

**שימוש במדדים מרחביים לאפיון פיזור התחלואה  
ויעילות ההדברה של מחלות המועברות בקרקע  
בגידול אגוזי אדמה בנגב המערבי**

**עבודת גמר**

מוגשת לפקולטה לחקלאות, המזון וסביבה ע"ש רוברט ה. סמית  
של האוניברסיטה העברית בירושלים

לשם קבלת תואר "מוסמך למדעי החקלאות"

על ידי

הראל כדורי

**שימוש במדדים מרחביים לאפיון פיזור התחלואה  
ויעילות ההדברה של מחלות המועברות בקרקע  
בגידול אגוזי אדמה בנגב המערבי**

**עבודת גמר**

**מוגשת לפקולטה לחקלאות, המזון וסביבה ע"ש רוברט ה. סמית  
של האוניברסיטה העברית בירושלים**

**לשם קבלת תואר "מוסמך למדעי החקלאות"**

**על ידי**

**הראל כדורי**

עבודה זו נעשתה בהדרכתם של

ד"ר אברהם גמליאל, המעבדה לחקר יישום שיטות הדברה,  
המכון להנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי, מרכז  
וולקני, בית דגן.

ד"ר יפית כהן, המחלקה לחישה, מידע ומיכון,  
המכון להנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי, מרכז  
וולקני, בית דגן.

## הבעת תודה

ברצוני להודות לכל מי שתרום ועזר בעבודה זו, בלעדיתם לא היה מתאפשר לי לסיים את לימודי התואר השני.

ראשית תודה למנחי העבודה:

**לד"ר אברהם גמליאל** - תודה על הזכות להיות תלמידך, ללמוד ולהתעשר ולא רק בתחום המקצועי אלא בדרך המחשבה, ההבנה וגישה לחיים בכלל. תודה על הזמן, תשומת הלב והסבלנות שנתת לי בעת הצורך, ותודה על שהכרתי לי את כל האנשים הנפלאים במעבדה ונתת לי לקחת חלק בצוות המחקר שלך שתמיד נותנים הרגשה של בית.

**לד"ר יפית כהן** - תודה על ההדרכה הרבה והאפשרות לראות את העולם קצת מזווית אחרת ורחבה יותר. תודה בהתמודדות עם הקשיים שנוצרו והאוזן הקשבת התמידית שעודדה וחזקה אותי לאורך כל הדרך.

תודה לצוות המעבדה לחקר ישום שיטות הדברה:

**ליהודית ריבן, ברכה שטיינר, מרינה בניחיס, מרים אוסטרוויל, מירי גרינר וזאנה גטקר** - תודה על הדאגה והרצון הטוב לעזור ולתמוך לאורך כל הדרך. תודה על כל העזרה בעבודה בשדה ובמעבדה, בלעדיתם לא הייתי מגיע עד הלום.

**לויקטור זילברג** - תודה לך על החוויות הבלתי נשכחות בשדה ובעבודה, העזרה הטובה והיד העובדת שתמיד עזרה בעת הצורך.

**לשחף דותן, אייל קליין, רוני אלון ותמר אלון** - על העזרה במחקר, החברות והרגעים הטובים שהיו בדרך.

**לאיציק פרץ ועופר היימן** - תודה על שיתוף הפעולה המלא והרצון והעזרה בביצוע הניסויים לקידום המחקר.

**לד"ר אורי ירמיהו** - על העזרה במחקר בנושא מינרלים והשפעתם על תחלואת אגא"ד.

**לצוות המעבדה של יח"מ: אורי זיג, ויטאלי טרופנוב, נמרוד בורגן, גמיל אבוסיזרא ומוניר אבו-עני** - תודה על כל העזרה הגדולה ושיתוף הפעולה המלא בביצוע המחקר הן בשדה והן במעבדה ביח"מ.

**לצוותי הגד"ש: משקי יח"מ, מושבי הנגב ועלומים-לב הנגב** - תודה על שיתוף הפעולה בביצוע המחקר וניסויי השדה.

תודה מיוחדת להורי ולאשתי על התמיכה והאהבה שנתנו לי את האפשרות ואת הכוח לסיים תואר שני ולהגיש עבודה זו.

## רשימת קיצורים

אגא"ד – אגוזי אדמה

גד"ש – גידולי שדה

גר' – גרם

ד' – דונם

טמפי' – טמפרטורה

לי' – ליטר

מ"ל – מיליליטר

ממ"ג – מערכת מידע גיאוגרפית

מ"מ – מילימטר

מס' – מספר

מ"צ – מעלות צלזיוס (°C)

מ"ק – מטר מעוקב

מ"ר – מטר רבוע

נק' – נקודות

ס"מ – סנטימטר

סמ"ק – סנטימטר מעוקב

ק"ג – קילוגרם

ק"מ – קילומטר

קנ"מ – קנה מידה

תפוא"ד – תפוחי אדמה

מחלות קרקע – גורמי מחלות המועברות בקרקע

CFU – Colony Forming Units

GIS – Geographical Information System

gr – Gram

GPS – Global Positioning System

N – Normal

ml – Mililiter

mg - Miligram

ppm – parts per million

P – Probability

R – Radius

°C - Celcius

## תוכן עניינים

### עמוד מס'

|   |    |
|---|----|
| מבוא.....   | 1  |
| סקירת ספרות.....  | 2  |
| חומרים ושיטות.....  | 12 |
| תוצאות.....   | 22 |
| 1. מאפיינים מרחביים באילוח קרקעות במחוללי מחלת היבללת והרשת.....  | 22 |
| 1.1 ניתוח מרחבי של פיזור מחלת היבללת בחלקה הבודדת.....  | 22 |
| 1.1.1 מיפוי התחלואה וניתוח איכותי.....  | 22 |
| 1.1.2 ניתוח גיאוסטטיסטי.....  | 23 |
| 1.2 ניתוח מרחבי של פיזור המחלה ברמה האיזורית : הקשר בין המיקום הגיאוגרפי של החלקה וסוג הקרקע לתחלואה במחלת היבללת הרשת..... | 30 |
| 1.2.1 תפוצת מחלת היבללת.....  | 32 |
| 1.2.2 תפוצת מחלת הרשת .....   | 33 |
| 1.3 פיזור מחלת הפוזריום ופיתיוס בחבל מעון באגא"ד.....   | 36 |
| 2. מאפיינים אגרוטכניים והשפעתם על תחלואת תרמילי אגא"ד .....   | 38 |
| 2.1 תחלואה במחלת היבללת ורשת כתלות במספר הגידולים הקודמים של תפוא"ד ואגא"ד.....   | 38 |
| 2.2 תחלואה ביבללת כתלות במספר הגידולים הרגישים בעבר והאזור הגיאוגרפי.....   | 39 |
| 2.3 השפעת מינרלים על התחלואה ביבללת בקרקעות שונות.....  | 40 |
| 3. השפעת חיטוי קרקע בפורמלין על תחלואת תרמילים ביבללת ורשת.....   | 41 |
| 3.1 השפעת חיטוי קרקע בפורמלין על התחלואה ביבללת ורשת : ניתוח פיזור המחלה בחלקה.....   | 41 |
| 3.2 יעילות החיטוי באזורים הגיאוגרפים השונים.....  | 42 |
| 3.3 השפעת מחזור הגידולים על יעילות החיטוי.....  | 46 |
| 3.4 השפעת מספר החיטויים הקודמים בפורמלין על יעילות החיטוי הנוכחי.....   | 47 |
| 4. השפעת אמצעי היישום על יעילות החיטוי בהדברה של יבללת ורשת.....  | 48 |
| 4.1 השפעת מינון הפורמלין בחיטוי על התחלואה ביבללת ורשת.....   | 48 |
| 4.2 השפעת אמצעי ההשקיה על יעילות החיטוי.....  | 49 |

- 4.2.1 השוואת אחידות פיזור הפורמלין באמצעי ההשקיה השונים..... 51
- 4.2.2 בחינת השוואה של אמצעי ההשקיה באותה חלקה..... 52
- 4.3 השפעת תיחוח הקרקע טרם החיטוי על אחוז הנגיעות במחלת היבללת והרשת..... 55
- 4.4 השפעת מועד ישום החיטוי על הנגיעות במחלת היבללת והרשת..... 55
5. בחינת הסיבות האפשריות לתחלואה הרבה באזור מס' 1 למרות ביצוע חיטוי בפורמלין.. 56
6. הערכת אוכלוסיות סטרפטומצטים בקרקע כמדד ליעילות חיטוי פורמלין..... 60

דין..... 63

סיכום..... 69

רשימת ספרות..... 71

**תקציר באנגלית**

## מבוא

בשנים האחרונות ענף החקלאות בארץ מתמודד עם מספר בעיות קשות ביניהן הדברת גורמי מחלות השוכנים בקרקע שהתעצמו בשנים האחרונות וירידה ביעילות אמצעים לחיטוי קרקע והגבלות על שימוש בתכשירים הקיימים. אגא"ד הנו גידול מרכזי בעונת הקיץ בחבל מעון שבנגב המערבי. התמורה הרבה של הגידול הוא בשל יצוא של אגוזי האדמה בקליפתם. מחלת היבללת שנגרמת על ידי גורם המחלה *Streptomyces scabies* גורמת להופעת יבלות בולטות על גבי התרמיל הפוסל אותו ליצוא. בנוסף, מחלות קרקע כגון: מחלת הרשת, פיתיום ופוזריום גם כן פוגעות באיכות התרמילים. אילוח הקרקעות במחלת היבללת בנגב המערבי התעצמה במשך השנים, אך חיטוי קרקע בפורמלין הדביר ביעילות את המחלה.

בשנים האחרונות מתועדים יותר מקרים בהן שיעור התחלואה במחלת היבללת הוא רב למרות ביצוע חיטוי קרקע בפורמלין. עד כה ביצוע ניסויים בחלקות בודדות לא אפשר למצוא את הגורמים המשפיעים על שיעור התחלואה הגבוה ביבללת למרות ביצוע חיטוי קרקע בפורמלין. בניסויים הללו התקבלו תוצאות ללא מסקנות ברורות לגבי הגורמים המשפיעים על ההדברה של מחלת היבללת. שימוש במערכת מידע גיאוגרפית והקמת בסיס נתונים מהווה כלי יעיל לתייעוד וניתוח פיזור מחלות קרקע במרחב. הקמת בסיס נתונים של אזור גידול מאפשר לבחון מספר גורמים רב בתנאים שונים. לאור התוצאות בניסויים בחלקות הבודדות החלטנו לנקוט בגישה של הסתכלות מרחבית כוללת על כלל אזור הגידול של אגא"ד באמצעות הקמת בסיס נתונים מרחבי. זאת בכדי לאפיין את פיזור מחלת היבללת ומחלות תרמיל נוספות ואת הגורמים להצלחת או כשלון של חיטוי קרקע בפורמלין.

לפיכך, מטרת העבודה הנן:

1. אפיון הגורמים המרחביים והקרקעיים המשפיעים על פיזור גורם מחלת היבללת והרשת באגוזי אדמה.
2. איתור הגורמים המשפיעים על יעילות חיטוי קרקע בפורמלין להדברת מחלת היבללת והרשת באגא"ד.
3. אפיון הפיזור של מחלות נוספות המועברות בקרקע באגא"ד.



## סקירת ספרות

### 1. אזור חבל מעון בנגב המערבי וגידוליו

אזור חבל מעון בנגב המערבי כולל שטח בהיקף של 1081 קמ"ר, שמהם 245,000 דונם משמשים לחקלאות. 125,000 דונם מכלל השטח החקלאי משמשים לגידולי שדה (פלחה) ו-100 אלף דונם לגידול ירקות, תפוא"ד ומקשה בהשקיה (השנתון הסטטיסטי לישראל, 2007). כמות המשקעים הממוצעת בחבל מעון הנה 150 מ"מ גשם בשנה. גידולים עיקריים וחשובים בחבל מעון הנם תפוא"ד ואגא"ד. תפוא"ד מגדלים במשך כל השנה מלבד עונת הקיץ, בעוד שאגא"ד גדל בקיץ בלבד. החקלאים נוהגים לבצע מחזור זרעים של תפוא"ד, חיטה ו-אגא"ד. גידולים נוספים המאפיינים את חבל מעון הם גזר ובטטות. מקורות המים לגידולים הנם מי שפדן ומים מקומיים. הקרקעות המאפיינות את אזור הנגב המערבי הן לס וקרקעות חוליות, קרקעות לס הנגב הצפוני – אזור קרקע חומה, קרקעות חול "גבולות" וקרקעות חומות בהירות קוורציות (מפת חבורות הקרקעות של ישראל, 1970). הקרקעות החוליות מצויות בחלקה הדרומי של חבל מעון הגובל עם חולות חלוצה. קרקעות הלס הכבדות יותר מצויות בחלק הצפוני וצפון מזרחי של החבל.

#### 1.1 גידול תפוחי אדמה בנגב

מוצאו של צמח תפוא"ד *Solanum tuberosum* הנו בדרום אמריקה. במהלך העת החדשה ועד היום הוחדר כגידול תרבותי לאירופה וליתר העולם. כיום זהו אחד הגידולים החשובים ומהווה מקור מזון עיקרי בעולם, רביעי אחרי חיטה, אורז ותירס. צמח תפוא"ד הנו צמח עשבוני חד שנתי. מניצנים חיקיים המצויים בפרקי הגבעול התת-קרקעיים מתפתחות הנטישות (סטולונים) שהנם גבעולים תת קרקעיים. בקצה הנטישה נוצרת הפקעת, שהיא גבעול מעובה המכיל ניצנים רדומים (עיניים) וקודקוד צמיחה (עין קודקודית). גידול תפוא"ד מזרעים "אמיתיים" הנו בדרך כלל למטרות טיפוח זנים. לגידול תפוא"ד מסחרי משתמשים בפקעות כמקור "זרעים". גידול תפוא"ד בסתיו ובחורף בנגב מיועד בעיקר ליצוא לאירופה. מקור חומר הריבוי הוא באירופה (הולנד, סקוטלנד, צרפת ואירלנד). פקעות הזריעה מאירופה נזרעות בעונת האביב (סוף ינואר). במזרעי הסתיו והחורף משתמשים בפקעות תפוא"ד שנאספו בתום עונת האביב. איכות פקעות הזריעה נמדדת בכושרם לפתח צמח בריא הנושא יבול פקעות רב. מרכיב חשוב באיכות פקעות הזריעה הוא בריאותן כלומר, אי נשיאת מחוללי פגעים שעלולים לפגוע בגידול לאחר מכן. זריעה של פקעות הנגועות במחלות עלולה להוות מקור למחלות קרקע ווירוסים (אנציקלופדיה לחקלאות, 1992). צרור וחובריה עקבו אחר נגיעות פקעות זריעה שמקורם באירופה לאורך 9 שנים ומצאו שרוב משלוחי הזרעים היו מאולחים במחוללי מחלות חיידקיים ופטריית שוכני קרקע. מחלות שאובחנו בפקעות הזריעה כללו בין היתר: רגל שחורה, רקבון יבש, גרב אבקי וגרב מצוי (Tsror et al., 1992). מכאן שזריעת פקעות מאולחות במחוללי מחלות עלולה לאלח קרקע ולגרום להתבססות פגעים אלה בקרקע למשך שנים. אילוח הקרקעות בנגב בגורמי מחלה באמצעות פקעות הזריעה, עלול להוות בעיה עיקרית בגידולים הרגישים לגורמי המחלה הללו (תפוא"ד, אגא"ד וגזר).

## 1.2 גידול אגוזי אדמה בנגב

אגוז האדמה *Arachis hypogaeae* שייך למשפחת הקטניות *Leguminosae*. היקף השטחים בישראל בשנת 2006 עמד על כ- 38,000 דונם כאשר היבול הכללי היה 25,000 טון שערכו הנו 159 מיליון ₪ (השנתון הסטטיסטי לישראל, 2009). מקור הגידול כנראה מהאזורים היבשים יותר בדרום אמריקה. זהו צמח מטיפוס לא מסיים ועל כן תהליך הפריחה ויצירת התרמילים נמשך כל עוד הענפים גדלים. לפיכך, בעונת האסיף נושאים הצמחים תרמילים בשלבי הבשלה שונים. מערכת השורשים המסועפת מגיעה לעומק של 90 ס"מ ויותר. הצמחים מתנשאים לגובה של 40 - 60 ס"מ, בהתאם לזן, להשקיה ותנאי הגידול. עלי הצמח מורכבים משני זוגות עלעלים, הפרחים מתהווים בחיק העלה בתפרחות של שלושה פרחים. מבנה הפרח הנו פרפרני בעל צבע צהבהב. ההפריה בגידול הנה ברובה הפריה עצמית. לאחר ההפריה מתייבש הפרח ולאחר מספר ימים מתארך הפרק שמתחת לשחלה ונוצר השחלון (גינפור). השחלון נושא את השחלה והביציות וחודר אל תוך הקרקע שם היא גדלה לפרי גיאוקרפי (תרמיל מאורך המכיל 4-1 זרעים). קליפת התרמיל עשויה סיבים ומרופדת מצידה הפנימי ברקמה סיבית לבנה. הזרעים מכוסים קליפה דקה שצבעה חום. צמח אגוזי האדמה קולט חנקן ע"י קיום סימביוזה עם חיידקי ריזוביום שבקרקע. תכונה זו מאפשרת הפחתה בדישון חנקני בהשוואה לגידולים אחרים. ביקטור של הקרקע בזמן הזריעה ע"י חיידקי ריזוביום, המתאימים לצמח אגוז האדמה, מגביר את יעילות קיבוע החנקן בסימביוזה. הביקטור מבטיח את ההתפתחות האופטימאלית של צמחי אגוזי האדמה ותרמיליהם. זנים של אגוזי אדמה אשר מגודלים בארץ טופחו על ידי מטפחים מקומיים על פי התנאים בארץ. הזנים העיקריים הם: חנוך, שולמית ועודד. הזן חנוך הוא הזן העיקרי המגודל כיום, בעיקר בשל יבול התרמילים הגדול אשר מניב תמורה מרובה. זהו זן אפיל המומלץ לזריעות מוקדמות. משך הגידול של הזן חנוך הנו כ- 170 ימים (דאר, 1989). אגוזי אדמה נזרעים במהלך חודש אפריל כאשר טמפי הקרקע המינימאלית הנה מעל 16 מ"צ. אגוזי אדמה מיועדים רובם ככולם ליצוא בקליפה לשוק האירופאי בה מתקבלת תמורה גבוהה עבור התוצרת. שלמות הקליפה ללא פגעים קוסמטיים מהווה תנאי ראשוני לאיכות המוצר.

## 2. מחוללי מחלות שוכני קרקע

מזיקים שונים פוגעים בתרמילי אגוזי אדמה ומפחיתים את אחוז היצוא. מלדרה מטרידה, *Maladera matrida*, הינו חרק ממשפחת החיפושיות שפוגע בתרמילים באמצעות הדרנים שחודרים ונוברים בהם (Harari et al., 2001). יישום של קוטלי חרקים מתבצע במהלך הגידול להדברת המזיק. בנוסף למזיקים נגרם נזק רב לתרמילים גם ע"י מחוללי מחלות קרקע. מחוללי מחלה שוכני קרקע Soil Borne Plant Pathogens (SBPP) הנם מיקרואורגניזמים אשר גורמים לתחלואה של שורשים, חלקי צמח תת-קרקעיים וצינורות ההובלה. מחוללי המחלה מקיימים לפחות חלק ממחזור החיים שלהם בקרקע. מחוללי מחלות השוכנים בקרקע כוללים פטריות, חיידקים ונמטודות השורדים בקרקע ומושפעים ע"י תכונות פיזיקליות וכימיות של הקרקע, מפעילות של אורגניזמים אחרים ועיבוד הקרקע. התפוצה של מחלות המועברות בקרקע ואתרים נוספים הנה פסיבית בעיקרה. חלקיקי קרקע מאולחים או גופי ריבוי של הפתוגנים עוברים ממקום למקום ע"י כלים חקלאיים, מים, רוח, פאונה, זבל, זרעי עשבים נגועים, חרקים ושאריות צמחים. העברה היעילה ביותר של מחלות קרקע הנה דרך אמצעי ריבוי כגון: זרעים ופקעות ועוד. בזמן הגידול

התפשטות הפתוגן בקרקע הינה מוגבלת. לתנאי הסביבה השפעה חשובה על פעילות הפתוגן ושכיחות המחלה (Katan, 2002). הנזק שמסבים מחוללי מחלות שורש לצמחים עלול להתבטא באובדן יכולת רב ולעיתים בהפסקת הגידול בשדה משום ההתבססות המסיבית של הפתוגן בקרקע. מחוללי מחלות שוכני קרקע נפוצים בגידול אגא"ד הם פוזריום, פיתיום וסטרפטומצטים. הפטריה פיתיום *Pythium myriotylum* גורמת לרקבון של התרמילים בצמחים הבוגרים *Pythium pod-rot* (Buete, 1997). פטריית הפוזריום *Fusarium spp.* גורמת רקבון יבש בתרמילים בגוון ורוד-אפור (Frank and Ben-Yephet, 1997). הנזק העיקרי לגידול אגא"ד בנגב נגרם על ידי מחלת היבללת הנגרמת על ידי מחולל המחלה *Streptomyces scabies* ומחלת הרשת הנגרמת, ככל הנראה, מ-Actinomycetes לא מוגדרים (Kritzman et al., 1996). מחלת היבללת והרשת היא עיקר עבודה זו.

### 2.1 מחלת הגרב בתפוא"ד

מחלת הגרב המצוי (Common scab) מוכרת בעולם מזה מאה. המחלה עלולה לגרום נזקים רציניים בהשחתת מראה הפקעות וכתוצאה מכך לירידה ניכרת בערך הכספי (וולקני, 1985). מחולל המחלה הנו *Streptomyces scabies* וגזעים של *Streptomyces spp.* נוספים. קיימים שלושה מופעים של גרב בתפוא"ד הנגרמים, ככל הנראה, מתבדידים או מינים שונים של *Streptomyces*, כאשר *S. scabies* יכול לגרום לשלושת המופעים (Loria et al., 1997). מופע גרב הראשון הנו "מורס" - Raised - המופיעה בצורת כתמים עגולים, בולטים בצבע חום, מחוספסים, כעין כתמי שעם. המופע השני הנו "שטוח" - Shallow - המופיע בצורת כתמים עגולים או מאורכים, משוטחים, או שקועים במקצת והשלישי הנו "שקוע" - Deep pitted - המופיע בצורת גומות עמוקות מאוד, חומות כהות שדפנותיהן עשויות ריקמה שעמית (וולקני, 1985). בישראל נמצאו שני טיפוסים של גרב בתפוא"ד. מחוללי הגרב ככל הנראה הוחדרו בהתחלה באמצעות פקעות תפוא"ד נועות והתבססו במרבית הקרקעות בארץ. במעקב אחר משלוחי פקעות הזריעה בשנים 1984-1994 נמצא שרוב המשלוחים היו נגועים בגרב מצוי; 51% מהמשלוחים היו נגועים ברמה בינונית עד גבוהה (Tsrer et al., 1999). הטיפוס הראשון שנמצא בארץ הוא גרב מאופי "שטוח" הנגרם מגזעים של *S. scabies* אשר מושפעים מהרטיבות בקרקע (וולקני, 1985). שמירה על רמת רטיבות גבוהה בקרקע שימש כאמצעי להדברת המחלה (Lapwood et al., 1973). הטיפוס השני, גרב השקעים העמוקים, התגלה בתחילת שנות השמונים (1980) ומחולל המחלה לא הושפע מרמת הרטיבות בקרקע. גזעי ה-*Streptomyces* שחוללו את גרב השקעים העמוקים נמצאו שונים מ-*S. scabies* שחולל את מחלת הגרב השטוח (וולקני, 1985). מחלת היבללת שהתגלתה לראשונה ב-1988 נגרמת אף היא מגזעים של *Streptomyces* אשר גם גורמים להופעת גרב השקעים העמוקים בתפוא"ד (Kritzman et al., 1996). בבדיקה מעמיקה יותר נמצא כי מחלת הגרב בישראל נגרמת ע"י אוכלוסיית סטרפטומצטים בעלת שונות גנטית ופנוטיפית מרובה (Doering Saad et al., 1992).

## 2.2 מחלת היבללת באגא"ד

מחלת היבללת Peanut podwart התגלתה לראשונה בישראל בשנות ה-80 בחבל מעון בנגב בקרקעות חול, לס-חוליות. המחלה תועדה גם בדרום אפריקה (De Klerk *et al.*, 1996). תסמיני המחלה הן יבלות בולטות בצבע חום-שחור על פני התרמיל. המחלה אינה פוגעת בזרעים עצמם אלא פוגמת בקליפה בלבד, לפיכך, הנזק שנגרם לגידול הנו באיכות המוצר. גורמי המחלה הם תבדידי *Streptomyces spp.* שונים, כאשר רוב התבדידים שבודדו מתרמילים נגועים גרמו להופעת יבלות באגא"ד, גרב עמוק בתפוא"ד וסימני גרב בצנונית. תבדידי ה- *Streptomyces spp.* שמחוללים את מחלת היבללת הם, ככל הנראה, קבוצה נפרדת הדומה למחוללי מחלת הגרב העמוק, אך שונה ממחוללי מחלת הגרב המצוי. מחוללי המחלה עלולים לעבור לשטח פני הזרעים מהקליפה במהלך הפקת הזרעים ולכן מחולל מחלת היבללת יכול להיות מופץ לשדות חדשים באמצעות זרעים מאולחים (Kritzman *et al.*, 1996). נמצא כי טיפול מוקדם של התרמילים, באמצעות חשיפתם ללהבה למשך זמן קצוב מונע את אילוח הזרעים במהלך תהליך הפקתם (Grinstein *et al.*, 1997).

## 2.3 מחלת הרשת באגא"ד

מחלת הרשת Netblotch גורמת להופעת פסים שחורים בצורת רשת על פני התרמילים בדומה ליבללת. המחלה פוגעת במופע הכללי של התרמילים ולכן מורידה מאיכות המוצר. שכיחות המחלה התגברה בסוף שנות השמונים, ככל הנראה בעקבות ישום של קוטלי עשבים שעודדו את המחלה. בבידודים של גורם המחלה נמצאו מספר תבדידים של אקטינומצטים. ככל הנראה המחלה נגרמת ע"י קומפלקס של אורגניזמים הכוללים אקטינומצטים. השפעת קוטלי העשבים על הופעת המחלה יכולה לנבוע מעידוד התפתחות אקטינומצטים בשל הפחתה באוכלוסיות חיידקים הרגישים לקוטלי העשב (Ben Yephet *et al.*, 1991).

## 2.4 מחוללי מחלת היבללת והגרב

חיידקים מהסוג *Streptomyces* יוצאי דופן בשל היותם חיידקים חוטיים שגדלים בצורת תפטיר, ובדומה לפטריות, ההפצה היא ע"י יצירת נבגים. מיני ה-*Streptomyces* הפתוגניים לצמחים גורמים להופעת מחלה בחלקי צמח תת-קרקעיים, המתבטאת לרוב בכתמים נקרוטיים על הרקמה. המין *Streptomyces scabies* שגורם להופעת הגרב המצוי ומחלות דומות בגידולים אחרים, הוא התבדיד הפתוגני הראשון שנחקר. *S. acidiscabies* מין השונה גנטית מ-*S. scabies* גורם לסמפטומים של גרב המצוי, רק בקרקעות חומציות והמין *S. ipomoeae* ידוע כגורם רקבון בבטות. קיימים מינים נוספים של *Streptomyces* שהם מחוללי מחלות (Loria *et al.*, 1997). ביפן דווח על *Streptomyces turgidiscabies* שגורם לגרב "מורם" ונבדל מורפולוגית מ-*S. scabies* (Miyajima *et al.*, 1998). תכונה המאפיינת *S. scabies* הנה יצירת מלנין ופיטוטוקסין בשם Thaxtomin. יצירת Thaxtomin, שהנו פיטוטוקסין אשר מעורב, ככל הנראה, בתהליך ההדבקה של הרקמה הצמחית, מהווה סממן לפתוגניות של התבדיד (Conn *et al.*, 1998). אולם, לא כל התבדידים אשר יוצרים מלנין הם פתוגניים. ידוע, כי מחוללי

מחלת הגרב בתפוא"ד יכולים לשרוד זמן ממושך בקרקע בתחום טמפרטורות רחב. *S. scabies* מסוגל להתפתח בתחום טמפרטורה של 40°C-8°C; הטמפרטורה האופטימאלית לגידול הנה בין 25°C-30°C. בנוסף, *S. scabies* הוא חיידק אירובי שדורש כמות רבה של חמצן ובדומה לאקטינומצטים אחרים פעיל בקרקעות יבשות, ולכן יתפתח בצורה טובה בקרקעות מאווררות. מקרים קשים של גרב מתגלים בעיקר בקרקעות בסיסיות; pH נמוך מ-5.2 - 5.5 מהווה גורם מגביל להתפתחות המחלה (וולקני, 1985). אך, נמצא גם מין *S. acidiscabies* שגורם למחלה בקרקעות חומציות בעלי pH 4.5 (Lambert and Loria, 1989). ההפצה של גורם המחלה יכולה להיות באמצעות כלים חקלאיים, תנועה של קרקע ברות, בעלי חיים או בני אדם. אך, הגורם העיקרי להפצה של המחלה הנו ע"י חומר ריבוי נגוע (וולקני, 1985).

### 2.5 אבחון וכימות סטרפטומצטים מחוללי מחלה

קיימת שונות רבה באוכלוסיות ה-*Streptomyces* פתוגניים הן מבחינה פיזיולוגית והן בכושר הפתוגניות. השיטות לאבחון סטרפטומצטים מחוללי מחלה כוללות: אפיון מורפולוגי, מבחני פתוגניות, מבחנים ביוכימיים, סמנים על בסיס DNA, RNA ו-RFLP (Doering Saad *et al.*, 1992). אפיון כמותי של אוכלוסיות סטרפטומצטים פתוגניים בקרקע מבוצע בעזרת מצעים שהנם סלקטיביים לסטרפטומצטים כלליים. אפיון סטרפטומצטים פתוגניים נעשה בעבר על בסיס יצירת הפיטוטוקסין Thaxtomin במצעים המעודדים את יצירת הפיטוטקסין. זיהוי Thaxtomin נעשה בשיטת כרומטוגרפיה. בנוסף, אופיינו המושבות הפתוגניות אשר ביכולתן להפריש מלין ויצירת הנבגים מעוכבת בטמפרטורה של 22°C (Conn *et al.*, 1998). לאחר גילוי מקטע דנא נייד לפתוגניות (Pathogenicity island) המכיל את הגנים *necl* ו-*txt A* החיוניים לתהליך ההדבקה של סטרפטומצטים פתוגניים, פותחה שיטה המבוססת על הפקת DNA מהקרקע, וזיהוי כמותי של המקטע *necl* בקרקע (Lazarovits, 2001). בנוסף, שימוש ב-PCR בעזרת פריימרים הספציפים לגן *txt A* ו-*necl*, משמש כאמצעי לאבחון סטרפטומצטים פתוגניים (Kers *et al.*, 2005). האמצעים הללו מאפשרים כיום זיהוי תבדידי סטרפטומצטים פתוגניים. אולם אין כיום דרך מהירה לאפיון וכימות אוכלוסיות פתוגניות בקרקע על מנת להעריך את פוטנציאל האינקולום בקרקע ואת השפעתם של טיפולי קרקע בהפחתת אוכלוסיות אלה.

### 3. הדברת פגעי קרקע - חיטוי קרקע

הדברת פגעי קרקע הינה תהליך מורכב הכולל פגיעה בפתוגן תוך כדי הפרת המאזן המיקרוביאלי בקרקע ושינויים כימיים ופיזיקאליים רבים. הבנה והכרה של התהליכים המתרחשים בין הפתוגן, הצמח והסביבה חשובים להשגת הדברה יעילה. חיטוי קרקע טרם שתילת הגידול הנו אמצעי עיקרי להדברת פגעי קרקע והבטחת בריאות הצמח ושיפור היבול. גורמים רבים משפיעים על יעילות ההדברה של פגעי קרקע. ממשק הדברה נכון מחייב הבנה של הגורמים הללו וישום ההדברה בהתאם. קיימות שיטות שונות ליישום של חיטוי קרקע, ביניהן הזרקה של התכשיר ישירות לקרקע או ישומו דרך מערכת ההשקיה. גורמים נוספים המשפיעים על הצלחת ההדברה

הם ההכנה של הקרקע, סוג הקרקע, ישום אחיד של הגורם המדביר וסוג הפתוגן (Gamliel and Katan, 2005). שילוב שיטות חיטוי שונות מייצל ומגביר את יעילות ההדברה. לדוגמא, שילוב של חימום וחיטוי במתיל ברומיד או חיטוי במתאם-סודיום, במינונים מופחתים, גרם לסינרגיזם בהדברת פגעי קרקע פטרייתיים (Eshel et al., 2000). אמצעים נוספים להדברת פגעי קרקע הנם חיטוי סולארי וחיטוי סולארי בשילוב תוספים אורגניים.

### 3.1 חיטוי קרקע

חיטוי קרקע נעשה באמצעות שיטות פיסיקאליות, כימיות, ביולוגיות ואגרוטכניות.

- שיטות פיזיקאליות – חימום הקרקע בקיטור (טמפרטורה של 70 מ"צ) למשך 30 - 60 דקות. השיטה ניתנת לישום רק בחממות בהן יש את המתקנים המתאימים לכך. החיטוי יעיל כנגד טווח רחב של פגעים: חרקים, נמטודות, פטריות ועשבים. שיטות נוספות הינן חיטוי סולארי ושלחוב לשריפת שיירי צמחים נגועים (Katan, 2000; קטן, 1998).
- שיטות ביולוגיות – הדברת פגעי קרקע באמצעות ניצול יחסי הגומלין בין המיקרואורגניזמים בקרקע. הדברת פגעי הקרקע נעשית לרוב באמצעות אוכלוסיות מיקרוביאליות אנטגוניסטיות הפועלות במנגנונים שונים כגון: תחרות על מזון או מרחב, טפילות, הפרשת חומרים מעכבים והשראת עמידות לפונדקאי. הדברה זו מביאה להפחתה של המדבק בקרקע ומונעת אילוח מחדש של הקרקע על ידי פגעי הקרקע (אלעד, 1998).
- שיטות אגרוטכניות – שיטות הכוללות נוהלי גידול אגרוטכניים המפחיתים את עוצמת המחלה כגון: השקיה, הצפה, חריש עמוק, שלחוב, סניטציה, דישון, מחזור גידולים, מועד שתילה/זריעה. הממשקים מאפשרים הפחתה של המחלה בהתאם לגורם המחלה והכרתו (Katan, 2000).
- שיטות כימיות – חיטוי קרקע באמצעים כימיים מושג ע"י ישום של פסטיצידים רעילים אל תוך הקרקע בשיטות שונות. החומרים הללו נעים לאורך חתך הקרקע בהן הם מדבירים את הפגע באופן ישיר או ע"י פיזור שניוני עקב לחץ האדים הגבוהה של החומר. ישום של החומרים נעשה ע"י שיטות שונות: הזרקה ישירות לקרקע, איוד הגז מתחת ליריעות פלסטיק ודרך מערכת ההשקיה. ישום חומר דרך ההשקיה דורש יצירת פורמולציה שתתאים לכך, כאשר החומר נע עם מי ההשקיה לאורך חתך הקרקע (Gamliel and Katan, 2005). התכשירים המקובלים לחיטוי כימי הם:
  - מתיל ברומיד – CH<sub>3</sub>Br: התכשיר מדביר ביעילות פגעי קרקע כגון: פטריות, נמטודות ועשבים. החומר כיום בתהליך הוצאה משימוש בשל חשש כי פוגע באוזון. הפסקת השימוש כאמצעי לחיטוי קרקע מצריכה מציאת תחליפים כימיים ואחרים כפתרון להדברת פגעי קרקע (Gamliel and Katan, 2005; קטן, 1998). שימוש במתיל ברומיד להדברת מחלת היבללת אכן נבדק ונמצא כיעיל אך בשל תופעת פטוטוקסיות בגידול עקב החיטוי לא נעשה בו שימוש (Krikun and Frank, 1982).

Methyl- isothiocyanate (MITC) - מתאם סודיום: החומר יעיל בהדברה של פטריות פתוגניות, נמטודות, חרקים ועשבים רעים. התכשיר אינו מדביר גורמים חיידקים ואקטינומצטים, ולכן לא נמצא יעיל כנגד מחלת היבלת באגא"ד (Kritzman *et al.*, 1996). נמצא שמתאם סודיום עובר פירוק מואץ בשל יישומים חוזרים בשדה. יכולת הפירוק המואץ של מתאם סודיום הוקנתה לקרקעות גם בתנאי מעבדה (Di Primo *et al.*, 2003; Gamliel and Katan 2005).

### 3.1.2 פורמלין (37% Formaldehyde CH<sub>2</sub>O)

פורמלדהיד הוא חומר רעיל (LD<sub>50</sub> – 800 מיקרוגרם/ק"ג) החודר לגוף דרך העור, דרך מערכת העיכול ובעיקר דרך מערכת הנשימה. מאידך, מתאפיין החומר בהתפרקות מהירה ביותר בקרקע לחומרים "תמימים": פחמן דו חמצני ומים, מה שמונע הצטברות של החומר בקרקע והופך אותו לבלתי מזיק לסביבה בטווח הארוך. פורמלין (תמיסה מימית המכילה 37% פורמלדהיד) מקובל כתכשיר לחיטוי קרקע החל מאמצע המאה ה-19 כאשר הוצג על ידי הכימאי הגרמני, הופמן. המלצות הישום אז היו שונות וכללו הרטבה של הקרקע בתמיסת פורמלדהיד בריכוז 2%, כאשר לאחר הטיפול לא ניתן לזרוע או לשתול במשך שבועיים. בהיקפים מצומצמים יותר, היה ניתן להשתמש בריכוז גבוה יותר ע"י ערבוב החומר עם הקרקע. פורמלין שימש בתקופה זו בעיקר להדברת פטריות שגרמו לנבילה, אך נמצא גם יעיל כנגד נמטודות, עשבים וחרקים. בנוסף, בוצעו ניסויים הבודקים שילוב של פורמלדהיד וקיטור (Beachley, 1937). כבר בשנת 1900 נחקר השימוש בפורמלדהיד להדברה של מחלת הגרב המצוי בתפוא"ד. 1916 בוצעו ניסויי שדה בגידול תפוא"ד בהן פקעות הזריעה טופלו בתמיסת פורמלין שונות. נמצא שטיפול זרעים של תמיסת פורמלדהיד מדוללת 1:120 נתנה את התוצאות הטובות ביותר. זאת ועוד, נמצא כי ככל שריכוז הפורמלדהיד גבוה הרעילות לפתוגן גדלה בעיקר בטמפרטורת נמוכות (Melhus *et al.*, 1920).

חיטוי קרקע בפורמלין נמצא יעיל בהדברת פיתוים לקראת נטיעת תפוחי עץ. בעבודת המחקר נמצא כי כמות של 0.5 ליטר פורמלין בשילוב 2.5 ליטר מים למ"ר הוא המינון האופטימלי להדברה מיטבית. בהמשך על בסיס ממצאים אלו פותחה טכניקה לישום מסחרי באמצעות מכונה לפיזור תמיסת החיטוי על פני הקרקע במינון של 500 ליטר/דונם פורמלין ודחיקתם לעומק בתוספת 2500 ליטר/דונם מים. נמצאה חשיבות לאחידות החדירה של החומר לקרקע המושפע מעיבודי קרקע (Legge and Sewell, 1985). באמצע שנות ה-80, עם התפרצות מחלת היבלת החל מחקר בנושא ישום פורמלין כאמצעי לחיטוי קרקע ולהדברת המחולל בקרקע בהם התפרצה המחלה. בשלב ראשון בוצעו ניסויי מעבדה. בניסוי של גרינשטיין וחובריו יושם פורמלין מרוכז על פני עמודות ונדחק בעזרת מים נקיים אל עומק העמודה. תוצאות הניסוי הראו כי ישום מרוכז של פורמלין מדביר טוב יותר את גורם המחלה. הישום המרוכז היה יעיל יותר כאשר ניתן בקרקע לחה (קבול שדה), בדומה לחיטוי המתבצע בחורף. מבחנים ביולוגים אשר בחנו את התפרקות הפורמלין בקרקע הראו כי החומר אינו מעכב נביטה של צמחי ירבוז כבר לאחר 48 שעות. מאידך, יעילות ההדברה הייתה זהה בפרקי הזמן השונים (48 שעות עד שבוע) (גרינשטיין וקריצמן, 1991). מחקרים אחרים הראו כי פירוק הפורמלין בקרקע הנו תלוי טמפרטורה כאשר קצב הפירוק בטמפרטורה של 0 - 5 מ"צ הוא 5-6 שבועות ובטמפרטורה של 7 - 8 מ"צ הוא 7 - 8 ימים

(Murray, 1989). בתחילת המחקר היישומי בשדה להדברת יבללת באמצעות פורמלין נבחנו מינונים של 200 ליטר/דונם הנמצא יעיל להדברת גורם המחלה. נבדקו גם ריכוזים נמוכים יותר אך בהם התקבלו תוצאות הדברה לא אחידות (גרינשטיין וקריצמן, 1991). על בסיס הממצאים פותחה טכנולוגיה ליישום שמבוססת על ריסוס הפורמלין לקרקע, תיחוח שטחי של שכבת הקרקע העליונה ודחיקת החומר לעומק באמצעות השקיה (גרינשטיין וקריצמן, 1992). בנוסף, נבדק יישום פורמלין במינון 20 ליטר/דונם בדחיקה שלא הדביר את מחלת היבללת אך בשילוב עם חיטוי סולארי נתן תוצאות מספקות (Grinstein et al., 1995). בהמשך, נבחן יישום פורמלין באופן פרופורציונאלי דרך ההשקיה להדברת מחלת היבללת בגידול אגא"ד. פורמלין במינון 200 ליטר הפחית כתמי תרמיל עד למחצית מהנגיעות של ההיקש (בן יפת, 1993). מספר שילובים של פורמלין עם אמצעי הדברה נוספים גם כן נבדקו. שילוב של מתאם סודיום ופורמלין נבדק במעבדה ובשדה. נמצא שהשילוב של פורמלין עם מתאם סודיום, במינונים מופחתים, נתן הדברה טובה של גורם מחלת הפיתיוס באגא"ד בהשוואה למתאם סודיום לבד (Gamliel et al., 2005). חיטוי קרקע בפורמלין מבוצע כיום ביישום פרופורציונאלי דרך מערכת ההשקיה להדברת מחלת היבללת ורשת באגא"ד והדברת מחלת הגרב בתפוא"ד. בשנים האחרונות ישנם יותר מקרים בהן ישנה תחלואה במחלת היבללת ורשת באגא"ד למרות ביצוע חיטוי קרקע בפורמלין. מחקרים מקומיים (מידע שלא פורסם) מראים כי ישנם קשיים בהבנת הגורמים המשפיעים על יעילות החיטוי בפורמלין, ולתופעה בה מתקבלת תחלואה למרות ביצוע החיטוי (גמליאל ופרץ, 2004).

#### 4. שימוש בכלים מרחביים בממשק הדברה ומחלות צמחים

בהגנת הצומח בחקלאות שימוש בממ"ג וגיאוסטטיסטיקה נעשה בעיקר לניתוח מרחבי של תפרושת חרקים מזיקים, עשבים רעים ומחלות צמחים. מחקרים אשר בדקו את ההתנהגות המרחבית של מחלות צמחים, הגורמים המעורבים בהתנהגות זו ואת הצד הגיאוגרפי בממשקי ההדברה הולידו את המושג "Geophytopathology" (Weltzien, 1972).

שימוש בגיאוסטטיסטיקה נעשה בכדי לאפיין את אופן ההתפשטות של מחלת רקבון הכתר בעגבניה הנגרם על ידי מחולל המחלה *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* (Rekah et al., 1999). על בסיס ניתוח גיאוסטטיסטי, בעיקר באמצעות Semivariogram מצאו החוקרים כי המחלה מתפשטת למרחקים של 1.1 מ' עד 4.4 מ' ממקור הצמח החולה במשך עונת הגידול. בנוסף, מבחן ביולוגי מצא הדבקות משניות של המחלה שהנם באמצעות הפצת מחולל המחלה משורש נגוע לשורש בריא. התפשטות המחלה באמצעות המנגנון שתואר לעיל והתלות המרחבית בהתפשטות זו הביא את החוקרים למסקנה כי הפתוגן מקיים מספר מחזורי חיים ולא מחזור חיים יחיד בכל עונת הגידול.

הקשר בין פעולות אגרוטכניות ואופן הפיזור של *Heterodera glycines*, שהינה נמטודת כיסתה הפוגעת בגידול סויה, אופיין גם כן בעזרת ניתוח גיאוסטטיסטי (חישוב Semivariogram) (Gavassoni et al., 2001). במחקר בחנו את ההשפעה של ארבעה ממשקי עיבוד שונים על אופן הפיזור של הנמטודה בשדה. החוקרים גילו כי בחלקות גידול סויה עם מוקדי נגיעות נמטודות הכיסתה, ממשק של אפס עיבוד (No tillage) וממשק תלמים (Ridge tillage) מעודד אוכלוסיות נמטודות כיסתה שהינן מקובצות, בעוד שממשק עיבוד חלקי או קונבנציונאלי גורמים



לאוכלוסיות הנמטודות להיות בדפוס מרחבי לא מקובץ. במקבצים המרחביים בהן הנגיעות בנמטודות הייתה גבוהה יותר, חלה ירידה ביבול בהשוואה לשאר החלקה, בעוד שבחלקות בהן הנגיעות הייתה בדפוס לא מקובץ, השונות ביבול הייתה נמוכה. צוין כי יש צורך בהמשך של המחקר בכדי להבהיר את הקשר שבין דפוסים מרחביים של נמטודות הכיסתה לבין הפסדי היבול בגידול סויה (Gavassoni et al., 2001).

מספר מחקרים בוצעו במטרה למצוא קשר בין גורמים ביוטיים לאביוטיים. מחקר המאפיין את הקשר בין טקסטורת הקרקע והיסטוריית גידולים לריכוזי אוכלוסיות של הפטרייה *Aspergillus flavus*, המייצרת אפלוטיקסינים בגידול כותנה, בוצע על ידי Jaime-Garcia and Cotty (2006). במחקר הוקם בסיס נתונים באמצעות איסוף 326 דוגמאות קרקע מ-152 חלקות במשך 3 שנים מאזור בדרום טקסס. מהניתוח הגיאוסטטיסטי נמצאו הבדלים מובהקים בין אזורים בהן שיעור אילוח הקרקע בתבדידי *Aspergillus flavus* מסוג S היה שונה. בנוסף, שיעור אילוח הקרקעות היה גבוה בחלקות בהן הגידול הקודם היה תירס בהשוואה לסורגום וכותנה. עוד נמצא כי קיימת קורלציה חיובית בין שיעור האילוח בתבדידי S בקרקע לכמות החרסית שבה וקורלציה שלילית בין שיעור האילוח בתבדידי S בקרקע לכמות החול בקרקע. במקרה זה, ביצוע ממוצעים תוך התחשבות בהשתנות התופעה במרחב איפשר לקבל קורלציה טובה יותר.

במחקר שבחן את אופן הפיזור של מחלת הדוררת במטעי זיתים בחבל גרנדה שבספרד באמצעות מיפוי ואינטרפולציה על ידי Kriging מצא כי שכילות מחלת הדוררת גבוהה יותר בשני אזורים צפוניים בהשוואה לאזורים הדרומיים יותר (Rodriguez et al., 2009). בנוסף, נמצא כי ישנה עלייה בנוכחות מחלת הדוררת במטעי הזיתים ככל שהמטע קרוב יותר לנהר.

במחקרים שהוצגו עד כה בוצע הניתוח הגיאוסטטיסטי בעיקר על בסיס חישוב Semivariogram המתייחס לכלל מערך הנתונים. ניתוח מרחבי יכול להתייחס לכלל מערך הנתונים הכולל את כל המרחב בו נדגמת תופעה (Global statistics), אך גם יכול להתייחס לנתונים נדגמים של התופעה בתוך רדיוס נבחר (Local statistics). בשיטת ה-Semivariogram, שהנה גלובאלית ומיצגת ערכים ממוצעים, אין ייצוג של השונות המרחבית המקומית, הדרושה במקרים בהם ההשתנות של התופעה איננה הדרגתית אלא מאופיינת במיקבצים מקומיים. במקרים אלו שיטות של local statistics מתאימות יותר. Getis-ord hotspot analysis הינה שיטה נפוצה לניתוח סטטיסטי מרחבי מקומי בו מעוניינים לסווג את מידת הקיום של מקבצים במרחב בתופעה מסוימת (Mueller-Warrant et al., 2008; Getis and Ord, 1996). מציאת אופן הפיזור המרחבי של עשבים רעים ברמה אזורית הינו חיוני לממשק הדברה יעיל של מקור האוכלוסיה והערכות סיכונים עתידיים. אפיון הפיזור של העשב *Nassella trichotoma* בוצע באמצעות ניתוח Getis-ord hotspot analysis באזור הדרום מזרחי של דרום ווילס החדשה שבאוסטרליה (Laffan, 2006). בנוסף, ביצע החוקר ניתוח Semivariogram לשם ההשוואה בין השיטות. החוקר מצא כי תוצאות הניתוח Getis-ord נתנו תוצאות ברורות ושימושיות יותר לאפיון פיזור העשב *Nassella trichotoma* בקנה מידה אזורי. לפיכך, יתכן שניתוח גיאוסטטיסטי של מחלות קרקע בקנה מידה אזורי, בשיטת Getis-ord, יאפשר להבין טוב יותר את אופן הפיזור המרחבי של המחלות הללו

ויביא לשיפור ממשק ההדברה. מסקר ספרות שבוצע למחקר זה נראה כי שימוש בניתוח Getis-ord לאפיון פיזור מחלות קרקע טרם מוזכר בספרות.

### 5. הזנה מינרלית ומחלות הצמחים

השפעת מינרלים על הצמיחה והיבול מוסברת ע"י תפקידם במטבוליזם הצמחי. למינרלים החיוניים לצמח השפעות נוספות לא צפויות על אופן הגדילה, הרכבים כימיים, המורפולוגיה והאנטומיה של הצמח. להשפעות אלה נגיעה ליחסי צמח פתוגן וביכולתו להגביר או להחליש את עמידות או סבילות הצמח לפתוגן. העמידות של הצמח נובעת מהיכולת להגביל חדירה, התפתחות וריבוי של הפתוגן. סבילות מאופיינת ע"י יכולתו של הצמח להמשיך לצמוח למרות ההדבקה ע"י גורם המחלה. הזנה מתאימה של הצמח תוכל להשפיע על תכונות הצמח כך שייטיב להתמודד עם המחלה. מאידך יכולה הזנה להגביר את רגישות הצמח למחלה. תנאי הסביבה משפיעים ישירות על התפתחות המחלה בצמח. הזנה מינרלית שייכת להשפעות של תנאי סביבה אך יוצאת דופן בכך שהיא ניתנת לשליטה קלה יחסית על ידי החקלאי ביחס לתנאי הסביבה האחרים כגון: מזג אויר, סוג הקרקע ועוד. תרומתה של הזנה מינרלית להגברת עמידות צמחים למחלות נמוכה יחסית בזנים רגישים ועמידים, לעומת זנים בעלי עמידות חלקית שבהם מורגשת תרומתה של ההזנה המינרלית. אכלוס של מיקרואורגניזמים בשורשים גבוה משמעותית מאשר בקרקע בור. בנוסף, לאוכלוסיה המיקרוביאלית הרגילה מצויים גם פתוגנים בסביבת השורש. תחרות ודיכוי של מיקרואורגניזמים ומחסומים פיזיים וכימיקלים מונעים את החדירה של הגורמים הללו למערכת השורשים והנוף של הצמח. הזנה מינרלית משפיע על גורמים פתוגניים פטרייתיים וחיידקים באופנים שונים. שכיחות מחלת הגרב המצוי בתפא"ד הנגרמת על ידי *Streptomyces scabies* מושפעת על ידי pH הקרקע או מדישון של מנגן. אופן פעולתו של המנגן אינו בשיפור עמידות הצמח למחלה אלא על ידי דיכוי ההתפתחות של החיידק ובכך מניעת החדירה שלו לצמח (Marschner, 1990).

### 6. סיכום

בשנים האחרונות חלה עלייה במספר המקרים בהן ישנה תחלואה ביבללת באגא"ד למרות ביצוע חיטוי בפורמלין. ניסויים שבוצעו ברמת חלקות בודדות לא נתנו תשובות לגבי הגורמים המשפיעים על יעילות ההדברה של מחלת היבללת באגא"ד (מידע שבעל פה - גמליאל וחובריו). במחקר זה החלטנו לנקוט בגישה מרחבית לתיעוד וניתוח פיזור מחלת היבללת והרשת במרחב, באמצעות הקמת בסיס נתונים וניתוח מיקבצים מרחביים. מטרת העבודה הן:

- אפיון הגורמים המרחביים והקרקעיים המשפיעים על פיזור גורם מחלת היבללת והרשת באגוזי אדמה.
- איתור הגורמים המשפיעים על יעילות חיטוי קרקע בפורמלין להדברת מחלת היבללת והרשת באגא"ד.
- אפיון הפיזור של מחלות נוספות המועברות בקרקע באגא"ד.

## חומרים ושיטות

### 1. פורמלין

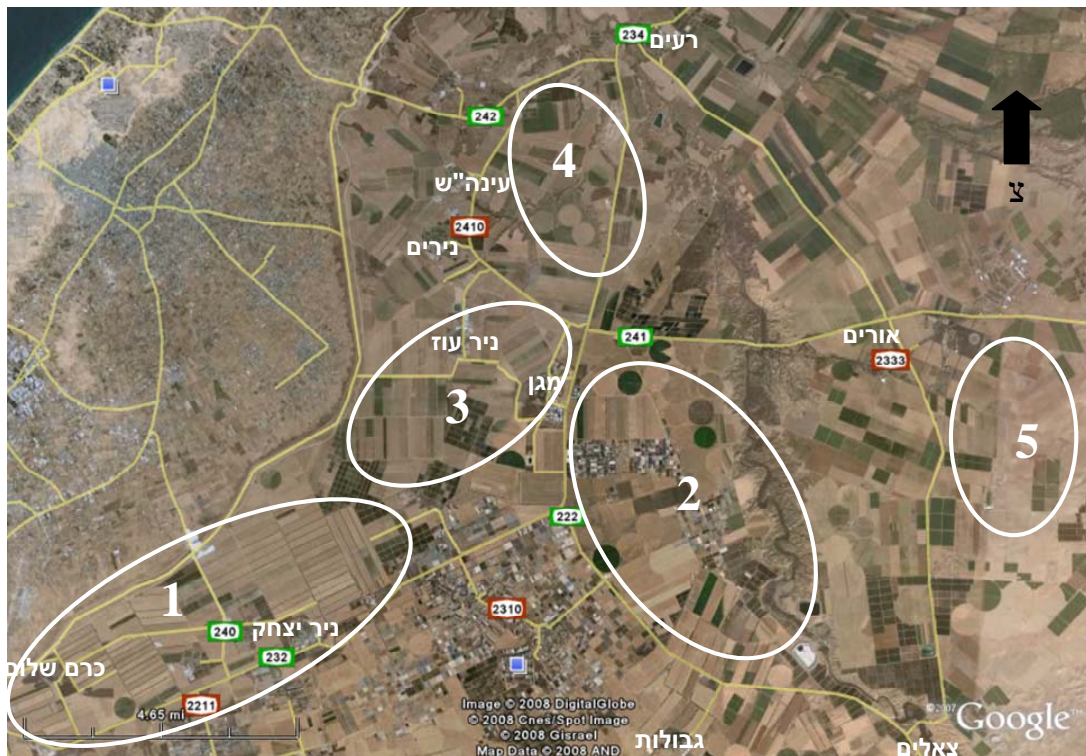
**פורמלדהיד:** נוסחה כימית:  $\text{CH}_2\text{O}$ , משקל מולקולרי: 30 גר"/מול. החומר מצוי במצב צבירה של גז בטמפ' החדר בעל מסיסות במים של 370 גר"/ליטר.

פורמלין הוא תמיסה מימית המכילה 37% פורמלדהיד. התמיסה הנה צלולה ללא צבע, בעלת ריח חריף. צפיפות: 1.09 גר"/סמ"ק, נדיפות: בדומה למים, לחץ אדים: 43 מ"מ כספית ב-39 מעלות, נקודת רתיחה: 96 מעלות. החומר רעיל בבליעה, מגע ונשימה ונמצא כמסרטן. עלול לגרום לגירוי של העור והעיניים.  $\text{LD}_{50}$  בעכברושים הנו 0.8 גר"/ק"ג.

התכשיר המסחרי "פורדור 37" מכיל תמיסה מימית של פורמלין 37% בתוספת 3%-8% מתאנול למניעת תהליך פולימריזציה של פורמלדהיד ויצירת משקע לא מסיס, אשר פוגע באיכות התכשיר. התכשיר נועד לחיטוי קרקע להדברת מחוללי מחלות בקטריאלים שוכני קרקע כגון ארוויניה ו-*Streptomyces scabies*. בכל הניסויים השתמשנו בתכשיר פורדור 37 מתוצרת חברת דור כימיקלים.

### 2. חלוקת אזור הגידול

המחקר התבצע בנגב המערבי, שבו עיקר גידול האגא"ד בארץ. האזור חולק לחמישה תת-אזורים עיקריים (איור מס' 1) על פי הקריטריונים כגון: המיקום הגיאוגרפי וסוג הקרקע. תת-אזור מס' 1 שהנו הדרומי ביותר מאופיין בקרקע חולית, וכולל את חלקות הקיבוצים ניר יצחק, כרם שלום, סופה וחולית. תת-אזור מס' 2 כולל את שטחי הגידול שמערבית לנחל הבשור ומזרחית לכביש מס' 222 וכולל את שטחי הקיבוצים צאלים וגבולות (גד"ש חלוצה).



איור מס' 1 – חלוקת אזור המחקר לחמשת תת-האזורים השונים.

תת-אזור מס' 3 כולל חלקות באזור צומת מגן ומערבית לכביש 222. אזור זה מאופיין בקרקע חול – לס וכולל את שטחי הקיבוצים ניר עוז ומגן. תת-אזור מס' 4 כולל את החלקות צפונית לצומת מגן ועד קיבוץ בארי. תת אזור זה המאופיין בקרקעות כבדות וכולל חלקות של הקיבוצים נירים, עין השלושה, רעים ובארי. תת-אזור מס' 5 כולל חלקות מזרחית לנחל הבשור ומאופיין בקרקעות לס. חלקות אלו מעובדות על ידי שותפות "מושבי הנגב" ועל ידי שותפות הקיבוצים עלומים - לב הנגב.

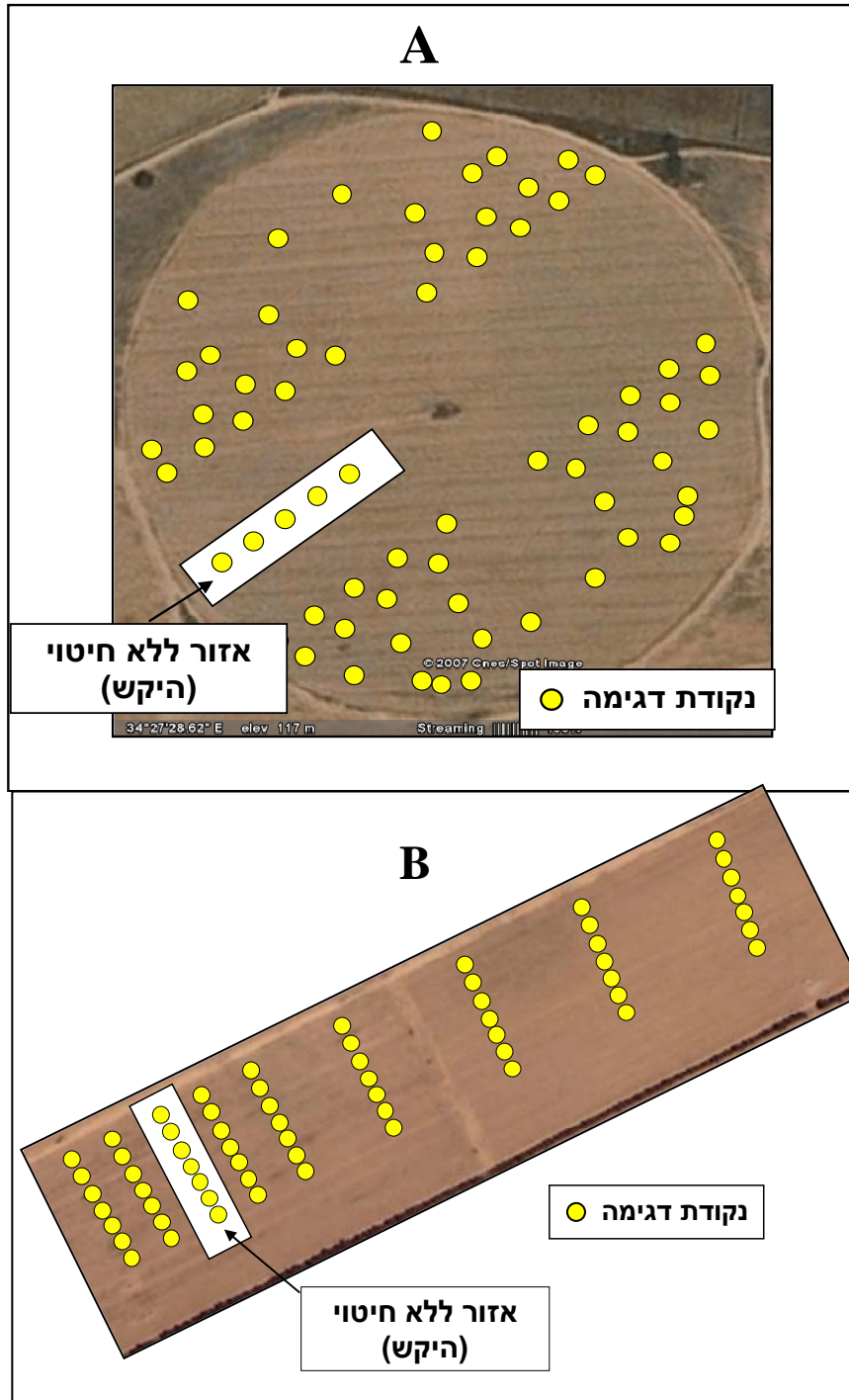
### 3. ניסויי השדה

נקודת המוצא למחקר זה היא שקיימים גורמים רבים אשר משפיעים על התפתחות מחלת היבללת באגא"ד ועל סיכוי ההדברה באמצעות חיטוי קרקע בפורמלין. הממצאים בעבודות שנעשו עד כה הצביעו כי אי אפשר היה להצביע בניסוי בודד על הגורמים להצלחה או כשלון בהדברה בעקבות חיטוי קרקע בפורמלין. על כן, הנחת המוצא של המחקר היא כי ניתן לבחון את השפעת המשתנים שעשויים להשפיע על התפתחות המחלה או הדברתה רק באמצעות ראייה כוללת. לכן, התרכזנו במחקר בשני כיוונים: א) חלקות מסחריות אשר הוגדרו ונדגמו במשך שלוש עונות גידול 2005, 2006 ו-2007 (אפריל – ספטמבר). בעבודה נחקרו בסך הכול 44 חלקות בהיקף כולל של 10,000 דונם שבהן גידלו אגא"ד (*Arachis hypogaea*) מזן חנוך. החלקות שנבחרו מאפיינות מגוון רחב של משתנים שעשויים להשפיע על אילוח החלקות ועל האפשרות להדברה יעילה של הפתוגן באמצעות חיטוי. המשתנים שנבחנו היו: מיקום גיאוגרפי, סוג הקרקע, מחזור גידולים בעבר וחיטוי קרקע בעבר. בחלקות בוצעו החיטויים בפורמלין באופן מסחרי במגוון רחב של שיטות ישום. בחלק מהחלקות בוצע מעקב בלבד אחר יעילות החיטוי באמצעים שיפורטו להלן ללא התערבות בביצוע החיטוי. ב) ניסויים מכוונים: במספר חלקות נגועות הוצבו ניסויים בהיקף משקי שבהם בחנו משתנים נוספים כגון: מינונים שונים של תכשיר, תיחוח הקרקע טרם החיטוי על מנת לשפר את חדירת התכשיר ועוד. פירוט החלקות במחקר על פי הגדרות האזורים ומאפיינים רבים אחרים נמצא בנספח מס' 1.

#### 3.1 ציון ומיפוי נקודות הדגימה

בכל חלקה הוגדרו נקודות לדגימה לפני תחילת ביצוע החיטוי. נקודות הדגימה שימשו לצורך איסוף הנתונים לפני ביצוע החיטוי, לאחריו ובמשך כל עונת הגידול. הנתונים שנאספו מכל נקודת דגימה היו: כמות סטרפטומצטים בקרקע (CFU), כמות פורמלין שנקלטה בעקבות החיטוי ומידת התחלואה בתרמילים בתום הגידול. נקודות הדגימה נקבעו כולם במרכז הערוגה וסומנו באמצעות מערכת GPS-GIS. מערכת GPS-GIS שבה השתמשנו מורכבת ממכשיר Global positioning system (GPS) דגם RX 400 P (קנדה, MID-TEC) וממחשב כף יד, ipac, (HP, China), המצויד בתוכנת מ"יג ניידת Pocket-GIS (Version 1.2 Pocket systems LTD, USA). נקודות הדגימה בחלקה נקבעו על פי סוג החלקה וסוג אמצעי ההשקיה. בחלקה מלבנית (השקיה במטרות או קונוע חזיתי) נקבעו נקודות הדגימה במרווח של 9 ערוגות. נקודות הדגימה לאורך ערוגה מוקמו במרווח 200 מטר על פי חלוקת השדה להפעלות השקיה. בחלקות אלו נדגמו בסה"כ 30 – 100 דגימות על פי גודל החלקה (כל דגימה מייצגת שטח של 5 – 10 דונם). בחלקה עגולה (השקיה בקונוע מחוגי) נקבעו נקודות הדגימה במרחק 20 ערוגות. עקבות גלגלי הקונוע שימשו

לקביעת מיקום נקודות הדגימה לאורך הערוגות. סה"כ נדגמו בכל ערוגה 4 – 10 נקודות על פי אורך הערוגה במעגל. נקודות הציון של נקודות הדגימה הועברו ממחשב כף היד לעיבוד במחשב באמצעות תוכנת ממי"ג 9 ArcGIS (ESRI<sup>©</sup>, USA) למיפוי ולניתוח מרחבי של הנתונים. איור מס' 2 מציג את אופן הדיגום בחלקה מלבנית וחלקה עגולה. ניתן לראות כי בחלקה עגולה אפשרי היה ביתר קלות לקבוע נקודות דיגום מפוזרות ואילו בחלקה מלבנית בגלל הצורך לדיגום על פי חלוקת השדה להפעלות השקיה, נקודות הדגימה קרובות יותר לרוחב החלקה בהשוואה לאורך החלקה ויוצר מקבצי דיגום



איור מס' 2 – תאור דוגמא של חלקות אשר שימשו בעבודה ומיקום נקודות הדגימה. A – חלקה המושקית בקונע מחוגי בשטח 450 דונם (חלקה "רותי 12", גד"ש חלוצה). B – חלקה המושקית בקונע חזיתי בשטח 260 דונם (חלקה ז, סופה).

### 3.2 יישום פורמלין בשדה

פורמלין יושם באמצעות מערכות ההשקיה בארבעה אמצעי השקיה: קונוע מעגלי, קונוע חזיתי, ממטרות וממטירונים. התכשיר הוזרם בריכוז קבוע למי ההשקיה במשך כל החדרת נפח המים לקרקע (ישום פרופורציונאלי). מינון הפורמלין המקובל לחיטוי קרקע הוא 225 ליטר/דונם. במספר חלקות בוצעו טיפולים נוספים של חיטוי במינונים גבוהים יותר. כמות מי ההשקיה לדונם בו הוזרם הפורמלין הייתה 28 – 35 מ"ק/דונם, בהתאם למקובל בסוגי הקרקע השונים. פירוט אמצעי ההשקיה שדרכם בוצע החיטוי:

1. חיטוי בהמטרה: הממטרות בחלקה הוצבו במרחק של 12 מטר לאורך קווי ההשקיה ו-18 מטר בין הקווים. במספר חלקות הוצבו הממטרות במרווחים קטנים יותר (12 מטר לאורך ו-16 מטר לרוחב). ספיקת הממטרות היא 9 מ"ק/שעה/דונם. פרק הזמן להזרמת התכשיר הוא 3-4 שעות בהתאם לכמות מי ההשקיה.
2. חיטוי בממטירונים: הממטירונים בחלקות הוצבו במרחק של 10 מטר לאורך קווי ההשקיה ו-12 מטר בין קווי ההשקיה. ספיקת הממטירים היא 4.5 מ"ק/שעה/דונם. פרק הזמן להזרמת התכשיר הוא 6-8 שעות בהתאם לכמות מי ההשקיה.
3. חיטוי בקונוע חזיתי: קונוע חזיתי היא מערכת השקיה על גלגלים הנוסעת לאורך חלקה מלבנית. הקונוע בנוי ממתחים עליהם מורכבים מתזים במרחקים שווים. ספיקת המתזים היא בין 1 מ"ק ל-3.5 מ"ק/שעה. פרק הזמן שאורך החיטוי לדונם תלוי בקצב ההתקדמות של הקונוע. מהירות הנסיעה של הקונוע נע בין 15 מטר/שעה ל-100 מטר/שעה.
4. חיטוי בקונוע מחוגי: קונוע מחוגי היא מערכת השקיה על גלגלים שנעה סביב מרכז אשר קבועה במרכז המעגל. ספיקת המטז בקונוע מעגלי יכול לנוע בין עשרות ליטרים בתחילת הקונוע עד 3.5 מ"ק/שעה בקצה המחוג. פרק הזמן שאורך חיטוי לדונם בקונוע מעגלי הוא בהתאם לאורכו, קצב התקדמותו וספיקת המטזים.

### 4. הערכת יעילות החיטוי

#### 4.1 קביעת ריכוז הפורמלין במי ההשקייה בחיטוי

במספר חלקות הוצבו דליים בנקודות הדגימה לפני ביצוע החיטוי ונאספו מי ההשקיה במהלך החיטוי. לאחר גמר החיטוי נבדק נפח מי ההשקיה בדליים וחושב ריכוז הפורמלין בתמיסת ההשקיה. ריכוז הפורמלין במי ההשקיה נמדד בשיטת הטיטרציה (Frederic, 1975). הטיטרציה בוצעה כדלקמן: לדגימה נבדקת בנפח 50 מ"ל הוספו 50 מ"ל תמיסת סודיום סולפיט (126 gr NaSO<sub>3</sub>/ liter H<sub>2</sub>O) ו-10 טיפות תמיסת אינדיקטור פנול פתלאין. לאחר מכן בוצע טיטור לתמיסה בעזרת תמיסת HCl בריכוז 1N תוך כדי בחישה עד להעלמות הצבע הכחול. ריכוז הפורמלדהיד נקבע ע"פ נפח (מ"ל) HCl בטיטור. כמות הפורמלין בשדה ליחידת שטח (מ"ל/מ"ר) חושבה על בסיס כמות הפורמלין שטוטה.

#### 4.2 הערכת אוכלוסיות סטרפטומצטים בקרקע

בניסוי שבוצע בשנת 2005 נאספו דוגמאות קרקע מכל נקודת דגימה בשני מועדים: לפני החיטוי ומיד בסיומו, ונקבעה כלל אוכלוסיית הסטרפטומצטים בקרקע. קרקע במשקל 5 גרם נלקחה מכל דגימה והוכנסה ל- 43 סמ"ק תמיסה מעוקרת של אגר מים (1%). התרחיף טולטל למשך דקה במערבל חובט מסוג (Interscience, France) Bag Mixer ולאחר מכן נערכה לכל דגימה סדרת מיהולים עשרוניים בתמיסת סליין. מנות אחידות של 100 מיקרוליטר מהמיהול הרצוי פוזרו על גבי מצע- KSTR, בארבע צלחות פטרי, באמצעות מקל דריגלסקי. הצלחות הודגרו בחושך בטמפי של 28 מ"צ למשך 10 ימים. המושבות שצמחו על צלחת זוהו ונספרו. התוצאות חושבו כיחידות cfu לגרם קרקע יבשה (105 מ"צ). להלן הרכב מצע ה-KSTR (גרם לליטר מים מזוקקים):

#### הרכב מצע ה-KSTR (Kritzman et al., 1996):

|                                      |        |
|--------------------------------------|--------|
| Soluble potato starch sigma          | 5.00   |
| Yeast extract                        | 4.00   |
| K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>      | 1.00   |
| MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O | 0.50   |
| Bacto peptone                        | 0.60   |
| Protease peptone                     | 0.60   |
| NaCl                                 | 10.0   |
| FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O | 0.018  |
| ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O | 0.0018 |
| MnCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O | 0.0013 |

הוספת מרכיבים אנטיביוטיים לאחר עיקור:

| <u>שם</u>    | <u>הרכב תמיסת סטוק</u>   | <u>כמות שהוספה במ"ל</u> | <u>ריכוז</u>               |
|--------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Rifampicin   | 12.5 mg/ml MeOH          | 0.048                   | 0.6 mg/l                   |
| Naladixic ac | 0.1 gr/ml 0.1 N Na       | 0.15                    | 0.015 gr/l                 |
| Nystatin     | 10,000 units/ml 95% EtOH | 2.50                    | 25*10 <sup>3</sup> units/l |
| Cyclohexamid | 0.2 gr/ml 70% EtOH       | 1.00                    | 0.2 gr/l                   |

המצע מעוקר באוטוקלאב ב- 121 מ"צ למשך 20 דקות. לאחר קירור ל- 60 מ"צ מוסיפים את האנטיביוטיקה ומוזגים לצלחות פטרי.



### 5. הערכת שיעור התחלואה במחלות היבללת והרשת ומחלות נוספות בתרמילים

בסוף עונת הגידול נעקרו שיחי אגא"ד והתרמילים יובשו על פני הקרקע למשך שבוע. לאחר היבוש נאספו תרמילים במשקל 1 ק"ג מכל נקודות הדגימה. במעבדה מוינו התרמילים על פי התחלואה במחלות השונות. דרגות התחלואה ביבללת נקבעה על פי סולמות התסמינים (איור מס' 3):

0. תרמיל נקי מגורמי מחלה
  1. כתם בודד על גבי התרמיל
  2. שני כתמים על גבי התרמיל
  3. שלושה כתמים או יותר על גבי התרמיל
- דרגות התחלואה ברשת נקבעה על פי סולם התסמינים (איור מס' 3).
0. תרמיל נקי מגורמי מחלה
  1. קווים בצורת רשת על גבי התרמיל באזור יחיד
  2. קווים בצורת רשת על גבי התרמיל בשני אזורים או יותר



איור מס' 3 - דרגות התחלואה השונות של מחלת היבללת והרשת על תרמילי אגא"ד.

חומרת התחלואה במחלת היבללת מחושבת על פי שלושת דרגות התסמינים ובמחלת הרשת על פי שתי דרגות התסמינים בלבד.

המשוואות הבאות מתארות את אופן החישוב של מדדי התחלואה:

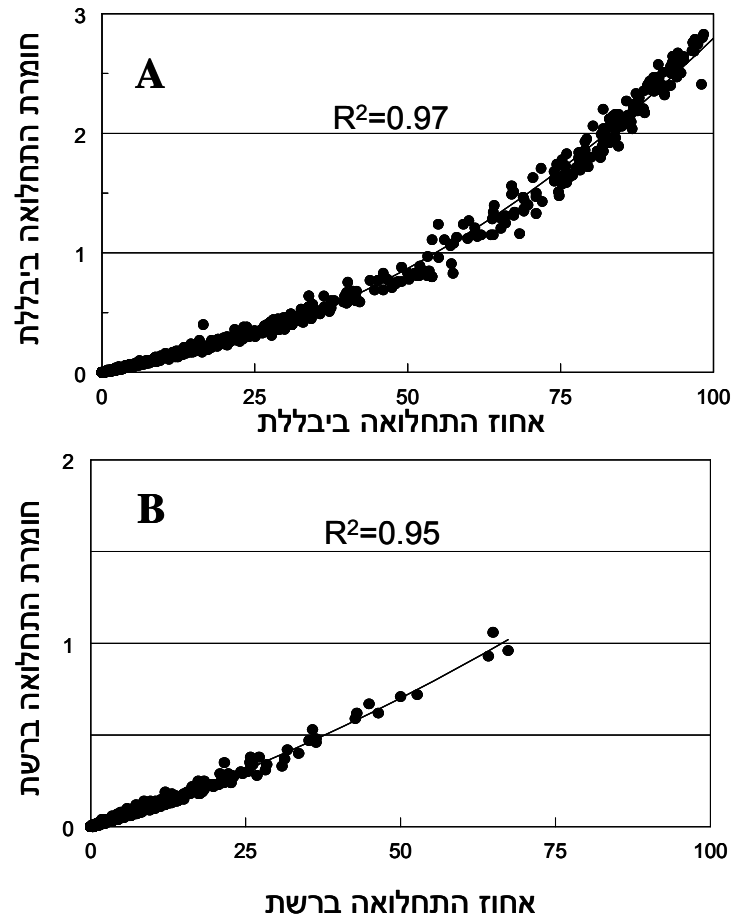
$$Incidence = \frac{Disease}{All} \times 100$$

$$Severity = \frac{(I) + (II) \times 2 + (III) \times 3}{All}$$

*Incidence* – אחוז התחלואה במחלה, *Disease* – כלל התרמילים עם תסמיני תחלואה, *All* – כלל התרמילים בדגימה, *Severity* – חומרת התחלואה במחלה, *I* – מספר התרמילים עם תסמינים בדרגה 1, *II* – מספר התרמילים עם תסמינים בדרגה 2, *III* – מספר התרמילים עם תסמינים בדרגה 3.



לצורך בחירת המדד שייצג באופן מהימן ביותר את השפעת הטיפולים על ההדברה בדקנו את הקשר בין שכיחות התחלואה ביבללת ורשת לעוצמתה (איור מס' 4). במחלת היבללת התקבל מתאם של  $R^2=0.97$  בין חומרנה ושכיחותה של המחלה. מתאם דומה נמצא גם במחלת הרשת.



איור מס' 4 – הקשר בין שכיחות מחלת היבללת (A) והרשת (B) בדגימות אגא"ד לחומרת מחלת היבללת והרשת בדגימות אגא"ד, בהתאם לסרגל הנגיעות המופיע בסעיף 5.

בשני המחלות חומרנה המחלה מתגברת באופן אקספוננציאלי ביחס לשכיחותה. הקשר ההדוק בין חומרנה המחלה לשכיחותה מצביע כי שימוש באחד המדדים מספיק על מנת לתאר באופן אמין את שיעור התחלואה בשדה, לצורך השוואה בין משתנים שונים של טיפולים.

#### 5.1 שיעור התחלואה בחלקה

על מנת להשוות בין שיעורי הדברה בחלקות השונות השתמשנו בערך "יעילות החיטוי". ערך זה מבוסס בעיקרו על הקשר בין התחלואה בחלקות המחוטאות לבין זו שבחלקת ההיקש, שלא חוטאה כלל. החישוב בוצע באופן הבא:

$$Efficiency = \left(1 - \frac{Treatment}{Check}\right) \times 100$$

*Efficiency* - יעילות החיטוי בנקודת הדגימה בה בוצע חיטוי

*Treatment* - אחוז התחלואה במחלת היבללת ורשת בחיטוי בנקודת הדגימה

### *Check* - אחוז התחלואה במחלת היבללת ורשת בהיקש

בשלב ראשון חושבה "יעילות החיטוי" בכל חלקה בהתאם למבנה המרחבי של הדגימות בה. חישוב "יעילות החיטוי" מתבסס על ניתוח התחלואה בנקודת הדגימה בהיקש, שמצויה בקרבת נקודת הדגימה בחיטוי. החישוב של יעילות החיטוי באופן הנ"ל מאפשר למזער את השונות הנובעת מהבדלים בין ערוגות בתוך השדה. במספר חלקות בהן לא הוגדר מספר מספק של משבצות היקש, נלקח שיעור התחלואה הממוצע במשבצות ההיקש לחישוב "יעילות החיטוי" בכל נקודת הדגימה בחיטוי.

### 5.2 הערכת התחלואה במחלת הפוזריום ופיתיום בתרמילים

בנוסף לקביעת התחלואה ביבללת ורשת נבחנה גם שכיחות התחלואה ברקבונות תרמילים שנגרמו מפוזריום ופיתיום. שיעור התחלואה נבדק באופן חזותי כאשר פוזריום מאופיין בתרמילים בעלי גוון ורוד ופיתיום מאופיין בתרמילים מושחרים. השכיחות נקבעה ע"פ נוכחות המחלה בתרמילים ללא קביעת דרגות חומרה שונות.

### **6. הקמת בסיס נתונים וניתוח סטטיסטי**

כל הנתונים שנאספו במהלך העונות 2005, 2006 ו-2007 רוכזו בבסיס נתונים ובוצע ניתוח לאיפיון הגורמים המשפיעים על יעילות חיטוי הקרקע בפורמלין ופיזור מחלת היבללת והרשת במרחב. הניתוח בוצע לכל חלקה בנפרד ולכלל החלקות בעונה מסוימת. בנוסף, אוחדו בסיסי הנתונים של כל עונה לבסיס נתונים כללי על מנת לנתח את השפעת הגורמים השונים בכלל החלקות לאורך שלוש שנים. ניתוח בסיס הנתונים וכל חלקה בנפרד נעשה באמצעות תוכנת SAS 9.1.3. בשל אופן הדיגום הלא שווה, ניתוח ANOVA בוצע בפרוצדורת GLM המתאימה לניתוח בו מספר הדגימות אינו שווה בכל טיפול. הניתוחים הסטטיסטיים בוצעו תוך התחשבות בפיזור המחלה במרחב באמצעות חישוב ערך "יעילות החיטוי" וזאת בכדי לצמצם את השונות הרבה בשדה.

### **7. ניתוח פיזור מחלה**

ניתוח פיזור המחלה במרחב נעשה בשני אופנים:

א. ניתוח איכותי באמצעות מיפוי.

ב. ניתוח גיאוסטטיסטי באמצעות Getis-Ord, Hot spot analysis.

כל ניתוח בוצע הן בחלקה בודדת והן ברמה האיזורית.

ניתוח איכותי ברמת החלקה הבודדת: לצורך הניתוח האיכותי מויינו ומופו שיעורי התחלואה של מחלות היבללת והרשת באמצעות תוכנת מ"ג (ArcGIS). בשלב ראשון מויין ומופה שיעור התחלואה לפי חלוקה מקובלת בקרב החקלאים של דרגות תחלואה: כחול כהה 0% - 5%, כחול בהיר 6% - 10%, ירוק 11% - 20%, צהוב 21% - 50%, אדום > 50%. מיון בשיטה זו הינו קבוע ולא משתנה מחלקה לחלקה ומעונה לעונה. בנוסף, בוצע מיון לכל חלקה באמצעות שיטה סטטיסטית בשם קפיצות טבעיות (Natural Breaks) אשר מחלקת נתונים לקבוצות, כך שבתוך כל קבוצה יהיה דימיון מירבי ובין הקבוצות שונות מירבית. בשיטה זו חלוקת שיעור התחלואה

נגזרת מתוך המידע באותה חלקה ולכן מתקבלות חלוקות שונות בין החלקות. שיטה זו מאפשרת לבחון את הפיזור המרחבי של המחלה ללא קשר לרמת התחלואה המקובלת. ניתוח איכותי ברמת האיזור: נתוני התחלואה הוצבו על מפה אזורית בכדי לאפיין את פיזור מחלות היבללת, הרשת, הפוזריום והפיתיום בתת-האזורים השונים. בניתוח האזורי כל חלקה קיבלה ערך המיצג את שיעור התחלואה במחלות השונות. ערך זה מורכב מהממוצע של שיעור התחלואה בנקודות הדגימה, במשבצות ההיקש. אופן הצגת פיזור המחלה הינו לפי החלוקה המקובלת בקרב החקלאים שתואר לעיל. מפות פיזור המחלה של אזור המחקר כולו מאפשרות השוואה של שיעור התחלואה בין ובתוך תתי-האזורים השונים.

ניתוח גיאוסטטיסטי: ניתוח גיאוסטטיסטי של הפיזור המרחבי של מחלות היבללת, הרשת בחלקה ובאזור כולו בוצע בגישה של ניתוח מקבצים (Cluster Analysis) באמצעות Getis-Ord, Hot-spot analysis. ניתוח מקבצים נועד לזהות מקבצים חריגים של תופעה במרחב. על מנת לבחון האם קיים מקבץ משמעותי של תופעה יש לשלול את האפשרות שהוא נובע מאופי הדיגום. כלומר, אם מלכתחילה הדיגום נעשה באופן מקובץ לא ניתן יהיה לומר בוודאות כי המחלה פזורה במקבצים. לעומת זאת, אם הדיגום נעשה בצורה מפוזרת ובכל זאת נמצאו מקבצים חריגים של שיעור תחלואה גבוה (או נמוך) נוכל לומר כי זה מאפיין את פיזור המחלה. על מנת לבחון זאת עם הנתונים שנדגמו במסגרת המחקר המתואר בוצע ניתוח Average nearest neighbor למיקומי הדגימות בכל חלקה בנפרד ובכל האזור. שיטה זו בוחנת האם אופן הדיגום של נקודות הציון הנו במבנה מקובץ מפוזר או אקראי כפונקציה של רדיוס האזור הנבדק, קרי, ברדיוס מסויים פיזור הדגימות יכול להיות מקובץ ובאחר לא.

הניתוח מבוסס על אינדקס "השכן הקרוב" המבוטא באמצעות היחס שבין המרחק הנצפה למרחק המצופה בשטח מוגדר. המרחק הנצפה מורכב מהמרחק הממוצע של נקודות שכנות בדיגום שביצענו והמרחק המצופה הוא המרחק הממוצע בין נקודות דיגום שכנות בתפוצה אקראית משוערת. תוצאות הניתוח מבוטאות באמצעות Z-score שערכים הגבוהים מ-1.96 מעידים על דפוס דיגום מפוזר וערכים הנמוכים מ-1.96 (-) מעידים על דפוס דיגום מקובץ; ערכי הביניים מעידים על דפוס דיגום אקראי. דוגמא לחלקה בה אופן הדיגום הוא מפוזר היא חלקה "רותי 12 ב" (חלוצה) לעומת חלקה ז' (סופה) בה הדיגום הנו מקובץ (איור מס' 2). בשלב הבא בוצע הניתוח העיקרי לאפיון דגם הפיזור של המחלה. הניתוח בוצע בשיטת Hot spot analysis שפותחה על-ידי Getis and Ord (1996). השיטה מתבססת על Local Statistics בניגוד לניתוחים גיאוסטטיסטים אחרים שהינם Global Statistics. הממד Gi\* Statistics מחשב את מידת ההתקבצות המרחבית (Spatial clustering) של התחלואה בנקודת דגימה מקומית ובכמה הוא שונה מהערך המצופה (ממוצע הכללי). הערך מחושב על בסיס סכום ההפרשים בין ערכי התחלואה של נקודות הדגימה ברדיוס d לממוצע הכללי של התחלואה בכל הדגימות במרחב, ועובר סטנדרטיזציה לציון Gi\* (הנקרא : Z-score) כאשר הממוצע הנו אפס וסטית התקן שווה לאחד.

משוואת ה-  $GI^*$ :

$$G_i^*(d) = \frac{\sum_j w_{ij}(d)x_j - W_i^* \bar{x}^*}{s^* \sqrt{\frac{(nS_{ii}^*) - W_i^{*2}}{n-1}}}$$

$x_j$  – ערך התחלואה בדגימה  $j$

$i$  – הנקודה המרכזית של תא השטח המקומי

$d$  – רדיוס המרחק של תא השטח מנקודה  $i$

$W_{ij}$  – המשקל של הנקודה השכנה  $j$  מהמיקום  $i$  (בערכים בינאריים מקבל ערך של 0 או 1)

$n$  – מספר הדגימות בבסיס הנתונים הכולל

$W_i^*$  – סכום המשקלים

$S_{ii}^*$  – מספר הדגימות במרחק  $d$  מנקודה  $i$  (הערך שווה ל- $W_i^*$  כאשר המשקלים הם בינאריים)

$\bar{x}^*$  – הממוצע הכללי של התחלואה בבסיס הנתונים

$s^*$  – סטיית התקן של התחלואה בבסיס הנתונים

מדד  $GI^*$  Statistics הקרוי גם Z-score מתפלג כפעמון בעל שתי קצוות כאשר הממוצע הנו אפס. ערכים גבוהים מ-1.96 (+2 סטיות תקן) מעידים על מקבץ תחלואה גבוה באופן מובהק ( $P < 0.05$ ) (ערכים מעל הממוצע), בעוד שערכים נמוכים מ-1.96 (-2 סטיות תקן) מעידים על מקבץ תחלואה נמוך באופן מובהק ( $P < 0.05$ ) (ערכים נמוכים מהממוצע). התפלגות הערכים הללו במרחב מצביעה על הקשר בין התחלואה למיקום הגיאוגרפי של הדגימות. בגלל האופי המקומי של הניתוח ובדומה לניתוח מקבצי הדיגום בחירת הרדיוס משפיע על התוצאה. במילים אחרות, מקבצי תחלואה יכולים להימצא בקני"מ מסויים אבל לא להימצא בקני"מ אחר. על מנת למצוא את קני"מ בו מתקיימים מקבצים יש לבצע את התהליך בצורה איטרטיבית עד לקבלת הרדיוס המתאים. הרדיוס המתאים נבחר בין השאר על-פי תוצאת הניתוח האיכותי.

## תוצאות

### 1. מאפיינים מרחביים באילוח קרקעות במחוללי מחלת היבללת והרשת

מטרת המחקר הראשונה הייתה לבחון את מידת האילוח של הקרקעות במחולל מחלת היבללת ואת אופי פיזור מחולל המחלה בשדות. אזור המחקר מאופיין בתת-אזורים הנבדלים זה מזה בסוג הקרקע ושיטות גידול. במסגרת המחקר נבחנו 44 חלקות מסחריות במהלך השנים 2005 – 2007. בחלקות אלו בוצעו טיפולי חיטוי קרקע שונים ובנוסף הושארו גם משבצות היקש ללא כל חיטוי. ככלל ניתן לקבוע על פי התחלואה בתרמילים, כי שיעור אילוח החלקות בנגב המערבי במחולל מחלת היבללת הוא רב ביותר. ב-14 חלקות שיעור התחלואה ביבללת במשבצות שלא חוטאו היה גבוה מ-20%, שהם מעל ערך הסף לפסילת התוצרת ליצוא. ב-42 מסך 44 החלקות שנבדקו נרשמה תחלואה ביבללת. תחלואה במחלת הרשת נמצאה במספר חלקות רב אך שיעור התחלואה היה קטן.

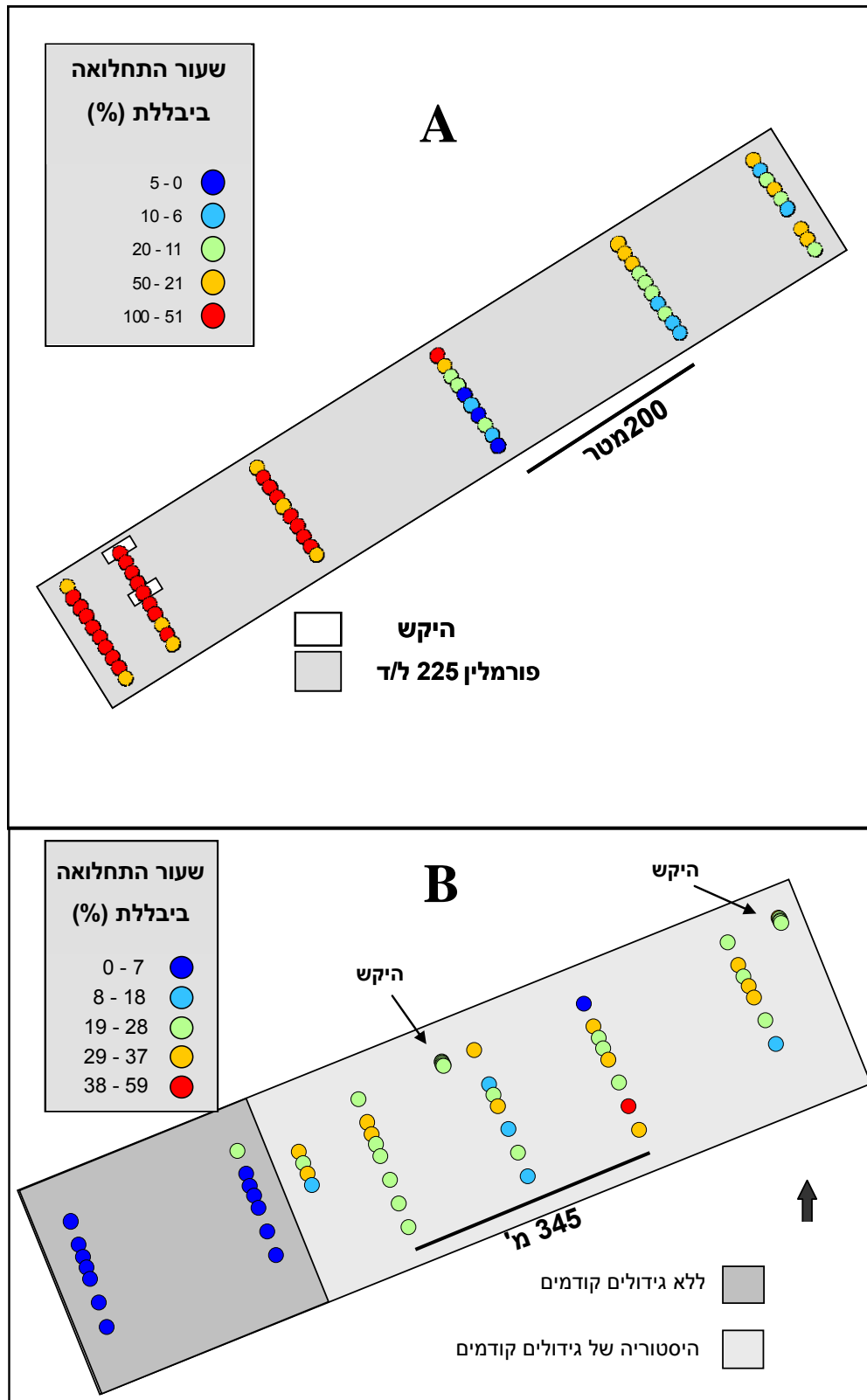
#### 1.1 ניתוח מרחבי של פיזור מחלת היבללת בחלקה הבודדת

בכדי ללמוד על פיזור מחלת היבללת במרחב השדה, נבדק פיזור התחלואה במספר חלקות. מכלל החלקות שנדגמו נמצאו שלוש חלקות שבהן שיעור התחלואה ביבללת בכל החלקה היה גבוה ללא קשר לחיטוי שבוצע בקטעים השונים בחלקה. לכן, נבחרו החלקות הללו בכדי לאפיין את פיזור התחלואה במרחב השדה כאשר התייחסנו לכל החלקה כחלקת היקש לצורך הניתוח. בנוסף, אפיינו מרחבית שתי חלקות נוספות בהן התקבלו הבדלים קיצוניים באילוח מחלת היבללת לאורך החלקה.

#### 1.1.1 מיפוי התחלואה וניתוח איכותי

ניתוח פיזור המחלה בכל חלקה נעשה בשלב ראשון, באמצעות מיפוי שיעור התחלואה ביבללת בנקודות הדגימה שמהן נלקחו תרמילים. באיור מס' 5 מוצגות מפות הפיזור של מחלת היבללת בשתי חלקות: חלקת "קרני" (גד"ש חלוצה) וחלקה 35 (כרם שלום). בחלקות הללו מוצג שיעור התחלואה ביבללת על פי דרגות התחלואה שמופיע בסעיף 7 בחומרים ושיטות. בשתי החלקות מחלת היבללת איננה מפוזרת באופן אחיד על פני כל החלקה וניתן לחלק את השדה לשני קטעים נפרדים בהן שיעור התחלואה ביבללת שונה.

- חלקת "קרני" (גד"ש חלוצה): בחלק הדרומי של השדה נרשם שיעור תחלואה גבוה ביבללת, בעוד שבחלקו הצפוני נרשם שיעור תחלואה נמוך יותר (איור מס' 5A). במקרה זה, לא ניתן היה למצוא הסבר להבדל על סמך הנתונים שבידינו. מאידך, לא ניתן להתעלם מן העובדה כי קיים הבדל בין שני חלקי השדה וכי מחלת היבללת איננה מפוזרת באופן אחיד.
- חלקה 35 (כרם שלום): בחלק הצפוני של השדה נרשם שיעור תחלואה בינוני ביבללת (20% - 40%) ואילו בחלקו הדרומי שיעור התחלואה ביבללת נמוך ביותר (>5%) (איור מס' 5B). ההבדל במקרה זה נובע ממחזורי גידול שונים בשני חלקי השדה. החלק הדרומי של השדה לא שימש לחקלאות אינטנסיבית בעבר כלל, בעוד שהחלק הצפוני הוא שטח חקלאי בו גידלו אגא"ד ותפוא"ד בשנים עברו.



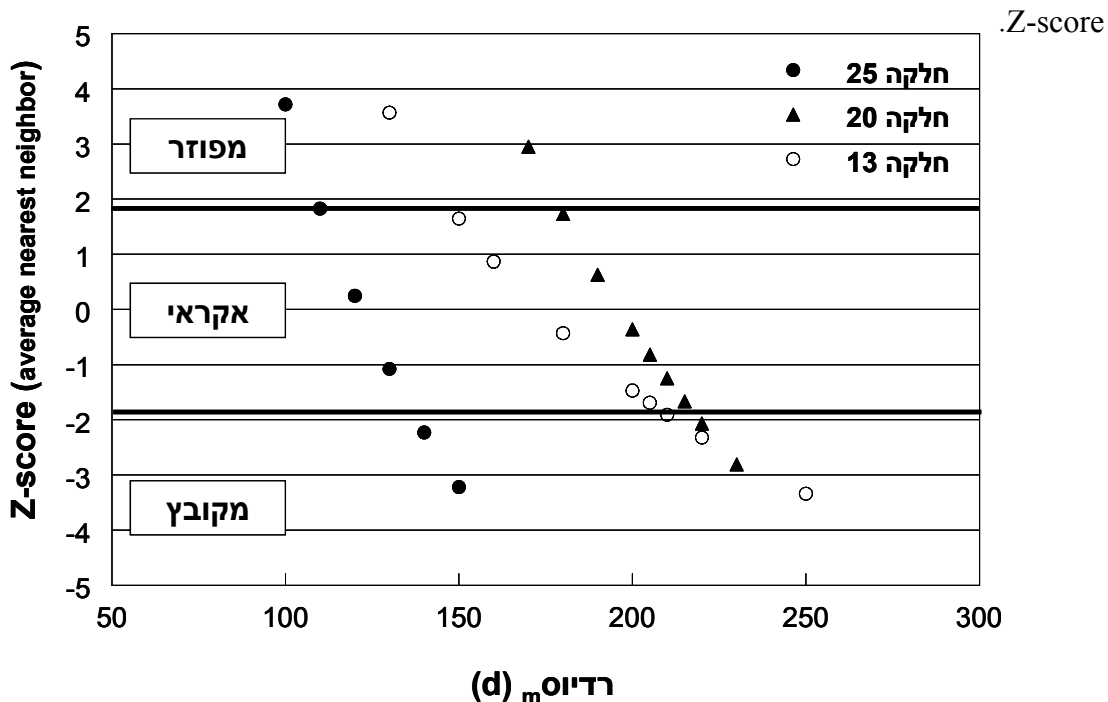
איור מס' 5 – פיזור התחלואה במחלת היבלת בחלקות בודדות. (A) חלקת "קרני" (גד"ש חלוצה), חיטוי בממטירונים, עונת 2006. (B) חלקה 35 (כרם שלום), חיטוי בממטרות, עונת 2005. סימנים עגולים מציינים את נקודות הדגימה מהן נאספו התרמילים ובהן נקבע שיעור התחלואה ביבלת (מספר תרמילים נגועים מסך התרמילים שנדגמו).

### 1.1.2 ניתוח גיאוסטטיסטי

לאחר מיפוי התחלואה בשדה ניתחנו את הפיזור המרחבי של מחלת היבללת באמצעות שיטת "ניתוח מקבצים" גיאוסטטיסטית. ניתוח זה בוצע על 3 חלקות (חלקה 20, 25 ו-13 בכרם שלום) שבהן שיעור התחלואה ביבללת בחלקה היה גבוה ללא קשר לביצוע חיטוי הקרקע. בנוסף, בוצע ניתוח איכותי של החלקות על פי חלוקת שיעור התחלואה בשיטת ה-Natural Breaks המחלקת את שיעור התחלואה לקבוצות כך שההבדלים ביניהן יהיו מירביים (סעיף 7 - חומרים ושיטות). הניתוח הגיאוסטטיסטי כלל:

1. מבחן Average Nearest Neighbor – מבחן הבודק את אופן הפיזור של נקודות הדיגום.
2. Getis Ord Hot spot analysis – ניתוח מקבצים של שיעור התחלואה בחלקות.

1. מבחן Average Nearest Neighbor: בכדי לאפיין מקבצים של תחלואה באמצעות הניתוח הגיאוסטטיסטי, Getis-Ord, המתבצע בשטחי מעגלים ברדיוסים שונים, על נקודות הדיגום להיות בדגם מפוזר או אקראי בשטח הרדיוס הנבדק. ביצוע הניתוח הגיאוסטטיסטי על תא שטח בו נקודות הדיגום מקובצות (בעלי דפוס מקובץ) מטה את התוצאות, כך שמציאת המקבצים של התחלואה היא בהתאם למקבצים במרחב. אופן הדיגום בחלקות בוצע כך שכל נקודת דגימה מייצגת שטח ברוחב של 6-9 ערוגות (12-18 מטר) (על פי אמצעי ההשקיה בחלקה), ואורך של 100 - 200 מ' (המייצג קבוצת הפעלה בהשקיה). בשל דיגום זה המרחק בין נק' לנק' לרוחב החלקה קצר יותר (12-18 מ') משמעותית מאשר לאורך החלקה (30 – 250 מ') ויוצר מקבצים מרחביים. לפיכך, ביצענו ניתוח Average Nearest Neighbor הבוחן האם אופן הדיגום של נקודות הדיגום בחלקות הינו במבנה מקובץ, מפוזר או אקראי, בתאי שטח בעלי רדיוס שונה (סעיף 7 - חומרים ושיטות). תוצאות הניתוח מוצגות באמצעות הערך



איור מס' 6 – ניתוח אופן פיזור נקודות הדגימה בתאי שטח שונים, בשלוש חלקות בכרם שלום. האיור מציג את השתנות ערכי Z-score מניתוח Average Nearest Neighbor כפונקציה של רדיוס (d) בשטח מעגל. ציוני Z הגבוהים מ-1.96, שבין 1.96 – (-1.96) או נמוכים מ-(-1.96) מייצגים תא שטח שרדיוסו d בו אופן פיזור נקודות הדגימה מפוזר, אקראי או מקובץ בהתאמה ( $P < 0.05$ ).

Z-score בעל ערך חיובי מעל 1.96 מעיד על אופי מפורז של נקודות הדיגום ( $P < 0.05$ ), וערך הנמוך מ-1.96 על אופי מקובץ של נקודות הדיגום ( $P < 0.05$ ) ואילו ערכי הביניים סביב ה-0 מעידים על פיזור אקראי של נקודות הדיגום.

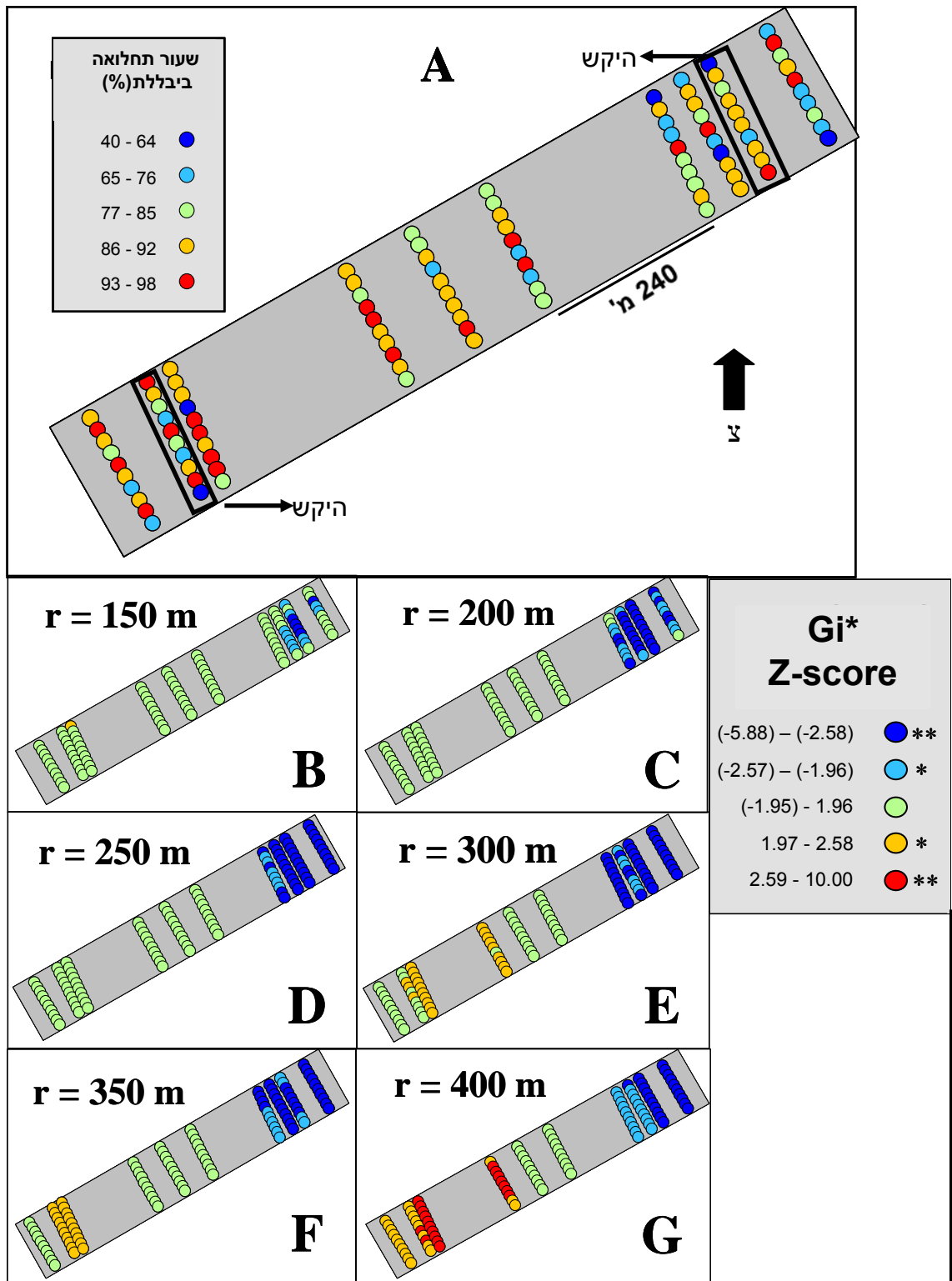
בחלקה 20 (כרם שלום) נמצא שבשטחים שרדיוסם קטן מ-218 מ' ( $Z > -1.96$ ) אופן הפיזור של נקודות הדיגום הנו מפורז או אקראי (איור מס' 6). בחלקה 25 (כרם שלום) נמצא שבשטח בעל רדיוס הקטן מ-138 מ' ( $Z > -1.96$ ) אופן הפיזור של נקודות הדגימה הנו מפורז או אקראי ובחלקה 13 (כרם שלום) נמצא שבשטח בעל רדיוס הקטן מ-209 מ' ( $Z > -1.96$ ) אופן פיזור נקודות הדגימה הנו מפורז או אקראי (איור מס' 6).

2. ניתוח "מקבצי תחלואה" - Getis-Ord Hot spot analysis: מיקבצים של תופעה יכולים להימצא ברדיוס מסויים ולא להימצא באחר, בהתאם לפיזור התופעה במרחב. לכן, בכדי לאפיין בצורה הטובה ביותר את פיזור התחלואה בחלקות, בוצע הניתוח Getis-Ord - Hot spot analysis ברדיוסים בהם פיזור נקודות הדיגום מפורז או אקראי, אך גם מקובץ, זאת בהתאם לתוצאות שהתקבלו בניתוח Average Nearest Neighbor. מתוך הניתוחים האיכותי והגיאוסטטיסטי ב-3 חלקות עולים הממצאים הבאים:

- חלקה מס' 20 (כרם שלום): שיעור התחלואה ביבללת בחלקה היה גבוה מאוד בכל החלקה (40% - 100%) (איור מס' 7A). בניתוח האיכותי של החלקה לא נראים הבדלים ברורים בשיעור התחלואה ביבללת אך נראה כי בחלק הצפוני של החלקה ישנו מספר דגימות רב יותר בהן שיעור התחלואה נמוך יותר (צבע כחול) ובחלק הדרומי של החלקה יש מספר דגימות רב יותר בהן שיעור התחלואה גבוה (צבע אדום) (איור מס' 7A). בניתוח Getis-Ord בשישה רדיוסים שונים נמצאו מקבצים בעלי שיעור תחלואה ביבללת שונה בצפון החלקה ובדרומה (איור מס' 6). ראשית יש לציין כי אופן הדיגום של נק' הדגימה לאורך החלקה יוצר חלוקה לשלושה מקבצים מרחביים ללא קשר לתחלואה, המתבטא בתוצאות הניתוח Average Nearest Neighbor בו שטחים בעלי רדיוס הגדול מ-218 מ' הנם מקובצים (איור מס' 6). בניתוח ברדיוסים של 150 ו-200 מטר (דגם מפורז ואקראי בהתאמה) נמצא מקבץ תחלואה בודד בחלק הצפוני של החלקה בו שיעור התחלואה ביבללת נמוך יותר ( $P < 0.05$ ) (איור מס' 7-B, C, D). אך, בניתוח ברדיוס 300 מ' ומעלה (דגם מקובץ) נמצא מקבץ תחלואה ביבללת נוסף בדרום החלקה בו שיעור התחלואה ביבללת גבוה באופן מובהק (איור מס' 7-E, F, G). נראה כי המקבץ הצפוני בו שיעור התחלואה נמוך הנו קטן יותר ולכן נמצא בניתוח ברדיוסים קצרים. תוצאה זו מעידה על כך שאופן פיזור התחלואה לאורך החלקה שונה. המקבץ הדרומי בו התחלואה גבוהה נמצא אך ורק כאשר הניתוח מבוצע ברדיוסים ארוכים יותר, בהם פיזור נקודות הדגימה מקובץ. למרות שהדגימות מקובצות לשלושה חלקים על פני החלקה, חלק מהמיקבץ השני מצטרף שלא כמצופה למיקבץ של התחלואה הגבוהה בדרום החלקה, מה שמעיד שהמקבץ בו התחלואה גבוהה אינו נובע מאופן הדיגום בלבד (איור מס' 7E). זאת ועוד, הרדיוסים הארוכים בהם הדיגום הוא מקובץ מצביעים על האפשרות כי אילו נקטנו בשיטת דיגום מפורזת יותר היינו מוצאים גם מיקבץ גבוה בדרום. לסיכום, בדומה לניתוח

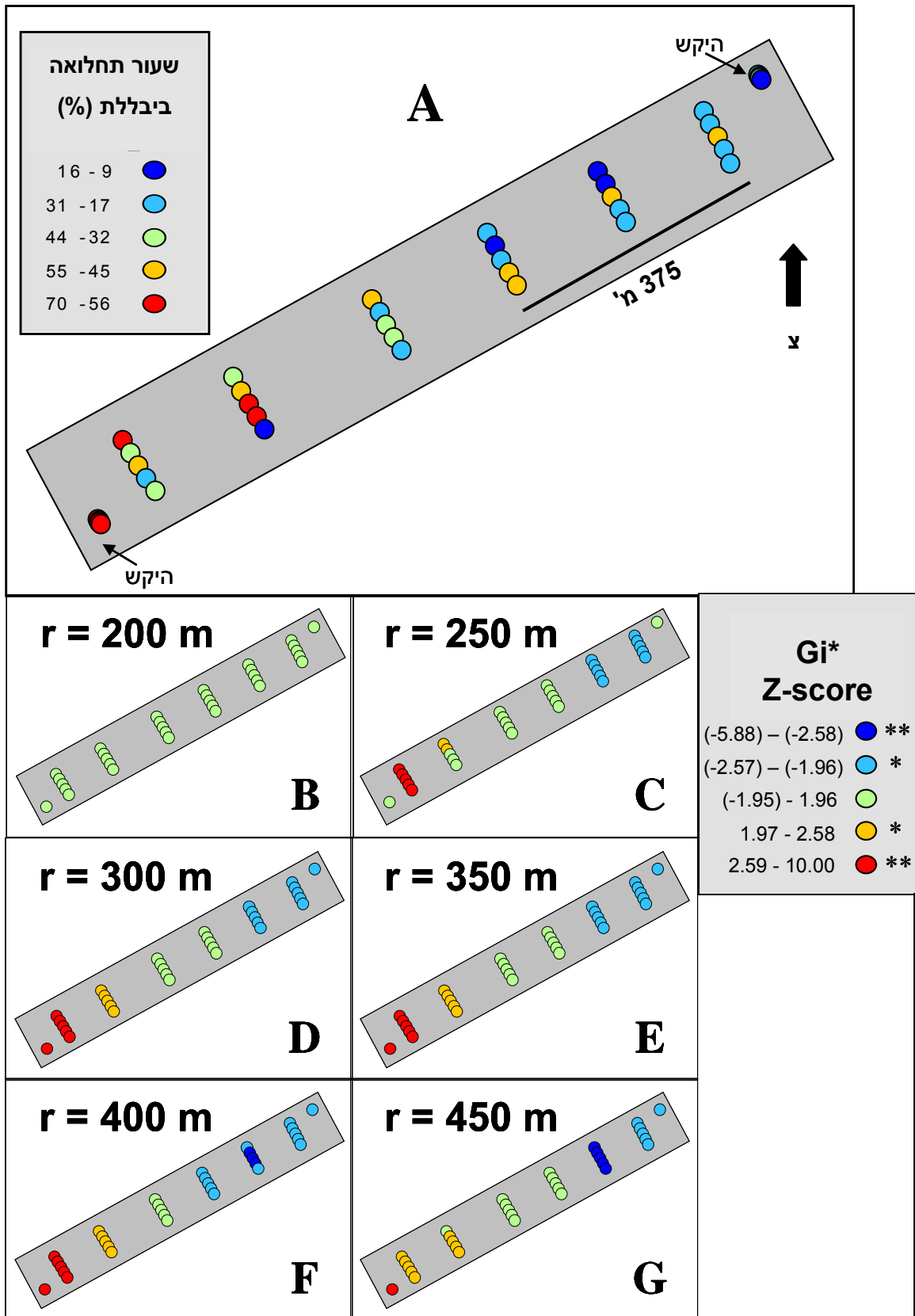


האיכותי הניתוח הגיאוסטטיסטי מחלק את החלקה ל-2 חלקים עיקריים: צפוני בו מקבץ של שיעור תחלואה נמוך ביבלת, ודרומי יותר בו מקבץ של שיעור תחלואה גבוה ביבלת.

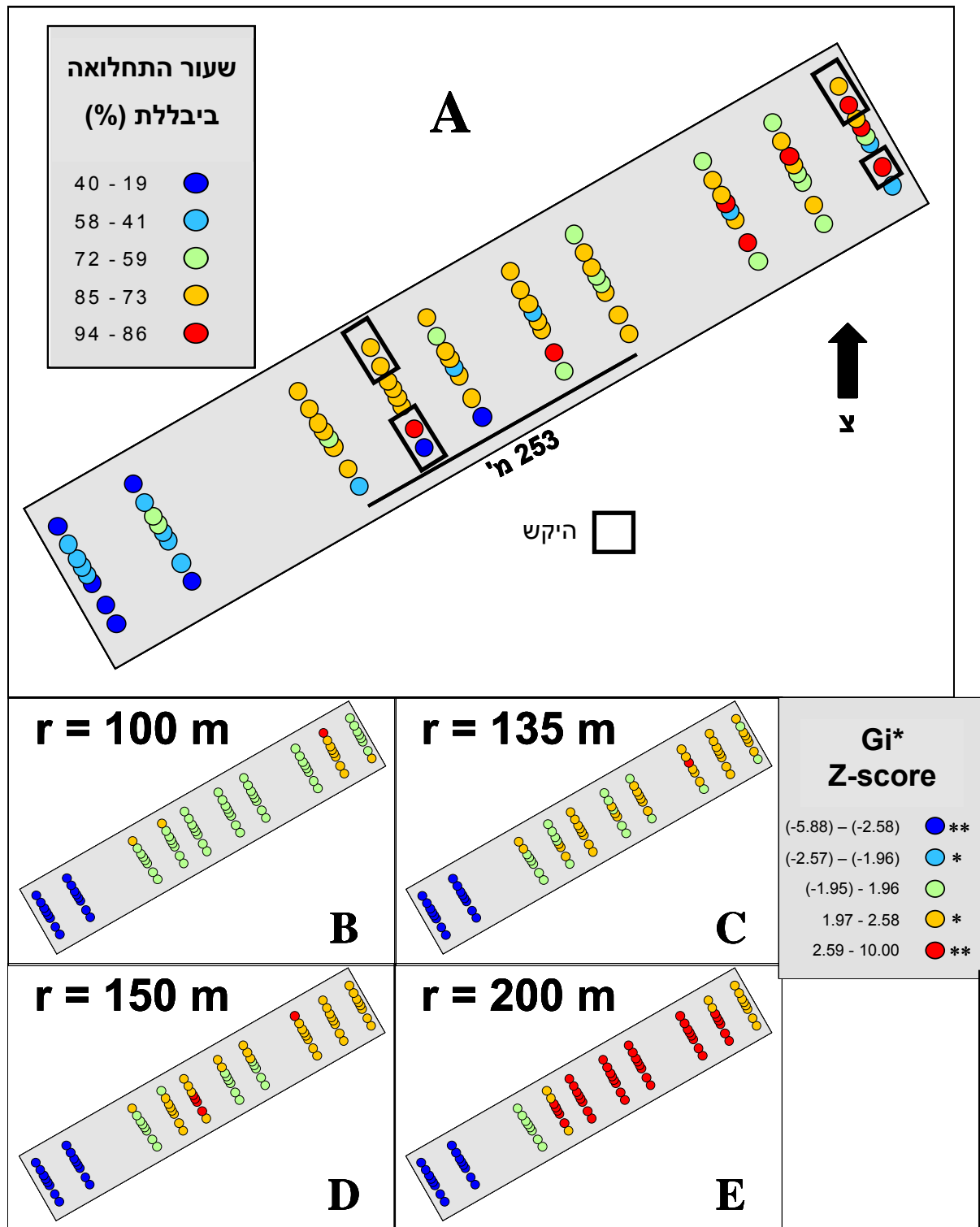


איור מס' 7 - פיזור מחלת היבלת בחלקה 20 (כרם שלום). A – מפה של שיעור התחלואה ביבלת. B-G ניתוח Getis Ord ( $G_i^*$ ) של מחלת היבלת בששה רדיוסים שונים (150, 200, 250, 300, 350, 400 מ'). סימנים עגולים מציינים את נקודות הדגימה בחלקה שמהן נאספו התרמילים ונקבע שיעור התחלואה ביבלת. ציון Z – מחושב מסכום הפרשים בין שיעור התחלואה ביבלת ברדיוס d לבין ממוצע התחלואה ביבלת בכל החלקה ועובר סטנדרטיזציה כאשר ממוצע התחלואה בחלקה שווה 0 וסטיית תקן שווה 1. ציון Z שלילי מעיד על מקבץ תחלואה נמוך יותר בהשוואה לממוצע, ציון Z חיובי מעיד על מקבץ תחלואה גבוה יותר מהממוצע בחלקה. שתי כוכביות מיצגות ערך הנבדל גיאוסטטיסטי ברמת מובהקות של  $(P < 0.01)$ . כוכבית מיצגת ערך הנבדל גיאוסטטיסטי ברמת מובהקות של  $(P < 0.05)$ .

- חלקה מס' 13 (כרם שלום): שיעור התחלואה במחלת היבללת בחלקה הוא מ-5% עד 70%. בניתוח האיכותי של החלקה נראה כי ישנו הבדל בתחלואה ביבללת בין החלק הצפוני לעומת החלק הדרומי של החלקה (איור מס' 8A). בחלק הצפוני התחלואה נמוכה יותר, ובחלק הדרומי התחלואה ביבללת גבוהה יותר. בניתוח Getis-Ord בששה רדיוסים שונים נמצאו מקבצים בעלי שיעור תחלואה ביבללת שונה בצפון החלקה ובדרום החלקה (איור מס' 8C-G). אופן הדיגום של נקודות הדגימה בחלקה מחלק אותה לשישה מקבצים במרחב כאשר בשטח בעל רדיוס הגדול מ-209 מ' ( $Z < -1.96$ ) אופן פיזור נקודות הדגימה הנו מקובץ (איור מס' 6). בניתוח ברדיוסים הקטנים מ-200 מ' (אופן פיזור נקודות הדגימה אקראי) לא נמצאו מקבצים של תחלואה בחלקה (איור מס' 8B). בניתוח ברדיוס של 300 מ' ו-350 מ' התקבלו תוצאות זהות בניתוח ונמצאו שני מקבצים בהם שיעור התחלואה שונה בהשוואה לממוצע התחלואה של כלל החלקה (איור מס' 8-C, D). נראה שניתוח גיאוסטטיסטי ברדיוסים אלו מיצג בצורה הטובה ביותר את פיזור התחלואה ביבללת בחלקה דבר הנראה גם במפת התחלואה (איור מס' 8A), זאת למרות שאופן הדיגום הנו מקובץ ולכן התוצאות אינן מובהקות. לפיכך, הניתוח הגיאוסטטיסטי והניתוח איכותי מחלקים את החלקה ל-3 חלקים: מקבץ צפוני שבו התחלואה נמוכה באופן מובהק, מקבץ דרומי שבו התחלואה גבוהה באופן מובהק וחלק מרכזי שאיננו נבדל מהתחלואה הממוצעת בחלקה. לכן, ניתן להסיק כי ישנו גרדיאנט משתנה של התחלואה ביבללת לאורך החלקה: מתחלואה נמוכה בצפון לתחלואה גבוהה בדרום.
- חלקה מס' 25 (כרם שלום): שיעור התחלואה בחלקה ביבללת הוא מ-21% עד 94%. בניתוח האיכותי של החלקה נראה כי ישנו הבדל בתחלואה ביבללת בחלקה המתאפיין במקבץ בדרום החלקה בו שיעור התחלואה נמוך יותר (איור מס' 9A). בנוסף, נראה שישנה רצועת קרקע בצד המזרחי של החלקה, בה התחלואה נמוכה יותר (איור מס' 9A). בניתוח Getis-Ord בארבעה רדיוסים שונים נמצאו מקבץ בו שיעור התחלואה ביבללת נמוך בדרום החלקה ומקבץ נוסף בו שיעור התחלואה גבוה בצפון החלקה (איור מס' 9B-E). אופן הדיגום של נקודות הדגימה בחלקה מחלק אותה למקבצים רבים כששטח ברדיוס הגדול מ-138 מ' ( $Z < -1.96$ ) מאופיין בפיזור מקובץ (איור מס' 6). נמצאו שניתוח Getis-Ord ברדיוס של 135 מ' (פיזור נקודות הציון אקראי) מציג בצורה מהימנה את פיזור התחלואה בחלקה. תוצאות הניתוח ברדיוס זה מראות כי בנוסף למקבץ הדרומי בו שיעור התחלואה נמוך, ישנו מקבץ צפוני בו התחלואה גבוהה ומקבצים קטנים במרכז החלקה בהם שיעור התחלואה גם גבוה (איור מס' 9C). בנוסף, נראה כי גם ניתן להבחין ברצועת הקרקע המזרחית, שנראית במפת התחלואה, בה שיעור התחלואה נמוך (איור מס' 9C). מהממצאים ניתן לחלק את החלקה ל-3 חלקים בהם התחלואה גבוהה יותר בצפון החלקה, נמוכה יותר בדרום החלקה, ומאופיינת בתחלואה משתנה במרכז החלקה.



איור מס' 8 - פיזור מחלת היבלת בחלקה 13 (כרם שלום). A - מפה של שיעור התחלואה ביבלת. B-G - ניתוח Getis Ord ( $G_i^*$ ) של מחלת היבלת בששה רדיוסים שונים (200, 250, 300, 350, 400, 450 מ'). סימנים עגולים מציינים את נקודות הדגימה בחלקה שמהן נאספו התרמילים ונקבע שיעור התחלואה ביבלת. ציון Z - מחושב מסכום ההפרשים בין שיעור התחלואה ביבלת ברדיוס d לבין ממוצע התחלואה ביבלת בכל החלקה ועובר סטנדרטיזציה כאשר ממוצע התחלואה בחלקה שווה 0 וסטיית תקן שווה 1. ציון Z שלילי מעיד על מקבץ תחלואה נמוך יותר בהשוואה לממוצע, ציון Z חיובי מעיד על מקבץ תחלואה גבוה יותר מהממוצע בחלקה. שתי כוכביות מייצגות ערך הנבדל גיאוסטטיסטית ברמת מובהקות של ( $P < 0.01$ ). כוכבית מיצגת ערך הנבדל גיאוסטטיסטית ברמת מובהקות של ( $P < 0.05$ ).



איור מס' 9 - פיזור מחלת היבלת בחלקה 25 (כרם שלום). A - מפה של שיעור התחלואה ביבלת. B-E - ניתוח Getis ord ( $G_i^*$ ) של מחלת היבלת בארבעה רדיוסים שונים (100, 135, 150, 200 מ'). סימנים עגולים מציינים את נקודות הדגימה בחלקה שמהן נאספו התרמילים ונקבע שיעור התחלואה ביבלת. ציון Z - מחושב מסכום הפרשים בין שיעור התחלואה ביבלת ברדיוס d לבין ממוצע התחלואה ביבלת בכל החלקה ועובר סטנדרטיזציה כאשר ממוצע התחלואה בחלקה שווה 0 וסטיית תקן שווה 1. ציון Z שלילי מעיד על מקבץ תחלואה נמוך יותר בהשוואה לממוצע, ציון Z חיובי מעיד על מקבץ תחלואה גבוה יותר מהממוצע בחלקה. שתי כוכביות מיצגות ערך הנבדל גיאוסטטיסטית ברמת מובהקות של  $(P < 0.01)$ . כוכבית מיצגת ערך הנבדל גיאוסטטיסטית ברמת מובהקות של  $(P < 0.05)$ .

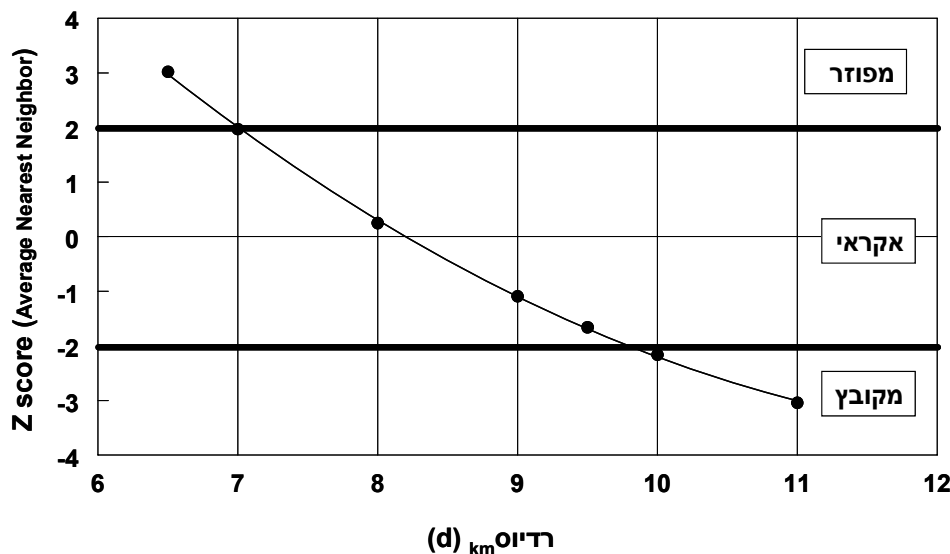
1.2 ניתוח מרחבי של פיזור המחלה ברמה האיזורית: הקשר בין המיקום הגיאוגרפי של החלקה וסוג הקרקע לתחלואה במחלת היבללת והרשת

אזור המחקר כלל חמישה תת-אזורים על פי מיקום גיאוגרפי וסוג הקרקע (חומרים ושיטות, פרק 2). שיעורי התחלואה ביבללת וברשת במשבצות ההיקש בכל החלקות שימשו לביצוע ניתוח גיאוסטטיסטי אזורי לכל מחלה, זאת על מנת לבחון:

1. פיזור מרחבי של שיעורי התחלואה בין תת-האזורים השונים

2. פיזור מרחבי של שיעורי התחלואה בין חלקות שונות באותו תת-אזור

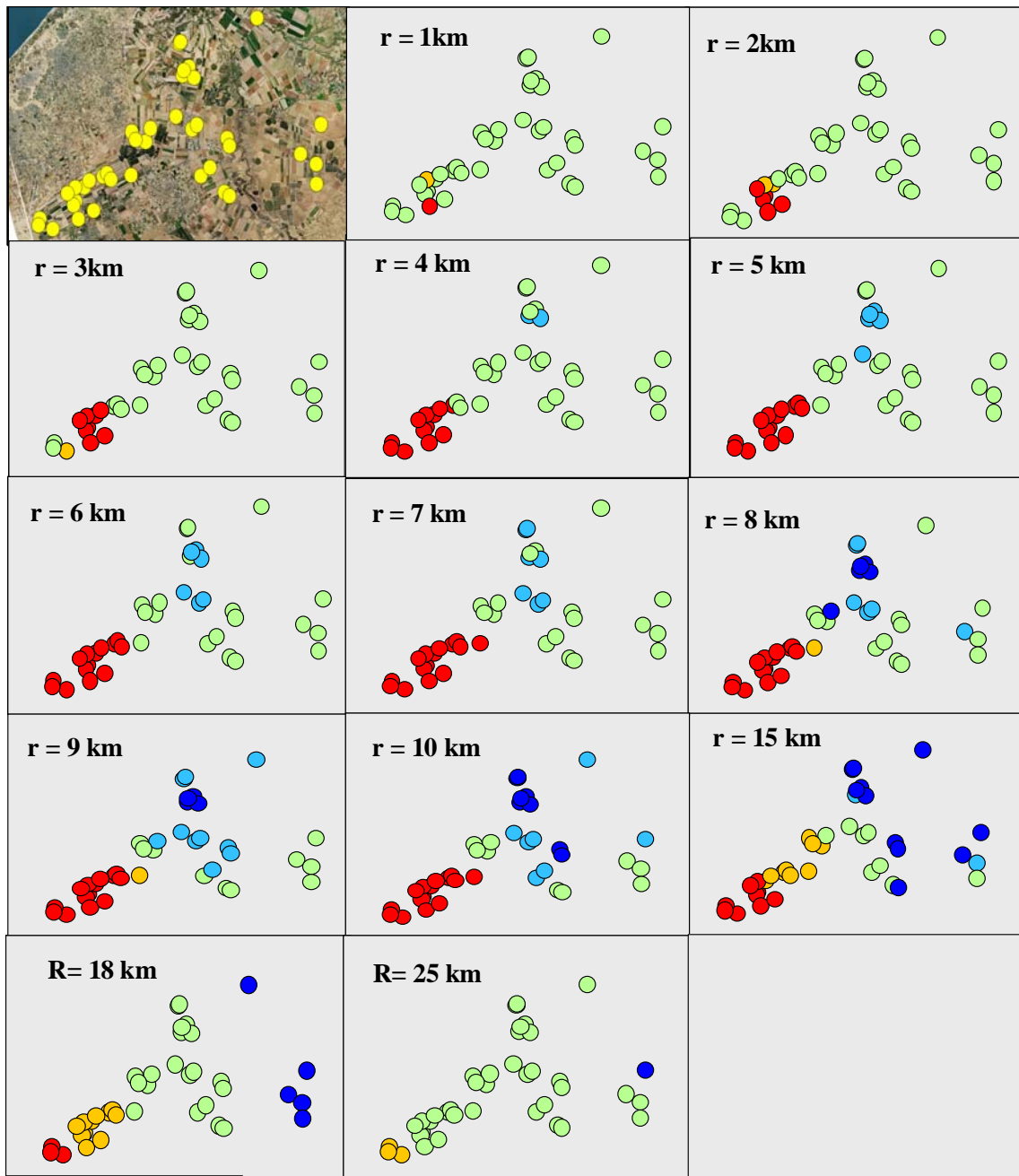
בדומה לניתוח ברמת החלקה הבודדת בוצע ניתוח Average nearest neighbor הבוחן האם אופן הדיגום של נקודות הדגימה הנו במבנה מקובץ, מפוזר או אקראי (שיטות וחומרים- פרק 7). בכדי למנוע הטיה בתוצאות ניתוח Getis-ord, בשל הפיזור המרחבי של נקודות הדגימה, על החלקות להיות בדגם מפוזר או אקראי. לכן בוצע הניתוח ברדיוסים הולכים וגדלים מ- 5 ק"מ עד לכיסוי כל אזור המחקר ברדיוס של 25 ק"מ. איור 9 מציג את ההשתנות של ערך z-score כפונקציה של גודל הרדיוס. באופן כללי Z-score חיובי שמעל 1.96 מעיד על דפוס דיגום מפוזר ( $P < 0.05$ ), ומתחת ל-1.96 על דפוס דיגום מקובץ ( $P > 0.05$ ) ואילו ערכי הביניים סביב ה-0 מעידים על פיזור אקראי. נמצא שפיזור החלקות בטווחים הקטנים מ-9.8 ק"מ, הנו אקראי וככל שהרדיוס קטן הפיזור משתנה למפוזר (איור מס' 10) ואילו ברדיוס הגבוהה מ-9.8 ק"מ פיזור החלקות הנו מקובץ ולכן בכלל שטח המחקר (רדיוס=25 ק"מ) אופן הדיגום של החלקות הנו מקובץ.



איור מס' 10 – ניתוח אופן פיזור החלקות שנדגמו בתאי שטח שונים, בכלל אזור המחקר. האיור מציג את השתנות ערכי Z-score מניתוח Average Nearest Neighbor כפונקציה של רדיוס (d) בשטח מעגל. ציוני Z הגבוהים מ-1.96, שבין 1.96 – (-1.96) או נמוכים מ-(-1.96) מציגים תא שטח שרדיוסו d בו אופן פיזור נקודות הדגימה מפוזר, אקראי או מקובץ בהתאמה ( $P < 0.05$ ).

במקביל לביצוע ניתוח פיזור הדגימות ברדיוסים משתנים בוצע גם ניתוח Getis-Ord לזיהוי מקבצי תחלואה של מחלת היבללת ברדיוסים משתנים. השוואה בין השניים תאפשר מחד להמחיש את ההשפעה של פיזור החלקות על מציאת מקבצי התחלואה ומאידך למציאת הרדיוס המיטבי לזיהוי מקבצי תחלואה המייצגים את המציאות נאמנה. בניתוח גיאוסטטיסטי לזיהוי

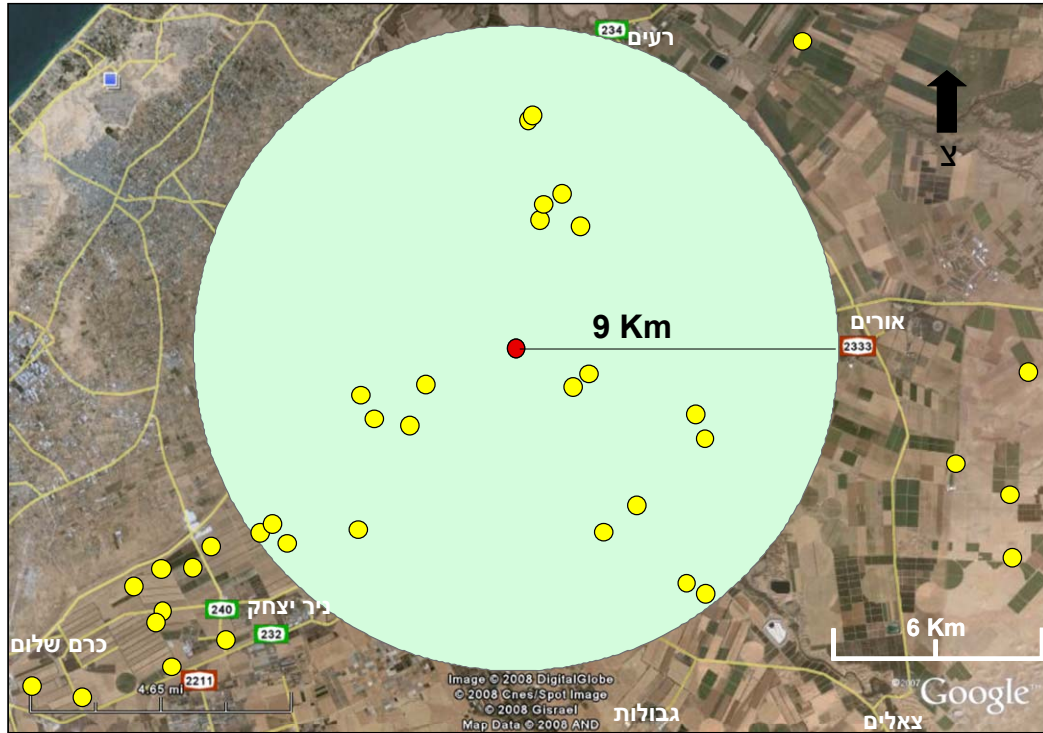
מקבצי תחלואה של היבלת, ברדיוסים של 1 ק"מ (מקביל לחלקה בודדת) עד 25 ק"מ (מקביל לכלל אזור המחקר), נמצא כי בטווח הרדיוסים בהם פיזור הדגימות נחשב מפוזר מתגלים המיקבצים העיקריים של המחלה ברמה האזורית (איור מס' 11).



| <b>Gi*</b>        |      |
|-------------------|------|
| <b>Z-score</b>    |      |
| (-5.88) - (-2.58) | ● ** |
| (-2.57) - (-1.96) | ● *  |
| (-1.95) - 1.96    | ●    |
| 1.97 - 2.58       | ● *  |
| 2.59 - 10.00      | ● ** |

איור מס' 11 – ניתוח Getis-Ord ( $G_i^*$ ) של מחלת היבלת ב-14 רדיוסים שונים.  
 ציון Z – מחושב מסכום ההפרשים שבין שיעור התחלואה ביבלת ברדיוס d לבין ממוצע התחלואה הכללי ביבלת ועובר סטנדרטיזציה כאשר ממוצע התחלואה הכללי שווה 0 וסטטיית תקן שווה 1. ציון Z שלילי מיצג מקבץ תחלואה הנמוך מהממוצע, ציון Z חיובי מיצג מקבץ תחלואה שגבוה מהממוצע. שתי כוכביות מיצגות ערך שנבדל ברמת מובהקות ( $P < 0.01$ ). כוכבית מיצגת ערך שנבדל ברמת מובהקות של ( $P < 0.05$ ). הסימנים העגולים מציינים את מיקום החלקות באזור המחקר ואת ציון ה-Z שקיבלה אותה חלקה בניתוח הגיאוסטטיסטי.

בטווח רדיוסים של 1-3 ק"מ ניתן לזהות את המיקבץ הגבוה של המחלה בחלק המזרחי של אזור המחקר. מרדיוס של 4 ק"מ ועד ל-7 ק"מ מתגלה גם המיקבץ הנמוך של המחלה בחלקות הצפוני של אזור המחקר. מעל לרדיוס של 7 ק"מ ועד ל-10 ק"מ (פיזור אקראי) התוצאות לא משתנות באופן משמעותי אך נראה כי כבר ישנה השפעה של אופן פיזור על התוצאות. לשם המחשה של המרחקים הללו ביחס לדגימות מוצג איור 12 המציג את גודל שטח המעגל ברדיוס של 9 ק"מ מנקודת דיגום אחת, המייצגת חלקה בודדת, ואת כלל החלקות הכלולות בו.



איור מס' 12 – כלל החלקות באזור המחקר והחלקות הכלולות בשטח מעגל בעל רדיוס של 9 ק"מ מחלקה בודדת בניתוח Getis Ord. סימנים עגולים מיצגים את מיקום החלקות.

### 1.2.1 תפוצת מחלת היבללת

פיזור מרחבי של שיעורי התחלואה בין תת-האזורים השונים: שיעור התחלואה הממוצע במחלת היבללת בכל אזור המחקר היה 25%. על פי הניתוח הגיאוסטטיסטי (רדיוס של 9 ק"מ) התקבלו שני מקבצים עיקריים של תחלואה ביבללת באזור המחקר (איור מס' 13B). תת-איזור מס' 1 (הדרומי ביותר) מיצג מקבץ של שיעור תחלואה גבוה באופן מובהק (ממוצע תחלואה 41%). לעומתו, בצפון אזור המחקר ישנו מקבץ, הכולל את תת-איזור מס' 4 ואת החלקות הצפוניות של אזור מס' 2 ו-3, בו שיעור התחלואה ביבללת נמוך באופן מובהק (ממוצע תחלואה 9%). בחלקות הדרומיות בתת-איזור מס' 2 ו-3 לא נמצאו מקבצים בעלי תחלואה הנבדלת גיאוסטטיסטית. תת-איזור מס' 5, לא נבדל גיאוסטטיסטית מהממוצע הכללי של התחלואה. שיעור התחלואה באזור זה היה נמוך מאוד (2%) ועל כן גם מצביעה באופן בולט מפת התחלואה (איור מס' 13A). הניגוד הזה בין רמת תחלואה נמוכה ובין חוסר מובהקות יכול לנבוע ממספר החלקות הקטן שנדגם בתת-האזור ומהיריחוק הגיאוגרפי משאר החלקות. בתנאים אלו, לא ניתן היה לקבל תוצאות מובהקות בניתוח הגיאוסטטיסטי.

פיזור מרחבי של שיעורי התחלואה בין חלקות שונות באותו תת-אזור: על פי ניתוח האיכותי של מפת התחלואה ביבלת (איור מס' 13A), בתת-אזור מס' 1, נרשם שיעור תחלואה גבוה בעיקר במרכז האזור, כאשר בחלק הדרומי והצפוני של האזור שיעור התחלואה קטן יותר. בתת-אזור מס' 4 ברוב החלקות שיעור התחלואה הנו פחות מ-10% מלבד 2 חלקות בהן שיעור התחלואה הוא 30%. בתת-אזור מס' 2, ניתן לראות במפת התחלואה שבפועל ישנה חלקה בודדת בה שיעור התחלואה היה גבוה ביותר כאשר בשאר החלקות שיעור התחלואה היה נמוך מ-30%. בתת-אזור מס' 3 לא נראית תחלואה אחידה במפת התחלואה ושיעור התחלואה בחלקות שונה אחת מהשנייה. גם בתת-אזור זה ישנה חלקה בודדת בה התחלואה גבוהה בעוד שבשאר החלקות שיעור התחלואה קטן יותר. לא נמצא הבדל בתחלואה בין החלקות באזור מס' 5, מלבד חלקה בודדת המצויה דרומית לאזור ולא נכללה בו בשל היותה יוצאת דופן. לא ביצענו ניתוח גיאוסטטיסטי נפרד לכל תת-אזור, בשל מספר החלקות הנמוך בכל אחד מהם.

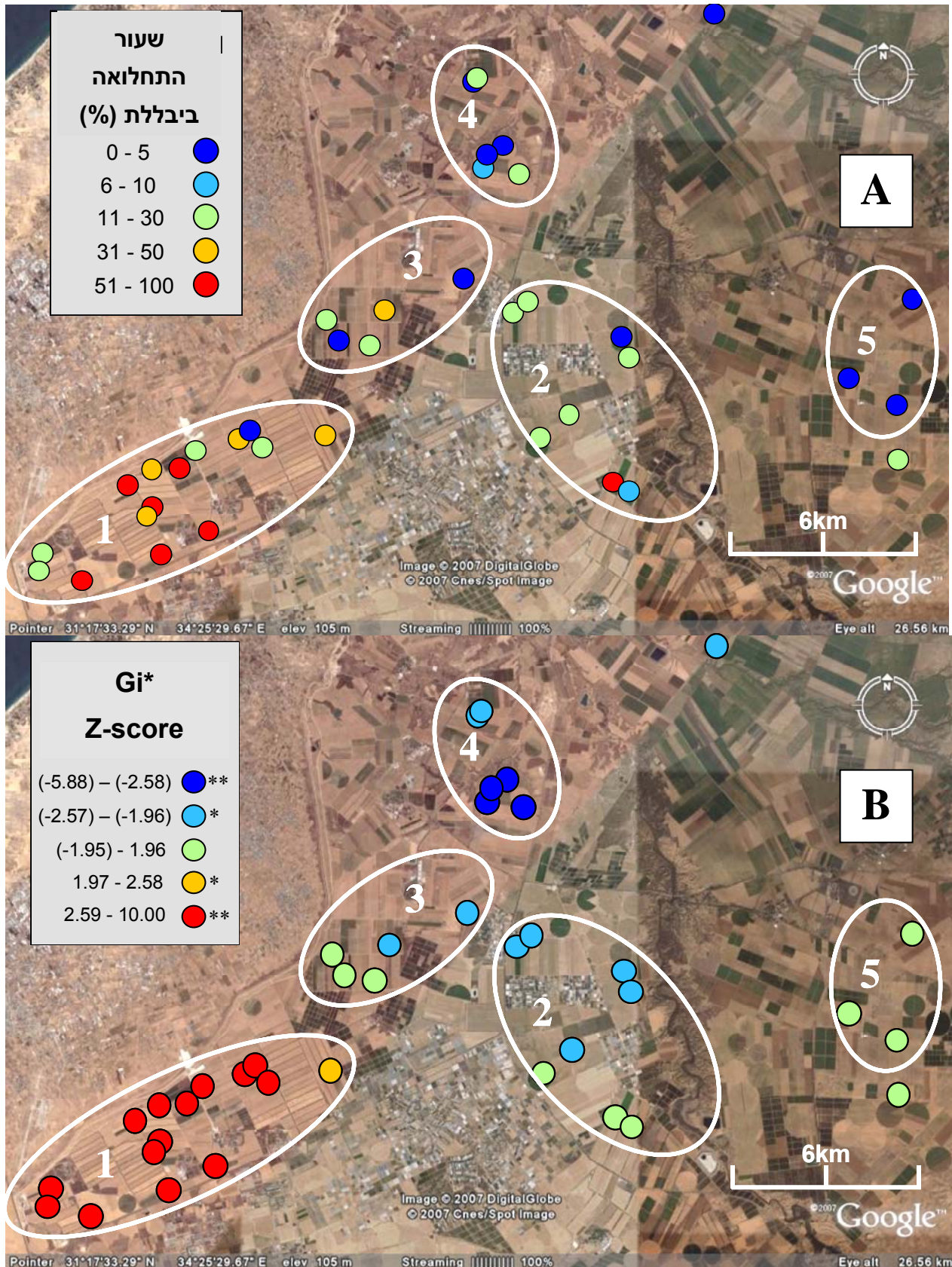
#### 1.2.2 תפוצת מחלת הרשת

פיזור מרחבי של שיעורי התחלואה בין תת-האזורים השונים: שיעור התחלואה במחלת הרשת בכל אזור המחקר היה 9% בלבד. על פי הניתוח הגיאוסטטיסטי של המחלה (רדיוס של 9 ק"מ) נמצאו שני מקבצים עיקריים (איור מס' 14B). המקבץ הראשון בו שיעור התחלואה נמוך באופן מובהק הוא בתת-אזור מס' 1. לעומת זאת, במקבץ השני בתת-אזור מס' 4 שיעור התחלואה גבוה באופן מובהק בהשוואה לממוצע הכללי. תת-אזורים 2, 3 ו-5 לא נבדלו גיאוסטטיסטית מהממוצע הכללי (איור מס' 14B).

שיעור התחלואה בתת-אזור מס' 5 לא נבדל גיאוסטטיסטית מהממוצע הכללי למרות שקיים בו מקבץ חלקות בו שיעור התחלואה גבוה מהממוצע (14%). על כך גם מצביעה באופן בולט מפת התחלואה בניתוח האיכותי (איור מס' 14A). הסיבה לכך היא, ככל הנראה, מספר החלקות הקטן הקיים בתת האזור.

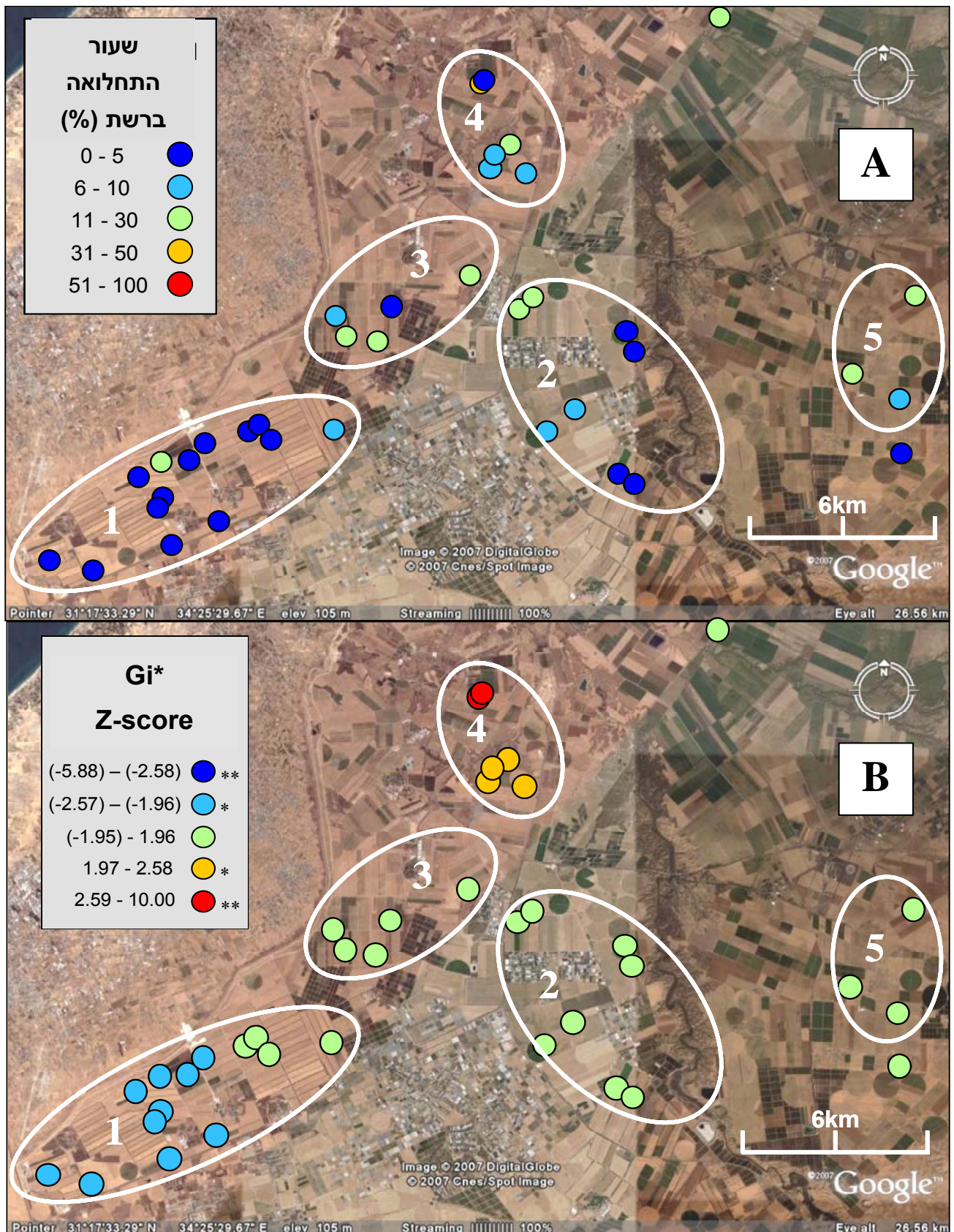
פיזור מרחבי של שיעורי התחלואה בין חלקות שונות באותו תת-אזור: בניתוח איכותי של תת-אזור מס' 1 התחלואה נמוכה בכל האזור מלבד חלקה בודדת כרם 51 המצויה בחלק הדרומי של האזור ולא מוצגת (איור מס' 14A). יש לציין שהניתוח הגיאוסטטיסטי בוצע ללא חלקת כרם 51 בשל התחלואה הגבוהה שנמצאה בחלקה זו (51%) שאינה מאפיינת את האזור ויוצאת דופן לכל אזור המחקר. באזור מס' 2 התחלואה נמוכה ברוב החלקות. החלקות של קיבוץ מגן נמצאו כמאופיינות בתחלואה גבוהה (19% – 27%) כאשר שתי חלקות נמצאות באזור מס' 2 (החלקות הצפוניות) וחלקה בודדת באזור מס' 3 (חלקה צפונית). באזור מס' 3, מלבד החלקה הצפונית שהוזכרה לעיל, כל החלקות בעלי שיעור תחלואה נמוך (7% - 11%). באזור מס' 4 ישנה חלקה בודדת בה שיעור התחלואה הוא רב ועוד חלקות נוספות בהן שיעור התחלואה גבוה או דומה ביחס לשיעור התחלואה הכללי (9%). בתת-אזור זה נמצאה חלקה בודדת בו שיעור התחלואה נמוך (>5%). בתת-אזור מס' 5 שיעור התחלואה ברשת היה דומה בשלושת החלקות. בחלקה בודדת שאינה נכללה בתת-אזור זה (מצויה דרומית לאזור), בשל הבדלים במרקם הקרקע, שיעור התחלואה היה נמוך.





איור מס' 13 – תפוצת מחלת היבללת בתת האזורים. A – מפת תחלואה ביבללת של כלל החלקות באזור המחקר. B – ניתוח Getis-Ord ( $G_i^*$ ) של מחלת היבללת ברדיוס של 9 ק"מ. ציון Z – מחושב מסכום הפרשים שבין שיעור התחלואה ביבללת ברדיוס 9 ק"מ לבין ממוצע התחלואה הכללי ועובר סטנדרטיזציה כאשר ממוצע התחלואה הכללי שווה 0 וסטיית תקן שווה 1. ציון Z שלילי מיצג מקבץ תחלואה הנמוך מהממוצע, ציון Z חיובי מיצג מקבץ תחלואה שגבוה מהממוצע. שתי כוכביות מיצגות ערך שנבדל ברמת מובהקות ( $P < 0.01$ ). כוכבית מיצגת ערך שנבדל ברמת מובהקות של ( $P < 0.05$ ). הסימנים העגולים מציינים את מיקום החלקות באזור המחקר ואת התחלואה ביבללת במשבצות ההיקש באותה חלקה (A) או ציון Z-ה שקיבלה אותה חלקה בניתוח הגיאוסטטיסטי (B).





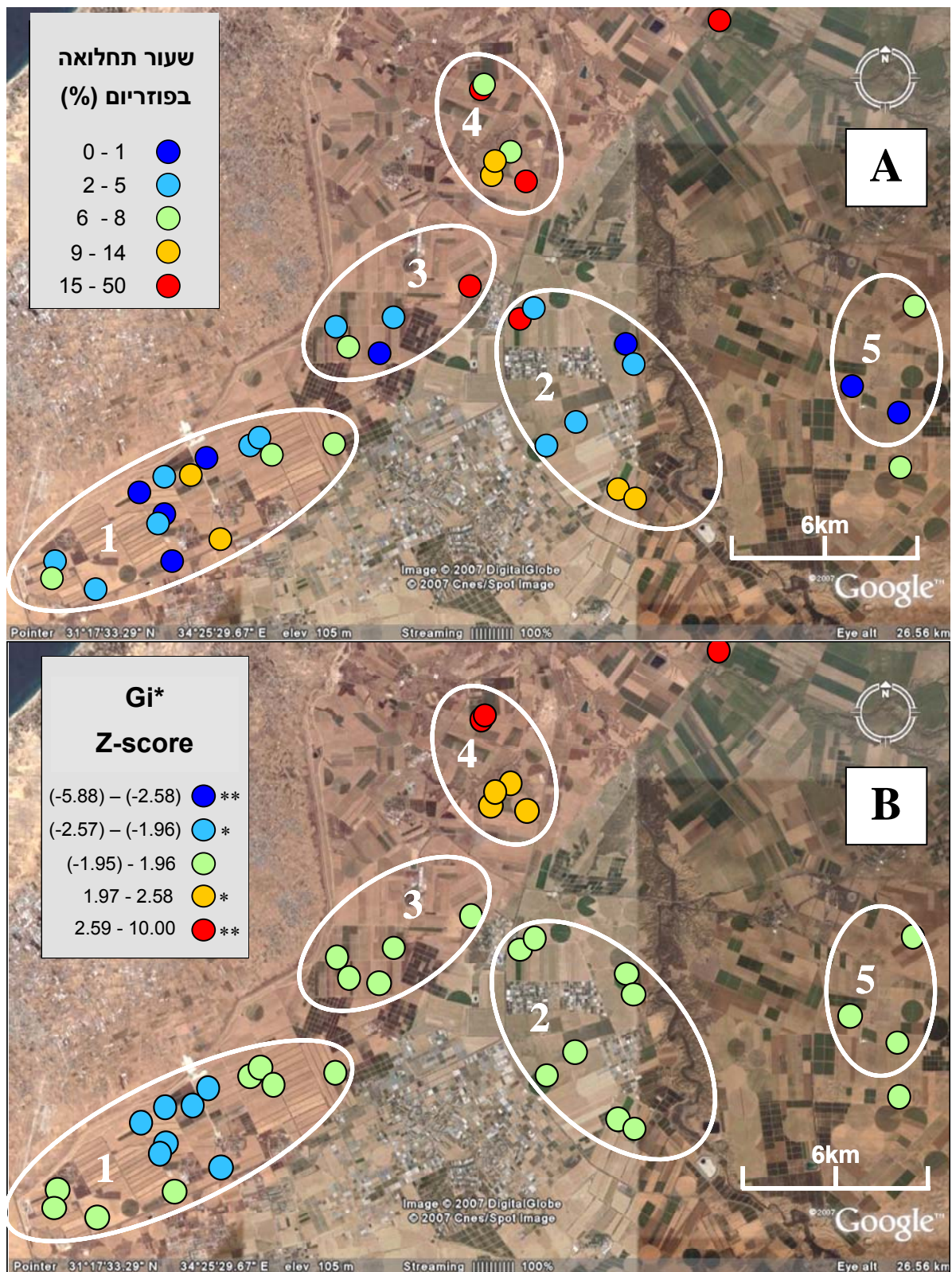
איור מס' 14 – תפוצת מחלת הרשת בתת האזורים. A – מפת תחלואה ברשת של כלל החלקות באזור המחקר. B – ניתוח Getis-Ord ( $G_i^*$ ) של מחלת הרשת ברדיוס של 9 ק"מ. ציון Z – מחושב מסכום הפרשים שבין שיעור התחלואה ברשת ברדיוס 9 ק"מ לבין ממוצע התחלואה הכללי ברשת ועובר סטנדרטיזציה כאשר ממוצע התחלואה הכללי שווה 0 וסטיית תקן שווה 1. ציון Z שלילי מיצג מקבץ תחלואה הנמוך מהממוצע, ציון Z חיובי מיצג מקבץ תחלואה שגבוה מהממוצע. שתי כוכביות מיצגות ערך שנבדל ברמת מובהקות ( $P < 0.01$ ). כוכבית מיצגת ערך שנבדל ברמת מובהקות של ( $P < 0.05$ ). הסימנים העגולים מציינים את מיקום החלקות באזור המחקר ואת התחלואה ברשת במשבצות ההיקש באותה חלקה (A) או ציון ה-Z שקיבלה אותה חלקה בניתוח הגיאוסטטיסטי (B).

### 1.3 פיזור מחלת הפוזריום ופיתיוס בחבל מעון באגא"ד

מחלות נוספות בעלות חשיבות באגא"ד הן פוזריום ופיתיוס. שתי המחלות גורמות לפגיעה בתרמילים ותכולתם. בנוסף למחלת היבללת והרשת נבדקה גם התחלואה בפוזריום ופיתיוס במשבצות ההיקש. בכדי לאפיין את פיזור המחלה בשתי המחלות, בוצע ניתוח מרחבי של התחלואה בכל אזור המחקר. הנתונים הוצבו על מפות תחלואה ובוצע ניתוח איכותי וגיאוסטטיסטי (Getis-Ord) של כל מחלה. שיעור התחלואה הממוצע במחלת הפוזריום בכל אזור המחקר היה 8.3% כאשר התחלואה המירבית הייתה 50%.

בניתוח הגיאוסטטיסטי (רדיוס 9 ק"מ) נמצא שישנם שני מקבצים עיקריים בהם שיעור התחלואה בפוזריום בתרמילים נבדל משיעור התחלואה הממוצע הכללי (איור מס' 15B). שיעור תחלואה גבוה בפוזריום נמצא בתת-אזור מס' 4, לעומת שיעור תחלואה נמוך שנמצא במקבץ חלקות בתת-אזור מס' 1 (איור מס' 15B). הממצאים בניתוח הגיאוסטטיסטי אכן נראים גם בניתוח איכותי של פיזור מחלת הפוזריום (איור מס' 15A). שיעור התחלואה בפיתיוס בתרמילים היה נמוך ברוב אזור המחקר (תוצאות לא מוצגות) ורק בתת-אזור מס' 5 שהנו אזור המאופיין בתחלואה בפיתיוס היה שיעור התחלואה גבוה יותר. מכיוון שתת-אזור מס' 5 מרוחק גיאוגרפית משאר תתי-האזורים, כך שאינו מאפשר ניתוח מהימן של התחלואה בתת אזור זה, לא הצגנו את הניתוח הגיאוסטטיסטי של המחלה.



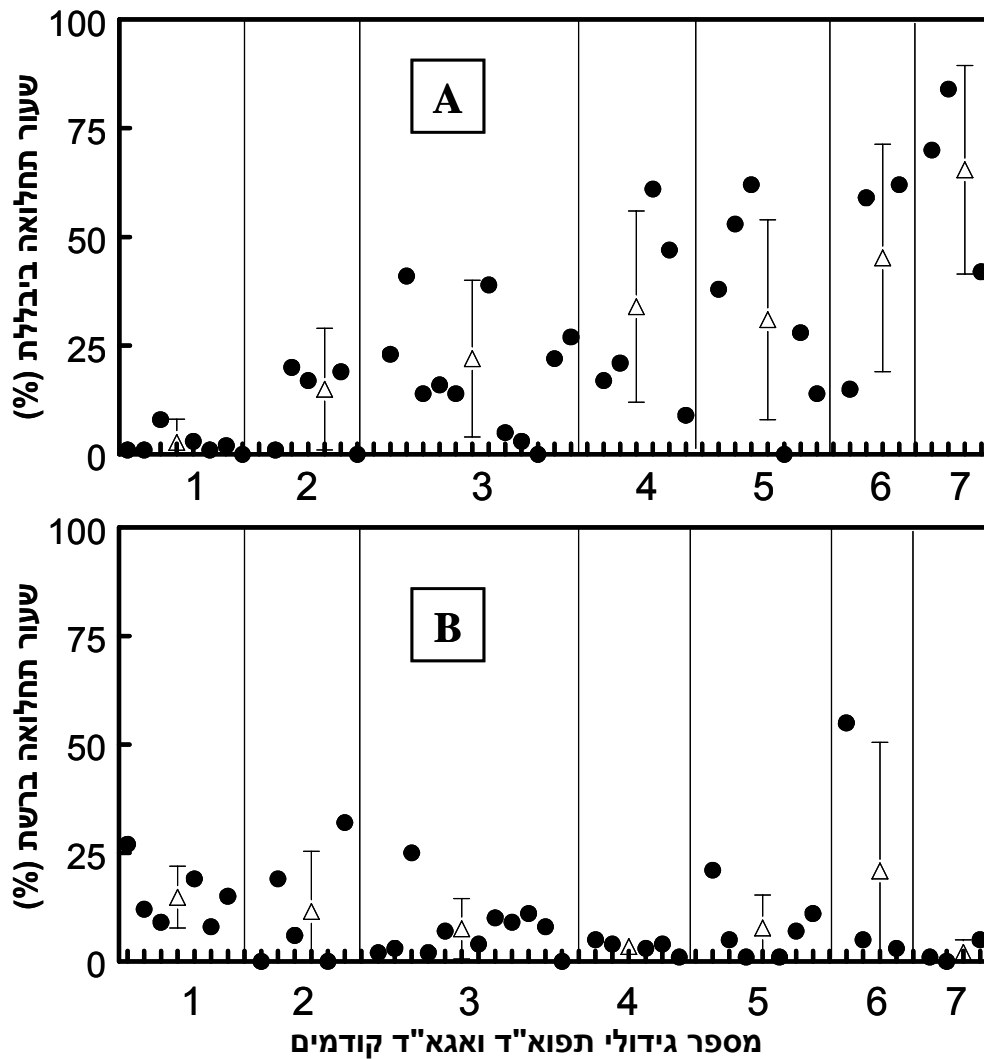


איור מס' 15 – תפוצת מחלת הפוזריום בתתי האזורים השונים. A – מפת פיזור התחלואה של פוזריום. B – ניתוח אזורי Getis-Ord ( $G_i^*$ ) של מחלת הפוזריום ברדיוס של 9 ק"מ. ציון Z – מחושב מסכום הפרשים שבין שיעור התחלואה בפוזריום ברדיוס 9 ק"מ לבין ממוצע התחלואה הכללי בפוזריום ועובר סטנדרטיזציה כאשר ממוצע התחלואה הכללי שווה 0 וסטיית תקן שווה 1. ציון Z שלילי מיצג מקבץ תחלואה הנמוך מהממוצע, ציון Z חיובי מיצג מקבץ תחלואה שגבוה מהממוצע. שתי כוכביות מיצגות ערך שנבדל ברמת מובהקות של ( $P < 0.05$ ). הסימנים העגולים מציינים את מיקום החלקות באזור המחקר ואת התחלואה בפוזריום במשבצות ההיקש באותה חלקה (A) או ציון Z-ה שקיבלה אותה חלקה בניתוח הגיאוסטטיסטי (B).

## 2. מאפיינים אגרוטכניים והשפעתם על תחלואת תרמילי אגא"ד

אילוח קרקעות במחוללי מחלות מתעצם במשך השנים. גורם חשוב בהתעצמות האילוח הוא גידולים הרגישים למחלה אשר מגודלים לאורך שנים בחלקה. מטרת הניתוח הנוכחי הייתה לבחון את הקשר בין התחלואה בתרמילים למס' גידולים קודמים של תפוא"ד ואגא"ד שהם פונדקאים למחוללי המחלה.

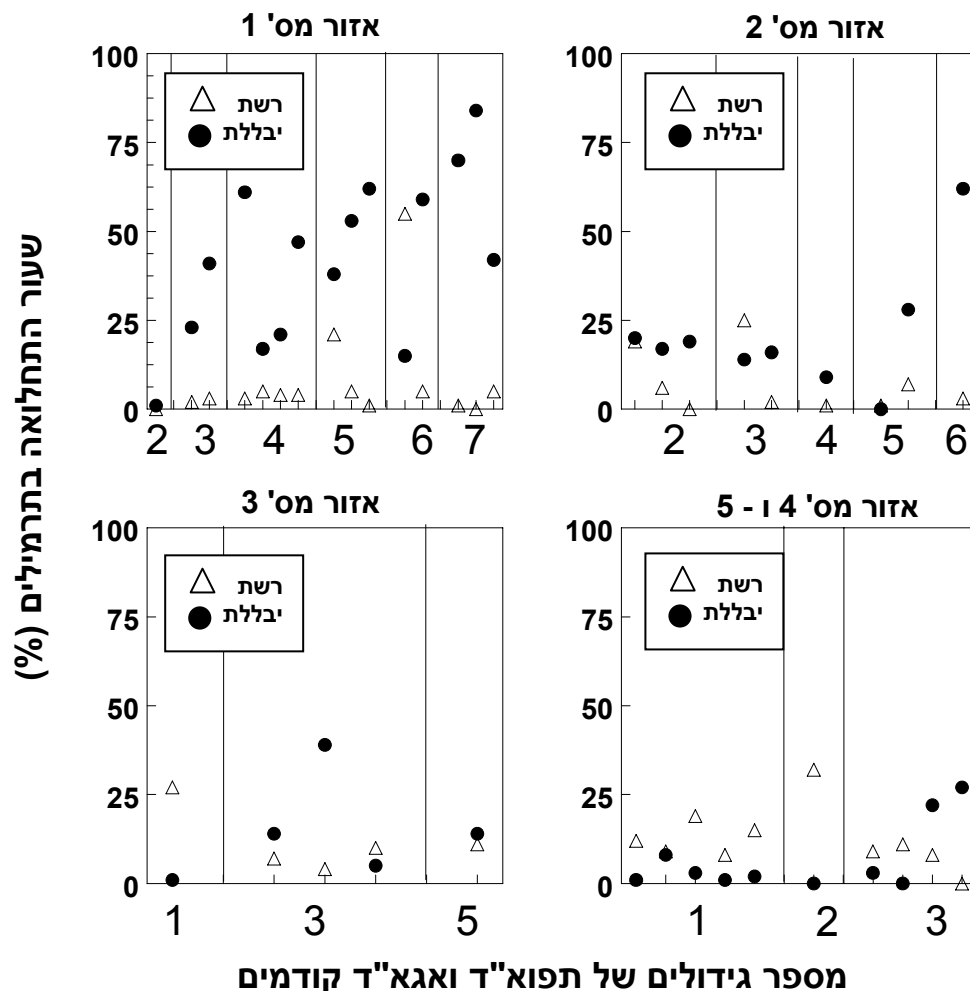
2.1 תחלואה במחלת היבללת ורשת כתלות במספר הגידולים הקודמים של תפוא"ד ואגא"ד הניתוח בוצע במשבצות ההיקש שלא חוטאו בכל שדה. נמצא כי שיעור התחלואה ביבללת רב יותר בחלקות שבהן גודלו פונדקאים רגישים (איור מס' 16A). מאידך, לא נראתה השפעה של מספר הגידולים הרגישים הקודמים על התחלואה במחלת הרשת (איור מס' 16B). שיעור התחלואה ביבללת היה גבוה באופן מובהק ( $P < 0.05$ ) לאחר שבעה גידולים רגישים משיעור התחלואה במחזור יחיד. במרבית החלקות בהן נרשם שיעור תחלואה גבוה (מעל 50% תחלואה) גידלו לפני כן 5 גידולים קודמים של תפוא"ד או אגא"ד. מאידך, היו מספר חלקות שבהן התחלואה הייתה נמוכה למרות מספר רב של גידולים רגישים.



איור מס' 16 – השפעת מספר גידולים קודמים של תפוא"ד ואגא"ד על אחוז התחלואה ביבללת (A) ורשת (B) בגידול הנוכחי. (△) – מציין את הממוצע וסטיית התקן לכלל החלקות באותו מחזור גידול. (●) – מציין את ממוצע אחוז התחלואה במחלה במשבצות ההיקש בחלקה בודדת.

## 2.2 תחלואה ביבללת כתלות במספר הגידולים הרגישים בעבר והאזור הגיאוגרפי

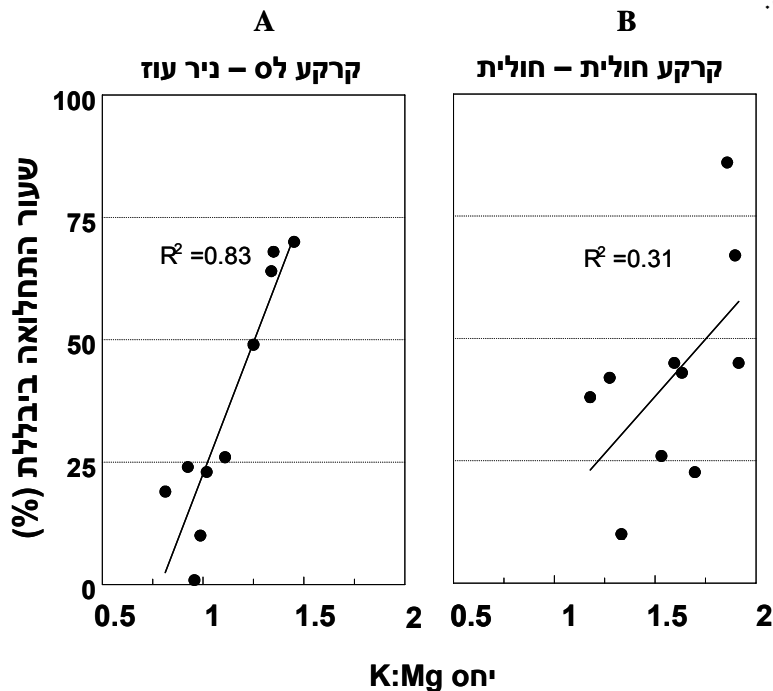
ניסינו לנתח את השפעת הגידולים הקודמים, בהתחשב באזורים השונים ששימשו אותנו לניתוח התחלואה, בכדי לבחון האם מספר הגידולים הקודמים משפיע באופן שונה על התחלואה באזורים שונים (איור מס' 17). ניתוח זה מצביע כי הקשר בין התחלואה למס' הגידולים הרגישים במחלת היבללת אינו דומה בכל האזורים. באזור מס' 1 נמצא קשר ישר בין שיעור התחלואה ביבללת למספר הגידולים הקודמים. בתת-אזור זה שיעור התחלואה לאחר שלושה גידולים קודמים של צמחים רגישים הוא רב ביותר. לעומת זאת באזורים האחרים התעצמות התחלואה היא מתונה יותר. לדוגמא, בתת-אזור מס' 2 רק לאחר 6 גידולים רגישים למחלה שיעור התחלואה ביבללת גבוה מאוד. תחלואת תרמילי אגא"ד במחלת הרשת אינה קשורה למספר קודם של גידולי אגא"ד ותפא"ד (איור מס' 17). מחזורי הגידול הקודם אינם משפיעים על התעצמות מחלה זו. ממצאים אלה מרמזים כי גורמי המחלה הללו שונים. הסיבה האפשרית לאי התעצמות מחלת הרשת היא כי הפתוגן הגורם למחלת הרשת אינו תוקף תפוא"ד. לכן, גידול תפוא"ד לא יכול להירשם כגידול רגיש לפתוגן זה.



איור מס' 17 – השפעת מספר גידולים הרגישים על התחלואה ביבללת ורשת בכל אזור בנפרד.  
 (●) – מיצג את שיעור התחלואה הממוצעת בהיקש ביבללת בחלקה. (Δ) – מיצג את שיעור התחלואה הממוצעת בהיקש ברשת בחלקה. כל גריד בציר ה-X מהווה חלקה בודדת. אזור המחקר מחולק בהתאם לחלוקה בסעיף 2 בשיטות וחומרים.

### 2.3 השפעת מינרלים על התחלואה ביבללת בקרקעות שונות

קיימים מנגנונים רבים להתעצמות או דיכוי מחלות. Lazarovitz וחבריו (2006) מצאו כי תחלואת פקעות תפוא"ד בגרב קשורה בריכוז מינרלים שונים באזור הפקעת בקרקע. בחנו האם ההבדלים בשיעור התחלואה ביבללת שבין החלקות באזורים השונים שהוגדרו, ובתוך החלקות, קשורים להרכב מינרלים באזור התפתחות התרמיל בקרקע. בקיץ 2006 נאספו תרמילים מ-5 חלקות שונות. התרמילים יחד עם הקרקע הצמודה להם נאספו ממשבצות ההיקש, 130 יום לאחר הזריעה. נאספו 10 דגימות מכל חלקה שבהן נרשם שיעור שונה של תחלואה ביבללת בתרמילים. שיעור התחלואה ועוצמתה נקבע כפי שתואר קודם. במקביל נבחן הרכב המינרלים בקרקע במעבדת שרות שדה. לא נמצא קשר בין מאפייני הקרקע לתחלואה ביבללת במרכיבים הני"ל: EC, pH, נתרן, סידן, כלור, אמוניום, זרחן וניטראט. נמצא קשר ישר ( $R^2=0.83$ ) בין היחס של אשלגן למגנזיום בקרקע (K:Mg) לשיעור התחלואה ביבללת בחלקה של ניר עוז, בה הקרקע הנה לס (איור מס' 18A). בחלקה ח' בחולית נמצא קשר לא מובהק ( $R^2=0.31$ ), כאשר סוג הקרקע חולית (איור מס' 18B). לא נמצא קשר בין כמות האשלגן או מגנזיום לבדם בקרקע (ppm) לשיעור התחלואה ביבללת. נתון בולט הוא כי יחס K:Mg גבוה יותר בקרקע החולית וכך גם שיעור המחלה היחסי. לעומת זאת, בקרקע של ניר עוז היחס K:Mg נמוך יותר וכך גם שיעור המחלה (איור מס' 18). תוצאה דומה התקבלה גם בחלקות מניר יצחק וכרם שלום שהן גם כן חוליות (תוצאות לא מוצגות).



| ניר עוז | חולית |                      |
|---------|-------|----------------------|
| 1.12    | 1.59  | <b>K:Mg</b>          |
| 35%     | 42%   | <b>תחלואה ביבללת</b> |

איור מס' 18 – השפעת היחס בין אשלגן ומגנזיום (K:Mg) על אחוז התחלואה ביבללת, בחלקה 11 בניר עוז (A) וחלקה ח' בחולית (B). הטבלה מציינת את הממוצעים של התחלואה ביבללת ויחס ה-K:Mg הממוצע בכל קרקע.

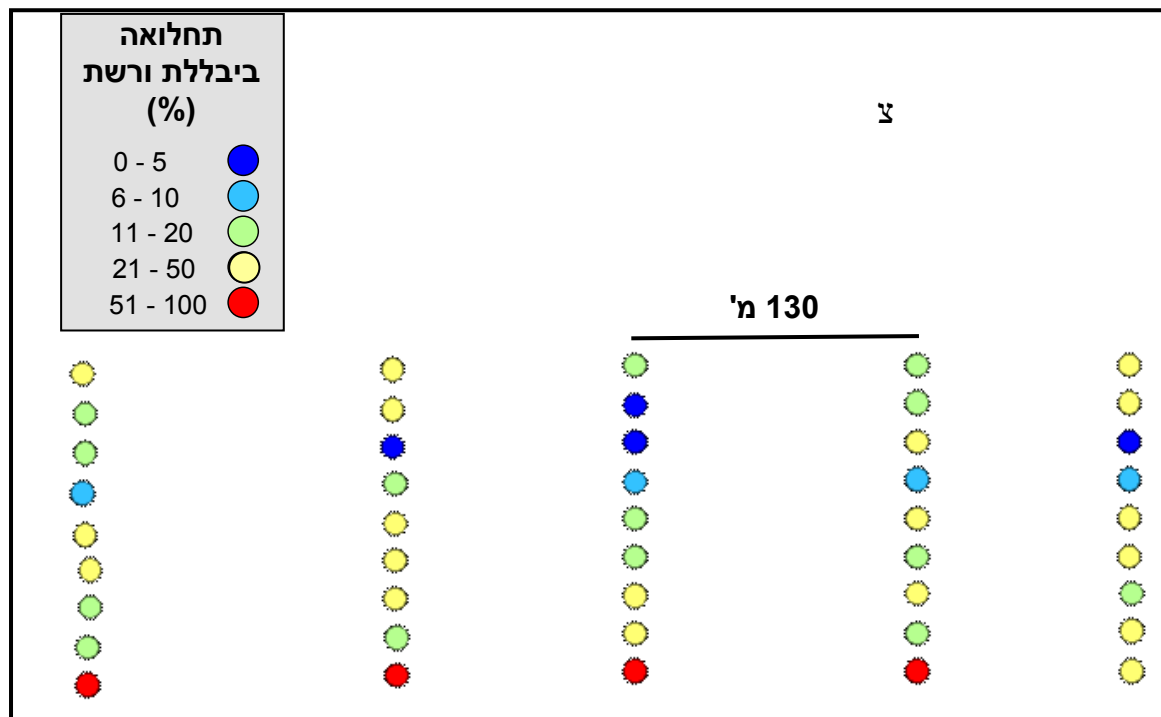
### 3. השפעת חיטוי קרקע בפורמלין על תחלואת תרמילים ביבללת ורשת

אחת המטרות בעבודה זו הייתה לבחון את הגורמים ליעילות הדברת מחלות התרמיל באמצעות חיטוי קרקע בפורמלין. לכן, בוצע המחקר בחלקות שחוטאו בתכשיר זה. במרבית החלקות הושוותה יעילות ההדברה למשבצות ההיקש באותה חלקה. בנוסף, נבחנו טיפולים שונים הקשורים בשיטת היישום והכנת הקרקע. פירוט הממצאים מובא להלן:

#### 3.1 השפעת חיטוי קרקע בפורמלין על התחלואה ביבללת ורשת: ניתוח פזור המחלה בחלקה

ביצענו ניתוח מרחבי על בסיס מפות תחלואה על מנת לבחון את פיזור המחלה ואת מידת יעילות ההדברה. הניתוח בוצע בנפרד לכל חלקה:

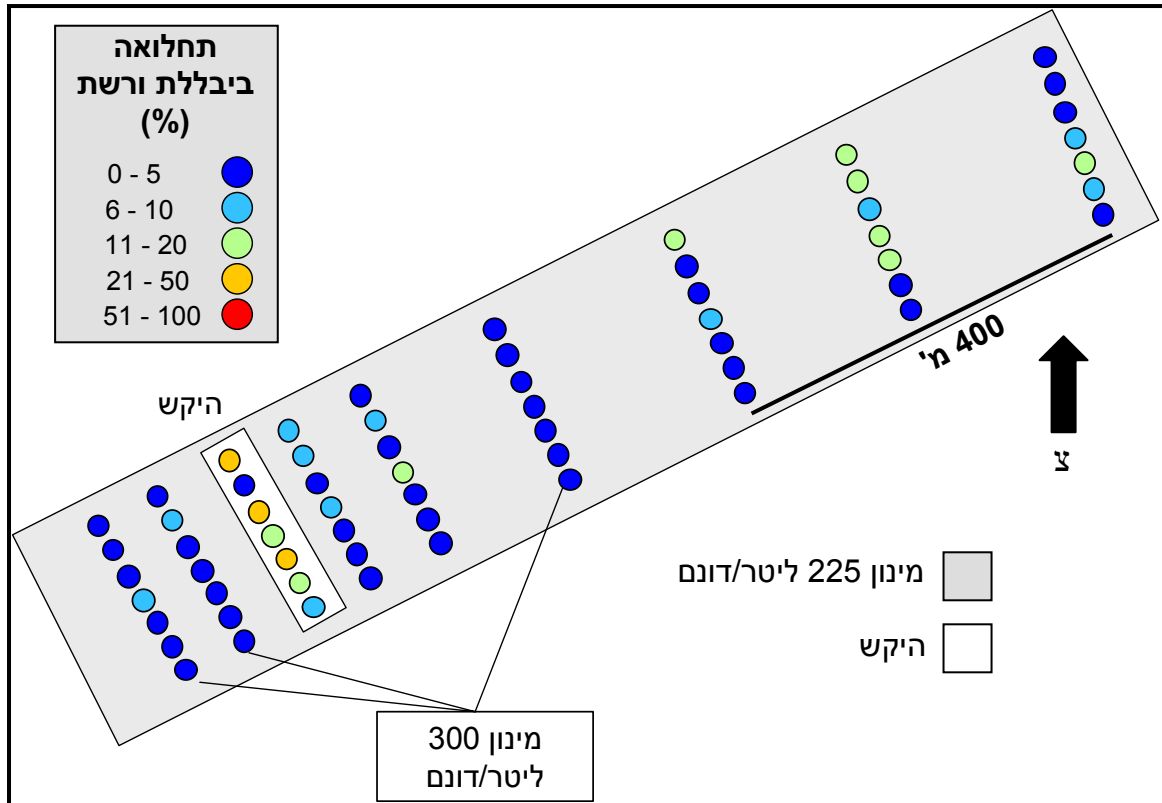
- חלקת "קרני" (גד"ש חלוצה): חיטוי הקרקע בחלקת "קרני" יצר חלוקה לשתי תת-חלקות שבהן שיעור התחלואה היה שונה. קטע דרומי בו שיעור התחלואה ביבללת נמצא בדומה להיקש, למרות ביצוע החיטוי, לעומת קטע צפוני שבו התחלואה נמוכה. ברם, כיוון שאין בקטע הצפוני משבצת היקש, לא ניתן לקבוע אם התחלואה הנמוכה נובעת מיעילות החיטוי או עוצמת אילוח בקרקע (איור מס' 5A).
- חלקה "מזרח א" (מגן-2006): יעילות החיטוי ושיעור התחלואה בהיקש היו לא אחידים על פני כל החלקה (איור מס' 19). בחלקה נמצאה תחלואה דומה ברשת וביבללת הן בהיקשים והן בחיטוי.



איור מס' 19 – חלקה "מזרח א" (מגן-2006). חיטוי בפורמלין 225 ל"ד' במטרות להדברת יבללת ורשת. בחלקה בוצע טיפול של חיטוי עם תיחוח וללא תיחוח. סימנים עגולים מציינים את נקודות הדגימה שבהן נאספו התרמילים ונקבע שיעור התחלואה ביבללת ורשת.



- חלקה ז' (סופה): יעילות החיטוי הייתה גבוהה בכל החלקה (איור מס' 20). אולם, ברצועת קרקע בקטע הצפוני של החלקה נרשם שיעור תחלואה רב יותר. הסיבה לתחלואה הגבוהה יותר ביבלת ורשת ברצועה זו יכולה לנבוע מגורמים רבים וביניהם הבדלים בעוצמת האילוח בקרקע או יעילות נמוכה יותר בחיטוי בשל חוסר אחידות בפזור החומר דרך ההשקיה.

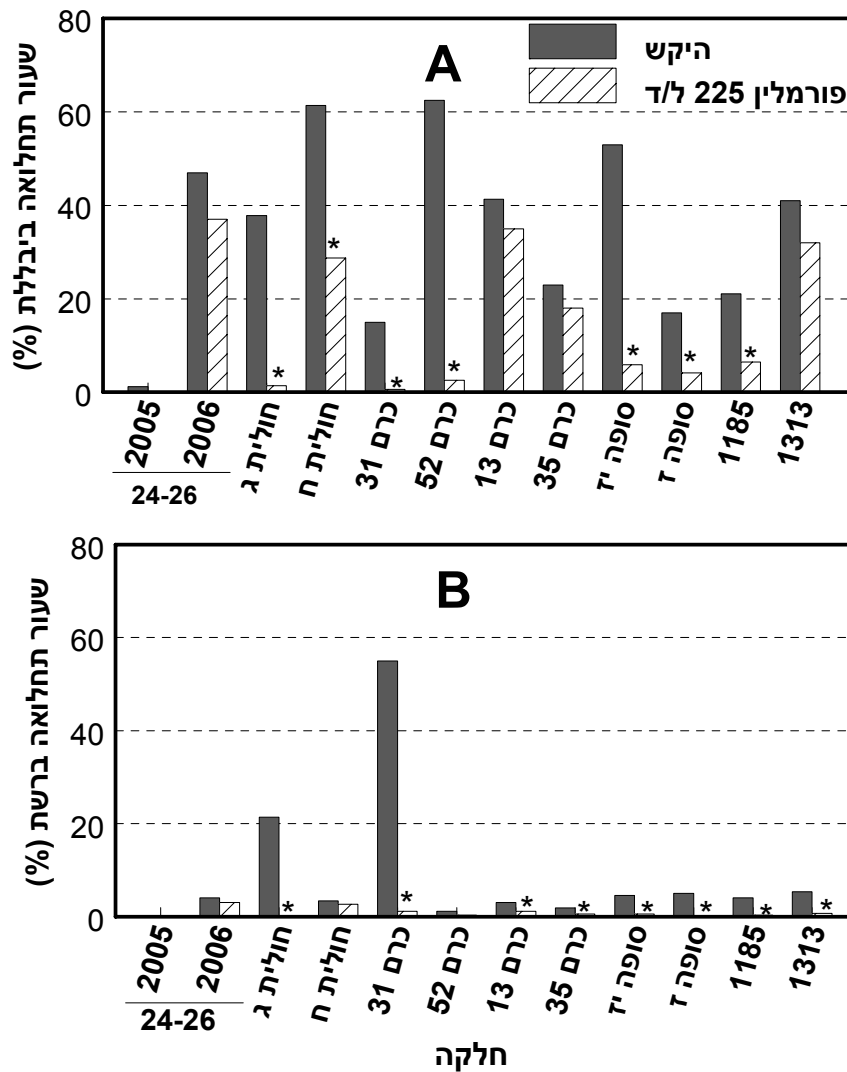


איור מס' 20 - חלקה ז (סופה). חיטוי פורמלין בקונוע חזיתי במינון של 225 ליטר/דונם ו-300 ליטר/דונם להדברת יבלת ורשת. סימנים העגולים מציינים את נקודות הדגימה שבהן נאספו התרמילים ונקבע שיעור התחלואה ביבלת ורשת.

ניתוח יעילות החיטוי בחלקות מצביע על שונות בפזור התחלואה לאחר החיטוי. בחלק מהחלקות נרשם שיעור תחלואה נמוך בכל החלקה בעקבות החיטוי, לעומת מספר חלקות שבהן נרשמה תחלואה רבה למרות החיטוי. בפרקים הבאים ניסינו לנתח את הסיבות להבדלים ביעילות החיטוי בחלקות באמצעות הסתכלות מרחבית על כלל אזור המחקר ואמצעי החיטוי הקיימים.

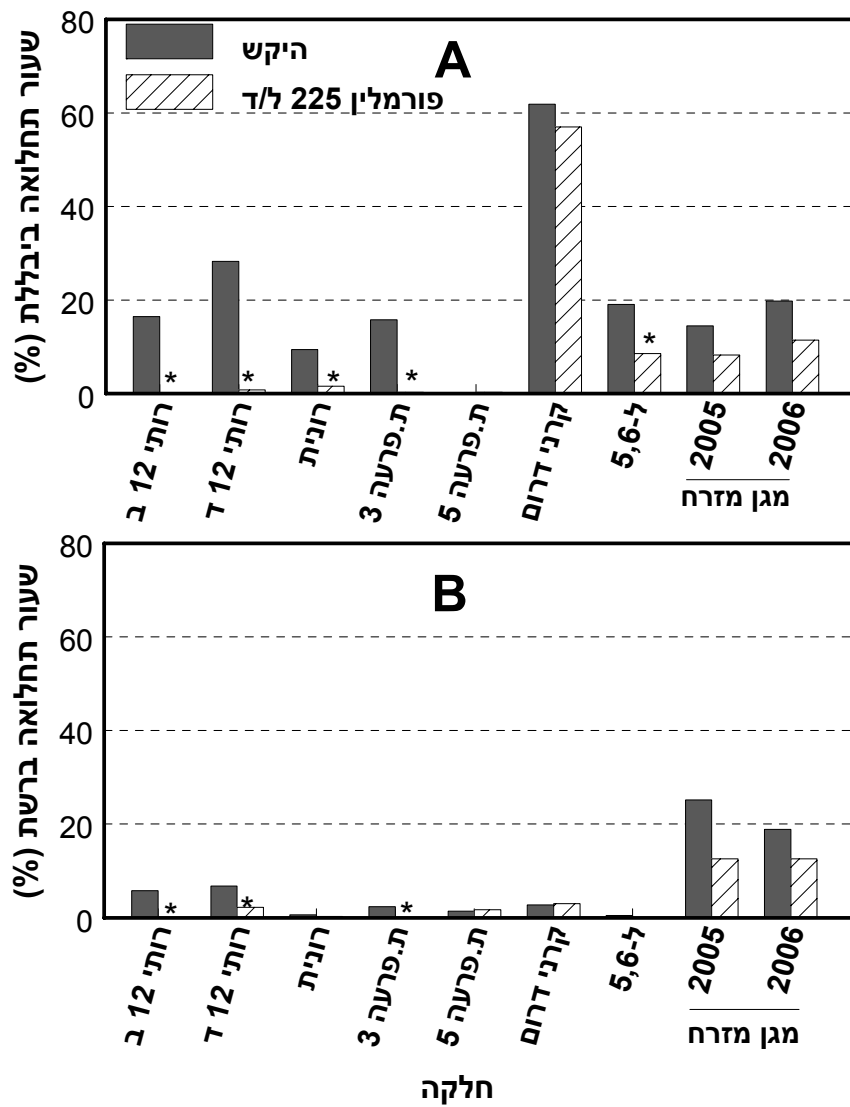
### 3.2 יעילות החיטוי באזורים הגיאוגרפים השונים

בחינת יעילות החיטוי בקרקעות שונות ובאזורים שונים מחייבת קביעת מדד אחיד. תת האזורים השונים נבדלים ביניהם בשיעור התחלואה בחלקות (איורים מס' 13 ו-14). וכן במאפייני ההיסטוריה ואחרים. על כן נקבע מדד "יעילות החיטוי" בכדי לקבוע מדד יחסי אשר ישקף את השפעת החיטוי על התחלואה. בפרק זה נבחנה יעילותו של החיטוי בפורמלין במינון 225 ליטר/דונם בהשוואה לחלקות ההיקש. הערך של ההיקש מהווה ממוצע של התחלואה במשבצות ההיקש של החלקות.



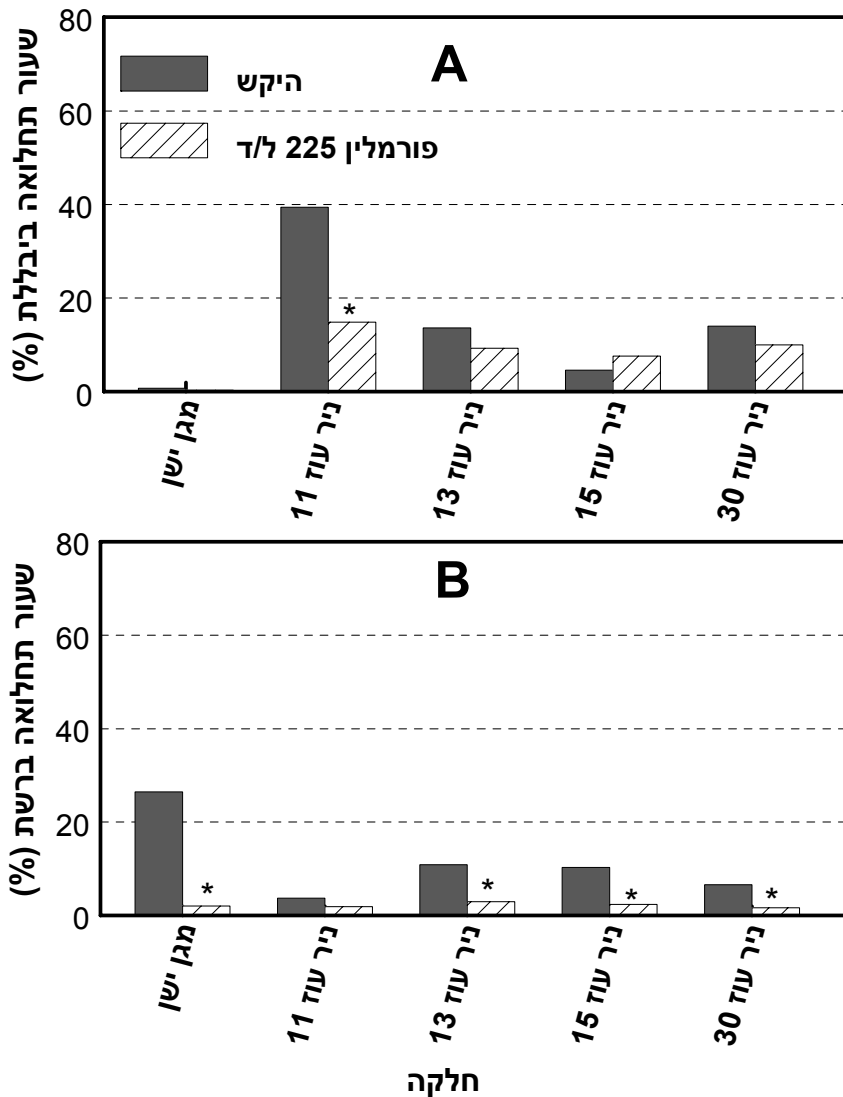
איור מס' 21 – השפעת חיטוי פורמלין במינון של 225 ליטר/דונם על התחלואה ביבללת (A) ורשת (B) בתת-אזור מס' 1. כוכבת מציינת כי הטיפול נבדל סטטיסטית מההיקש ( $P < 0.05$ ).

בתת-אזור מס' 1 חיטוי קרקע בפורמלין הפחית את שיעור התחלואה ביבללת בתרמילים באופן מובהק ב-7 מתוך 11 חלקות (איור מס' 21A). בחמש חלקות יעילות החיטוי הייתה נמוכה (>22%) ובחלקה אחת לא הייתה תחלואה ביבללת כלל. שיעור התחלואה ברשת בתת-אזור זה היה נמוך מאוד במרבית החלקות (>5%) והחיטוי בפורמלין הפחית את שיעור התחלואה בכולן (איור מס' 21B).



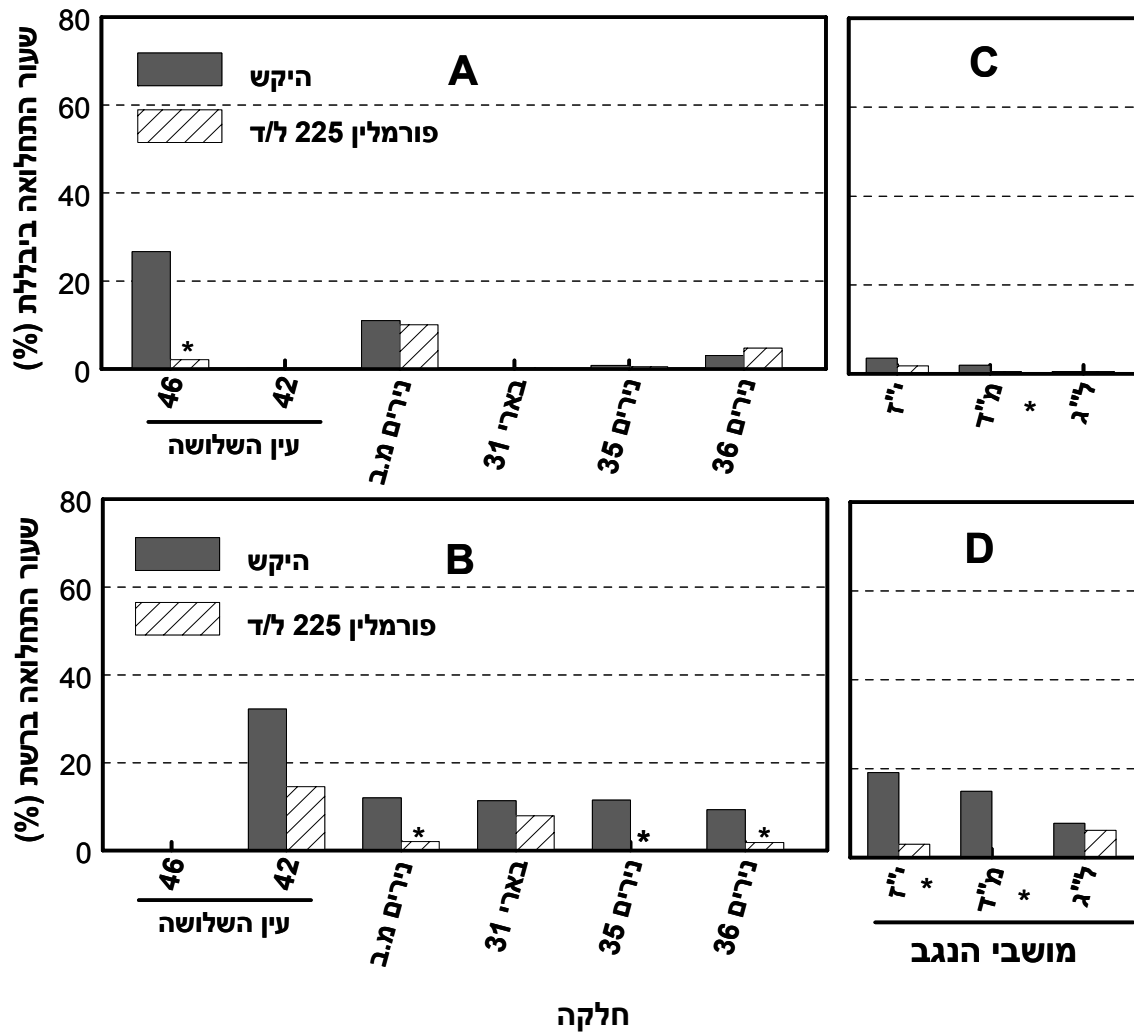
איור מס' 22 – שפעת חיטוי פורמלין במינון 225 ל/ד' על שיעור התחלואה ביבללת (A) ורשת (B) בתת-אזור מס' 2. כוכבית מציינת כי הטיפול נבדל סטטיסטית מההיקש ( $P < 0.05$ ).

בתת-אזור מס' 2 הפחית החיטוי בפורמלין את שיעור התחלואה ביבללת בין 57% - 97% ברוב החלקות (איור מס' 22A). בחלקה בודדת (קרני) יעילות החיטוי נמוכה. שיעור התחלואה במחלת הרשת היה נמוך ברוב החלקות מלבד חלקות "מגן מזרח" (איור מס' 22B). בחלקות הללו שיעור המחלה ברשת במשבצות ההיקש היה גבוה (<18%), ויעילות ההדברה הייתה נמוכה מ-50%.



איור מס' 23 – השפעת חיטוי פורמלין במינון 225 ל/ד' על התחלואה ביבלת (A) ורשת (B) בתת-אזור מס' 3. כוכבית מציינת כי הטיפול נבדל סטטיסטית מההיקש ( $P < 0.05$ ).

בתת-אזור מס' 3 הכולל את החלקות מקיבוצי מגן וניר עוז, שיעור התחלואה ביבלת ברוב החלקות היה נמוך (איור מס' 23A). החיטוי היה יעיל באופן מובהק בחלקה בודדת בלבד (ניר עוז 15). בחלקה זו שיעור המחלה ביבלת היה 40% במשבצות ההיקש לעומת 15% בחלקות האחרות שיעור התחלואה ביבלת בהיקשים היה נמוך יותר (>15%), ויעילות החיטוי הייתה נמוכה ולא נבדלה סטטיסטית. במחלת הרשת שיעור התחלואה בהיקשים היה דומה למחלת היבלת, אך יעילות החיטוי הייתה גבוהה בכל החלקות ונבדלה סטטיסטית ברובן (איור מס' 23B). מהממצאים ניתן להסיק שחיטוי קרקע בפורמלין יעיל יותר בהדברת מחלת הרשת בהשוואה למחלת היבלת.

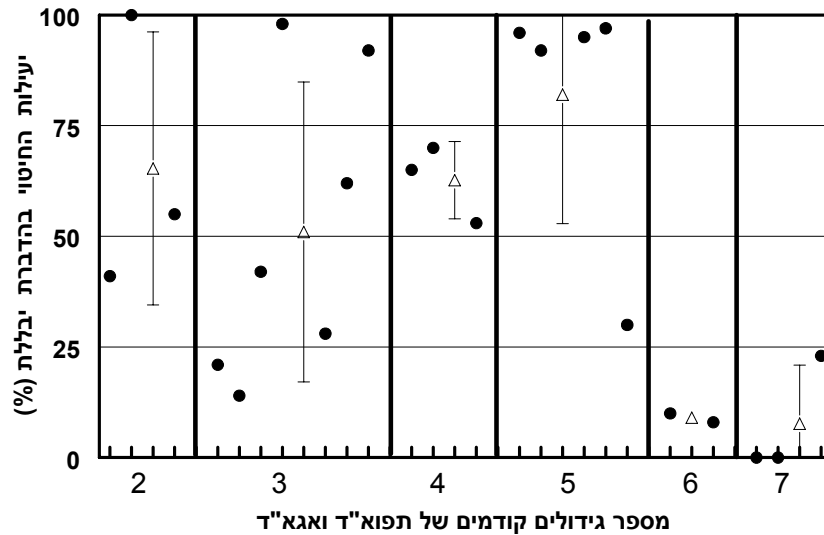


איור מס' 24- השפעת חיטוי פורמלין במינון 225 ל"ד' על התחלואה ביבלת ורשת בתת-אזור מס' 4 (A, B) ותת-אזור מס' 5 (C, D). כוכבית מציינת כי הטיפול נבדל סטטיסטית

בתת-אזורים מס' 4 ו-5 היה שיעור התחלואה ביבלת נמוך ברוב החלקות, גם במשבצות ההיקש (איור מס' 24-A, C). על כן לא ניתן להסיק מסקנות חד משמעיות לגבי יעילות החיטוי. לעומת התחלואה הנמוכה ביבלת שיעור התחלואה ברשת היה גבוה. יעילות החיטוי בהדברת הרשת הייתה גבוהה במרבית החלקות (איור 24-B, D). בחלקה 31 של בארי היו גשמים לאחר החיטוי בחורף ולכן יעילות החיטוי של מחלת הרשת הייתה נמוכה. יעילות החיטוי בהדברת מחלת היבלת הייתה הנמוכה ביותר בתת-אזור מס' 1.

### 3.3 השפעת מחזור הגידולים על יעילות החיטוי

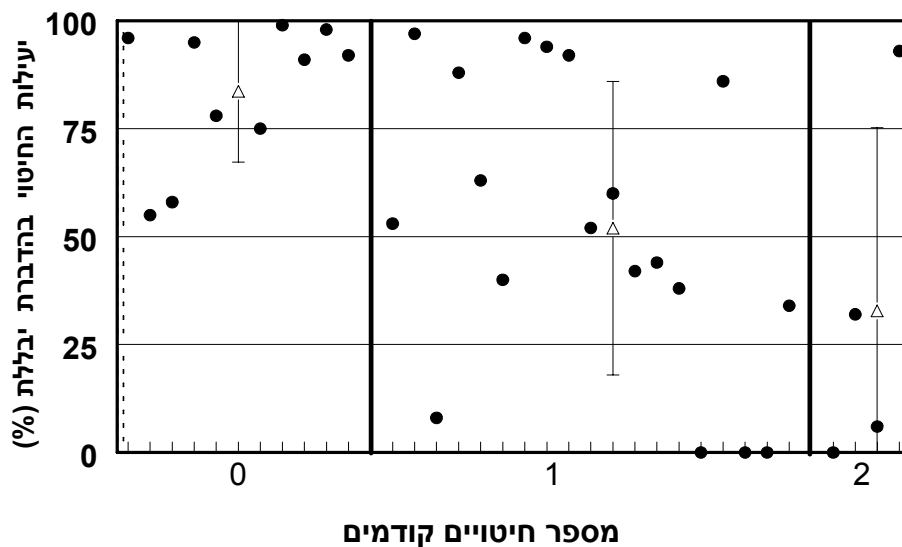
בחנו האם יעילות החיטוי של מחלת היבלת קשורה במספר הגידולים הקודמים הרגישים לגורם המחלה, שכן מצאנו כי גידולים רגישים למחלת היבלת מגבירים את פוטנציאל האינקולום בקרקע (סעיף 2.1). לא נמצא קשר ישיר בין מספר הגידולים הקודמים הרגישים לבין יעילות החיטוי של מחלת היבלת (איור מס' 25). כך שככל הנראה יעילות החיטוי קשורה למרכיבים נוספים ואינה מושפעת באופן ישיר ממספר הגידולים של תפוא"ד ואגא"ד הקודמים לחיטוי.



איור מס' 25- השפעת מספר הגידולים הקודמים של תפוא"ד ואגא"ד לפני החיטוי בפורמלין על יעילות החיטוי בהדברת התחלואה ביבלת. (●) מציין את ממוצע יעילות החיטוי בחלקה בודדת במספר הגידולים הקודמים. (△) מציין את הממוצע וסטיית התקן של יעילות החיטוי לכלל החלקות באותו מחזור גידול.

### 3.4 השפעת מספר החיטויים הקודמים בפורמלין על יעילות החיטוי הנוכחי

חיטוי קרקע חוזר באמצעות אותו תכשיר עלול במקרים מסוימים לגרום לפירוק מואץ של התכשיר ולפגוע ביעילותו. ממצאים כאלו פורסמו לגבי התכשיר מתאם סודיום (Di Primo et al., 2003). בחנו האם יעילות החיטוי בפורמלין קשורה במספר החיטויים הקודמים שנעשה בחלקות. לא נמצא קשר מובהק בין יעילות החיטוי למספר החיטויים הקודמים שבוצע בחלקה (איור מס' 26). עם זאת, נראה כי השונות ביעילות החיטוי גדלה בחלקות שבהן בוצע בעבר חיטוי בפורמלין. לעומת זאת, יעילות גבוהה הושגה כאשר החיטוי בוצע בפעם הראשונה בחלקה. לא נראה כי מתקיים מנגנון פירוק מואץ של פורמלין בדומה למתאם סודיום אך ישנה סבירות כי ישום חוזר של פורמלין עלול להוות גורם בירידה ביעילות החומר והדברה של מחלת היבלת באגא"ד.



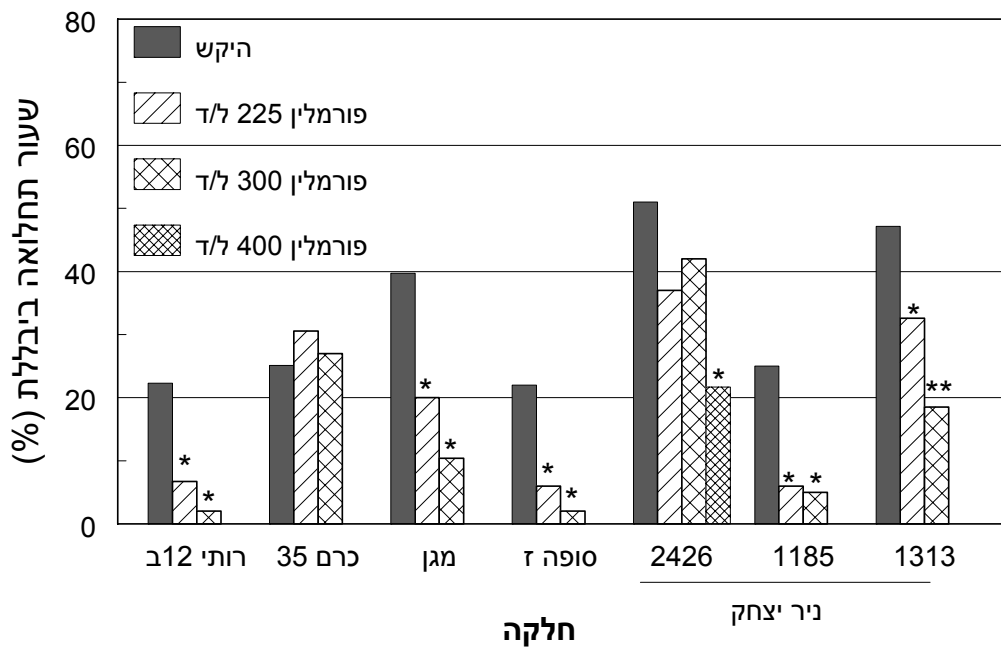
איור מס' 26- השפעת מספר החיטויים הקודמים בפורמלין על יעילותו. יעילות החיטוי מתייחס ליבלת ורשת יחד. (●) מציין את ממוצע יעילות החיטוי בחלקה בודדת. (△) מציין את הממוצע וסטיית התקן של יעילות החיטוי לכלל החלקות באותו מחזור חיטוי.

#### 4. השפעת אמצעי היישום על יעילות החיטוי בהדברה של יבללת ורשת

יעילות חיטוי קרקע תלויה במספר גורמים כגון מינון התכשיר, הכנת הקרקע ושיטות ישום. חיטוי קרקע בפורמלין מבוצע באמצעות החדרת התכשיר למי ההשקיה. אמצעי ההשקיה הם מגוונים ושונים בספיקות המים, אחידות הפיזור ומשך היישום. במחקר בחנו את השפעת אמצעי היישום העיקריים על יעילות החיטוי. בנוסף נבחנו משתנים שונים כגון מינון התכשיר ואמצעים משלימים בהכנת הקרקע לקראת החיטוי.

##### 4.1 השפעת מינון הפורמלין בחיטוי על התחלואה ביבללת ורשת

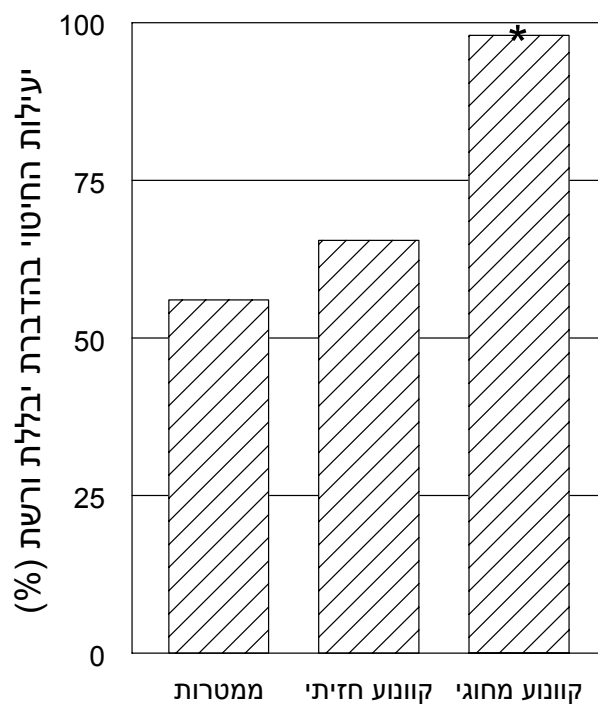
במספר חלקות נבחנה השפעת המינון על יעילות החיטוי בפורמלין בהדברת מחלת היבללת והרשת. במרבית החלקות תרמה הגדלת המינון של פורמלין להפחתה נוספת בתחלואת התרמילים ביבללת ורשת בהשוואה לחיטוי במינון המקובל (איור מס' 27). עם זאת, התרומה להדברה בשל המינון המוגדל לא הייתה מובהקת במרבית החלקות. בחלקה 35 (כרם שלום) לא התקבלה הדברה בכל המינונים.



איור מס' 27 – השפעת מינונים שונים של פורמלין בהפחתת שיעור התחלואה ביבללת ורשת. כוכבית מציינת כי הטיפול נבדל סטטיסטית מהיקש ( $P < 0.05$ ), שתי כוכביות מציינות כי הטיפול נבדל מכל שאר הטיפולים ( $P < 0.05$ ).

#### 4.2 השפעת אמצעי ההשקיה על יעילות החיטוי

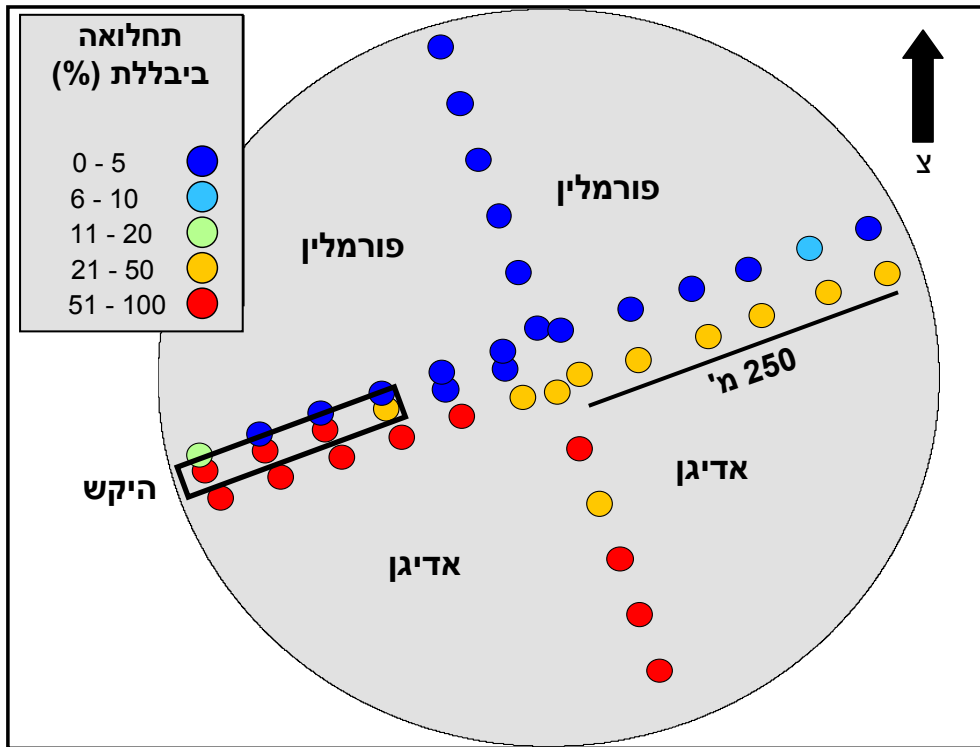
השפעת אמצעי ההשקיה על יעילות ההדברה נבדקה ב- 28 חלקות. ב-13 חלקות בוצע החיטוי באמצעות ממטרות, ב-9 חלקות בוצע החיטוי בקונוע חזיתי וב-5 חלקות בוצע החיטוי בקונוע מחוגי. נמצא כי יעילות החיטוי בקונוע מחוגי (98%) טובה יותר באופן מובהק בהשוואה לקונוע חזיתי (65%) וממטרות (56%) (איור מס' 28). ההבדלים ביעילות הקונוע החזיתי בהשוואה להמטרה לא היו מובהקים. דוגמא לחלקת קונוע מחוגי היא חלקה מספר 52 בכרם שלום שבה הושגה הדברה מושלמת למרות שהתחלואה בהיקש היא מעל 60% (איור מס' 29). דוגמא נוספת היא חלקה יז (סופה) שבה יעילות החיטוי בקונוע חזיתי הייתה גבוהה גם כן (איור מס' 30). חלקה מזרח א (מגן) מייצגת החיטוי שנעשה באמצעות ממטרות (איור מס' 31). חוסר האחידות בחיטוי בחלקה זו מתבטא בפיזור המחלה בחיטוי פורמלין במינון 225 ל/ד. נראה כי יעילות החיטוי הלא מספקת בחלקה זו (50%) נובעת מאמצעי היישום. בחלקות מזרח א (מגן) ביצענו ניסוי דומה במשך שלוש שנים רצופות והתקבלו תוצאות דומות (תוצאות לא מוצגות). על כן ניתן להסיק כי השימוש בממטרות כאמצעי החיטוי בחלקות הללו מהווה גורם עיקרי ביעילות הבינונית של החיטוי ויתכן שלאור הממצאים שלנו חיטוי בקונוע היה משפר את יעילות ההדברה.



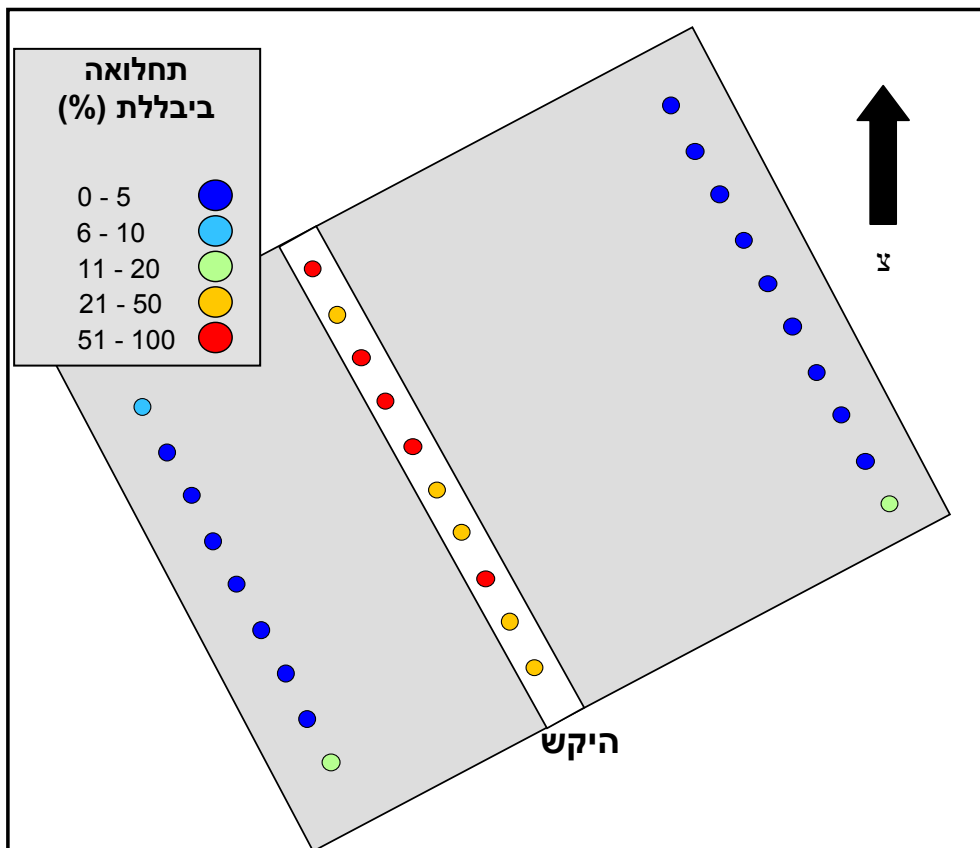
#### אמצעי השקיה דרכו מיושם חומר החיטוי

איור מס' 28 – השפעת אמצעי ההשקיה על יעילות החיטוי. העמודות מייצגות את ממוצע יעילות החיטוי של אמצעי ההשקיה השונים בכל החלקות שנבחנו. ממוצע היעילות נלקח מ-13 חלקות ממטרות, 9 חלקות קונוע חזיתי ו-5 חלקות של קונוע מעגלי. כוכבית מציינת כי הטיפול נבדל סטטיסטית משאר הטיפולים ( $P < 0.05$ ).

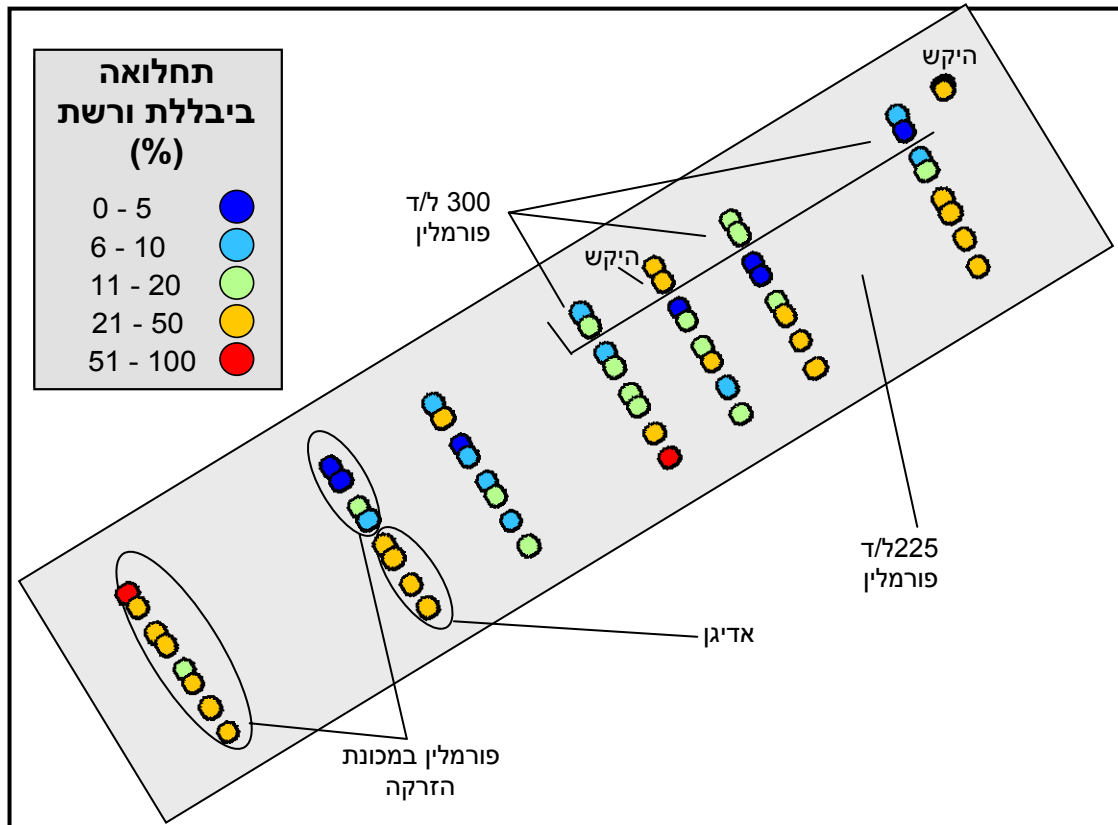




איור מס' 29 – חלקה 52 (כרם שלום). חיטוי בפורמלין 225 ל/ד בקונוע מחוגי (חצי צפוני) ובאדיגן (חצי דרומי) וחלקת היקש ללא חיטוי. סימנים עגולים מציינים את נקודות הדגימה שבהן נאספו התרמילים ונקבע שיעור התחלואה ביבללת.



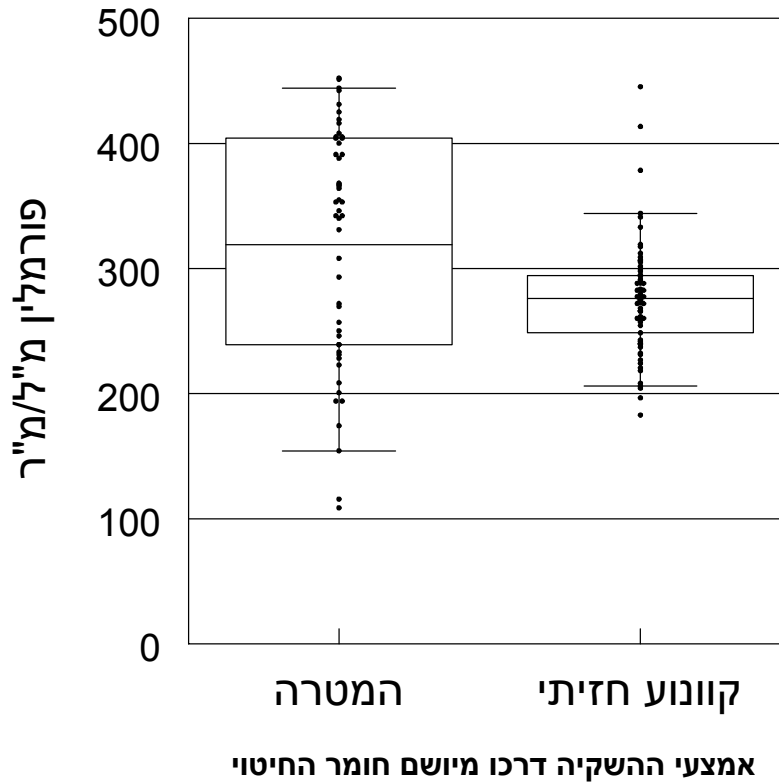
איור מס' 30 – חלקה יז' (סופה). חיטוי בפורמלין 225 ליטר/דונם בקונוע חזיתי. סימנים עגולים מציינים את נקודות הדגימה שבהן נאספו התרמילים ונקבע שיעור התחלואה ביבללת.



איור מס' 31- חלקת "מזרח א" (מגן - 2005). חיטוי בפורמלין במינון 225 ו-300 ליטר/דונם בממטרות. בנוסף, בוצע בחלקה חיטוי אדיגן וחיטוי בפורמלין במכונת הזרקה במינון 225 ליטר/דונם. סימנים עגולים מציינים את נקודות הדגימה שבהן נאספו התרמילים ונקבע שיעור התחלואה ביבללת ורשת.

#### 4.2.1 השוואת אחידות פיזור הפורמלין באמצעי ההשקיה השונים

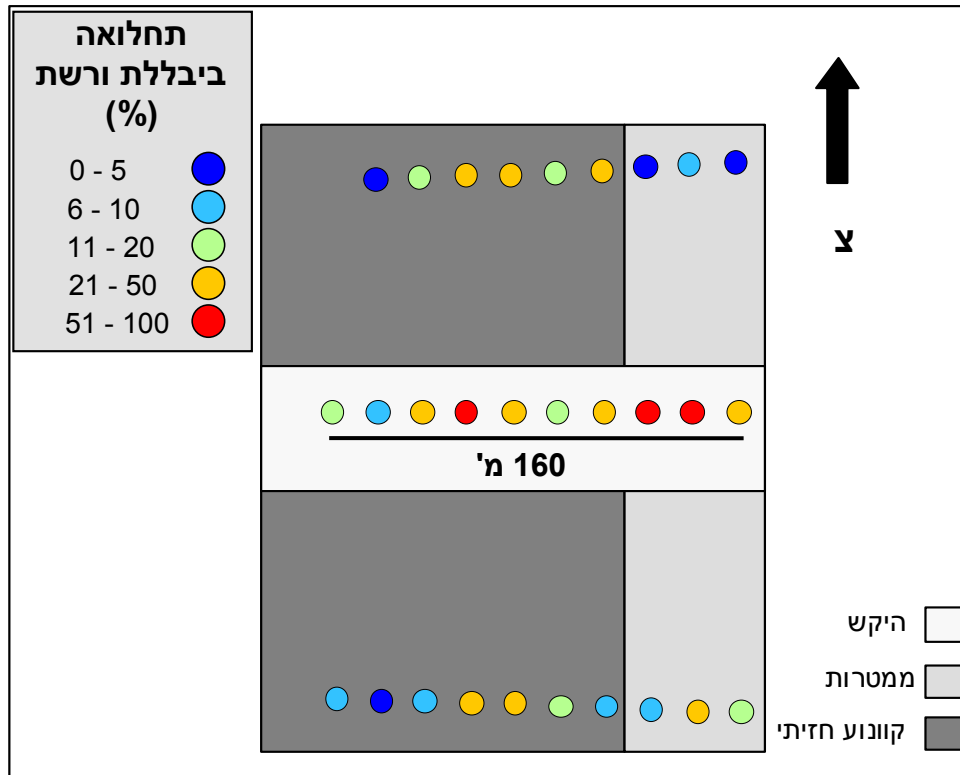
בחנו את פיזור כמות הפורמלין באמצעי ההשקיה השונים ע"י הצבת דליים בנקודות הדגימה השונות. לאחר החיטוי נבדקה כמות הפורמלין בדליים בשיטת הטיטרציה ונקבעה אחידות פיזור הפורמלין בחיטוי בקונוע חזיתי ובהמטרה. נמצא כי אחידות הפיזור של חומר החיטוי בקונוע חזיתי טובה יותר בהשוואה לממטרות (איור מס' 32). ממוצע כמות הפורמלין בכל הקונועים החזיתיים היה 275 מ"ל/מ"ר עם סטיית תקן של 44 מ"ל/מ"ר ומקסימום של 445 ומינימום של 182. ממוצע כמות הפורמלין בהמטרה במינון של 225 ליטר/דונם היה 318 מ"ל/מ"ר עם סטיית תקן של 94 מ"ל/מ"ר ומקסימום של 452 מ"ל/מ"ר ומינימום של 108 מ"ל/מ"ר. ניתן להסיק מכך כי אחידות הפיזור של פורמלין בשדה, עדיפה בקונוע בהשוואה לממטרות.



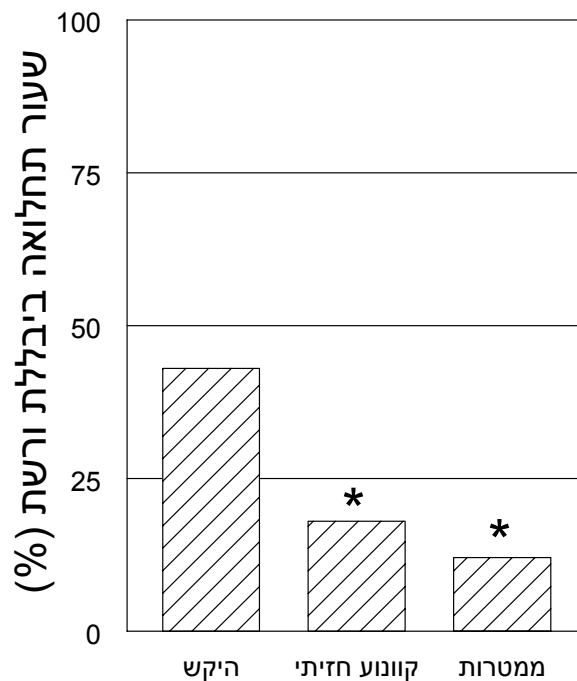
איור מס' 32 – השוואה בין פיזור כמות הפורמלין שניתן בקוונועים בשלוש חלקות ובמטרות בשתי חלקות, בחיטוי במינן של 225 ליטר/דונם. הקו האמצעי במרובע מיצג את הממוצע של כמות הפורמלין, צלעות המרובע מהוות את סטיית התקן והקצוות מיצגים את כמות הפורמלין המינימלית והמקסימלית שניתנה בכל אמצעי השקיה.

#### 4.2.2 בחינת השוואה של אמצעי ההשקיה באותה חלקה

ביצענו ניסויים בשלוש חלקות בכדי לבדוק את השפעת אמצעי ההשקיה השונים על יעילות החיטוי. בעונת 2006 בוצע ניסוי בחלקה 11 (ניר עוז) ובו נבחן חיטוי באמצעות קוונוע חזיתי לעומת ממטרות. אופן הצבת הניסוי ופיזור המחלה בחלקה מוצגים באיור מס' 33. שיעור התחלואה ביבללת ורשת נבדל סטטיסטית בשתי שיטות החיטוי בהשוואה להיקש, אך לא נמצא הבדל מובהק בין שתי שיטות הביצוע (איור מס' 34). פזור התחלואה בחלקה (איור מס' 33) מצביע על מעורבות אפשרית של גורמים נוספים ביעילות החיטוי. בנוסף, החלקה נמצאת במדרון מה שעלול לגרום לנגר בזמן החיטוי.



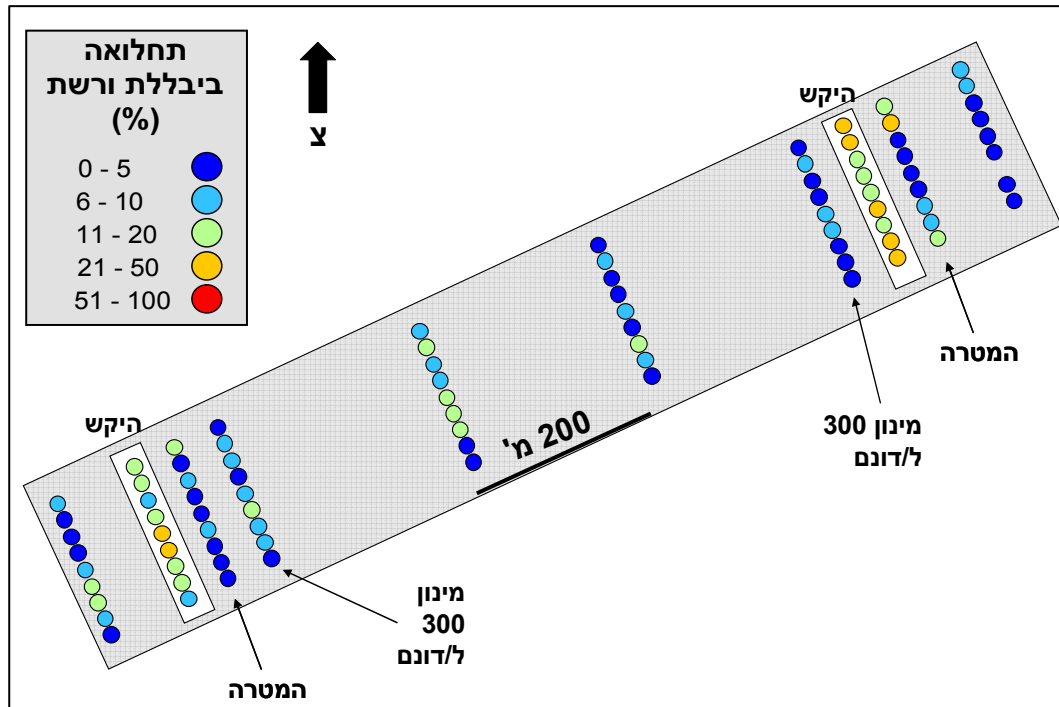
איור מס' 33- חלקה 11 (ניר עוז). חיטוי בפורמלין 225 ליטר/דונם בממטרות ובקונוע חזיתי. סימנים עגולים מציינים את נקודות הדגימה שבהן נאספו התרמילים ונקבע שיעור התחלואה ביבלת ורשת.



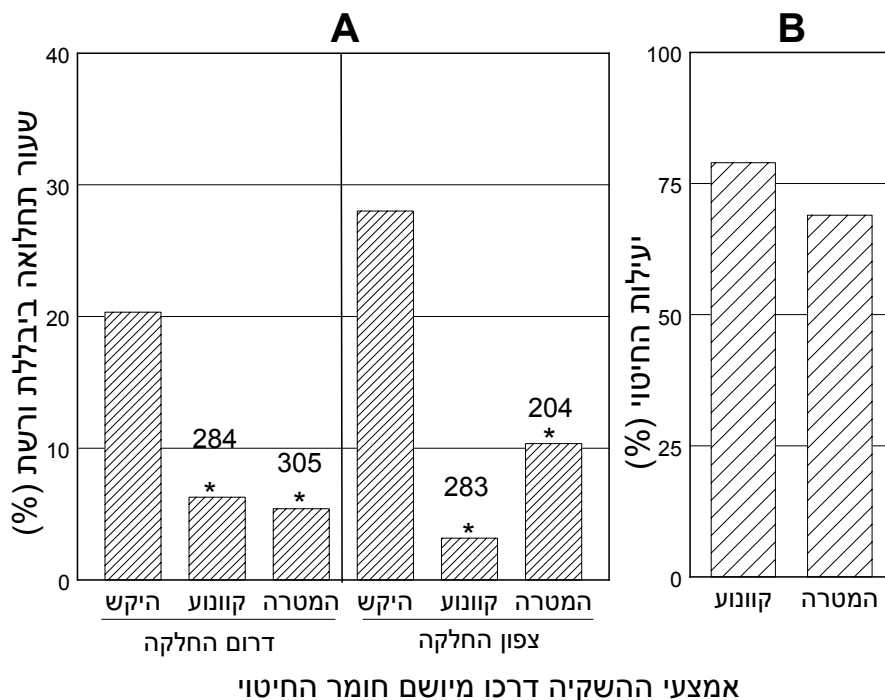
אמצעי ההשקיה דרכו מיושם חומר החיטוי

איור מס' 34- חלקה 11 (ניר עוז). השפעת אמצעי הישום בחיטוי על יעילותו. העמודות מייצגות את התחלואה ביבלת ורשת באמצעי ההשקיה השונים. כוכבית מציינת כי הטיפול נבדלים סטטיסטית מההיקש ( $P < 0.05$ ).

בחלקה נוספת ( 1185 – ניר יצחק) בוצעה השוואה בין חיטוי בקונוע חזיתי למטרות. אופן הצבת הניסוי ופיזור המחלה בחלקה מוצגים באיור מס' 35. בחלקה זו נבדקה כמות הפורמלין בכל נקודות הדגימה. החיטוי בפורמלין הפחית באופן מובהק את התחלואה ביבללת ורשת בכל אמצעי ההשקיה שלא נבדלו סטטיסטית ביניהם (איור מס' 36).



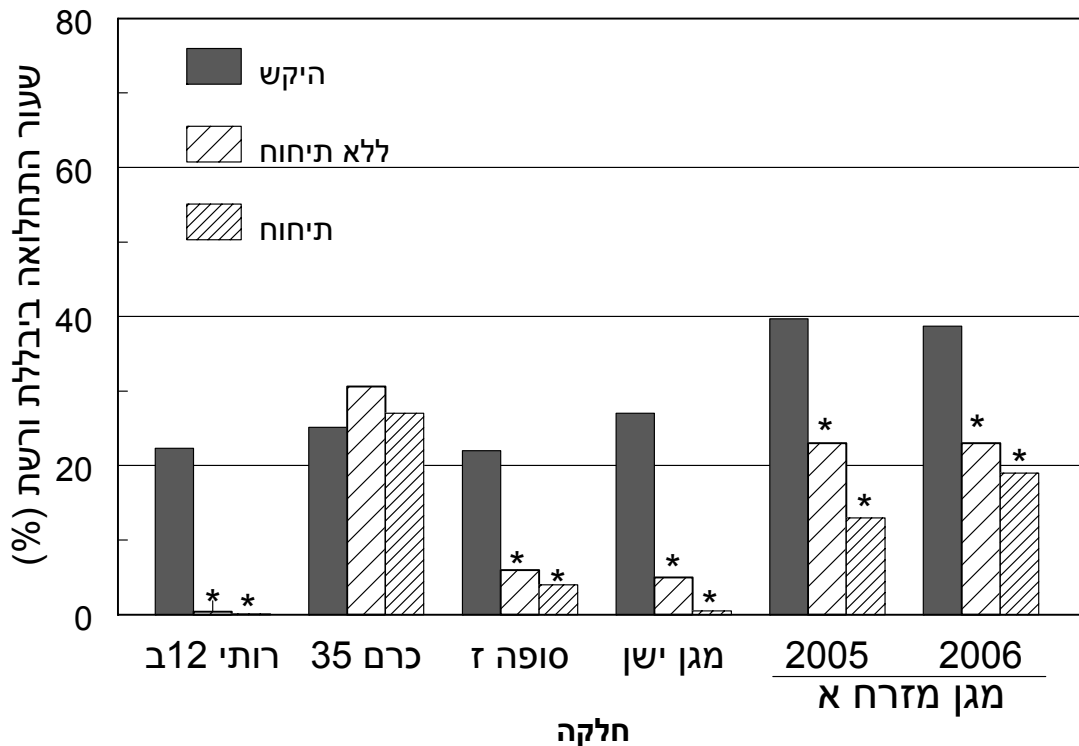
איור מס' 35 – חלקה 1185 (ניר יצחק). בחינת ישום פורמלין באמצעות קונוע חזיתי או ממטרות, במינן של 225 ל/דונם. בנוסף, בחינה בין מינן של 300 ל/ד פורמלין ל-225 ל/ד פורמלין בחיטוי באמצעות קונוע חזיתי. סימנים עגולים מציינים את נקודות הדגימה שבהן נאספו התרמילים ונקבע שיעור התחלואה ביבללת. רצועת נקודות דגימה ללא סימון קיבלה חיטוי בפורמלין במינן של 225 ל/ד באמצעות קונוע חזיתי.



איור מס' 36 – חלקה 1185 (ניר יצחק). תחלואה ביבללת ורשת באמצעי ההשקיה השונים בקטע הצפוני והדרומי של החלקה והשפעת אמצעי ההשקיה השונים על יעילות החיטוי בכל החלקה (B). כוכבית מציינת כי שיטת היישום נבדלת סטטיסטית מההיקש ( $P < 0.05$ ). מספרים על גבי העמודות מציינים את ממוצע כמות הפורמלין (מ"ל/מ"ר) שהתקבל ב-10 נקודות דגימה עוקבות באותה שיטת ישום.

#### 4.3 השפעת תיחוח הקרקע טרם החיטוי על אחוז הנגיעות במחלת היבללת והרשת

בחנו האם הכנת הערוגות ותיחוחן לפני החיטוי משפיעה על החדרה טובה יותר של התכשיר ופיזורו טוב יותר בקרקע. בעונת 2005-2006 נבדקו שש חלקות בהן בוצעה השוואה בין חיטוי ללא הכנת הקרקע וחיטוי על ערוגות מתוחחות. מינון הפורמלין בחיטויים היה 225 ליטר/דונם. הניסוי התבצע באזורים מס' 1 ו-2. במרבית החלקות שנבדקו מלבד חלקה אחת תרם התיחוח להפחתה נוספת במחלת היבללת והרשת (איור מס' 37). תוספת ההפחתה בתחלואה ע"י תיחוח שלא הייתה מובהקת בכל המקרים מצביעה על ערך מתוסף (Aditive) לפעולת התיחוח בהצלחת ההדברה.

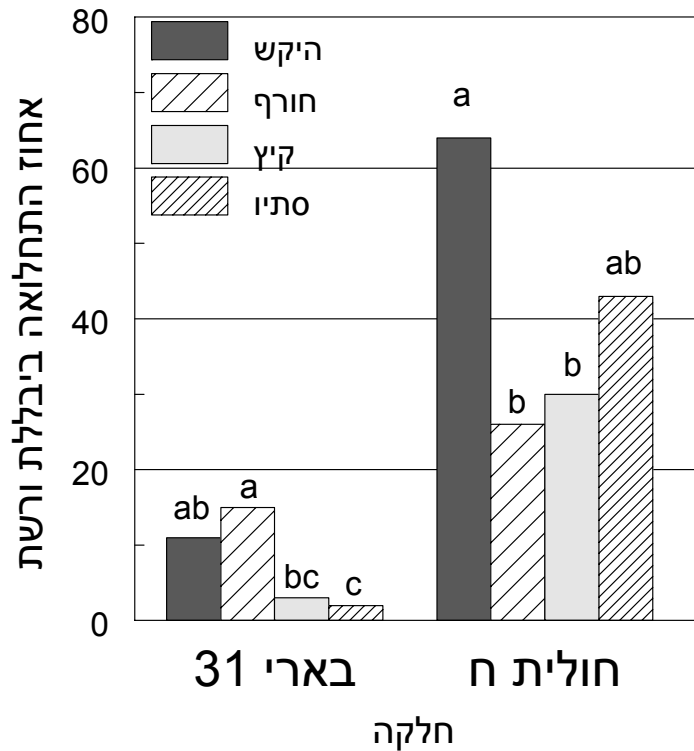


איור מס' 37 – השפעת תיחוח הקרקע טרם החיטוי על התחלואה ביבללת ורשת. החיטוי בוצע במינון של 225 ליטר/דונם. כוכבית מציינת כי הטיפול נבדל סטטיסטית מההיקש ( $P > 0.05$ ).

#### 4.4 השפעת מועד ישום החיטוי על הנגיעות במחלת היבללת והרשת

מקובל לבצע חיטוי קרקע בסמוך למועד השתילה או הזריעה. האגרוטכניקה שבגידול אג"ד ואילוצים משקיים אחרים מחייבים ביצוע של חיטוי קרקע מיד לפני הגידול (בחודשים פברואר – מרץ). בחודשים אלו טמפי' הקרקע נמוכה ולעיתים הקרקע רטובה בגלל גשמים. בחנו את השפעת מועד החיטוי במהלך השנה באמצעות שני ניסויי שדה. בשנת 2006 בשתי חלקות נבחנו שלושה מועדי חיטוי: קיץ – (אוגוסט), סתיו – (סוף אוקטובר), חורף – (פברואר). באביב נזרעו החלקות בכל הטיפולים. לא נמצא הבדל עקרוני בין ביצוע חיטוי קרקע בפורמלין במועדים השונים (איור מס' 38). ההבדלים שהתקבלו במועדים השונים בשתי החלקות נבעו בשל גשמים אשר ירדו זמן קצר לאחר חיטוי הקרקע. בחלקה 31 (בארי) התקבלה הדברה במועדי הקיץ והסתיו, אך רק חיטוי בסתיו נבדל במובהק מההיקש ( $P < 0.05$ ). חיטוי בחורף לא הדביר את המחלה כלל בשל גשמים שירדו לאחר החיטוי ופגעו ביעילותו. בחלקה ח' (חולית) נבדלו חיטויי החורף והקיץ מחיטוי

הסתיו וההיקש ( $P < 0.05$ ). בשלושת המועדים התקבלה הפחתה של שיעור התחלואה ביבללת ורשת, אך בשל גשמים שירדו בחיטוי הסתיו יעילותו הייתה נמוכה יותר.

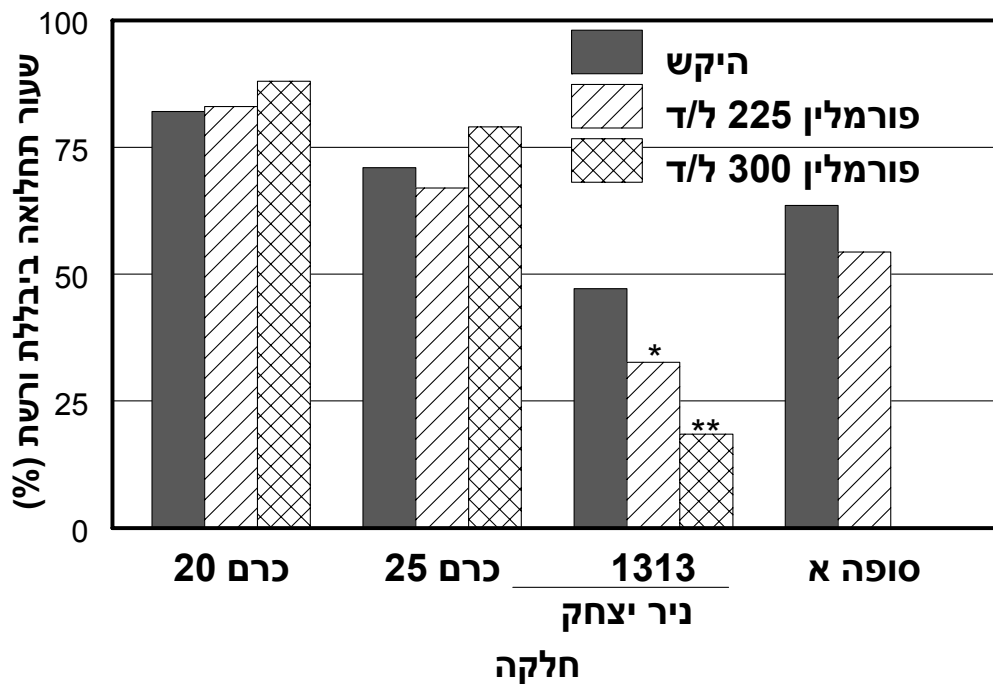


איור מס' 38 – השפעת מועד חיטוי הקרקע על שיעור התחלואה ביבללת ורשת בשתי חלקות. החיטוי בוצע במינונים של 225 ליטר/דונם. הניסוי בוצע בשלושה מועדי ישום שונים: קיץ סתיו וחורף. האותיות השונות בכל קרקע בנפרד מציינות הבדל מובהק בין הטיפולים ( $P < 0.05$ ).

5. בחינת הסיבות האפשריות לתחלואה הרבה באזור מס' 1 למרות ביצוע חיטוי בפורמלין. במהלך שתי שנות המחקר הראשונות התברר כי שיעור התחלואה ביבללת בתת-אזור מס' 1 הוא גבוה ביותר (איור מס' 13). הממצאים מהעבודה בשנים אלה וכן תצפיות שבוצעו בשנים שקדמו למחקר תעדו מקרים רבים של תחלואה גבוהה למרות ביצוע החיטוי. במהלך 2007 בוצעו ניסויים ב-4 חלקות מסחריות באזור ניר יצחק, כרם שלום וסופה במטרה לבחון מספר משתנים בכל שדה.
- חלקה 1313 (ניר יצחק): בחלקה בוצע חיטוי קרקע בפורמלין במינונים שונים. בנוסף בוצע חיטוי קרקע בפורמלין על קטע מסוים בחלקה בו שנה קודם התבצע חיטוי קרקע בפורמלין וגודלו אגא"ד. זאת, במטרה לבחון את השפעת רצף החיטויים וגידול אגא"ד במשך שנתיים על יעילות החיטוי בפורמלין.
  - חלקה א (סופה): בחלקה בוצע חיטוי קרקע בפורמלין ב-225 ל/ד בהמטרה.
  - חלקה 20 (כרם שלום): בחלקה בוצע חיטוי בפורמלין במינונים שונים והשוואה בין חיטוי ללא הכנת הקרקע לבין חיטוי על ערוגות מתוחחות. החיטוי בוצע באמצעות קונוע חזיתי.
  - חלקה 25 (כרם שלום): בחלקה בוצע חיטוי בפורמלין במינונים שונים והשוואה בין חיטוי ללא הכנת הקרקע לבין חיטוי על ערוגות מתוחחות. בנוסף, נבחנה ההשפעה של ציפוף ממטרות

בחיטוי (9 מטר בין קווי ההשקיה) על יעילותו. ציפוף המטרות נועד לשפר את אחידות הפיזור של הפורמלין על פני הקרקע.

בכל החלקות הוגדרו נקודות הדגימה כפי שתואר לעיל והושארו משבצות היקש בהן לא בוצע חיטוי קרקע בפורמלין. בנקודות הדגימה שהוגדרו נאספו תרמילים בתום הגידול והוצבו מכלים על מנת למדוד את כמות מי ההשקיה ותמיסת הפורמלין שיושמה לקרקע. מהנתונים חישבנו את כמות הפורמלין שהוחדרה לכל נקי דגימה.



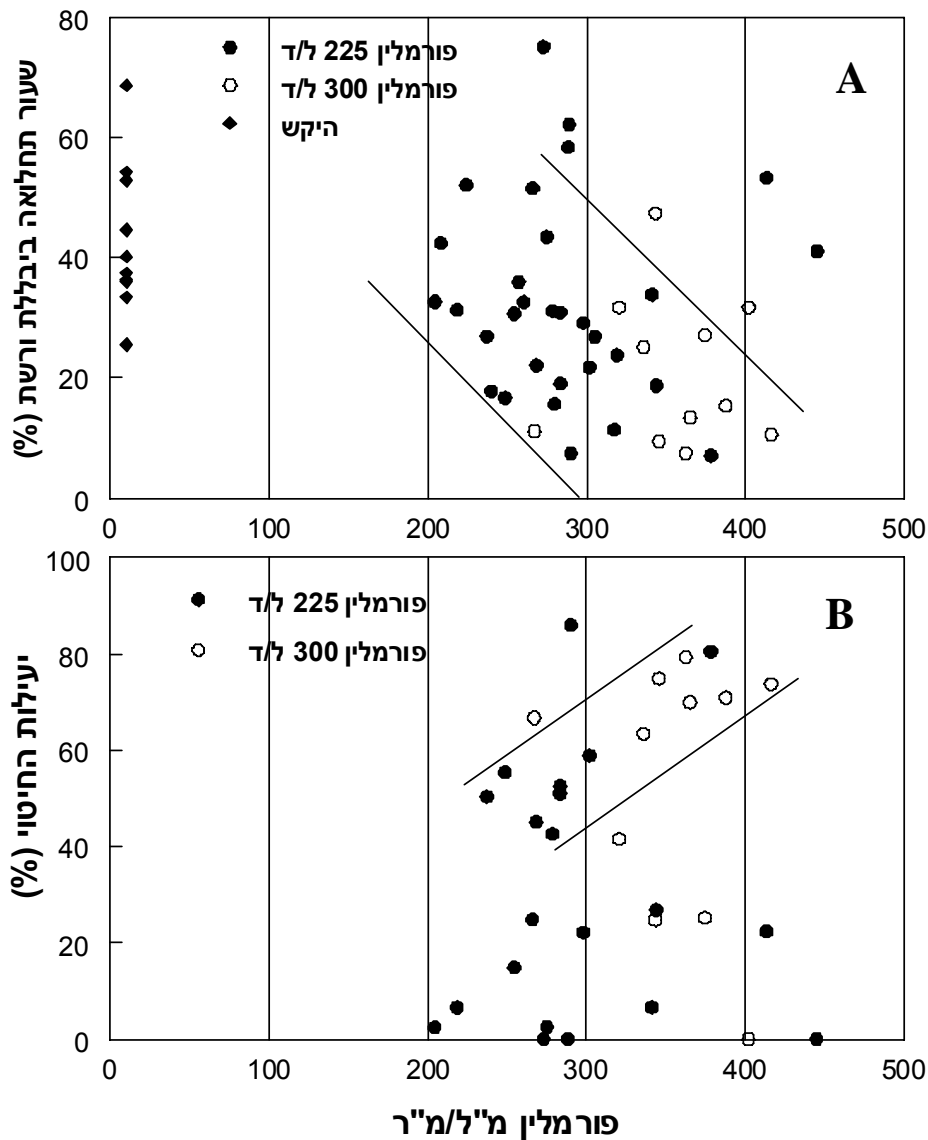
איור מס' 39 – השפעת חיטוי פורמלין במינון של 225 ליטר/דונם ו-300 ליטר/דונם על התחלואה ביבלת ורשת בתת-אזור מס' 1, בשנת 2007. כוכבית מציינת כי הטיפול נבדל סטטיסטית מההיקש ( $P > 0.05$ ). שתי כוכביות מציינות כי הטיפול נבדל סטטיסטית מההיקש וממינון 225 ליטר/דונם ( $P > 0.05$ ).

בכל החלקות שיעור התחלואה ביבלת היה רב (>40%). שיעור התחלואה במחלת הרשת היה זניח.

- חלקה 1313 (ניר יצחק): חיטוי קרקע בפורמלין במינונים שונים הפחית באופן מובהק את שיעור התחלואה ביבלת בהשוואה להיקש (איור מס' 39). בנוסף, חיטוי פורמלין במינון 300 ל/ד נבדל במובהק מחיטוי בפורמלין במינון 225 ל/ד (איור מס' 39). כמות הפורמלין שנמדדה במי ההשקיה בנקודות הדגימה היתה בין 200 ל/ד ל-400 ל/ד. לא נמצא קשר מובהק בין כמות הפורמלין בכל נקודות הדגימה לשיעור התחלואה ביבלת (איור מס' 40A). ערך "יעילות החיטוי" בנקודות הדגימה התחלק לשתי קבוצות בשדה (איור מס' 40B). קבוצה ראשונה כללה נקודות דגימה בהן נראה קשר בין כמות הפורמלין ליעילות החיטוי, כשהיעילות המרבית הייתה בחיטוי פורמלין במינון 300 ל/ד. קבוצה שנייה היא קבוצה בה היעילות נמוכה (>25%) ובה לא נמצא קשר בין כמות הפורמלין ליעילות החיטוי. ממצא זה יכול לרמז



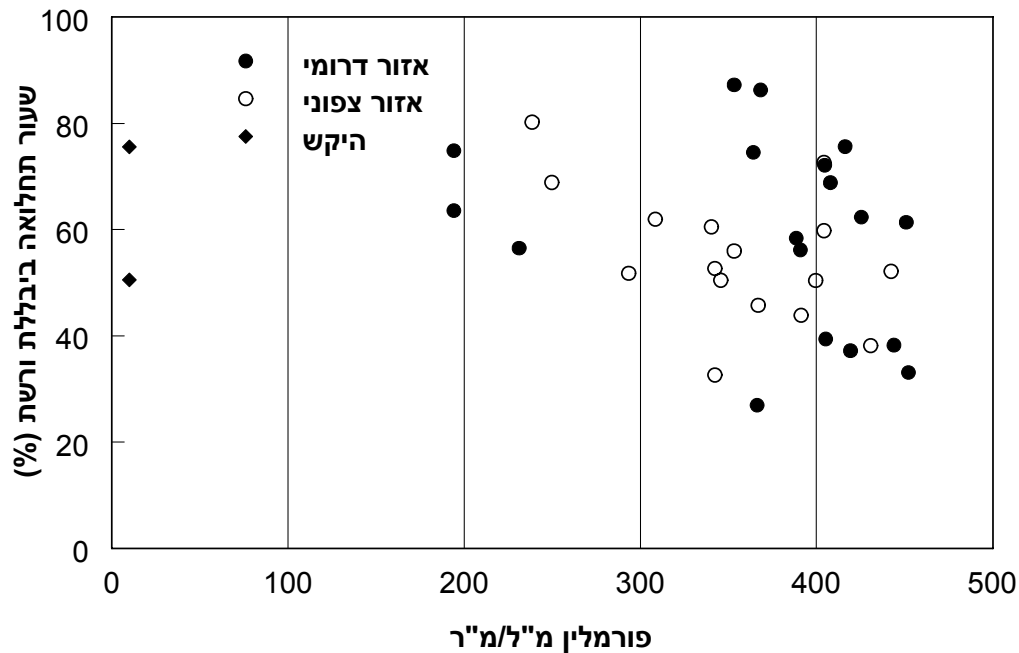
על מנגנון אחר הפועל בנקודות הללו. ביצוע חיטוי קרקע בפורמלין שנתיים ברצף לא השפיע באופן מובהק על יעילות החיטוי (תוצאות לא מוצגות).



איור מס' 40 – חלקה 1313 (ביר יצחק), עונת 2007. השפעת כמות הפורמלין על התחלואה ביבלת (A) ויעילות החיטוי (B). בחלקה נבחנה ההשפעה של חיטוי בקונוע חזיתי במינון של 225 ליטר/דונם לעומת 300 ליטר/דונם. בנוסף, נבדקה ההשפעה של מחזור חיטויים תכוף (שנתיים רצוף) על יעילות החיטוי. הקווים בגרף ממחישים את המגמה המתקבלת בגרפים.

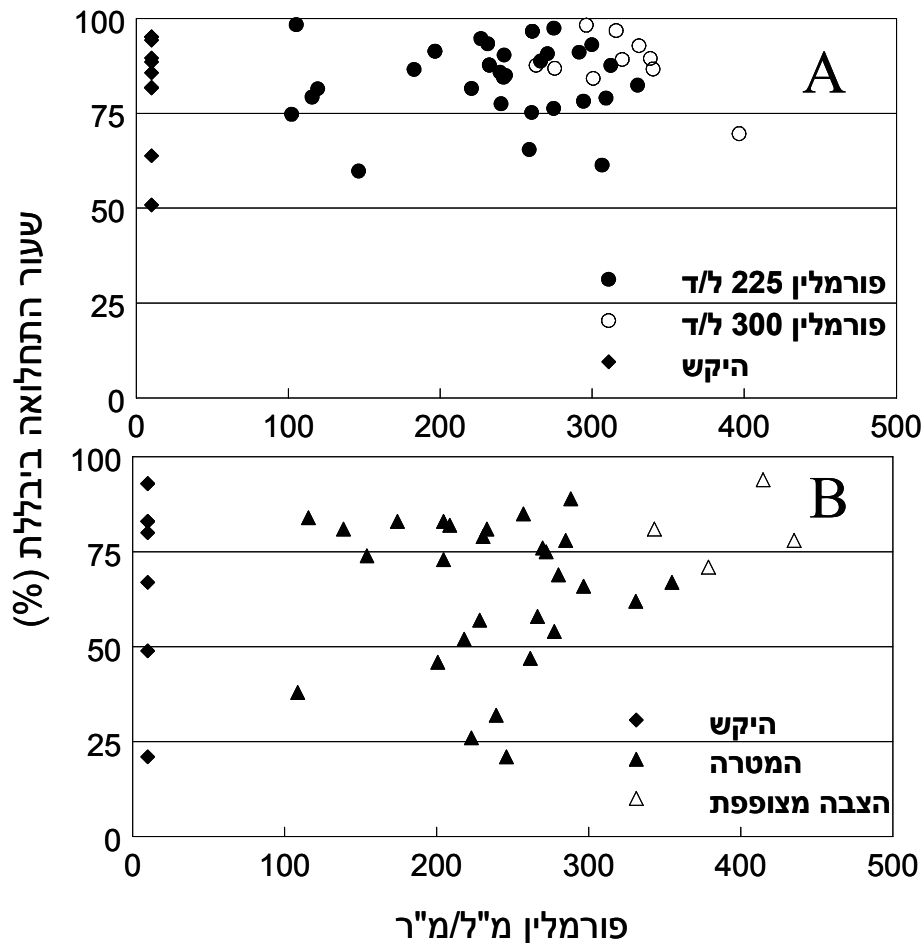
- חלקה א (סופה): חיטוי קרקע בפורמלין לא הפחית באופן מובהק את שיעור התחלואה ביבלת ורשת (איור מס' 39) ולא נמצא קשר מובהק בין כמות הפורמלין שנמדדה בנקודות הדגימה לשיעור התחלואה ביבלת ורשת בהן (איור מס' 41). כמות הפורמלין שניתנה בישום הייתה הרבה מעל מינון המטרה (225 ל/ד) (איור מס' 41). בדומה לחלקה 1313 נראה כי ניתן לחלק את השדה מבחינת שיעור התחלואה והשפעת החיטוי לשני חלקים. האזור הצפוני שבו ישנה מגמת ירידה בשיעור התחלואה ביבלת עם העלייה בכמות הפורמלין ודרום החלקה

שמהווה תא שטח נפרד שבו אין קשר בין כמות הפורמלין בישום לשיעור התחלואה ביבללת ורשת.



איור מס' 41 – חלקה סופה א', עונת 2007. השפעת ריכוז הפורמלין על התחלואה ביבללת. בחלקה נבדקה השפעת חיטוי פורמלין במטרות במינון של 225 ליטר/דונם. החלקה חולקה לשני אזורים הפעלה שונים בחיטוי.

- חלקה 20 (כרם שלום): שיעור התחלואה ביבללת בחלקה היה רב (<75%) הן בהיקש והן בחיטוי. חיטוי קרקע בפורמלין לא הפחית את שיעור התחלואה ביבללת בהשוואה להיקש בכל המינונים (איור מס' 39). לא נמצא קשר בין כמות הפורמלין שנמדדה בנקודות הדגימה לשיעור התחלואה ביבללת (איור מס' 42A).
- חלקה 25 (כרם שלום): בדומה לחלקה 20 שיעור התחלואה ביבללת היה רב בכל החלקה. חיטוי קרקע בפורמלין לא הפחית את שיעור התחלואה ביבללת בהשוואה להיקש בכל המינונים (איור מס' 39). לא נמצא קשר בין כמות הפורמלין שנמדדה בנקודות הדגימה לשיעור התחלואה ביבללת (איור מס' 42B). לא נמצאה השפעה להצבת המטרות בצפיפות שונה בחיטוי על שיעור התחלואה ביבללת (איור מס' 42B). נמצא בדרום החלקה אזור בו התחלואה ביבללת הייתה נמוכה יותר (איור מס' 9). התחלואה הנמוכה אינה נובעת, ככל הנראה, בשל החיטוי בפורמלין אלא מאופן פיזור המחלה בשדה.

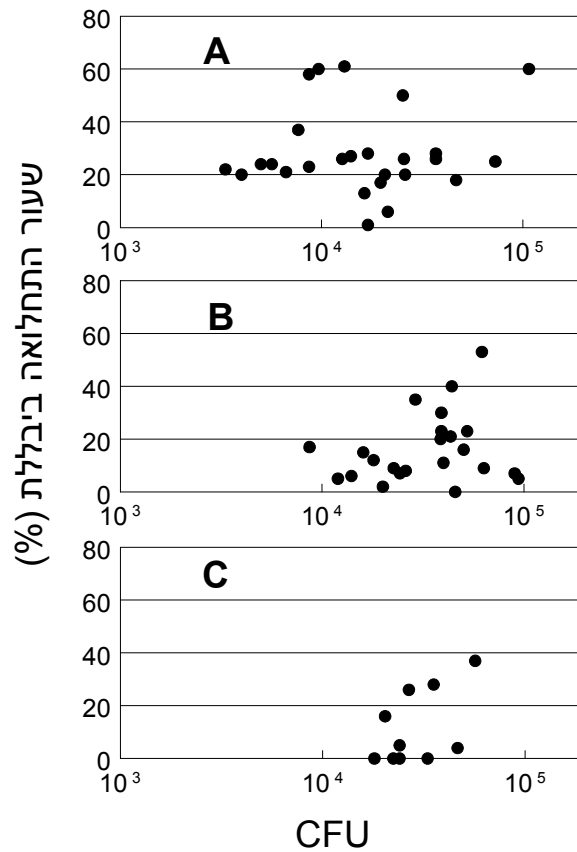


איור מס' 42 – חלקה 20 ו-25 (כרם שלום), עונת 2007. הקשר בין שיעור התחלואה ביבללת לכמות הפורמלין בנקודות הדגימה. A - חלקה 20, חיטוי בפורמלין באמצעות קונוע בשני מינונים (225 ו-300 ליטר/דונם). B - חלקה 25, חיטוי בפורמלין במינון 225 ל/ד באמצעות מטרות בהצבה מצופפת.

התוצאות שהתקבלו מהניסויים בחלקות 20 ו-25 בכרם שלום מעידות כי קיים מנגנון חדש, לא ידוע, אשר משפיע על יעילות הפורמלין ומונע את הדברת מחלת היבללת. התחלואה בחלקות אינה נובעת מהשפעות גורמי היישום אלא ממנגנון אחר הפועל בקרקע. נראה כי בחלקה 1313 וחלקה א מנגנון זה מתקיים בחלק מהחלקה ונמצא בשלב ביניים ולכן יעילות החיטוי של פורמלין בחלקות הללו בעתיד מוטלת בספק.

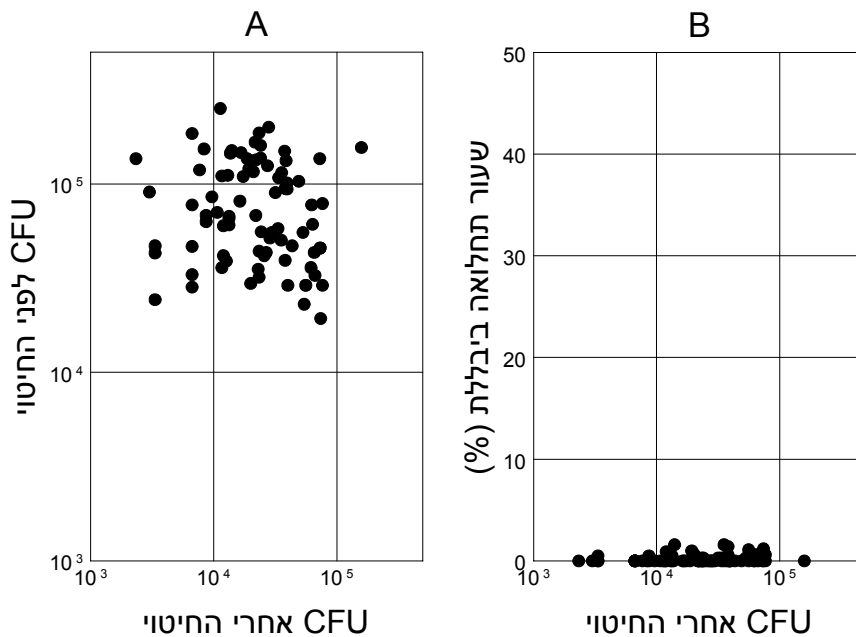
#### 6. הערכת אוכלוסיות סטרפטומצטים בקרקע כמדד ליעילות חיטוי פורמלין

בחנו האם ניתן לכמת את אוכלוסיית הסטרפטומצטים בקרקע ולהעריך את שיעור הפתוגניים מביניהם. בשנת 2005 נאספו דוגמאות קרקע לפני ביצוע החיטוי ומיד לאחריו. בתום אסיף התרמילים ניסינו למצוא קשר בין אוכלוסיית הסטרפטומצטים לשיעור המחלה. בשלב הראשון בחנו את הקשר בין שיעור הסטרפטומצטים בקרקעות לא מחוטאות לתחלואת התרמילים. לא נמצא קשר מובהק בין כמות הסטרפטומצטים בגרם קרקע (CFU) לתחלואת התרמילים ביבללת בתתי-אזורים 1,2 ו-4 (איור מס' 43).



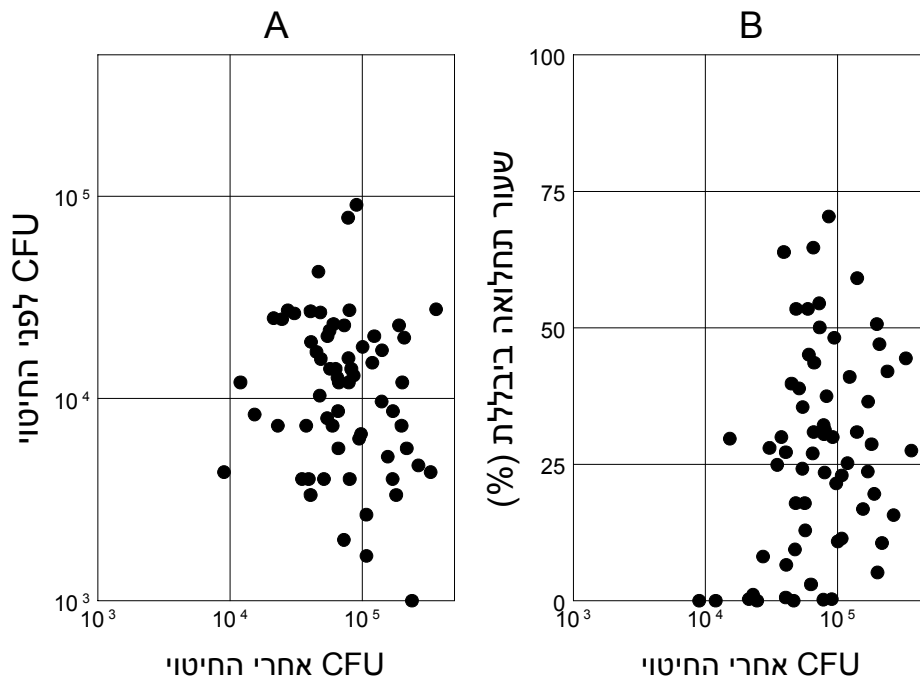
איור מס' 43 – שיעור התחלואה ביבלת במשבצות ההיקש כפונקציה של כמות הסטרפטומצטים לגרם קרקע ביחידות CFU-(Colonizing forming unit). (A) תת-אזור מס' 1, (B) תת-אזור מס' 2 ו- (C) תת-אזור מס' 3.

בנוסף, נבדק הקשר בין כמות הסטרפטומצטים בקרקע לפני החיטוי, אחריו והתחלואה בתרמילים ביבלת, ככלי לחיזוי יעילות החיטוי.



איור מס' 44 – חלקת רותי ותל פרעה (גד"ש חלוצה – תת אזור מס' 2). A - כמות הסטרפטומצטים בקרקע ביחידות CFU (Colonizing forming unit) לאחר החיטוי בהשוואה ללפני החיטוי, B - שיעור התחלואה ביבלת כפונקציה של כמות הסטרפטומצטים בקרקע ביחידות CFU לאחר החיטוי. כל נקודה מייצגת נקודת דגימה שנלקחה בשדה.

בחלקות של גדי"ש חלוצה (תת-אזור מס' 2) בהן יעילות החיטוי הייתה גבוהה והחיטוי הפחית את שיעור התחלואה ביבללת באופן מובהק, הופחתה גם כלל אוכלוסיית הסטרפטומצטים עקב החיטוי (איור מס' 44A) לא נמצאה קורלציה בין שיעור התחלואה ביבללת לכמות אוכלוסיית הסטרפטומצטים בגרם קרקע (CFU) לאחר החיטוי (איור מס' 44B). לפיכך, יתכן כי הפחתה של כלל אוכלוסיית הסטרפטומצטים עקב חיטוי בפורמלין, בחלקות הללו, יכול להעיד כי החיטוי היה יעיל.



איור מס' 45 – חלקות 13 ו-35 בכרם שלום, תת-אזור מס' 1 (A) כמות הסטרפטומצטים בקרקע ביחידות CFU (Colonizing forming unit) לאחר החיטוי בהשוואה ללפני החיטוי. (B) אחוז התחלואה ביבללת ורשת כפונקציה של כמות הסטרפטומצטים בקרקע ביחידות CFU לאחר החיטוי. כל נקודה מייצגת נקודת דגימה שנלקחה בשדה.

מאידך, בחלקות 13 ו-35 (כרם שלום - תת-אזור מס' 1), בהן יעילות החיטוי הייתה נמוכה, נראה כי כמות אוכלוסיות הסטרפטומצטים לאחר החיטוי גבוהה יותר ברוב הדגימות בהשוואה לכמות האוכלוסיות לפני החיטוי, כך שחלה עלייה באוכלוסיות הסטרפטומצטים בקרקע לאחר החיטוי (איור מס' 45A). גם כאן, לא נמצאה קורלציה בין שיעור התחלואה ביבללת לכמות אוכלוסיית הסטרפטומצטים בגרם קרקע (CFU) לאחר החיטוי (איור מס' 45B). הממצאים מצביעים כי כימות אוכלוסיות סטרפטומצטים בקרקע אינו יכול לשמש אינדיקציה לכימות סטרפטומצטים פתוגניים והערכת פוטנציאל האינקולום בקרקע. בנוסף, בחינת כמות סטרפטומצטים טרם חיטוי קרקע בפורמלין ואחריו לא מהווה אינדיקציה ליעילות החיטוי.

## דיון

המחקר הנוכחי דומה בעיקרו למחקרים קודמים במטרתו העיקרית שמנסה לאפיין את פיזור מחולל מחלת היבללת באגא"ד ולבודד את הגורמים שמשפיעים על יעילות ההדברה. מאידך, הכלים בהם השתמשנו שונים ממחקר רגיל, שכן, השתמשנו בכלים גיאוגרפיים על מנת להקיש מהכלל אל הפרט ולא להיפך. הכלים בהם עבדנו כללו בניית מסד נתונים גדול אשר כולל אוסף נתונים מנקודות דגימה רבות שהוצבו במספר רב של שדות. ניתוח התוצאות כלל כלים גיאוגרפיים, ניתוח תיאורי וניתוח סטטיסטי וגיאוסטטיסטי.

### 1. מאפיינים מרחביים באילוח קרקעות במחוללי מחלת היבללת והרשת

#### ניתוח מרחבי של פיזור מחלת היבללת בחלקה בודדת

מקבצים של תחלואה במחלות קרקע בהיקפים שנמצאו בעבודה זו, ושעור התחלואה הגבוה בחלק מהחלקות (איור מס' 7), מעידים על התבססות של הפתוגן בקרקע בקטעי שטח גדולים. מתוך הניתוח הגיאוסטטיסטי והאיכותי נראה כי התחלואה בנקודות הדגימה שקרובות להיקש היא בערכים דומים, אך התחלואה על פני כל החלקה שונה ומתחלקת למקבצים בהם שיעור התחלואה שונה. ממצאים אלה מצביעים כי פיזור המחלה שונה בכל חלקה ומחייב קביעת רדיוס מקסימאלי לאזור הדגימה מחלקות ההיקש. כך לדוגמא, בחלקה 13 בכרם שלום, על נקודות הדגימה להיות ברדיוס של עד כ-100 מטר מנקודות ההיקש (איור מס' 8) כדי להעריך את יעילות החיטוי מהימנה. בנוסף, יש צורך בדיגום של כלל החלקה תוך הקפדה על היקשים בתחום הרדיוס שצוין לעיל על מנת לבחון מהימנה את הפוטנציאל של יעילות החיטוי בכל החלקה. באפיון מרחבי של רקבון גבעולים הנגרם על ידי *Sclerotium rolfsii* בגידול אגא"ד בצפון קרוליינה שבוצע בחלקות קטנות (Shew et al., 1984) בחלקה אחת התקבלה תחלואה גבוהה (32%) ונראה כי ישנם שני מקבצים בהם התחלואה גבוהה ומתפרסת על רוב החלקה. ההבדל העיקרי בין התחלואה שנמצאה במחקר הני"ל למחקר שלנו הוא כי שיעור התחלואה ביבללת היה הרבה יותר גבוה והתפזר על פני כל החלקה בעוצמות תחלואה שונות ומקובצות.

#### ניתוח מרחבי של פיזור המחלה ברמה האיזורית: הקשר בין המיקום הגיאוגרפי של החלקה וסוג

#### הקרקע לתחלואה במחלת היבללת והרשת

ניתוח מרחבי של פיזור התחלואה ביבללת וברשת ברמה אזורית מאפשר איתור מוקדי תחלואה אזוריים וחלקות שבהן שיעור התחלואה מחייב ישום אמצעי הדברה מתאים. בנוסף, מיפוי התחלואה ברמת האזור מאפשר ניהול ממשק הדברה כלל אזורי בו ניתן לקבוע ביתר מהימנות באיזו חלקה הכרחי לחטא לעומת אזורים בהם החיטוי אינו נחוץ. זאת ועוד, ניתוח מרחבי של התחלואה ברמה אזורית עשוי להסביר גורמים המשפיעים על התפתחות המחלה בתנאי הסביבה השונים.

במחקר זה מצאנו כי שכיחות התחלואה ביבללת גבוהה באופן מובהק בתת-אזור מס' 1 ונמוכה באופן מובהק בתת-אזור מס' 4 (איור מס' 13). ממצאים אלה מרמזים כי קיימים גורמים אזוריים (קרקע וסביבה) אשר משפיעים על כושרו של מחולל המחלה להתעצם באזור אחד לעומת אזורים אחרים. הבדל בולט בין תת-אזור מס' 1 לעומת תת-אזור מס' 4 הנו מרקם הקרקע החולי

שמאפיין את תת אזור מס' 1 בהשוואה לקרקע לס כבדה יותר בתת-אזור מס' 4. בנייתו הגיאוסטטיסטי ישנה מגבלה בזיהוי מקבצים כאשר אופן הדיגום של נקודות הדגימה במרחב אינו מתאים לניתוח עצמו. כך לדוגמה נמצא בנייתו הגיאוסטטיסטי כי תת-אזור מס' 5 לא נבדל בשיעור התחלואה ביבלת מהאזורים האחרים, למרות שעל פי מפת התחלואה שיעור התחלואה ביבלת היה נמוך בדומה לתת-אזור מס' 4. הסיבה לכך היא המרחק הגיאוגרפי של תת-אזור מס' 5 מהאזורים האחרים ומספר נקודות הדגימה הנמוך באזור זה. למרות מגבלות אלה ניתן לומר כי שיעור התחלואה באזור זה נמוך יותר בהשוואה לתת-אזור מס' 1 וזאת על בסיס הניתוח האיכותי (איור מס' 13A). אזור מס' 5 מתאפיין בקרקעות כבדות יותר בהשוואה לתת-אזור מס' 1 תוצאה המתאימה להבדלים שמצאנו בין תת אזור מס' 1 ותת-אזור מס' 4.

תת-אזור מס' 2 מאופיין ברובו גם כן בקרקע חולית. מאידך, שיעור התחלואה ביבלת בחלקות לא מחוטאות היה נמוך יותר בהשוואה לשיעור התחלואה בחלקות לא מחוטאות בתת-אזור מס' 1. הסבר לכך ניתן למצוא בהיסטוריה הארוכה של גידול אגוזי אדמה בתת-אזור מס' 1 בהשוואה לאזורים אחרים (ראה להלן). תחלואה גבוהה ביבלת באזור מס' 2 התקבלה רק בחלקה אחת, "קרני", בה שיעור התחלואה ביבלת היה גבוה (>60%) (איור מס' 5A). שיעור התחלואה הגבוה בחלקת "קרני" מעיד על הפוטנציאל של המחלה להתפרץ גם בתת-אזור זה.

תת-אזור מס' 3 מהווה אזור חייץ בין תת אזור מס' 1 ל-4 ומאופיין בקרקעות חוליות ובצידן קרקעות כבדות יותר. הניתוח הגיאוסטטיסטי של שיעור התחלואה ביבלת באזור זה אינו מצביע על כל מגמה לגבי שיעור התחלואה. במחקר שבחן את אופן הפיזור של מחלת הדוררת במטעי זיתים בחבל גרנדה שבספרד באמצעות מיפוי ואינטרפולציה על ידי Kriging נמצא כי אופן הפיזור של המחלה הנו מקובץ ושכיחות מחלת הדוררת גבוהה יותר בשתי אזורים צפוניים בהשוואה לאזורים הדרומיים יותר (Rodriguez *et al.*, 2009). לטענת החוקרים הסיבה להבדלים שנמצאו בתחלואה בדוררת בין האזורים השונים נובע מהתבססות ממושכת של הפתוגן באזורים הללו ושלל גורמים נוספים.

סיכום הממצאים מהניתוח הגיאוסטטיסטי האזורי מצביע כי מחלת היבלת באגא"ד מתעצמת בקרקעות הקלות ולא בקרקעות הכבדות. עם זאת הפוטנציאל לתחלואה בקרקעות כבדות קיים כפי שנמצא במספר חלקות בעבודה זו. ככל הנראה קיימים גורמים משפיעים נוספים מעבר להרכב המכני של הקרקע. בעבודות רבות נמצא כי סטרפטומצטים שמחוללים את מחלת הגרב המצוי בתפוא"ד מושפעים מאוורור הקרקע וכי ניתן לצמצם את חומרת התחלואה באמצעות משטר השקיה מתאים (Lapwood *et al.*, 1973). יתכן כי התפתחות היבלת באגא"ד בקרקעות הקלות הנה בשל האוורור הטוב יותר בקרקעות החוליות והבדלים במאזן המינרליים בקרקע בין הקרקעות השונות.

שיעור התחלואה במחלת הרשת בכל אזור המחקר היה נמוך (9%) בהשוואה למחלת היבלת. למרות זאת נמצאו הבדלים בין האזורים השונים בשיעור התחלואה (איור מס' 14). נראה כי תפוצת מחלת הרשת הייתה הפוכה ממחלת היבלת. שיעור התחלואה ברשת בתת-אזור מס' 1 היה נמוך בעוד שבתתי אזורים מס' 4 ו-5 שיעור התחלואה היה גבוה. שיעור התחלואה הגבוה נבדל אך ורק בתת-אזור מס' 4; תת-אזור מס' 5 לא נבדל סטטיסטית בשל המפורט לעיל אך ההבדלים נראים במפת התחלואה (איור מס' 14). מכאן כי התנאים שמעודדים את התפתחות מחלת היבלת אינם מעודדים את התפתחות מחלת הרשת ונראה כי מחלת הרשת מתפתחת טוב

יותר בקרקעות כבדות ולא קרקעות חוליות. מחלת הרשת נגרמת ככל הנראה באמצעות קומפלקס של אקטינומיצטים (Ben Yephet *et al.*, 1991). בקרקעות הכבדות בשל שטחי הפנים של חלקיקי הקרקע יש יותר פעילות של מיקרואורגניזמים בהשוואה לקרקעות חוליות. יתכן כי הקומפלקס שגורם להופעת מחלת הרשת מתפתח בעיקר בקרקעות בהן יש מצע מתאים להתפתחות כלל המיקרואורגניזמים המעורבים.

#### פיזור מחלת הפוזריום

שיעור התחלואה הממוצע בכל אזור המחקר בפוזריום היה 8.3%. תפוצת מחלת הפוזריום נבדלה בין האזורים השונים ובניתוח הגיאוסטטיסטי נמצא כי תת-אזור מס' 4 מהווה מקבץ בו התחלואה הייתה גבוהה באופן מובהק ביחס לשאר אזור המחקר (איור מס' 15). נראה כי בתת-אזור מס' 4 ישנם גורמים אשר מעודדים את התפתחות הפוזריום באגא"ד. הבדלים אלו יכולים לנבוע מהרכב הקרקע, הבדלים במחזור הגידולים או אגרוטכניקה שונה. הגורמים שמשפיעים על התחלואה בפוזריום ומחלת הרשת שונים, ככל הנראה, מאילו המשפיעים על התחלואה ביבלת כפי שהדבר משתקף בממצאים של הניתוח האזורי. נתונים אלה יכולים לשמש בחקר הגורמים המשפיעים על התפרצות התחלואה במחלות אלה. שיעור התחלואה המשמעותי בפוזריום מצביע על הסיכון של מחולל מחלה זו ועל הסיכון בהתפרצות פוזריום בגידול אגוזי אדמה, אשר עלול להיות מגבלה בגידול אגוזי אדמה.

#### **2. השפעת מאפיינים אגרוטכניים על תחלואת תרמילי אגא"ד**

נמצא כי למספר הגידולים הקודמים של תפוא"ד ואגא"ד השפעה רבה על התעצמות מחלת היבלת בתרמילים בקרקע. נמצא כי *Streptomyces scabies* אשר גורם לתחלואה באגא"ד גורם גם כן לתחלואה של תפוא"ד (Kritzman *et al.*, 1996) ולכן בהתאם לממצאים נראה כי למספר הגידולים הקודמים של תפוא"ד ואגא"ד השפעה ישירה על התעצמות מחלת היבלת בקרקע. מניתוח השפעת מספר הגידולים הקודמים של תפוא"ד ואגא"ד על שיעור התחלואה במחלת היבלת והרשת נמצא כי הקשר בין מספר הגידולים הקודמים לשיעור התחלואה במחלת היבלת אינו דומה בכל תתי-האזורים (איור מס' 17). קשר בין מספר הגידולים הקודמים של תפוא"ד ואגא"ד לשיעור התחלואה ביבלת נמצא בעיקר בתת-אזור מס' 1. לפיכך, נראה כי בתתי האזורים האחרים ישנם גורמים המגבילים את התעצמות גורם המחלה בקרקע, כשהגורמים הללו אינם מתקיימים בתת-אזור מס' 1, כפי שצוין בפרק הראשון. מאידך, נמצאו בתת-אזור מס' 1 גם חלקות יוצאות דופן בהן שיעור התחלואה היה נמוך למרות מספר רב של גידולי תפוא"ד ואגא"ד טרם הגידול הנוכחי. הסבר לכך נעוץ אולי בגורמים אשר הפחיתו את אילוח הקרקע בחלקות אלה.

#### השפעת מינרלים על התחלואה ביבלת בקרקעות שונות

ביפן נמצא כי קרקעות אנדוסול אלופניות מעודדות תחלואה בגרב בתפוא"ד, בעוד שקרקעות אנדוסול שאינן מוגדרות אלופניות הן סופר סיביות למחולל מחלת הגרב (Mizuno *et al.*, 1998). נראה כי הגורם העיקרי להבדלים בשיעור התחלואה בגרב המצוי בתפוא"ד בין הקרקעות השונות היה בשל כמות האלומיניום הזמין בקרקע, שהיה גבוה בקרקעות סופר סיביות (Mizuno *et al.*, 1998). נמצא גם כי למנגן ול-pH הקרקע השפעה על התפתחות גרב בתפוא"ד (Lazarovitz *et al.*, 1998).



2007). יתכן כי בקרקעות באזור מס' 4 יש יותר מנגן בקרקע, גורם המשפיע על התפתחות מחלת היבללת ומונע את התעצמותה. כמו כן, נמצא קשר בין יחס K:Mg לשיעור התחלואה דבר שנבדק אף הוא במחקר זה (Lazarovitz et al., 2007). בעבודה זו מצאנו בהשוואה בין קרקע חולית לקרקע חול-לס כי ישנו קשר בין היחס K:Mg לשיעור התחלואה ביבללת בקרקע חול-לס מניר עוז בלבד (איור מס' 18). הקשר שנמצא בקרקע הכבדה יותר יכול להסביר חלקית את התוצאות שהתקבלו בניתוח המרחבי בהן נראים הבדלים בין תתי האזורים השונים הנבדלים בהרכב הקרקע. ההשערה הינה כי בקרקע ניר עוז ישנם תנאים, ביניהם מאזן מינרלים, אשר משפיעים על שיעור התחלואה ביבללת ומהווים גורם מגביל להתבססות המחלה, בעוד שבקרקע חולית בה תכולת החרסית נמוכה, התנאים הללו לא מתקיימים או שהשפעתם על התפתחות המחלה לא מגבילה את התבססות גורם המחלה בקרקע. בניסוי דומה אשר נעשה על התפתחות מחלת הגרב בתפוא"ד התקבלו תוצאות דומות שאפיינו את הקשר שבין מאזן המינרלים בקרקע להתפתחות המחלה בקרקעות שונות (Lazarovitz et al., 2007).

### 3. השפעת חיטוי קרקע בפורמלין על תחלואת תרמילים ביבללת ורשת

יעילות החיטוי בהדברת מחלת היבללת השתנתה בין החלקות השונות. בחלק מהחלקות הושגה הדברה יעילה ללא קשר לתחלואה בחלקות ההיקש, לעומת יעילות חלקית של החיטוי בהדברת גורם המחלה בחלקות אחרות והיעדר הדברה במספר חלקות אחר. בתת אזור מס' 1 בולטת מאוד היעילות הנמוכה של החיטוי בפורמלין, אך נראה כי היעילות הנמוכה בחיטוי גם מתקיימת בתתי-האזורים האחרים, אם כי בעוצמה נמוכה יותר.

בתת אזור מס' 3 נראה כי החיטוי לא היה יעיל בהדברת מחלת היבללת אך הדביר ביעילות את מחלת הרשת (איור מס' 23). נראה כי ישנם גורמים המשפיעים על יעילות הפורמלין בהדברת מחלת היבללת ופוגמים ביעילות החיטוי רק בחלקות מסוימות ללא קשר לאזור הגיאוגרפי. למרות מסקנה זו נראה כי אזור מס' 1 הנו האזור המתאים יותר למציאת הגורמים הללו בשל שיעור התחלואה הגבוה במחלת היבללת באזור זה.

### השפעת מספר החיטויים הקודמים בפורמלין על יעילות החיטוי הנוכחי

מספר הגידולים הקודמים של תפוא"ד ואגא"ד לא פגם ביעילות החיטוי בפורמלין בגידול הנוכחי. כמו כן, לא נמצא קשר מובהק בין מספר החיטויים הקודמים ליעילות החיטוי. במרבית החלקות הושגה יעילות חיטוי טובה גם בחלקות עם היסטוריה של חיטויים קודמים בפורמלין. עם זאת, הממצאים מצביעים על סבירות לפחיתה ביעילות החיטוי בחלקות שבהן בוצעו בעבר מספר חיטויים בפורמלין. התופעה האחרונה בלטה בעיקר בחלקות באזור החול בדרום גזרת הניסויים (גוש ניר יצחק - כרם שלום). מכאן ניתן להניח שישנם שני סוגי חלקות: האחד בו יעילות החיטוי יורדת ככל שמספר החיטויים גדל. השני בו למרות ביצוע שני חיטויים קודמים, יעילות החיטוי עדיין גבוהה (איור מס' 26). מקרה בו ישום חוזר של חיטויי קרקע הביא לירידה ביעילות החיטוי תואר בעבר במתאם-סודיום (Di Primo et al., 2003). במחקר זה הראו כי ישום חוזר של התכשיר גורם לירידה ביעילותו עקב פירוק מואץ. במחקר זה לא נמצא קשר מובהק בין ישום חוזר של פורמלין לירידה ביעילותו, אם כי אין לשלול אפשרות זו.

#### 4. השפעת אמצעי היישום על יעילות החיטוי בהדברה של יבללת ורשת

נמצא כי מינון התכשיר, סוג אמצעי ההשקיה לפיזור תכשיר החיטוי, ותיחוח הקרקע לפני ביצוע החיטוי, תורמים כל אחד בנפרד להגברת יעילות החיטוי. לא נמצאה השפעה למועד החיטוי על יעילות ההדברה של התחלואה ביבללת (איור מס' 38). הגדלת המינון (300 ליטר/דונם ו-400 ליטר/דונם) שיפרה את יעילות החיטוי ברוב המקרים עד לערכים של 20% (איור מס' 27). באמצעי ההשקיה השונים שנבדקו (קונוע חזיתי, קונוע מחוגי וממטרות) נמצא שבחיטוי באמצעות קונוע, אחידות הפיזור של הפורמלין הייתה טובה יותר (איור מס' 32) ונתנו תוצאות הדברה טובות יותר, הן מבחינת הממוצע של חלקות שונות (איור מס' 28) והן באותה חלקה (איור מס' 34). תיחוח הקרקע טרם החיטוי גורם לאחידות במרקם הקרקע וחדירה טובה יותר של חומר החיטוי כך שיעילות החיטוי הייתה גבוהה יותר ברוב המקרים (איור מס' 37). הכנת הקרקע ופיזור חומר החיטוי באופן אחיד לקרקע בעלי חשיבות מרובה בהצלחת החיטוי (Gamliel, 2005). מכאן כי שילוב של תיחוח הקרקע טרם החיטוי, מינון גבוה של פורמלין (300 ליטר/דונם) וחיטוי בקונוע יכולים להוות את ההבדל בין הדברה מוצלחת לבין הדברה בינונית בחיטוי קרקע להדברת מחלת היבללת באגא"ד. אמצעי היישום והכנת הקרקע לא יכולים להסביר מקרים בהם ישנה תחלואה גבוהה ביבללת למרות ביצוע חיטוי קרקע כפי שנמצא במספר חלקות. בחלקות אלה מתקיימים מנגנונים אחרים אשר משפיעים על התחלואה ועל יעילות החיטוי.

#### 5. בחינת הסיבות האפשריות לתחלואה הרבה באזור מס' 1 למרות ביצוע חיטוי בפורמלין.

הממצאים שהתקבלו מצביעים כי בתת-אזור מס' 1 קיים גורם משפיע נוסף אשר פוגם ביעילות החיטוי ושאינו קשור לאופן היישום. מניסוי שהתבצע בחלקה 20 (כרם שלום) נראה כי למרות שהחיטוי התבצע באמצעים המיטביים (קונוע, מינון גבוה ותיחוח טרם החיטוי) לא הייתה הדברה של גורם המחלה כלל ושיעור התחלואה היה גבוה בדומה להיקש (איור מס' 39). גם בחלקה 1313 בוצע החיטוי באמצעים המיטביים (קונוע, מינון 300 ל/דונם ו-225 ליטר/דונם), אך בפועל התקבלה הדברה חלקית של מחלת היבללת (איור מס' 39). גם במקרה זה לא ניתן ליחס את היעילות הבינונית בחיטוי לאמצעי היישום ונראה כי גורם אחר הביא ליעילות הבינונית בחיטוי. למרות שבמרבית המקרים והחלקות בהם בוצע המחקר לא נמצא קשר בין מספר החיטויים הקודמים ליעילות ההדברה, חוסר היעילות בהדברה בחלקות אלה באזור זה יכול לנבוע מפירוק מואץ של פורמלין. באפיון של קרקעות בהן מתרחש פירוק מואץ של מתאם סודיום נמצא כי יש הבדל בין קרקעות שונות וקצב הפירוק של מתאם סודיום בהן (Triky-Dotan *et al.*, 2007). יתכן שבדומה לפירוק מואץ של מתאם סודיום מתרחש תהליך דומה בפורמלין. בנוסף, נראה שישנה מגמה בין ישום חוזר של פורמלין ליעילות החיטוי אך היא אינה מתקיימת בכל החלקות. יתכן גם כי יש השפעה לזמן שעובר בין היישום הראשון ליישום החוזר כך שהאוכלוסייה המיקרוביאלית המפרקת דועכת עם הזמן. פירוק של פורמלדהיד מתואר בספרות באמצעות חיידקים מתילו-טרופיים כאשר חיידקים אלו נמצאים בתנאי סביבה רבים, ביניהם הקרקע וסביבת הצמח (Vorholt, 2002). מתואר כי יש כחמשה מסלולים מטבוליים שונים בהם פורמלדהיד עובר תהליך חמצון לפחמן דו חמצני. חוקר אחר הראה כי חיידק העמיד לפורמלדהיד ומקורו בים מפרק פורמלדהיד במספר שעות כאשר ריכוז הפורמלדהיד במצע הינו 200 ppm (Yamazaki *et al.*, 2001). לפיכך, יתכן כי ישנם חיידקים בקרקע המסוגלים לנצל את הפורמלדהיד כמקור פחמן

וגורמים לתופעת פירוק מואץ של החומר, הפוגמת ביעילות ההדברה שלו. השערה נוספת, אך נראית פחות סבירה, היא שגורם המחלה *Streptomyces scabies* עצמו פיתח עמידות לפורמלדהיד ולכן החומר אינו קוטל את גורם המחלה.

שיטת העבודה בה נקטנו בעבודה זו הנה בשל התוצאות שהתקבלו בניסויים בחלקות בודדות אשר בוצעו טרם עבודה זו (מידע שבעל פה -גמליאל וחבריו). תוצאות הניסויים לא אפשרו לאפיין את התמורה של כל גורם בנפרד מכלל הגורמים המשפיעים על יעילות החיטוי בפורמלין. בניסויים ברמת חלקה בודדת שמתוצאותיה מקישים לאחר מכן לכלל, ישנה מגבלה כאשר מתקיימים גורמים המשתנים במרחב מעבר לגבולות החלקה. במקרים הללו תוצאות שמתקבלות בחלקה אחת עלולים לא להיות תקפים בחלקות אחרות. מאידך, הסתכלות מרחבית רחבה שבה אנו מגדירים חלקות המאפיינים את הגורמים השונים המשפיעים על יעילות החיטוי ופיזור התחלואה מאפשרים לבחון את כלל הגורמים הקיימים ובכך לאפיין את תמורתה של כל גורם בנפרד. בעבודה זו הצלחנו לאתר ולאפיין את התמורה של כל אחד מהגורמים השונים ליעילות החיטוי בפורמלין להדברת מחלת היבלת והרשת. ממצאי המחקר אכן מאששים כי לא היה ניתן לאפיין את תמורתם של הגורמים השונים שנמצאו במחקר בניסויים ברמת החלקה הבודדת.

ממצאי עבודה זו מציבים שאלות חשובות להמשך מחקר בסיסי ויישומי כאחד:

1. מהם הגורמים אשר מביאים להתעצמות מחלת היבלת בתתי האזורים מסוימים ומה מונע את התעצמות מחלת היבלת באזורים האחרים? האם גורמים ביוטיים או אביוטיים או מאזן הקיים בקרקע?
2. האם וכיצד ניתן להקנות לקרקעות בהן שיעור התחלואה גבוה את התכונות של הקרקעות בהן המחלה לא מתעצמת.
3. מה הגורם בקרקע הפוגם ביעילותו של פורמלין בהדברת מחלת היבלת? האם מתרחש פירוק מואץ בקרקע או שגורם המחלה פיתח עמידות לפורמלין?
4. כיצד משפיע ישום חוזר של פורמלין על התפתחות גורם זה? למה בחלקות מסוימות לא נפגמת יעילות החיטוי בפורמלין למרות מספר יישומים חוזרים.
5. האם ניתן לפתח שיטה בה נוכל לחזות חלקות בהן יעילות החיטוי מוטלת בספק?

תשובות לשאלות האלו ואחרות יקנו כלים להתגבר על הקשיים עמם מתמודד החקלאי כיום בגידול אגא"ד בחבל מעון. בנוסף, תוכן העבודה מהווה בסיס פורה להמשך המחקר אשר יביא לפתרונות שיאשפרו את המשך גידול אגא"ד בחבל מעון.

## סיכום

בעבודה זו בחנו את אופן הפיזור המרחבי של מחלת היבללת ומחלות תרמיל נוספות בגידול אגא"ד בחבל מעון שבנגב המערבי. בנוסף בחנו את הגורמים המשפיעים על הצלחה או כשלון חיטוי קרקע בפורמלין בהדברת התחלואה ביבללת ורשת באגא"ד. הממצאים העיקריים בעבודה זו:

1. נמצא כי פיזור התחלואה במחלת היבללת בחלקות, בהן שעור התחלואה היה רב למרות ביצוע החיטוי בפורמלין, הנו במקבצים שביניהם שיעור התחלואה שונה. בנוסף, במספר חלקות נמצא גרדיאנט בו שיעור התחלואה משתנה לאורך החלקה מערכים נמוכים לערכים גבוהים.

2. פיזור מחלות קרקע באזור חבל מעון בגידול אגא"ד:

- נמצא כי שעור התחלואה במחלת היבללת היה רב יותר משמעותית בתת אזור מס' 1 שבדרום חבל מעון (ניר יצחק, כרם שלום, סופה וחולית) המאופיין בקרקע חולית. שעור תחלואה נמוך במיוחד נמצא בתת אזור מס' 4 שבצפון חבל מעון (נירים, עיה"ש רעים ובארי) בו הקרקע היא לס הנגב הצפוני.

- שעור התחלואה במחלת הרשת היה נמוך בכלל חבל מעון (ממוצע 9%). שעור התחלואה היה גבוה יותר באזור מס' 4 לעומת אזור מס' 1 בו שעור התחלואה ברשת היה נמוך משמעותית.

- פיזור התחלואה של מחלת הפוזריום היה בדומה למחלת הרשת. גם כאן נמצא כי שעור התחלואה היה גבוה בתת אזור מס' 4 ונמוך יותר בתת אזור מס' 1.

3. שעור התחלואה במחלת היבללת באגא"ד היה רב יותר בחלקות בהן גודלו אגא"ד ותפוא"ד בעבר. באזור מס' 1 נמצא קשר בין מספר הגידולים הקודמים של אגא"ד ותפוא"ד לשעור התחלואה ביבללת. לא נמצא קשר בין מספר הגידולים הקודמים של אגא"ד ותפוא"ד לבין שעור התחלואה במחלת הרשת.

4. נמצא קשר בין יחס K:Mg לשעור התחלואה במחלת היבללת בקרקע לס-חול בחלקה בניר עוז. קשר זה לא נמצא בקרקעות חוליות בחלקות של ניר יצחק וחולית.

5. בחלקות בהן חיטוי בפורמלין הדביר ביעילות את מחלת היבללת, פיזור התחלואה השתנה בין חלקה לחלקה. נמצאו חלקות בהן ההדברה הייתה אחידה על פני כל החלקה לעומת חלקות שהתאפיינו בקטעים מסוימים בחלקה בה שעור התחלואה היה גבוה יותר. בחלק מהחלקות ההדברה לא הייתה אחידה על פני כל החלקה. אמצעי היישום העיקרי בחיטוי בחלקות הללו היה ממטרות.

6. חיטוי קרקע בפורמלין הפחית את שעור התחלואה ביבללת ברוב החלקות. בתת אזור מס' 1 נמצאו מספר חלקות בהן שעור התחלואה במחלת היבללת היה גבוה למרות ביצוע חיטוי בפורמלין. חיטוי קרקע בפורמלין הדביר ביעילות את מחלת הרשת ברוב החלקות בכל האזורים ולא נמצאו חלקות בהן שעור התחלואה במחלת הרשת היה גבוה למרות ביצוע החיטוי.

7. לא נמצא קשר בין מספר הגידולים הקודמים הרגישים למחלת היבללת לבין יעילות החיטוי בפורמלין להדברת מחלה זו.

8. לא נמצא קשר מובהק בין יעילות החיטוי בפורמלין למספר החיטויים הקודמים שבוצעו בחלקה. עם זאת, נראה כי השונות ביעילות החיטוי גדלה בחלקות שבהן בוצע בעבר חיטוי בפורמלין ויעילות החיטוי גבוהה כאשר החיטוי מבוצע בפעם הראשונה בחלקה.
9. במרבית החלקות תרמה הגדלת המינון של פורמלין להפחתה נוספת בתחלואת התרמילים ביבלת ורשת בהשוואה לחיטוי במינון המקובל. עם זאת, התרומה להדברה בשל המינון המוגדל לא הייתה מובהקת במרבית החלקות.
10. על בסיס השוואה בין מספר רב של חלקות, נמצא כי יעילות החיטוי בקונוע מחוגי הייתה טובה יותר באופן מובהק בהשוואה לקונוע חזיתי וממטרות. בניסוי בחלקות בודדות נמצא כי אחידות הפיזור של חומר החיטוי בקונוע חזיתי טובה יותר בהשוואה לממטרות. מהשוואה שבוצעה בחלקות בודדות, שיעור ההדברה בחיטוי בפורמלין באמצעות קונוע חזיתי היה גבוה יותר אך לא נבדל סטטיסטית מחיטוי באמצעות ממטרות.
11. תיחוח הקרקע טרם החיטוי תרם להפחתה במחלת היבלת והרשת. תוספת ההפחתה בתחלואה ע"י תיחוח, שלא הייתה מובהקת בכל המקרים, מצביעה על ערך מתוסף (Additive) לפעולת התיחוח בהצלחת ההדברה.
12. לא נמצא הבדל עקרוני בין ביצוע חיטוי קרקע בפורמלין במועדים שונים לפני הגידול. הגורם העיקרי שפגע ביעילות החיטוי במועדים השונים היו גשמים שירדו לאחר ביצוע החיטוי בפורמלין.
13. מביצוע ניסויים בארבע חלקות בתת אזור מס' 1 בעונת 2007 נמצא כי שיעור התחלואה הגבוה במחלת היבלת למרות ביצוע החיטוי, אינו נובע מהשפעות גורמי היישום אלא ממנגנון אחר הפועל בקרקע ופוגם ביעילות חומר החיטוי בהדברת יבלת.
14. נמצא כי כימות אוכלוסיות סטרפטומצטים בקרקע אינו יכול לשמש אינדיקציה לכימות סטרפטומצטים פתוגניים והערכת פוטנציאל האינקולום בקרקע. בנוסף, בחינת כמות סטרפטומצטים טרם חיטוי קרקע בפורמלין ואחריו לא מהווה אינדיקציה ליעילות החיטוי.
- ממצאי עבודה זו עשויים לעזור בשיפור ממשק ההדברה של מחלת היבלת בגידול אגא"ד בנגב המערבי. בנוסף, הממצאים אודות מנגנון הפוגם ביעילות פורמלין בחיטוי קרקע, שאינו קשור לאופן היישום ומקורו בקרקע, מהווים בסיס להמשך מחקר של מנגנון זה ומציאת פתרון לממשק הדברה יעיל למחלת היבלת באגא"ד.

### רשימת ספרות

אלעד, י. 1998. הדברה ביולוגית. מתוך: מחלות צמחים בישראל (בעריכת: רותם, י., י. פלטי, י. בן יפת). עמ' 157 - 166. הוצאת המחלקה לפרסומיים מדעיים, מרכז וולקני, בית דגן.

בן יפת, י., ר. ברוך, ע. היימן, ש. אילוז, 1993. ניסוי חיטוי קרקע בפורמלין (פור דור 37). גן שדה ומשק. 1: 62 - 63.

גמליאל, א., א. פרץ, 2004. הדברת פגעי תרמיל באגוזי אדמה. דו"ח סיכום עונה, הוועדה החקלאית, מו"פ ישובי חבל מעון. 19 עמ'.

גרינשטיין, א., ג. קריצמן, 1991. פרמאלדהיד להדברת מחוללי מחלות קרקע. השדה, כרך ע"א, חוברת ז'. עמ' 1114 - 1117.

גרינשטיין, א., ג. קריצמן, 1992. תכשירי פרמאלדהיד להדברת גורם מחלת הגרב והיבלת. גן שדה ומשק. 5: 60.

דאר, ש. 1989. גידול אגוזי אדמה. שה"מ המחלקה למחשה ותקשורת. תל אביב. 159 עמ'.

וולקני, צ. 1985. מחלות חיידקים בצמחים בישראל. מוסד ויצמן לפירסומים במדע, ירושלים. 380 עמ'.

לוי, ד., ב. גמליאל, ש. ורשבסקי, ח. שוהם, 1992. ירקות פקעת, תפוחי אדמה. מתוך האנציקלופדיה לחקלאות גידול ירקות ב', כרך שישי (ארנון, י., ש. מלר, י.מ. מרגלית וח. ליפשיץ). עמודים 3-59. בהוצאת האנציקלופדיה לחקלאות, תל אביב.

קטן, י. 1998. חיטוי קרקע. מתוך: מחלות צמחים בישראל (בעריכת: רותם, י., י. פלטי, י. בן יפת). עמ' 177 - 183. הוצאת המחלקה לפרסומיים מדעיים, מרכז וולקני, בית דגן.

Beachley, K. G. 1937. Combining heat and formaldehyde for soil treatment. The Pennsylvania State College, School of Agriculture and Experiment Station. 348: 1-18.

Ben Yephet, Y., S. Mhameed and Z. Frank, 1991. Effect of the herbicide ethalfluralin on net blotch disease of peanut pods. Plant Dis. 75: 1123-1126.

Buete, M. K. 1997. Pythium disease. In: Compendium of Peanut Diseases - second edition (Kokalis-Burelle, N., D.M. Porter, R. Rodriguez Kabana, D.H. Smith and P. Subrahmanyam. Eds.). pp. 27-30. The American Phytopathology Society, St. Paul.

Conn, K. L., E. Leci, G. Kritzman, and G. Lazarovits, 1998. A quantitative method for determining soil population of *streptomyces* and differentiating potential potato scab-inducing strains. Plant Dis. 82:631-638.

De Klerk, A., A. Mcleod, R. Faurie, W.J Swart and F.D.N Denner, 1996. Identification and toxin production of *Streptomyces* isolates responsible for common scab in the northern cape province of south africa. Proc. Eur. Assoc. Potato Res. Triennial Conf., 13<sup>th</sup>, Veldhoven, The Netherlands.

Di Primo, P., A. Gamliel, M. Austerweil, B. Steiner, M. Beniches, I. Peretz alon, J. Katan, 2003. Accelerated degradation of metham sodium and dazomet in soil: Characterization and consequences for pathogen control. Crop Prot. 22: 635-646.

Doering Saad, S., P. Kampfer, S. Manulis, G. Kritzman, J. Schneider, J. Zakrzewska Czerwinska, H. Schrempf and I. Barash, 1992. Diversity among *Streptomyces* strains causing potato scab. Appl. Environ. Microbiol. 58: 3932-3940.

Eshel, D., A. Gamliel, A. Grinstein, P. Di Primo and J. Katan, 2000. Combined soil treatments and sequence of application in improving the control of soilborne pathogens. Phytopathology 90: 751-757.

Frank, Z. R., Y. Ben-Yephet, 1997. Pythium diseases. In: compendium of peanut diseases - second edition (Kokalis-Burelle, N., D.M. Porter, R. Rodriguez Kabana, D.H. Smith and P. Subrahmanyam. Eds.). pp. 20-22. The American Phytopathology Society, St. Paul.

Frederic Walker, J., 1975. Formaldehyde. Krieger, New York. P.218.

Gamliel, A., 2005. Behavior of fumigants in soil. Acta Hort. 698: 41-49.

Gamliel, A. and J. Katan, 2005. Disinfestation. In: *Encyclopedia of Soils in the Environment* (Aillel, D., Ed.). pp 394-400. Elsevier, Oxford.

Gamliel, A., S. Triki, M. Austerweil, P. Di Primo, M. Beniches and B. Steiner, 2005. Combined soil fumigants: Synergistic performance and improved yield. *Acta Hort.* 698: 135-139.

Getis, A. and J. K. Ord, 1996. Local spatial statistics: an overview. In: *Spatial Analysis: Modelling in a GIS Environment* (Longley P. and M. Batty, Eds.). pp 269-294. GeoInformation International, Cambridge.

Grinstein, A., G. Kritzman, Y. Riven, I. Peretz Alon and Z. Bar, 1997. Chemical and physical disinfection of peanut pods for improved seed quality. *Crop Prot.*16: 353-357.

Grinstein, A., G. Kritzman, A. Hetzroni, A. Gamliel, M. Mor and J. Katan, 1995. The border effect of soil solarization. *Crop Prot.* 14: 315-320.

Gavassoni, W. L., G. L. Tylka and G. P. Munkvold, 2001. Relationships between tillage and spatial patterns of *Heterodera glycines*. *Phytopathology* 91: 534-545.

Harari, A. R., D. Ben-Yakir, M. Chen and D. Rosen, 2001. Economic injury levels for the scarabaeid *Maladera matrida* infesting peanut fields in Israel. *Entomol. Experiment. Applic.* 98: 79-84.

Jaime-Garcia, R. and P. J. Cotty, 2006. Spatial relationships of soil texture and crop rotation to *Aspergillus flavus* community structure in South Texas. *Phytopathology* 96: 599-607.

Katan, J. 2000. Physical and cultural methods for the management of soilborne pathogens. *Crop Prot.* 19:725-731.



Katan, J., 2002. Interactions of soil borne pathogens with roots and above ground plant organs. In: *Plant Root the Hidden Half - third edition* (Waisel, Y., A. Eshel and U. Kafkafi, Eds.). pp. 949-959. Marcel Dekker Inc., New York.

Kers, J. A., K. D. Cameron, M.V. Joshi, R. A. Bukhalid, J. E. Morello, M. J. Wach, D. M. Gibson and R. A. Loria, 2005. Large mobile pathogenicity island confers plant pathogenicity on *Streptomyces* species. *Mol. Microbiol.* 55: 1025-1033.

Krikun, J. and Z. R. Frank, 1982. Metham sodium applied by sprinkler irrigation to control pod rot *Verticillium* wilt of peanut. *Plant Dis.* 66: 128-130.

Kritzman, G., A. Shani-Cahani, B. Kirshner, Y. Riven, Z. Bar, J. Katan and A. Grinstein, 1996. Pod wart disease of peanut. *Phytoparasitica* 24: 293-304.

Laffan, S. W. 2006. Assessing regional scale weed distribution, with an Australian example using *Nassella trichotoma*. *Weed Research* 46: 194-206.

Lambert, D. H. and R. Loria, 1989. *Streptomyces acidiscabies* sp. nov. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 39: 393-396.

Lapwood, D. H., L. W. Wellings and J. W. Hawkins, 1973. Irrigation as a practical means to control potato common scab (*Streptomyces scabies*): final experiment and conclusions. *Plant Pathol.* 22: 35-41.

Lazarovits, G., 2001. Management of soil borne plant pathogens with organic soil amendments: A disease control strategy salvaged from the past. *Can. J. Plant. Pathol.* 23: 1-7.

Lazarovits, G., J. Hill, G. Patterson, K. L. Conn and N. S. Crump, 2007. Edaphic soil levels of mineral nutrients, pH, organic matter, and cationic exchange capacity in the geocaulosphere associated with potato common scab. *Phytopathology* 97: 1071–1082.

Legge, A. P. and G. W. F. Sewell, 1985. Alternative method of application for formalin in the field. *Grower* 103, 18: 29-31.

Loria, R., R. A. Bukhalid, B. A. Fry, and R. R. King, 1997. Plant pathogenicity in the genus *Streptomyces*. *Plant Dis.* 81:836–846.

Marschner, H., 1990. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Harcourt Brace Jovanovich, Belfast. P. 674.

Melhus, I. E., J. C. Gillman and J. B. Kendrick, 1920. Fungicidal action of formaldehyde. *Agricultural Experiment Station Iowa State College of Agriculture and Mechanic Arts. Research Bulletin* 59: 357-395.

Miyajima, K., F. Tanaka, T. Takeuchi and S. Kuninaga, 1998. *Streptomyces turgidiscabies* sp. nov. *Int. J. Sys. Bacteriol.* 48: 495-502.

Mizuno, N., H. Yoshida, M. Nanzyo and T. Tadano, 1998. Chemical characterization of conducive and suppressive soils for potato scab in Hokkaido, Japan. *Soil Sci. Plant Nutr.* 44: 289-295.

Mueller-Warrant, G. W., G. W. Whittaker and W. C. Young, 2008. GIS analysis of spatial clustering and temporal change in weeds of grass seed crops. *Weed Sci.* 56: 647-669.

Murray, R. A., 1989. Use of formalin as a soil sterilant for control of soil borne diseases of fruit. *Acta Hort.* 255: 73-76.

Rekah, Y., D. Shtienberg and J. Katan, 1999. Spatial distribution and temporal development of *Fusarium* crown and root rot of tomato and pathogen dissemination in field soil. *Phytopathology* 89: 831-839.

Rodriguez, E., J. M. Garcia-Garrido, P. A. Garcia and M. Campos, 2009. Large scale epidemiological study and spatial patterns of *Verticillium* wilt in olive orchards in southern Spain. *Crop Prot.* 28: 46 – 52.

Shew, B. B., M. K. Buete and C. L. Campbell, 1984. Spatial pattern of southern stem rot caused by *Sclerotium rolfsii* in six North Carolina peanut fields. *Phytopathology* 74: 730-735.

Triky-Dotan, S., M. Austerweil, B. Steiner, Y. Peretz-Alon, J. Katan and A. Gamliel, 2007. Generation and dissipation of methyl isothiocyanate in soils following metam sodium fumigation: Impact on *Verticillium* control and potato yield. *Plant Dis.* 91: 497-503.

Tsrer, L., M. Aharon and O. Erlich, 1999. Survey of bacterial and fungal seedborne diseases in imported and domestic potato seed tubers. *Phytoparasitica* 27: 1-12.

Tsrer, L., A. Nachmias, O. Erlich, M. Aharon and M. C. M. Perombelon, 1992. A nine year monitoring study of diseases on potato seed tubers imported to Israel. In: *Advanced Potato Production in Hot Climates : Proceedings of the Symposium.* 24-28 May 1992, Nahal-Oz, Israel( Tsrer, L., A. Nachmias and D. Van der zaag, Eds.). p. 112.

Vorholt, J. A., 2002. Cofactor dependent pathways of formaldehyde oxidation in methylotrophic bacteria. *Arch. Microbiol.* 178: 239-249.

Weltzien, H. C. 1972. Geophytopathology. *Annu. Rev. Phytopathol.* 10: 277-298.

Yamazaki, T., W. Tsugama and K. Sodu, 2001. Biodegradation of formaldehyde by a formaldehyde resistant bacterium isolated from sea water. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 91-93: 213-217.

| עונת גידול    | תת-אזור | גד"ש       | חלקה             | שטח (דונם)     | סוג קרקע    | השקיה            | גידולים קודם     | גידולים ראשים למחלה | מינון פורמולין ליטר/דונם | תיחוח לפני החיטוי |   |
|---------------|---------|------------|------------------|----------------|-------------|------------------|------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|---|
| 2005          | 1       | שכן        | כרם 35           | 280            | חולית       | ממטירים          | חיטה             | 3                   | 300, 225                 | 2                 |   |
|               |         |            | כרם 13           | 160            | חולית       | ממטירים          | חיטה             | 3                   | 225                      | 2                 |   |
|               |         |            | ניר יצחק 24-26   | 240            | חולית       | קונוע חזיתי      | חיטה             | 2                   | 300, 225                 | 1                 |   |
|               |         | שחרור      | חולית ג'         | 220            | חולית       | קונוע חזיתי      | תפוא"ד           | 5                   | 225                      | 1                 |   |
|               |         |            | חולית ה'         | 230            | חולית       | ממטירים          | חיטה             | 2                   | 225                      | 1                 |   |
|               |         |            | סופה ז'          | 260            | חולית       | קונוע חזיתי      | חיטה             | 4                   | 300, 225                 | 2                 |   |
|               | 2       | חלוצה      | רותי 12 ב'       | 450            | חולית       | קונוע מחוגי      | כרב נח           | 2                   | 225, 300                 | 1                 |   |
|               |         |            | תל פרעה 3        | 420            | חולית       | קונוע מחוגי      | חיטה             | 3                   | 225                      | 2                 |   |
|               |         | שחרור      | ל-5              | 160            | חולית       | ממטירים          | חיטה             | 2                   | 225                      | 1                 |   |
|               | 3       | מגן        | מזרח א'          | 310            | חולית       | ממטירים, מכונה   | חיטה             | 3                   | 300, 225                 | 2                 |   |
|               | 4       | נירים      | לס כבד           | 280            | לס כבד      | קונוע מחוגי      | חיטה             | 3                   | 225                      | 1                 |   |
|               |         |            | לס כבד           | 220            | לס כבד      | ממטירים          | חיטה             | 3                   | 225                      | 2                 |   |
|               |         | עין השלושה | לס כבד           | 200            | לס כבד      | ממטירים          | חיטה             | 2                   | 225                      | 1                 |   |
|               |         |            | לס כבד           | 185            | לס כבד      | ממטירים          | חמניות           | 1                   | 225                      | 1                 |   |
|               |         | 5          | מושב הנגב        | מגן מ"ה        | 160         | חולית            | ממטירים          | חיטה                | 2                        | 225               | 1 |
|               | לב הנגב |            |                  | 160            | לס-חול      | ממטירים          | חיטה             | 4                   | 225                      | 1                 |   |
|               | 2006    | 1          | שכן              | כרם 52         | 300         | חולית            | קונוע מחוגי      | חיטה                | 5                        | 225               | 1 |
|               |         |            |                  | כרם 31         | 200         | חולית            | ממטירים          | חיטה                | 6                        | 225               | 1 |
|               |         |            |                  | ניר יצחק 24-26 | 245         | חולית            | קונוע ח, ממטירים | כרב נח              | 4                        | 225, 300, 400     | 1 |
|               |         |            | שחרור            | חולית ח        | 190         | חולית            | ממטירים          | תפוא"ד              | 4                        | 225               | 1 |
| סופה יז       |         |            |                  | 210            | חולית       | קונוע חזיתי      | תפוא"ד           | 5                   | 225                      | 1                 |   |
| 2             |         | חלוצה      | קרני             | 300            | חולית       | ממטירים          | תפוא"ד           | 6                   | 225                      | 1                 |   |
|               |         |            | רותי 12 ד'       | 450            | חולית       | קונוע מחוגי      | תפוא"ד           | 5                   | 225                      | 1                 |   |
|               |         |            | רונית            | 300            | חולית       | ממטירים          | כרב נח           | 4                   | 225                      | 1                 |   |
|               |         |            | תל פרעה 5        | 300            | חולית       | קונוע מחוגי      | תפוא"ד           | 5                   | 225                      | 1                 |   |
|               |         | מגן        | מגן מזרח א       | 200            | חולית       | ממטירים          | חיטה             | 2                   | 225                      | 2                 |   |
| 3             |         | ניר עזה    | מגן ישן          | 270            | לס-חול      | קונוע חזיתי      | חיטה/גאופיט      | 1                   | 225                      | 2                 |   |
|               |         |            | לס כבד           | 260            | לס-חול      | ממטירים          | צנונית           | 3                   | 225                      | 1                 |   |
|               |         |            | לס כבד           | 260            | לס-חול      | קונוע חזיתי      | תפוא"ד           | 5                   | 225                      | 1                 |   |
|               |         |            | לס כבד           | 200            | לס-חול      | ממטירים          | כרב נח           | 3                   | 225                      | 1                 |   |
|               |         |            | קונוע ח, ממטירים | 260            | לס-חול      | קונוע ח, ממטירים | כרב נח           | 3                   | 225                      | 1                 |   |
|               |         | 4          | נירים            | נירים 35       | 280         | לס כבד           | קונוע מחוגי      | חיטה                | 1                        | 225               | 1 |
| נירים מזרח ב' |         |            |                  | 206            | לס כבד      | קונוע חזיתי      | בטטה             | 2                   | 225                      | 1                 |   |
| נירים מזרח ב' |         |            |                  | 124            | לס כבד      | קונוע חזיתי      | חיטה             | 1                   | 225                      | 1                 |   |
| עין השלושה    |         |            | לס כבד           | 160            | לס כבד      | ממטירים          | מלון             | 2                   | 225                      | 1                 |   |
| 5             |         | מושב הנגב  | בארי 31          | 100            | לס כבד      | ממטירים          | תפוא"ד           | 3                   | 225                      | 1                 |   |
|               | י"ז     |            |                  | לס כבד         | ממטירים     | חיטה, פטרוזיליה  | 1                | 225                 | 1                        |                   |   |
|               | מ"ד     |            |                  | לס כבד         | ממטירים     | חיטה             | 1                | 225                 | 1                        |                   |   |
|               | ל"ג     |            |                  | לס כבד         | קונוע חזיתי | חיטה             | 1                | 225                 | 1                        |                   |   |
| 2007          | 1       | שכן        | כרם 20           | 240            | חולית       | קונוע חזיתי      | תפוא"ד           | 7                   | 225, 300                 | 1                 |   |
|               |         |            | כרם 25           | 190            | חולית       | ממטירים          | כרב נח           | 7                   | 225, 300                 | 2                 |   |
|               |         |            | כרם 54           | 300            | חולית       | קונוע מחוגי      | תפוא"ד           | 5                   | 225                      | 1                 |   |
|               |         |            | ניר יצחק 1313    | 240            | חולית       | ממטירים          | כרב נח           | 7                   | 225, 300                 | 1                 |   |
|               |         |            | ניר יצחק 1185    | 220            | חולית       | קונוע ח, ממטירים | תפוא"ד           | 4                   | 225, 300                 | 1                 |   |
|               |         |            | סופה א'          | 110            | חולית       | ממטירים          | חיטה             | 6                   | 225                      | 1                 |   |

נספח מס' 1- טבלה מסכמת: תת אזור, שם חלקה, מגדל, דונם, סוג קרקע, אמצעי יישום, גידול אחרון, מס' גידולים של תפוא"ד ואגא"ד קודמים, מינוני פורמולין בחיטוי, הכנת הקרקע. \* - סימון של (1) ללא תיחוח טרם החיטוי, (2) תיחוח טרם החיטוי.

The present findings of this study throw new light on the spatial distribution of Podwart disease in the Western Negev which can be used to develop a regional pest management program. Also, the findings of a new factor in the soil that causes the decline of formalin's efficacy in the control of Podwart disease should be further studied to provide an efficient solution to ensure peanut crop health.

8. Fumigation with formalin was efficient Podwart distribution varied between plots. In some plots disinfestation of Podwart disease was uniformly through out the whole plot. In other plots disinfestation efficacy was low in specific parts of the field or varied through out the whole field. In Plots were disinfestation varied through out the whole field fumigation was mainly applied through sprinklers.
9. Fumigation with formalin effectively controlled Podwart disease in most fields. In a number of fields In sub-region No.1 Disease incidence was high despite soil disinfestation. Soil disinfestation effectively controlled Netbloch in all sub regions.
10. No relations were found between the number of former potato and peanut crops grown in the field to Soil fumigation efficacy.
11. The number of previous soil disinfestations did not hinder fumigation efficacy.
12. Higher doses of formalin applied at fumigation had an additive affect on the efficacy of Podwart control.
13. Comparison of different irrigation systems in chemigation with formalin: fumigation applied through moving lines gave better results compared to sprinklers.
14. Soil preparation with rototilling before fumigation improved disinfestation and control of Podwart disease.
15. Application of formalin in different seasons (temperatures) did not have an affect on disease control.
16. Results of additional experiments which were carried out in sub region No.1 showed that there could be another factor that is involved in the reduction of the efficacy of formalin and is not connected to the application measures.
17. Enumeration of the total amount of streptomycetes in soil by the classical soil dilution method is not a practical tool for assessing streptomycetes in soil nor is it a tool to asses the efficacy of fumigation.

## Summary

In this research we studied the spatial distribution of diseases of peanut pods. Also, we examined the possible factors which ameliorate the efficacy of formalin fumigation on the control of peanut podwart and netblotch. The main findings of this study are:

1. The spatial distribution of Peanut podwart within a single field is uneven and in a clustered pattern. These findings were evident in fields where peanut podwart incidence was high despite formalin fumigation.
2. Spatial distribution of soilborn pathogens in peanut crop grown in the Maon region:
3. Peanut podwart appears in almost all plots and disease incidence and severity is high. Podwart incidence is significantly higher in sub region No.1 located in the far southern part of the region and significantly lower in sub region No.4 in the far northern part of the region. The soils in Sub region No.1 are sandy soils, soils in sub region No.4 are clay..
4. Incidence of pod Netblotch in peanuts was lower than peanut Podwart and it seems that this disease is not a major concern in the Maon region. Although incidence of pod Netblotch was relatively low, differences were found among regions. Netblotch incidence was lowest in sub region No.1 and highest in sub region No.4 (opposite to Podwart disease).
5. Incidence and distribution of Fusarium disease in pods was similar to Netblotch (disease incidence was low significantly in sub region No.1 and high significantly in sub region No.4).
6. Incidence of Podwart was higher in fields with history of previous peanut and potato crops. In sub region No.1 significant correlation was observed between Podwart incidence and the number of previous crops of peanuts and potatoes. No relation was found between Netblotch incidence and the number of previous potato and peanut crop.
7. A correlation was established between the K:Mg ratio in soil to Podwart disease incidence in loamy soil from Nir-Oz. This correlation was not evident in sandy soils from Nir-yithak

This work was carried out under the supervision of:

Dr. Abraham Gamliel,  
Laboratory for Research on Pest Management Application,  
Institute for Agricultural Engineering, Agricultural Research  
Organization Volcani Center, Bet Dagan

Dr. Yafit Cohen,  
Department of Sensing, Information and Mechanization  
Engineering, Institute for Agricultural Engineering, Agricultural  
Research Organization Volcani Center, Bet Dagan



**Spatial distribution and control of soilborne diseases  
in ground nuts grown in the western region of the  
Negev**

**M.Sc.Thesis**

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

**By**

**Harel Caduri**

**Rehovot**

**September 2009**

**Spatial distribution and control of soilborne diseases  
in ground nuts grown in the western region of the  
Negev**

**M.Sc.Thesis**

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

**By**

**Harel Caduri**

**Rehovot**

**September 2009**