

הדברת עשבים בחקלאות מדייקת בכותנה- 2007

חנן אייזנברג

מבוא

גידול כותנה מהווה את אחד הענפים החשובים מבחינה כלכלית בחקלאות ישראל. היות והכותנה מושקה במי קולחין, קיימת חשיבות רבה לגידולה במחזור. הטיפול המקובל נגד עשבים הוא טיפול קדם זריעה או קדם הצצה עם התכשירים כותוגן (fluometuron), דיורקס (diuron), טרפלן (trifluralin) ופרומטרין (prometryne) או אחר הצצה עם התכשירים סטייפל (pyrithiobac) ואנווק (trifloxysulfuron).

מרבית השימוש החקלאי בקוטלי עשבים מתבצע תוך הנחה של פיזור אחיד של העשבים בשדה והתעלמות מהשונות. המשמעות של הנחה זו היא שהיישום מתבצע אף הוא בצורה אחידה, וחומרי ההדברה מרוססים באופן אחיד על פני השדה ללא התייחסות לשונות המרחבית. הנחה בסיסית זו אינה נכונה ואף ללא מחקרים מדעיים, ניתן לראות כי לעשבי הבר ישנה נטייה לגדול בצפיפות גדולה באזורים מסוימים ובדלילות באזורים אחרים. המסקנה המתבקשת היא שחומר הדברה רב מיושם ללא צורך באזורים דלילי עשביה, או גרוע מכך, על קרקע חשופה. דבר הגורם לבזבז חומר, נזק כלכלי, וחשוב לא פחות, לזיהום מיותר של הסביבה, הקרקע ומי התהום. בנוסף לשימוש הלא מושכל המתבצע לעיתים הולכת ומתפתחת בעיית עמידות של עשבים לקוטלי עשבים, דבר המגדיל את הצורך במציאת פתרונות חדשים.

פיתרונות אגרו-טכניים רבים היום, וביניהם גם נושא ההדברה פונים לכיוון החקלאות המדייקת. חקלאות מדייקת הינה גישה הדוגלת בהתאמת כלל התשומות לצרכים בהתאם לשונות המרחבית והעתית בשדה. כאשר מדובר בהדברת עשבים השאיפה היא לטפל באזורים הנגועים באופן אינדיבידואלי, תוך ריסוס הכמויות המתאימות של חומר ההדברה. טכניקה זו, לא יכולה להתבצע באופן ידני מכיוון שהיא דורשת כוח אדם ומשאבים רבים. פתרון לבעיה זו יכול לספק מיכון חקלאי מדויק עם טכנולוגיה מתקדמת שיהיה מסוגל לענות על צרכים אלה, ליישם את חומרי ההדברה באופן מדויק ובעיקר, לזהות ולאפיין את העשבים ומיקומם בין צמחי הגידול החקלאי. השלב של איסוף המידע מתבצע בשיטות של חישה מרחוק. כאשר הקידמה והשיפור בעולם המחשוב כיום, מביאים את היכולות של החישה מרחוק/קרוב ועיבוד התמונה לחזית הטכנולוגיה בתחום החקלאות המדייקת.

ריסוס של קוטלי עשבים בהתאם לשונות המרחבית בשדה מחייב זיהוי אוטומטי והערכת צפיפות העשבים בשדה. קיימות מספר שיטות לזיהוי אוטומטי של עשבים, חלקם מבוסס על ראייה ממוחשבת וחלקם על שיטות ספקטרוסקופיות. שיטות ראייה ממוחשבת מתבססות על ניתוח תמונות דיגיטאליות וחישוב תכונות גיאומטריות, תכונות מירקם (texture) או תכונות סטטיסטיות אחרות המשמשות לזיהוי העשבים. שיטות ספקטרוסקופיות מנצלות את ספקטרום האור החוזר או הנבלע בעלים על מנת לאפשר הפרדה בין עשבים לבין הגידול. מספר עבודות הראו, שניתן להשתמש במאפיינים צורניים המחושבים באמצעות אלגוריתמים של עיבוד תמונה על מנת לזהות עלי כותנה לעומת

עשבים. מאפיינים אלה היו בדרך כלל בלתי תלויים בגודל הצמח ומיקומו בתמונה (Alchanatis et al., 2005) הראו שבאמצעות בחירת ערוצים ספציפיים באור הנראה ובאינפרא אדום קרוב (Nir Infra Red – NIR), ושילובם עם מאפיינים סטטיסטיים של התמונה ניתן לזהות את הגידול ואת העשבים. (Golzarian (2007) וחבריו השוו בין אינדקסים שונים, הידועים זה מכבר בתחום הנראה, להפרדה בין הצמחייה והרקע. אינדקסים אלו הם פעולות אריתמטיות על ערוצי הצילום אשר מבליטות את ההבדלים בין האובייקטים השונים בתמונה. עבודות אלו ואחרות מראות שניתן לזהות עשבים בשדה באמצעות ניתוח תמונה, אך קשה להפריד בין סוגים שונים של עשבים. על מנת להתגבר על השונות בצורת העשבים ולצמצם את מרחב החיפוש הצורני של מערכת הזיהוי, אנו מציעים, לשלב מידע נוסף לגבי המצב הפנולוגי של העשבים במועד הצילום והריסוס. מידע פנולוגי זה, שמטרתו להגדיל בצורה משמעותית את הדיוק של המערכת, יכול להתקבל באמצעות 'מודל הידרו-תרמלי (Hydrothermal model) לחיזוי מופע העשבים'. מודלים דומים פותחו בעבר בהצלחה להדברת עשבים אחרים. לדוגמה מודל לחיזוי טפילות עלקת קטנה בתלתן המבוסס על ימי מעלה (Eizenberg et al., 2004). במרבית המקרים, המודלים מבוססים על מדידה כמותית של תנאי הסביבה כגון לחות קרינה וטמפרטורה. באמצעות מודלים לחיזוי התפתחות העשב ותחרות עם הגידול ניתן לקבוע את "התקופה הקריטית להדברת עשבים" - (critical period for weed control- WPWC), תקופה שלאחריה ייגרם נזק כלכלי לגידול אם לא תתבצע הדברה. שילוב בין הדברה כימית למודל התפתחות עשבים הינו בעל חדשנות מדעית וחקלאית ומעטות העבודות שדווחו בתחום. במחקר נשלב בין פיתוח שיטה לחישה וזיהוי עשבים בכותנה לבין מודל הידרו-תרמלי שימש כקלט במערכת החישה שתפוח.

השערת המחקר.

ההשערה של מחקר זה היא כי ניתן, בשילוב של אמצעים אופטיים בתחום הנראה ושל מודל הידרו-תרמלי להבדיל בין העשבים הרעים בשדה לבין הגידול המסחרי. במחקר זה נתמקד בהפרדה בין העשבים צרי העלים, בעיקר גומא הפקעים (*Cyperus rotundus*) לבין הכותנה.

מטרות המחקר.

המטרה ארוכת הטווח של המחקר הכולל היא לפתח גישה מושכלת, במסגרת התפיסה הכוללת של חקלאות מדייקת, להתמודדות עם עשבים בכותנה במינונים נמוכים של קוטלי עשבים ללא פגיעה בגידול וביבול. החידוש המוצע בעבודה זו הוא שילוב שתי גישות הניזונות זו מזו ותומכות זו בזו, לשיפור ניטור העשבים בשדה. האחת מטפלת בקביעת הזמן המיטבי להדברה במינון מופחת (מודל הידרו-תרמלי) והשניה מטפלת בזיהוי המרחבי של תפוצת העשבים בשדה. הפרדה בין הגידול לעשבים וזיהוי העשבים במרחב עשויה להשתפר בשילוב של מידע פנולוגי המתבסס על המודל ההידרו-תרמלי. כמו כן, מיפוי של תפוצת העשבים ומצבם הפנולוגי עשוי לשפר את המודל ההידרו-תרמלי. עד היום גישות אלו טרם שולבו לטובת פיתוח מערכת תומכת החלטה להדברת עשבים.

המטרות של מחקר זה הן לתרום למחקר הכולל את החלק האופטי והגיאומטרי-מרחבי כאשר היעדים הספציפיים בעבודה זו הם:

- פיתוח אלגוריתם להפרדה בין הכותנה רחבת העלים לבין עשבי הבר צרי העלים. בשלב זה של המחקר ניתוח התמונה יתבצע במעבדה מתוך הנחה שבעתיד יבוצע התהליך בזמן אמת תוך כדי נסיעה של הטרקטור.
- פיתוח כלים ושיטות לשילוב המודל ההידרו-תרמלי של התפתחות עשבים לאלגוריתמי הזיהוי והערכת תרומתו לתהליך ההפרדה והזיהוי.
- פיתוח מתודולוגיה ליצירת מפת עשבים על ידי שילוב המידע האופטי, הביולוגי והמרחבי הנאסף, בהתאמה, מהמצלמות ועיבוד תמונה, המודל ההידרו-תרמלי וה-GPS.

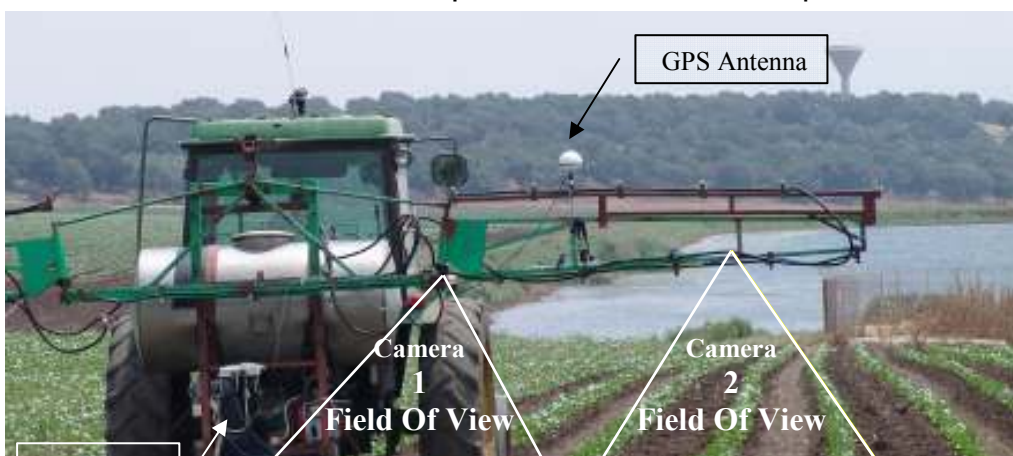
צילום

רכישת המידע החזותי מתבצעת באמצעות מצלמות דיגיטליות מדגם Microsoft[®] NX-6000. המצלמות מחוברות במקביל על מוט ריסוס של טרקטור כך שקיימת חפיפה רוחבית של 5%-10% בשדה הראייה שלהן. המצלמות הינן בעלות חיישן CCD הרגיש לתחום הנראה ומצלם בשלושה ערוצים באור הנראה (Red, Green, Blue) RGB. רזולוציית המצלמה הינה 1200X1600 פיקסלים. המצלמות ממוקמות בגובה 1.4 מטר מעל פני הקרקע כך ששדה הראייה של כל מצלמה הוא X 1.6 מ"ר (איור 1). בתצורת צילום זו מתקבל יחס של מילימטר לפיקסל, יכולת הפרדה גבוהה זו נקבעה כסף התחלתי המאפשר להבדיל בין הכותנה והעשב. המידע המצולם מכל מצלמה נשמר בתצורה של סרטון וידאו בפורמט AVI, קצב הצילום הינו של כ 7.5 תמונות לשנייה כך שגם בנסיעה מהירה (< 10 קמ"ש) ישנה חפיפה אורכית של יותר מ 50% בין התמונות.

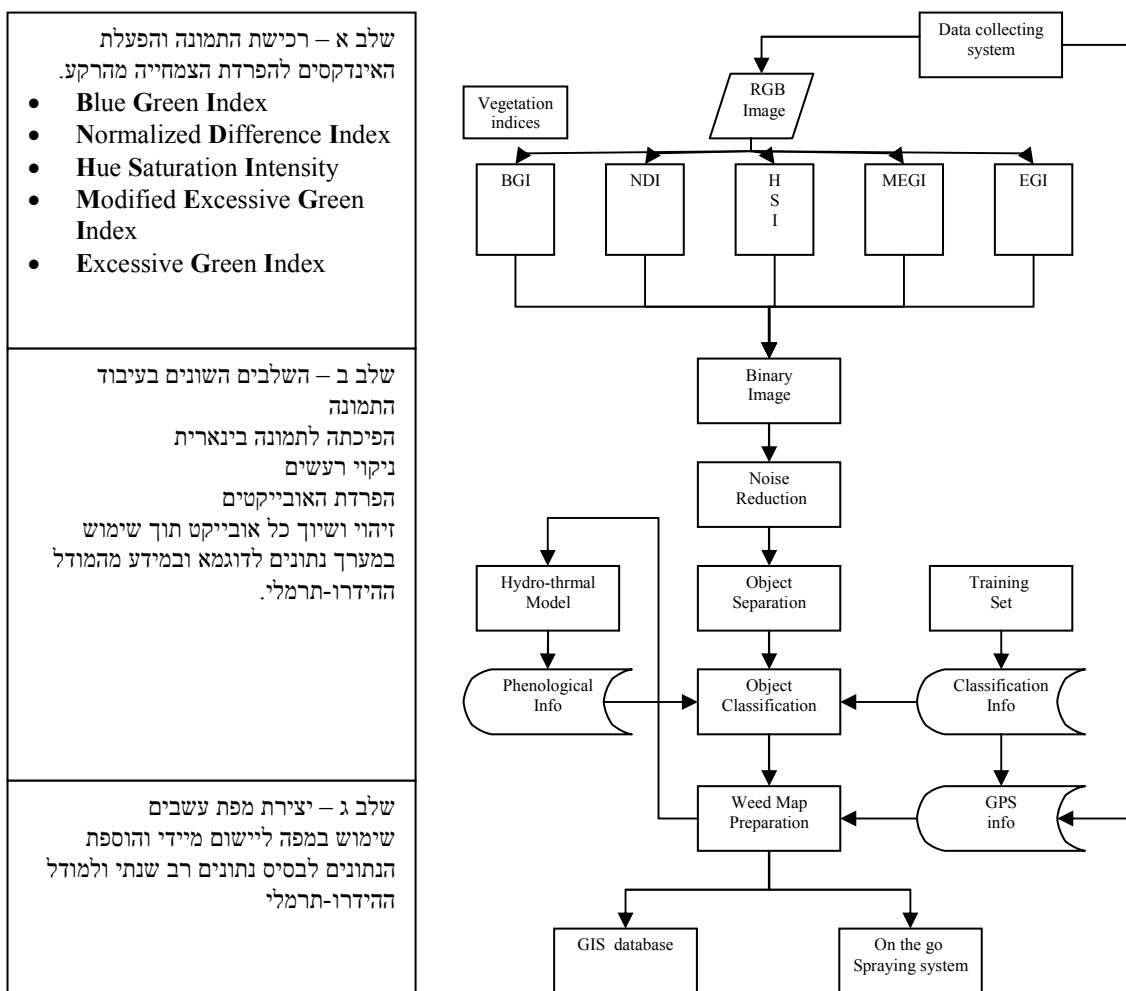
תוצאות

פיתוח האלגוריתם ועיבוד התמונה

השלב הראשון בתהליך העיבוד הוא חילוץ התמונות מתוך הסרטון. שלב זה מבוצע כרגע באמצעות תוכנת ACDsee[™] כאשר בהמשך ננסה ליעל את התהליך ולבצעו בעזרת תוכנת ה-MatLab[™]. השלב הבא והעיקרי בעבודה הוא ניתוח של כל תמונה, זיהוי של העשבים והכותנה והפרדה בניהם תוך התייחסות למצבם הפנולוגי. תהליך עיבוד התמונה והאלגוריתם המוצע מתואר בתרשים הזרימה (איור 2), כאשר סביבת העבודה המועדפת היא תוכנת ה-MatLab[™]. עיקר האלגוריתם יתבסס על פונקציות עיבוד תמונה שקיימות ב-MatLab[™] והתאמתן לצרכינו.



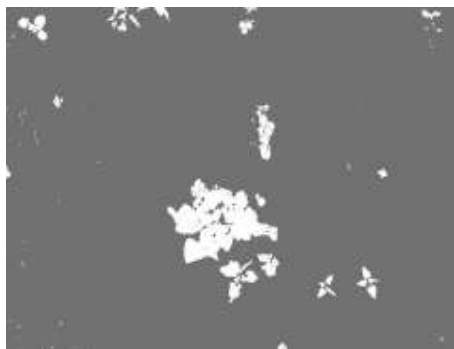
איור מס' 1- מיקום המצלמות על הטרקטור ושדה הראייה שלהן (גד"ש אלונים -15.6.07)



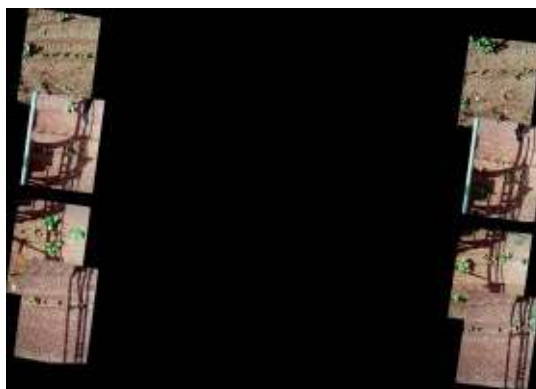
איור מס' 2 – תרשים זרימת סדר הפעולות במערכת המוצעת

בניסוי בשדה כותנה של קיבוץ לביא, חוברו למוט הריסוס של הטרקטור, ארבע מצלמות דיגיטאליות מדגם Ricoh Caplio™ RX, בעלות רזולוציה של 3.2 מגה-פיקסל. המצלמות כונו לצילום אוטומטי

כל 30 שניות. מטרתו של ניסוי ראשוני זה הייתה להראות כי ניתן לבצע צילום אוטומטי מטרקטור מאויש, כך שניתן יהיה לבנות מפה של השטח לצורך איתור העשבים. איורים 3 ו-4 מראה את המפה שנוצרה באמצעות המערכת הראשונית: מפה של השטח המורכבת מאיחוד של מספר צילומים אחרי התיקון הגיאומטרי ואחרי הייחוס הגיאוגרפי, המפה מראה את האזורים שזוהו כשטח ירוק באמצעות עיבוד הצילומים הצבעוניים. עיבוד התמונה התבצע בתוכנת ERDAS-Imagine™ ולצורך הפרדת הצמחייה מהרקע נעשה שימוש ב-Vegetation index. תוצאות ראשוניות אלה מראות כי ניתן להעריך את אחוז הכיסוי הירוק באמצעות צילומים בתחום הנראה ממספר מצלמות שמתבצעים תוך כדי נסיעה בשטח.



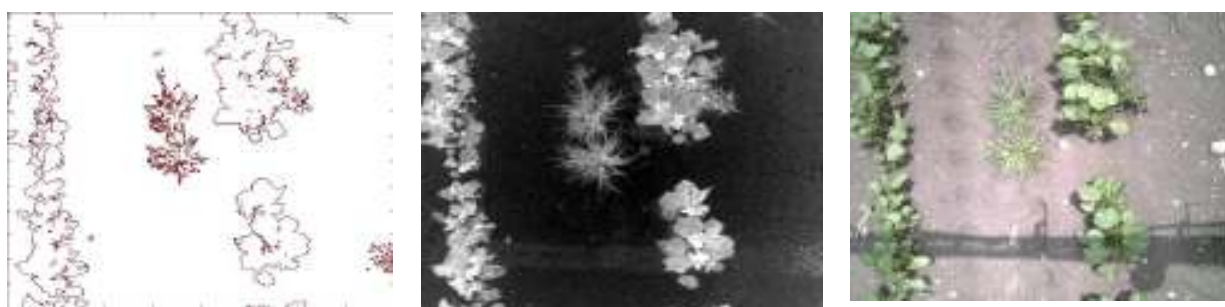
איור מס' 3 - צילום של שדה עם עשבים וזיהוי העלווה באמצעות אינדקס צומח



איור מס' 4 - תמונה שהורכבה אחרי תיקון גיאומטרי, ייחוס גיאוגרפי ותוצאת מיפוי העלווה באמצעות אינדקס צומח. כיוון נסיעת הטרקטור הוא משמאל לימין. ניתן לראות כי המידע מקוטע, בשטחים "שלא כוסו: ע"י המצלמות בגלל תזמון איטי (השטח השחור)

במאי 2007 נערך ניסוי שדה שכלל שני ימי צילום נפרדים בהפרש של שבועיים. מטרת הצילום במועדים נפרדים היא לספק מידע למערכת בשלבים פנולוגים שונים של הגידול. הניסוי נערך בחלק של שדה מסחרי של קיבוץ אלונים שכלל כ-12 ערוגות באורך 100 מ' (סה"כ 2.4 ד') שלא טופלו כנגד

עשבים, לא ע"י קלטור ולא ע"י ריסוס. בניסוי זה השתמשנו בזוג מצלמות אינטרנט מדגם Microsoft© NX 6000 בתצורה המתוארת בשיטת העבודה. התוצאות הראשוניות מניסוי זה מראות כי ניתן לקבל מידע חזותי רציף בניגוד למידע המקוטע מ-2006. כמו כן ראינו שהתמונות מתקבלות באיכות טובה גם בנסיעה מהירה של הטרקטור. איור 5 מציג את שני השלבים הראשונים בעיבוד התמונה כפי שמתקבל בעבודה ב בתוכנת ה - MatLab™ 5א. התמונה המקורית ב RGB. 5ב. התמונה בגוונים של אפור לאחר הפעלת אינדקס (Excessive Green Index) EGI. 5ג. מציאת קווי המתאר (קונטורים) של הצמחיה. ניתן להבחין בשוני בין קווי המתאר החדים של העשב לאלו המעוגלים יותר של הכותנה.

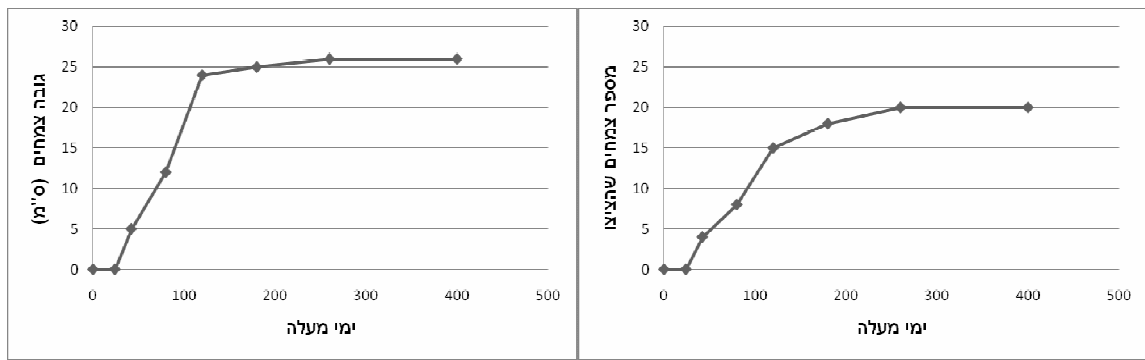


איור מס 5 א – תמונה מקורית איור מס 5 ב. – לאחר אינדקס הצמחיה איור מס 5 ג – קונטורים של RGB EGI

דרך עבודה שונה נוסתה אך נמצאה כלא מתאימה. השיטה שנבדקה הייתה, בשלב ראשון לרצף את התמונות שנאספו לתמונת פסיפס אחת גדולה ואת התמונה כולה ליישר גיאוגרפית ולמקם במרחב. בשלב שני התכנון היה לבצע את פעולות הניתוח ועיבוד התמונה על התמונה כולה. בפועל, קובץ התמונה שהתקבל בדרך זו היה בנפח גדול מדי ($1000Mb <$) דבר שהקשה על המחשב לפעול ולבצע את פעולות החישוב.

הקשר בין ימי מעלה להתפתחות ענבי שועל

מודל לבחינת קשר זה מפותח כאמור במחקר מקביל במרכז מחקר נווה יער. תוצאות שנת הניסויים הראשונה מצביעות על קשר בין ימי מעלה לגובה ומספר הצמחים שהציצו כפי שניתן לראות באיור. הקשר ייבחן בשני מישורים. במישור אחד אנו מצפים לקבל מהמודל מידע פנולוגי על העשבים כגון: מספר עלים, גודל, מרחק בין עשבים וכיו"ב ע"י צבירת ימי מעלה. במקביל, יפותח מנגנון לעדכון והזנת מידע, חזרה אל המודל, בהסתמך על תוצאות עיבוד התמונה כך שניתן יהיה לשפרו.



רשימת ספרות.

- Alchanatis, V., L. Ridel, A. Hetzroni, and L. Yaroslavsky. 2005. Weed detection in multi-spectral images of cotton fields. *Computers and Electronics in Agriculture* 47:243-260.
- Burks, T.F., S.A. Shearer, and F.A. Payne. 2000. Classification of weed species using color texture features and discriminant analysis. *Transactions of the ASAE* 43:441-448.
- Cho, S.I., D.S. Lee, and J.Y. Jeong. 2002. AE--Automation and Emerging Technologies: Weed-plant Discrimination by Machine Vision and Artificial Neural Network. *Biosystems Engineering* 83:275.
- Eizenberg, H., J. Colquhoun, and C. Mallory-Smith. 2004b. A predictive degree-days model for small broomrape (*Orobanche minor*) parasitism in red clover in Oregon. *Weed Science* 53:37-40.
- Elfaki, M.S. 1996. Weed detection using color machine vision, Kansas State University.
- Golzarian, M., J.M.A. Desbiolles, and M.K. Lee. 2007. Colour index evaluation method for plant segmentation from a soil background. *Precision Agriculture Conference 07'* 1:325-332.
- Lamm, R.D., D.C. Slaughter, and D.K. Giles. 2002. Precision weed control system for cotton. *Transactions of the ASAE* 45:231-238.
- Stafford, J.V., and J.V. Benlloch. 1997. Machine-assisted detection of weeds and weed patches. *Precision Agriculture* 97:511-518.
- Tang, L., L. Tian, and B.L. Steward .2000 .Color image segmentation with genetic algorithm for in-field weed sensing. *Transactions of the ASAE* 43:1019-1027.
- Wang, N., N. Zhang, F.E. Dowell, Y. Sun, and D.E. Peterson. 2001. Design of an optical weed sensor using plant spectral characteristics. *Transactions of the ASAE* 44:409-419.

Woebbecke, D.M., G.E. Meyer, K. Von Bargen, and D.A. Mortensen. 1995. Shape features for identifying young weeds using image analysis. Transactions of the ASAE 38:271-281.