

דו"ח לתוכנית מחקר מספר 277-0094-08

חישה מרחוק ככלי לאבחון עקות מים ומינרלים בחיטה

**Assessing water and mineral stresses in wheat by remote sensing**

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות

ע"י

דוד בונפיל – גידולי שדה, מינהל המחקר החקלאי, גילת

ישראל מופרדי, סלביה אסידו – גידולי שדה, מינהל המחקר החקלאי, גילת

ארנון קרניאלי – המכון לחקר המדבר, אוניברסיטת בן גוריון, מדרשת שדה בוקר

Bonfil David J., Department of Field Crops and Natural Resources, Agricultural Research

Organization, Gilat Research Center, Mobile Post Negev, 85280, Israel. E-mail:

bonfil@volcani.agri.gov.il

Karnieli Arnon, Jacob Blaustein Institute for Desert Research, Ben Gurion University of

the Negev, Sede-Boker Campus 84990, Israel. E-mail: karnieli@bgumail.bgu.ac.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

החיטה מהווה את הגידול המרכזי של השטחים הפתוחים בישראל, ומדי שנה נזרעים כמליון דונם למטרות שונות. נוסף על כך, החיטה נזרעת בשדות גדולים האוצרים בתוכם שונות מרחבית רבה, דבר המתבטא משמעותית בהתפלגות המרחבית של היבול. לכן החיטה מהווה גידול קלאסי ללימוד הקשר שבין חישה מרחוק ע"י לווינים למציאות על פני הקרקע. חישה מרחוק מבוססת על המידע הגלום באנרגיה המוחזרת מעלוות הצמח לאחר ניטרול הפרעות אטמוספיריות (אשר נובעות בעיקר מגזים, מאירוסולים, ומאדי המים באטמוספירה) וקרינה מוחזרת מהקרקע (היכן שהשדה אינו מכוסה בשלמות ע"י עלווה). החיטה, ככל גידול, חשופה לעקות ביוטיות (מחלות, מזיקים וכד') וא-ביוטיות (יובש, חום, הזנה מינרלית ועוד) אשר משפיעות על הצמח ועל הקרינה המוחזרת ממנה. נוסף על כך, גם לשלבי גידול שונים יש החזר קרינה שונה. שיפור יכולת התגובה לעקה יכול להתקבל ע"י זיהוי מוקדם של העקה, זאת במיוחד ע"י חישה מרחוק אשר מאפשרת קבלת מידע רב על שטח נרחב מלווה בדיגום מינימאלי של השדות לצרכי כיוול. רוב המחקרים שנעשו בתחום זה חקרו את השפעת הגורם הבודד על קרינה זו. אולם לעקות שונות יכולות להיות השפעות שונות אשר פועלות בכיוונים שונים ולעיתים אפילו מנוגדים ולכן ממסכות את השפעת הגורם הבודד. מטרת המחקר העיקרית היא לאבחן עקות ביוטיות וא-ביוטיות בחיטה ללא מגע בשימוש של כלי חישה מרחוק. המטרה הושגה ע"י בניית ספרייה של חתימות היפר-ספקטראליות אשר מייצגות עקות שונות בתקופות גידול שונות של חיטה בתנאי שדה, בניית מודל סטטיסטי לאיבחון העקות וכימותן, ואימות ע"י דימותי לוויין/מטוס. יצרנו ספרייה של למעלה מאלף חתימות ספקטראליות של חיטה במצבי עקות של מים, חנקן, זרחן ואשלגן; ושיבוש בעשביה. רמת האילוח במחלות היתה נמוכה ומנעה אפשרות להתקדמות משמעותית בנושא זה. כמו כן פזור המשקעים והעננות צמצמו את מספר דימותי הלוויין הזמינים. שיגור לוויין ונוס נדחה, ומנע אפשרות לבדיקת הכיולים שבוצעו. שימוש בכיוול נתונים היפר ספקטראליים שנרכשו באופן קרקעי מבוסס ASD עבור ניתוח צילום ממטוס התגלה כהליך מורכב. על סמך הקיים כיום השימוש דורש עבודה רבה לתיאום, השימוש בעתיד אפשרי לאחר התקדמות טכנולוגית נוספת שתאפשר קבלת נתונים מהימנים באופן פשוט וזול. לכן עדיף כרגע להתמקד באינדקסים ספקטראליים, אשר נוחים בהרבה ליישום מסחרי. מסד הנתונים שנבנה עדיין לא יכול להיות מיושם בפועל באופן מיידי, אך יש סבירות גבוהה כי עם שיגורו של הלוויין ונוס או לוויין דומה, ניתן יהיה ליישם את ממצאי המחקר לאחר פרק אימות קצר.

## **מבוא**

החיטה מהווה את הגידול המרכזי של השטחים הפתוחים בישראל, ומדי שנה נזרעים כמיליון דונם למטרות שונות. נוסף על כך, החיטה נזרעת בשדות גדולים האוצרים בתוכם שונות מרחבית רבה, דבר המתבטא משמעותית במפות היבול. לכן החיטה מהווה גידול קלאסי ללימוד הקשר שבין חישה מרחוק ע"י לווינים למציאות על פני הקרקע. חישה מרחוק מבוססת על המידע הגלום באנרגיה המוחזרת והנפלטת מעלוות הצמח לאחר ניטרול הפרעות אטמוספריות (אשר נובעות בעיקר מגזים, מאירוסולים, ומאדי המים באטמוספירה) והקרינה המוחזרת מהקרקע (היכן שהשדה אינו מכוסה בשלמות ע"י עלווה). החיטה, ככל גידול אחר, חשופה לעקות ביוטיות (מחלות, מזיקים וכד') וא-ביוטיות (יובש, חום, הזנה מינרלית ועוד) אשר משפיעות על הצמח ועל הקרינה המוחזרת ממנה. נוסף על כך, גם לשלבי גידול שונים יש החזר קרינה שונה עקב שינויי המצב הפיזיולוגי של הצמח וכיסוי הקרקע. שיפור יכולת התגובה לעקה יכול להתקבל ע"י זיהוי מוקדם של העקה, זאת במיוחד ע"י חישה מרחוק אשר מאפשרת קבלת מידע רב על שטח נרחב ללא הזדקקות לדיגום השדות. רוב המחקרים שנעשו בתחום זה חקרו את השפעת הגורם הבודד על קרינה זו. אולם לעקות שונות יכולות להיות השפעות שונות אשר ממסכות את השפעת הגורם הבודד. אשר על כן יש חשיבות לבניית בסיס נתונים רחב אשר יאפשר זיהוי והפרדה של עקות שונות.

### **רקע מדעי קצר ומטרת העבודה כפי שהוגדרו בתכנית המחקר:**

השימוש בנתוני חישה מרחוק מולטי-ספקטראליים ורב-עתיים מאפשר לעקוב אחר שינויים במצב השדה. ניצול דימותי לוויין להערכת מצב השדות החל בתחילת שנות השבעים עם הגדרת האינדקס הספקטראלי NDVI. אינדקס זה משתמש בנתוני ההחזרה בתחומים האדום והאינפרא אדום הקרוב. מחקרים רבים בתחום זה עסקו במתן מענה לשאלות בנושא ההזנה החנקנית ע"י שימוש באינדקס NDVI, אולם השימוש באינדקס כללי זה מוגבל כיוון שעקות רבות משפיעות על ערכיו. בנוסף יש להדגיש כי לגורמים רבים ובהם: הגידול והזן, תנאי גידול ועקות, רטיבות, הזנה מינרלית, מליחות, מחלות, מזיקים ועוד יש השפעה על הקרינה המוחזרת מהעלה ומהקמה. לאור זאת לאינדקסים ספקטראליים יש מגבלות ביכולת החיזוי של מצב הקמה ויש צורך בניטרול גורמים אשר משפיעים על ההחזרה. קיימת אפשרות לשימוש בנוסחאות כיוול רבות אשר מתאימות לשימוש בתנאים ייחודיים, אולם פתרון זה אינו ריאלי ליישום, כיוון שלשם כך יש צורך במאגר נתונים משלים לדימות אשר על פיו יקבע באיזה נוסחה יש להשתמש בניתוח כל פיקסל. לחילופין, ניתן להיעזר בטביעת אצבעות של החתימה הספקטראלית לאיפיון מצב שבו גורם מגביל מתבטא. אבחון טביעת אצבעות מתאפשר בניתוח מידע היפר-ספקטראלי. אין ספק כי לזיהוי מוקדם ככל האפשר של פגיעה עקב גורם מגביל, לזיהוי הגורם ובמידת האפשר לכימותו יש חשיבות ראשונה במעלה ליכולת של החקלאי במתן מענה הולם לבעיה שהתרחשה.

בשנים הקודמות מיקדנו מספר מחקרים בלימוד הקרינה החוזרת מעלוות חיטה בכדי לפתח כלי תומך החלטה להבטחת איכות החיטה. מחקר זה בא להרחיב את היריעה, וללמוד היאך משתנה הקרינה המוחזרת מקמת חיטה תחת עקות שונות. המחקר התמקד בעיקר בשילוב עקות מים, חנקן,

זרחן ואשלגן מצד אחד, ומשיבוש בעשבים רעים מאידך, הרלוונטיים לחיטה הגדלה באזורים צחיחים למחצה בכלל ובנגב הצפון מערבי בפרט.

### מטרת המחקר

מטרת המחקר העיקרית היא איבחון עקות מים ומינרלים בחיטה ושיבוש בעשביה. מטרת משנה הם:

1. בניית ספרייה של חתימות היפר-ספקטרליות אשר מייצגות עקות ביוטיות וא-ביוטיות בתקופות גידול שונות של חיטה בתנאי שדה.
  2. בניית מודל אלקטרו-אופטי לאיבחון העקות וכימותן.
  3. בחינת ואימות המודל באמצעות דימותי לוויין.
- מטרת המחקר הושגו ע"י שימוש בטכניקות של חישה מרחוק וניתוח הבדלים בדימותים בין צמחים הנמצאים תחת תנאי זמינות חנקן, זרחן ומים שונים, הנובעים מהבדלים בדישון החנקני והזרחני, השקיה, ממשק גידול, כרב, ומהבדלים בצבירת חומר יבש ויצירת יבול. כן בחנו את השפעת מחלות, מזיקים, ועשבים על החתימה ההיפר-ספקטראלית של הקמה. מודל הערבוב אמור לנתח את הספקטרה המתקבלת ולאפיין את המצב בשדה, עם כוונה לזהות עקות ספציפיות. המחקר עסק בפיתוח "טביעת אצבע" להבחנה לא רק בקיום העקה אלא בין סוגי העקות השונות (מים, דישון, מחלה, מזיק, עשב) ובמידת האפשר בכימות העקה.

### אבני דרך ולוח זמנים שהוגדרו:

- שנה א':** תחילת יצירת ספריית חתימות ספקטראליות של חיטה במצב גידול מיטבי ובעקות שונות; פיתוח אינדקס ספקטראלי לזיהוי שיבוש בעשביה דגנית ורחבת עלים; בניית פרוטוקול לעבודה עם דימותי לוויין ובירור המגבלות.
- שנה ב':** פיתוח אינדקס ספקטראלי לזיהוי שיבוש בחלדונות ובספטורית העלים; אימות כולל נתוני הלוויין לכימות תכולת מים וחנקן בקמה.
- שנה ג':** העשרת הספרייה של החתימות; קומפילציה של כל הנתונים ויצירת מערכת תומכת החלטה מבוססת לוויין לזיהוי עקות שונות.

### שיטות וחומרים

שדות- בפועל עבודת המחקר התבצעה בשדות במרכז מחקר גילת ובשדות מסחריים רבים ובהם התמקדות בשדות גד"ש לביא, סעד, ושקמה. בשדות שונים ובחלקות הקבועות נזרעו זני חיטה שונים במספר ממשקי גידול (אי פליחה/מעובד; בעל/השקיית עזר; דישון בחסר/בעודף וכדומה). המחקר בוצע במספר כיוונים במקביל: (א) בשדה "חלקות קבועות", עם ממשקי עיבוד והזנה מינרלית (חנקן וזרחן) שבו נבחן רק זן אחד (יובל) בבעל וזן אחר (זהיר או גדרה) עם השקיית עזר; (ב) בשדה אחר נחקרה השפעת דישון זרחני ואשלגני על הזן גליל; (ג) שיבוש בעשביה נחקר בחלקות ניסוי ובחלקות מסחריות שונות שהכילו שונות ברמת השיבוש; (ד) שדות מסחריים (הזרועים בזנים שונים) אשר משלבים את הגורמים הנ"ל.

ספקטרה- חותמות ספקטראלית של הקמה מחלקות בגילת ומחלקות משקיות הוגדרו בתחום 350-2500 ננומטר באמצעות ספקטרומטר שדה מסוג (ASD) Analytical Spectral Devices בשדה. מדידת הספקטרה בתחום 400-2500 ננומטר של עלה הדגל מחלקות בגילת התבצעה במעבדה ע"י

מכשיר Foss NIR System's model 6500. במקרה של אפיון עלה נגוע במחלה נמדדה הקרינה המוחזרת גם מהעלה באזור הנגוע הספציפי. ספקטרום ההחזרה מגורמים שונים (כגון צמחיה, קרקע, צל, חומר אורגני יבש) שימשו כקלט למודל עירבוב (mixture model) אשר יחזה כיצד אמורה להיות רמת וצורת ההחזרה הספקטרלית של פיקסל הלווין (אשר מכיל את כל הרכיבים הנ"ל ביחסים ספקטראליים ובכיסויים שונים). בנקודת דיגום המבוססת ASD נלקחה דוגמת קמה משטח של 0.3 מ"ר, עבור אמידת הביומסה, ותכולת המים והמינרלים. הספקטרה המקורית הומרה לנתונים ברזולוציה של 5 ננומטר, ותחומי "המים" הוצאו בעיבוד מקדים.

לוויין-סה"כ חמישה דימותי לוויין Landsat (צפון ודרום) ודימות אחד מהלוויין ALI נרכשו סביב תקופת ההשתבלות. הדימותים תוקנו אטמוספירית, רדיומטרית, וגיאומטרית בעזרת התוכנה ERDAS IMAGINE 8.7. עבור כל חלקת ניסוי בוצע עיבוד באמצעות ממוצע כל הפיקסלים לאחר הורדת הפיקסלים שבגבול החלקה. לצערנו לא יכולנו להיעזר בדימותי הלוויין Venus עקב דחיית השיגור.

צילומי אוויר- שדות רבים צולמו צילום היפרספקטראלי מהאוויר, ע"י 2 מצלמות AISA המכסות תחום ספקטראלי צר 400-1000 ננומטר (שדות בדרום) ורחב 400-2400 ננומטר (שדות בצפון). הדימותים תוקנו אטמוספירית, רדיומטרית, וגיאומטרית בעזרת התוכנה ENVI. דוגמאות ממקומות שונים (צוינו ע"י GPS) נלקחו מאתרים שונים בשדות אשר כוסו ע"י צילום אווירי היפר-ספקטראלי. עיבוד נתונים- הקשר בין הנתונים הביולוגיים (חומר יבש, שטח עלים-LAI, מצב מים, תכולת NPK, רמת שיבוש בעשביה ומחלות) שנאספו מהשדה עם החתימות השונות מאופיין ומוגדר באמצעות תוכנות ספקטרוסקופיה (WinISI, The Unscrambler) ותוכנות סטטיסטיות (SAS, Statistica). הכיולים בוצעו הן על נתוני ההחזר הגולמיים, והן לאחר עיבוד מתמטי (נגזרת ראשונה ושנייה, הוצאת חריגים וכדומה).

### תוצאות ודיון

ספריית חתימות ספקטראליות: איסוף נתוני ההחזרה מהקמה התבצע בעיקר באמצעות ספקטרומטר שדה מסוג Analytical Spectral Devices (ASD) בשדה. מסד הנתונים הורחב בשלוש שנות המחקר האחרונות והוא מכיל עתה 1275 רשומות עבור קמת חיטה. מספר הרשומות עבור הפרמטרים השונים אינו זהה היות שנתוני החזר נלקחו מעונות/שדות שונים ובכל אחד מהן היתה התמקדות על נושא אחר. באופן כללי, בשלוש שנות המחקר הנוכחי הוספנו רשומות רבות שלהן נתוני ביומסה ותכולת חנקן זרחן ואשלגן, נתונים שחסרים היו בבסיס הנתונים בראשית העבודה. במודע, התמקדנו פחות לגבי המשתנים שטח עלווה ושלב פנולוגי, כיוון שלהם פיתחנו אלגוריתם טוב (Pimstein et al., 2007; 2009).

איסוף הנתונים חולק לשתי תקופות עיקריות, חיטה צעירה והשתבלות. התקופה הראשונה הינה התקופה שמהצצה ועד בערך 50 יום מהצצה, בתקופה זו בדרך כלל אין בעיית מחסור בדשנים ו/או נגיעות במחלות. לחילופין, בתקופה זאת מתבצע יישום מירב קוטלי העשבים, אשר על כן בתקופה זו עיקר המחקר נסב סביב העשבים הרעים. התקופה השנייה היא התקופה שסביב מועד

השתבלות החיטה. בתקופה זו בד"כ ניתן לאפיין מחסורי מים וחנוקן, בד בבד זו התקופה שבה החיטה נתקפת במחלות ובמיוחד בחלדונות. במידה וניתן היה לקבל כיוול טוב על בסיס כל מסד הנתונים, כגון חומר יבש, העדפנו דרך זו. היכן שהכיוול הוגבל לתקופת גידול מסוימת, כגון עשבים רעים, בחרנו באפשרות המצומצמת תוך ציון ההגבלה.

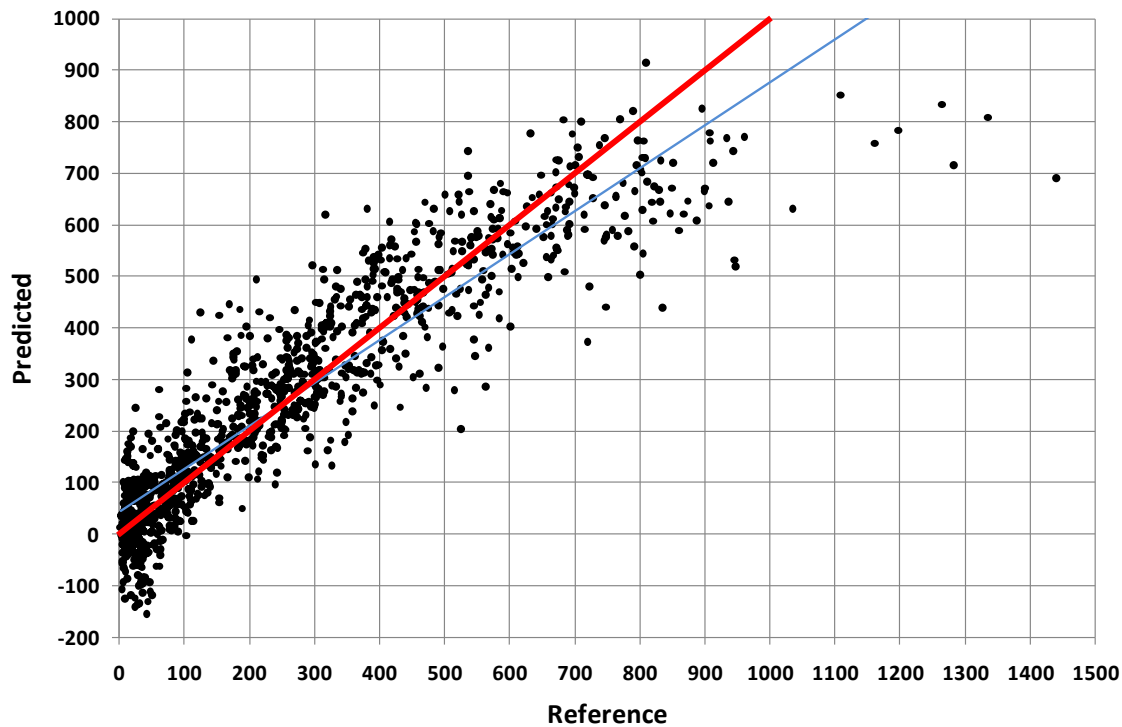
במקביל, בוצע איסוף נתונים מהאוויר באמצעות מצלמת AISA-ES. איסוף נתונים זה נתקל בבעיה קשה של זמינות ועלות אך עם זאת עלה בידינו לבצע מספר צילומים. נדגמו בו זמנית 107 דוגמאות בתוך שישה משקים שונים אשר מאפשרים אימות של הכיוול הקרקעי או לבצע כיוול ראשוני. בצענו תהליך עיבוד מורכב, שכלל כיוולים רדיומטרים ותיקונים אטמוספריים של הצילומים, על-מנת לקבל את החתימה הספקטראלית שמאפיינת את המטרות השונות שנדגמו בשטח. תהליך התיקון והכיוול התבצע בסביבה של תוכנת ENVI וכלל שימוש במודלים אטמוספריים ACORN ו-ATCOR. כיוון שמצלמת AISA-ES היא מצלמה שמופעלת בצורה ידנית ואפשר לשנות את הקונפיגורציה שלה תוך כדי טיסה, שילבנו בתהליך העיבוד גישות שונות, שכללו בין היתר מדידות ספקטראליות מהקרקע, בכדי לשפר את התיקונים של הצילומים. מצאנו כי קיימת בעיה בהשלכת מודל כיוול מבוסס מדידות ASD על הנתונים המתקבלים מהצילומים ההיפר-ספקטראלים. לכן, כשיטת עבודה, מומלץ לשלב בין מדידות ספקטראליות מהשטח ובין נתונים מהצילומים ההיפרספקטראלים כדי לקבל מודלים אמינים. בשנת המחקר האחרונה השקענו עבודת דיגום רבה בכדי לאמת את הכיוולים ודרך התיקון, אך גיחת הצילום בוטלה בעודנו בשדה ולא יכלה לצאת לפועל עקב מגבלות שונות (מזג אוויר, אישורי טיסה, וכדומה) בתקופה הרלוונטית.

עיבוד נתונים: עקום ההחזר מקמת חיטה משתנה כתלות בקמה ובהרכבה, בגיל הגידול, ובגורמים שאינם קשורים לגידול כמו עשבים וכדומה. ניתן לקשר בין הנתונים הביולוגיים של הקמה עם החתימות השונות באמצעות תוכנות ספקטרוסקופיה (The Unscrambler). הכיוול המיטבי נעשה כאשר כל התחום הספקטראלי עומד לרשות העיבוד, הן על נתוני ההחזר הגולמיים, והן לאחר עיבוד מתמטי (נגזרת ראשונה ושנייה, הוצאת חריגים וכדומה). על בסיס מסד נתונים חלקי הראנו כי ניתן באופן שכזה לכייל את החותמת הספקטראלית לנתוני חומר יבש ותכולת מים וחנוקן (Pimstein et al., 2007), במקרה זה העיבוד המיטבי היה לאחר נגזרת ראשונה + הוצאת חריגים + שימוש באורכי גל ספורים. מנתונים אלו ומאחרים ברור כי יש יתרון לכיוול המבוסס על נתונים מעונות רבות המייצגים טווח רחב של הפרמטרים הנאמדים. אשר על כן בוצע כיוול מחודש על בסיס מלוא מאגר החתימות הזמינות ותוצאות הכיוול מובאות בטבלה 1 ובאיוורים 6-1. עיבוד זה שונה מהעיבודים המקובלים בכך שמסד הנתונים לא חולק לסט כיוול וסט אימות, היות שמטרת המחקר הינה הרחבת מסד הנתונים כמה שיותר, באופן שכל הרשומות ייוצגו בכיוול. לאור זאת בעת חישוב הכיוול השתמשנו באופציה של full cross validation, בצורה שבה בכל פעם החישוב מבוצע בהעדף אחת הרשומות. עתה עם הגדלת מסד הנתונים, נמצא כי בדרך כלל העיבוד המיטבי היה לאחר נגזרת ראשונה + שימוש באורכי גל ספורים (טבלה 1). סביר להניח כי תרומת הרשומות החריגות הפכה לזניחה עם הגדלת מסד הנתונים, או שנוספו רשומות רבות דומות אשר ביטלו את היות הרשומה כחריגה.

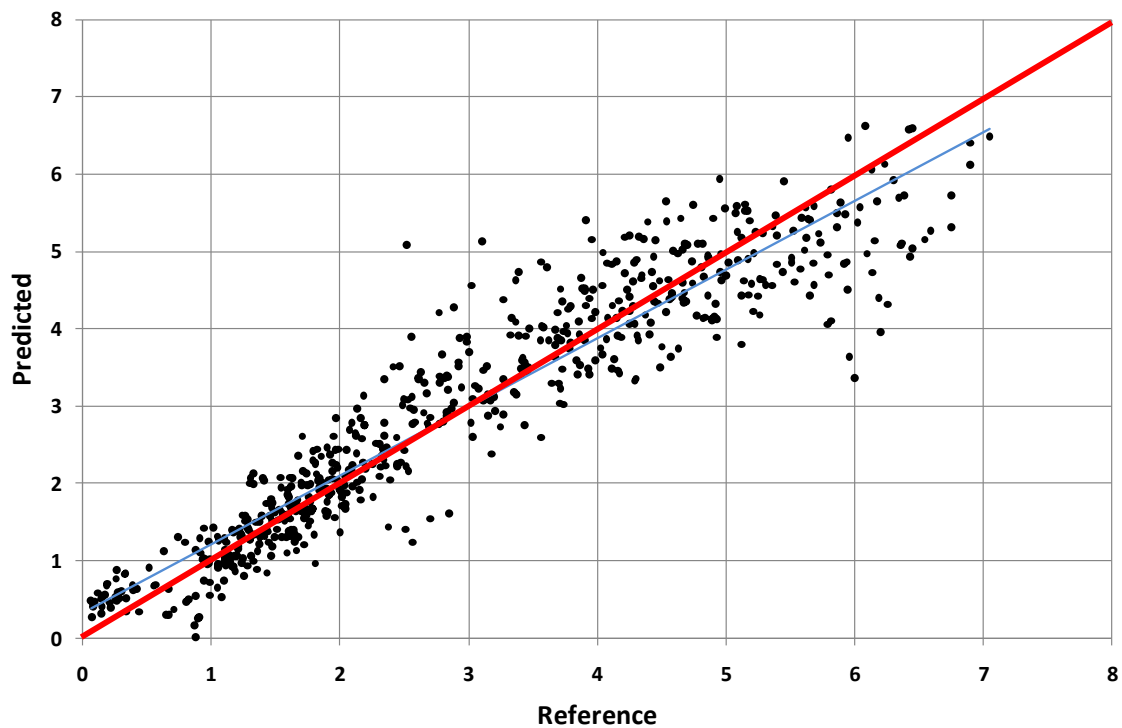
טבלה 1- כיוול פרמטרים שונים של קמת חיטה על בסיס נתונים היפר-ספקטראליים בחישה קרקעית ע"י ASD. מודל על בסיס נגזרת ראשונה d1, הוצאת חריגים o, אורכי גל נבחרים w; מספר רשומות במסד נתונים n; מספר רכיבים PC. המודל המיטבי מודגש.

| RMSEP        | SEP          | Bias         | R <sup>2</sup> | R            | PC       | n           | מודל          | פרמטר          |
|--------------|--------------|--------------|----------------|--------------|----------|-------------|---------------|----------------|
| 107.7        | 98.0         | 50.4         | 0.812          | 0.901        | 5        | 1092        | d1            | ביומסה (ג/מ"ר) |
| 108.5        | 98.7         | 52.8         | 0.812          | 0.901        | 5        | 944         | d1 o          |                |
| 159.2        | 126.1        | 110.7        | 0.596          | 0.772        | 3        | 944         | d1 o w        |                |
| <b>103.7</b> | <b>94.7</b>  | <b>46.5</b>  | <b>0.826</b>   | <b>0.909</b> | <b>5</b> | <b>1092</b> | <b>d1 w</b>   |                |
| 27.2         | 2.5          | 16.4         | 0.756          | 0.870        | 11       | 949         | d1            | תכולת מים (%)  |
| 29.9         | 2.5          | 28.2         | 0.624          | 0.790        | 5        | 807         | d1 o          |                |
| 3.1          | 2.4          | 31.7         | 0.601          | 0.775        | 3        | 807         | d1 o w        |                |
| <b>2.6</b>   | <b>2.3</b>   | <b>17.0</b>  | <b>0.777</b>   | <b>0.882</b> | <b>8</b> | <b>949</b>  | <b>d1 w</b>   |                |
| 0.66         | 0.61         | 0.44         | 0.851          | 0.923        | 3        | 624         | d1            | LAI            |
| 0.65         | 0.58         | 0.43         | 0.859          | 0.927        | 4        | 603         | d1 o          |                |
| 0.62         | 0.58         | 0.42         | 0.859          | 0.927        | 4        | 603         | d1 o w        |                |
| <b>0.60</b>  | <b>0.56</b>  | <b>0.35</b>  | <b>0.877</b>   | <b>0.937</b> | <b>5</b> | <b>624</b>  | <b>d1 w</b>   |                |
| 0.473        | 0.432        | 0.582        | 0.767          | 0.876        | 12       | 1092        | d1            | N (%)          |
| 0.468        | 0.423        | 0.621        | 0.741          | 0.861        | 11       | 944         | d1 o          |                |
| 0.603        | 0.476        | 1.154        | 0.567          | 0.753        | 10       | 944         | d1 o w        |                |
| <b>0.442</b> | <b>0.399</b> | <b>0.579</b> | <b>0.796</b>   | <b>0.892</b> | <b>9</b> | <b>1092</b> | <b>d1 w</b>   |                |
| 0.054        | 0.038        | 0.150        | 0.440          | 0.664        | 5        | 760         | d1            | P (%)          |
| 0.052        | 0.038        | 0.142        | 0.473          | 0.688        | 5        | 738         | d1 o          |                |
| <b>0.050</b> | <b>0.037</b> | <b>0.135</b> | <b>0.511</b>   | <b>0.715</b> | <b>5</b> | <b>738</b>  | <b>d1 o w</b> |                |
| 0.052        | 0.037        | 0.142        | 0.485          | 0.697        | 5        | 760         | d1 w          |                |
| 0.430        | 0.383        | 0.733        | 0.682          | 0.826        | 10       | 760         | d1            | K (%)          |
| 0.433        | 0.384        | 0.749        | 0.672          | 0.820        | 10       | 738         | d1 o          |                |
| 0.396        | 0.343        | 0.742        | 0.721          | 0.849        | 8        | 738         | d1 o w        |                |
| <b>0.394</b> | <b>0.343</b> | <b>0.724</b> | <b>0.730</b>   | <b>0.854</b> | <b>8</b> | <b>760</b>  | <b>d1 w</b>   |                |

חומר יבש- באופן כללי הכיול הוא טוב עבור אומדן חומר יבש של מרבית הרשומות (איור 1). עם זאת ניתן לראות כי יש בעיה בשתי הקצוות. בביומסה רבה מאוד עדיין מספר הרשומות קטן, וסביר כי הגבילו את יכולת הכיול הטובה ביותר. לחילופין, ניתן לראות כי בכיול המבוסס על כל הרשומות, המודל לא מצליח לאמוד נכון את החיטה עם ביומסה נמוכה ביותר. יתכן שהדבר נובע מכך שבזמן שהביומסה נמוכה יש רקע קרקע רב, ובמקרה זה באה לידי ביטוי הבעייתיות של המכשיר אשר אינו קורא בצורה אחידה את כל השטח הנסרק, וכן גדל הסיכוי שהדיגום לא נעשה בדיוק מהמקום הנסרק. מסד הרשומות בעלות מידע גם על אינדקס הכיסוי ע"י שטח עלים (LAI) היה מצומצם יותר מזה של חומר יבש, אך הראה כיוול טוב עבור כל התחום הרלוונטי בחיטה (איור 2).



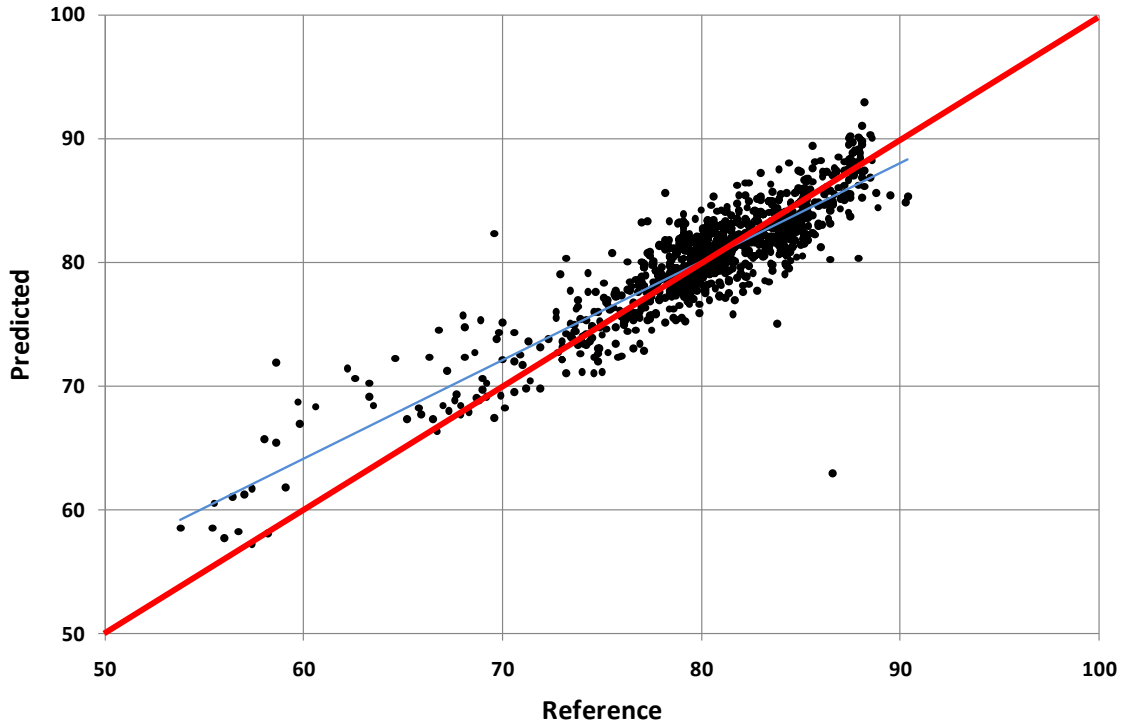
איור 1. כיול מודל PLS האומד את כמות הביומסה (ג'/'מ"ר) בקמת חיטה. קו אדום מציין יחס 1:1, קו כחול מציין את קו הרגרסיה הלינארית המחושבת.



איור 2. כיול מודל PLS האומד את שטח העלווה (LAI) בקמת חיטה. קו אדום מציין יחס 1:1, קו כחול מציין את קו הרגרסיה הלינארית המחושבת.

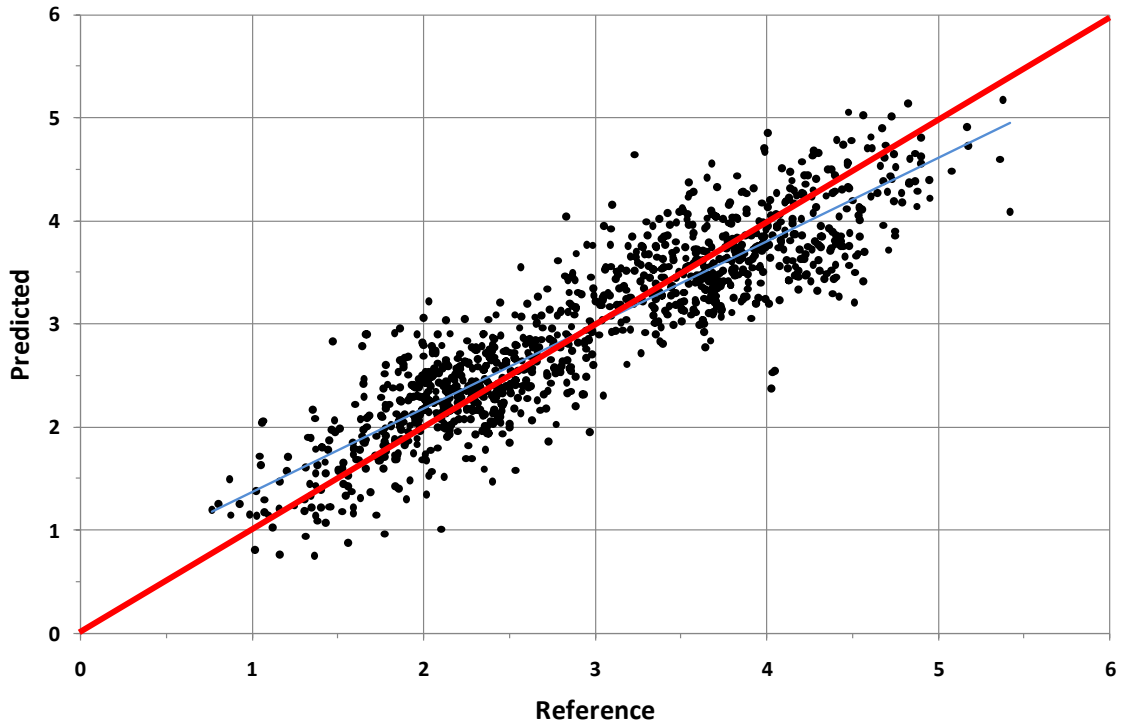


תכולת מים- היות שרוב מדידות הקרינה המוחזרת נעשו מחיטה בחודשי החורף, בדרך כלל מים לא היוו גורם מגביל בשלבים אלו ותכולת המים בצמח החיטה היתה גבוהה. בכל זאת היתה שונות, ורשומות מדיגומים מאוחרים ומניסויים ייעודים הגדילו במעט את המשרעת. שונות זו יכלה לבוא לידי ביטוי בכיול, והתקבל כיול טוב לאומדן תכולת מים בחיטה על בסיס קרינה מוחזרת (איור 3).

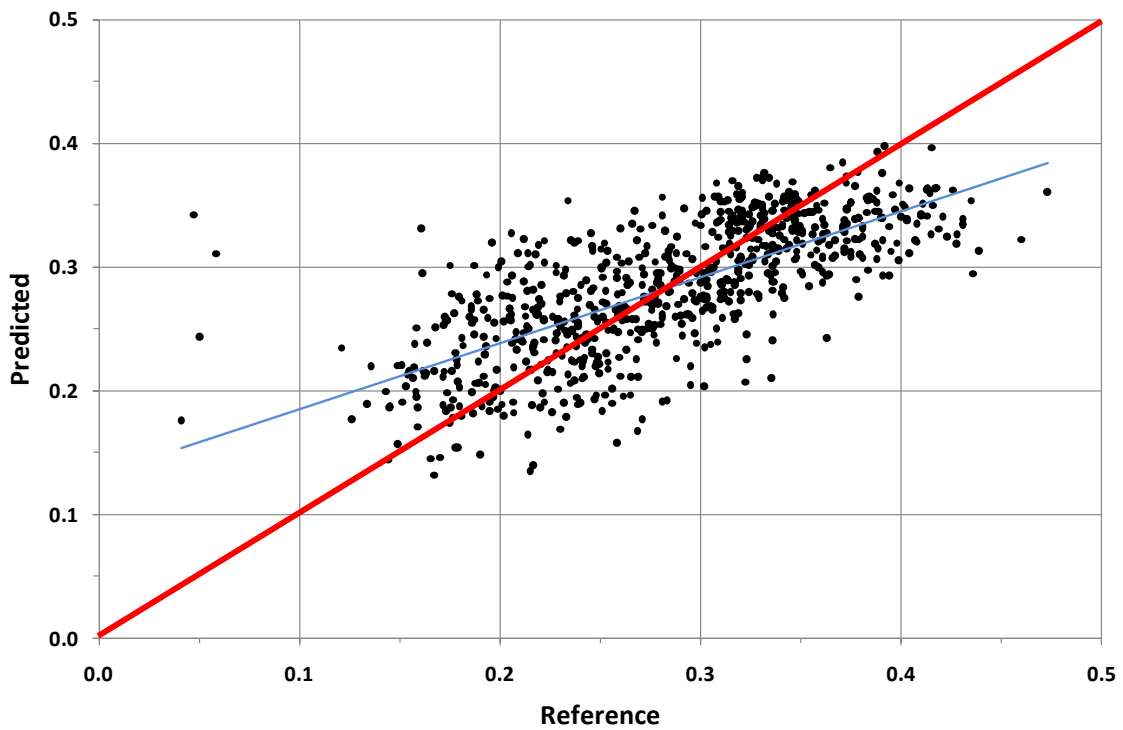


איור 3. כיול מודל PLS האומד את אחוז המים בקמת חיטה. קו אדום מציינ יחס 1:1, קו כחול מציינ את קו הרגרסיה הלינארית המחושבת.

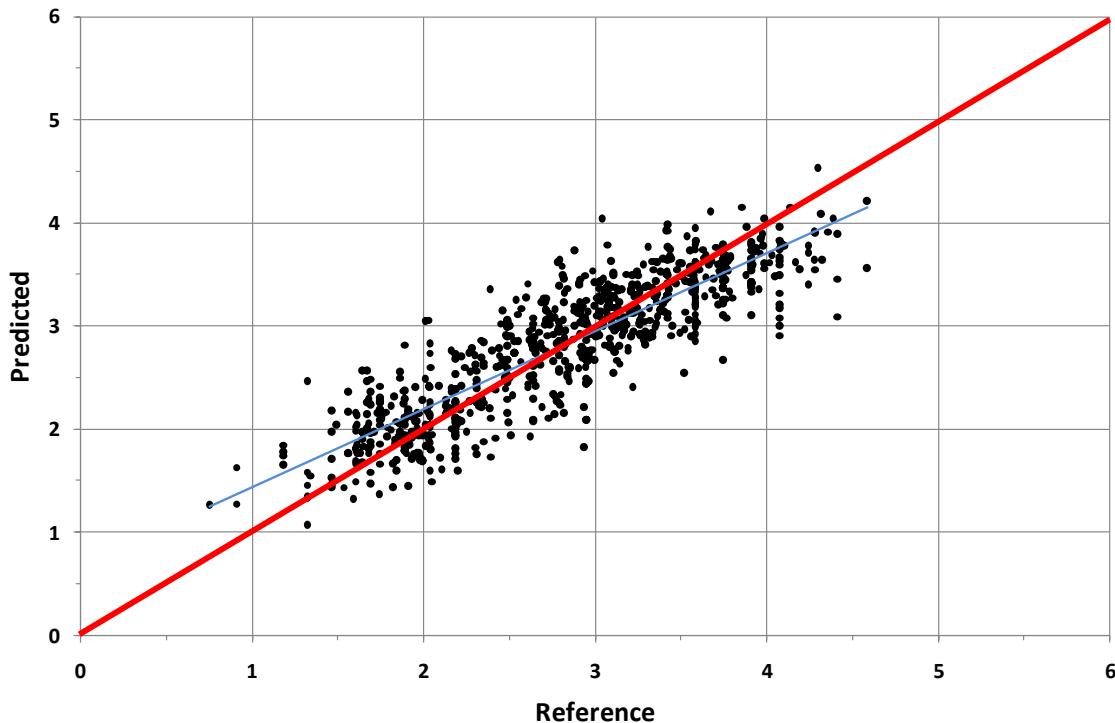
תכולת מינרלים- מירב העבודות עד עתה בארץ ובעולם עסקו באומדן תכולת החנקן בעלה ו/או בקמה. נושא זה הניב לא מעט תוצאות חיוביות ואף פיתוח חיישנים ייעודים. לכן לא מפתיע כי עיבוד המידע ההיפר ספקטראלי מאפשר לקבל אומדן על תכולת החנקן (איור 4). בעבודה זו הרחבנו את היריעה וניתן לראות כיולים עבור זרחן ואשלגן (איורים 5 ו 6 בהתאמה). האומדן עבור זרחן היה הפחות טוב מכל הכיולים שבוצעו. ניתן לזהות יותר חריגים בקצוות ועננת נתונים מבודדת יותר מאשר עבור שאר הפרמטרים. יתכן שהדבר נובע מכך שאכן קשה לקבל כיול עבור זרחן עקב אי השארת חותם ייחודי על הספקטרה. יתכן גם שהדבר הינו תוצאה של רמת השגיאה בבדיקת המעבדה יחסית לתחום השונות. לגבי אשלגן התקבל כיול טוב, אם כי בתנאי הגידול בארץ אשלגן לא מהווה בדרך כלל גורם מגביל לחיטה.



איור 4. כיול מודל PLS האומד את אחוז החנקן בקמת חיטה. קו אדום מציין יחס 1:1, קו כחול מציין את קו הרגרסיה הלינארית המחושבת.



איור 5. כיול מודל PLS האומד את אחוז הזרחן בקמת חיטה. קו אדום מציין יחס 1:1, קו כחול מציין את קו הרגרסיה הלינארית המחושבת.



איור 6. כיול מודל PLS האומד את אחוז האשלגן בקמת חיטה. קו אדום מציין יחס 1:1, קו כחול מציין את קו הרגרסיה הלינארית המחושבת.

מחלות- בעונת הגידול האחרונה לא נמצאו בגילת מחלות, והנגיעות במחלות היתה נמוכה מאוד גם בשדות המסחריים. אשר על כן העבודה על עקת מחלות לא התקדמה בשנת המחקר האחרונה. בסך הכל נאספו מספר מוגבל של נתונים (ברמות נגיעות שונות של חלדון עלה וצהוב) ברמת העלה. אולם, לא נמצאו חלקות שיכלו לשמש בכיול של חישת קמה. מיעוט הנתונים לא אפשר להכניס את המחלות לבסיס הנתונים עבור עיבוד משולב.

שובש בעשבים רעים- על סמך מחקרים קודמים ניתן להניח שניתן לזהות ולסווג את מיני העשבים ע"י חישה היפר-ספקטראלית. כיוון שאמצעי החישה היכולים לכסות שטחים נרחבים מהר בפשטות יחסית, ובשימוש נוח הינם מולטי-ספקטראליים, המחקר שאנו מבצעים מבוסס על נתונים היפר-ספקטראליים אך עם כוונה לפתח מודל עבודה ליישום מסחרי המבוסס על ערוצים בודדים בלבד. חלק מהעבודה שתוצאותיה אינם מובאים כאן (Shapira, 2008) הראה כי ניתן לסווג את הספקטרה למיני צמחים שונים על בסיס נתוני החזר מהעלה (ללא רעשי רקע) ברמת דיוק קרוב ל-100%! בניתוח מעין זה, ניתן להבדיל גם בין צמחים זהים השונים בגילם. אולם חלוקה כל כך מדויקת דורשת מידע של ספקטרה "טהורה" וגם לא ניתנת לניצול ביישום חומרי הדברה. החיסכון העיקרי ביישום קוטלי עשבים נובע משני מרכיבים עיקריים: א- ריסוס רק היכן שיש עשבים (יש/אין); ב- ריסוס מינימאלי של קוטלי דגניים בשדה דגן וריסוס מינימאלי של קוטלי רחבי עלים בשדה של גידול

רחב עלים. אשר על כן הוגדרה מטרה של פיתוח אינדקס ספקטראלי לזיהוי רמת השיבוש הכללית בעשבים, אך עם עדיפות ליכולת הפרדה בין עשביה דגנית ורחבת עלים בשדה חיטה. לכן, בנקודת דיגום היפר-ספקטראלי, נאמדה רמת השיבוש הכללית, הדגנית ורחבת העלים בנפרד. זאת הן ע"י הערכה חזותית (כל המקומות) של אחוז הכיסוי, והן ע"י ספירה ו/או שקילת העשבים השונים שבנקודת הדיגום. יש מספר נקודות דיגום אשר אופיינו כ"פיקסל מעורב", כלומר הן הכילו בנוסף לחיטה עשבים רעים ברמה כלשהיא, ויש מספר נקודות אשר אופיינו ע"י חיטה או עשביה בלבד. שבביל להרחיב את מגוון האפשרויות, הוספו נתונים גם משדות חימצה, שבהם אופי הזריעה והשיבוש בעשביה שונה. בסה"כ נרכשו כ-800 ספקטרום ברמת הקמה ומתוכם 564 שדות חיטה, וכ-250 ספקטרום "טהורות" של צמח או קרקע טבלה 2.

טבלה 2. מספר הרשומות בבסיס הנתונים ששימש לכיול הערכת השיבוש בעשבים רעים.

| <u>כללי</u>     |                   | <u>תשס"ח 2007-2008</u> |                   | <u>תשס"ז 2006-2007</u> |                   |       |
|-----------------|-------------------|------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|-------|
| <u>חומר יבש</u> | <u>אחוז כיסוי</u> | <u>חומר יבש</u>        | <u>אחוז כיסוי</u> | <u>חומר יבש</u>        | <u>אחוז כיסוי</u> |       |
| 312             | 564               | 241                    | 414               | 71                     | 150               | חיטה  |
| 173             | 222               | 142                    | 172               | 31                     | 50                | חימצה |

המודל לאומדן כיסוי השטח עבור כלל כיסוי וכיסוי בעשבים רחבי עלים טוב יותר מאשר עבור עשבים דגניים וחיטה (טבלה 3), קורלציה גבוהה מ 0.9-0.95 לעומת 0.7-0.8 בהתאמה. בעיה מרכזית בדיוק המודל הינה הערכת יתר של השטח בחיטה בעוד שאין שם כלל חיטה. לא נראה הבדל משמעותי באם הכיול בוצע עבור הערכת אחוז הכיסוי או עבור מדידה כמותית של משקל הביומסה המכסה את השטח. בכל מקרה אחוז השגיאה גבוה מדי ובאם נרצה בעתיד לקבל מידע כמותי זה יש לשפר את המודל. עם זאת חשוב לציין כי רמת המהימנות של המודלים כמעט לא הושפעה באם הכיול התבסס על כל אורכי הגל שבתחום 400 עד 2400 ננומטר, או רק על בסיס 12 ערוצים שהיו בתחום מצומצם של 400 עד 1000 ננומטר. דבר זה פותח אפשרות לפיתוח חיישן מולטי ספקטראלי ייעודי במחיר יחסית סביר בעתיד.

טבלה 3. רמת דיוק של אימות מודל PLS על נתונים היפר ספקטראליים (400-2400 ננומטר) או מודל MLR על 12 אורכי גל בודדים (בתחום 400-1000 ננומטר) האומד את אחוז כיסוי פני השטח.

| נצפה       |           |              |       |                | רשומות | מודל | גידול | פרמטר      |
|------------|-----------|--------------|-------|----------------|--------|------|-------|------------|
| צמחיה כללי | עשבים ר"ע | עשבים דגניים | גידול | מדד סטטיסטי    |        |      |       |            |
| 0.85       | 0.83      | 0.54         | 0.58  | R <sup>2</sup> | 276    | PLS  | חיטה  | אחוז כיסוי |
| 11.4       | 10.9      | 17.2         | 13.2  | RMSEP          |        |      |       |            |
| 0.85       | 0.83      | 0.46         | 0.46  | R <sup>2</sup> | 276    | MLR  | חיטה  |            |
| 11.2       | 10.1      | 18.6         | 14.6  | RMSEP          |        |      |       |            |
| 0.90       | 0.81      | 0.64         | 0.56  | R <sup>2</sup> | 109    | PLS  | חימצה |            |
| 7.2        | 10.9      | 8.7          | 8.3   | RMSEP          |        |      |       |            |
| 0.92       | 0.85      | 0.67         | 0.62  | R <sup>2</sup> | 109    | MLR  | חימצה |            |
| 6.8        | 9.3       | 8.6          | 7.6   | RMSEP          |        |      |       |            |
| 0.74       | 0.74      | 0.58         | 0.53  | R <sup>2</sup> | 163    | PLS  | חיטה  | חומר יבש   |
| 23.4       | 20.4      | 11.8         | 17.9  | RMSEP          |        |      |       |            |
| 0.77       | 0.83      | 0.50         | 0.64  | R <sup>2</sup> | 163    | MLR  | חיטה  | ג/מ"ר      |
| 22.0       | 17.3      | 13.0         | 15.7  | RMSEP          |        |      |       |            |
| 0.88       | 0.81      | 0.31         | 0.55  | R <sup>2</sup> | 85     | PLS  | חימצה |            |
| 13.6       | 13.7      | 5.2          | 15.0  | RMSEP          |        |      |       |            |
| 0.9        | 0.8       | 0.6          | 0.6   | R <sup>2</sup> | 85     | MLR  | חימצה |            |
| 1.7        | 12.7      | 3.2          | 13.3  | RMSEP          |        |      |       |            |

עבור מודל יישומי להדברת עשביה סלקטיבית, דגנית ו/או רחבת עלים, מספיק בדרך כלל לבצע מיון איכותי המציין האם האזור מאולח בעשבים מסוג המצריך קוטל עשבים ספציפי. בתוצאות המחקר המובאות להלן מובאות תוצאות סיווג שהתקבלו על בסיסי נתונים שונים ושימוש באורכי גל שונים. המקרה הפשוט מורכב ממצב שבו בשדה הראיה של החיישן יש רק את אחד המצבים, או חיטה, או עשב דגני, או עשב רחב עלים, או קרקע. איכות הסיווג לקטגוריות השונות היא ברמת מהימנות גבוהה אך לא מצוינת במידה ובסיס הנתונים מכיל רשומות עם מעט מאוד כיסוי צמחי (טבלה 4). שוב יתכן שהדבר נובע מבעיית שדה הראיה של החיישן ASD. היות והדבר העשבייה לא מתבצעת בדרך כלל הרמות כיסוי נמוכות מאוד, בוצע מיון נוסף רק לרשומות שייצגו מצב של אחוז כיסוי הגבוה מ-30%. במיון זה השתמשנו רק ב-11 ערוצים שבתחום 400 עד 1100 ננומטר (לפי חשיבות: 675, 715, 705, 690, 875, 850, 1090, 750, 760, 1070 ננומטר). ניתן לראות שיכולת המיון במקרה זה גבוהה מאוד ומתאימה ליישום סלקטיבי של קוטלי עשבים.

טבלה 4. אימות סיווג קטגוריות צומח שונות ע"פ החזר אור מעלווה - קטגוריה אחת בשטח הנמדד.

| ערוצים    | חזוי      | נצפה |        | חיטה | עשבים דגניים | עשבים רחבי עלים | קרקע | אחוז דיוק |
|-----------|-----------|------|--------|------|--------------|-----------------|------|-----------|
|           |           | חיטה | דגניים |      |              |                 |      |           |
| היפר      | חיטה      | 46   | 2      | 1    | 2            | 2               | 90   |           |
| ספקטראלי  | דגניים    | 4    | 20     | 1    | 4            | 4               | 69   |           |
| (כל       | רחבי עלים | 4    | 3      | 17   | 0            | 0               | 71   |           |
| הרשומות)  | קרקע      | 0    | 0      | 0    | 24           | 24              | 100  |           |
|           | סה"כ      | 54   | 25     | 19   | 30           | 30              | 84   |           |
| 11 ערוצים | חיטה      | 36   | 0      | 0    | 1            | 1               | 97   |           |
| (רשומות   | דגניים    | 1    | 22     | 0    | 0            | 0               | 96   |           |
| עם        | רחבי עלים | 0    | 2      | 24   | 0            | 0               | 92   | אחוז      |
| כיסוי מעל | קרקע      | 1    | 0      | 0    | 20           | 20              | 95   |           |
| (30%      | סה"כ      | 38   | 24     | 24   | 21           | 21              | 95   |           |

המקרה השכיח מורכב יותר ובו בשדה הראיה של החיישן יש את אחד מהמצבים האפשריים של שילוב חיטה, עשב דגני, עשב רחב עלים, ו/או קרקע. איכות הסיווג של הרשומות המכילות עירוב קטגוריות נמוכה בהרבה מזו עבור העדר ערבוב (טבלאות 5 ו-4 בהתאמה).

טבלה 5. אימות סיווג קטגוריות צומח שונות ע"פ החזר אור מעלווה - קטגוריות רבות בשטח הנמדד.

| נצפה           | חזוי | חיטה |        | רחבי עלים | דגניים | ר"ע+ דגן | חיטה+ ר"ע+ דגן | קרקע | אחוז דיוק |
|----------------|------|------|--------|-----------|--------|----------|----------------|------|-----------|
|                |      | חיטה | דגניים |           |        |          |                |      |           |
| חיטה           | 32   | 6    | 5      | 0         | 0      | 0        | 7              | 2    | 62        |
| חיטה+ דגניים   | 8    | 38   | 1      | 0         | 1      | 0        | 9              | 2    | 64        |
| חיטה+ ר"ע      | 10   | 2    | 39     | 7         | 0      | 8        | 9              | 0    | 52        |
| רחבי עלים      | 5    | 0    | 3      | 15        | 1      | 3        | 0              | 1    | 54        |
| דגניים         | 0    | 1    | 1      | 0         | 9      | 2        | 1              | 3    | 53        |
| ר"ע+ דגן       | 0    | 0    | 3      | 3         | 2      | 2        | 1              | 0    | 18        |
| חיטה+ ר"ע+ דגן | 1    | 2    | 2      | 0         | 0      | 2        | 5              | 0    | 42        |
| קרקע           | 3    | 0    | 2      | 0         | 0      | 0        | 1              | 19   | 76        |
| סה"כ           | 59   | 49   | 56     | 25        | 13     | 17       | 33             | 27   | 57        |

הנתונים המופיעים בטבלה 5 הינם המציאותיים ביותר, אולם היישום בפועל של קוטלי עשבים בחיטה מבוצע בד"כ בחלון זמנים מצומצם כחודש לאחר הצצת החיטה וממש לפני סגירת השטח ע"י קמת החיטה. לכן ביצענו עוד מיון, ובמיון זה השתתפו רק רשומות שנלקחו משדה חיטה בתקופה 25 עד 40 יום מהצצה ועם לפחות 5% כיסוי קרקע ע"י ביומסה. היות וביישום בפועל קוטל עשבים נגד

דגניים ייושם בפועל היכן שהעשבים הדגניים נמצאים ללא תלות בנוכחות חיטה או עשבים רחבי עלים, ובאותו אופן ייושמו קוטלי עשבים רחבי עלים, המיון הבא מתייחס למצב של הדברת עשבים עם קוטלי עשבים סלקטיביים בשני מיכלים, באחד ק"ע דגניים, ובשני ק"ע ר"ע. מרססים ובקרי ריסוס מסוג זה נמצאים כבר זמינים ליישום. ניתן לראות (טבלה 6) שיכולת המיון במקרה זה גבוהה מאוד ומתאימה ליישום סלקטיבי של קוטלי עשבים.

טבלה 6. אימות סיווג קטגוריות צומח שונות ע"פ החזר אור מעלווה - קטגוריות רבות בשטח הנמדד,

בתקופה 25-40 יום מהצצת החיטה, ואחוז כיסוי השטח לפחות 5%.

| נצפה           | חזוי | לא לרסס | ק"ע נגד דגניים | ק"ע נגד ר"ע | אחוז דיוק |
|----------------|------|---------|----------------|-------------|-----------|
| לא לרסס        | 52   | 0       | 1              | 98          |           |
| ק"ע נגד דגניים | 5    | 26      | 1              | 81          |           |
| ק"ע נגד ר"ע    | 9    | 1       | 46             | 82          |           |
| סה"כ           | 66   | 27      | 48             | 87          |           |

תוצאות הנתונים עד כאן מראות שיכולת ההפרדה היא לב ההצלחה במיון. לכן החלטנו להמשיך את המחקר עם מצלמה היפר ספקטראלית. בכדי לאפשר הפרדה מרחבית בין גידול לעשב רע נעשה שימוש בחיישן היפרספקטראלי (849 ערוצים בתחום שבין 400 ל 1000 ננומטר) הסורק שורה לאחר שורה (בכל שורה 1600 פיקסלים). בשדה מוצבת מסגרת ברזל (50 על 50 סנטימטר) המסייעת בתחמת השטח לעיבוד סופי ומשמשת כתושבת לאלמנטים המסייעים להפקת הדמאה בערכי החזרה יחסית. באיור 7 ישנו צילום דיגיטלי רגיל המציג את שדה הראיה של החיישן ומסייע בנייתוח התוצאות. תוצר של החיישן, בערכי החזרה, ניתן לראות באיור 8 בו מופיעים פוליגונים של ארבע קבוצות: חלמית (ירוק); חלמית מוצלת חלקית וחיטה (כחול); חיטה (ורוד סגלגל); חלמית וחיטה מוארות ללא צל (חום). הפוליגונים מכילים מעשרות ועד למאות פיקסלים כל אחד. תוצר החיישן נראה מטושטש היות והוא סורק שורה לאחר שורה ולא את כל השטח ברגע נתון, לכן איור 7 יכול לסייע בזיהוי הצמחים ומיקומם. באיור 9 מוצגים גרפים של ערכי החזרה היחסית של ארבע הקבוצות. ניתן לזהות בקלות את החזרה הנמוכה לאורך הספקטרום כולו של הקבוצה הכוללת צל. קבוצת החלמית והחיטה המוארות מהווה בתחום האינפרא-אדום שלב ביניים בין קבוצת החיטה לקבוצת החלמית, ההדרגתיות נובעת בעיקר ממבנה העלה. השונות בתחום הנראה בין שלוש הקבוצות האלו נובעת בעיקר משונות פיגמנטלית. ניתן לראות גם הבדלים בתחום שבין הנראה לאינפרא-אדום – גבול האדום. לגבול האדום חשיבות ניכרת ביכולת המיון, כפי שהוצג 5 מבין הערוצים הנבחרים הינם מתחום זה ו-4 מתוכם בעלי החשיבות הגבוהה ביותר מבין ה-11. השנה נרכשו כ-35 צילומים אשר עדיין בתהליכי עיבוד. נתונים אלו וכיולים שביצענו על בסיס ASD יאפשרו בהמשך המחקר את שיפור יכולת ההבחנה של "פיקסלים מעורבים".

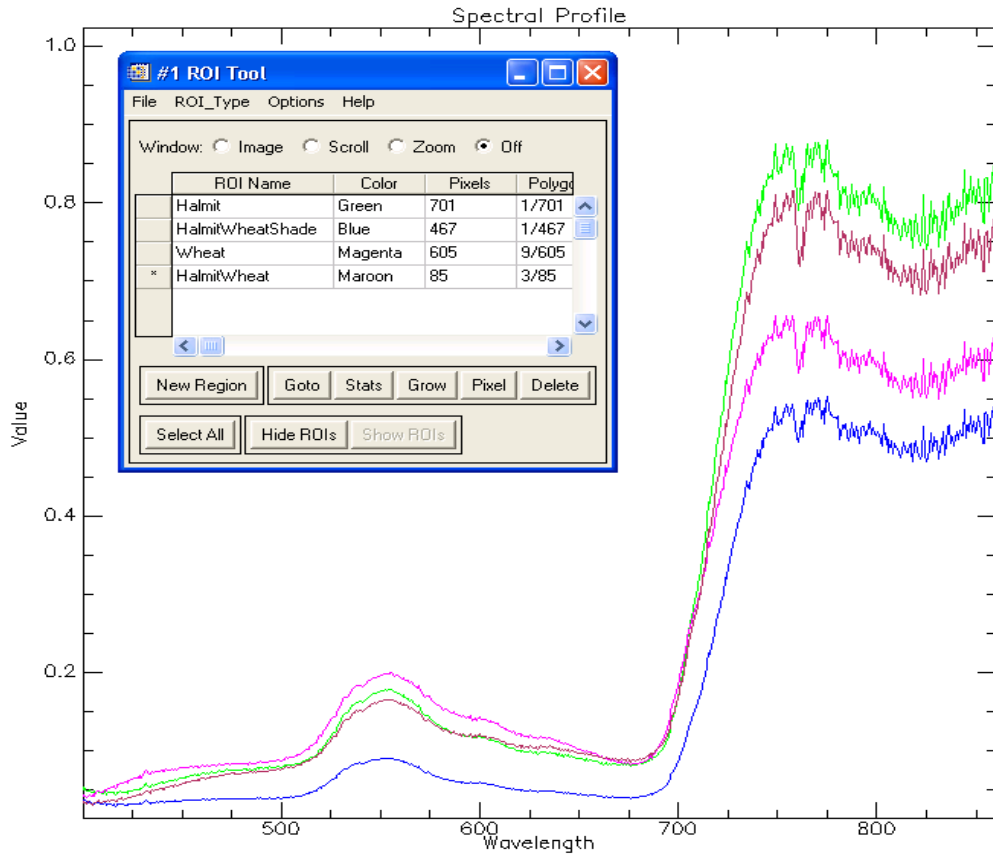


איור 7. מסגרת לתיחום צילום היפר ספקטראלי קרקעי, צילום RGB רגיל.



איור 8. תמונה היפר ספקטראלית של אותו תיחום המופיע באיור 7.





איור 9. עקומי החזר האור מארבע הקבוצות השונות בצילום שבאיור 8.

לווינים ומערכת תומכת החלטה: בעבודה זו לא הצלחנו להביא לידי ביטוי את השימוש בלווינים. מצד אחד ללווינים הזמינים יש מגבלה קשה של רזולוציה מרחבית או של רזולוציה ספקטראלית. מצד שני, הלוויין ונוס טרם נשלח לחלל, דבר שמנע מאיתנו יכולת כיוול/אימות על בסיס לוויין סופר ספקטראלי עם רזולוציה מרחבית סבירה. עקב זאת לא היה טעם לבנות מערכת תומכת החלטה, שכן היא צריכה להיות בנויה על בסיס קלט ברור, וכרגע עדיין לא ברור מה יכיל אותנו קלט. למשל לא ברור איזה ערוצים יכיל הקלט. עם זאת, על בסיס נתונים היפר ספקטראליים ניתן להשתמש בכיולים שבוצעו בשביל לאמוד את מצב הקמה מבחינת התפתחות החיטה ותכולת מים ומינרלים, וכן ניתן לקבל אומדן על רמת השיבוש בעשביה.

**מסקנות עיקריות והשלכות על המשך המחקר ויישום מסחרי**

הצלחנו להרחיב את בסיס הנתונים ולכייל לפרמטרים של ביומסה, תכולת מים ומינרלים. יש להמשיך לעבוד ולהרחיב את מסד הנתונים במיוחד לגבי אילוח במחלות. כתלות בזמינות המידע, יישומים ספציפיים יוכלו להיות מיושמים "מידית" (דישון כדוגמא) בעוד שיישום יישומים אחרים יכול לארוך זמן רב יותר (הדברת עשבים כדוגמא). עם שיגור הלוויין ונוס או מערכות סופר/היפר ספקטראליות אחרות יש להשקיע עבודת כיוול ואימות אינטנסיבית ומהירה לשם הבאת הכלים שפותחו ליישום.

**פרסומים מדעיים (בכתב ובע"פ)**

- שפירא א., א. קרניאלי, ד. בונפיל. (2009) ספקטרוסקופית שדה לגילוי עשבים רעים. הועידה הארצית ה-20 לעשבים רעים והדברתם. רחובות. עמ' 18. (תקציר והרצאה).
- Bonfil D.J., A. Pimstein, I. Herrmann, E. Ben-Dor, and A. Karnieli. (2009). Basing decision support system for improving wheat grain quality on airborne hyperspectral or satellite multispectral images. *In: 6<sup>th</sup> EARSeL Imaging Spectroscopy SIG Workshop. Tel Aviv, Israel.* (Abstract).
- Herrmann I., A. Karnieli, D.J. Bonfil, Y. Cohen and V. Alchanatis. (2009). SWIR-based spectral indices for assessing nitrogen content in potato fields. *Int. J. Remote Sen.* (Accepted).
- Pimstein Agustin. (2008). Characterize the temporal spectral responses of wheat under arid conditions at the canopy level. Ph.D. Thesis. Ben-Gurion University of the Negev.
- Pimstein A., A. Karnieli, and D.J. Bonfil. (2007). Wheat and maize monitoring based on ground spectral measurements and multivariate data analysis. *J. Appl. Remote Sens.* 1:013530.
- Pimstein A., E. Ben-Dor, A. Karnieli, and D.J. Bonfil. (2009). Use of ground spectral measurements as calibration data for mapping field crops conditions from hyperspectral airborne images. *In: 6<sup>th</sup> EARSeL Imaging Spectroscopy SIG Workshop. Tel Aviv, Israel.* (Abstract).
- Pimstein A., J.U.H. Eitel, D.S. Long, I. Mufradi, A. Karnieli, and D.J. Bonfil. (2009). A spectral index to monitor the head-emergence of wheat in semi-arid conditions. *Field Crops Res.* 111:218-225.
- Shapira Uri. (2008). Field Spectroscopy for Weed Detection. M.Sc. Thesis. Ben-Gurion University of the Negev.

## סיכום עם שאלות מנחות

1. מטרת המחקר לתקופת הדו"ח תוך התייחסות לתוכנית העבודה:  
המשך יצירת ספריית חתימות ספקטראליות של חיטה במצב גידול מיטבי ובעקות שונות; המשך פיתוח אינדקס ספקטראלי לזיהוי שיבוש בעשביה דגנית ורחבת עלים; המשך בניית פרוטוקול לעבודה עם דימותי לוויין ובירור המגבלות; פיתוח אינדקס ספקטראלי לזיהוי שיבוש בחלדונות ובספטורית העלים; אימות כיוול נתוני הלוויין לכימות תכולת מים וחנקן בקמה.

2. עיקרי הניסויים והתוצאות שהושגו בתקופה אליה מתייחס הדו"ח:  
על בסיס מאגר הנתונים הקיים הורחבה ספריית חתימות ספקטראליות של חיטה במצבי עקות נוספים למים וחנקן, עם התמקדות על זרחן אשלגן ושיבוש בעשביה. נרכשו דימותי לוויין מולטי ספקטראליים; צולמו צילומים היפר-ספקטראליים של שדות מסחריים רבים מהאוויר. מידע היפר ספקטראלי מאפשר ביצוע כיוול בין נתוני החישה לפרמטרים של הגידול, אך התהליך ארוך ומסובך ולא הבשיל עד כדי יישום מסחרי.

3. המסקנות המדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו:  
דרושים משאבים רבים ושתוף פעולה נרחב בכדי להשיג את כל המטרות. מימון שהושג עבור מחקרים אחרים אפשר לקיים את המחקר על אף התקציב המוגבל. עיבוד סטטיסטי של התוצאות מראה כי יש התכנות לפתח מודל יישומי עבור עקות מים, הזנה ועשבים. לגבי עקה הנובעת מנגיעות במחלות, שנות הבצורת והעדר מחלות שיבוש את יכולת איסוף הנתונים. יישום בפועל של הממצאים מחייב שלב נוסף של אימות הממצאים ע"י אמצעי רכישת המידע שיופעל בפועל (החיישן).

4. הבעיות שנתרו לפתרון ו/או השינויים שחלו במהלך העבודה (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים); התייחסות המשך המחקר לגביהן:  
כמעט שלא התגלו שדות הנגועים בחלדונות, זאת ובשילוב אופי התפלגות המשקעים מנעו מאיתנו התמקדות בנושא מחלות. נקווה שגם בעונות הבאות לא יופיע אילוח במחלות, אך במידה שלא כך יהיה, נאסוף נתונים גם מעקות אלו באופן נרחב יותר, ונצרפם למסד הנתונים.

5. האם הוחל כבר בהפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח, כולל פירוט:  
כן, פורסמו מאמרים ותוצאות הוצגו בכנסים.

6. פרסום הדו"ח: אני ממליץ לפרסם את הדו"ח: (סמן אחת מהאופציות)

**רק בספריות**

ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט)

**חסוי – לא לפרסם**