

طراحی و توسعه سامانه کنترل هوشمند تعیین آب مورد نیاز گیاهان گلخانه‌ای با کمک بینایی ماشین (مورد

مطالعه: گیاه حُسن یوسف)

مریم ندافزاده^۱، سامان آبدانان مهدی‌زاده^{۲*}، محمدمین آسودار^۳، محمدرضا صالحی سلمی^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه کشاورزی و

منابع طبیعی رامین خوزستان

۲. استادیار، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی

رامین خوزستان

۳. استاد، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، گروه ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه کشاورزی و

منابع طبیعی رامین خوزستان

۴. استادیار، دانشکده کشاورزی، گروه علوم باغبانی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۵/۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۱۲/۱)

چکیده

بخش عمده‌ای از گیاهان زنده را آب تشکیل می‌دهد و به همین دلیل تغییر در میزان آب به شکل افزایش‌دهی، رشد و متابولیسم گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این مسأله سبب می‌شود تا مکانیزم‌های متعددی جهت حفظ رشد گیاهان در شرایط سخت کم‌آبی و تنش‌های ناشی از آن مورد توجه قرار گیرند. در این پژوهش نشان داده شد که سامانه خودکار آبیاری طراحی شده قادر است تا با بررسی پارامترهای رنگی و مورفولوژیکی گیاه، میزان پژمردگی را اندازه‌گیری و بر اساس آن، نیاز گیاه به آب را تشخیص و نهایتاً در راستای بهبود وضعیت گیاه اقدام نماید. در این مطالعه گیاه گلخانه‌ای حُسن یوسف برای انجام آزمایش انتخاب شد. مطابق آنالیز آماری صورت گرفته مشخص گردید که میان پارامترهای اندازه‌گیری شده در دوره پژمردگی در مقایسه با حالت شادابی گیاه، در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌دار وجود دارد. سامانه کنترل هوشمند تشخیص نیاز آبی گیاه را به ترتیب با صحت، حساسیت، تشخیص و دقت ۹۷٪، ۹۴٪، ۹۶٪ و ۹۵٪ انجام داد. این مسأله نشان از توانایی سامانه پیشنهاد شده به منظور اندازه‌گیری و سنجش پژمردگی گیاه و کنترل میزان آب مورد نیاز آن را دارد.

واژه‌های کلیدی: پژمردگی، تنش خشکی، کنترل هوشمند آبیاری، گلخانه

مقدمه

در حال حاضر بخش اعظمی از منابع آب کشور در بخش کشاورزی مصرف می‌شود. بنابراین با بهبود مدیریت مصرف آب در این بخش و افزایش راندمان مصرف آن می‌توان به نحو قابل توجهی در مصرف آب صرفه‌جویی نمود. یکی از مهم‌ترین روش‌های بهبود مدیریت مصرف آب در کشاورزی، تخمین دقیق میزان آب مصرفی گیاه است (Ahmadzadeh Gharah Gwiz *et al.*, 2010). با توجه به این موضوع، وسایل آبیاری در حال گسترش و بهبود هستند. کامپیوترها نیز برای تعیین دقیق میزان تبخیر و آب مورد نیاز گیاه به منظور صرفه‌جویی در آب استفاده می‌شوند (Salehi Salmi, 2015). با این وجود، پایه و

* نویسنده مسئول:

saman.abdanan@gmail.com ; s.abdanan@ramin.ac.ir

اساس نگهداری و حفظ عملکرد فیزیولوژیک محصول تحت شرایط خشک‌سالی هنوز ناشناخته می‌باشد (Tuberosa and Salvi, 2006)، به همین علت مکانیزم‌های متعددی جهت حفظ رشد گیاهان در شرایط سخت کم‌آبی و تنش‌های ناشی از آن مورد استفاده قرار می‌گیرند (Berger *et al.*, 2010). در این شرایط بهترین گزینه افزایش راندمان آبیاری، تبدیل روش‌های آبیاری سطحی به سیستم‌های آبیاری هوشمند می‌باشد. مهم‌ترین مزیت این سیستم‌ها، صرفه‌جویی در مصرف آب است. به طور کلی می‌توان گفت که هدف اصلی آبیاری فراهم ساختن آب کافی برای گیاه به منظور بدست آوردن محصول مطلوب و اقتصادی می‌باشد (Damas *et al.*, 2001). در همین راستا یک سیستم آبیاری اتوماتیک کنترل از راه دور را برای منطقه مورد آبیاری در اسپانیا پیشنهاد دادند. در پژوهش آن‌ها منطقه به هفت زیر بخش تقسیم شد. هر زیر بخش به وسیله بخش کنترل

زمان (مانند نرخ رشد، تغییرات حرکتی ناشی از حالت‌های مورفولوژی و طیفی) به کار گرفته می‌شود. فعالیت‌هایی که در گذشته در رابطه با بینایی ماشین در جهت تشخیص حالت‌های گیاه با استفاده از نظارت بر واحد برگ^۳ (Seginer *et al.*, 1992; Revollon *et al.*, 1998) یا واحد گیاه^۴ (Hetzroni *et al.*, 1994; Kacira *et al.*, 2002) صورت گرفته، موفقیت‌آمیز بوده‌اند، هرچند نظارت و نمونه‌برداری از قسمت پوشش تاج گیاهی مطلوب‌تر می‌باشد (Leinonen and Jones, 2004; Ushada *et al.*, 2007).

Hendrawan and Murase (2011) نشان دادند که تغییر شرایط آب در بعضی از حالات خزه ساناگوک^۵ مانند پژمردگی آن به وسیله ماشین بینایی قابل تشخیص است. Font and Farkas (2007) نیز در همین راستا با مطالعه الگوریتمی جهت تجزیه و تحلیل تصاویر جانبی گیاه گوجه‌فرنگی در گلخانه نشان دادند که در هر تصویر با استفاده از این الگوریتم، می‌توان راستای پوشش تاج گیاه را اندازه‌گیری کرد. اگر جهت اندازه‌گیری شده به جهت عمودی از قبل تعریف شده، نزدیک‌تر بود، نشان از سرحال بودن و شادابی گیاه داشت و در غیر این صورت گیاه، پژمرده در نظر گرفته می‌شد.

مطالعات زیادی ترکیب رنگ، مورفولوژی و ویژگی‌های بافتی را برای تشخیص تنش در گیاه گزارش دادند (Foucher *et al.*, 2004; Escos *et al.*, 2000; Ahmad and Reid, 1996; Leemans *et al.*, 2002). بسیاری از پژوهشگران ویژگی‌های مختلفی از جمله ویژگی‌های رنگ^۶ (CFs)، ویژگی‌های مورفولوژی^۷ (MFs) و ویژگی‌های بافت^۸ (TFs) را که قادر به ارائه اطلاعاتی در مورد تصاویر هستند، برای تشخیص الگوی تنش ترکیب کردند (Chen *et al.*, 2010). همچنین ویژگی‌های رنگی و مورفولوژیکی در پژوهش‌های متعددی به منظور بررسی و تعیین کیفیت محصولات کشاورزی و غذایی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Abdanan Mehdizadeh *et al.*, 2016; Abdanan Mehdizadeh *et al.*, 2014; Neelamma *et al.*, 2011; Visen *et al.*, 2004; Anami *et al.*, 2011).

بخش عمده‌ای از بدن گیاهان زنده را آب تشکیل می‌دهد و به همین دلیل تغییر در میزان آب به شکل افزایشده‌ای، رشد و متابولیسم گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین با صرفه‌جویی در مصرف آب و کنترل شرایط رشد گیاه به صورت

نظارت می‌گردید. هفت بخش کنترل به همدیگر و با کنترل کننده مرکزی از طریق شبکه WLAN متصل بودند. نتایج نشان داد که مصرف آب به طور قابل توجهی در حدود ۳۰-۶۰٪ کاهش معنی‌دار داشت.

حسن یوسف (*Coleus Spp*) گیاهی با برگ‌های زینتی که متعلق به تیره Lamiaceae می‌باشد. این جنس دارای گونه‌های متنوعی است. این گیاه دارای ماده اسید رزمارینیک^۱ می‌باشد که برای جلوگیری از بیماری‌های آسم، سمیت کبدی، قلب و سرطان کاربرد دارد. همچنین این اسید به عنوان ماده‌ای قوی و فعال در برابر ویروس ایدز به کار گرفته می‌شود و به علاوه خاصیت ضد باکتریایی، ضد التهابی و آنتی اکسیدانت آن شناخته شده است (Shoor *et al.*, 2012). گیاه حسن یوسف به دلیل حساسیت بالا می‌بایست به موقع و در زمان مناسب آبیاری گردد، لذا هر گونه افراط یا تفریط در آبیاری این گیاه، سبب بروز اختلالاتی در روند رشد و نهایتاً پژمردگی گیاه می‌گردد. از سوی دیگر باغداران با مشکلات مربوط به کیفیت گیاهان از لحاظ معیارهای زیبایی شناسی، مقاومت در برابر تنش‌ها، طول عمر، توسعه فروش و غیره مواجه هستند. استفاده از پردازش تصویر می‌تواند یک راه‌حل کارآمد برای کمک به تعیین شاخص‌های کیفیت گیاه باشد و تجزیه و تحلیل پارامترهای رنگی و ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاه می‌تواند در این زمینه بسیار مفید واقع گردد (Foucher *et al.*, 2004). پردازش تصویر دیجیتال، روشی غیرمخرب است که با به‌کارگیری تجهیزات موجود برای جمع‌آوری تصویر مانند دوربین، رایانه، پوشگر^۲ و برنامه‌های تجزیه و تحلیل تصاویر، می‌تواند تصاویر را ضبط و پردازش نموده و به تجزیه و تحلیل اطلاعات مستخرج از تصاویر پردازش (Aglave *et al.*, 2012).

در پژوهشی Kurata and Yan (1996) با تعیین شیب متوسط ساقه گیاه گوجه‌فرنگی با کمک پردازش تصویر، میزان محتوای آب درون گوجه‌فرنگی را بدست آوردند. Escos *et al.* (2000) نیز با توجه به مطالعاتشان نتیجه گرفتند که نوعی تعامل بین رشد گیاه تحت شرایط مختلف آب و هندسه فراکتال آن وجود دارد.

بدین ترتیب می‌توان گفت که بینایی ماشین در حوزه کشاورزی برای استخراج اطلاعات مختلف از شیء مورد نظر شامل اطلاعات مورفولوژیکی (مانند اندازه، شکل، بافت)، اطلاعات طیفی (مانند رنگ، دما، رطوبت) و اطلاعات وابسته به

3. Single Leaf

4. Single Plant

5. Sunagok

6. Colour Features (CFs)

7. Morphological Features (MFs)

8. Textural Features (TFs)

1. Rosmarinic acid

2. Scanner

زراعی و روزانه به مدت ۷ روز انجام شد. شایان ذکر است که از گلدان‌های این بخش برای آموزش طبقه‌بند استفاده گردید.

سامانه کنترلی سیستم خودکار آبیاری

سامانه کنترل هوشمند مورد نظر در این پژوهش شامل بخش مکانیکی، الکترونیکی و بخش پردازش تصویر می‌باشد. بخش مکانیکی شامل مخزنی با ظرفیت ۱ لیتر و ۸ عدد شیر برقی ۱۲ ولت (مدل E247، ساخت کشور چین) می‌باشد. مدار کنترلی که نقش یک رابط بین رایانه و شیر برقی‌ها را بر عهده دارد جزء بخش الکترونیکی سامانه محسوب می‌گردد. همچنین در بخش پردازش تصویر از دوربین دیجیتالی و یک دستگاه گیرنده و فرستنده صدا و تصویر بی‌سیم که در بخش "سامانه اخذ و تحلیل تصویر" توضیح داده می‌شود و از یک رایانه برای اجرای برنامه پردازش تصویر (بخش‌بندی، استخراج و انتخاب ویژگی‌ها) استفاده گردید. شایان ذکر است که دوربین در شرایط نوری یکسانی قرار گرفت تا تصویربرداری در شرایط ثابتی انجام پذیرد. شماتیک این سامانه در شکل (۱) نشان داده شده است. پس از طبقه‌بندی داده‌ها و اخذ تصمیم مناسب، خروجی طبقه‌بند-کننده به صورت کد به منظور فعال‌سازی مدار کنترلی و نهایتاً رله مربوط به محل تشخیص ارسال می‌گردد.

سامانه اخذ و تحلیل تصویر

سیستم اخذ تصویر در این تحقیق شامل یک دوربین دیجیتالی (TP-LINK، مدل TL-SC3230N H.264)، یک دستگاه گیرنده و فرستنده صدا و تصویر بی‌سیم (Boscam، مدل SC2000، آمریکا) بود که با استفاده از امواج مدوله FM با فرکانس ۲/۴ گیگاهرتز با برد سیستم ۵۰۰۰ متر عمل می‌نمود. تصاویر اخذ شده به یک لپ‌تاپ مجهز به نرم‌افزار متلب انتقال می‌یافتند. دوربین بالاتر از پوشش تاج گیاهان به صورت عمود بر سطح افقی و به فاصله ثابت ۲۵۰ سانتی‌متری از سطح زمین نصب گردید و تصاویر در شرایط ثابت نور گرفته شدند. در ادامه پس از انتقال تصاویر به رایانه (به صورت بی‌سیم)، با استفاده از نرم‌افزار Matlab 2016a پردازش تصویر انجام پذیرفت که شرح آن در ذیل خواهد آمد.

عکس‌برداری

در این پژوهش عکس‌برداری در هر دو مرحله آزمایشات به صورت روزانه و در فضای گلخانه انجام پذیرفت. برای ایجاد شرایط ثابت نور، تمامی تصاویر در ساعت مشخصی از روز گرفته شدند که مقدار نور محیط در این ساعت مشخص با استفاده از

همزمان، می‌توان به سطح پایینی از مصرف آب دست یافت. لذا با توجه به اهمیت مصرف آب و بازده عملکرد گیاه در شرایط بحرانی آب، ارائه راهکاری مناسب جهت تشخیص زود هنگام پژمردگی مورد نیاز می‌باشد. در نتیجه هدف از این پژوهش طراحی و توسعه سامانه کنترلی هوشمند است که بتواند به عنوان یک ابزار مفید جهت اندازه‌گیری و سنجش پژمردگی گیاه و کنترل میزان آب مورد نیاز گیاهان عمل کند. این مسأله در مصرف بهینه آب و افزایش عملکرد بسیار حائز اهمیت است.

مواد و روش‌ها

تمامی آزمایشات این تحقیق در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان و در طول بهار ۱۳۹۵ انجام پذیرفت. اجرای این تحقیق شامل دو مرحله بود: مرحله اول طراحی و پیاده‌سازی سامانه‌ی کنترل خودکار آبیاری مورد نظر و مرحله دوم ارائه و توسعه‌ی نرم‌افزار کاربردی مناسب برای استخراج ویژگی‌های رنگی و مورفولوژیکی جهت تشخیص و کنترل پژمردگی گیاه. مجموع این دو بخش، سامانه بینایی ماشین به منظور کنترل هوشمند آب مورد نیاز گیاه را تشکیل داده است.

آزمایش‌ها و نوع گیاه-خاک

در این مطالعه گیاه انتخاب شده گیاه زینتی حُسن‌یوسف است که از انواع گیاهان آپارتمانی محسوب می‌گردد. نام علمی این گیاه، *Plectranthus scutellarioides* می‌باشد. این گیاه به آبیاری منظم نیاز دارد و به سرعت و به وضوح نسبت به هر کمبود آب واکنش نشان می‌دهد. گیاهان مورد مطالعه در گلدان‌هایی با قطر ۱۳/۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر رشد داده شدند. گلدان‌ها حاوی نوعی از خاک با ظرفیت زراعی^۱ ۱۳/۲۴ درصد بودند و تحت شرایط گلخانه و در دمایی بین ۲۳ تا ۲۷ درجه سلسیوس نگهداری شدند.

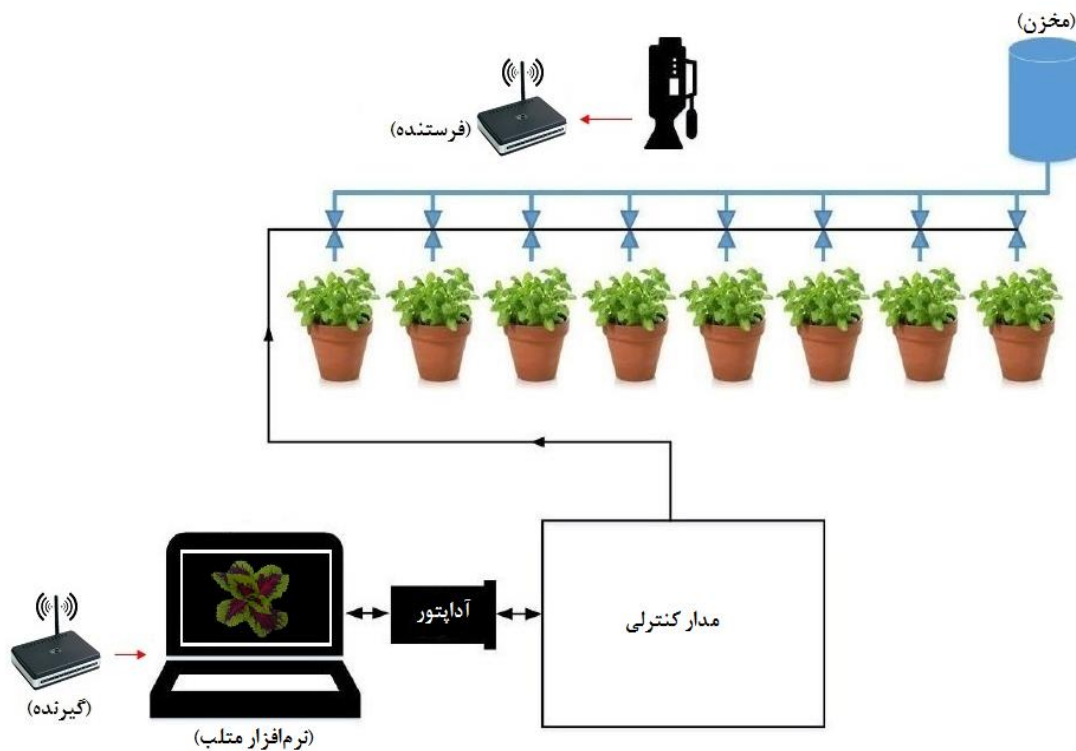
برای انجام آزمایش ۱۵ گلدان انتخاب شد و پس از شماره‌بندی در گلخانه قرار داده شدند. این پژوهش در دو مرحله انجام گرفت: (۱) در مرحله نخست همه گیاهان یک روز قبل از آزمایش در حد ظرفیت زراعی آبیاری شدند و پس از آن آبیاری به مدت ۷ روز متوالی متوقف گردید. (۲) پس از پایان این مرحله بلافاصله فاز دوم آزمایشات آغاز گردید و آبیاری در حد ظرفیت

1. Field Capacity (FC)

سه تصویر مورد ارزیابی قرار گرفت. البته فیلتر گوسی نیز قابلیت حذف برخی از این نویزها را داشت که با توجه به حذف اطلاعات تصویر توسط این فیلتر تصمیم به استفاده از میانگین‌گیری از سه تصویر گردید.

نورسنج تقریباً مقداری برابر ۳۳۲۰ لوکس^۱ اندازه‌گیری شد. شایان ذکر است که به منظور کاهش نویزهای احتمالی ناشی از لرزش دوربین و یا تنظیم نبودن لنز آن و غیره، از هر نمونه سه تصویر اخذ گردید که میانگین پارامترهای بدست آمده از این

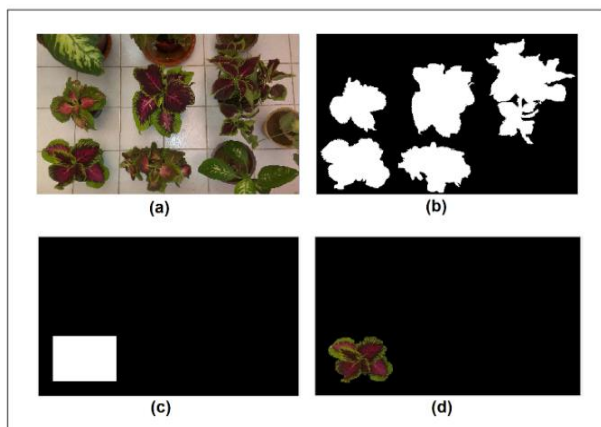
1. Lux



شکل ۱. شماتیک سامانه کنترلی سیستم خودکار آبیاری

پردازش تصویر

پردازش و آنالیز تصویر به عنوان قلب سیستم‌های بینایی ماشین شناخته می‌شوند. در این تحقیق به منظور یکنواخت نمودن تصاویر، از بین بردن اثر نوسانات منبع نور و کاهش نویز، ابتدا هیستوگرام تصاویر گسترش یافتند و سپس پیش‌پردازش‌هایی برای حذف نویز، بهبود درجه تباين^۲ و فیلتر کردن تصاویر انجام گرفت. لازم به ذکر است که فیلتر میانه بر روی تصاویر پیاده‌سازی گردید. پس از پیش‌پردازش با تعریف منطقه‌ای با ابعاد مشخص بر روی تصویر با در نظر داشتن موقعیت قرارگیری گلدان‌های مورد آزمایش و با به کارگیری آرایه منطقی آند^۳ عمل جداسازی قسمت مورد نظر (تصویر هر گلدان)، به‌عنوان تصویر اصلی (ROI^۴) صورت پذیرفت (شکل ۲).



شکل ۲. (a) تصویر اخذ شده توسط دوربین، (b) تصویر باینری گلدان‌های مورد آزمایش، (c) تعریف یک منطقه مشخص بر روی تصویر و (d) استخراج تصویر منطقه مورد نظر (ROI)

در ادامه بخش‌بندی تصویر به منظور تقسیم آن به نواحی مشخص، عملیاتی از قبیل حذف جزئیات تصویر به روش آستانه‌گذاری تطبیقی (Abdolazare and Abdanan, Mehdizadeh, 2014; Abdanan Mehdizadeh and Banhazi,

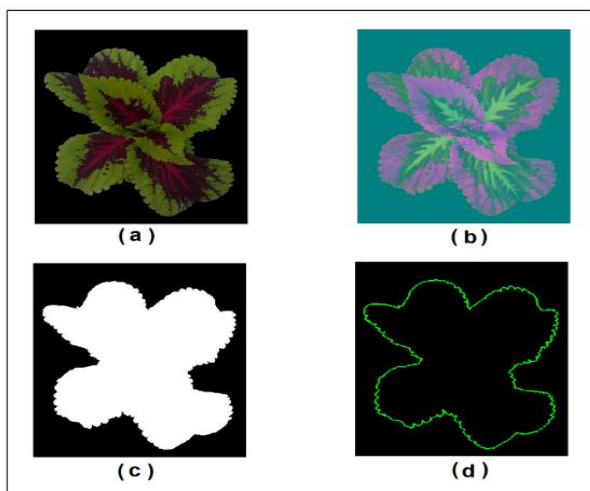
2. Contrast

3. And

4. Region Of Interest (ROI)

ویژگی‌های مورفولوژیکی (MFs)

بعد از بخش‌بندی تصویر که از اجزای ضروری در تعیین ویژگی‌های مورفولوژیکی می‌باشد، در این پژوهش دو ویژگی مورفولوژیکی شامل: شاخص پوشش سبز^۳ (شکل ۳c)، شاخص محیط (شکل ۳d) استخراج گردیدند. سطح پوشش سبز گیاه از اهمیت خاصی برخوردار است که با محتوای آب درون گیاه ارتباط دارد، همچنین برای محاسبه محدوده یک شیء (سطح پوشش سبز گیاه)، از پارامتری تحت عنوان محیط استفاده می‌گردد. در این پژوهش، بررسی این دو پارامتر با استفاده از روش شمارش پیکسل^۴ (PC) انجام پذیرفت (Igathinathane et al., 2006).



شکل ۳. (a) فضای رنگ RGB، (b) فضای رنگ Lab، (c) شاخص پوشش سبز (مساحت) و (d) شاخص محیط

انتخاب ویژگی

بسترهای داده‌ای که دارای ابعاد زیادی هستند علی‌رغم فرصت‌هایی که به وجود می‌آورند، چالش‌های محاسباتی زیادی را نیز ایجاد می‌کنند. بنابراین، انتخاب ویژگی‌های مرتبط و ضروری در مرحله‌ی پردازش تصویر از اهمیت بسزایی برخوردار است. انتخاب ویژگی مناسب می‌تواند کارآیی یک مدل استنتاجی^۵ را افزایش دهد. برای مسأله انتخاب ویژگی، راه‌حل‌ها و الگوریتم‌های فراوانی ارائه شده است که در این پژوهش از الگوریتم شاخه و کران^۶ برای زمان‌بندی بهینه فعالیت‌ها جهت انتخاب ویژگی استفاده شد.

الگوریتم شاخه و کران

هدف از به‌کارگیری الگوریتم شاخه و کران کوتاه‌کردن مدت‌زمان

(2015) و یافتن لبه‌های تصویر به روش لاپلاس (Gonzalez et al., 2004) صورت پذیرفت. مرحله نهایی این بخش از پژوهش شامل استخراج ویژگی‌ها (رنگی و مورفولوژیکی)، تفسیر داده‌ها و طبقه‌بندی آن‌ها به روش آدا بوست^۱ است که به تفصیل در بخش بعدی توضیح داده می‌شود.

استخراج ویژگی (ویژگی‌های رنگی و مورفولوژیکی)

ویژگی‌های رنگ (CFs)

رنگ بیشترین اطلاعات در تصاویر را به منظور تشخیص ویژگی خاص فراهم می‌کند. در این مطالعه از دو فضای رنگی RGB و Lab استفاده گردید (شکل ۳). بدین منظور تصاویر ابتدا در قالب مدل رنگی RGB (Luzuriaga and Balaban, 2002) ذخیره گردیدند.

مختصات CIELAB، رنگ را با استفاده از سه مقدار L^* ، a^* و b^* توصیف می‌کند. مختصات L^* روشنایی نمونه را و همین‌طور موقعیت محور خاکستری را از سیاه به سفید بیان می‌نماید و مختصات a^* و b^* به ترتیب، توصیف‌گر رنگ از سبز به قرمز و از آبی به زرد هستند (HunterLab, 2001). به منظور بررسی تغییرات رنگ در فضای Lab، کروما (C^*) در نمونه‌ها از طریق مجذور مربعات مختصات a^* و b^* در قالب رابطه (۱) و تفاوت رنگ کل نیز به صورت رابطه (۲) که توصیف‌کننده فاصله رنگ در این فضای سه‌بعدی است محاسبه گردیدند (CIE, 2004).

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2} \quad (\text{رابطه ۲})$$

در ضمن ضریب کسری^۲ (f) که با استفاده از مختصات رنگ a^* بیان می‌شود و تغییرات رنگ را از سبز به قرمز نشان می‌دهد با استفاده از رابطه (۳) محاسبه گردید (Steet and Tong, 1996a).

$$f = \frac{-a_0^* + a_i^*}{-a_0^* + a_\infty^*} \quad (\text{رابطه ۳})$$

در این رابطه، a_0^* مربوط به تیمار شاهد (داده‌های روز صفرم) و a_i^* میانگین مختصه رنگی a^* در هر روز i ام آزمایش و a_∞^* مربوط به آخرین روز آزمایشات است.

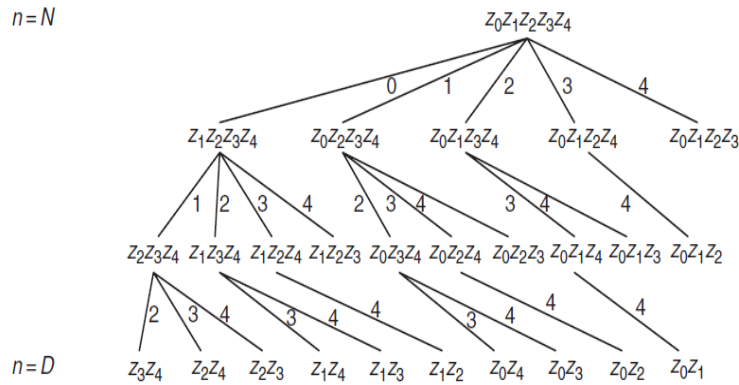
در این پژوهش پس از اخذ تصویر در قسمت پردازش، مختصات رنگ R، G و B و همین‌طور L^* ، a^* ، b^* ، C^* و f و $E\Delta$ برای هر نمونه استخراج گردیدند.

3. Green Canopy Index
4. Pixel Count
5. Inference model
6. Branch and Bound (B & B)

1. AdaBoost
2. Fractional Coefficient

می‌شود و به صورت پی‌درپی به حذف عناصر می‌پردازد تا بالاترین دقت در طبقه‌بندی داده‌ها حاصل گردد (Lampert et al., 2009). پیاده‌سازی الگوریتم شاخه و کران در نرم‌افزار 2016a Matlab انجام پذیرفت.

انجام پروژه می‌باشد. این الگوریتم تمام راه‌حل‌های یک مسئله را پیمایش می‌کند و مجموعه‌ی جواب‌های احتمالی را به صورت یک درخت در نظر می‌گیرد که ریشه‌ی آن متناظر با همه‌ی جواب‌ها و شاخه‌های آن زیر مجموعه‌هایی از جواب‌های احتمالی‌اند (شکل ۴). طبق این الگوریتم جستجو از مجموعه‌ی کامل ویژگی‌ها شروع



شکل ۴. نمودار درختی انتخاب ویژگی (ترتیب: از بالا به پایین) با استفاده از الگوریتم شاخه و کران

ویژگی خاص بر روی تصاویر را مورد بررسی قرار داده و برحسب مقدار آستانه‌ای^۵ که برای آن تعریف شده است (۰/۲۸)، نتیجه‌ی دسته‌بندی خود را اعلام می‌دارد. در الگوریتم آدابوست در هر تکرار، وزن‌هایی به همه نمونه‌ها نسبت داده می‌شود که احتمال انتخاب شدن نمونه‌ها برای مجموعه آموزشی را مشخص می‌نماید. در این روش ابتدا همه نمونه‌ها یک وزن اولیه برابر می‌گیرند. در مرحله بعد، با توجه به نتایج مرحله قبل، وزن‌های جدید اعمال شده و انتخاب نمونه‌ها و کلاس‌بندی، با توجه به وزن‌های جدید انجام می‌گیرد. این چرخه ادامه می‌یابد تا خطای مورد نظر از میزان معینی کمتر گردد.

طبقه‌بند آدابوست ترکیبی از بهترین ویژگی‌ها از تمام ویژگی‌های موجود را انتخاب می‌کند. اگر داده‌های آموزشی دارای توزیع نرمالی نباشند، آدابوست اغلب ویژگی مشابهی را برای طبقه‌بندهای ضعیف انتخاب می‌نماید. بنابراین زمانی که ویژگی‌های اصلی موجود به زیر مجموعه‌ای از ویژگی‌های انتخاب‌شده توسط آدابوست محدود می‌گردد، میزان موفقیت طبقه‌بندی افزایش می‌یابد (Barnes et al., 2010). در نرم‌افزار Matlab با اجرای جعبه‌ابزار آدابوست در GML کار ساخت طبقه‌بندی کمینه‌کننده^۶ انجام می‌گیرد (Vezhnevets, 2006).

ارزیابی سامانه کنترل هوشمند

به منظور ارزیابی کنترل هوشمند سامانه آبیاری حساسیت^۷

طبقه‌بندی^۱ تصاویر

جهت طبقه‌بندی داده‌ها از دسته‌کننده‌های^۲ زیادی استفاده می‌شود که یکی از این دسته‌کننده‌ها الگوریتمی به نام آدابوست^۳ می‌باشد. آدابوست مخفف بوستینگ^۴ تطبیقی بوده و یک الگوریتم یادگیری ماشین است که توسط Freund and Schapire (1999) ابداع شد. در این الگوریتم یک مقدار آستانه که مقدارهای کوچک‌تر از آن از یک کلاس و مقادیر بزرگ‌تر از آن جزء کلاس دیگر هستند در نظر گرفته می‌شود. در حقیقت از نتایج حاصل از طبقه‌بندهای ضعیف استفاده و دسته‌بندی نهایی انجام می‌گردد. شایان ذکر است که منظور از طبقه‌بند ضعیف این است که طبقه‌بند فقط کافی است که کمی بهتر از حالت تصادفی عمل کند. در مقابل به طبقه‌بندی که با احتمال بالایی به دقت دلخواه برسد طبقه‌بند قوی گفته می‌شود (Barnes et al., 2010). به طور کلی منظور از بوستینگ تبدیل یک طبقه‌بند ضعیف به یک طبقه‌بند قوی می‌باشد. این دسته‌بندی به صورت مرحله به مرحله انجام می‌پذیرد، به این صورت که در مرحله اول، نتیجه اولیه از نتایج طبقه‌بندهای ضعیف به دست می‌آید و سپس برحسب محاسبه ضریب خطا، اثر برخی از این طبقه‌بندهای ضعیف بیشتر می‌گردد و اثر برخی دیگر کاهش می‌یابد. هر کدام از طبقه‌بندهای ضعیف، یک

1. Classification
2. Classifiers
3. AdaBoost
4. Boosting

5. Threshold
6. Minimalist Classifier
7. Sensitivity

نتایج و بحث

بررسی پارامترهای رنگی و مورفولوژیکی

ابتدا تصاویر اخذ شده در هر روز از آزمایش که در یک ساعت مشخص از روز گرفته شده بودند، مورد پردازش قرار گرفته و با جداسازی قسمت مورد نظر (ROI) از سایر قسمت‌ها تصویر پوشش تاج گیاه حاصل شد (شکل ۵). لازم به ذکر است که این عملیات جداسازی جهت مشاهده تغییرات وضعیت پژمردگی گیاه برای هر گلدان بعد از برچسب‌زنی تکرار گردید. سپس تصاویر بدست آمده به منظور استخراج ویژگی (ویژگی‌های رنگی و مورفولوژیکی) مورد ارزیابی قرار گرفتند. نمودارهای تغییرات پارامترهای رنگی گیاهان مورد آزمایش در شکل (۶) آمده است.

مطابق شکل (۶) در فضای رنگی RGB مختصات رنگ R و G در طول دوره پژمردگی گیاه در مقایسه با نمونه شاهد در سطحی پایین‌تر قرار گرفته و با وجود نوسانات دارای روند افزایشی می‌باشند در حالی که مختصات رنگ B در سطح بالاتری از نمونه شاهد قرار داشته و روند مشخصی از خود نشان نمی‌دهد. این مسأله حاکی از نوعی کاهش رنگ قرمز و سبز در گیاه نسبت به نمونه شاهد است. حسن یوسف هم دارای رنگیزه سبز (کلروفیل) و هم رنگیزه بنفش و قرمز (آنتوسیانین‌ها) می‌باشد. با شروع تنش خشکی کلروفیل‌ها زودتر از بین می‌روند و آنتوسیانین‌ها بیشتر دوامدارند. به نظر می‌رسد علت ماندگاری رنگ قرمز این مسأله باشد. در مورد فضای رنگی Lab هر سه مختصات رنگ L^* ، a^* و b^* نسبت به نمونه شاهد از روندی کاهشی برخوردار بودند که علاوه بر تطبیق آن با مقادیر بدست آمده در فضای رنگی RGB، کاهش مختصات L^* نشان دهنده تیرگی رنگ محصول در خلال دوره پژمردگی می‌باشد.

این مسأله بدین صورت قابل توجیه می‌باشد که با اعمال تنش خشکی ابتدا هدایت روزنه‌ای^۸ کاهش می‌یابد، سپس محتوای آب نسبی و فتوسنتز شروع به کاهش می‌کند (Ritchie *et al.*, 1990). از طرف دیگر علت کاهش هدایت روزنه‌ای نیز می‌تواند بسته شدن روزنه‌ها در شرایط تنش خشکی باشد تا از این طریق تلفات آب به حداقل برسد. بدین ترتیب تنظیم هدررفت آب از طریق بسته شدن روزنه‌ها ممکن است به‌عنوان یک مکانیزم مقاومت به خشکی عمل کند که این باعث افزایش دمای برگ می‌شود (Heidari *et al.*, 2014).

تشخیص^۱، صحت^۲ و دقت^۳ که در آمار چهار شاخص برای ارزیابی نتیجه یک آزمایش دسته‌بندی دوحالته هستند مورد استفاده قرار گرفتند (رابطه ۴-۸) (Gandomi *et al.*, 2012). بدین منظور ۸ عدد نمونه به منظور بررسی عملکرد سامانه کنترل هوشمند انتخاب شدند. در این بررسی هر ۸ نمونه به صورت دستی و به صورت تصادفی تحت تنش آبی قرار گرفتند. مدت آزمایش‌ها تا ۱۶ روز ادامه یافت. نهایتاً ۱۲۰ حالت تولید گردید که از این ۱۲۰ نمونه ۵۰ حالت نیازمند آبیاری نبوده و ۷۰ حالت می‌بایست توسط سامانه کنترل آبیاری شوند. حال به منظور بررسی عملکرد سامانه، حالت‌های مختلف در معرض سامانه کنترل هوشمند قرار گرفتند و خروجی طبقه‌بند که به صورت صفر (عدم نیاز به آب) و یک (نیازمند آب) به کنترل-کننده جهت فعال‌سازی ارسال و یادداشت گردیدند. حساسیت به معنی نسبتی از موارد مثبت است که آزمایش آن‌ها را به درستی به عنوان مثبت علامت‌گذاری می‌کند. به بیان ریاضی، حساسیت حاصل تقسیم موارد مثبت واقعی به حاصل جمع موارد مثبت واقعی و موارد منفی کاذب است. تشخیص به معنی نسبتی از موارد منفی است که آزمایش آن‌ها را به درستی به عنوان منفی علامت‌گذاری می‌کند (Shen *et al.*, 2012). در نهایت به منظور بررسی وجود اختلاف معنی‌دار میان تشخیص فرد خبره با سامانه کنترل هوشمند آزمون کی-دو در سطح احتمال ۵٪ صورت پذیرفت (رابطه ۸).

$$Precision(\%) = \frac{TP}{TP + FP} \times 100 \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$Sensitivity(\%) = \frac{TP}{TP + FN} \times 100 \quad (\text{رابطه ۵})$$

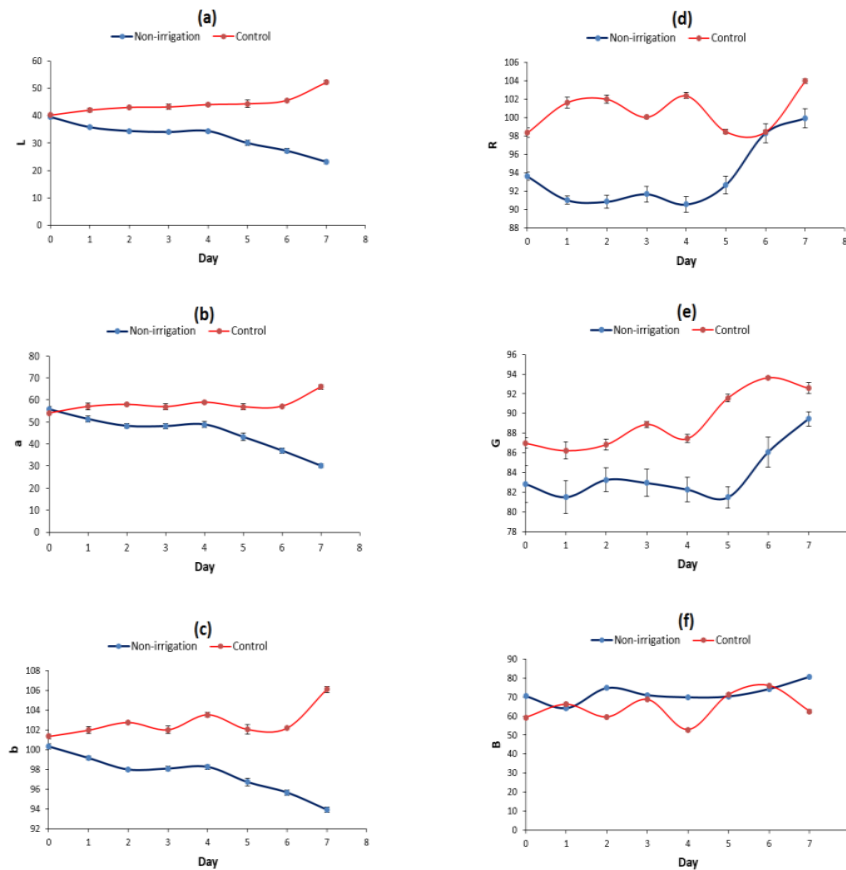
$$Specificity = \frac{TN}{TN + FP} \times 100 \quad (\text{رابطه ۶})$$

$$Accuracy(\%) = \frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN} \times 100 \quad (\text{رابطه ۷})$$

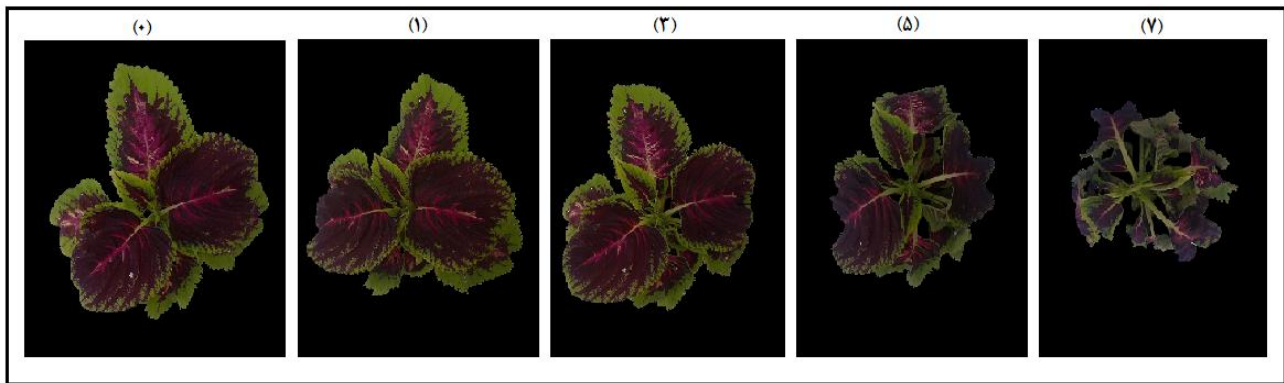
$$X^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (\text{رابطه ۸})$$

که TP مثبت صحیح^۴، FP مثبت کاذب^۵، TN منفی صحیح^۶، FN منفی کاذب^۷، O_i فراوانی‌های مشاهده شده و E_i فراوانی‌های مورد انتظار می‌باشند.

1. Specificity
2. Precision
3. Accuracy
4. True Positive
5. False Positive
6. True Negative
7. False Negative



شکل ۶. تغییرات پارامترهای رنگ (R, G, B) و (L, a, b) اندازه‌گیری شده از سطح پوشش تاج گیاه در طول دوره پژمردگی در مقایسه با نمونه کنترل شده

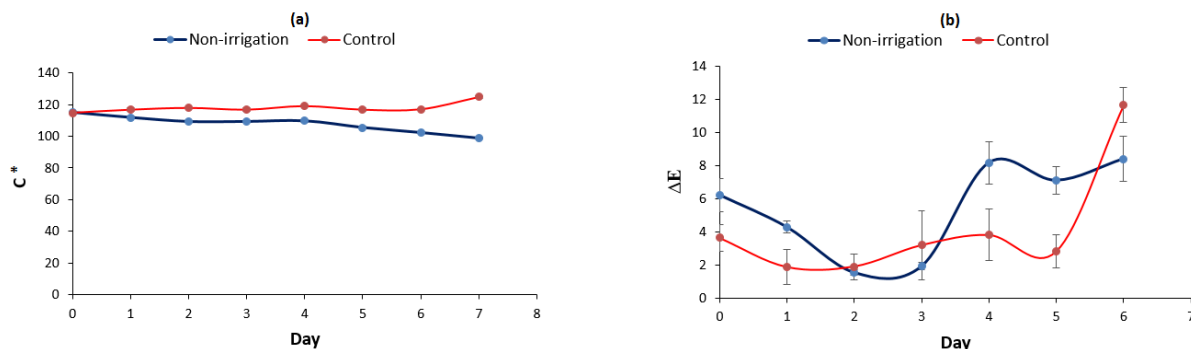


شکل ۵. استخراج پوشش تاج گیاه (ROI) و نمایش تغییرات وضعیت فیزیولوژیکی گیاه طی دوره پژمردگی (در مدت ۷ روز)

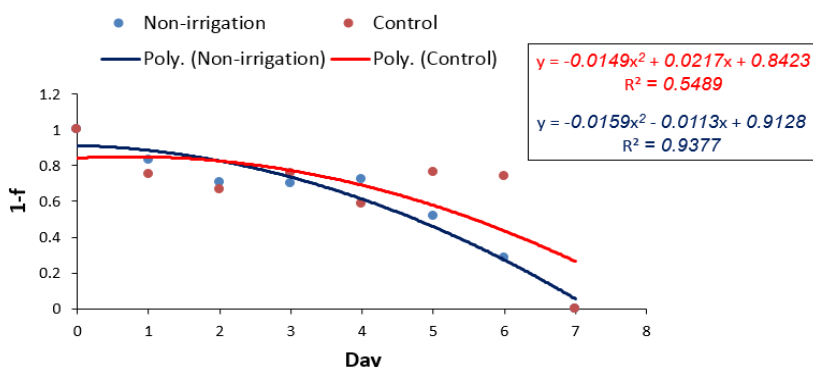
همان طور که در شکل (Ya) مشاهده می‌شود تغییرات کروما در دوره پژمردگی گیاه نسبت به نمونه شاهد از مقدار ۱۱۴/۸۲ به ۹۸/۷۶ تغییر یافت. شایان ذکر است که کاهش کروما نشان از کاهش میزان شادابی گیاه دارد (Haisman and Clarke, 1975). تغییرات اختلاف رنگ کل نیز مورد بررسی قرار گرفت که در مقایسه با نمونه شاهد با توجه به چشمگیر بودن نوسانات، از روند مشخص و واضحی برخوردار نبود (شکل Yb).

در نتیجه کاهش میزان محتوای کلروفیل در شرایط تنش آبی و افزایش دمای برگ، احتمالاً به دلیل افزایش تخریب این رنگیزه‌ها و یا کاهش تولید آن‌ها و همچنین، اختلال در فعالیت آنزیم‌های مسئول سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی است (Erdem et al., 2006). با توجه به اینکه مولکول‌های کلروفیل موجود در گیاهان نقش بسزایی در رنگ آن‌ها دارند، این مسأله سبب ایجاد تغییر رنگ در گیاهان می‌گردد.

تغییرات کروما (C*) و اختلاف رنگ کل (ΔE) اندازه‌گیری شده در طی مدت آزمایش در شکل (Y) ترسیم شده است.



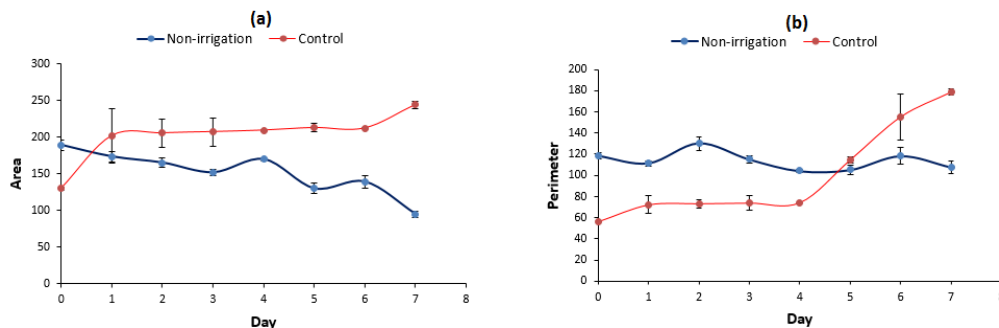
شکل ۷. (a) کروما (C*) و (b) تفاوت رنگ کل (ΔE) اندازه‌گیری شده از سطح پوشش تاج گیاه در طول دوره‌ی پژمردگی در مقایسه با نمونه کنترل شده



شکل ۸. نمودارهای غیر خطی تغییر در پارامتر a* در دوره‌های پژمردگی و کنترل شده گیاه که تغییرات رنگ را از سبز به قرمز نشان می‌دهند.

خطی مرتبه دوم با ضریب همبستگی به میزان ۰/۹۳۷۷ تبعیت می‌نماید. در حقیقت در گیاهان، تجزیه کلروفیل‌ها وابسته به تغییرات مختصات a* می‌باشد (Steet and Tong, 1996a). نمودارهای تغییرات پارامترهای مورفولوژیکی (مساحت و محیط) گیاهان مورد آزمایش در شکل (۹) آمده است.

شکل (۸) نمودارهای غیر خطی تغییر در پارامتر a* در دوره‌های پژمردگی و تیمار شاهد گیاه را ضمن تجزیه‌ی رنگ سبز نشان می‌دهد. مطابق شکل (۸) مقدار مختصات a* با افزایش زمان به صورت غیر خطی کاهش می‌یابد. برای نمونه-های تحت تنش آبی تجزیه رنگ در مختصات a*- از رابطه غیر



شکل ۹. تغییرات پارامترهای مورفولوژیکی (مساحت و (a) محیط) اندازه‌گیری شده از سطح پوشش تاج گیاه در طول دوره‌ی پژمردگی در مقایسه با نمونه کنترل شده

فشار آماسیدگی در بافت‌های گیاهی می‌تواند اولین اثر تنش خشکی باشد که به طور طبیعی رشد سلول و اندازه نهایی آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد که نتایج (Altinkut et al., 2001) و

مطابق شکل (۹) محیط و سطح پوشش تاج گیاه در طی دوره‌ی پژمردگی به تدریج کاهش پیدا کرده است. توجه این مسأله بدین صورت است که پایین آمدن پتانسیل آب و کاهش

a*, b*, C* و f به ترتیب از مقادیر ۳۹/۵۲، ۵۵/۶۷، ۱۰۰/۳۴، ۱۱۵/۰۴ و ۱ به ۲۳/۱۹، ۳۰/۱۲، ۹۳/۹۱، ۹۸/۷۶ و ۰ تغییر یافتند. این نتیجه نشان می‌دهد که در تمامی روزهای آزمایش نسبت به یک روز قبل از توقف آبیاری که گیاه حالت شادابی داشت، این پارامترها دچار نوعی کاهش مقدار گشته‌اند. لازم به ذکر است که این مختصات رنگ در بین روزهای آزمایش نیز با چشم پوشی از نوسانات ناچیز دارای یک روند نزولی می‌باشند. تغییرات مقادیر مختصات رنگ R، G و B به صورت تقریبی و مشابه نزدیک به هم بود که افزایش مقادیر آن‌ها به ترتیب از ۹۳/۶۲، ۸۲/۸۴ و ۷۰/۵۶ به ۹۹/۹۲، ۸۹/۴۳ و ۸۰/۸۱ گویای این مسأله است؛ همان طور که مشاهده می‌شود مقدار R، G و B در روز آخر آزمایشات بیشتر از زمانی است که گیاه تحت هیچ گونه تنش خشکی قرار نداشت. با توجه به اینکه مقدار ΔE به صورت کلی از ۶/۲۰ به ۸/۳۸ افزایش یافته است اما نمی‌توان روند مشخصی برای آن در بین روزهای آزمایش در نظر گرفت. مقدار سطح پوشش تاج گیاه و محیط اندازه‌گیری شده آن نیز به ترتیب از ۱۸۸/۹۷ و ۱۱۸/۴۳ به ۹۵/۲۴ و ۱۰۷/۶۲ تغییر کردند و این بدیهی است که در مجموع به دلیل تنش خشکی وارد شده مقادیر آن‌ها با گذشت زمان کاهش می‌یابد. همان طور که قبلاً اشاره شد کاهش فشار آماسیدگی در بافت‌های گیاهی سبب افتادگی اندام‌های آن شده و نهایتاً ریزش برگ‌ها را در گیاه به همراه دارد که این موضوع علت نوسانات افزایشی و کاهشی در مقادیر این پارامترهای مورفولوژیکی می‌باشد. در نتیجه می‌توان گفت که میان پارامترهای رنگی و مورفولوژیکی استخراج شده، a^* ، b^* ، C^* و f توانایی بهتری در تشخیص تغییرات رنگ دارند. بدین ترتیب با توجه به اختلافات معنی‌دار این پارامترها در دورهٔ پژمردگی نسبت به حالت شادابی گیاه، در ادامه به کار انتخاب ویژگی پرداخته شد.

(2004) Gratani et al. مؤید این مطلب است. شایان ذکر است که بررسی پارامترهای رنگی و مورفولوژیکی گیاه برای فاز دوم آزمایشات (دورهٔ ناهت پس از پژمردگی که در آن آبیاری به صورت منظم و روزانه در طی ۷ روز انجام شد) نیز صورت گرفت اما با توجه به محدودیت تعداد صفحات، فقط نمودارهای مربوط به دورهٔ پژمردگی گیاه گزارش شده‌اند و فقط در مجموع می‌توان گفت که در این دوره پارامترهای اندازه‌گیری شده روندی مشابه نمونه شاهد داشتند و به ویژه افزایش مختصات رنگ a^* ، b^* و L^* در مقایسه با دورهٔ پژمردگی بسیار قابل توجه بود. به این ترتیب مطابق روش پیشنهاد شده می‌توان حتی تغییرات اندک در فرآیند پژمردگی گیاه را مشاهده و بر اساس آن نیاز گیاه به آبیاری را تشخیص داد.

بررسی پارامترهای اندازه‌گیری شدهٔ آزمایش از لحاظ معنی‌داری

به منظور بررسی اختلاف معنی‌دار میان پارامترهای رنگی و مورفولوژیکی استخراج شده از نمونه‌های مورد مطالعه، آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام پذیرفت. با توجه به اینکه با گذشت زمان نیاز آبی گیاه به دلیل افزایش دمای برگ و همچنین تغییر وضعیت تعرق در آن شدت پیدا می‌کند و در نتیجه میزان پژمردگی به مرور روندی صعودی به همراه دارد، پارامترهای اندازه‌گیری شده نیز با گذشت زمان و متناسب با میزان تغییرات پژمردگی دارای مقادیری متفاوت می‌گردند. به همین خاطر میان پارامترهای رنگی و مورفولوژیکی گیاه در هر روز از آزمایش، آزمون آماری صورت پذیرفت. نتایج تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها در جدول (۱) گزارش شده است. مطابق جدول ۱ مشاهده می‌گردد که ضمن معنی‌دار بودن اختلافات بین تیمارها در سطح احتمال ۵٪، مختصات رنگ L^*

جدول ۱. جدول مقایسه میانگین پارامترهای رنگی و مورفولوژیکی گیاه در طی دورهٔ پژمردگی

تیمار	صفات										
	محیط	مساحت	F	EΔ	C*	B	G	R	b*	a*	L*
۰	۱۱۸/۴۳ ^{ab}	۱۸۸/۹۷ ^a	۱ ^a	۶۲/۰ ^{ab}	۱۱۵/۰۴ ^a	۷۰/۵۶ ^c	۸۲/۸۴ ^{bc}	۹۳/۶۲ ^b	۱۰۰/۳۴ ^a	۵۵/۶۷ ^a	۳۹/۵۲ ^a
۱	۱۱۱/۴۷ ^b	۱۷۳/۲۸ ^{ab}	۰/۸۳ ^b	۴۲/۸ ^{bc}	۱۱۱/۸۱ ^b	۶۴/۲۰ ^d	۸۱/۵۰ ^c	۹۱/۰۴ ^c	۹۹/۱۶ ^b	۵۱/۲۷ ^b	۳۵/۷۸ ^b
۲	۱۳۰/۱۰ ^a	۱۶۴/۹۸ ^{ac}	۰/۷۰ ^c	۱/۵۵ ^d	۱۰۹/۲۶ ^c	۷۴/۹۰ ^b	۸۳/۲۵ ^{bc}	۹۰/۸۵ ^c	۹۷/۹۹ ^c	۴۸/۱۴ ^b	۳۴/۴۱ ^b
۳	۱۱۴/۹۷ ^b	۱۵۱/۸۱ ^{dc}	۰/۶۹ ^c	۱/۹۴ ^{dc}	۱۰۹/۲۸ ^c	۷۱/۰۹ ^c	۸۲/۹۳ ^{bc}	۹۱/۶۷ ^{bc}	۹۸/۰۹ ^c	۴۸/۰۴ ^b	۳۴/۰۵ ^b
۴	۱۰۴/۰۹ ^b	۱۶۹/۶۰ ^{bc}	۰/۷۳ ^c	۸/۱۶ ^a	۱۰۹/۶۶ ^c	۶۹/۹۶ ^c	۸۲/۲۷ ^{bc}	۹۰/۵۵ ^c	۹۸/۲۶ ^c	۴۸/۸۰ ^b	۳۴/۴۰ ^b
۵	۱۰۵/۱۶ ^b	۱۲۹/۹۸ ^e	۰/۵۱ ^d	۷/۱۰ ^a	۱۰۵/۴۷ ^d	۷۰/۴۰ ^c	۸۱/۴۷ ^c	۹۲/۶۵ ^{bc}	۹۶/۷۲ ^d	۴۳/۱۵ ^c	۳۰/۰۲ ^c
۶	۱۱۸/۰۹ ^{ab}	۱۳۹/۰۹ ^{de}	۰/۲۸ ^e	۸/۳۸ ^a	۱۰۲/۲۸ ^e	۷۴/۳۳ ^b	۸۶/۰۶ ^{ab}	۹۸/۲۸ ^a	۹۵/۶۵ ^e	۳۶/۹۷ ^d	۲۷/۲۲ ^d
۷	۱۰۷/۶۲ ^b	۹۵/۲۴ ^f	۰ ^f	-	۹۸/۷۶ ^f	۸۰/۸۱ ^a	۸۹/۴۳ ^a	۹۹/۹۲ ^a	۹۳/۹۱ ^f	۳۰/۱۱ ^e	۲۳/۱۹ ^e

حروف مشترک نشان دهندهٔ غیر معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵٪

۰/۹۷، ۰/۹۴، ۰/۹۶ و ۰/۹۵ انجام داد. مطابق آنالیز آماری و آزمون کی-دو اختلاف معنی‌داری میان فرد خبره و سامانه بینایی ماشین در سطح احتمال ۰/۵ وجود ندارد که نشان از دقت قابل قبول سامانه بینایی ماشین می‌باشد.

جدول ۲. نتیجه مقایسه سامانه هوشمند با فرد خبره

گروه پیش‌بینی شده				گروه واقعی
بازرسی توسط سامانه بینایی ماشین		بازرسی توسط انسان		
بی‌نیاز به آب	نیازمند آب	بی‌نیاز به آب	نیازمند آب	
۲	۶۸	۰	۷۰	نیازمند آب
۴۶	۴	۴۲	۸	بی‌نیاز به آب
٪۹۷		٪۱۰۰		صحت
٪۹۴		٪۹۰		حساسیت
٪۹۶		٪۱۰۰		تشخیص
٪۹۵		٪۹۳		دقت

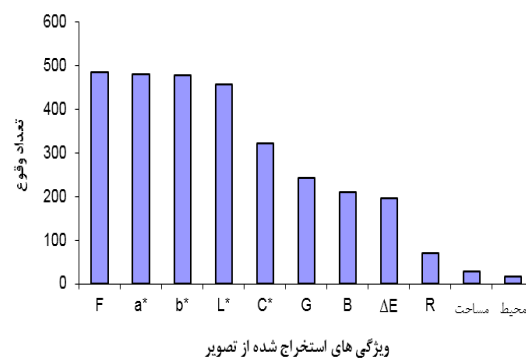
با توجه به خطای صورت گرفته در تشخیص گیاه بی‌نیاز از آب به عنوان نیازمند به آب توسط افراد خبره (۸ عدد) و سامانه کنترل (۴ عدد) میزان آب تلف شده به دلیل این اشتباه با در نظر گرفتن اختلاف این دو عدد و نیاز آبی گیاه (۲۵۰ سی‌سی) حدود ۱ لیتر می‌باشد. این مسأله نشان از مؤثر بودن سامانه پیشنهادی در کاهش آب مصرفی در گلخانه‌ها را دارد.

نتیجه‌گیری

یکی از مهم‌ترین روش‌های بهبود مدیریت مصرف آب در کشاورزی، تخمین دقیق میزان آب مصرفی گیاه است. لذا با توجه به اهمیت مصرف آب ارائه راهکاری مناسب جهت کنترل آبیاری گیاه مورد نیاز می‌باشد. در این تحقیق، با توجه به اینکه تصاویر گیاهان با استفاده از تکنیک پردازش تصویر مورد بررسی قرار گرفت، اندازه‌گیری پژمردگی می‌تواند با توجه به در نظر گرفتن هر یک از مواردی مانند گیاه، سن گیاه، وضوح دوربین، فاصله بین دوربین و گیاه، زمان حصول اطلاعات و پارامترهای محیطی تغییر پیدا کند. مطابق نتایج بدست آمده با بررسی پارامترهای رنگی و مورفولوژیکی گیاه و مشاهده تغییرات در فرآیند پژمردگی آن، نیاز گیاه به آبیاری قابل تشخیص است و نهایتاً می‌توان با استفاده از سامانه خودکار آبیاری طراحی شده، در راستای بهبود وضعیت گیاه اقدام نمود. همچنین سامانه کنترل هوشمند این طبقه‌بندی را با صحت، حساسیت، تشخیص و دقت به ترتیب با ۰/۹۷، ۰/۹۴، ۰/۹۶ و ۰/۹۵ انجام داد. مطابق

ارزیابی سامانه بینایی ماشین طبق نتایج طبقه‌بندی

انتخاب ویژگی علاوه بر اینکه سبب افزایش سرعت سامانه کنترل هوشمند می‌گردد از طرف دیگر با عدم ورود اطلاعات زائد سبب گمراهی طبقه‌بند نمی‌شود. روش شاخه و کران ترکیبات متفاوتی با دقت‌های تقریباً یکسان انتخاب نمود (شکل ۱۰).



شکل ۱۰. نمودار حاصل از به‌کارگیری الگوریتم شاخه و کران

مطابق شکل (۱۰) پس از پیاده‌سازی الگوریتم شاخه و کران طی ۵۰۰ تکرار ویژگی‌های F ، a^* ، b^* و L^* نسبت به سایر ویژگی‌ها از بیشترین تعداد وقوع برخوردار هستند. بدین ترتیب به دلیل مشترک بودن ترکیب F ، a^* ، b^* و L^* در نتایج حاصل از الگوریتم شاخه و کران و همچنین آنالیز آماری صورت گرفته (جدول ۱)، از این ترکیب به عنوان ویژگی‌های انتخاب شده استفاده گردید.

جدول (۲) نتایج مقایسه سامانه کنترل هوشمند با فرد خبره برای ۱۲۰ نمونه (نیازمند به آب و بی‌نیاز به آب) را نشان می‌دهد. نتایج بازرسی توسط افراد خبره نشان داد که، از بین ۱۲۰ نمونه مورد ارزیابی از ۵۰ عدد نمونه بی‌نیاز به آب تعداد ۸ عدد از این نمونه‌ها به عنوان نمونه نیازمند به آب و ۴۲ عدد به درستی به عنوان نمونه بی‌نیاز به آب معرفی شدند. نتایج سامانه کنترل هوشمند همچنان نشان داد که از ۵۰ عدد نمونه بی‌نیاز به آب تعداد ۴۶ عدد به درستی و ۴ به اشتباه طبقه‌بندی گردیدند. در مورد نمونه‌های نیازمند به آب (۷۰ عدد نمونه) افراد خبره تمامی نمونه‌ها را به درستی تشخیص دادند. در حالی که سامانه هوشمند ۲ نمونه را بی‌نیاز از آب تعیین نمود. همچنین نتایج طبقه‌بندی توسط دو گروه بازرسی توسط فرد خبره و سامانه کنترلی در چهار شاخص حساسیت، تشخیص، صحت و دقت مورد ارزیابی قرار گرفت؛ فرد خبره طبقه‌بندی را با صحت، حساسیت، تشخیص و دقت به ترتیب با ۰/۹۰، ۰/۹۰، ۰/۹۷ و ۰/۹۳ انجام داد. همچنین سامانه کنترل هوشمند این طبقه‌بندی را با صحت، حساسیت، تشخیص و دقت به ترتیب با

سپاسگزاری

بدینوسیله نویسندگان، از حمایت مالی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان قدردانی می‌نمایند.

آنالیز آماری و آزمون کی- دو اختلاف معنی‌داری میان فرد خبره و سامانه بینایی ماشین در سطح احتمال ۵٪ وجود ندارد که نشان از دقت قابل قبول سامانه بینایی ماشین می‌باشد.

REFERENCES

- Abdanan Mehdizadeh, S. & Banhazi, T.M. (2015). Evaluating droplet distribution of spray-nozzles for dust reduction in livestock buildings using machine vision. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 8(5), 58-64.
- Abdanan Mehdizadeh, S., Nouri, M., Soltani Kazemi, M. & Amraei, S. (2016). None-destructive investigation of the quality factors in citrus juice during storage using digital image processing. *Iranian Food Science and Technology Research Journal* (In Press). (In Farsi)
- Abdanan Mehdizadeh, S., Sandell, G., Golpour, A. & Karimi Torshizi, M.A. (2014). Early determination of Pharaoh Quail sex after hatching using machine vision. *Bulletin of Environment. Pharmacology and Life Sciences*, 1, 105-114.
- Abdolazhare, Z. & Abdanan Mehdizadeh, S. (2014). Study of seed spacing uniformity and seed falling dynamics of a pneumatic planter under laboratory conditions using machine vision. *Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery*, 3(2), 19-28. (In Farsi)
- Aglave, V.A., Patil, S.B. & Sambre, N.B. (2012). Imaging technique to measure leaf area, disease severity and chlorophyll content: a survey paper. *Journal of Computing Technologies*, 1(3), 191-208.
- Ahmad, I.S. & Reid, J.F. (1996). Evaluation of colour representations for maize images. *Journal of Agricultural and Engineering Research*, 63(3), 185-196.
- Ahmadzadeh Gharah Gwiz, K., Mirlatifi, S.M. & Mohammadi, K. (2010). Comparison of artificial intelligence systems (ANN & ANFIS) for reference evapotranspiration estimation in the extreme arid regions of Iran. *Journal of Water and Soil*, 24(4), 679-689. (In Farsi)
- Altinkut, A., Kazan, K., Ipekci, Z. & Gozukirmizi, G. (2001). Tolerance to paraquat is correlated with the associated with water stress tolerance in segregation F₂ populations of barley and wheat. *Euphytica*, 121, 81-86.
- Anami, B.S., Pujari, J.D. & Yakkundimath. R. (2011). Identification and classification of normal and affected agriculture/horticulture produce based on combined color and texture feature extraction. *International Journal of Computer Applications in Engineering Sciences*, 1(3), 356-360.
- Barnes, M., Duckett, T., Cielniak, G., Stroud, G. & Harper, G. (2010). Visual detection of blemishes in potatoes using minimalist boosted classifiers. *Journal of Food Engineering*, 98(3), 339-346.
- Berger, B., Parent, B. & Tester, M. (2010). High throughput shoot imaging to study drought responses. *Journal of Experimental Botany*, 61(13), 3519-3528.
- Chen, X., Xun, Y., Li, W. & Zhang, J. (2010). Combining discriminant analysis and neural networks for corn variety identification. *Computer and Electronics in Agriculture*, 71, 48-53.
- CIE. (2004) *CIE Technical Report: Colorimetry*, 3th ed., Vienna: CIE Central Bureau. Publication CIE no. 15.2.
- Damas, M., Prados, A.M., Gomez, F. & Olivares G. (2001). HidroBus system: fieldbus for integrated management of extensive areas of irrigated land. *Microprocessors and Microsystems*, 25(3), 177-184.
- Erdem, Y., Shirali, S., Erdem, T. & Kenar, D. (2006). Determination of crop water stress index for irrigation scheduling of Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal Agriculture and Forest*, 30, 195-202.
- Escos, J., Alados, C.L., Pugnaire, F.I., Puigdefabregas, J. & Emlen, J. (2000). Stress resistance strategy in an arid land shrub: interactions between developmental instability and fractal dimension. *Journal of Arid Environments*, 45(4), 325-336.
- Font, L. & Farkas, I. (2007). Wilting detection in greenhouse plants by image processing. ISHS Acta Horticulturae 801: International Symposium on High Technology for Greenhouse System Management, 669-676.
- Foucher, P., Revillon, P., Vigouroux, B. & Chasseriaux, G. (2004). Morphological image analysis for the detection of water stress in potted Forsythia. *Biosystems Engineering*, 89 (2), 131-138.
- Freund, Y. & Schapire, R. (1999). A short introduction to boosting. *Journal of Japanese Society for Artificial Intelligence*, 14 (5), 771-780.
- Gandomi, A.H., & Alavi, A.H. (2012). A new multi-gene genetic programming approach to nonlinear system modeling. Part I: materials and structural engineering problems. *Neural Computing and Applications*, 21(1), 171-187.
- Gonzalez, R.C., Woods, R.E. & Eddins, S.L. (2004) *Digital image processing using MATLAB. Pearson Education India.*
- Gratani, L. & Varone, L. (2004). Leaf key traits of *Erica arborea* L., *Erica multifolia* L. and *Rosmarinus officinalis* L. Co-occurring in Mediterranean maquis. *Flora*, 199, 58-69.
- Haisman, D., Clarke, M. (1975). The interfacial factor in the heat-induced conversion of chlorophyll to pheophytin in green leaves. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 26, 1111-1126.
- Heidari, N., Poor Yousef, M. & Tavakoli, A. (2014). Effects of drought stress on photosynthesis, its

- parameters and relative water content of anise (*Pimpinella anisum* L.). *Journal of Plant Researches*, 27(5), 829-839. (In Farsi)
- Hendrawan, Y. & Murase, M. (2011). Bio inspired feature selection to select informative image features for determining water content of cultured Sunagoke moss. *Expert Systems with Applications*, 38(11), 14321-14335.
- Hetzroni, A., Miles, G.E., Engel, B.A., Hammer, P.A. & Latin, R.X. (1994). Machine vision monitoring of plant health. *Adv. Space Res*, 14(11), 203-212.
- HunterLab. (2001) Application note. Insight on Color, 13, pp. 1-4.
- Igathinathane, C., Prakash, V.S.S., Padma, U., Ravi Babu, G. & Womac, A.R. (2006). Interactive computer software development for leaf area measurement. *Computers and Electronics in Agriculture*, 51(1), 1-16.
- Kacira, M., Ling, P.P. & Short, T.H. (2002). Machine vision extracted plant movement for early detection of plant water stress. *Transactions of the ASAE (American Society of Agricultural Engineers)*, 45(4), 1147-1153.
- Kurata, K. & Yan, J. (1996). Water stress estimation of tomato canopy based on machine vision. *Acta Horticulturae*, 440, 389-394.
- Lampert, C.H., Blaschko, M.B., & Hofmann, T. (2009). Efficient subwindow search: A branch and bound framework for object localization. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 31(12), 2129-2142.
- Leemans, V., Magein, H. & Destain, M.F. (2002). On line fruit grading according to their external quality using machine vision. *Biosystems Engineering*, 83(4), 397-404.
- Leinonen, I. & Jones, H.G. (2004). Combining thermal and visible imagery for estimating canopy temperature and identifying plant stress. *Journal of Experimental Botany*, 55(401), 1423-1431.
- Luzuriaga, D.A. & Balaban, M.O. (2002). Color machine vision system: an alternative for color measurement. *In Proceedings of the world congress of computers in agriculture and natural resources, Iguacu Falls, Brazil*. 13-15 March. pp. 93-100.
- Neelamma, K.P., Virendra, S.M. & Ravi, M.Y. (2011). Color and texture based identification and classification of food grains using different color models and haralick features. *International Journal on Computer Science and Engineering (IJCSE)*, 3, 3669-3680.
- Revollon, P., Chasseriaux, G., Riviere, L.M. & Gardet, R. (1998). The use of image processing for tracking the morphological modification of Forsythia following an interruption of watering. *In: Proceedings of International Conference on Agricultural Engineering*, Oslo, pp. 872-873.
- Ritchie, S.W., Nguyen, H.T. & Holaday, A.S. (1990). Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30, 105-111.
- Salehi Salmi, M.R. (2015) Turfgrass (Identification, Establishment, Maintenance). pp. 188. Iran. (In Farsi)
- Schapiro, R. & Singer, Y. (1998). Improved boosting algorithms using confidence-rated predictions. In: *Proceedings of the 11th Annual Conference on Computational Learning Theory*, pp. 80-91.
- Seginer, L., Elster, R.T., Goodrum, J.W. & Rieger, M.W. (1992). Plant wilt detection by computer vision tracking of leaf tips. *Transactions of American Society of Agricultural Engineering*, 35(5), 1563-1567.
- Shen, H., Li, S., Gu, D. & Chang, H. (2012). Bearing defect inspection based on machine vision. *Measurement*, 45(4), 719-733.
- Shoor, M., Behzadi, M. & Goldani, M. (2012). Study of Rooting, Quantitative and Anatomical Traits on Two Coleus Spices in High Level Carbon Dioxide. *Journal of Horticultural Science*, 26(3), 277-285.
- Steet, J.A., Tong, C.H. (1996a). Degradation kinetics of green color and chlorophylls in peas by colorimetry and HPLC. *Journal of Food Science*, 61, 924-928.
- Tuberosa, R. & Salvi, S. (2006). Genomics based approaches to improve drought tolerance of crops. *Trends in Plant Science*, 11(8), 405-412.
- Ushada, D., Murase, H. & Fukuda, H. (2007). Non-destructive sensing and its inverse model for canopy parameters using texture analysis and artificial neural network. *Computers and Electronics in Agriculture*, 57(2), 149-165.
- Vezhnevets, A. (2006). GML AdaBoost MATLAB Toolbox, from [http:// research.graphicon.ru](http://research.graphicon.ru).
- Visen, N.S., Jayas, D.S., Paliwal, J. & White, N.D.G. (2004). Comparison of two neural network architectures for classification of singulated cereal grains. *Journal of Canadian Biosystem Engineering*, 46(3), 7-14.