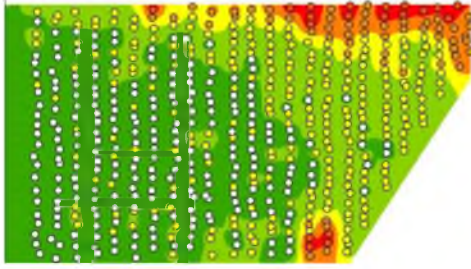




עין חרוד איחוד, אבלק דרום



נספח 10: השוואת מפות נגיעות בצפיפות דיגום נמוכה כתלות בשיטות דיגום שונות

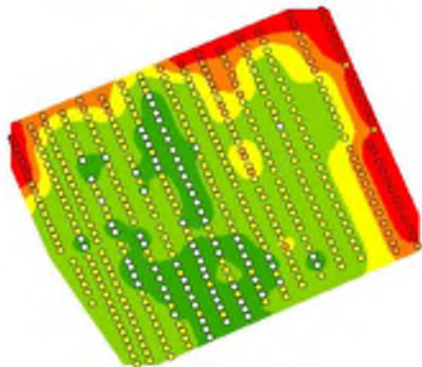
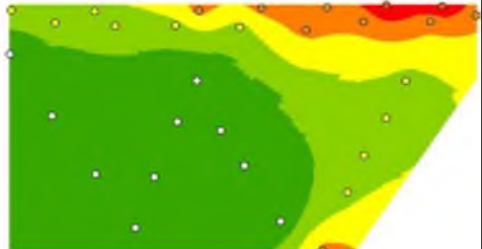
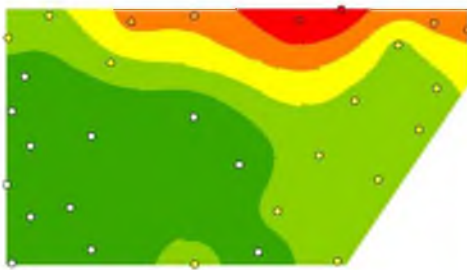
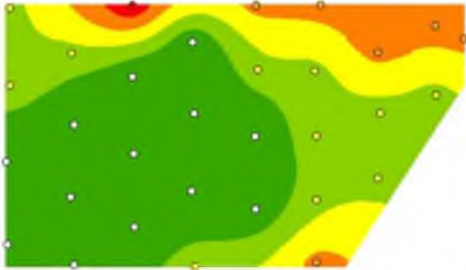


גדש דן, חלקה נמה 4 מזרח.
אינטרפולצית נגיעות מקורית
בצפיפות דגימות גבוהה

דגימות מפוזרות אקראית בחלקה

דגימות מרוכזות סמוך לגבולות החלקה

דגימות מרוכזות בגבול החלקה הסמוך
לחלקה שכנה מאולחת

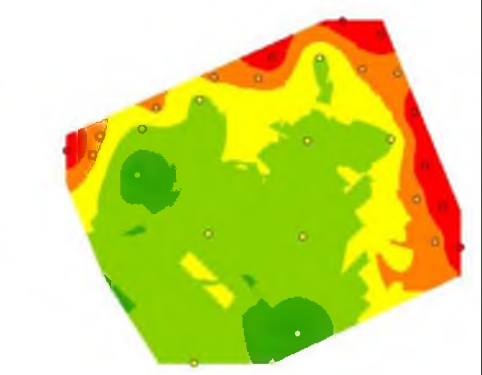
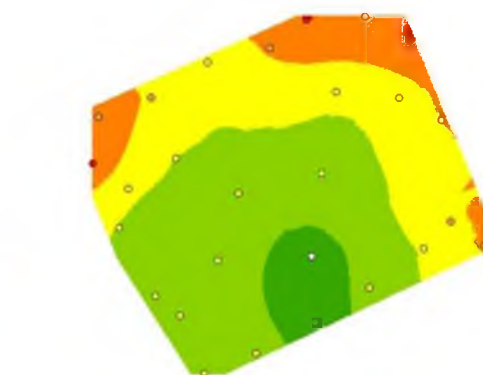
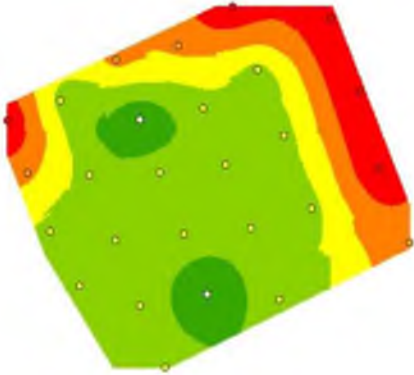


חולתה, חלקה כרד 3+4.
אינטרפולצית נגיעות מקורית
בצפיפות דגימות גבוהה

דגימות מפוזרות אקראית בחלקה

דגימות מרוכזות סמוך לגבולות החלקה

דגימות מרוכזות בגבול החלקה הסמוך
לחלקה שכנה מאולחת



Abstract

Broomrapes (*Orobanche and Peliphanche spp.*) are chlorophyll lacking root parasitic plants that parasitizes vegetables and field crops worldwide. In the Mediterranean, and specifically in Israel, during the last decade, the significance of infested fields has increased dramatically, causing heavy damage or even total yield losses. Egyptian broomrape (*P. aegyptiaca*) is one of the main threats to tomato production in Israel. The research objective was to characterize spatial patterns of broomrape infection in tomato plots and to find the factors that affect infection potential and its spatial pattern. This knowledge can assist in improving decision support system (DSS) “PICKIT” that appoints Egyptian broomrape control in commercial tomato. Additional application is the improvement of infection monitoring pre-tomato planting.

Materials and Methods: extensive regional and in-field scales data from three tomato growing season, 2010-2012, were combined. A regional survey was conducted to collect plots history to investigate the major factors that affect the broomrape infection in processing tomato. Data were collected from 163 plots by interviewing farmers. The farmers were asked for two types of data :

1. Data from the year of survey: planting and harvesting dates; broomrape control treatments along the season; estimation of the overall Egyptian broomrape infection; location of the containers that were used for collecting the tomatoes ;
2. Field history: history of Egyptian broomrape infection (level and year); crop rotation since 2000; history of Egyptian broomrape infection in proximity plots; historical locations of the containers; unusual events that were recorded in the plot.

The collected data were structured and stored in a database to enable an effective multi-year data updating, filtering, and analyzing. Chi-tests were conducted to identify the factors that have significantly contributed to Egyptian broomrape infection level .

In addition, Egyptian broomrape infection levels were intensively mapped (42 samples per ha) in 43 of tomato plots during 2010-2012 seasons. Based on shoot emergence, each unit sample (240 m²) was classified into one of four infection levels : (0) no shoots emergence: no infection ;(1) 1-50 shoots emergence per 240 m² (< 2 shoots per 10m²): low infection level ;(2) 50-200 shoots emergence per 240 m² (2-8 shoots per 10m²):

medium infection level ;(3) More than 200 shoots emergence per 240 m² (> 8 shoots per 10m²): high infection level ;

Mapping was conducted using a mobile GPS-GIS system after Egyptian broomrape shoots emergence, approximately three weeks before tomatoes harvesting. The sample maps were interpolated using Kriging to enable a visual determination of the infection spatial pattern in each plot .

Results: Chi-tests based on the regional database (163 plots) have shown that previous Egyptian broomrape infection level, history of tomato in the crop rotation of the plot significantly increased the risk for Egyptian broomrape infection in tomato plots. In comparison, history of other broomrape hosts in the crop rotation of the plot did not increase the risk for Egyptian broomrape infection. Additionally, growing tomato in a new tomato growth region had lower risk.

Intensive mapping of Egyptian broomrape infection level revealed 5 major spatial patterns: directional clusters, elongated clusters, random, uniform and small clusters. Based on geostatistical analysis reduction of the sample density (from 42 to 2.5 samples per ha) was conducted. Despite the significant reduction, spatial patterns were maintained in most case. This result implies that pre-planting spatial pattern mapping can be made with relatively low number of samples .

Combining the data from the two scales revealed the major role of neighboring plot with infection history as initial infection source. Plots characterized with directional clusters showed infection level that was linearly decreased with increasing distance from an infected plot .

Implications: Plot history data may enable the prediction of the infection level which in turn may improve the use of the DSS “PICKIT”. In addition, the in-field variability which is explained by proximity to infected plots may optimize sampling patterns and would also enable a site-specific control strategy.

**Spatial distribution characterization of
Egyptian broomrape (*Phelipanche aegyptiaca*)
in tomato fields in Israel**

**Submitted to the Robert H. Smith Faculty of
Agriculture, Food and Environment of the
Hebrew University of Jerusalem**

**By
Itai Roei**

Rehovot

November 2013

**Spatial distribution characterization of
Egyptian broomrape (*Phelipanche aegyptiaca*)
in tomato fields in Israel**

**Submitted to the Robert H. Smith Faculty of
Agriculture, Food and Environment of the
Hebrew University of Jerusalem**

**By
Itai Roei**

Rehovot

November 2013