توسعه روش جدید تنک‌کنی مزارع چغندرقند با استفاده از بینایی ماشین

امیر شیخی آراسته[1*]، پرویز احمدی مقدم[2]، محمد حسن کماریزاده[3]، هاشم کلب خانی[4]
۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه ارومیه ۲ و ۳- استادیار و دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه ارومیه، ۴- دانشجوی کارشناسی ارشد برق _ مخابرات دانشگاه ارومیه
*Email: a.sh.arasteh@gmail.com

چکیده

تنک‌کنی و وجین‌کنی محصولات ردیفی از جمله عملیات هزینه‌بر و طاقت‌فرسا بوده و از اهداف اصلی کشاورزی دقیق بهبود عملکرد محصول در واحد سطح می‌باشد. تشخیص و تمایز بین محصول، علف هرز و خاک با استفاده از تکنیک پردازش تصویر عمل پیچیده‌ای بوده، بویژه زمانی که محصول به اندازه کافی رشد کرده باشد. بینایی ماشین می‌تواند ابزار مناسبی برای تشخیص و جداسازی محصول از خاک و علف‌های هرز باشد. هدف اصلی این تحقیق توسعه الگوریتم با دقت مناسب به منظور تشخیص بوته‌های چغندرقند و حذف بوته‌های اضافه می‌باشد. تصاویر رنگی توسط دوربین دیجیتال مجهز به لنز CCD از سطح مزارع چغندرقند شهرستان نقده در فصل بهار در مرحله ۴ الی ۶ برگی، در شرایط مختلف آب و هوایی (آفتابی و ابری) تهیه گردید. الگوریتم‌های ارائه شده متشکل از دو قسمت جداسازی محصول از زمینه و تصمیم‌گیری بر مبنای فاصله بوته از بوته‌های مجاور می‌باشد. توابع تفکیک کننده و نرخ موفقیت آن‌ها در تشخیص مرکز جرم بوته‌ها و تقسیم بندی بوته‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. بررسی تصاویر نشان داد که اساسی‌ترین مشکل در تشخیص شیء، همپوشانی بوته‌ها می‌باشد. نتایج آنالیز نشان داد که الگوریتم ارائه شده در فضای رنگی RGB با تبدیل (2R-G+B) با وجود همپوشانی، دارای دقت بالاتری نسبت به فضاهای رنگی (HSI و YCbCr) می‌باشد. نتایج ارزیابی نشان داد که دقت الگوریتم مرکز جسم و الگوریتم عرض متوسط به ترتیب، ۵۸/۶۵، ۸۹/۷ درصد در عملکرد روی بوته‌ها و همچنین دقت جداسازی محصول از زمینه به ترتیب ۹۴ و ۹۱ درصد در هوای آفتابی و ابری می‌باشد.

کلمات کلیدی: بینایی ماشین، پردازش تصویر، تراکم، تنک‌کنی، چغندرقند.

مقدمه

در مسیر توسعه مکانیزاسیون هر منطقه، در اختیار داشتن ادوات کشاورزی از ملزومات توسعه و پیشرفت در کشاورزی می‌باشد. از مهم‌ترین، پرهزینه‌ترین و طاقت فرساترین مراحل تولید محصول در کشاورزی عملیات داشت می‌باشد. حذف بوته‌ی اضافی از سطح مزرعه به منظور رسیدن به تراکم و فاصله‌ی بهینه محصول برای دستیابی به محصول با کیفیت مناسب را عملیات تنک‌کاری گویند [Herbon, 2004]. فاصله یکنواخت گیاهان همواره برای توزیع یکسان آب و مواد مغذی در بین گیاهان مطلوب می‌باشد. به منظور دستیابی به عملکرد بهینه و به دلایل پیش‌بینی نشده مانند قوه نامیه بذر، کشت در عمق نامناسب،... تعداد بوته‌های کاشته شده در سطح را بایستی بیشتر در نظرگرفت. در مورد چغندرقند تعداد بوته در هکتار ۱/۵ تا ۱/۷ برابر تراکم اصلی کاشته می شود [خواجه‌پور، ۱۳۸۵]. به ازای هر هکتار محصولات ردیفی تنک شونده (مانند چغندرقند، پنبه، ذرت و ...) ۶۲/۲۸ روز کاری (حدود ۲۴/۷ درصد هزینه‌های تولید) برای عملیات تنک‌کنی و وجین‌کنی نیازمند است [آمارنامه، ۱۳۸۵].

تراکم نامناسب محصول موجب افت عملکرد محصول در هکتار می‌شود [Thorp et al, 2007] و [1984 ,Duncan]. شناسایی بوته‌ها روی ردیف با استفاده از بینایی ماشین مشکلاتی را به همراه دارد که موجب تفاوت کلی آن با سایر کاربردهای این تکنولوژی نظیر جداسازی و طبقه‌بندی محصولات کشاورزی می‌شود. به طور خلاصه می‌توان تفاوت‌های زیر را برشمرد: شرایط مزرعه کاملاً متغیر بوده و مانند فرآیندهای پس از برداشت قابل کنترل نمی‌باشند. همپوشانی برگ‌ها موجب عدم وجود یک شکل و اندازه مشخص برای گیاه می‌شود و به همین دلیل پردازش مورفولوژیکی را مشکل می‌سازد. لی و همکاران (۱۹۹۹)، سیستم رباتیک هوشمندی برای کنترل علف هرز و با اعمال انتخابی سم روی ردیف با استفاده از ماشین بینایی ابداع کردند. نتایج کار آن‌ها نشان داد که فضای رنگی HSI بهتر از فضای رنگی RGB در طبقه‌بندی پیکسل‌های رنگی عمل می‌کند. پس از توسعه تکنولوژی‌های پردازش تصویر، گام بعدی اعمال همزمان (بلادرنگ) آن‌ها در عملیات مزرعه‌ای می باشد. اسلاوتر و همکاران(۱۹۹۶)، یک سیستم هدایت بلادرنگ برای کولتیواتورزنی دقیق ارائه دادند. سیستم هدایت آن‌ها مکان ردیف بوته‌ها را تعیین می‌کرد، سپس آفست موجود بین مکان فعلی و موقعیت مطلوب، با حرکت جانبی ابزار تنظیم می‌شد. تیان و همکاران، (۱۹۹۸) امکان کاربرد سیستم بینایی ماشین را برای تشخیص بوته اصلی در شرایط نور طبیعی محیط بررسی کردند. نتایج آزمایشگاهی تحقیقات آن‌ها نشان داد که ۶۱ تا ۸۲ درصد بوته‌های اصلی را در تصاویر گرفته شده از مزرعه می توان به درستی تشخیص داد. ماشین‌های تنک‌کن معمولی بصورت تصادفی اقدام به حذف بوته می نماید و سعی در حفظ تراکم بوته‌ها را ندارند. در تنک‌کن‌های دقیق بایستی بوته تشخیص داده شود و با توجه به وضعیت هر بوته تصمیم به حذف و یا عدم حذف آن گرفت. هدف از انجام این تحقیق طراحی الگوریتم مکان‌یابی مرکز جرم بوته‌های چغندرقند با استفاده از سنسور بینایی ماشین در مزرعه می‌باشد. همچنین آلگوریتم بایستی قادر به تعیین دقیق فاصله‌ی بین بوته‌ها و تشخیص تراکم محصول در مزرعه باشد.

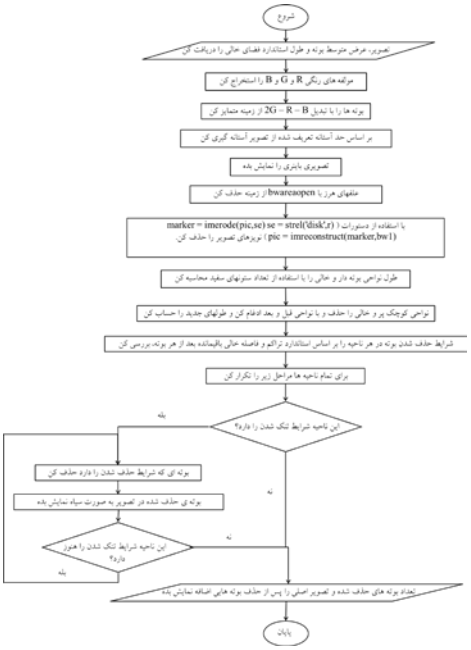
مواد و روش‌ها

تصویر برداری: این پژوهش از پایگاه داده‌های تصاویر سه مزرعه چغندرقند کشت شده با کارنده پنوماتیک در شهرستان نقده استفاده شده است. تراکم محصول در این مزارع مابین ۱۰۰۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰۰ بوته در هکتار بود. با در نظر گرفتن زمان عملیات تنک کنی، تصاویر در مراحل ۴ الی ۶ برگی تهیه گردید. تصویربرداری از ۱۵ اردیبهشت تا ۳۰ خرداد ۱۳۹۰ صورت گرفت. این تصاویر توسط دوربین دیجیتال Sony Cyber-Shot W200 CCD با رزولشن ۱۵۳۸*۲۰۴۸، با فرمت فشرده سازی Jpeg، در شرایط مختلف جوی (ابری و آفتابی) تهیه گردید. برای تهیه تصاویر از یک قاب فلزی برای نصب دوربین در ارتفاع ۱.۵ متری استفاده گردید و در ناحیه ای به طول ۱ و عرض ۰/۵ متر از ردیف‌های چغندرقند عکس‌برداری صورت گرفت. ردیف‌های کشت توسط نشانگرهای به فواصل مساوی علامت گذاری گردید تا در مرحله کالیبراسیون بتوان از این مقیاس استفاده نمود (شکل ۱).

شکل ۱- علامت گذاری ردیف‌های کشت توسط نشانگر

شکل ۲- تصویربرداری در شرایط مختلف: (الف) نور کم (ب) نور مناسب

۵۰۰ تصویر توسط نرم‌افزار MATLAB R2011b مورد پردازش قرار گرفت. برای ارزیابی و مقایسه تأثیر میزان شدت نور بر نتایج، تصاویر در شرایط مختلف جوی (نور زیاد (آفتابی) و نور کم (ابری)) تهیه شد (شکل ۲). در شکل (۳) مراحل پیش‌پردازش، پردازش تصویر و تصمیم‌گیری شرح داده شده است. در این تحقیق از دو روش برای تشخیص بوته استفاده شد. روش اول تعیین مرکز جرم، و روش دوم استفاده از عرض متوسط بوته‌ها که در ادامه توضیح داده می‌شود می‌باشد.



شکل ۳- روند نمای الگوریتم طراحی شده (پیش‌پردازش، پردازش تصویر، تصمیم‌گیری و خروجی)

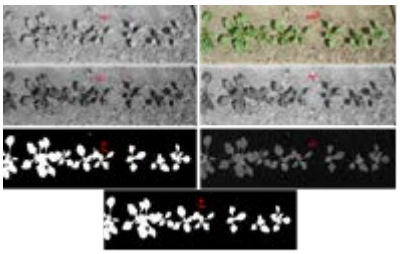
جداسازی زمینه از محصول: برای جداسازی زمینه، از مقدار دره‌ی نمودار هیستوگرام مؤلفه‌ی تصویر در شکل (۴ج) برای آستانه‌گذاری مؤلفه سبز استفاده شده است.

شکل ۴- جداسازی زمینه‌ی خاکی با استفاده از مؤلفه‌ی سبز. الف) تصویر اولیه. ب) مؤلفه‌ی سبز تصویر. ج) هیستوگرام مؤلفه‌ی سبز

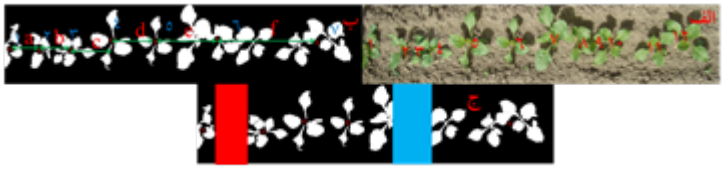
با استفاده از رابطه 2G - B - R و انتخاب آستانه صفر می‌توان گیاه را از زمینه‌ی خاک جدا کرد [Liu and Paulsen, 2000]. مراحل مختلف پیش پردازش تصاویر در شکل (۵) آورده شده است.

تعیین تعداد بوته: برای تعیین تعداد بوته از دو روش تعیین مرکز جرم بوته و عرض متوسط بوته استفاده شد.

آلگوریتم تعیین مرکز جرم: در روش تعیین مرکز جرم، بعد از مراحل پیش‌پردازش و حذف زمینه، تعداد بوته‌ی در هر تصویر و فواصل بین بوته‌ها مانند شکل (۶) محاسبه شده و بر اساس حفظ تراکم مناسب، بوته‌ی اضافی حذف می‌شود. در شکل (۶ الف) تعداد بوته‌های چغندرقند ۱۲ عدد بوده در حالی که در تصویر دودویی تعداد آن‌ها برابر (۶) عدد می‌باشد.

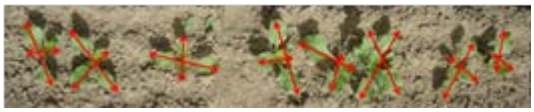


شکل ۵ – عملیات پیش پردازش انجام روی تصویر: الف) تصویر اصلی. ب) مؤلفه‌ی قرمز تصویر. پ) مؤلفه‌ی سبز تصویر. ت) مؤلفه‌ی آبی تصویر. ث) تصویر سبزی مازاد یا تصویر $2G - B - R$. ج) آستانه‌گیری اتسو (Otsu) و حذف پس‌زمینه. چ) تصویر نهایی پس از پردازش مورفولوژیکی با دستورات(imreconstruct(erode,pic), imerode(pic,s), **strel('disk',r) برای حذف نویز.**



شکل ۶– مرکزیابی بوته الف) تصویر اصلی (تصویر همراه با شماره بوته). ب) تصویر دودویی همراه با مرکز جرم فاصله جسم‌ها از هم همراه با شماره جسم‌ها. ج) ناحیه‌ی قرمز نشان دهنده‌ی بوته‌ی شماره‌ی ۲ که به درستی حذف شده ناحیه‌ی آبی رنگ بوته‌های ۸ و ۹ که به اشتباه حذف نشده‌اند.

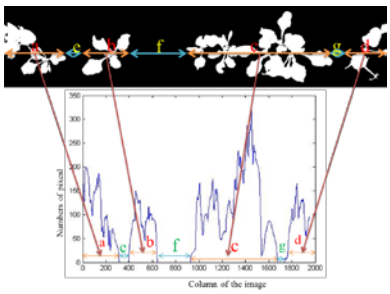
آلگوریتم عرض متوسط بوته: این آلگوریتم بر اساس محاسبه عرض متوسط بوته و مستقل از همپوشانی طراحی شده است. این عرض متوسط از میانگین دو قطر متقاطع بوته بدست می آید. با استفاده از این عرض متوسط تعداد بوته‌های روی ردیف محاسبه می‌شود. برای محاسبه عرض متوسط، ۲۰۰۰ بوته مورد ارزیابی قرار گرفت (شکل ۷). تمام فواصل در این الگوریتم بر حسب ضریب کالیبراسیون به فواصل متری تبدیل شده‌اند. (ضریب کالیبراسیون برابر طول شاخص روی ردیف کشت بر حسب متر بر همان طول مشخص بر حسب پیکسل در ارتفاع مشخص) میانگین تمامی این اقطار حساب شده و در برنامه اصلی به عنوان معیار تعیین کننده‌ی اصلی تنک‌کنی به کار برده شده است.



شکل ۷– نحوه‌ی اندازه‌گیری عرض متوسط بوته.

طول نواحی با توجه به نمودار هیستوگرام بصورت شکل (۸) بررسی می‌گردد. شکل (۸) نشان می‌دهد که بوته‌ها به چندین ناحیه تقسیم‌بندی می‌گردد (حروف مشابه در تصویر و نمودار هیستوگرام). این نمودار نواحی شامل بوته و نواحی خالی را مشخص می‌کند. برای بهبود نتایج، اطلاع از شرایط تصویر بعدی ضروری می‌باشد. به همین دلیل دو تصویر متوالی که در مزرعه تهیه شده است را بایستی بصورت همزمان و پی در پی پردازش نمود. با این روش پردازش، بهنیه‌ترین شرایط تصویر از نظر طول تصویر و شرایط نوری، برای بهبود نتیجه الگوریتم بررسی گردید.

ارزیابی عملکرد آلگوریتم‌ها: به منظور ارزیابی عملکرد و دقت دو الگوریتم در تشخیص علف هرز، تعداد بوته و فاصله آنها و دقت در تنک‌کنی، پنج گروه تصویر مورد ارزیابی قرار گرفت. این تصاویر شامل شرایط نوری مختلف (آفتابی و ابری)، آنالیز یک تصویر به تنهایی، آنالیز دو تصویر پی در پی (دو متر)، آنالیز سه تصویر پی در پی (شامل یک تصویر با تصاویر قبل و بعد از خود) می‌باشد. دقت آلگوریتم‌ها به این صورت محاسبه گردید که در هر مرحله نتایج حاصل از آلگوریتم با نتایج واقعی مقایسه گردید و میزان خطا بدست آمد.



شکل ۸- نحوه‌ی محاسبه طول‌های شامل بوته و فضاهای خالی بین بوته‌ها

نتایج و بحث

نتایج روش مرکز جرم در جدول (۱) آورده شده است. همانگونه که در شکل (۷ ج) مشاهده می‌شود چون حذف شدن بر اساس فاصله بین مرکز جرم‌ها صورت می‌گیرد، بوته‌ی شماره‌ی ۲ به درستی حذف شده است. اما بوته‌های شماره ۸ و ۹ در حالی که باید حذف می‌شدند به دلیل اینکه فاصله‌ی مرکز شماره ۶ (مرکز شماره‌ی ۶ شامل چهار بوته‌ی ۷، ۸، ۹ و ۱۰ می‌باشد) تا دو مرکز مجاور بیش از استاندارد تعریف شده می‌باشد، حذف نشده‌اند. برای کاهش خطا از اطلاعات و مختصات بوته های پایانی تصاویر استفاده شد. این اطلاعات شامل فواصل خالی و پر ابتدا و انتها هر تصویر در روش عرض متوسط و فاصله‌ی اوّلین بوته از ابتدای تصویر و آخرین بوته از انتهای تصویر در روش مرکز جرم می‌باشد. در این روش برای کاهش خطا هر تصویر به تصویر بعدی چسبانده می‌شود. پردازش یک تصویر و تصمیم‌گیری بر اساس اطلاعات استخراج شده‌ی آن سبب ایجاد خطا می‌شود. در این روش بوته‌ها از نظر حذف شدن و عدم حذف نشدن بررسی کرده و به صورتی که در ادامه توضیح داده می‌شود تقسیم‌بندی شدند: بوته‌ای که باید حذف شود و حذف می‌شود، بوته‌ای که باید حذف شود اما حذف نمی‌شود، بوته‌ای که نبایستی حذف شود و حذف می‌شود و بوته‌ای که بایستی حذف شود اما حذف نمی‌شود. با استفاده از این چهار بند ارزیابی الگوریتم‌ها بصورت جداول (۱ و ۲) حاصل شد.

جدول ۱- ارزیابی دقت الگوریتم طراحی شده با استفاده از مرکز جرم در تنک‌کنی تصاویر با طول مختلف.

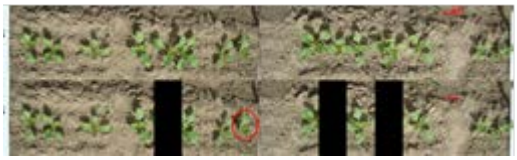
طول تصویر (تعداد) (m)	۱	۲	۳
میانگین زمان پردازش (s)	۰/۱۶۵۴۱۲	۰/۳۸۰۲۰۳	۰/۸۲۶۴۵۱
دقت الگوریتم در حذف کردن بوته‌های با قابلیت حذف (٪)	۲۲	۲۴/۶	۲۵
دقت الگوریتم در حذف نکردن بوته‌های با قابلیت عدم حذف (٪)	۸۹	۹۲/۷	۹۴/۸
دقت کل (٪)	۵۵/۵	۵۸/۶۵	۵۹/۹

جدول ۲- ارزیابی دقت الگوریتم طراحی شده با استفاده از عرض متوسط در تنک‌کنی تصاویر با طول مختلف.

طول تصویر (تعداد) (m)	۱	۲	۳
میانگین زمان پردازش (s)	۰/۱۸۵۷۱۱	۰/۳۷۰۱۸۱	۰/۹۲۵۳۶۴
دقت الگوریتم در حذف کردن بوته‌های با قابلیت حذف (٪)	۷۲	۸۸/۴	۹۰
دقت الگوریتم در حذف نکردن بوته‌های با قابلیت عدم حذف (٪)	۷۱	۹۱	۹۲
دقت کل	۷۱/۵	۸۹/۷	۹۱

به عنوان مثال در الگوریتم طراحی شده‌ی عرض متوسط در شکل (۱۰ب) وضعیت بوته‌ای که با دایره قرمز رنگ مشخص شده است، بنا به فضای خالی تصویر دوم باقی می‌ماند اما در صورتی که تصویر دوم در اختیار نباشد، وضعیت (حذف یا عدم حذف) این بوته به درستی تعیین نخواهد شد. شکل (۱۰ قسمت الف و ب) نتیجه ارزیابی الگوریتم روی یک تصویر به طول ۱ متر و پردازش مجزای آن بدون تصویر بعدی آن می‌باشد. همان‌طور که

مشاهده می‌شود بوته‌ی آخری که با دایره مشخص شده است حذف نشده است در حالی که تصوی بعدی آن (قسمت ج شکل ۱۰) با تراکم پر شروع می‌شود و این باعث به وجود به وجود آمدن خطا در تنک‌کنی می‌شود.



شکل ۹- بهبود شرایط تنک‌کنی در الگوریتم طراحی شده‌ی عرض متوسط با چسباندن تصاویر با طول ۱ متر به هم. الف) تصویر اصلی. ب) تصویر بعد از حذف شدن بوته‌ها.

شکل ۱۰- نتیجه پردازش یک تصویر بدون تصویر بعدی. الف) تصویر اصلی. ب) تصویر تنک شده. ج) تصویر دوم.

ارسال پشت سرهم تصاویر و پردازش به هم وابسته‌ی آن‌ها دقت الگوریتم پیشنهادی را تا حد زیادی بنا به جداول ۱ و ۲ کاهش می‌دهد. در بررسی نتایج حاصل از شرایط نوری (جدول ۳) می‌توان گفت که در ساعات آفتابی روز نتایج قابل قبولی از ارزیابی الگوریتم به دست آمد. می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم در شرایط روز روشن با نور آفتاب متعادل، دارای عملکرد خوبی می‌باشد.

جدول ۳- مقایسه شرایط نوری مختلف بر عملکرد الگوریتم.

شرایط تصویر برداری (مقدار نور روز)	روز ابری (کم نور)	روز آفتابی (نور متعادل روز)
دقت جداسازی محصول از زمینه	۹۱	۹۴

فضاهای (HIS و YCbCr) مورد بررسی قرار گرفته نشان داد که تبدیلاتی که در این فضاها مورد آزمایش قرار گرفت نمی‌تواند به خوبی بوته سبز را از زمینه خاکی جدا کرده و در فضای YCbCr نیز برگ‌های هر بوته از هم جدا می‌شدند. مقایسه نتایج با دیگر محققین نشان می‌دهد دقت الگوریتم طراحی شده با استفاده از عرض متوسط دارای عملکردی مناسبی می‌باشد [Tillett et al, 2008].

منابع

۱. بی‌نام، آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۸۵، گزارش سالانه.
۲. خواجه‌پور، م.ر. ۱۳۸۵. گیاهان صنعتی. چاپ دوم انتشارات جهاد دانشگاهی.
3. Duncan, W. G. 1984. A theory to explain the relationship between corn population and grain yield. Crop Sci. 24(6): 1141-1145.
4. Herbon, R. and R. Pennock. 2004. Chile thinner testing, NMSU crop thinning project. College of Agriculture and Home economics, New Mexico, USA.
5. Lee, W.S et al. 1999. Development of a Machine Vision System for Weed Control Using Precition Chemical Application. Transactions of ASAE 39(13).
6. Liu, J., and M. R. Paulsen. 2000. Corn whiteness measurement and classification using machine vision. Transactions of the ASAE 43(6). 1669-1675.
7. Slaughter., D.C et al. 2008. Autonomous robotic weed control systems: A review. computers and electronics in agriculture 61 63–78.
8. Tian, L. F., and D. C. Slaughter. 1998. Environmentally adaptive segmentation algorithm for outdoor image segmentation. Computers & Electron. in Agric. 21(3): 153-168.
9. Tillett et al. 2008. Mechanical within-row weed control for transplanted crops using computer vision. biosystems engineering 99 (2008) 171– 178
10. Thorp, K. R et al. 2007. Using aerial hyper spectral remote sensing imagery to estimate corn plant stand density. American Society of Agricultural and Biological Engineers ISSN 0001-2351. Vol. 51(1): 311-320.