

דוח לתכנית מחקר מספר 458-0394-08

פיתוח מערכת תומכת החלטה לתכנון מחזור גידולים והדברת מחלות קרקע
בגידולי שלחין

Development of Decision Support System for planning field crop
rotation and control of soil-borne diseases

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות
ע"י

הנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני	אמוץ חצרוני
הגנת הצומח, מינהל המחקר החקלאי, גילת	לאה צרור
הנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני	יפית כהן
גידולי שדה, מינהל המחקר החקלאי, גילת	דוד בונפיל
ישובי חבל מעון	אורי זיג
ישובי חבל מעון	ורשבסקי שמעון

Amots Hetzroni, Agricultural Engineering, ARO, Volcani center,
P.O.B. 650250 Bet-Dagan. E-mail: amots@volcani.agri.gov.il

Leah Tsrur, Phytopathology, ARO, Gilat Research Center,
Mobile Post Negev 85280. E-mail: tsror@volcani.agri.gov.il

Yafit Cohen, Agricultural Engineering, ARO, Volcani center,
P.O.B. 6 Bet-Dagan 50250. E-mail: yafitush@volcani.agri.gov.il

David Bonfil, Field Crops Unit Gilat Research Center, Mobile
Post Negev 85280. E-mail: bonfil@volcani.agri.gov.il

Uri Zig, Hevel Maön Enterprises, E-mail: uriz@yaham.co.il

Shimon Warshavsky, Hevel Maön Enterprises, E-mail:
shimon_v@yaham.co.il

יולי 2009

תמוז תשס"ט

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.
הניסויים מהווים המלצות לחקלאים: כן/לא מחק את המיותר

חתימת החוקר

תקציר

מחזור הגידולים המקובל באזור הנגב המערבי (תפוחי אדמה, אגוזי אדמה, גזר ועוד) מתאפיין בגידול תכוף של גידולים אשר רגישים לגורמי מחלות שוכני קרקע שחלקם פוגעים ביותר מגידול אחד. מחלות אלו מהוות בעיה קשה להתמודדות בתנאים של חקלאות אינטנסיבית במגבלות של מחזורי גידול צפופים וממשק של גידולים הרגישים לאותם פתוגנים ששורדים בקרקע לפרקי זמן ארוכים (חלקם עד 15 שנים). הנגיעות בגורמי מחלות גורמת לפחיתת יכולת פגיעה באיכות התוצרת המשווקת ומכאן נזק כלכלי משמעותי.

המטרה הכוללת של המחקר היא פיתוח מערכת תומכת החלטה לתכנון מחזור גידולים חטויי קרקע בגידולי שלחין בנגב הצפוני.

שיטות העבודה העיקריות כללו איסוף נתוני ארכיון; עיגון גיאוגרפי של נתונים טבלאיים; מעקב אחרי מכוונת אסיף; דגימות חומר צמחי ובדיקות מעבדה; והשוואת תוצאות בין שתי שיטות דגימה. פיתוח מודל מערכת תומכת החלטה. בחירה והתאמת פרמטרים, בניית מודל, לקט נתונים רלוונטיים ובחינת המודל.

נבנה מאגר מידע אליו יובא מידע מתוך רשומות ארכיון במשקים. יושמה שיטה לאיסוף נתונים שמאפשרת קישור בין איכות המוצר הנבדק בבית האריזה אל קבוצת הערוגות בשדה מהן הוא נאסף. שיטת איסוף הנתונים נבחנה כנגד בדיקות מדוקדקות ומפורטות ונמצאה התאמה בין הממצאים בשתי השיטות. פותחה מערכת תומכת החלטה שכללה פיתוח ובחינת מודל התפתחות מחלה כתלות בפרמטרים שנקבעו בסיוע מומחים בתחומים רלוונטיים שונים. נבנתה מערכת מבוססת תכנת ניהול מידע גיאוגרפי לסיוע בחיזוי נגיעות ותכנון גידולים. המערכת מבוססת בשלב זה על נגע אחד וניתנת להרחבה.

בסיס הנתונים אשר יכול את כל הנתונים הרלוונטיים יתרום להקניית ידע בתחום מחלות קרקע. בסיס נתונים קרטוגרפי המתאר שפוחת לחלקות משנה הכולל את מחזור הגידולים, שעורי מחלות בפקעות האם, שעורי מחלות בגבעולים נגועים, היסטוריית חטויי קרקע וכמות היכול יוביל לפיתוח יעיל/מהיר/מדויק/ של מודלים לחיזוי מחלות קרקע.

פיתוח מודלים נוספים לחיזוי מחלות קרקע הנסמכות על בסיס נתונים גיאוגרפי יאפשר תכנון מחזור גידולים יעיל יותר. הדגש בגישה זו מתבטאת בפיתוח מודלים המבוססים על ניתוח הסינרגיה בין פתוגנים בחלקות מסחריות וניתוח הקשר בין הופעת סימני מחלה בפקעות הבת או בגבעולים לבין כמות ואיכות התוצרת.

תוכן עניינים

2	תקציר
4	מבוא
4	פירוט עיקרי הניסויים
4	עיגון גיאוגרפי של נתונים טבלאיים
6	מעקב אחרי קומביינים
6	איסוף דגימות
7	בדיקות מעבדה
7	פיתוח מערכת תומכת החלטה מרחבית לתכנון חלקות על פי חיזוי מחלת הדוררת בתפוחי אדמה
11	כיול המודל
11	חלקות מסחריות ביישובי חבל מעון
12	חלקות ניסוי איידהו, ארה"ב
12	חלקת ניסוי בקיבוץ בארי
13	תוצאות
13	בניית מאגר המידע ואיסוף נתונים
15	פיתוח מערכת תומכת החלטה
16	תרחישים במרחב ובזמן
18	דיון
20	ספרות מצוטטת
20	פרסומים מדעיים
22	סיכום

מחזור הגידולים המקובל באזור הנגב המערבי (תפוחי אדמה, אגוזי אדמה, גזר ועוד) מתאפיין בגידול תכוף של גידולים אשר רגישים לגורמי מחלות שוכני קרקע שחלקם פוגעים ביותר מגידול אחד. מחלות אלו מהוות בעיה קשה להתמודדות בתנאים של חקלאות אינטנסיבית במגבלות של מחזורי גידול צפופים וממשק של גידולים הרגישים לאותם פתוגנים ששורדים בקרקע לפרקי זמן ארוכים (חלקם עד 15 שנים). הנגיעות בגורמי מחלות גורמת לפחיתת יכולת ופגיעה באיכות התוצרת המשוקת ומכאן נזק כלכלי משמעותי.

מכלול המחלות שוכנות הקרקע אליהן אנו מתייחסים במסגרת זו כוללים את מחלות: הגרב, ריזוקטוניה, פיתיום, קולטוטריכום, כתמי כסף ודוררת. מרביתן מועברות באמצעות חומר הריבוי, וכך מופצות בין החלקות. את המחלות הנ"ל ניתן לחלק לשתי קבוצות על פי אופן הנזק הפוטנציאלי – מחלות הפוגעות באיכות היבול, לעומת מחלות הפוגעות הן ברמת היבול והן באיכותו.

המטרה הכוללת של המחקר היא פיתוח מערכת תומכת החלטה לתכנון מחזור גידולים וחיטוי קרקע בגידולי שלחין בנגב הצפוני.

מטרות ספציפיות: א. פיתוח בסיס נתונים וממשק מקוון לקליטת נתונים ממקורות שונים והתממשקות עם הליכי ניתוח בחלקים אחרים של המערכת; ב. לימוד קשרים בין שכחות מחלות קרקע, מחזור גידולים, זנים ומדדים אגרוטכניים נוספים באמצעות כריית נתונים; ג. לימוד הקשר בין נתוני דיגום התוצרת לשונות המרחבת בשדה של מחלות שוכנות קרקע באמצעות ניתוח מרחבי וגיאוסטטיסטי בסביבת ממ"ג ותוכנות סטטיסטיות.

המחקר והפיתוח כוללים את השלבים הבאים: הגדרות ואפיון מבנה נתונים; אסוף רשומות קודמות; פיתוח/אימוץ נוהלי רישום; פיתוח ובחינת שיטות וטכנולוגיות לאיסוף אוטומטי של נתונים; בחינת הפוטנציאל של השיטות החדשות לאיסוף נתונים לתיאור המצב האמיתי; בחינת קשרי סיבה ומסובב בין מחלות שוכנות קרקע שנמצאו בחלקות והטיפולים שבוצעו.

פירוט עיקרי הניסויים

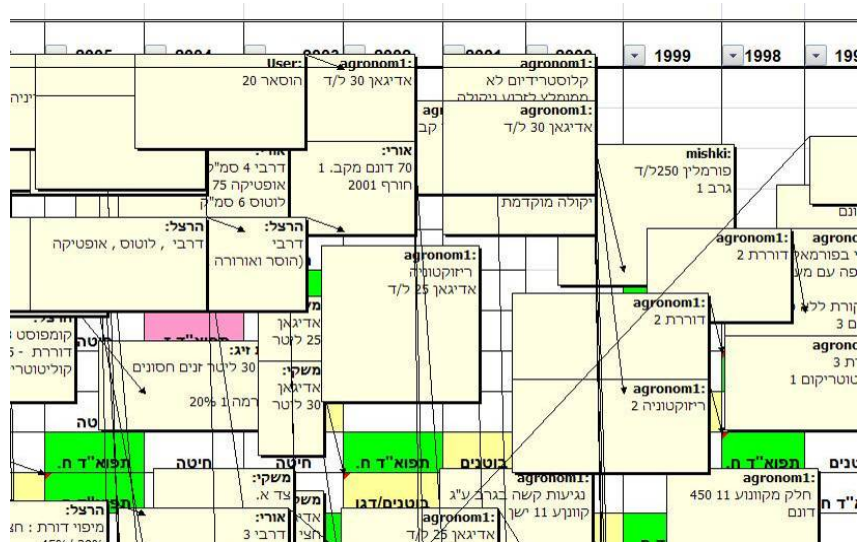
העבודה בשנה הראשונה הקיפה מספר היבטים וכללה: איסוף נתוני ארכיון; עיגון גיאוגרפי של נתונים טבלאיים; מעקב אחרי מכונות אסיף; דגימות חומר צמחי ובדיקות מעבדה; והשוואת תוצאות בין שתי שיטות דגימה.

העבודה בשנה השנייה הקיפה מספר היבטים וכללה: מעקב אחרי מכונות אסיף; דגימות חומר צמחי ובדיקות מעבדה; השוואת תוצאות בין שתי שיטות דגימה; פיתוח מודל מערכת תומכת החלטה.

השנה השלישית הוקדשה בעיקר לפיתוח מערכת תומכת החלטה. בחירה והתאמת פרמטרים, בניית מודל, לקט נתונים רלוונטיים ובחינת המודל.

עיגון גיאוגרפי של נתונים טבלאיים

נאספו רשומות של חקלאים באזור משקי צאלים וגבולות. רשומות החקלאים הוכנסו בדרך כלל לתוך גיליונות Excel ששימשו בעיקר לתכנון רב שנתי של מחזור הזרעים (איור 1). בשולי הגיליונות נרשמו הערות שמכילות מידע רב שנראה לנו שיכול לשמש לצרכינו. המידע הומר ("נפרש") באופן ידני לטבלאות חדשות ("שטוחות") שמכילות את הנתונים באופן שניתן לתשאלו וליצר דוחות.



איור 1 : מבנה אופייני לרשומות ארכיון על בסיס גיליונות אקסל

איסוף הנתונים והבנתם דרש ראיונות חוזרים ונשנים עם אלו שהייתה להם נגיעה עם רישום הנתונים. הפרטים והאסוציאציות של אלו שתיעדו את התכנון והתוצאות לא היו תמיד עקביים. היחידות והמונחים בהם נעשה שימוש לא היו ברורים.

המאפיין את רשומות הארכיון הוא ההתייחסות הכללית ליחידת שטח. בדרך כלל התוצאות התייחסו לשטח כולו. אך לעיתים הייתה התייחסות מקומית על פי חלק מהשטח או מספר שורות מסוימות.

בחירת רשומות הארכיון ואיתור המונחים בהם נעשה שימוש הניבה רשימת שדות לארגון מחדש של מבנה הנתונים. השדות שנקבעו היו כדלהלן: שם חלקה; שנה; גידול; קומפוסט; כופתיות; קמח נוצות; פתיום; נמטודות; נמטודות לונגידורוס; דוררת; גרב; קולוטטריכום; ריזוקטוניה; קשינה; קשינה גדולה; גרב רשת; כתמי בית שאן; כתמי כסף; פוזריום; מתמור; אדיגן; מונסרן; פורמאלין; מתיל ברומיד; אקוסויל; אורורה טורבו; דרבי; אופטיקה; הוסאר; לוטוס; סלקט סופר; קלוסטרידיום; ארוויניה; אדלאיד; אגרו-בקטריום. ההערות שנמצאו ברשומות הומרו כאמור לרשומות טבלאיות מהן ניתן לשלוף חתכים ודוחות ולשלב במערכות מידע גיאוגרפיות על פי צורך.

בניית מערכת המידע הגיאוגרפית כוללת הגדרת כל החלקות כישויות שמכילות בנוסף למיקום גם את קוד החלקה (על פי פרוטוקול EuroGap) ואת שטחה. קוד החלקה כולל גם רמיזה וקישור לבעלות.

שכבות מרחביות נוספות כוללות הישויות כמו:

- מחזור גידולים – כולל סוגי גידולים ומועד עיבודם.
- טיפולים כנגד נגעים – כולל מועד יישומם ומינון.
- דישון וטיוב – חומרי הדישון, מועד יישום ומינון.
- תיעוד מחלות קרקע ונגעים – רמת הנגיעות.

החל מעונת הגידול אביב 2007 הוחל בסימון תת חלקות. על פי המודל שעומד בפנינו כל יחידה שמקבלת טיפול תסומן. כך בוצע סימון של כל תת חלקה על פי הזן ומקור הזרעים. סימון החלקות בעונה האחרונה בוצע על ידי השותפים לפרויקט. לאחר הטמעת טכניקות סימון תת החלקות והטיפולים אצל ידי המגדלים הוחל

בסימון החלקות על ידי השותפים לפרויקט. נעשה ניסיון והדרכה לצורך הטמעת טכניקות סימון תת החלקות והטיפולים אצל ידי המגדלים. נבדקה גם התקנת מערכות GPS על יחידות הזריעה לצורך סימון החלקות והזנים.

מעקב אחרי קומביינים

שלוש מערכות מקלטים לניווט לוויני הותקנו על גבי קומביינים להוצאת תפוחי אדמה ואגוזי אדמה. המערכות הותקנו בעונה שקדמה לפרויקט הנוכחי. המערכות מקושרות למערכות ההפעלה של הקומביין ואוספות את נתוני ההפעלה של המערכות כמו הפעלת מעליות חפירה ופריקה. הנתונים משודרים באופן שוטף על תשתית רשת סלולארית לשרת מרכזי אצל חברה מסחרית. חתכים נבחרים מהנתונים ניתנים להצגה ושמירה. החתכים הנדרשים כוללים את זיהוי הקומביין, שעה, מיקום (קואורדינטות ברשת גיאוגרפית), קוד ההפעלה (מערכת הקומביין שמופעלת), וקוד מיכל האיסוף.

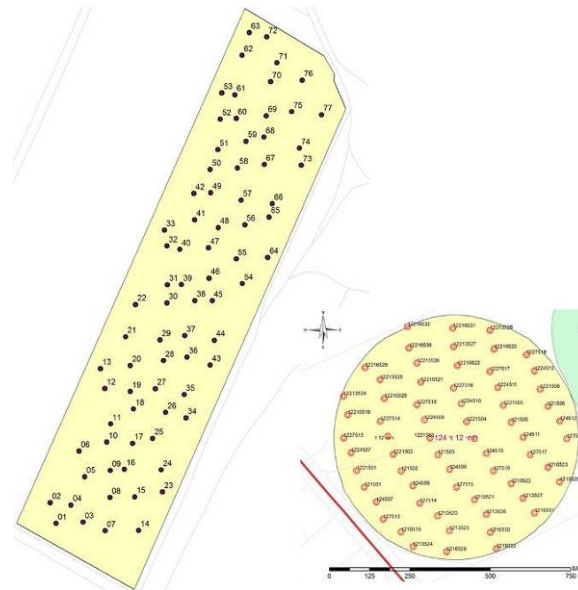
תפוחי אדמה ואגוזי אדמה נאספים אל מיכלים גדולים: "גונדולות" או "מיכלי ענק" במשקל של כ-10,000 ק"ג כל אחד. כל מיכל מקבל קוד זיהוי (מספר תעודת משלוח) לפני יציאתו מהשדה. קוד זה משמש בהמשך לצורך רישום תוצאות בקרת האיכות ותשלום למגדל. מכיוון שקוד הזיהוי נקבע לפני הובלת המיכל לבית האריזה ואינו זמין בשעת מילוי המיכל, מוקלד קוד זמני של מיכל האיסוף על ידי המפעיל. לצורך עבודה זאת מתועדת ההתאמה בין המספר הזמני למספר התעודה.

נעשה אפיון ראשוני של מערכת לרישום אוטומטי של זהות המיכל אל תוך מערכת איסוף נתוני המיקום שעל הקומביין. תמצית האפיון היא דרישה למערכת שתאפשר שידור לטווח של מספר מטרים, שתעמוד בתלאות הולם, טמפרטורה, קרינה ואבק/בוץ בשימושים שונים. המערכת צריכה להיות ניתן להתקנה והסרה רב פעמית. נתקבלה הצעת מחיר למערכת שלא ניתן לעמוד בה במסגרת זו של העבודה.

רשימת הנקודות מיובאת לתכנת ArcView וממרות שם לקווים. לרשומת כל קו מצורף שדה שכולל את קוד תעודת המשלוח. קוד זה משמש כאינדקס קישור לתוצאות בקרת האיכות – כך מתאפשרת הטלת מיפוי האיכות אל השדה.

איסוף דגימות

בחלקות שנבחרו נקבעו מראש נקודות דגימה. מיקום הדגימות נקבע לפי שיטה של רשת אחידה. הנקודות נקבעו במרחקים שבין 50 ל 100 מטרים ביניהן, בכל חלקה בחלוקה שונה. הנקודות נקבעו לאורך שורות (איור 2). טכניקה זאת נבחרה לניסיון הראשון עקב פשטותה. באופן כזה לא היה צורך ללוות את העובדים עם עובד מיומן בהפעלת מכשיר הניווט. העובדים תודרכו להיכנס לשורות מסוימות, להתחיל את המדידה מתחילת השורה ולבצע דגימות במרחקים שנקבעו מראש. לצורך שיפור טכניקה זו נקבע כי הדוגמים יגיעו לנקודה שנקבעו ואז יסיטו שורה ימינה או שורה שמאלה, באופן אקראי, כדי להבטיח שהדגימות לא יהיו כולם על קו ישר אחד (אותה ערוגה). בטכניקה השנייה נקבעו נקודות בפזורה אקראי בחלקה. השיטה הייתה מורכבת מכמה שלבים: (1) יצירת גריד במרחקים קבועים בדומה לשיטה לעיל; (2) הוספת "רעש" אקראי למיקום כל אחת מהנקודות, כך שהרעש יהיה עד 50% מהמידה האופיינית של הגריד. טכניקה זו חייבה סיור מוקדם, הגעה לנקודות שנקבעו וסימון הנקודות על ידי דגל כדי שצוותי הוצאת הדגימות יוכלו למצוא את המקום. אולם הבטיחה אקראיות.



איור 2 קביעת נקודות דגימה: ימין רשת דגימה סדורה לאורך שורות; שמאל רשת סדורה לאחר הסטה אקראית של כל נקודה

בדיקות מעבדה

בסמוך למועד האסיף נלקחו דגימות של צמחי בטנים כמפורט לעיל. מכל נקודת דגימה נלקחו 5 צמחים. מכל אחד מהצמחים נלקחו 3 סגמנטים מצוואר השרש. הסגמנטים נזרעו. בצלחות פטרי, על מצעי מזון שונים: SA – סלקטיבי לדוררת; PDA – כללי לאחרים. הצלחות הודגרו באינקובטור חשוך בטמפרטורה של 27°C למשך 3-14 ימים. הפטריות שהתפתחו זוהו תחת מיקרוסקופ. שיעור הנגיעות בדוררת נקבע על פי מספר הסגמנטים הנגועים. הנגיעות מופתה חזרה לשטח. בנוסף למפורט נמצאה נגיעות גם בפוזריום סולני, דיפלודיה, ומקרופמינה שלא נכללו בתכנית העבודה.

מאותן נקודות דגימה נלקחו מדגמים למכון מיון שם נערכו לדוגמאות בדיקות סטנדרטיות לאותם פרמטרים ובאותן שיטות כמקובל בבדיקות הדגימה. המדגמים היו בגודל של כ-300 יחידות (אגוזי אדמה) כל אחד. אומדן הנגיעות המקובל של יבללת במערך המיון הוא על ידי חלוקתה לשלוש רמות. בעבודה זאת שיקללנו את שלשת הערכים לערך יחיד על ידי חישוב משוקלל. החישוב היה כדלהלן (1.1):

$$\text{אינדקס נגיעות ביבללת} = \frac{(2 \times Y_1 + 5 \times Y_2 + 7 \times Y_3)}{14} \quad (1.1)$$

כאשר: Y_1, Y_2, Y_3 הם מספר אגוזי האדמה במדגם שנמצאו נגועים ביבללת בדרגה 1, 2, 3 בהתאמה.

אותו אופן חישוב ואותם מקדמי שקלול שימשו גם להערכת כתמי הרשת, שגם הם מסווגים במכון המיון לשלש רמות של חומרה.

פיתוח מערכת תומכת החלטה מרחבית לתכנון חלקות על פי חיזוי מחלת הדוררת בתפוחי אדמה

מערכת תומכת החלטה מרחבית שנבנתה במסגרת זאת משלבת מודל מתמטי שמשקלל ערכי פרמטרים המבוסס על ניתוח מדדים מרובים (multicriteria decision analysis-MCDA) והערך המחושב מתורגם להערכת נזק מחלה. מטרת ניתוח מדדים מרובים היא לסייע למקבלי החלטות בבחירת החלופה המועדפת ביותר.

הספרות דנה בשני יתרונות בניתוח מדדים מרובים: 1) פיתוח מודל באמצעות ידע מומחים כאשר לא קיים מודל מתמטי; 2) יצירת מדרג חלופות על סמך בחירת והערכת מדדים. עבודת הפיתוח כוללת הגדרת מדדים שמוסכמים על המומחים; קביעת סולם ערכי מדדים קבוע; בניית מערך משקלות; וחישוב הסיכוי להתפרצות מחלה באמצעות מודל מסתכם המשלב משקלות וערכי מדדים (Store and Kangas, 2001). פיתוח המודל המתמטי החל בסדרת התייעצויות ודיונים עם מומחים בנושא ועל פי בדיקות אמפיריות. עבודת הפיתוח כוללת הגדרת מדדים שמוסכמים על המומחים; קביעת סולם ערכי מדדים קבוע; בניית מערך משקלות; וחישוב הסיכוי להתפרצות מחלה באמצעות מודל מסתכם המשלב משקלות וערכי מדדים.

המדדים הינם אותם גורמים שמשפיעים על הופעת מחלת קרקע בגידול. בסדרת פגישות עם מומחים שונים בנושא שכללו אקדמיה מחקר ואנשי שדה, אותרו כעשרים מדדים שמשפיעים על כלל מחלות הקרקע בתפוחי אדמה ובבוטנים. הרשימה ההתחלתית כללה את הגורמים הבאים: 1) רמת מחלה בפקעות האם; 2) האם נעשה חיטוי בפקעות הזריעה; 3) מס' חיטויי זרעים כנגד פטריות ב-10 השנים האחרונות; 4) האם נעשה חיטוי בפס הזריעה; 5) שיעור המחלה בפעם הראשונה שגודל בחלקה גידול רגיש למחלה; 6) שיעור המחלה ב-10 השנים האחרונות; 7) רגישות זן לפגעים הנדונים; 8) מס' עונות זריעה שכללו גידולים רגישים ב-10 השנים האחרונות; 9) מס' עונות זריעה שכללו גידולים תפוזי זעיר ב-10 השנים האחרונות; 10) מס' עונות זריעה שכללו גידול תפוזי זעיר פעמיים באותה עונה ב-10 השנים האחרונות; 11) רגישות הגידול האחרון; 12) מועד זריעה סתיו; 13) מועד זריעה אביב; 14) מס' עונות זריעה שכללו גידולים פונדקאים ב-10 השנים האחרונות; 15) מס' עונות זריעה שכללו גידולים שאינם רגישים ב-10 השנים האחרונות; 16) מס' שנות כרב נח ב-10 השנים האחרונות; 17) מס' חיטויי הקרקע ב-10 השנים האחרונות; 18) חיטוי לקראת העונה הבאה; 19) סוג קרקע (חולית או לס); 20) והיות חלקה אורגאנית (תרומת הדישון בקומפוסט לדיכוי מחלות). לשם ייחוס משקלות למדדים, המומחים נדרשו לדרג את הגורמים השונים בטכניקה שנקראת "השוואת צמדי מדדים" (Pairwise Comparison) שפותח על ידי Saaty (1980). תפקיד המומחים היה להעריך עבור כל צמד מדדים את מידת תרומתו של מדר אחד ביחס למשנהו להופעת סימני המחלה. תהליך זה דרש סדרות דיונים ומפגשים חוזרים עם כל מומחה ולאחר מכן דיונים משותפים. בסיכומם של הדיונים צומצמה הרשימה לשמונה מדדים מוסכמים שכללו: מחלה בפקעות האם, נגיעות הקרקע, רגישות הזן, היסטוריית חיטויי קרקע, היסטוריית גידולים רגישים, עונת זריעה, היסטוריית כרב נח וסוג קרקע.

המומחים, כאמור נדרשו לבנות, באמצעות טכניקת השוואת צמדי מדדים, מערך של רמות חשיבות שבו כל ערך מיצג את היחס שמייחס המומחה בהשוואה בין המדר האופקי (שורות) למדר האנכי (עמודות). הטבלה המתקבלת הינה בעלת סימטריה הפוכה סביב האלכסון (טבלה 1). נמצא כי כל המומחים התקשו במידה כלשהי, בשלב הראשון, בקביעת המשקלות כפי שהתבקשו. כדי לסייע להם, ובנוסף לפגישות אישיות, טבלת השוואת צמדי מדדים הומרה לשאלון שבו המומחה מעריך מבין כל זוג מדדי אפשרי, את המדר בעל התרומה הגבוהה ביותר. בנוסף, הצמדנו ניסוח מילולי להגדרת היחס (באחוזים) מתוכו נגזר היחס להכנסה כערך בטבלה (טבלה 2).

טבלה 1 הסבר מילולי לסיוע במילוי טבלת השוואת מדדים

מדד ראשון	מדד שני	רמות חשיבות
50%	50%	שני המדדים משפיעים באותה מידה
45-50%	50-55%	אני לא יכול/ה להחליט אם השפעת הממד הראשון אכן גדולה מזו של הממד השני
45%	55%	השפעת הממד הראשון גדולה במעט מזו של הממד השני
40%	60%	השפעת הממד הראשון גדולה מזו של הממד השני
30%	70%	השפעת הממד הראשון גדולה במידה רבה מזו של הממד השני
20-30%	70-80%	איני יכול להחליט אם השפעת הממד הראשון אכן גדולה מזו של הממד השני
20%	80%	השפעת הממד הראשון גדולה במידה רבה מאוד מזו של הממד השני
10-20%	80-90%	השפעת הממד הראשון גדולה במידה רבה מאוד עד כדי קיצונית מזו של הממד השני
10%	90%	השפעת הממד הראשון גדולה באופן משמעותי מזו של הממד השני

טבלה 2 דוגמא לטבלת השוואת צמדי מדדים של דורות בתפוחי אדמה

סוג קרקע	כרב קודם	עונת זריעה	גידולים רגישים	חיטוי קרקע	רגישות זן	נגיעות הקרקע	מחלה	בפקעות אם
7.00	7.00	6.00	7.00	6.00	6.00	2.00	1	מחלה בפקעות אם
7.00	7.00	6.00	7.00	6.00	6.00	1	0.50	נגיעות הקרקע
3.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1	0.17	0.17	רגישות זן
5.00	3.00	4.00	2.00	1	0.50	0.17	0.17	חיטוי קרקע קודמים
4.00	2.00	1.00	1	0.50	0.50	0.14	0.14	גידולים רגישים קודמים
2.00	1.00	1	1.00	0.25	0.50	0.17	0.17	עונת זריעה
1.00	1	1.00	0.50	0.33	0.50	0.14	0.14	כרב קודם
1	1.00	0.50	0.25	0.20	0.33	0.14	0.14	סוג קרקע

כאשר נעזרים בחוות דעת של מומחים צפויה שונות בדעות ובהערכות. טבלת השוואת צמדי המדדים תהייה לכן שונה בין האחד לרעהו. בנוסף, מכיוון שמדובר בהערכה אנושית ובגישה שאינה מוכרת להם, קיים סיכוי לסתירות פנימיות בטבלה. נעשה שימוש לכן ב"מדד עקביות" של הערכת המדדים (Mau Crimmins et al., 2005). מקובל להתייחס לטבלת השוואה כעקבית כאשר מדד העקביות (שאינו מוצג כאן) שווה או קטן מ 0.1.

לצורך פיתוח המודל לחיזוי פוטנציאל הנגיעות בדורות נקבעו, בעצת המומחים והמגדלים, ההנחות הבאות:

1. החקלאים פועלים לפני זריעה לצמצום שכחות המחלה על פי הנחיות מקובלות שכוללות: חיטוי פקעות זריעה נגועות, חיטוי קרקע, הדברת עשבי בר, ניקוי כלי עיבוד מזוהמים בשאריות צמחים או קרקע נגועים, שמירה על פריון הקרקע, הצנעת קומפוסט נקי ממחלות ועוד.
2. מקור המידבק העיקרי הוא בקרקע נגועה, במיוחד אם באותה החלקה נזרע גידול רגיש כגון תפוח אדמה, אגוזי אדמה וכו'. בקרקע בתולה או בקרקע שחוטאה, נעשית הפצת קישיונות הדורות באמצעות פקעות זריעה נגועות, קומפוסט נגוע, שימוש בכלי עיבוד נגועים ולעתים אף עלולים להיות מופצים במשבי רוח.

תהליך פיתוח מערכת תומכת החלטה מרחבית כלל שישה שלבים (איור 3): פיתוח מודל לחיזוי רמת המחלה; כיול המודל; אימות המודל מול מידע שנאסף מאזור המחקר ומניסויים; פיתוח מערכת תומכת החלטה מרחבית להקצאת זני תפוחי אדמה לחלקות; ביצוע תרחישים עיתיים ומרחביים להערכת המודל לחיזוי רמות מחלה והמערכת תומכת ההחלטה; ניתוח רגישות ביצועי המודל והמערכת.

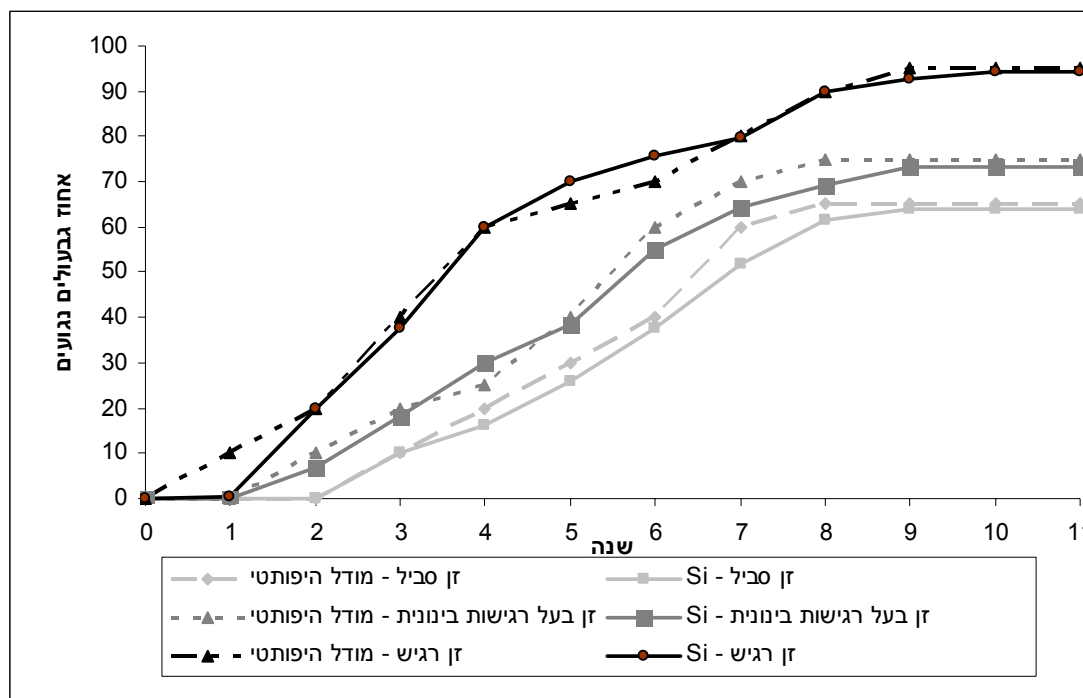


איור 3 מהלך פיתוח מערכת תומכת החלטה מרחבית לתכנון חלקות

אחד היתרונות של מתודת השוואת צמדי מדדים הוא היכולת לשלב ידע מומחים. קיימות שלוש שיטות לחישוב מטריצה אשר משלבת ידע: חישוב ממוצע ציוני צמד מדדים; חישוב ממוצע משקלות המדדים; וחשוב משקל על פי רמת ועומק המומחיות של היועצים. החיסרון בשימוש חישוב ממוצע משקלות הוא הצורך לחשב משקלות עבור כל מומחה, וכן לא ניתן לדעת האם שילוב משקלות המומחים מוביל למטריצה עקבית. מתוך בחינת הספרות המדעית בנושא נימצא כי מומלץ להשתמש במטריצה משולבת ידע שמחושבת על פי ממוצע גיאומטרי של ציוני המומחים בהשוואת צמד מדדים (Saaty, 2008). יתרונו של ממוצע גיאומטרי הוא בהנחת השפעתם של ערכים דומיננטיים. מחקרים רבים השתמשו בגישת חישוב זו (Mau-Crimmins et al., 2005). במחקר זה נעשה שימוש במטריצה 'משולבת ידע מומחים' באמצעות מיצוע גיאומטרי של ציוני המדדים. תוצאות חישובים עתידיים יבוצעו באמצעות מטריצה משולבת ידע מומחים. בן-סעיד (2008), שהשתמש בממוצע חשבוני כדי לשלב את טבלאות המומחים, הוכיח שמטריצה המשלבת ידע מומחים היא אפקטיבית יותר מאשר שימוש במטריצה אישית או בשימוש מטריצה המשלבת רק מטריצות עקביות. אחת השיטות לשילוב משקלות וערכי מדדים ב-MCDA לשם הענקת ציון לישות היא באמצעות "מודל חיבור ליניארי" (Svoray et al., 2005). ציון של כל ישות חושב על ידי סיכום מכפלות משקל מדד בערכו. במחקר, סולם הערכים של המדדים נע בין 0 ל-10.

כיוול המודל

כיוול המודל נועד למיפוי הערכים המתקבלים בחישוב המודל לרמות מחלה אשר מתבטאים באחוז גבעולים נגועים. בעזרת מומחה, בנינו מודל התפתחות היפותטי, למשך אחת-עשרה שנים, של מחלת דוררת בתפוחי אדמה בשלוש קבוצות טיפוסיות זנים הנבדלים ברגישותם למחלה (איור 4). הנחות המודל היו כדלהלן: תפוחי אדמה נזרעו בקרקע בתולה ומקור האילוח העיקרי הוא בקרקע. בשנה הראשונה הקרקע הייתה נקייה; לפני מועד ההתחלה היה השטח במצב של כרב נח במשך עשר שנים לפחות; פקעות הזריעה נקיות ממחוללי מחלה; מועד זריעת הפקעות הוא סתיו; הקרקע חולית; ולאורך השנים לא בוצע חיטוי קרקע.



איור 4 מודל התפתחות דוררת (*V. dahliae*) לשלש קבוצות זנים של תפוחי אדמה במשך 10 שנים כפי שהוצע על ידי אחד השותפים (קיים מקווקים). תוצאות הסימולציה (קיים רצופים) ביחידות של Spearman's rank correlation coefficient ($P < 0.01$): זן רגיש לדוררת (0.991); זן בעל רגישות בינונית (0.977); זן עמיד לדוררת (0.997).

חלקות מסחריות ביישובי חבל מעון

אזור המחקר העיקרי ממוקם בנגב הצפון-מערבי, ומתאפיין בקרקעות חוליות ובקרקעות לס. גבולות אזור המחקר הם: הגבול הדרום-מזרחי באזור היישוב צאלים, הגבול הדרום-מערבי הוא באזור היישוב גבולות. הגבול הדרומי. הגבול הצפוני הוא בסביבת עין הבשור. האקלים הוא צחיח למחצה, כמות המשקעים הממוצעת השנתית היא כ-220-350 מ"מ. בחבל מעון זורעים גידולים ב-107 חלקות, כאשר 11 חלקות הן חלקות אורגניות. מחזור הזרעים הטיפוסי נערך 4 שנים וכולל את הגידולים הבאים בסדר זריעתם: בוטנים-חיטה-כרב נח-תפוא"ד. כאשר בוטנים זורעים כל 4-5 שנים, תפוחי אדמה נזרעים כל 3-4 שנים. תפוחי אדמה זעירים שוברים לעיתים את סדר מחזור זרעים.

באזור המחקר, משנת 1988 ועד שנת 2007, מצאנו 962 רשומות ארכיון של גידולים בחלקות. החיזוי בוצע על נתוני עשר שנות היסטוריה עם מדדי מניה הבאים: מספר גידולים רגישים, מספר כרב נח ומספר חיטויי קרקע. לבחינת המערכת נבחרו חלקות אשר היה ידוע לנו מהו שיעורי גבעולים יבשים הנגועים בדוררת עבור שנת

החיזוי ועבור הגידול הרגיש האחרון שגדל בחלקה. לפיכך נותרנו עם 22 חלקות בלבד. רגישות זן בשנת החיזוי הייתה ידועה רק בשמונה חלקות. בבסיס הנתונים גם לא נמצא אזכור לבדיקת שיעורי נגיעות גבעולים בזנים עמידים (לדוגמא דזירה). המידע החסר הושלם באמצעות ניתוח שכיחויות של שני סוגי רגישות הזנים מתוך בסיס הנתונים השלם. מתוך 61 רשומות של זנים, נמצא כי 80% מהזנים שנזרעו היו רגישים ו-20% בעלי רגישות בינונית. לפיכך, ב-14 החלקות הנותרות הוצבו רגישויות זנים באופן אקראי: 11 חלקות בעלות זנים רגישים מאד, ו-3 חלקות בעלות זנים רגישים באופן בינוני.

מבין 186 בדיקות בפקעות הבת שבוצעו במעבדת גילת בין השנים 1999-2007, נמצא שב-143 סדרות, פקעות הבת היו נקיות, 42 מקרים שבהם נמצאה מחלה ברמה נמוכה מאד (מתחת ל-5%) ומקרה אחד של מחלה הגבוהה מ-5%.

ב-15 חלקות נמצא כי רמת המחלה שנקבעה בגבעולים של תפוא"ד שגודלו לאחרונה (אינדיקטור לנגיעות בקרקע) נעה בין 11%-30%. בארבע חלקות לא נמצאה מחלה. בשש חלקות בוצע חיטוי קרקע בשנת החיזוי, ולפיכך בחלקות אלו הופעל מודל חיזוי נגיעות ליניארי, דלהלן: מתוך התייעצות ושיחות עם אנשי המקצוע הערכנו שחיטוי קרקע לפני הזריעה מפחית בכ-25% את שיעור הגבעולים הנגועים שנותרו בקרקע מפעם האחרונה בה גודל בחלקה גידול רגיש (2.1).

$$I_{t+1} = 0.25 \times I_t + 2.5 \quad (2.1)$$

לאור זאת, הוחלט על פיתוח עץ החלטה להפעלת מודל החיזוי בעת חיזוי ערך המחלה לקראת עונת הגידול הבאה. במידה ושעור הגבעולים הנגועים בפעם האחרונה שגודל גידול רגיש בחלקה היה נמוך מ-30%, חיזוי רמת המחלה לקראת עונת הגידול הבאה יחושב באמצעות מודל החיזוי. כאשר שעור הגבעולים הנגועים בחלקה בפעם האחרונה שגודל גדול רגיש גבוה מ-30%, חיזוי רמת המחלה בסוף עונת הגידול הבאה יחושב באמצעות המודל ליניארי דלעיל (מידע שנמסר בעל פה)

חלקות ניסוי איידהו, ארה"ב

באתרי המחקר הנוכחי היו שיעורי המחלות ברובם נמוכים, ולכן חיפשנו מחקרים נוספים שבדקו התפתחות מחלת דוררת לאורך שנים. ואכן, מחקר דומה נערך בשתי חלקות ניסוי באיידהו, ארה"ב (Davis et al., 1994). המחקר באחת מהחלקות נערך בשנים 1977-1981. במשך 30 שנים גידלו בחלקה חיטה, שעורה ותפוחי אדמה. במשך השנתיים שלפני תחילת הניסוי לא גידלו בחלקה זו תפוחי אדמה. רמת המחלה ההתחלתית בקרקע הייתה גבוהה. המחקר בחלקה השנייה נערך בשנים 1983-1987. בחלקה זו לא גידלו תפוחי אדמה במשך 30 שנה שקדמו לניסוי, ולכן רמת המחלה ההתחלתית הייתה מאד נמוכה. לאורך הניסוי בשתי החלקות לא בוצע חיטוי קרקע. הגבעולים נאספו לבדיקות בסוף עונת הגידול, בסוף חודש אוגוסט.

חלקת ניסוי בקיבוץ בארי

המחקר נערך בשנים 2001-2004 בחודשי הסתיו, בארבע תתי-חלקות, בקרקע לס. מטרת המחקר הייתה לבדוק השפעת מחזורי גידולים והיסטוריית יישומי חיטוי קרקע, על חומרת המחלה. במהלך הניסוי הוצבו, בכל תת-חלקה, מחזורי גידול שונים. בתתי החלקות נזרע זן מרביל הרגיש לדוררת. הואיל ולא ידועות לנו רמות המחלה בחלקה לפני תחילת הניסוי, הוחלט לאמת את מודל החיזוי רק מול שלוש תתי-חלקות 1-3. לפני תחילת הניסוי, בשנים 1991-2000 גידלו תפוח אדמה 3 פעמים, הקרקע חוטאה פעמיים, ולא היו כרכים נחים. הניסוי בתכשיר

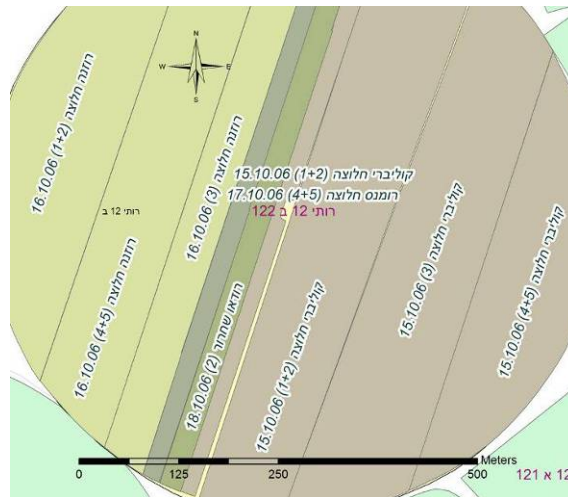
אדיגן כשל, ולפיכך הוחלט לאמת את תוצאות מודל החיזוי מול תתי חלקות שטופלו בחיטוי קרקע משולב אדיגן ופורמלין. בנוסף, אומת מודל החיזוי כנגד חלקות היקש.

תוצאות

בניית מאגר המידע ואיסוף נתונים

הסתיים מיפוי כל חלקות הארכיון אליהן הצלחנו להגיע. המיפוי כלל הוספת עיגון קרקעי לכל אחת מהרשומות על פי מיטב ההבנה לגבי המיקום וזאת על סמך מפות השטחים, וראיונות עם מנהלי הגידול. העיגון הקרקעי משמעו שכבת מידע גיאוגרפי שמכיל פוליגונים המתארים את החלקה. נבנו שכבות מידע למחזור גידולים שכולל סוגי גידולים, זנים ומועד עיבודם עם קישור למקור חומר הריבוי והטיפולים שחומר הריבוי עבר. נבנתה שכבת מידע ליישומים כנגד נגעים שכולל פירוט החומרים, מועד היישום והמינון. שכבת חומרי דשן שכוללת את החומרים חומרי הדישון, מועד יישום ומינון. שכבת מחלות כוללת את תיעוד מחלות קרקע ונגעים כולל רמת הנגיעות.

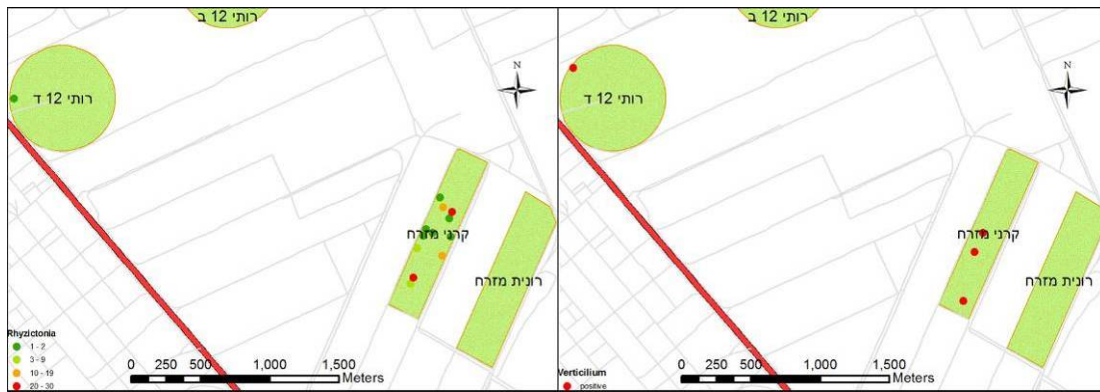
הוחל ברישום מפורט של תת חלקות (איור 5). בשלב זה בוצעו הפעולות על ידי השותפים בפרויקט תוך התחלת ההטמעה אצל מגדלים שרכשו מכשירי ניווט. הכוונה היא להגיע לעגן במערכת גיאוגרפית כל פעולה שנעשית בשדה ונרשמת במערכת המידע.



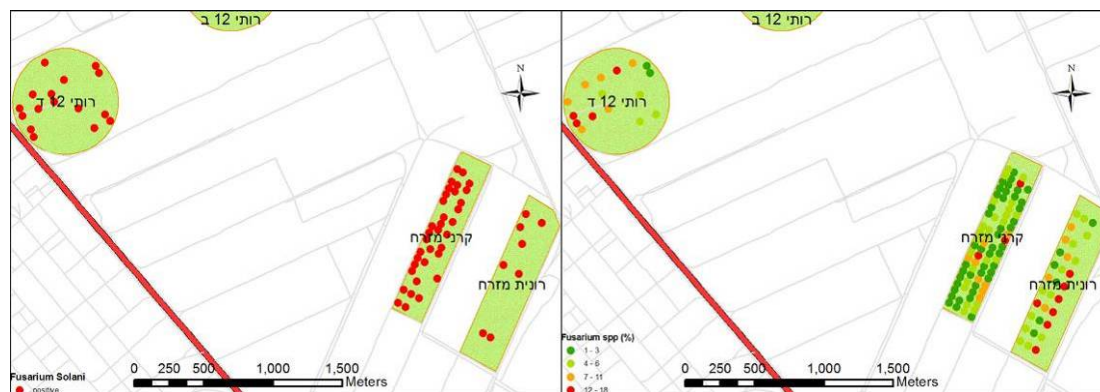
איור 5 רישום מפורט של פרטים בתוך שטח חלקה. בדוגמא זאת מוצגים הזנים השונים בחלקה, מקור וגודל זרעים

ותאריך הזריעה

נערכו כ-80 בדיקות מדגם בכשלוש חלקות בכל עונת גידול. כל נקודת דגימה סומנה גיאוגרפית, או על ידי סימון מוקדם או על פי מיקום הנקודה לאורך שורת הגידול. מכיון שכך, ניתן היה לאחר מכן למפות את כל תוצאות הבדיקות המעבדה כמתואר באיורים הבאים. בבדיקות צוואר השורש של מדגמי הצמחים נמצאה נגיעות דוררת בשתי חלקות (איור 6). בכל החלקות נמצאו סימני פוזריום סולני ומחלות נוספות (איור 7).



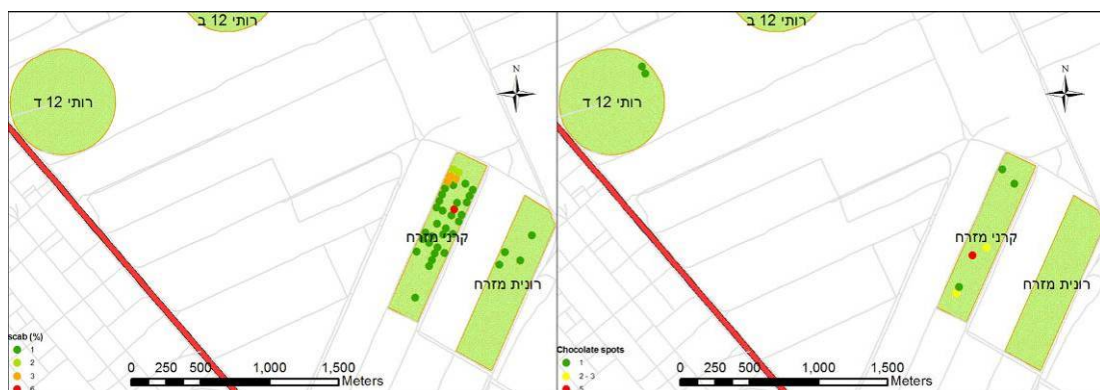
איור 6 נקודות דגימה בהן נמצאה נגיעות בדורות (ימין), וריזוקטוניה (שמאל) בבדיקה מעבדתית של מדגמי צמחים.



איור 7 נקודות בהן נמצא פוזריום (*Fusarium spp.*) באגוזי אדמה; מימין בבדיקת הבטנים בבית האריזה, משמאל בבדיקות צואר השורש

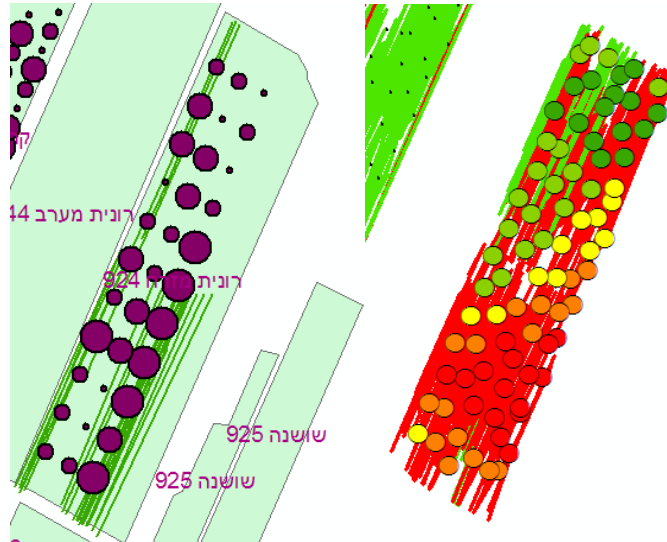
בדיקות מכון המיון לאגוזי אדמה הפיק, לכל אחד מנקודות הדגימה, תוצאות שכללו את הנגיעות ביבללת, כתמי רשת, כתמי מים, ריזוקטוניה, פוזריום, פיתיום, וכתמי שוקולד. התוצאות התקבלו כמניין אגוזי האדמה הנגועים, בכל אחת מהדגימות, והופקו כאחוזי נגיעות ביחס לגודל הדגימה (כ-300 פריטים).

מתוך 142 מדגמים, נמצאה נגיעות של כתמי שוקולד ב 11 נקודות (איור 8). פוזריום נמצא ב 129 דגימות (איור 7). כתמי רשת נמצאו ב 98 דגימות (איור 8), וריזוקטוניה נמצאה ב 14 דגימות (איור 6).

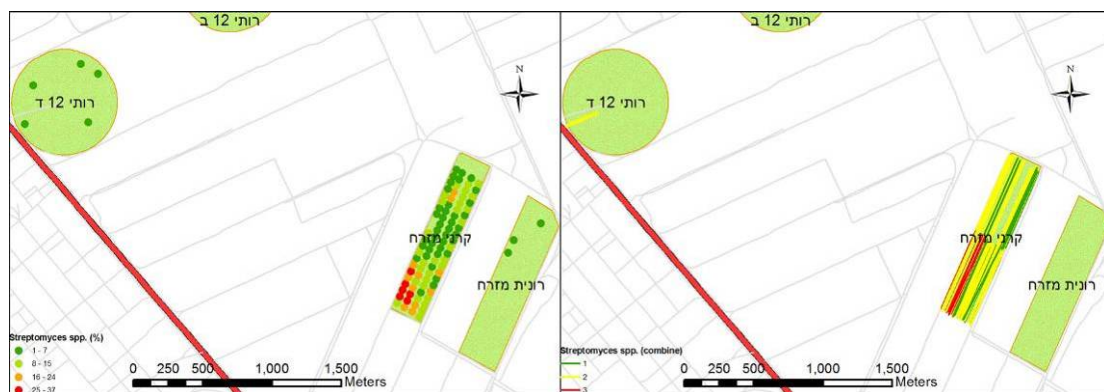


איור 8 כתמי שוקולד (ימין) וכתמי רשת (שמאל) בבדיקות אגוזי אדמה בבית אריזה

השוואת מיפוי קומביין למיפוי מפורט הניב תוצאות משמעותיות בבדיקת גרב באגוזי אדמה (איור 10). נמצאה גם התאמה בין מיקום הפוזריום בבדיקה הנקודתית לפוזריום מתוצאות חדר הדיגום באגוזי אדמה.



איור 9 גודל הנקודות מציין את רמת הנגיעות בדגימה נקודתית. באיור מימין הנקודות מציירות רמות נגיעות כפי שנמצאו בבדיקות נקודתיות והקווים מציינים נגיעות יבלת שנמצאה במיכלי המשלוח; באיור השמאלי מציינים הקווים נוכחות פוזריום במיכלים שהגיעו למכון המיין וגודל הנקודה את מידת הנגיעות בבדיקות נקודתיות.



איור 10 יבלת (*streptomyces spp.*) באגוזי אדמה, תוצאות בדיקות במכון מיון; משמאל בדיקות נקודתיות; מימין תוצאות בדיקות ממכלי קטיף.

פיתוח מערכת תומכת החלטה

המומחים העריכו שמדד "שעור מחלה אחרונה בקרקע" הוא בעל התרומה הגבוהה ביותר להתפתחות המחלה, ושהשפעת מדד "סוג קרקע" על הופעת מחלת דוררת זניחה (טבלה 3). בדרוג המדדים, רוב המומחים דירגו את מדד "מספר כרבים נחים" במקום השישי. דעת המומחים אינה אחידה בתרומת המדדים הנותרים להופעת מחלת דוררת. מטריצה המשלבת את ידע המומחים נמצאה כעקבית ביותר (יחס העקביות = 0.05).

טבלה 3 דירוג ומשקל מדדים לאחר שילוב המלצות

משקל	מדד	
0.35	שעור המחלה האחרונה בקרקע (אחוז קש נגוע)	1
0.16	רגישות זן	2
0.11	מספר גידולים רגישים שנזרעו בעבר	3
-0.13	מספר חיטויי הקרקע שבוצעו בעבר (לא כולל חיטוי שנעשה בעונת החיזוי)	4
0.08	עונת זריעה (אביב, חורף)	5
-0.07	מספר כרבים נחים	6
0.07	מחלה בפקעות הזריעה	7
0.03	סוג קרקע (חולית ושאינה חולית)	8

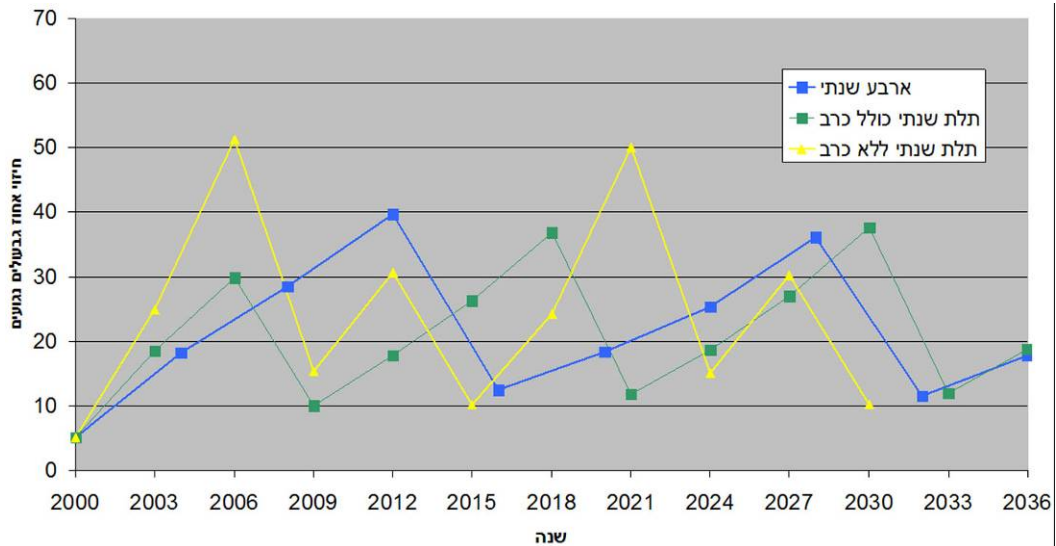
הנתונים שנאספו בחלקות יח"מ מתוך מאגר הנתונים, הנתונים מהחלקות באידהו, ונתונים מחלקות באזור בארי שימשו לצורך הערכת ביצועי מערכת החיזוי. סך כל החלקות במאגר הנתונים שגובש, בהן ניתן היה לעשות שימוש לצורך החיזוי היה 45. נתוני החלקות הוזנו למערכת החיזוי ותוצאות החיזוי סוכמו מול הערכת הנגיעות בפועל (טבלה 4). רמות המחלה בטבלה מבוססות על שעור גבעולים נגועים המשמשים את החקלאים: נקי – 0%, נמוך – 1-40%, בינוני – 41-70%, גבוה – 71-100%. תוצאת אומדן Kappa משקוללת למהימנות תוצאות המודל עבור כלל 45 האימותים ($K_w = 0.95$) מציינת הסכמה כמעט מושלמת. מבחן מובהקות Spearman's rho לבדיקת הקשר בין כל שעורי שכיחות המחלה בגבעולים שחושבו על פי המודל לבין כל שעורי שכיחות מחלה נצפים בגבעולים נמצא מובהק וחיובי ($\rho = 0.714$ $N=45$, $P<0.01$)

טבלה 4 השוואת חיזוי מערכת תומכת החלטה (שורות) מול תוצאות לאחר עונת הגידול (עמודות)

	נקי	נמוך	בינוני	גבוה
נקי				
נמוך	1	27		
בינוני		1	12	
גבוה				4

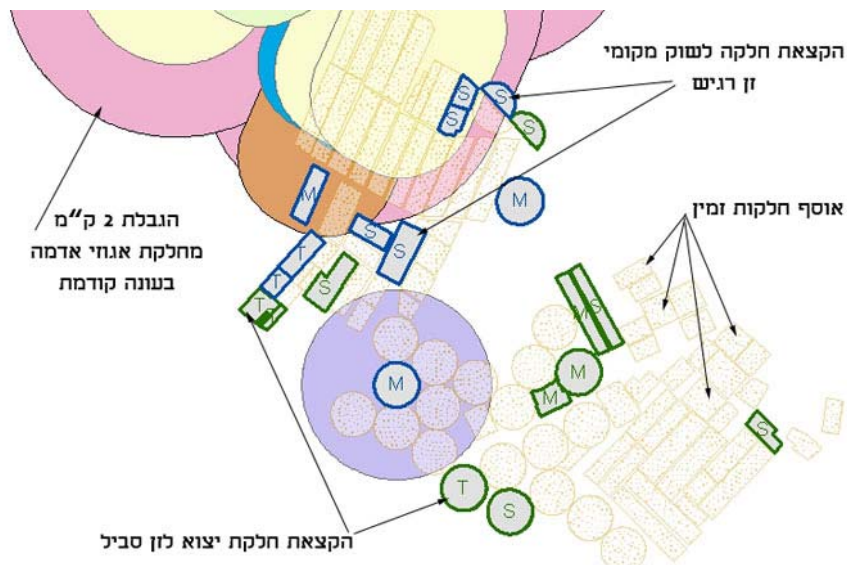
תרחישים במרחב ובזמן

נבחנו תרחישים שמתארים את מחזור המחלה כדי להמחיש את ההתפתחות בתלות בגורמים שונים כמו זנים רגישים, מחזור הזרעים וכד' (איור 11). סימולציות אלו מדגימות את פוטנציאל השימוש במערכת ככלי תכנוני.



איור 11 דוגמא לסימולציה של רמת הנגיעות בדורות המתפתחת לאורך השנים במחזורי גידול שונים. כאשא רמת הנגיעות מגיעה ל 30% נהוג לחטא את הקרקע ומכן הירידה המחזורית הצפויה ברמת הנגיעות.

מומשה מערכת תומכת החלטה מרחבית שמשלבת את המודל לחיזוי רמות מחלת דוררת ומודל מרחבי לבחירת חלקות ולהקצאת זני תפוחי אדמה לצורך סיוע בתכנון חלקות תפוחי אדמה (איור 12). המערכת נכתבה בשפת VBA בסביבת ArcGIS ומשלבת בסיס נתונים מרחבי וטבלאות חישוביות. תהליך התכנון מפריד בין הקצאת חלקות ליצוא, עליהן חלות מרבית המגבלות. השטח המיועד לגידול לשוק מקומי נבחר מתוך אוסף החלקות שנותר לאחר שהוקצו חלקות היצוא. המשתמש נדרש להגדיר את היקף השטח הדרוש לכל קבוצת זנים (עמיד, בינוני ורגיש). הגישה לצורך הקצאת החלקות היא מיון החלקות על פי הנגיעות הצפויה לפני הקצאת זנים; בחירת החלקות עם סיכוי לנגיעות הנמוך ביותר עבור הזנים הרגישים, עד למילוי המכסה הנדרשת; באותו אופן, מתוך סט החלקות שנותרו, בחירת החלקות עבור הזנים ברגישות בינונית; התהליך חוזר חלילה עד למילוי מכסת החלקות הנדרשת. התוצאה מוצגת בתכנת ArcGIS על גבי מפה (איור 12).



איור 12 דוגמא לתכנון חלקות לגידול תפ"א ליצוא ושוק מקומי. צבע רקע אחד מגדיר אזור לא לזריעה ליצוא עקב מגבלות קרבה לגידול אגוזי אדמה קודמים. חלקות מוקפות בירוק מתאימות לגידול ליצוא, חלקות מוקפות בכחול מתאימות לשוק מקומי. T – זן סביל, M – זן בינוני, S – זן רגיש.

דיון

במסגרת עבודה זו גובשה תפיסה ומוסד מבנה הנתונים שיאפשר שליפת נתונים לצורך תמיכה בהחלטות. מערכת הנתונים מבוססת גיאוגרפית, כלומר, כל נתון אם הוא יחידת שטח, מסלול או נקודה – מלווה במיקום הגיאוגרפי וניתן להציגו על גבי מפה. הנתונים חולקו לקבוצות להן יש מאפיינים משותפים, לדוגמה גידולים כוללים את סוג הגידול, זן, פרטים על מקור הזרעים, מועד הגידול, ועוד. כל יחידה רצופה של גידול, אם היא שטח בהיקף מסחרי מלא, או פאת שדה לניסיון או מספר שורות בחלקה גדולה – מהווה ישות גיאוגרפית שגבולותיה מסומנים, ושטחה ידוע.

נתוני מחזור הזרעים ונתוני מיפוי זריעה ביח"מ אינם קרטוגרפיים. גידולים נזרעים בחלקות משנה הממוינות, באופן כללי, לפי מגופים או לפי קבוצות השקיה: צפון, מרכז ודרום. לפיכך, היה קושי במיפוי נתונים אלו למאגר נתונים גיאוגרפי.

מעקב אחר פעולות קומבייני שהחל בעבודה מקדימה המשיך כחלק מעבודה זאת. המערכת מאפשר מעקב רציף אחר המצאות כלי האיסוף תוך הצמדת ערך אלפאנומרי לכל נקודת מיקום. נבחנו אופציות לרישום אוטומטי של זיהוי הקומביין, אולם לאחר אפיון ראשוני של הדרישות, נדחו המערכות המוצעות בשלב זה על הסף עקב עלותן הגבוהה.

המרת מיקום הקומביין וקישורן למידע נוסף שמקורו בבית המיון נעשה ידנית. יש צורך בפיתוח מערכת אוטומטית להמרת הנקודות שנאספו במעקב אחר מיקום הקומביין והמרתם ליחידות שטח וקישורן לתוצאות בדיקות האיכות בעת קבלת התוצרת היבול. נבחנה האפשרות לשילוב גורם מסחרי שבחן ואכן גם מימש זאת. אולם בשלב זה לא נמשך שיתוף הפעולה.

נלקחו דגימות של שאריות צמחים ושל יבול (אגוזי אדמה) בנקודות שנקבעו כרשת דגימה סדורה בשלוש חלקות ניסיון. הצמחים נבדקו לנוכחות דוררת ומחלות נוספות. דגימות המוצר נבדקו כמקובל בבדיקות איכות של אגוזי אדמה במכון המיון. בחלקה אחת נמצא קשר ברור בין תוצאות בדיקת הדגימות לבין התוצאות המסחריות שנתקבלו מבדיקות הקבלה במכון המיון. התוצאות נמצאו בנגיעות גרב. שאר הנגעים נמצאו במספר קטן של דגימות ולכן לא ניתן היה להשוות בין התוצאות.

נתוני הדגימות הידניות הושאו לרישומים המשולבים של מיקום הקומביין ותוצאות המיון. מבחינת הפוטנציאל להפקת תועלת למגדל, התוצאות שנתקבלו מנתוני נגיעות בגרב באגוזי אדמה מצביעות על כך שמתוצאות מיפוי איכות התוצרת במיכלי האסוף, שאומתו מול הבדיקות נקודתיות, כבר ניתן לצמצם את האזור הנגוע בגרב לכדי לפחות מהחלק השישי של החלקה לעומת ההנחה שכל השטח נגוע בגרב אותה היינו מסיקים ללא הנתונים שהוצגו כאן. הטיפול בנגיעות יכול לכן להצטמצם רק לאזור הנגוע.

ארגון הנתונים ומערכת האיסוף ובחינתה הצביעו כל כך שניתן להסתמך על מערכות אלו לצורך צבירת נתונים שיאפשרו ניתוח ובחינה בהמשך. בפועל, מערכות המידע שהיו קיימות קודם לכן לא נעשה בהן שימוש מלא ונתוני האיכות היו לוקים בחסר ולכן כריית נתונים כמעט לא התאפשרה. יתרונה של השיטה שהוצגה במסגרת זאת היא באיסוף ורישום שוטף של חלק מהנתונים ללא העלות הכרוכה באיסוף דגימות בשדה. הגדלת רזולוציית הרישום מאפשרת התמקדות בטיפול בחלקות משנה ובכך לחסוך במשאבים. חסרונה של שיטת האיסוף הנתונים היא בהיצמדותה לאורך שורות. אולם מכיוון שרוב הטיפולים ניתנים אף הם לאורך אותם קווי נסיעה, הרי שתאימות זו אינה בהכרח חיסרון.

פיתוח מבנה הנתונים וריכוז הנתונים שמטרתו פיתוח מערכת תומכת החלטה אפשר בחינת מודל שמשמש בנתוני העבר כדי להסביר/לחזות את מידת הנגיעות. מפאת דלילות הנתונים על פני טווח הזמן והמרחב שהיה זמין לנו לא ניתן היה להסיק מסקנות מתוך הנתונים עצמם. לכן הגישה החלה מבניית ידע מומחים ובחינתו מול מערך הנתונים.

המומחים הצביעו על כך שמדדים רגישות זן ומחלה בפקעות האם תורמים להתפתחות מחלה. אולם, במהלך השנים לא תועדו נתונים אלו בבסיס הנתונים של החקלאים עבור כל החלקות. יתרה מזאת, למרות שמבוצעות בדיקות מעבדה לגילוי פתוגנים בפקעות בת ממזרע אביב המיועדות לשמש כפקעות אם למזרע סתיו, אין תיעוד המייחס פקעות בת ממזרע אביב לחלקות סתיו.

מחזור הגידולים ביח"מ כולל שני גידולים רגישים למחלת הדוררת, תפוח אדמה ואגוזי אדמה. המומחים העריכו שמדד רמת מחלה אחרונה בקרקע הוא בעל ההשפעה הרב ביותר. עיון בבסיס הנתונים מגלה שלא מבוצעות בדיקות מעבדה לגילוי אוכלוסיית קישיונות דוררת בגבעולים בכל החלקות שגידלו בהן גידול רגיש. ניתן לציין, שלא בוצעו בדיקות מעבדה לגילוי גבעולים נגועים באגוזי אדמה, זולת שנת 2005.

בתחילת הדרך נתקלנו בקשיים במילוי עקבי של מטריצות צמדי המדדים. לטענת המומחים, הקושי בהערכת צמדי מדדים במטריצה נבע מכמה סיבות: (1) ממספר מרובה של המדדים, (2) מסולם רמות חשיבות מפורט מדי, (3) ומאופן מילוי המטריצה, לאמור, השוואה בין מדד בשורה אל מול המדדים שבעמודות.

פותחה מערכת תומכת החלטה מרחבית לתכנון חלקות תפוחי אדמה על פי חיזוי רמת מחלת הדוררת. המערכת משלבת מודל מתמטי המשקלל ידע מומחים באמצעות ניתוח מדדים מרובים ומודל מרחבי לבחירת חלקות ולהקצאת זנים. המומחים בחרו לכלול שמונה מדדים המשפיעים על שכיחות מחלת הדוררת, ולדחות בשלב זה גורמים נוספים העלולים להשפיע על נגיעות במחלה כגון תנאי אקלים ונוכחות אוכלוסיות מיקרואורגניזמים נוספות בקרקע (Rowe and Powelson, 2002). מודל חיזוי רמות מחלה המושתת על שילוב ידע מומחים הוביל לתוצאות מובהקות.

פותחה ונבחנה מערכת איסוף נתונים שמאפשרת בסופו של התהליך מיפוי גיאוגרפי של איכות מוצר בגידולי שדה שנאספים למיכלים גדולים.

פותחה מערכת מבוססת ידע-מומחה לחיזוי מחלת הדוררת בתפוחי א – זהו ניסיון ראשון לפתח בגישה זו. נראה כי היא מביאה לתוצאות מתקבלות על הדעת אך נדרש מקצה שיפורים.

בבחינת הנתונים הקיימים נתגלו חוסרים משמעותיים ברישום רב שנתי ולכן המערכת אומתה באמצעות 45 מקרים בלבד. ובשלב זה המערכת איננה מותאמת לגידול תפוחי א זעיר. נמצא כי הגורם המשפיע ביותר בצורה משמעותית הוא רמת מחלה בקרקע. ללא נתון זה החיזוי של המערכת איננו תקף. צורך זה מאשש את הצורך באיסוף קפדני ורישום של נתונים. מיפוי הנתונים שמומש הינו מרכיב משמעותי שיקדם את המערכת לעידן החקלאות המדייקת

בחינת המערכת על ידי ביצוע סימולציות של תרחישים בזמן המחישו את השפעת מחזורי גידולים צפופים על רמת מחלה.

יש צורך בפיתוח מערכת כוללת שתאחד את מרכיבי איסוף הנתונים עם המערכת תומכת ההחלטה. במהלך הפרויקט נוצר קשר עם חברת תכנה שהביעה עניין בנושא אך בשלב זהה ללא המשך.

בסיס הנתונים אשר יכול את כל הנתונים הרלוונטיים יתרום להקניית ידע בתחום מחלות קרקע. בסיס נתונים קרטוגרפאי המתאר שפוחת לחלקות משנה הכולל את מחזור הגידולים, שעורי מחלות בפקעות האם, שעורי מחלות בגבעולים נגועים, היסטוריית חיטוי קרקע וכמות היבול יוביל לפיתוח יעיל, מהיר, ומדויק של מודלים לחיזוי מחלות קרקע.

פיתוח מודלים נוספים לחיזוי מחלות קרקע הנסמכות על בסיס נתונים גיאוגרפאי יאפשר תכנון מחזור גידולים יעיל יותר. הדגש בגישה זו מתבטאת בפיתוח מודלים המבוססים על ניתוח הסינרגיה בין פתוגנים בחלקות מסחריות וניתוח הקשר בין הופעת סימני מחלה בפקעות הבת או בגבעולים לבין כמות ואיכות התוצרת

ספרות מצוטטת

גמליאל, א. טריקי, ש. אוסטרוויל, מ. שטיינר, מ. זילברג, ו. פרץ א. 2004. פרוק מואץ של תכשירי מתאם סודיום בקרקע: תיעוד ודרכים להתמודדות- סיכום ניסויי שדה, גד"ש בארי לשנים 2001-2004. דו"ח שנתי לקרן מדען משרד החקלאות.

Ben-Said, S., 2008. The Use of Multi-Criteria and GIS for Predicting Land Degradation Risks in Charod Catchment. (Masters Dissertation, Ben-Gurion University of the Negev, Beer-Sheva, 2008), 115 pp.

Davis J. R, Pavek J.J., Corsini, D.L., Sorensen, L.H., Schneider, A.T., Everson, D.O., Westermann, D.T., and Huisman, O.C., 1994. Influence of Continuous Cropping of Several Potato Clones on the Epidemiology of Verticillium Wilt .Phytopathology Vol 84(2), pp: 207-214

Mau-Crimmins, T., de Steiguer, J.E., and Dennis, D., 2005. AHP as means for improving public participation: a pre-post experiment with university student. Forest Policy and Economics 7, pp: 501-514.

Rowe, R.C., and Powelson, M.L., 2002. Potato Early Dying: Management Challenges in a Changing Production Environment. Plant Disease 86(11), pp: 1184-1193.

Saaty, T.L., 1980. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. McGraw-Hill, New York, 287 pp.

Store, R., Kangas, J. 2001. Integrating spatial multi-criteria evaluation and expert knowledge for GIS-based habitat suitability modeling. Landscape and Urban Planning 55, pp: 79-93.

פרסומים מדעיים

Goldstein E., Hetzroni A., Cohen Y., Tsrer, L., Zig U., Lensky, I. (2009) A Decision Support System to Predict Plot infestation with Soil-Borne pathogens in

Potato production systems. Joint International Agricultural Conference,
Wageningen NL.

Hetzroni, A., U. Zig, S. Warshavsky, S. Yosef (2007) Quality mapping of field crops
Stafford, J.V. (ed) Proceedings of the 6th European conference on precision
agriculture (ECPA) pp 297-302, Skiathos, Greece

Hetzroni, A. (2007) Repository of Field Crops Data to Support DSS for Crop
Rotation. 6th Biennial Conference of the European Federation of IT in
Agriculture. Glasgow, Scotland

גולדשטיין א., י. כהן, א. חצרוני, ל. צרור, א. זיג (2009) פיתוח מערכת תומכת החלטה מרחבית להקצאת
חלקות לגידול תפוז"א על-פי חיזוי רמת מחלת הדוררת. דיווח שנתי של מחקרים בתפוז"א

ימי עיון למגדלים 16 יולי 2007, 9 ספטמבר 2007 יום עיון ב- 2009

סדרת הדרכות למגדלים על ידי חברת קולומבוס להטמעת השימוש במערכות מידע גיאוגרפיות.

סיכום

מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה.

מטרתו הכוללת של המחקר כפי שהוגדרה בתחילתו היא פיתוח מערכת תומכת החלטה להכנון מחזור גידולים ולחיתוי קרקע בגידולי שלחין בנגב הצפוני.

המטרות ספציפיות שהוגדרו היו: א. פיתוח בסיס נתונים וממשק מקוון לקליטת נתונים ממקורות שונים והתממשקות עם הליכי ניתוח בחלקים אחרים של המערכת; ב. לימוד קשרים בין שכיחות מחלות קרקע ומחזור זרעים וזנים ומדדים אגרוטכניים נוספים באמצעות כריית נתונים; ג. לימוד הקשר בין נתוני דיגום התוצרת לשונות המרחבית בשדה של מחלות שוכנות קרקע באמצעות ניתוח מרחבי וגיאוסטטיסטי בסביבת ממ"ג ותוכנות סטטיסטיות.

עיקרי הניסויים והתוצאות.

מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדוח? במסגרת עבודה זו הוגדר ופותח בסיס נתונים ששימש בהמשך בכל הטיפול, ניתוח הנתונים והסקת מסקנות. העברת הנתונים בין השותפים נעשתה באמצעות העברת קבצים. במהלך השנה הראשונה נראה היה שחברה מסחרית תשתלב ותפתח יישום אולם הם נסוגו ובשלב זה מאגר הנתונים והכלים נמצאים ומטופלים אצל יח"מ ואצל השותפים בעבודת מחקר ופיתוח זאת.

ב. לימוד קשרים בין שכיחות מחלות קרקע ומחזור זרעים וזנים ומדדים אגרוטכניים נוספים באמצעות כריית נתונים;

ג. לימוד הקשר בין נתוני דיגום התוצרת לשונות המרחבית בשדה של מחלות שוכנות קרקע באמצעות ניתוח מרחבי וגיאוסטטיסטי בסביבת ממ"ג ותוכנות סטטיסטיות.

בעיות שנתרו לפתרון ו/או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה; התייחסות המשך המחקר לגביהן, האם יושגו מטרות המחקר בתקופה שנתורה לביצוע תוכנית המחקר?

הפצת הידע שנוצר בתקופת הדוח: פרסומים בכתב - ציטוט ביבליוגרפי כמקובל בפרסום מאמר מדעי;

פטנטים - יש לציין שם ומס' פטנט; הרצאות וימי עיון - יש לפרט מקום, תאריך, ציטוט ביבליוגרפי של התקציר כמקובל בפרסום מאמר מדעי.

פרסום הדוח: אני ממליץ לפרסם את הדוח: (סמן אחת מהאופציות)

רק בספריות

ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט)

חסוי – לא לפרסם