

דוח סופי לתכנית מחקר **838-0575-11**

**הדברת עשבים בממשק חקלאות מדויקת: פיתוח שיטות הפרדה בתחום האור הנראה בין עשבים לגידול על ידי הפרדה מבוססת צבע העלווה בגידול**

Reducing herbicide rate – application of color image processing methodologies for weeds detection using leaf color

מוגש לקרן המדען הראשי של משרד החקלאות

ע"י

שגיא פילין, הנד' מיפוי וגיאוגרפיה-אינפורמציה, טכניון – מכון טכנולוגי לישראל.

חנן איזנברג, מחלות צמחים וחקר עשבים, נווה יער – מרכז מחקר צפון

Sagi Filin, Mapping and Geo-Information Engineering, Technion – Israel Institute of Technology, Technion City, Haifa 32000, Email: [filin@technion.ac.il](mailto:filin@technion.ac.il)

Hanan Eizenberg, Phytopathology and Weed Research, ARO, Newe Yaar Research Center, P.O.Box, 1021, Ramat Yishay, 30095. Email: [Eizenber@agri.gov.il](mailto:Eizenber@agri.gov.il)

נובמבר 2012

כסלו תשע"ג

**הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים**

**הניסויים אינם מהווים המלצות לחקלאים**



**חתימת החוקר**

**משרד החקלאות - דו"ח לתוכניות מחקר  
לקרן המדען הראשי**

<b>קוד זיהוי</b>	<b>א. נושא המחקר (בעברית)</b>
838 - 0575 - 11	הדברת עשבים בממשק חקלאות מדייקת: פיתוח שיטות הפרדה בתחום האור הנראה בין עשבים לגידול על ידי הפרדה מבוססת צבע העלווה בגידול

<b>ג. כללי</b>	
מוסד מחקר של החוקר הראשי	
טכניון – מכון טכנולוגי לישראל	
<b>סוג הדו"ח</b>	<b>תאריכים</b>
שנתית	<b>תקופת המחקר</b>
	<b>עבורה מוגש הדו"ח</b>
	<b>התחלה</b>
	<b>סיום</b>
שנה / חודש	שנה / חודש
12 / 2011	11 / 2012
	<b>תאריך משלוח הדו"ח למקורות המימון</b>
	שנה / חודש
	1 / 2013

<b>ב. צוות החוקרים</b>		
<b>שם פרטי</b>	<b>שם משפחה</b>	<b>חוקר ראשי</b>
שגיא	פילין	
<b>חוקרים משניים</b>		
חנן	איזנברג	1
		2
		3
		4
		5
		6
		7

<b>ד. מקורות מימון עבור מיעוד הדו"ח</b>		
<b>שם מקור המימון</b>	<b>קוד מקור מימון</b>	<b>סכום שאושר למחקר בשנת תיקצוב הדו"ח בשקלים</b>
משרד החקלאות – לשכת המדען הראשי		100,000

**ה. תקציר** שים לב - על התקציר להיכתב בעברית לפי סעיף ה' שבהנחיות לכתיבת דיווחים קיים כיום צורך להפחית את כמות קוטלי העשבים המיושמים. מטרת התוכנית הייתה לבחון גישה חדשנית המתבססת על אלגוריתמים מתקדמים של עיבוד תמונה ושימוש בצמחים שעברו השבחה לפנוטיפ בעל מופע עלים אדום כאמצעי לזיהוי וסיווג אוטומטי של עשבים מגידולים. בנוסף נבחנה חסונות הגישה המוצעת ויציבותה לתנאי צילום משתנים ולתנאי תאורת שדה הכוללת מצבים קיצוניים (הצללה ואור חזק) המגבילים את ביצועי מודלי הסיווג הקיימים כיום. צמחי בזיל אדומים (מהזן 'אדום-אדום') גודלו לצד עשבים ממינים שונים, בצפיפויות שונות וצלמו בתנאי הארה בלתי מבוקרים (תנאי שדה) בשלבי התפתחות שונים. מודל הסיווג החדשני יושם על תמונות אלו וסיפק הפרדה מוחלטת ללא שגיאות סיווג בכל תנאי הצילום שנבחנו. יכולת ההפרדה המוחלטת ובייחוד יציבותו וחסונותו של המודל ובכך מהווים תרומה וחידוש ביחס למודלי הסיווג הקיימים כיום.

**ו. אישורים**  
הנני מאשר שקראתי את ההנחיות להגשת דיווחים לקרן המדען הראשי והדו"ח המצ"ב מוגש לפיהן



חוקר ראשי	מנהל המחלקה	מנהל המכון (פקולטה)	אמרכלות (רשות המחקר)	רשות המחקר	תאריך (שנה) (חודש) (יום)
-----------	-------------	---------------------	----------------------	------------	--------------------------

## תקציר מדעי של תוכנית המחקר

קיים כיום צורך להפחית את כמות קוטלי העשבים המיושמים. בהקשר זה, מטרת התוכנית הייתה בחינת גישה חדשנית המתבססת על אלגוריתמי עיבוד תמונה מתקדמים (מבוססי תמונה אינוואריאנטית) וצמחי בזיל שעברו השבחה לפנוטיפ בעל מופע עלים אדום כאמצעי לזיהוי וסיווג אוטומטי של עשבים מגידולים המבוסס על מידע מתמונה. בנוסף, נבחנה חסינות ויציבות הגישה המוצעת לתנאי צילום משתנים ובעיקר לתנאי תאורת שדה הכוללת מצבים קיצוניים (הצללה ואור חזק) המגבילים את ביצועי מודלי הסיווג הקיימים כיום. צמחי בזיל אדומים (מהזן 'אדום-אדום') גודלו לצד עשבים ממינים שונים, בצפיפויות שונות וצולמו בתנאי הארה בלתי מבוקרים (תנאי שדה) בשלבי התפתחות שונים. מודל סיווג מבוסס המרה לתמונה אינוואריאנטית לשינויי-גוון יושם על תמונות אלו וסיפק הפרדה מוחלטת ללא שגיאות סיווג בכל תנאי הצילום שנבחנו.

## מבוא ותיאור הבעיה

שימוש מוגבר בקוטלי עשבים מוביל להשפעות ביולוגיות, אקולוגיות ובריאותיות שונות. קיימת לפיכך מגמה ברורה להפחתת השימוש בחומרים אלו. בנוסף לכך, עניין ציבורי הולך וגובר בנושאי בריאות ואיכות סביבה גורר תקנות המגבילות באופן משמעותי את השימוש בהם. מסיבות אלו מתפתחת בשנים האחרונות גישה להדברת עשבים מכוונת, בהתאם לאזורי ממשק ( site specific weed management – SSWM). על-פי גישה זו נקבעים אזורי ממשק בהתאם לשונות העשבים בשדה כך שניתן ליישם תכשירי הדברה רק באזורים בהם גדלים העשבים ולא על השדה כולו. לגישה זו פוטנציאל הפחתה משמעותי של כמויות קוטלי העשבים בהן נעשה שימוש, אולם היא דורשת זיהוי והפרדה אוטומטיים של עשבים מגידולי התרבות. מרבית השיטות הרווחות לזיהוי עשבים מבוססות ניתוח תמונה (מידע צורני, טקסטוראלי, היפר-ספקטראלי או גוון). עם זאת, יישום שיטות אלו מוגבל עקב הדמיון הרב בהחזר הספקטראלי של הגידול ושל מיני העשבים וכן בשל השונות הגדולה בצורות העשבים המקשות על דיוק הזיהוי וההפרדה. מעבר לכך, זיהוי ואפיון בלתי מדויק של הצמחים כמו גם ירידה ביעילות מודלים אלו נגרמים בשל מאפייני הצילום בתנאי שדה ובכללם: הארה משתנה וקיצונית, עלווה חופפת של צמחים שכנים ורמות מדבק גבוהות של העשב גורמים.

**תוכנית מחקר זו עסקה בפיתוח ובחינת גישה חדשנית לזיהוי צמחים והפרדתם מעשבים. ביסודה עמד שילוב מניפולציה גנטית על צבע העלים של הגידול (באמצעות השבחה גנטית) ושיטות עיבוד תמונה מתקדמות. התוכנית בחנה יעילות שיטות אלו בהפרדת עשבים מגידול וחסינותן לתנאי שדה שונים כגון: מיני עשבים וצפיפותם, צבע קרקע ותנאי הארה קיצוניים. המחקר בחן שתי היפותזות עיקריות:**

- (א)** אם צבע הגידול שונה מהירוק המאפיין עשבים, ניתן לזהותו ולהפרידו באופן מוחלט.
- (ב)** בהתבסס על שונות צבע בין עשב לגידול, ניתן להפרידם באופן חסון לתנאי שדה, באמצעות תמונות צבע רגילות ושיטות עיבוד תמונה יעילות חישובית.

האלגוריתם שפותח על בסיס זיהוי צבע מאפשר הפרדה בין גידולי התרבות ה"צבועים" לבין העשבים הירוקים: כל אובייקט ירוק נחשב כעשב. שימוש בחיישנים הפועלים בתחום האור הנראה שהינם זמינים וזולים עשוי להוות חלופה טכנולוגית לאמצעים היקרים הרווחים.

### **מטרות המחקר (כפי שהופיעו בתכנית המחקר)**

מטרתו הראשית של המחקר הייתה פיתוח גישה לזיהוי והפרדה של עשבים בצורה מוחלטת מהגידול, המבוססת על שיטות חדשניות של טיפוח גנטי ועיבוד תמונה. גישה זו תהווה בסיס ליישום ממשקי הדברה מכוונים תחת התפיסה הכוללת של חקלאות מדויקת. מטרות המחקר כוללות:

- (א) פיתוח אלגוריתם להפרדה בין עשב לגידול המבוסס על זיהוי צבע.
  - (ב) התאמת ובחינת האלגוריתם תחת תנאי תאורה והצללה משתנים כמו גם בסוגי קרקע שונים.
- הדגש והייחוד בתכנית זו היה שימוש בצמחי בזיל מזן 'אדום-אדום', בעלי מופע פינטיפי אדום, כאמצעי לבחינת יעילות גישה זו והדגמתה. מכיוון שצמחים אלו הם תוצר של השבחה קלאסית ולא של הנדסה גנטית, הפרדת הצמחים מהעשבים נבחנה בתנאי שדה מלאים. בנוסף, נבחנה חסינות השילוב בין השיטות תחת משתנים שונים (כוללים: א) מיני עשבים, ב) שלבי צימוח, ג) צפיפות עשבים, ד) מועד החישה ו-ה) תנאי הארה קיצוניים.

### **פירוט עיקר הניסויים שבוצעו וכלל התוצאות שהתקבלו לתקופת הדו"ח**

#### פיתוח אלגוריתם לזיהוי עשבים החסין לשינויי גוון

מטרות האלגוריתם שפותח היו התמודדות עם צילום הנעשה בשדה פתוח החשוף לקרינת השמש. שינוי בעוצמות ההארה, בייחוד בקרינה חזקה יוביל לשינויי גוון. קרינה חזקה גורמת גם להצללות וכפועל יוצא מקטינה את רוויית הגוון. הקטנה זו מובילה לחוסר יציבות בגוון וכל שינוי קל בה, עשוי להסיטו באופן משמעותי. כיוון שתמונות המצלמות בשדה פתוח במהלך היום תירכשנה בדרך כלל תחת השפעת קרינה חזקה ותושפעה מהצללות חזקות הנובעות מהקרינה החזקה, יכולים באותו התצלום להופיע אזורים עם תנאי הארה השונים באופן קיצוני זה מזה. אם השפעות אלו תנוטרלנה, כמות שגיאות הסיווג של מרבית המודלים הפועלים במרחב מתמודדים הצבע תקטן.

כיוון שהשפעת הקרינה עשויה ליצור בעיות בזיהוי עשבים והפרדתם מהגידול, התמקד המחקר במציאת פתרון להשפעות קרינת השמש בשדה. הפתרון מתמקד בהפקת תמונה אינוואריאנטית להשפעות התאורה, קרי שמירת ערך הגוון ללא תלות בעוצמת ההארה.

#### זיהוי וחילוף אוטומטי בעזרת תמונה אינוואריאנטית

הפקת תמונה אינוואריאנטית לתנאי הארה והצללה זוכה לעניין רב בשנים האחרונות, כאשר חלק מהשיטות עוסקות בהגדרת "גוון אחיד" לאובייקט וחלקן מתייחסות לאפקט הצל בתמונות. על מנת לייצר תמונה אינוואריאנטית לתנאי תאורה, קיים צורך בקביעת מאפיינים לערכי הגוונים (color constancy). התייחסות למידת המורכבות של בעיה זו ניתן למצוא אצל Funt et al. (1998) הטוענים כי אף

האלגוריתמים הטובים ביותר שהוצעו לקביעת מאפיינים אלו, אינם מוצלחים. החוקרים מדגימים זאת על ידי בחינת סגמנטציית תמונות לאחר הפעלת אלגוריתמים רווחים.

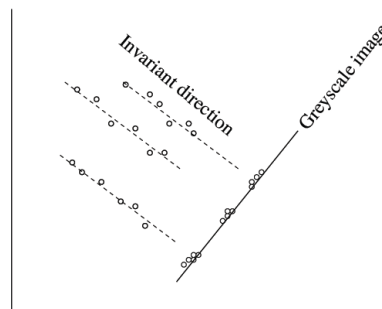
יצירת תמונה אינוואריאנטית להשפעות תאורה דורשת עיבוד המתבסס על מרחבי הצבע הבסיסיים. מרחבים אלו מבטאים את היכולת הטבעית של מערכת הראיה האנושית ושומרים על מרחקים מאוזנים בין הגוונים השונים. מרחבי הצבע הרווחים, קרי מרחב sRGB ומרחב HSV (אשר נגזר מתוך מודל הקובייה של ה-sRGB) מהווים עיוות של מרחב הגוונים המקורי המופיע בדיאגראמת הצבעים. העיוות מתבטא במתיחה גיאומטרית (מתיחת הערכים למודל קובייה עבור ה-sRGB או חרוט עבור מודל ה-HSV) של מרחב הצבע הטבעי המפרה את היחסים ההדדיים הטבעיים שבין הגוונים.

בשונה ממודלי ה-sRGB וה-HSV, פריסת הגוונים במרחב xyY אחידה ונטולת עיוותים, ולפיכך מתאימה יותר לניתוח הגוונים. Lucchesetiti and Mitrat (2000) משתמשים באופן פריסת הגוונים במרחב xyY לצורך סגמנטציית תמונות. במאמרם מבחינים בקיומו של עקום המאפיין את פיזור הגוונים במרחב. החוקרים לא מציינים את משמעות הפיזור ואת העובדה שהוא ממוקד בתחום צר מאוד בתוך דיאגראמת הצבעים. פיזור זה סביר כיוון שערכי הגוון המתקבלים מהמצלמה מותאמים למודל sRGB אשר פרוס רק בשטח קטן במרחב זה. יתירה מכך, אופן פיזור הגוונים לאורך קו עקום אינו מקרי, ותואם את מיקומו של העקום הפלנקיאני במרחב. קיימים שני גורמים מרכזיים המטים את הגוונים בתצלום לכיוון עקום זה. הראשון הינו התאורה טבעית בה האור המוקרן זהה לקרינה הנפלטת מגוף שחור (העקום הפלנקיאני). הגורם השני הינו איכות החיישנים במצלמה, הנוטים בדרך כלל "להסתנוור" מקרינה חזקה ומטים את ערכי הגוונים לכיוון העקום הפלנקיאני.

## הפקת תמונה אינוואריאנטית

Finlayson and Hordley (2000) מתמודדים עם שאלה המעסיקה מספר שנים את החוקרים בתחום הקולוריסטריה – האם ישנו ערך קבוע של צבע לעצם? החוקרים מעלים את הטענה כי בסביבת אור טבעי קיים ערך יחידי לגוון המתקבל מהחזרה על ידי העצם. הווי אומר, שערך הפיקסל בתמונה תלוי בסוג האור הטבעי המוקרן על המשטח ובסוג המשטח בלבד. כיוון שהאור הטבעי ניתן למדידה, וסוג המשטח קבוע- ניתן למצוא מאפיין קבוע לכל עצם עבור כל תצלום שאינו תלוי בעוצמת התאורה. Finlayson et al. (2002, 2005) מציעים שיטה להפקת תמונה אינוואריאנטית לתנאי תאורה ו/או הצללה תוך ניצול מופע הגוונים במרחב xyY. שיטה זו מופעלת לצורך הרחקת צל והארה חזקה מתמונות. הגישה המוצעת מתייחסת בעיקרה לפיזורם של הגוונים לאורך העקום הפלנקיאני ומתייחסת לפיכך לתאורה טבעית בלבד. בעזרת קירוב של Wein למשוואת Planck ניתן להציג את עוצמת הקרינה המחזרת מגוף שחור (אובייקט מצולם) כפונקציה של הטמפרטורה. קירוב זה מתבסס על קשר לוגריתמי בין טמפרטורה (קרינה) וגוון. ניתן להראות כי גם קירוב לעקום הפלנקיאני, מוביל למשוואות דומות. קיימות מספר שיטות לקירוב עבור העקום הפלנקיאני (ר' לדוגמא Kim et al., 2006). Herna et al. (1999) מציינים גם כן קירוב אקספוננציאלי עבור ערכי טמפרטורה בטווח של  $3,000-50,000^{\circ}\text{K}$ .

קירובים אלו מראים כי התמרה לוגריתמית של הגוונים תוביל לפריסתם כקווים ישרים המקבילים לעקום הפלנקיאני. ההכרה בכך כי הגוונים, לאחר ההתמרה הלוגריתמית (המקבילה ליישור העקום הפלנקיאני) נפרסים לאורך קווים ישרים, מובילה להנחה כי הטלתם אל ישר הניצב אליהם (השקול לתת-מרחב אפס) מאפשרת יצירת תמונה אינוואריאנטית של הגוונים. כל הגוונים הנדגמים מותמרים למרחב  $\log\log$  עבור ערכי  $xyY$  (איור 1). כל גוון יוטל על גבי קו ישר וכל הקווים (הגוונים) מקבילים זה לזה. על מנת להגדיר את הגוון האינוואריאנטי מספיק לקבוע ישר הניצב לכל הקווים המקבילים. הטלה של הקווים המקבילים על הישר הניצב תקבע את ערך הגוון בתמונה האינוואריאנטית.



**איור 1.** הטלת הגוונים בתאורה משתנה ממרחב  $\log\log$  למרחב חד-מימדי של התמונה האינוואריאנטית.

לאחר יישום ההתמרה, ערכי גוון של פיקסלים "ירוקים" (המסווגים כעשבים) נמצאים בטווח השונה מזה של עלי הבזיל ה"אדומים" ושל הרקע (קרקע, אבנים עלים יבשים וכד'). לצורך זיהוי עשבים והפרדתם מהגידול, ניתן לקבוע ערך סף, שאינו רגיש לשינויים בתנאי ההארה, המפריד בין הפיקסלים ה"ירוקים" של העשבים ושאר הפיקסלים.

### תוכנית הניסוי

**חומר צמחי:** בניסוי נעשה שימוש בשני זני בזיל כשהראשון מביניהם הוא 'אדום-אדום', תוצר טיפוח המחלקה לתבלינים בנוה יער (דר' נתיב דודאי) המתאפיין בעלים אדומים. לצורך השוואה נעשה שימוש בזן "סטנדרטי" – 'פרי' – בעל עלים ירוקים. זרעי העשבים בהם נעשה שימוש בניסוי כללו: א) ענבי שועל (*Solanum nigrum*) ו-ב) זנב שועל (*Alopecurus L.*) שנאספו מעשבים שגודלו בנוה יער בשנת 2009 ונשמרו בחדר חשוך בטמפרטורה של  $4^{\circ}$  עד השימוש.

**סוגי קרקעות:** נעשה שימוש בשני סוגי קרקעות במבחן זה, בכדי לבחון את יכולות המודל בשני גווני רקע. הראשון, קרקע חולית קלה ובהירה (18% חרסית, 8% סילט, 74% חול עם 0.77% חומר אורגני), וקרקע חרסיתית כבדה וכהה (57% חרסית, 23% סילט, 20% חול עם 2% חומר אורגני).

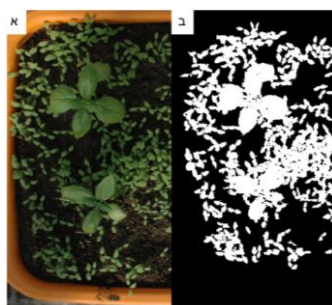
**תנאי גידול:** זרעי הבזיל נזרעו במגשי הנבטה בגודל של 2 ס"מ ולאחר 40 יום נשתלו במיכלים בנפח 20 ליטר (0.6 מ' X 0.4 מ' X 0.15 מ'). שני צמחי בזיל מכל סוג (אדום וירוק) נזרעו בכל מיכל, במרחק 20 ס"מ זה מזה. ביום השתילה נזרעו במיכלים גם זרעי העשבים בעומק של 1 ס"מ. שני מיני העשבים

שנזרעו מיצגים צורות צימוח ומורפולוגית עלים שונה ביחד ובנפרד. בנוסף, נזרעו העשבים בצפיפויות שונות ובסוגי קרקע שונים. המיכלים עם הצמחים גודלו בבתי רשת, הושקו ודושנו לפי הצורך למניעת עקות.

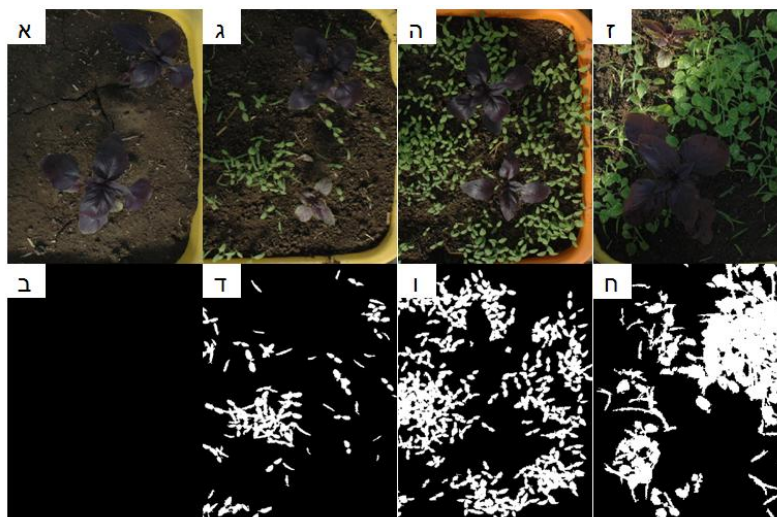
**צילום:** הצמחים צולמו אחת לשבוע בתנאי תאורה בלתי מבוקרים (תנאי שדה, מחוץ לבית הרשת בהם גודלו) במשך 30 ימים באמצעות מצלמת Nikon D70 עם עדשת Nikor 24 מ"מ. גודל התמונות המתקבלות הוא  $3000 \times 2000$  פיקסלים, כשגודל פיקסל הוא 7.5 מיקרו מטר.

### תוצאות ודיון

איורים 2-5 מציגים תוצאות הפרדת עשבים מגידול. עשבים או בזיל ירוק מהזן 'פרי' מוצגים בלבן. איור 2 מדגים כי לא ניתן (בהתבסס על תכונות צבע) להפריד בין עשבים לגידול מזן 'פרי' מכיוון ששני הצמחים חולקים את אותו גוון ירוק בעליהם, ולפיכך מזוהים ומסווגים כעשבים (איור 2).



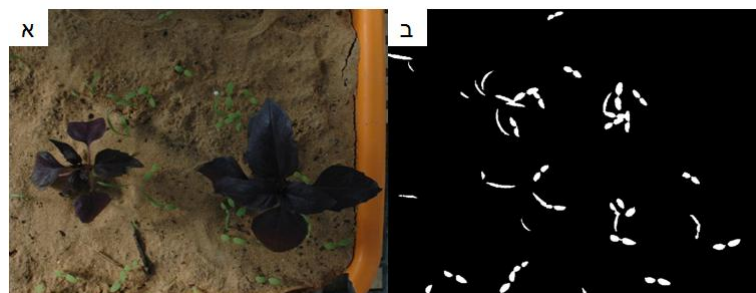
**איור 2.** צמחי בזיל "ירוקים" (זן פרי) המתפתחים בסביבת עשבים (א), ותוצאות ההפרדה והמיון של הגידול מהעשב (ב).



**איור 3.** צמחי בזיל אדומים (מהזן 'אדום-אדום'), המתפתחים בסביבת עשבים, בהתאמה לתוצאות שהתקבלו באמצעות המודל הסיווג האינואריאנטי כפי שצולמו לפני הצצת עשבים (א ו-ב), ו-3 (ג ו-ד), 13 (ה ו-ו) ו-23 (ז ו-ח) ימים לאחר הצצה.

אלגוריתם ההפרדה והסיווג מבוסס התמונה האינפורמטיבית יושם על תמונות בזיל מזן 'אדום-אדום' לפני מועד הצצת העשבים (איור 3-א), לא זוהו פיקסלים ירוקים כלל ולכן אין כתמים לבנים באיור (איור 3-ב). איורים 3-ג, 3-ה ו- 3-ז מראים תמונות של בזיל מהזן 'אדום-אדום' ועשבים כפי שצולמו 3, 13 ו- 23 ימים לאחר הצצת העשבים, בהתאמה. צמחי הבזיל האדום והעשבים המקיפים אותם היו שונים בגודלם בצורה משמעותית כאשר צולמו במועד הראשון (3 ימים לאחר הצצה), כאשר העשבים בגובה של מספר מ"מ ספורים ואילו צמחי הבזיל בגובה של 10-15 ס"מ. אף על פי כן, תוצאות ההפרדה לא הושפעו משוני זה, ורק פיקסלים השייכים לעשבים זוהו והופרדו (איור 3-ד). בכל הדוגמאות המוצגות לא היו סיווגים שגויים בהם קרקע או חלקים מצמחי הבזיל האדום זוהו כעשבים, ולהיפך (איורים 3-ד, 3-ו ו- 3-ח). זיהויים מדויקים התקבלו בכל תנאי הצילום שנבחנו: זני עשבים (רחבי עלים ודגניים) בעלי צורות וגיאומטריות נוף שונות, שלבי התפתחות שונים של העשבים (מספר מ"מ עד 15 ס"מ) וכן צפיפויות עשבים שונות.

כמו כן, לגוון הקרקע (חרסיתית כהה וחולית בהירה) לא הייתה השפעה על תוצאות ההפרדה והסיווג של האלגוריתם, והתקבלה הפרדה מוחלטת בין עשבים לגידול (איור 4).



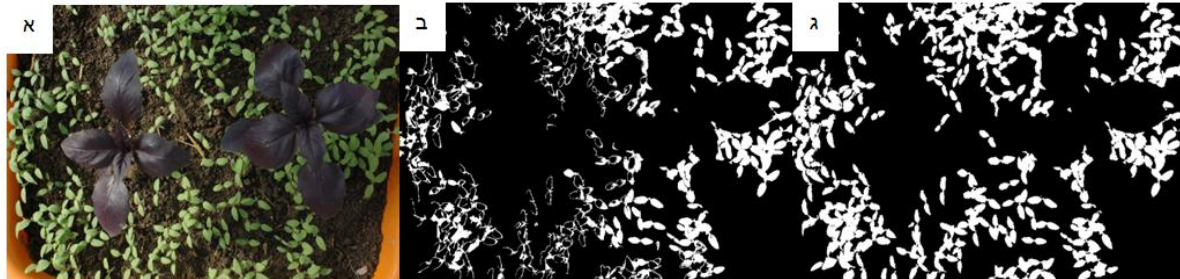
**איור 4.** השפעת רקע של קרע חולית בהירה (א) על תוצאות הסיווג וההפרדה (ב).

למרות שתאורה משתנה הכוללת תנאים קיצוניים (הצללה והארה חזקה) יכולה להשפיע על דיוק ההפרדה והסיווג של מודלים מבוססי תמונה (Tian & Slaughter, 1998), כאשר הופעל האלגוריתם על צמחי ה-'אדום-אדום' תחת תאורה טבעית (תנאי שדה) בתנאי הארה משתנים הכוללים הצללה והארה חזקה (איור 5-א) אלגוריתם הסיווג מבוסס התמונה האינפורמטיבית עדיין סיפק תוצאות סיווג והפרדה מלאות ללא שגיאות (איור 5-ג). לעומת זאת, יישום אינדקס הפרדה מבוסס מודל RGB המקובל כיום (ExG index) על אותה התמונה הביא לתוצאות הפרדה וסיווג חלקיות ובלתי מספקות (איור 5-ב). חלקים שלמים של עלוות העשבים לא זוהו כלל.

טיפוח זני בזיל מזן 'אדום-אדום' מוביל לצמחים בעלי מופע פינטיפי של עלים בגוון אדום. תכונה זו מתועלת לסיווג והפרדה אוטומטיים ומוחלטים של צמחים מעשבים בסביבתם באמצעות מידע מבוסס תמונה. מודל התמונה האינפורמטיבית מאפשר שימוש באלגוריתם הפרדה פשוט המפריד בין העשבים ה"ירוקים" והגידול בעל העלים האדומים תחת מגוון תנאי צילום רחב. מודל זה הינו פשוט בהשוואה



למודלי סיווג אחרים המתבססים על ניתוחי טקסטורה, מורפולוגיה ומודלים תלת-ממדיים (Jin & Tang, 2009; Piron *et al.*, 2009). יישום הגישות המוצגות בהצעה להפרדה אוטומטית של עשבים מגידול מתבסס על מצלמות זולות, אלגוריתמים פשוטים ואינו מוגבל לתנאי שדה משתנים (כולל תנאי הארה קיצוניים), ומסיבות אלו יכול לשמש בסיס לממשקי הדברת עשבים מדויקים בעתיד.



איור 5. השפעת תנאי הארה משתנים הכוללים תאורה חזקה וצל (א) על תוצאות ההפרדה והסיווג של מודל מבוסס RGB (ב) והמודל המודל מבוסס התמונה האינואריאנטית (ג).

## סיכום

שילוב גישות הכולל את מודל התמונה האינואריאנטית והטיפוח לצמחים עם מופע פינטיפי בעל עלים אדומים נמצא כיעיל ביותר לסיווג והפרדה מוחלטים של הגידול מהעשבים המקיפים אותו. **בכך הושגה פריצת דרך בקנה מידה עולמי בהפרדת עשב מגידול לצורך הפחתת השימוש בקוטלי עשבים במסגרת ממשק של חקלאות מדייקת.** בהתבסס על גידול בעל צבע שונה, ההפרדה באמצעות מודל התמונה האינואריאנטית הינו יעיל ביותר ומספק תוצאות מוחלטות וחסיונות למגוון תנאי צילום. תרומתו המשמעותית ביותר של מודל התמונה האינואריאנטית היא החסיונות לתנאי הארה משתנים הכוללים גם תנאים קיצוניים (הצללה ואור חזק). תנאים אלו מהווים את הגורם המגביל המשמעותי ביותר כיום, ולפיכך להתגברות על גורמים אלו יש עניין ומשמעות יישומית רבה. בהמשך המחקר, ובמסגרת תכנית רחבה אנו מציעים להמשיך בפיתוח זנים בעלי גוון עלים שונה מירוק לצורך הפרדת גידול מעשבים. אם ניתן יהיה לשלוט על ביטוי הצבע בשלבי גידול שונים ניתן יהיה לכוון את התבטאותו לתחילת הגידול בשלב בו קיימת תחרות עם עשבים, כזו המסכנת את הגידול. בהקשר זה, אנו מעריכים כי ניתן יהיה לשלוט בהתבטאות הצבע על ידי שינוי תנאי הגידול או על ידי מניפולציה גנטית (למשל על ידי השתקת גנים).

## סיכום עם שאלות מנחות

<b>מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה.</b>
1. פיתוח אלגוריתם להפרדה בין עשב לגידול המבוסס על זיהוי צבע. 2. התאמת ובחינת האלגוריתם תחת תנאים משתנים של תאורה והצללה וסוגי קרקע שונים.
<b>עיקרי הניסויים והתוצאות.</b>
האלגוריתם פותח ונבחן בהצלחה על צמחי בזיל אדומים (מהזן 'אדום-אדום') שגודלו בתנאים שונים וצולמו בתנאי שדה מלאים. הושגה הפרדה מוחלטת בין העשב לגידול
<b>מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדוח?</b>
מטרות המחקר לתקופת הדוח הושגו וההיפותזה עליה התבסס המחקר הוכחה כבעלת פוטנציאל רב
בהמשך המחקר, ובמסגרת תכנית רחבה אנו מציעים להמשיך לפתח זנים בעלי גוון עלים שונה מירוק לצורך הפרדת הגידול מעשבים. במידה וניתן יהיה לשלוט על ביטוי הצבע בשלבי גידול שונים ניתן יהיה לכוון את התבטאותו לתחילת הגידול בשלב בו קיימת תחרות עם עשבים, כזו המסכנת את הגידול. בהקשר זה, אנו מעריכים כי ניתן יהיה לשלוט בהתבטאות הצבע על ידי שינוי תנאי הגידול או על ידי מניפולציה גנטית (למשל על ידי השתקת גנים).
<b>בעיות שנתרו לפתרון ו/או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה; התייחסות המשך המחקר לגביהן, האם יושגו מטרות המחקר בתקופה שנתרה לביצוע תוכנית המחקר?</b>
–המחקר בוצע כמחקר התכנות בשנת מחקר אחת
הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח: פרסומים בכתב - <u>ציטט</u> 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.
עדיין לא פרסם או הופץ הידע. בימים אלו נשלח מאמר לעיתונות המדעית הבין לאומית.
פרסום הדוח: אני ממליץ לפרסם את הדוח: (סמן אחת מהאופציות)
רק בספריות <
ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט) <
חסוי – לא לפרסם. מאחר ומדובר בפריצת דרך בקנה מידה עולמי אנו שוקלים לבקש פטנט. <
האם בכוונתך להגיש תוכנית המשך בתום תקופת המחקר הנוכחי?
כן, תוגש תכנית רחבה לשנת 2014

\*יש לענות על שאלה זו רק בדוח שנה ראשונה במחקר שאושר לשנתיים, או בדוח שנה שניה במחקר שאושר לשלוש שנים