

پیش‌بینی و کنترل محتوای رطوبت گیاه چمن توسط یک سامانه هوشمند با بکارگیری پردازش تصویر و الگوریتم رگرسیون بردار پشتیبان

مریم نداف‌زاده^۱، سامان آبدانان مهدی‌زاده^۲ و محمدرضا صالحی سلمی^۳

چکیده

با توجه به تغییرات زیست محیطی و افزایش دمای جهانی و همچنین خشک‌سالی، نحوه آبیاری گیاهان ضمن حفظ رشد و عملکرد بالای آن‌ها بسیار حائز اهمیت است. لذا در این شرایط حساس بحران آب، با نظارت و کنترل شرایط رشد گیاه و همچنین افزایش راندمان آبیاری از طریق تبدیل روش‌های آبیاری سطحی به سیستم‌های آبیاری هوشمند می‌توان به صورت قابل توجهی مصرف آب در بخش کشاورزی را کاهش داد. در این مطالعه با هدف تشخیص نیاز آبی گیاه، مجموعه‌ای از تصاویر گیاه چمن تحت شرایط تنش خشکی جهت استخراج ویژگی‌های رنگی، بافت و تعدادی از پارامترهای تصویر در حوزه فرکانس مورد بررسی قرار گرفتند. در ادامه پس از بررسی پارامترهای استخراج شده از تصاویر با توجه به نتایج آنالیز آماری در سطح احتمال ۵٪ مناسب‌ترین ویژگی‌ها به منظور پیش‌بینی محتوای رطوبت گیاه توسط الگوریتم رگرسیون بردار پشتیبان (SVR) انتخاب گردید. در نهایت نشان داده شد که هسته Linear در تابع الگوریتم SVR نسبت به سایر هسته‌ها دارای بالاترین ضریب همبستگی (۰/۹۵) و همچنین کمترین مقادیر MAPE (۱۴/۰۸)، RMSE (۰/۱۰)، SRE (۰/۰۶۳) و RAV (۰/۱۴) است. بدین ترتیب نتیجه گرفته شد که سامانه پیشنهاد شده از کارایی مناسبی به منظور اندازه‌گیری و سنجش پژمردگی گیاه و کنترل میزان آب مورد نیاز آن برخوردار می‌باشد.

کلید واژه‌ها

پردازش تصاویر دیجیتال، چمن، کنترل هوشمند آبیاری، رگرسیون بردار پشتیبان

۱ مقدمه

توسط تنش‌های محیطی متعددی محدود می‌گردد و خشکی یکی از مهم‌ترین آن‌هاست. به دلیل تغییرات آب و هوایی و گرم‌تر شدن کره زمین به اهمیت این مسأله افزوده شده و از موضوعات اصلی در علوم زیستی به حساب می‌آید [۱]. بنابراین در حال حاضر با در نظر داشتن اهمیت مصرف آب، ارائه راهکاری مناسب جهت کنترل آبیاری گیاه ضمن حفظ رشد و عملکرد مناسب آن مورد نیاز است. 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.

از آنجاییکه سطح وسیعی از ایران دارای آب و هوای خشک یا نیمه‌خشک است، در چنین اقلیمی ایجاد فضای سبز و چمن کاری بدون در نظر گرفتن امکانات کافی آبیاری امکان پذیر نخواهد بود. با

یکی از مهم‌ترین فاکتورهای محیطی مؤثر در زندگی گیاهان آب می‌باشد. لذا به طور معمول یک دوره کمبود آب سبب اثرات منفی در رشد و نمو گیاهان می‌شود. علاوه بر این، رشد و عملکرد گیاهان

این مقاله در فروردین‌ماه سال ۱۳۹۶ دریافت، در مهرماه بازنگری و در آبان‌ماه پذیرفته شد.

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی زراعی و عمران روستایی، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
رایانامه: maryam.nadaf@yahoo.com

^۲ دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
رایانامه: s.abdanan@ramin.ac.ir

^۳ دانشکده کشاورزی، گروه باغبانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
رایانامه: m_salehisalmi@yahoo.com

Farkas نشان دادند که اندازه‌گیری پژمردگی با توجه به در نظر گرفتن هر یک از مواردی مانند گیاه، برگ، سن گیاه، وضوح دوربین، فاصله بین دوربین و گیاه، زمان حصول اطلاعات و پارامترهای محیطی، تغییر پیدا می‌کند. در این مطالعه پس از استخراج منطقه‌ای از تصویر تحت عنوان ROI²، تغییرات حرکتی گیاه در ۲ نقطه مشخص شده واقع در قسمت بالا و پایین این منطقه از تصویر (ROI) مورد بررسی قرار گرفت. بدین ترتیب با توجه به نتایج حاصل از بررسی‌ها، تخمین مقدار آب مورد نیاز گیاه گوجه فرنگی که تحت تنش خشکی قرار داشت، بر اساس تغییرات حرکتی گیاه در دو نقطه مشخص شده از ROI و همچنین با در نظر داشتن اختلافات آن‌ها طی یک مدت زمان معین، صورت گرفت [۱۰]. البته ویژگی‌های استخراج شده در این دو پژوهش تنها برای گیاهان دارای رشد عمودی مناسب می‌باشند و برای گیاهان پوششی کاربردی نیستند. در همین راستا Story و Kacira نیز یک سیستم بینایی کامپیوتر خودکار هدایت شونده جهت سنجش گیاه و نظارت بر آن طراحی کردند، به گونه‌ای که می‌توانست به صورت مداوم بر ویژگی‌های وابسته به زمان، مورفولوژیکی و طیفی از محصول کاهو در حال رشد با استفاده از سیستم هیدروپونیک³ به روش لایه نازک غذایی (NFT⁴) نظارت داشته باشد [۱۱]. این سیستم فرآیند رشد روزانه گیاه کاهو را به صورت مصور در سیستم (NFT) نشان می‌دهد. ارائه تغییرات زمانی سه ویژگی مهم استخراج شده محصول و شناسایی سطح تنش و تشخیص محل آن، به عنوان مثالی از کاربردهای این سیستم می‌باشد. این سیستم می‌تواند بر پارامترهایی مانند R، G، B، فام⁵ رنگ و روشنایی به عنوان ویژگی‌های رنگی قابل مشاهده و پارامترهایی مانند آنژی، انژی، کنتراست و یکنواختی به عنوان ویژگی‌های بافت و TPCA⁶ به عنوان یکی از ویژگی‌های مورفولوژیکی و همچنین میزان بازتاب پذیری NIR⁷ و تابش حرارتی از گیاه یا قسمت پوشش تاج گیاه نظارت داشته باشد و مقدار آن‌ها را استخراج نماید. این شیوه نظارت قطعاً می‌تواند کمکی در راستای بهبود محصول گلخانه‌ای باشد و مدیریت صحیح استفاده از منابع را فراهم سازد [۱۲-۱۳].

Foucher و همکارانش نیز به بررسی عملکرد بینایی مصنوعی در راستای اصلاح وضعیت گیاه یاس زرد بر اساس روش‌های تجزیه و

توجه به این موضوع کاشت و نگهداری چمن‌ها به دلیل هزینه‌های مدیریت مربوط به آبیاری آن، از مسائل مهم و هزینه‌بر در فضای سبز می‌باشد. چمن با تولید اکسیژن و جذب گازهای زیان‌آور، در پالایش هوای شهرهای بزرگ و در نتیجه سلامتی انسان نقش بسزایی دارد. یکی از مسائلی که سبب جایگزینی چمن با گیاهان پوششی گردیده، مسأله کم آبی است. بدین ترتیب می‌توان گفت که آبیاری چمن یک هنر می‌باشد، با توجه به این مسأله، وسایل آبیاری بسیاری در حال گسترش و بهبود هستند. رایانه‌ها نیز برای تعیین دقیق میزان تبخیر و آب مورد نیاز چمن به منظور صرفه‌جویی در آب استفاده می‌شوند [۲].

بررسی امکان استفاده از تکنولوژی پردازش تصویر در کشاورزی در زمینه‌های مختلفی از جمله نظارت بر رشد مطلوب محصولات، تخمین زمان رسیدگی محصول، ماشین‌های وجین علف هرز و آفت‌کش‌ها از موضوعات مورد مطالعه محققان در سال‌های اخیر بوده است [۳-۴]. از جمله کاربردهای سیستم بینایی ماشین در دیگر حوزه‌های کشاورزی می‌توان به بررسی رفتار حیوانات [۵-۶]، راهنمایی ماشین‌های کشاورزی برای انجام کار دقیق‌تر [۷] و بررسی یکنواختی توزیع قطرات [۸] اشاره نمود.

در پژوهشی Noda و همکارانش سیستمی را تحت عنوان سیستم پشتیبان کشاورز¹ طراحی کردند که تصاویر گیاهان با استفاده از پردازش تصویر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و می‌توانست گیاهان پژمرده را به صورت خودکار آبیاری کند. شاخص‌های حالت پژمردگی گیاه در این سیستم عبارت بودند از: (۱) زاویه برگ‌ها نسبت به خط مرکزی منطقه پردازش تصویر از طرفین (۲) مساحت منطقه برگ (۳) منطقه چهارگوش محدود به منطقه برگ (۴) زاویه‌های هر برگ. سه ویژگی اول برای گیاهانی که دارای برگ‌های مترکم هستند، استفاده می‌شود و ویژگی آخر برای گیاهان دارای برگ‌های پراکنده، قابلیت پیاده‌سازی دارد. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که ویژگی‌های ۱، ۲ و ۳ در گیاه همزمان با از دست دادن رطوبت در یک زمان مشخص، از روند کاهشی برخوردار بودند، علاوه بر این مشاهده شد که پس از هر بار آبیاری، زاویه برگ‌ها نسبت به زمانی که گیاه تحت تنش آبی است، افزایش می‌یابد. بدین ترتیب این محققین نتیجه گرفتند که با استفاده از ویژگی‌های ۱، ۳ و ۴ می‌توان پژمردگی گیاهان و دوره نقاهت پس از آبیاری را تشخیص داد و ویژگی دوم به دلیل کیفیت ضعیف تصویر و سطح پایین روشنایی منطقه برگ در تشخیص پژمردگی ناموفق بود [۹]. در تحقیقی دیگر دیگر Font و

2. Region Of Interest

3. Hydroponics

4. Nutrient Film Technique

5. Hue

6. Top Projected Canopy Area

7. Near-infrared

قبیل دما، رطوبت خاک و رطوبت هوا استفاده کردند؛ مطابق با نتایج بدست آمده از این پژوهش، بکارگیری تکنولوژی ZigBee، سبب شد تا امکان آبیاری خودکار محصولات کشاورزی تنها با کنترل رطوبت و درجه حرارت محصول برای کشاورز فراهم شود [۱۹].

در حال حاضر اکثر سامانه‌های کنترل آبیاری توصیف شده و موجود در بازار بر مبنای سنسورها عمل می‌کنند. این مسأله سبب می‌شود تا در نقاط مختلف از سطح مزرعه/گلخانه، تعداد زیادی از سنسورها به کار گرفته شوند. با این حال در صورتی که تعداد و محل قرارگیری این سنسورها مناسب نباشد، اطلاعات ارسال شده نمی‌توانند به عنوان یک نماینده از بخش‌های مختلف سطح کشت در نظر گرفته شوند. بعلاوه با توجه به اینکه سیستم‌های آبیاری مورد نظر بسته به وسعت سطح کشت گیاه در مزرعه/گلخانه به تعداد زیادی از سنسورها نیاز خواهند داشت، بنابراین نمی‌توانند از صرفه اقتصادی مطلوبی برخوردار باشند. لذا با توجه به مسأله بحران آب و اهمیت مصرف آن، استفاده از سیستم‌های آبیاری هوشمند مبتنی بر تکنیک پردازش تصویر می‌تواند به حفظ منابع آبی در چنین شرایطی کمک کند. در نتیجه هدف از این پژوهش پیش‌بینی محتوای رطوبت گیاه توسط یک سامانه کنترل هوشمند آبیاری است که با بررسی مجموعه پارامترهای استخراج شده از تصویر گیاه در حوزه فرکانس و همچنین پارامترهای رنگی و بافت، وضعیت گیاه را از لحاظ میزان آب مورد نیاز با بکارگیری الگوریتم رگرسیون بردار پشتیبان ارزیابی نموده و سپس در راستای بهبود وضعیت گیاه، عملیات آبیاری توسط این سامانه صورت پذیرد. بدین ترتیب از آنجایی که پایه و اساس سامانه کنترل هوشمند پیشنهادی در این پژوهش، تنها یک دوربین است، می‌توان با استفاده از آن و از طریق یک برنامه پردازش تصویر کاربردی وضعیت نیاز آبی هر محصول را به صورت جداگانه بررسی و کنترل نمود.

۲ مواد و روش‌ها

تمامی آزمایشات مربوط به این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان و در پاییز ۱۳۹۵ انجام پذیرفت. دیاگرام شکل ۱ روند کلی کار تشخیص آب مورد نیاز گیاه توسط سامانه کنترل هوشمند آبیاری طراحی شده را نشان می‌دهد. بدین منظور پس از اخذ تصویر نمونه در شرایط ثابت، با تجزیه و تحلیل تصویر مجموعه ویژگی‌های رنگی، بافت و تعدادی از ویژگی‌های حوزه فرکانس از تصویر استخراج گردید. نهایتاً با توجه به میزان اختلاف محتوای رطوبت پیش‌بینی شده توسط SVR نسبت به مقدار

تحلیل شکل آن پرداختند. به منظور انجام این پژوهش، شاخص‌های مورفولوژی با توانایی تشخیص کمبود آب نسبتاً بالا در گیاهان تعریف شدند. این محققین چندین روش را برای شناسایی ویژگی‌های گیاه جهت نشان دادن رشد مورفولوژی گیاهان تحت تنش آب، مورد آزمایش قرار دادند. با توسعه این سیستم می‌توان تنش‌های مختلف (حرارتی، مکانیکی، مواد معدنی) را تشخیص داد و از آن برای توصیف آسیب‌شناسی و یا تفاوت میان انواع گیاهان استفاده کرد [۱۴]. Garcia-Mateosa و همکارانش نیز به منظور بهبود مدیریت آبیاری گیاه کاهو با استفاده از تکنیک پردازش تصاویر دیجیتال، فضاهای رنگ مختلفی را مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. از میان فضاهای رنگی پیشنهاد شده در این تحقیق، فضای رنگی Lab با دقت کلی ۹۹/۲٪ طبقه‌بند، به عنوان مطلوب‌ترین فضای رنگی انتخاب شد [۱۵].

در سال‌های گذشته تحقیقات متعددی در زمینه سامانه‌های کنترل هوشمند آبیاری صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به مقایسه الگوریتم سیستم‌های آبیاری خودکار جهت آبیاری قطره‌ای درختان سیب [۱۶]، توسعه کنترل سنسور محور به منظور آبیاری دقیق [۱۷]، توسعه آبیاری دقیق به صورت حلقه بسته با استفاده از الگوریتم کنترلی اصلاح شده PID [۱۸]، سیستم آبیاری خودکار با بکارگیری ZigBee در شبکه حسگر بی‌سیم [۱۹]، سیستم آبیاری هوشمند مبتنی بر شبکه حسگر بی‌سیم و کنترل فازی [۲۰] و تحقیقی در ارتباط با کنترل آبیاری خودکار [۲۱] اشاره کرد.

در مطالعه‌ای به منظور کنترل آبیاری هوشمند از یک سیستم طراحی شده مبتنی بر شبکه‌های حسگر بی‌سیم و کنترل فازی استفاده شد؛ در این سیستم، تمام گره‌های موجود در شبکه، اطلاعات مربوط به رطوبت خاک و رشد محصولات مختلف در دوره‌های متفاوت را جمع‌آوری نموده و سپس این داده‌ها به عنوان متغیرهای ورودی به پایگاه اطلاعاتی کنترل فازی انتقال می‌یافتند؛ نهایتاً اطلاعات خروجی (تعیین آب مورد نیاز محصولات) بدست آمده از کنترل کننده فازی به مرکز نظارت سیستم ارسال شده و در ادامه بر اساس این اطلاعات دریاچه‌های آبیاری از طریق رله‌های تعبیه شده باز و یا بسته می‌شدند؛ بدین ترتیب نتایج تجربی این سیستم طراحی شده نشان داد که مقدار مناسب آبیاری را می‌توان بر اساس اطلاعات مربوط به رشد محصول تعیین کرد [۲۰]. در همین راستا در تحقیقی که توسط Chikankar و همکارانش انجام شد، یک سیستم آبیاری با استفاده از تکنولوژی شبکه هوشمند ZigBee طراحی گردید. این محققین به منظور جمع‌آوری اطلاعات لازم برای کنترل آبیاری گیاهان از سنسورهای مختلفی جهت تعیین پارامترهای قابل کنترل از

عوامل بر روی رنگ بررسی‌های متفاوتی با در نظر گرفتن شرایط ثابت برای گیاه مانند آبیاری مناسب، عدم وجود بیماری، حفظ دمای گیاه در اندازه مطلوب و غیره مورد نیاز می‌باشد؛ به همین منظور در این پژوهش، سعی گردید تا آزمایشات در محیطی با شرایط کنترل شده انجام پذیرند و عملیات نگهداری به خوبی انجام شود تا تنش‌های دیگر اثری بر روی گیاه نداشته باشند. بدین ترتیب تحت چنین شرایطی تمامی امکانات رفاهی برای رشد گیاه به جز آب تأمین گردید تا تنها تأثیر این پارامتر بررسی شود. بعلاوه لازم به ذکر است که در شرایط گلخانه‌ای و کنترل شده میزان EC خاک قبل از کشت همواره بررسی می‌شود تا اثر آن بر گیاه کاملاً حذف گردد.

میزان آبیاری گیاه چمن بسته به گونه آن، نوع خاک و شرایط محیطی متفاوت است. به طور میانگین، در شرایط نگهداری عادی چمن‌ها به ۲/۵ تا ۴ سانتی‌متر مکعب آب در هر هفته نیاز دارند. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، دسته‌بندی آن‌ها در دو گروه مجزا (۱۶ نمونه در هر گروه) صورت گرفت. آبیاری نمونه‌های گروه اول یک روز قبل از آزمایش در حد ظرفیت زراعی خاک انجام پذیرفت و بعد از آن به مدت ۲۰ روز متوالی آبیاری متوقف گردید. این در حالی است که به صورت همزمان گروه دوم نمونه‌ها نیز تحت عنوان گروه شاهد متناسب با ظرفیت زراعی خاک هر سه روز یکبار آبیاری شدند.

۲-۲ تعیین رطوبت گیاه

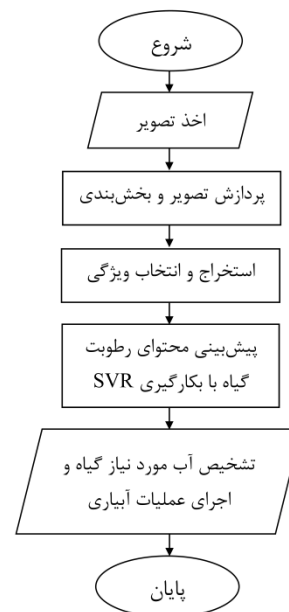
برای تعیین زمان آبیاری باید شرایط خاک، گیاه و اتمسفر به صورت همزمان در نظر گرفته شوند ولی می‌توان برخی شرایط گیاه را به عنوان شاخص انتخاب نمود، به عنوان مثال اندازه‌گیری مستقیم رطوبت گیاه بهترین شاخص نیاز گیاه به آبیاری می‌باشد [۲۲]. در این پژوهش در طی مدت تنش خشکی (۲۰ روز)، به منظور تعیین رطوبت گیاه بلافاصله پس از عکس‌برداری از همه‌ی گیاهان، نمونه برداری صورت گرفت و نهایتاً با استفاده از روابط (۱) تا (۹) رطوبت‌های مختلف آن‌ها اندازه‌گیری شد [۲۳-۲۶]. شایان ذکر است که از داده‌های این بخش به عنوان معیاری مناسب جهت بررسی داده‌های حاصل از بخش پردازش تصویر و به منظور توسعه الگوریتم رگرسیون بردار پشتیبان استفاده گردید.

$$RWC^5 = \frac{WF - WD}{WT - WD} \quad (1)$$

$$WSD^1 = \frac{WT - WF}{WT - WD} \quad (2)$$

5. Relative Water Content (RWC)

رطوبت گیاه در حالت طبیعی (شاداب)، مقدار تقریبی آب مورد نیاز گیاه اندازه‌گیری گردیده و سرانجام در راستای رفع نیاز آبی گیاه، عملیات آبیاری توسط سامانه هوشمند انجام شد. شایان ذکر است که شرح مراحل فوق با جزئیات بیشتر در ذیل خواهد آمد.



شکل ۱ دیاگرام مراحل کلی روش تشخیص آب مورد نیاز گیاه توسط سامانه هوشمند

۲-۱ آماده‌سازی نمونه‌ها و آزمایشات

در این مطالعه به منظور انجام آزمایشات، تعداد ۳۲ نمونه گیاه چمن برموداگراس دورگه^۱ با نام علمی *Cynodon dactylon* (L.) Pers. انتخاب گردید. هر یک از این نمونه‌ها در جعبه پلاستیکی به ابعاد ۵۰ × ۳۰ سانتی‌متر حاوی نوعی از خاک با ویژگی‌هایی مانند بافت غالب رسی و لوم رسی، ظرفیت زراعی^۲ ۲۱٪، pH برابر ۷/۴۶، نقطه پژمردگی دائم^۳ ۱۵٪ و ظرفیت تبادل کاتیونی^۴ ۱۲/۳۰ قرار داده شدند. تمامی آزمایشات در گلخانه‌ای تحت شرایط کنترل شده (دمای بین ۲۳ تا ۲۷ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۸۰±۱۵٪) انجام گردید.

عوامل مختلفی از قبیل تغییرات درجه حرارت، وجود بیماری‌ها و آفات، شرایط و ویژگی‌های خاک، انواع تنش‌ها و غیره می‌توانند بر روی رنگ گیاه تأثیر گذار باشند، لذا برای تعیین تأثیر هر یک از این

1. Hybrid bermudagrass
2. Field Capacity (FC)
3. Permanent Wilting Point (PWP)
4. Cations Exchange Capacity (CEC)

(۳۳۲۰ لوکس) در فضای گلخانه در ساعت مشخصی از روز طی مدت آزمایشات به صورت یک روز در میان گرفته شدند. در ادامه عملیات پردازش تصویر به منظور بخش‌بندی، استخراج و انتخاب ویژگی‌های مورد نظر از تصویر انجام پذیرفت که به تفصیل در بخش بعدی توضیح داده می‌شود.

۲-۴ پردازش تصویر

ابتدا تصاویر اخذ شده با انجام عملیات پیش‌پردازش از نظر رنگ و لبه به ترتیب با روش‌های یکنواخت‌سازی هیستوگرام و لاپلاس منفی^۹ بهبود یافتند. در شرایط واقعی در گلخانه به دلیل وجود نوسانات برقی در حین تصویربرداری، نویزهایی در تصویر ایجاد شدند که در بخش پیش‌پردازش تصویر، همه موارد اضافی مانند نویز زمینه حاصل از شرایط نورپردازی با روش باز کردن ناحیه^{۱۰} حذف گردیدند [۲۷]. لازم به ذکر است که این مشکل همیشه وجود نداشت و در اکثر موارد، شرایط نورپردازی ثابت بود. در ادامه با اجرای فرآیند بخش‌بندی، تصاویر به ناحیه‌هایی متشکل از پیکسل‌هایی با ویژگی‌های نزدیک تقسیم شدند. به طور کلی الگوریتم‌های بخش‌بندی براساس دو معیار مهم می‌باشند: (۱) همگن بودن پیکسل‌های یک ناحیه (آستانه‌گیری) و (۲) جداسازی مناطق مجزای مجاور (پیدا کردن لبه). از آنجا که تصاویر بخش‌بندی شده با استفاده از خصوصیت همگن بودن پیکسل‌ها دارای مزایایی مانند استفاده از فضای ذخیره‌سازی کوچکتر، سرعت پردازش سریع و سهولت در ایجاد تغییرات هستند لذا در این پژوهش با انجام عملیات آستانه‌گذاری تطبیقی اتسو^{۱۱} منطقه گیاه استخراج گردید. نهایتاً با محاسبه ویژگی‌های مورد نظر (ویژگی‌های حوزه فرکانس، ویژگی‌های رنگی و بافت) از تصویر نهایی حاصل از بخش پردازش تصویر و تفسیر داده‌ها، مؤثرترین ویژگی‌ها به منظور توسعه الگوریتم رگرسیون بردار پشتیبان انتخاب شدند که شرح آن با جزئیات بیشتر در ذیل خواهد آمد.

۲-۴-۱ محاسبه پارامترهای انرژی، میانگین و واریانس

تصاویر در حوزه فرکانس

در این بخش به منظور محاسبه برخی پارامترها (انرژی، میانگین و واریانس)، تصاویر از طریق تبدیل فوری^۹ دوبعدی به حوزه فرکانس

$$RWL^2 = \frac{(WF - W1) + (W1 - W2) + (W2 - W3)}{3WD} \quad (۳)$$

$$IWC^3 = \frac{WF - WD}{WD} \quad (۴)$$

$$LWC^4 = \frac{WF - WD}{WF} \quad (۵)$$

$$ELWL^5 = \frac{WF - W3}{WF - WD} \quad (۶)$$

$$ELWR^6 = 1 - \left(\frac{WF - W3}{WF} \right) \quad (۷)$$

$$LWL^7 = \frac{WF - W1}{WF} \quad (۸)$$

$$RWP^8 = \frac{W3 - WD}{WF - WD} \quad (۹)$$

که در آن‌ها: WF، WD، WT، W1، W2، W3 به ترتیب عبارتند از وزن تازه گیاه، وزن خشک (با قرار دادن گیاه در آن با دمای ۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت)، وزن آماس (با قرار دادن گیاه در آب مقطر به مدت ۲۰-۱۸ ساعت)، مقدار وزن گیاه بعد از دو ساعت، بعد از چهار ساعت و بعد از شش ساعت پس از قرارگیری در آب مقطر و در دمای ۲۵ درجه سلسیوس می‌باشد.

۲-۳ سامانه عکس‌برداری

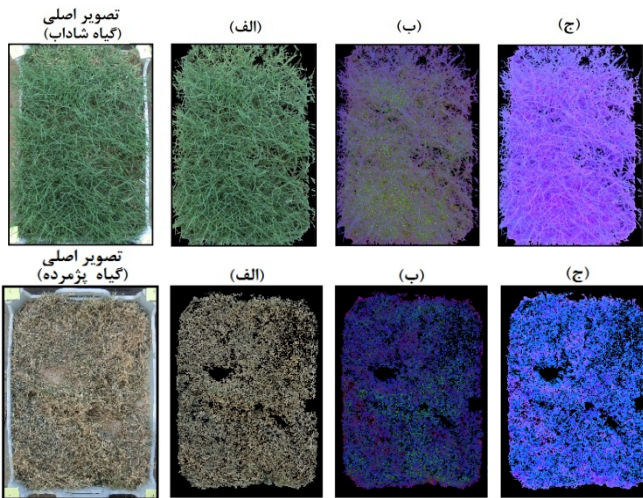
در این پژوهش تصاویر نمونه‌های چمن بدست آمده با دوربین دیجیتال (TP-LINK)، مدل TL-SC3230N H.264، ساخت کشور چین، به منظور انجام مراحل استخراج و تعیین مؤثرترین ویژگی‌ها اخذ شدند. سپس این تصاویر از طریق یک دستگاه گیرنده و فرستنده صدا و تصویر بی‌سیم (Boscam)، مدل SC2000، آمریکا، دارای برد سیستم ۵۰۰۰ متر) به رایانه مجهز به نرم‌افزار Matlab 2016a ارسال و ذخیره‌سازی گردیدند. برای انجام عملیات عکس‌برداری، دوربین به فاصله ثابت ۷۵ سانتی‌متری از سطح زمین به موازات نمونه‌ها قرار داده شد. تصاویر تحت شرایط نور ثابت

1. Water Saturation Deficit (WSD)
2. Relative Water Loss (RWL)
3. Initial Water Content (IWC)
4. Leaf Water Content (LWC)
5. Excised Leaf Water Loss (ELWL)
6. Excised Leaf Water Retention (ELWR)
7. Leaf Water Loss (LWL)
8. Relative Water Protective

9. Negative Laplace

10. Area opening

11. Otsu



شکل ۲ نمایش تصویر گیاه در دو حالت شاداب و پژمرده در سه فضای رنگی مختلف (الف) فضای رنگی RGB (ب) فضای رنگی HSV (ج) فضای رنگی HSL

۲-۴-۳ استخراج ویژگی‌های بافت

بافت معیاری از تنوع شدت سطح و همچنین خواص کمی مانند صافی، زبری و نظم و ترتیب می‌باشد. برای استخراج ویژگی‌های بافت مورد نظر در این مقاله از روش Run length matrix استفاده شد. در ماتریس حاصل از این روش، $P_{\theta}(i, j)$ نشان دهنده فراوانی شدت سطوح خاکستری در مکان (i, j) است که در یک جهت مشخص (θ) به صورت متوالی تکرار شده را نمایش می‌دهد. در این مطالعه با استخراج این ماتریس و میانگین‌گیری در چهار جهت $(0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ)$ از تصویر، ۵ ویژگی بافت LRE^1 ، SRE^2 ، GLN^3 ، RLN^4 و RP^5 طبق روابط (۱۲) تا (۱۶) محاسبه شدند [۳۳].

$$SRE = \frac{\sum_i \sum_j \frac{p_{\theta}(i, j)}{j^2}}{\sum_i \sum_j p_{\theta}(i, j)} \quad (12)$$

$$LRE = \frac{\sum_i \sum_j j^2 p_{\theta}(i, j)}{\sum_i \sum_j p_{\theta}(i, j)} \quad (13)$$

4. Short Run Emphasis
5. Long Run Emphasis
6. Gray Level Non-uniformity
7. Run Length Non-uniformity
8. Run Percentage

انتقال داده شدند. تعریف تبدیل فوریه دوبعدی یک تصویر به صورت رابطه (۱۰) بیان می‌گردد [۲۸]. لازم به ذکر است که از تبدیل فوریه دوبعدی به عنوان یک تبدیل دیجیتال رایج در حوزه فرکانس جهت حذف نویز تصاویر و یا برای بازیابی الگوی دوبعدی آن‌ها استفاده می‌شود [۲۹].

$$S(\omega_1, \omega_2) = \int_{-\infty}^{+\infty} dt_1 \int_{-\infty}^{+\infty} dt_2 F(t_1, t_2) \exp(-i\omega_1 \omega_2) \times \exp(-i\omega_1 \omega_2) \quad (10)$$

که در آن تابع تصویر دوبعدی و t_1 و t_2 متغیرهای دستگاه مختصات دکارتی در یک صفحه حقیقی هستند. $S(\omega_1, \omega_2)$ نیز طرح‌ریزی از $F(t_1, t_2)$ به عنوان نماینده‌ای از یک مجموعه نوسانات طیفی در حوزه فرکانس دوبعدی است و ω_1 و ω_2 فرکانس‌های زاویه‌ای (rad s^{-1}) می‌باشند. در ادامه پس از انتقال تصویر به حوزه فرکانس، پارامترهای انرژی، میانگین و واریانس تصویر به ابعاد $M \times N$ محاسبه شدند [۳۰].

۲-۴-۲ استخراج ویژگی‌های رنگی

استفاده از رنگ در پردازش تصویر، ناشی از دو عامل است: (۱) رنگ توصیفگر قدرتمندی است که غالباً شناسایی و استخراج اشیاء را از صحنه آسان می‌سازد. (۲) برای انسان، رنگ یکی از مهم‌ترین توصیف‌های دنیای طبیعی است [۳۱]. در این مطالعه از سه فضای رنگی RGB، HSV و HSL استفاده گردید (شکل ۲). ویژگی‌های رنگی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند به شرح ذیل می‌باشند: متوسط پارامترهای رنگی قرمز [۰، ۲۵۵]، سبز [۰، ۲۵۵] و آبی [۰، ۲۵۵] که از اجزای رنگی مدل RGB می‌باشند و متوسط فام^۱ رنگ [۰، ۳۶۰]، متوسط اشباع^۲ رنگ [۰، ۱] و متوسط مقدار^۳ رنگ [۰، ۱] که از اجزای مدل رنگی HSV هستند و متوسط روشنایی رنگ [۰، ۱] و متوسط اشباع رنگ [۰، ۱] که مربوط به پارامترهای مدل رنگی HSL می‌باشند. این ویژگی‌ها در قالب رابطه (۱۱) تعریف می‌شوند [۳۲]:

$$\text{Colour mean value} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \text{colour value} \quad (\text{مقدار متوسط رنگ})$$

که در آن: colour value می‌تواند مقداری از محدوده هر کدام از ۹ ویژگی رنگ ذکر شده فوق را به خود اختصاص دهد و M مجموع تعداد پیکسل‌های تصویر در ناحیه مورد بررسی می‌باشد.

1. Hue
2. Saturation
3. Value

در این رابطه، C پارامتری است که پیچیدگی مدل و خطاهای آموزشی را موازنه می‌کند، ξ_i و ξ_i^* به ترتیب متغیرهای بی‌اثر برای مقدار هدف بیشتر و کمتر از ε هستند. در این تحقیق ابتدا دو-سوم داده‌ها برای آموزش این مدل به بردار یادگیری تبدیل شدند و سپس هر بردار با یک بردار خروجی متناظر گردید و نهایتاً مقدار بهینه در فضای خطی و غیرخطی یافته شد. بعد از مرحله آموزش مدل، داده‌های نادیده (یک-سوم باقی‌مانده داده‌ها) به منظور تست مدل رگرسیون توسعه یافته بکار برده شدند. عملکرد تابع توسعه یافته (f) با استفاده از روابط (۱۹) تا (۲۲) ارزیابی گردید [۳۶-۳۷].

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|f(x_i) - y_i|}{y_i} \quad (19)$$

(میانگین خطای مطلق)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(f(x_i) - y_i)^2}{y_i}} \quad (20)$$

(مجذور میانگین مربعات خطا)

$$SRE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2}{n-2}} \quad (21)$$

(خطای رگرسیون استاندارد)

$$RAV = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\sqrt{(y_i - f(x_i))^2}}{y_i} \quad (22)$$

(میزان دقت نسبی)

که در آن‌ها $f(x_i)$ تابع توسعه یافته مدل رگرسیون تولید شده، x_i مقدار هر یک از داده‌ها، y_i داده‌های حقیقی اندازه‌گیری شده و n تعداد داده‌ها می‌باشد. به طور کلی الگوریتم SVR شامل چندین نوع تابع است که هر تابع شامل یک کرنل مجزا می‌باشد. در این پژوهش جهت انتخاب تابع برتر از میان چهار نوع تابع الگوریتم SVR (Linear، Polynomial، Gaussian و RBF) از آزمون و خطا استفاده شد و تابعی با ضریب همبستگی بالاتر و خطای کمتر به عنوان تابع برتر انتخاب گردید.

۲-۶ ساختار سامانه کنترل هوشمند آبیاری

پس از اخذ تصویر و انجام عملیات پردازش تصویر (بخش‌بندی، استخراج و انتخاب ویژگی‌ها) که پیش از این در ارتباط با آن‌ها توضیح داده شد، با توجه به میزان اختلاف محتوای رطوبت پیش‌بینی شده توسط الگوریتم رگرسیون بردار پشتیبان نسبت به مقدار رطوبت واقعی گیاه، مدار کنترلی با دریافت کدی معین به صورت * (بدون نیاز به آبیاری) یا ۱ (نیازمند آبیاری) و با ارسال دستور لازم، رله مربوط به محل تشخیص را فعال ساخته و نهایتاً عمل هدایت جریان

$$GLN = \frac{\sum_i \left[\sum_j p_{\theta}(i, j) \right]^2}{\sum_i \sum_j p_{\theta}(i, j)} \quad (14)$$

$$RLN = \frac{\sum_j \left[\sum_i p_{\theta}(i, j) \right]^2}{\sum_i \sum_j p_{\theta}(i, j)} \quad (15)$$

$$RP = \frac{\sum_i \sum_j p_{\theta}(i, j)}{A} \quad (16)$$

که در رابطه آخر، A مساحت حاصل از تصویر دودویی شده (صفر و یک) است.

۲-۵ رگرسیون بردار پشتیبان (SVR)

یادگیری ماشین در سال‌های اخیر در حال توسعه می‌باشد. در میان الگوریتم‌های گوناگونی که در حوزه یادگیری ماشین وجود دارد، ماشین بردار پشتیبان به عنوان یکی از روش‌های نوین، به صورت گسترده برای طبقه‌بندی و رگرسیون بکار برده می‌شود [۳۴-۳۵]. شایان ذکر است که مدل رگرسیون بردار پشتیبان در حل مسائل پیش‌بینی کاربرد دارد. در این پژوهش به منظور توسعه شکل رگرسیونی ماشین بردار پشتیبان از تابع خطای جدیدی به نام ε (insensitive) استفاده گردید. هدف پیدا کردن تابع $f(x)$ این است که حداکثر انحرافات را از داده‌های واقعی برای همه داده‌های آموزشی داشته باشد. به عبارت دیگر در این تابع خطاهایی که در محدوده کمتر از ε قرار دارند، در نظر گرفته نمی‌شوند.

برای توسعه الگوریتم SVR در ابتدا تخمین یک تابع خطی بررسی می‌شود. کلیه توابع خطی به شکل کلی رابطه (۱۷) می‌باشند.

$$f(x) = \langle w, x \rangle + b, \quad w, x \in X, \quad b \in R \quad (17)$$

که در آن $\langle \cdot, \cdot \rangle$ نشان دهنده ضرب داخلی دو بردار w بردار وزن و x فضای ورودی است.

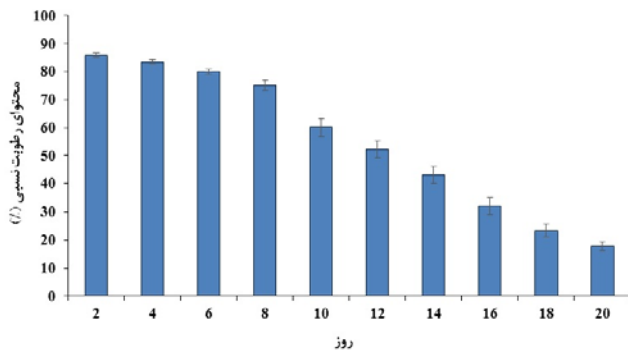
در این روش همراه با کاهش پیچیدگی مدل با به حداقل رساندن $\|w\|^2$ ، به صورت همزمان رگرسیون خطی در فضای ویژگی با ابعاد بالا با استفاده از تابع خطای ε انجام می‌گیرد. تابع هدف در SVR به صورت رابطه (۱۸) تعریف می‌گردد.

$$\min \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^n (\xi_i + \xi_i^*)$$

$$s.t. \begin{cases} y_i - (\langle w, \phi(x_i) \rangle + b) \leq \varepsilon + \xi_i \\ (\langle w, \phi(x_i) \rangle + b) - y_i \leq \varepsilon + \xi_i^* \\ \xi_i, \xi_i^* \geq 0, i = 1, \dots, n \end{cases} \quad (18)$$

گیاه طی یک دوره تنش خشکی نشان از کاهش میزان شادابی گیاه و افزایش نیاز آبی آن دارد (شکل ۵). در حقیقت تحمل به خشکی و نیاز آبی یک صفت ساده و منحصر به فرد نبوده بلکه یک صفت کمی و پیچیده با جنبه‌های مختلف می‌باشد. بنابراین تحمل به خشکی ترکیبی از صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی است [۳۸] که با میزان آب نسبی برگ (RWC)، آب از دست رفته از برگ بریده شده (RWL)، کارایی مصرف آب^۲ (WUE)، میزان آب حفظ شده از برگ‌های بریده شده (ELWR) و هدایت روزنه‌ای در ارتباط است [۳۹-۴۰]. Assad و Golestani گزارش نمودند که در اثر کم آبی، میزان آب از دست رفته از برگ بریده شده کاهش و دمای کنوپی^۳ (CTD) افزایش می‌یابد. علاوه بر این نشان داده شد که دمای کنوپی و شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) دو معیار مناسب جهت مطالعه تنش خشکی و نیاز آبی می‌باشند. این محققین RWL را شاخص مناسب برای شناسایی ارقام مقاوم از حساس دانستند [۴۱].

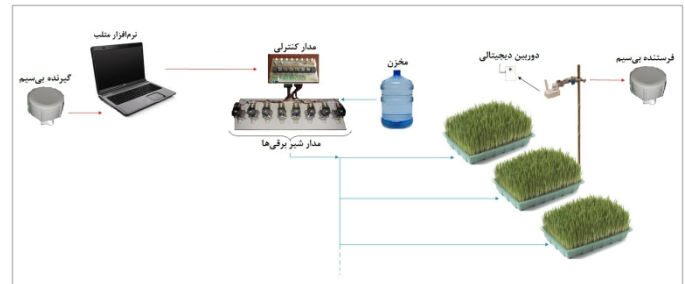
تنظیم اسمزی یکی از مهمترین مؤلفه‌های تحمل به خشکی و میزان نیاز آبی گیاه است [۴۲-۴۳] که ارتباط نزدیکی با میزان آب نسبی (RWC) بیشتر و میزان آب از دست رفته از برگ بریده شده (RWL) کمتر دارد [۴۴-۴۷]. Manette و همکارانش گزارش نمودند گیاهان با نیاز آبی پایین دارای خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک خاصی هستند که آن‌ها را قادر می‌سازد در شرایط کمبود آب مقدار بیشتری آب در بافت‌هایشان ذخیره سازند. همچنین اختلاف معنی‌داری را برای ارقام گندم مورد مطالعه از لحاظ میزان آب نسبی برگ (RWC) مشاهده نمودند [۴۰].



شکل ۴ تغییرات محتوای رطوبت نسبی گیاه تحت شرایط تنش خشکی طی مدت آزمایشات

آب توسط پمپ آب (۱۲ ولت ۳/۶ وات، مدل TOL، ساخت کشور چین) و شیر برقی مورد نظر (۱۲ ولت، مدل E247، ساخت کشور چین) از مخزنی با ظرفیت ۱ لیتر به سمت نمونه‌ها انجام می‌گیرد (شکل ۳)؛ در حقیقت می‌توان گفت که تأمین مقدار آب مورد نیاز گیاه در این سامانه با توجه به مقدار ثابت دبی حجمی پمپ تعبیه شده، از طریق محاسبه مدت زمان لازم برای هدایت جریان آب از پمپ به سمت گیاه صورت می‌گیرد. شایان ذکر است که مدار کنترلی نقش یک رابط بین رایانه، پمپ آب و شیر برقی‌ها را بر عهده دارد و جزء بخش الکترونیکی سامانه محسوب می‌گردد.

با توجه به اینکه سرعت اجرای عملیات مربوط به بخش پردازش تصویر سامانه طراحی شده تا حد زیادی به نوع واحد پردازنده رایانه تعبیه شده در آن وابسته است، به همین خاطر در این پژوهش به منظور سرعت بخشیدن به روند اجرای عملیات آبیاری از یک رایانه (Memory: DDRIII و CPU: Intel Core i7-2670QM) استفاده شد. (4GB*1)



شکل ۳ شماتیک سامانه کنترل هوشمند آبیاری

۳ نتایج و بحث

۳-۱ تغییرات رطوبت گیاه

بسیاری از پارامترهای رطوبت اندازه‌گیری شده گیاه به تدریج تحت شرایط تنش خشکی تغییر می‌کنند. یکی از مهم‌ترین این پارامترها، RWC است که نشان دهنده میزان رطوبت نسبی گیاه می‌باشد و مقدار آن تحت شرایط تنش خشکی به تدریج کاهش می‌یابد (شکل ۴)¹.

همان‌طور که از شکل ۴ مشاهده می‌شود، تغییرات رطوبت گیاه طی مدت آزمایشات از ۸۵/۸۹٪ (روز دوم) به ۱۷/۸۰٪ (روز بیستم) تغییر کرده است. این مسأله بدیهی است که کاهش تدریجی رطوبت

۱. با توجه به محدودیت تعداد صفحات، فقط نمودار تغییرات پارامتر RWC گزارش شده است.

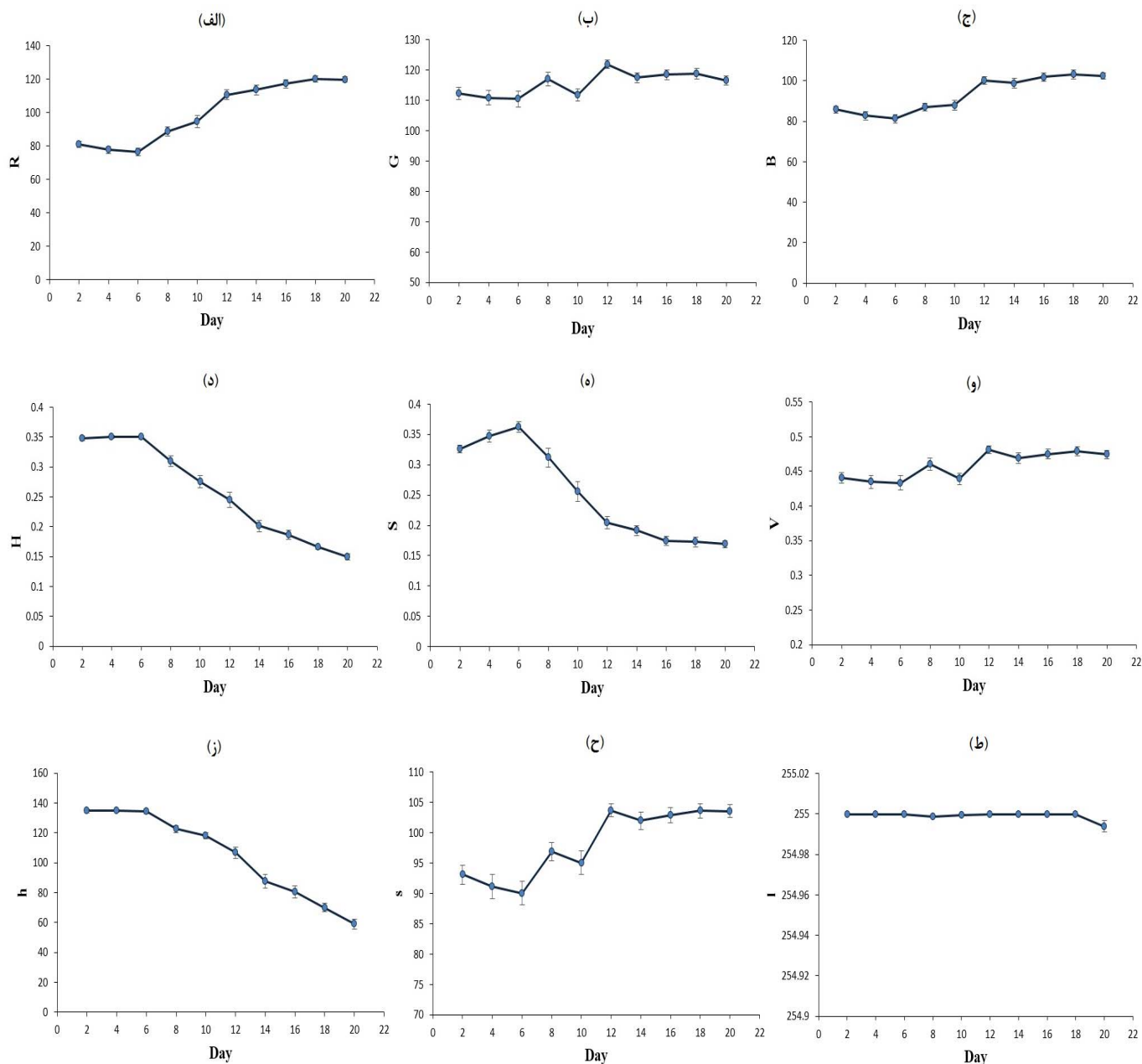
2. Water Use Efficiency (WUE)

3. Canopy Temperature Depression (CTD)

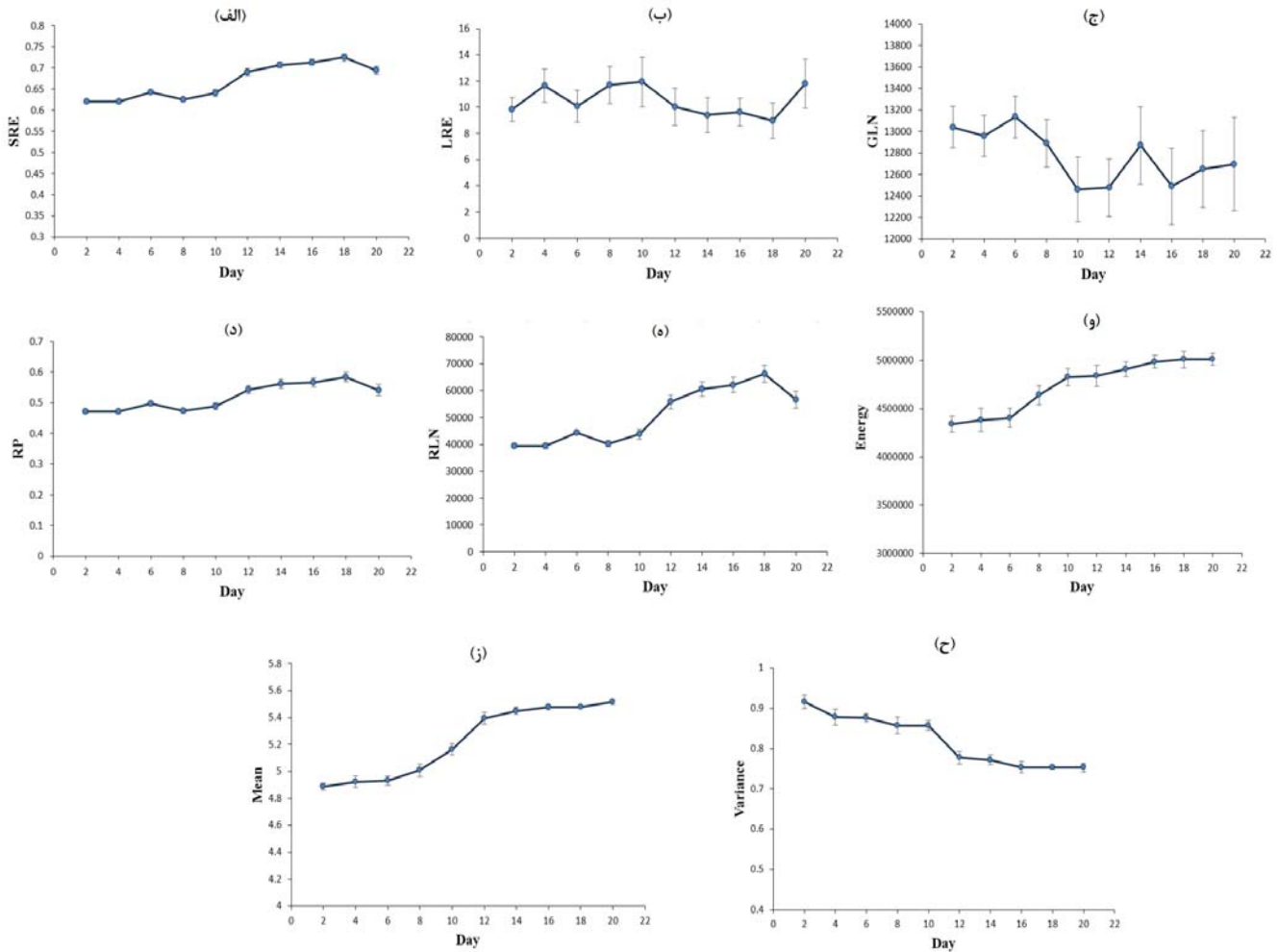
۲-۳ بررسی پارامترهای استخراج شده از تصویر

پس از پردازش تصاویر بدست آمده و استخراج ویژگی‌های رنگی، بافت و پارامترهای حوزه فرکانس به منظور بررسی این پارامترها طی دوره تنش خشکی نمودار تغییرات آن‌ها ترسیم گردید (شکل‌های ۶ و ۷). مطابق شکل ۶ طی دوره تنش خشکی مختصات رنگ G, R ,

افزایشی بودند و همزمان با کاهش رطوبت گیاه طی مدت آزمایشات مقادیر ویژگی‌های رنگی $H_{(HSV)}, S_{(HSV)}, h_{(hsl)}$ به تدریج کاهش یافته است. اما تغییرات پارامتر L در فضای رنگی hsl ثابت بوده و روند مشخصی از خود نشان نمی‌دهد.



شکل ۶ تغییرات ۹ پارامتر رنگی استخراج شده از تصویر گیاه طی دوره تنش خشکی: به ترتیب تغییرات (الف) کانال R (ب) کانال G (ج) کانال B (د) کانال H (ه) کانال S (و) کانال V (ز) کانال h (ح) کانال s (ط) کانال I



شکل ۷ تغییرات ۵ پارامتر بافت و ۳ پارامتر استخراج شده از تصویر گیاه در حوزه فرکانس طی دوره تنش خشکی: به ترتیب تغییرات (الف) پارامتر SRE (ب) پارامتر LRE (ج) پارامتر GLN (د) پارامتر RP (ه) پارامتر RLN (و) پارامتر انرژی (ز) پارامتر میانگین (ح) پارامتر واریانس

تنش خشکی سبب افتادگی اندام‌های آن شده و نهایتاً ریزش برگ‌ها و همچنین ایجاد حالت پلاسیدگی و خشکیدگی را در گیاه به همراه دارد که این موضوع علت نوسانات افزایشی و کاهش در مقادیر این ویژگی‌های بافت می‌باشد. در مورد پارامترهای استخراج شده از تصویر در حوزه فرکانس مطابق شکل ۷ (و-ح) همان گونه که مشاهده می‌شود دو پارامتر انرژی و میانگین تحت شرایط تنش آبی به تدریج افزایش پیدا کرده‌اند. توجه این مسأله بدین صورت است که پایین آمدن پتانسیل آب و کاهش 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 و منجر به تیز شدن لبه‌های گیاه چمن می‌گردد. نتایج Altinkut و همکارانش و Gratani و همکارانش نیز مؤید این مطلب است [۴۹-۵۰]. روند تغییرات پارامتر واریانس (شکل ۷ ح) بلعکس دو پارامتر قبلی نزولی بوده و نهایتاً مقدار آن از ۰/۹۱ به ۰/۷۵ کاهش یافت.

بدین ترتیب می‌توان گفت که با اعمال تنش خشکی، رنگدانه‌های گیاه تحت تأثیر قرار می‌گیرند؛ در نتیجه افزایش تخریب رنگیزه‌ها و یا کاهش تولید آن‌ها و همچنین اختلال در فعالیت آنزیم‌های مسئول سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی، تغییر رنگ در گیاه را در پی خواهد داشت، به عنوان مثال با شروع تنش خشکی، مولکول‌های کلروفیل (رنگیزه سبز) که از گسترده‌ترین، آشکارترین، حساس‌ترین و تواناترین رنگیزه‌های دریافت کننده نور هستند به تدریج از بین می‌روند، بر این اساس می‌توان گفت که این مولکول‌ها نقش بسزایی در رنگ گیاهان دارند [۴۸]. در ارتباط با ویژگی‌های بافت گیاه مشاهده شد که سه پارامتر SRE، RP و RLN به ترتیب از مقادیر ۰/۶۲، ۰/۷۴ و ۳۹۵۰۲ به ۰/۶۹، ۰/۵۴ و ۵۶۷۱۴ تغییر یافتند و با وجود نوسانات جزئی روند صعودی از خود نشان دادند. همان طور که در شکل ۷ (ب-ج) مشخص است پارامترهای LRE و GLN نیز با توجه به چشمگیر بودن نوسانات، از روند مشخص و واضحی برخوردار نبودند. از دست رفتن آماس در بافت‌های گیاهی طی دوره

۳-۳ نتایج آنالیز آماری انجام شده میان پارامترهای اندازه‌گیری شده آزمایش

در این پژوهش به منظور بررسی اختلاف معنی‌دار میان پارامترهای اندازه‌گیری شده از نمونه‌های مورد آزمایش، آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام پذیرفت. با توجه به اینکه با گذشت زمان به دلیل افزایش دمای گیاه و همچنین تغییر وضعیت تعرق در آن، نیاز آبی گیاه شدت پیدا می‌کند و در نتیجه میزان پژمردگی (خشکیدگی) به مرور روندی صعودی به همراه دارد، پارامترهای اندازه‌گیری شده نیز با گذشت زمان و متناسب با میزان تغییرات رطوبت دارای مقداری متفاوت می‌گردند. به همین خاطر میان ۱۷ ویژگی استخراج شده از تصاویر نمونه‌ها (ویژگی‌های رنگی، بافت و پارامترهای تصویر در حوزه فرکانس) و همچنین میان پارامترهای رطوبت اندازه‌گیری شده در روزهای آزمایش، آزمون آماری صورت پذیرفت.

نتایج تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها در جداول (۱) تا (۴) گزارش شده است. مطابق جدول ۱ مشاهده می‌گردد که ضمن معنی‌دار بودن اختلافات بین تیمارها در سطح احتمال ۵٪، مقادیر برخی از پارامترهای اندازه‌گیری شده رطوبت مانند RWC، RWL، IWC، LWC، ELWL و LWL با گذشت زمان و در اثر تنش خشکی وارد شده به گیاه، کاهش یافته است و همچنین برخی دیگر از پارامترها مانند WSD، ELWR و RWP دارای روند افزایشی بوده‌اند.

جداول (۲) تا (۴)، وجود اختلافات معنی‌دار میان مقادیر ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر (ویژگی‌های رنگی، بافت و پارامترهای تصویر در حوزه فرکانس) با روزهای آزمایش را نشان می‌دهد.

جدول ۱ مقایسه میانگین پارامترهای رطوبت اندازه‌گیری شده گیاه طی دوره تنش خشکی

پارامترهای رطوبت									تیمار
RWP	LWL	ELWR	ELWL	LWC	IWC	RWL	WSD	RWC	
۱/۱۰ ^e	-۰/۰۱ ^a	۱/۰۸ ^f	-۰/۱۰ ^a	۰/۸۰ ^a	۴/۵۲ ^a	-۰/۱۵ ^a	۰/۱۴ ^g	۰/۸۵ ^d	۲
۱/۱۵ ^e	-۰/۰۳ ^a	۱/۱۱ ^f	-۰/۱۵ ^a	۰/۷۸ ^a	۳/۵۶ ^b	-۰/۱۷ ^a	۰/۱۶ ^g	۰/۸۳ ^a	۴
۱/۱۸ ^e	-۰/۰۸ ^a	۱/۱۴ ^f	-۰/۱۸ ^a	۰/۷۷ ^a	۳/۴۸ ^b	-۰/۲۱ ^{ab}	۰/۲۰ ^{gf}	۰/۷۹ ^{ab}	۶
۱/۲۷ ^e	-۰/۱۱ ^a	۱/۲۰ ^f	-۰/۲۷ ^a	۰/۷۶ ^a	۳/۲۸ ^b	-۰/۲۸ ^b	۰/۲۴ ^f	۰/۷۵ ^b	۸
۱/۶۸ ^e	-۰/۲۹ ^b	۱/۴۶ ^e	-۰/۶۸ ^a	۰/۷۰ ^b	۲/۵۳ ^c	-۰/۵۰ ^c	۰/۳۹ ^e	۰/۶۰ ^c	۱۰
۱/۸۷ ^{de}	-۰/۴۱ ^b	۱/۵۶ ^e	-۰/۸۷ ^{ab}	۰/۶۷ ^b	۲/۲۱ ^c	-۰/۵۵ ^c	۰/۴۷ ^d	۰/۵۲ ^d	۱۲
۲/۴۵ ^d	-۰/۶۵ ^c	۱/۸۲ ^d	-۱/۴۵ ^b	۰/۶۱ ^c	۱/۶۸ ^d	-۰/۶۵ ^d	۰/۵۷ ^c	۰/۴۳ ^c	۱۴
۳/۵۴ ^c	-۰/۹۷ ^d	۲/۲۰ ^c	-۲/۵۴ ^c	۰/۵۳ ^d	۱/۲۸ ^{ed}	-۰/۸۴ ^e	۰/۶۷ ^b	۰/۳۲ ^f	۱۶
۴/۴۵ ^b	-۱/۲۳ ^e	۲/۴۶ ^b	-۳/۴۵ ^d	۰/۴۷ ^c	۰/۹۸ ^{ef}	-۰/۹۲ ^f	۰/۷۶ ^a	۰/۲۳ ^g	۱۸
۵/۶۴ ^a	-۱/۴۴ ^f	۲/۷۶ ^a	-۴/۶۴ ^e	۰/۴۱ ^f	۰/۷۴ ^f	-۱/۰۰ ^g	۰/۸۳ ^a	۰/۱۷ ^g	۲۰

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



شکل ۵ نمایش تغییرات وضعیت فیزیولوژیکی گیاه طی دوره تنش خشکی (در مدت ۲۰ روز)

جدول ۲ مقایسه میانگین پارامترهای رنگی گیاه در طی دوره تنش خشکی

تیمار	صفات								
	L	s	H	V	S	H	B	G	R
۲	۲۵۵ ^a	۹۳/۸ ^{bcd}	۱۳۴/۶۷ ^a	۰/۴۴ ^{bc}	۰/۳۲ ^{bc}	۰/۳۴ ^a	۱۱۹/۰۰ ^{bcd}	۱۱۲/۲۸ ^{bcd}	۸۱/۰۳ ^d
۴	۲۵۵ ^a	۹۱/۱۳ ^{cd}	۱۳۴/۶۳ ^a	۰/۴۳ ^c	۰/۳۴ ^{ab}	۰/۳۵ ^a	۱۱۷/۶۶ ^{cd}	۱۱۰/۹۲ ^{cd}	۷۷/۶۱ ^d
۶	۲۵۵ ^a	۹۰/۰۴ ^d	۱۳۴/۴۰ ^a	۰/۴۳ ^c	۰/۳۶ ^a	۰/۳۴ ^a	۱۱۷/۱۷ ^d	۱۱۰/۵۰ ^d	۷۶/۵۳ ^d
۸	۲۵۴/۹۹ ^a	۹۶/۸۸ ^b	۱۲۲/۴۳ ^b	۰/۴۶ ^{ab}	۰/۳۱ ^c	۰/۳۰ ^b	۱۲۰/۳۴ ^{ab}	۱۱۷/۰۳ ^{abc}	۸۸/۸۶ ^c
۱۰	۲۵۴/۹۹ ^a	۹۵/۰۵ ^{bc}	۱۱۸/۱۷ ^b	۰/۴۳ ^{bc}	۰/۲۵ ^d	۰/۲۷ ^c	۱۱۸/۹۴ ^{bcd}	۱۱۱/۷۶ ^{bcd}	۹۴/۷۸ ^c
۱۲	۲۵۵ ^a	۱۰۳/۷۰ ^a	۱۰۶/۸۵ ^c	۰/۴۸ ^a	۰/۲۰ ^e	۰/۲۴ ^d	۱۲۱/۱۶ ^a	۱۲۱/۹۵ ^a	۱۱۰/۷۲ ^b
۱۴	۲۵۵ ^a	۱۰۱/۹۹ ^a	۸۷/۴۱ ^d	۰/۴۶ ^a	۰/۱۹ ^{ef}	۰/۲۰ ^e	۱۱۹/۷۹ ^{ab}	۱۱۷/۵۳ ^{ab}	۱۱۳/۵۹ ^{ab}
۱۶	۲۵۵ ^a	۱۰۲/۹۱ ^a	۸۰/۴۰ ^d	۰/۴۷ ^a	۰/۱۷ ^{ef}	۰/۱۸ ^{ef}	۱۱۹/۰۵ ^{abcd}	۱۱۸/۵۵ ^a	۱۱۷/۱۴ ^{ab}
۱۸	۲۵۵ ^a	۱۰۳/۶۰ ^a	۶۹/۹۰ ^e	۰/۴۷ ^a	۰/۱۷ ^{ef}	۰/۱۶ ^{fg}	۱۱۹/۵۰ ^{abc}	۱۱۸/۸۸ ^a	۱۲۰/۱۸ ^a
۲۰	۲۵۴/۹۹ ^b	۱۰۳/۵۶ ^a	۵۸/۸۵ ^f	۰/۴۷ ^a	۰/۱۶ ^f	۰/۱۴ ^g	۱۲۰/۴۷ ^{ab}	۱۱۶/۶۱ ^{abcd}	۱۱۹/۸۲ ^a

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

جدول ۳ مقایسه میانگین پارامترهای بافت گیاه در طی دوره تنش خشکی

تیمار	صفات				
	RLN	RP	GLN	LRE	SRE
۲	۳۹۵۰۲ ^c	۰/۴۷ ^c	۱۳۰۳۹/۸ ^a	۹/۸۳ ^a	۰/۶۲۰ ^e
۴	۳۹۵۱۰ ^c	۰/۴۷ ^c	۱۲۹۵۹ ^a	۱۱/۶۴ ^a	۰/۶۲۱ ^e
۶	۴۴۳۴۲ ^c	۰/۴۹ ^c	۳۱۳۳۹/۹ ^a	۱۰/۰۶ ^a	۰/۶۴۳ ^d
۸	۴۰۲۳۹ ^c	۰/۴۷ ^c	۱۲۸۹۰/۳ ^a	۱۱/۶۸ ^a	۰/۶۲۰ ^{de}
۱۰	۴۳۷۵۴ ^c	۰/۴۸ ^c	۱۲۴۵۸/۵ ^a	۱۱/۹۱ ^a	۰/۶۴۰ ^{de}
۱۲	۵۵۸۸۴ ^b	۰/۵۴ ^b	۱۲۴۷۵/۸ ^a	۱۰/۰۲ ^a	۰/۶۹۵ ^c
۱۴	۶۰۶۱۳ ^{ab}	۰/۵۶ ^{ab}	۱۲۸۷۰/۱ ^a	۹/۳۹ ^a	۰/۷۰۰ ^{abc}
۱۶	۶۲۱۶۸ ^{ab}	۰/۵۶ ^{ab}	۱۲۴۸۹/۶ ^a	۹/۶۱ ^a	۰/۷۱۰ ^{ab}
۱۸	۶۶۳۳۱ ^a	۰/۵۸ ^a	۱۲۶۵۱/۴ ^a	۸/۹۶ ^a	۰/۷۲۰ ^a
۲۰	۵۶۷۱۵ ^b	۰/۵۴ ^b	۱۲۶۹۵/۹ ^a	۱۱/۷۹ ^a	۰/۶۹۰ ^{bc}

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

جدول ۴ مقایسه میانگین پارامترهای استخراج شده از تصویر گیاه در حوزه فرکانس طی دوره تنش خشکی

تیمار	صفات	
	میانگین	انرژی
۲	۰/۹۱۷ ^a	۴۳۳۶۸۷۹ ^d
۴	۰/۸۷۸ ^{ab}	۴۳۸۳۱۱۳ ^{cd}
۶	۰/۸۷۷ ^{ab}	۴۴۰۳۰۰۸ ^{cd}
۸	۰/۸۵۷ ^b	۴۶۳۹۶۳۴ ^{bc}
۱۰	۰/۸۵۷ ^b	۴۸۲۵۲۱۰ ^{ab}
۱۲	۰/۷۷۷ ^c	۴۸۳۹۷۳۱ ^{ab}
۱۴	۰/۷۷۳ ^c	۴۹۰۶۴۲۹ ^{ab}
۱۶	۰/۷۵۳ ^c	۴۹۸۵۵۲۳ ^a
۱۸	۰/۷۵۳ ^c	۵۰۰۹۱۱۳ ^a
۲۰	۰/۷۵۳ ^c	۵۰۱۰۳۰۷ ^a

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

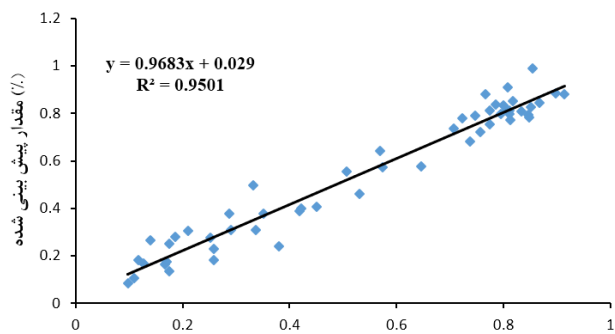
جدول ۵ همبستگی میان پارامترهای رنگی استخراج شده از تصویر گیاه و پارامترهای رطوبت اندازه‌گیری شده آن تحت تیمار تنش خشکی

RWP	LWL	ELWR	ELWL	LWC	IWC	RWL	WSD	RWC	I	s	h	V	S	H	B	G	R	
																	۱	R
																	۰.۱۶۶°	G
															۱	۰.۱۸۳°	۰.۱۹۴°	B
														۱	-۰.۱۷۶°	-۰.۱۳۶°	۰.۱۹۲°	H
													۱	-۰.۱۹۱°	-۰.۱۸۷°	-۰.۱۴۹°	-۰.۱۹۵°	S
												۱	-۰.۱۵۹°	-۰.۱۵۰°	-۰.۱۸۹°	۰.۱۹۸°	۰.۱۷۶°	V
											۱	-۰.۱۵۱°	۰.۱۸۵°	۰.۱۹۷°	-۰.۱۷۵°	-۰.۱۳۵°	-۰.۱۸۹°	h
										۱	-۰.۱۶۵°	۰.۱۹۵°	-۰.۱۷۹°	-۰.۱۶۷°	۰.۱۹۶°	۰.۱۹۱°	۰.۱۸۹°	s
									۱	۰.۱۰۴	۰.۱۲۶	۰.۱۰۹	۰.۱۰۸	۰.۱۲۱	۰.۱۰۱	۰.۱۱۷	-۰.۱۰۶	I
								۱	۰.۱۲۰	-۰.۱۶۵°	۰.۱۹۵°	-۰.۱۵۰°	۰.۱۸۶°	۰.۱۹۵°	-۰.۱۲۴°	-۰.۱۳۶°	-۰.۱۸۸°	RWC
							۱	-۱°	-۰.۱۲۰	۰.۱۶۵°	-۰.۱۹۵°	۰.۱۵۰°	-۰.۱۸۶°	-۰.۱۹۵°	۰.۱۲۴°	۰.۱۳۶°	۰.۱۸۸°	WSD
						۱	۰.۱۹۸°	-۰.۱۹۸°	-۰.۱۱۴	۰.۱۶۵°	-۰.۱۹۳°	۰.۱۵۱°	-۰.۱۸۵°	-۰.۱۹۴°	۰.۱۲۴°	۰.۱۳۷°	۰.۱۸۷°	RWL
					۱	-۰.۱۸۸°	-۰.۱۹۱°	۰.۱۹۱°	۰.۱۱۷	-۰.۱۵۷°	۰.۱۸۶°	-۰.۱۴۳°	۰.۱۷۹°	۰.۱۸۷°	-۰.۱۶۵°	-۰.۱۳۱°	-۰.۱۸۰°	IWC
				۱	۰.۱۸۹°	-۰.۱۹۱°	-۰.۱۹۵°	۰.۱۹۵°	۰.۱۳۱°	-۰.۱۵۶°	۰.۱۹۳°	-۰.۱۴۳°	۰.۱۷۶°	۰.۱۸۹°	-۰.۱۶۶°	-۰.۱۲۸	-۰.۱۷۲°	LWC
		۱	۰.۱۹۵°	-۰.۱۹۸°	-۰.۱۸۶°	۰.۱۸۳°	۰.۱۸۷°	-۰.۱۸۷°	-۰.۱۴۲°	۰.۱۴۶°	-۰.۱۸۶°	۰.۱۳۶°	-۰.۱۶۴°	-۰.۱۷۹°	۰.۱۵۶°	۰.۱۲۱	۰.۱۶۷°	ELWL
		۱	۰.۱۹۵°	-۰.۱۹۸°	-۰.۱۸۶°	۰.۱۹۵°	۰.۱۹۶°	-۰.۱۹۶°	-۰.۱۲۶	۰.۱۵۷°	-۰.۱۹۳°	۰.۱۴۴°	-۰.۱۷۶°	-۰.۱۹۰°	۰.۱۶۷°	۰.۱۲۹	۰.۱۷۹°	ELWR
	۱	۰.۱۹۹°	۰.۱۹۵°	-۰.۱۹۸°	-۰.۱۸۵°	۰.۱۹۴°	۰.۱۹۵°	-۰.۱۹۵°	-۰.۱۲۶	۰.۱۵۸°	-۰.۱۹۴°	۰.۱۴۵°	-۰.۱۷۶°	-۰.۱۹۰°	۰.۱۶۸°	۰.۱۳۰°	۰.۱۸۰°	LWL
۱	۰.۱۹۵°	۰.۱۹۵°	۱°	-۰.۱۹۶°	-۰.۱۷۷°	۰.۱۸۳°	۰.۱۸۷°	-۰.۱۸۷°	-۰.۱۴۲°	۰.۱۴۶°	-۰.۱۸۶°	۰.۱۳۶°	-۰.۱۶۴°	-۰.۱۷۹°	۰.۱۵۶°	۰.۱۲۱	۰.۱۶۷°	RWP

جدول ۶ همبستگی میان ۵ پارامتر بافت، ۳ پارامتر استخراج شده از تصویر گیاه در حوزه فرکانس و پارامترهای رطوبت اندازه‌گیری شده آن تحت تیمار تنش خشکی

RWP	LWL	ELWR	ELWL	LWC	IWC	RWL	WSD	RWC	وارپانس	میانگین	انرژی	RLN	RP	GLN	LRE	SRE	
																۱	SRE
																-۰.۱۴۱°	LRE
														۱	-۰.۱۷۵°	۰.۱۲۷	GLN
													۱	۰.۱۵۸°	-۰.۱۶۲°	۰.۱۹۲°	RP
												۱	۰.۱۹۸°	۰.۱۴۴°	-۰.۱۵۴°	۰.۱۹۷°	RLN
											۱	۰.۱۱۲	۰.۱۰۱	-۰.۱۴۷°	۰.۱۲۹	۰.۱۲۳	انرژی
										۱	۰.۱۷۲°	۰.۱۶۳°	۰.۱۵۳°	-۰.۱۱۷	-۰.۱۰۳	۰.۱۷۳°	میانگین
									۱	-۰.۱۸۸°	-۰.۱۶۰°	-۰.۱۵۱°	-۰.۱۴۱°	۰.۱۱۴	۰.۱۰۱	-۰.۱۶۰°	وارپانس
								۱	۰.۱۷۳°	-۰.۱۸۶°	-۰.۱۵۲°	-۰.۱۶۷°	-۰.۱۵۶°	۰.۱۱۰	۰.۱۰۳	-۰.۱۷۶°	RWC
							۱	-۱°	-۰.۱۷۳°	۰.۱۸۶°	۰.۱۵۲°	۰.۱۶۷°	۰.۱۵۶°	-۰.۱۱۰	-۰.۱۰۳	۰.۱۷۶°	WSD
						۱	۰.۱۹۸°	-۰.۱۹۸°	۰.۱۷۳°	-۰.۱۸۶°	-۰.۱۵۳°	۰.۱۶۵°	۰.۱۵۵°	-۰.۱۱۲	-۰.۱۰۲	۰.۱۷۵°	RWL
					۱	-۰.۱۸۸°	-۰.۱۹۱°	۰.۱۹۱°	۰.۱۶۷°	-۰.۱۸۰°	-۰.۱۵۱°	-۰.۱۶۱°	-۰.۱۵۱°	۰.۱۰۸	۰.۱۰۳	-۰.۱۶۹°	IWC
				۱	۰.۱۸۹°	-۰.۱۹۱°	-۰.۱۹۵°	۰.۱۹۵°	۰.۱۶۴°	-۰.۱۷۵°	-۰.۱۴۳°	-۰.۱۶۰°	-۰.۱۵۰°	۰.۱۰۸	۰.۱۰۱	-۰.۱۶۸°	LWC
		۱	-۰.۱۹۶°	-۰.۱۷۷°	۰.۱۸۳°	۰.۱۸۷°	-۰.۱۸۷°	۰.۱۵۴°	-۰.۱۶۲°	-۰.۱۳۵°	۰.۱۴۹°	۰.۱۴۰°	-۰.۱۰۸	۰.۱۰۳	۰.۱۵۷°	ELWL	
		۱	۰.۱۹۵°	-۰.۱۹۸°	-۰.۱۸۶°	۰.۱۹۵°	۰.۱۹۶°	-۰.۱۹۶°	-۰.۱۶۴°	۰.۱۷۶°	۰.۱۴۴°	۰.۱۵۹°	۰.۱۴۹°	-۰.۱۰۹	۰.۱۰۰	۰.۱۶۸°	ELWR
	۱	۰.۱۹۹°	۰.۱۹۵°	-۰.۱۹۸°	-۰.۱۸۵°	۰.۱۹۴°	۰.۱۹۵°	-۰.۱۹۵°	۰.۱۶۵°	-۰.۱۷۶°	-۰.۱۴۴°	۰.۱۵۹°	۰.۱۴۹°	-۰.۱۱۰	۰.۱۰۰	۰.۱۶۸°	LWL
۱	۰.۱۹۵°	۰.۱۹۵°	۱°	-۰.۱۹۶°	-۰.۱۷۷°	۰.۱۸۳°	۰.۱۸۷°	-۰.۱۸۷°	-۰.۱۵۴°	۰.۱۶۲°	۰.۱۳۵°	۰.۱۴۹°	۰.۱۴۰°	-۰.۱۰۸	۰.۱۰۳	۰.۱۵۷°	RWP

۳-۵ بررسی نتایج حاصل از بکارگیری الگوریتم رگرسیون بردار پشتیبان



شکل ۸ نمودار مدل SVR برای هسته تابع Linear

بر طبق آنالیز آماری (جدول ۸) اختلافات معنی‌داری میان محتوای رطوبت واقعی اندازه‌گیری شده گیاه در طول ۲۰ روز آزمایشات و رطوبت پیش‌بینی شده توسط SVR برای هر ۴ هسته تابع، مشاهده نشد ($p > 0.05$). لذا با توجه به حداقل بودن میزان این اختلافات برای هسته Linear (۰/۰۱۱۸) می‌توان گفت که عملکرد رگرسیون بردار پشتیبان با استفاده از این هسته به منظور پیش‌بینی رطوبت نسبی گیاه بسیار قابل توجه و مطلوب است. بنابراین نتیجه گرفته شد که این سامانه قادر است با توجه به میزان اختلاف محتوای رطوبت پیش‌بینی شده توسط SVR نسبت به مقدار رطوبت واقعی گیاه در حالت طبیعی (شاداب)، مقدار تقریبی آب مورد نیاز گیاه را اندازه‌گیری کرده و بر اساس آن در راستای بهبود وضعیت گیاه اقدام نماید.

این مطالعه به بررسی توانایی سامانه کنترل هوشمند آبیاری برای پیش‌بینی محتوای رطوبتی گیاه با استفاده از الگوریتم رگرسیون بردار پشتیبانی پرداخته است که نهایتاً براساس این پیش‌بینی کار تشخیص آب مورد نیاز گیاه انجام می‌گیرد. همان طور که پیش از این نیز گفته شد به منظور آموزش این مدل رگرسیونی از ۷۰٪ داده‌ها و برای آزمون از ۳۰٪ آن‌ها استفاده گردید. در نهایت توانایی عملکرد چهار نوع هسته تابع در الگوریتم SVR (Polynomial، Linear، Gaussian و RBF)، با مقایسه ضریب همبستگی (R^2)، میانگین خطای مطلق (MAPE)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، خطای رگرسیون استاندارد (SRE) و مقدار دقت نسبی (RAV) آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۷).

مطابق جدول ۷ نتایج رگرسیون بردار پشتیبانی نشان داد که در تابع این الگوریتم هسته Linear به دلیل برخورداری از بالاترین ضریب همبستگی (۰/۹۵) میان مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده (شکل ۸) و همچنین کمترین مقادیر MAPE (۰/۰۸)، RMSE (۰/۱۰)، SRE (۰/۰۶۳) و RAV (۰/۱۴) نسبت به سایر هسته‌ها به عنوان تابع برتر انتخاب گردید. لازم به ذکر است که در این تحقیق به منظور مقایسه محتوای رطوبت واقعی گیاه نسبت به محتوای رطوبت پیش‌بینی شده توسط رگرسیون بردار پشتیبان، آزمون t-test انجام پذیرفت (جدول ۸).

جدول ۷ نتایج عملکرد چهار هسته مختلف تابع SVR به منظور پیش‌بینی محتوای رطوبت گیاه

RAV	SRE	RMSE	MAPE	R^2	هسته تابع SVR
۰/۲۶	۰/۰۹۱	۰/۱۹	۲۶/۶۳	۰/۸۹	Gaussian
۰/۱۴	۰/۰۶۳	۰/۱۰	۱۴/۰۸	۰/۹۵	Linear
۰/۲۹	۰/۰۹۸	۰/۲۰	۲۹/۱۵	۰/۸۷	RBF
۰/۳۸	۰/۱۷۹	۰/۳۹	۳۸/۴۸	۰/۵۹	Polynomial

جدول ۸ آزمون t-test بین محتوای رطوبت واقعی گیاه و محتوای رطوبت پیش‌بینی شده توسط رگرسیون بردار پشتیبان

P-Value	اختلافات	میانگین محتوای رطوبت پیش‌بینی شده توسط SVR	میانگین محتوای رطوبت واقعی گیاه	هسته تابع SVR
۰/۷۱۱۵ ^{ns}	۰/۰۱۸۷	۰/۵۵۹۹		Gaussian
۰/۸۲۷۵ ^{ns}	۰/۰۱۱۸	۰/۵۵۳۰	۰/۵۴۱۲	Linear
۰/۶۹۸۹ ^{ns}	۰/۰۱۹۴	۰/۵۶۰۶		RBF
۰/۶۲۹۹ ^{ns}	۰/۰۳۰۲	۰/۵۷۱۴		Polynomial

ns: اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ وجود ندارد.

تصویربرداری تا انجام مرحله پردازش تصویر به منظور بررسی و تشخیص نیاز آبی گیاه و همچنین ارسال فرمان مناسب به پمپ تعبیه شده را در مدت زمان ۵۴ ثانیه اجرا نماید.

۴ جمع‌بندی

بخش کشاورزی مصرف‌کننده اصلی آب در کشور است، لذا با صرفه‌جویی در مصرف آب و کنترل شرایط رشد گیاه به صورت همزمان، می‌توان به سطح پایینی از مصرف آب در این شرایط سخت کم آبی دست یافت. بنابراین با توجه به اهمیت مصرف آب در این شرایط ارائه راهکاری مناسب جهت کنترل آبیاری گیاهان ضمن حفظ رشد و عملکرد مناسب آن مورد نیاز می‌باشد. در این پژوهش، به منظور تشخیص نیاز آبی گیاه، تصاویر گیاهان با استفاده از تکنیک پردازش تصویر مورد بررسی قرار گرفت و پس از آن با توجه به نتایج آنالیز آماری دانکن در سطح احتمال ۵٪ و همچنین با در نظر گرفتن نتایج حاصل از آنالیز همبستگی میان محتوای رطوبت واقعی گیاه و ویژگی‌های استخراج شده از تصویر (ویژگی‌های رنگی، بافت و پارامترهای تصویر در حوزه فرکانس)، مناسب‌ترین ویژگی‌ها برای استفاده در الگوریتم رگرسیون بردار پشتیبان انتخاب گردید. سرانجام به منظور پیش‌بینی محتوای رطوبت گیاه مشاهده شد که مدل SVR با کارایی هسته Linear با ضریب همبستگی ۰/۹۵ نسبت به سایر هسته‌ها عملکرد خوبی از خود نشان می‌دهد. بدین ترتیب نتیجه گرفته شد که سامانه خودکار آبیاری طراحی شده قادر است با پیش‌بینی محتوای رطوبت گیاه، میزان پژمردگی آن را اندازه‌گیری و بر اساس آن، نیاز گیاه به آب و همچنین مقدار آب مورد نیاز را تشخیص و نهایتاً در راستای بهبود وضعیت گیاه اقدام نماید؛ ضمناً لازم به ذکر است که انجام تمامی این مراحل در مدت زمان ۵۴ ثانیه صورت می‌پذیرفت.

تشکر و قدردانی

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

مراجع

- [1] Shao H.B., Liang Z.S., Shao M.A., *Changes of some anti-oxidative enzymes under soil water deficits among 10 wheat genotypes at maturation stage*, Colloids Surf. B: Bio. 45: 7-13, 2005.

همانطور که گفته شد در شرایط نگهداری عادی گیاه چمن به ۲/۵ تا ۴ سانتی‌متر مکعب آب در هر هفته نیاز دارد. در نتیجه در ۲۰ روز آزمایش صورت گرفته برای ۱۶ نمونه ۱۹۲ سانتی‌متر مکعب آب مصرف می‌گردید. بعد از آموزش سامانه هوشمند مقدار آب مصرفی برای این ۱۶ نمونه طی ۲۰ روز ۶/۹۷ سانتی‌متر مکعب بدست آمد که علاوه بر کاهش مصرف آب به میزان ۹۳/۴ سانتی‌متر مکعب (کاهش ۴۸/۶٪)، طراوت گیاهان نیز تحت تأثیر قرار نگرفت. در پژوهشی با بررسی مجموعه ویژگی‌های استخراج شده از تصویر گیاه، پیش‌بینی محتوای آب خزہ ساناگوک^۱ توسط شبکه عصبی مصنوعی با حداقل پیش‌بینی مربعات خطا (RMSE)، $10^{-2} \times 2/67$ صورت گرفت. در این تحقیق نشان داده شد که شبکه عصبی پس انتشار^۲ (BPNN) قادر به برقراری یک نوع رابطه غیر خطی بین میزان رطوبت خزہ ساناگوک و مجموع ویژگی‌های استخراج شده از تصویر اخذ شده از این گیاه (ویژگی‌های رنگی، مورفولوژیکی و بافت) می‌باشد [۲۲]. در مطالعه‌ای دیگر به منظور دسته‌بندی علف‌های هرز از ماشین بردار پشتیبان براساس مجموعه تصاویر جمع‌آوری شده از مزرعه به صورت دستی و اتوماتیک استفاده شد. در این تحقیق با استفاده از آزمون ارزیابی متقابل، قابلیت تشخیص الگوریتم ۸۱٪ تشخیص داده شد و دقت الگوریتم دسته‌بندی کننده ماشین بردار پشتیبان برای دو حالت دستی و اتوماتیک به ترتیب ۹۳٪ و ۶۵٪ بدست آمد [۵۱]. Moshou و همکارانش نیز با بکارگیری الگوریتم ماشین بردار پشتیبان موفق به تشخیص گیاهان گندم سالم از گندم‌های تحت تنش گردیدند. شایان ذکر است که این محققین با استفاده از مدل SVR به عملکرد طبقه‌بندی بالای ۹۹٪ دست یافتند [۵۲]. در همین راستا Kurtulmus و همکارانش برای تعیین محل برش کاکل ذرت الگوریتمی را طراحی نمودند که با بکارگیری ماشین بردار پشتیبان نرخ تشخیص صحیح ۸۱/۶٪ گزارش شد [۵۳]. بدین ترتیب همان طور که پیش از این مشاهده شد، مطالعه حاضر با تشخیص رطوبت گیاه چمن به صورت بی-درنگ از طریق بکارگیری الگوریتم رگرسیون بردار پشتیبان با ضریب همبستگی ۰/۹۵ و تأمین آب مورد نیاز گیاه، نسبت به سایر روش‌های طبقه‌بندی که در آن‌ها مقدار خروجی مورد نظر در یک بازه مشخص بدست آورده می‌شود از لحاظ میزان هدر رفت آب متمایز است و مقرون به صرفه‌تر می‌باشد. علاوه بر این سامانه کنترل هوشمند پیشنهادی قادر است تمامی مراحل عملیات آبیاری از مرحله

1. Sunagok

2. Back-Propagation Neural Network

- sustainable greenhouse production*, J. Agric. Meteorol. Japan. 61(1): 15–22, 2005.
- [14] Foucher P., Revillon P., Vigouroux B., Chasseriaux G., *Morphological Image Analysis for the Detection of Water Stress in Potted Forsythia*. *Biosystems Engineering*, 89 (2): 131–138, 2004.
- [15] Garcia-Mateos G., Hernandez-Hernandez J.L., Escarabajal-Henarejos D., Jaen-Terrones S., Molina-Martinez J.M., *Study and comparison of color models for automatic image analysis in irrigation management applications*, *Agricultural Water Management*, 151, 158–66, 2015.
- [16] Osroosh Y., Peters R.T., Campbell C.S., Zhang Q., *Comparison of irrigation automation algorithms for drip-irrigated apple trees*, *Computers and Electronics in Agriculture*, 128, pp. 87–99, 2016.
- [17] Lozoya C., Mendoza C., Aguilar A., Roman A., Castello R., *Sensor-based model driven control strategy for precision irrigation*, *Journal of Sensors*, 2016.
- [18] Goodchild M.S., Kühn K.D., Jenkins M.D., Burek K.J., Button A.J., *A Method for Precision Closed-loop Irrigation Using a Modified PID Control Algorithm*, *Sensors & Transducers*, 188 (5): p. 61. 2015.
- [19] Chikankar P.B., Mehrete D., Das S., *An automatic irrigation system using ZigBee in wireless sensor network*, In *Pervasive Computing (ICPC)*, 2015 International Conference on (pp. 1–5), IEEE, 2015.
- [20] Gao L., Zhang M., Chen G., *An Intelligent Irrigation System Based on Wireless Sensor Network and Fuzzy Control*, *JNW*, 8 (5): pp. 1080–1087, 2013.
- [21] Romero R., Muriel J.L., Garcia I., Munoz de la Pena, D.M., *Research on automatic irrigation control: State of the art and recent results*, *Agricultural water management*, 114, pp. 59–66, 2012.
- [22] Hendrawan Y., Murase H., *Determining an ANN pre-treatment algorithm to predict water content of moss using RGB intensities*, *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 4(4), 95–105, 2011.
- [23] Barrs H.D., *Determination of water deficits in plant tissues*, In: T.T. Kozolovski (Ed.), *Water Deficits and Plant Growth*. Academic Press. 1, 235–368, 1968.
- [24] Clarke J.M., McCaig T.N., *Excised- leaf water retention capability as an indicator of drought resistance of Triticum genotypes*, *Can. J. Plant Sci.* 62, 571–578, 1982.
- [۲] صالحی سلمی، محمد رضا، چمن (شناسایی، کاشت و نگهداری)، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ص ۱۸۸. ۱۳۹۴.
- [3] Wang D., Ramandm M.S., Dowell F.E., *Classification of damaged soybean seeds using near infrared spectroscopy*, *American Society of Agricultural Engineers*, 4(6): 1943–1948, 2002.
- [4] Onyango C.M., *Segmentation of row crop plants from weeds using colour and morphology*, *Computers and Electronics in Agriculture*, 39(3): 141–155, 2003.
- [5] Abdanan Mehdizadeh S., Neves D.P., Tschärke M., Nass I.A., Banhazi T.M., *Image analysis method to evaluate beak and motion of broiler chickens during feeding*, *Computers and electronics in agriculture*, 114: 88–95, 2015.
- [6] Neves D.P., Abdanan Mehdizadeh S., Tschärke M., Naas I.A., Banhazi T.M., *Detection of flock movement and behaviour of broiler chickens at different feeders using image analysis*. *Information Processing in Agriculture*, 2(3): 177–182, 2015.
- [7] Tillett N.D., Hague T., *Computer vision based hoe guidance for cereals*, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 74(3): 225–236, 1999.
- [8] Abdanan Mehdizadeh S., Banhazi T.M., *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, 2015.
- [9] Noda K., Ezakil N., Takizawa H., Mizuno S., Yamamoto S., *Detection of Plant Saplessness with Image Processing*, *SICE ICASE International Joint Conference*, pp. 4856–4860, IEEE, 2006.
- [10] Font L., Farkas I., *Wilting Detection in Greenhouse Plants by Image Processing*, *ISHS Acta Horticulturae* 801: International Symposium on High Technology for Greenhouse System Management, 669–676, 2007.
- [11] Story D., Kacira M., *Design and implementation of a computer vision guided greenhouse crop diagnostics system*, *Machine Vision and Applications*, 26(4): 495–506, 2015.
- [12] Helmer T., Ehret D.L., Bittman S., *CropAssist, an automated system for direct measurement of greenhouse tomato growth and water use*, *Computers and electronics in Agriculture*, 48(3): 198–215, 2005.
- [13] Kacira M., Sase S., Okushima L., Ling P.P., *Plant response based sensing and control strategies in*

- [37] Alonso J., Castanon A.R., Bahamonde A., *Support Vector Regression to predict carcass weight in beef cattle in advance of the slaughter*, Comput. Electron. Agric, 91, 116–120, 2013.
- [38] Blum A., Breeding methods for drought resistance, In: G. Hamlyn, T.J. Flower and B. Jones (eds), *Plant Under Stress*, Cambridge University Press, pp. 197–215, 1992.
- [39] Al-hakimi A., Monneveux P., Nachit M.M., Direct and indirect selection for drought tolerance in alien tetraploid wheat × durum wheat crosses, *Euphytica*, 100: 287–294, 1998.
- [40] Manette A.S., Richard C.J., Carver B.F., Mornhinweg D.W., *Water relations in winter wheat as drought resistance indicators*, Crop Sci. 28: 526–531, 1988.
- [41] Golestani S., Assad M.T., *Evaluation of four screening techniques for drought resistance and their relationship to yield reduction ratio in wheat*, *Euphytica*, 103: 293–299, 1998.
- [42] Al-Dakheel R.J., Osmotic adjustment: A selection criterion for drought tolerance, In: E. Acevedo, A.P. Conesa, P. Monneveux and J.P.A. Srivastava.(eds), *Physiology–Breeding Winter Cereals for Stressed Mediterranean Environments*. Montpellier. France, pp. 337–368, 1991.
- [43] Loss S.P., Siddique K.H.M., *Morphological and physiological traits associated with wheat yield increases in Mediterranean environments*, *Adv. In Agronomy*, 52: 229–276, 1994.
- [44] Haley S.D., Quick J.S., Morgan J.A., *Excised-leaf water status evaluation and associations in field-grown winter wheat*, *Can. J. Plant Sci*, 73: 55–63, 1993.
- [45] Schonfeld M.A., Johnson R.C., Carver B.F., Mornhinweg D.W., *Water relations in winter wheat as drought resistance indicators*. Crop Sci, 28: 526–531, 1988.
- [46] Wang H., Clarke J.M., *Relationship between excised-leaf water loss and stomatal frequency in wheat*, *Can. J. Plant Sci*, 73: 93–99, 1993.
- [47] Yang R.C., Jana S., Clarke J.M., *Phenotypic diversity and associations of some potentially drought responsive characters in durum wheat*, *Crop Sci*, 31: 1484–1491, 1991.
- [48] Erdem Y., Shirali S., Erdem T., Kenar D., *Determination of crop water stress index for irrigation*
- [25] Manette A.S., Richard C.J., Carver B.F., Mornhinweg D.W., *Water relations in winter wheat as drought resistance indicators*, *Crop Sci*. 28, 526–531, 1988.
- [26] Xing H., Tan L., An L., Zhao Z., Wang S., Zhang C., *Evidence for the involvement of nitric oxide and reactive oxygen species in osmotic stress tolerance of wheat seedlings: Inverse correlation between leaf abscisic acid accumulation and leaf water loss*, *Plant Growth Regul*, 42, 61–68, 2004.
- [27] Gonzalez R.C., Woods R.E., Eddins S.L., *Digital image processing using MATLAB*, Pearson Education India, 2004.
- [28] Sun Y., Cheng H., Cheng Q., Zhou H., Li M., Fan Y., Jones S.B., *A smart-vision algorithm for counting whiteflies and thrips on sticky traps using two-dimensional Fourier transform spectrum*, *Biosystems Engineering*, 153, 82–88, 2017.
- [29] Qian K., *Two-dimensional windowed Fourier transform for fringe pattern analysis: Principles, applications and implementations*, *Optics and Lasers in Engineering*, 45, 304e317, 2007.
- [30] Majumdar S., Jayas D.S., *Classification of cereal grains using machine vision: I. Morphology models*. *Transactions of the ASAE*, 43 (6): 1669–1675, 2000a.
- [۳۱] رحمانی‌زاده، آرش و سالمی، موسی، پردازش تصاویر رقمی با نرم افزار متلب، انتشارات عمیدی، تبریز، ص ۲۴۳، ۱۳۸۸.
- [32] Hendrawan Y., Murase H., *Precision irrigation for sunagoke moss production using intelligent image analysis*, *Environment Control in Biology*, 47(1): 21–36, 2009.
- [33] Dutta M.K., Sengar N., Minhas N., Sarkar B., Goon A., Banerjee K., *Image processing based classification of grapes after pesticide exposure*, *LWT–Food Science and Technology*, 72, 368–376, 2016.
- [34] Vapnik V., *The nature of statistical learning theory*, Springer Science & Business Media, P. 279, 2013.
- [35] Amraei S., Abdanan Mehdizadeh S., Salari S., *Application of computer vision and support vector regression for weight prediction of live broiler chicken*, *Engineering in Agriculture, Environment and Food* (Accepted for publication), 2017.
- [36] Abdanan Mehdizadeh S., Sandell G., Golpour A., Karimi Torshizi M.A., *Early determination of Pharaoh Quail sex after hatching using machine vision*, *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 1, 105–114, 2014.



مریم ندفزاده مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی مکانیک بیوسیستم در سال ۱۳۹۳ از دانشگاه شهید چمران اهواز دریافت کرد. سپس ایشان مدرک کارشناسی ارشد خود را در همان رشته گرایش طراحی و ساخت در سال ۱۳۹۶ از دانشگاه کشاورزی

و منابع طبیعی رامین خوزستان اخذ نمود. علاقه‌مندی‌های علمی ایشان بینایی‌ماشین، پردازش تصاویر دیجیتال و سیگنال‌ها در کشاورزی است.



سامان آبدانان مهدی‌زاده مدرک کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۷ در رشته مهندسی مکانیک بیوسیستم از دانشگاه شهید چمران اهواز و تربیت مدرس تهران دریافت کرد. در سال ۱۳۹۲ مدرک دکتری خود را در

گرایش مکترونیک و سامانه‌های هوشمند در کشاورزی از دانشگاه تربیت مدرس تهران اخذ نمود. ایشان از سال ۱۳۹۲ تاکنون عضو هیئت علمی در دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان است و به عنوان محقق مدعو در دانشگاه کوینزلند استرالیا، دانشگاه ایالتی کمپیناس برزیل و دانشگاه پوترا مالزی فعالیت می‌کند. علاقه‌مندی‌های علمی ایشان پردازش سیگنال‌ها و تصاویر دیجیتال در کشاورزی است.



محمد رضا صالحی سلمی مدرک کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۷ در رشته مهندسی باغبانی از دانشگاه صنعتی اصفهان و شیراز دریافت کرد. در سال ۱۳۹۱ مدرک دکتری خود را در گرایش گیاهان زینتی از دانشگاه

شیراز اخذ نمود. ایشان از سال ۱۳۹۱ تاکنون عضو هیئت علمی در دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان است. علاقه‌مندی‌های علمی ایشان فیزیولوژی تنش در گیاهان زینتی است.

scheduling of Bean (Phaseolus vulgaris L.), Journal Agriculture and Forest, 30, 195-202, 2006.

- [49] Altinkut A., Kazan K., Ipekci Z., Gozukirmizi G., *Tolerance to paraquat is correlated with the associated with water stress tolerance in segregation F2 populations of barley and wheat*, Euphytica, 121, 81-86, 2001.
- [50] Gratani L., Varone L., *Leaf key traits of Erica arborea L., Erica multifolia L. and Rosmarinus officinalis L. Co-occurring in Mediter ranean maquis*, Flora, 199, 58-69, 2004.

[۵۱] نصرتی، مجتبی و رئوفت، محمد حسین، طراحی و ساخت سامانه هوشمند تشخیص و تمایز علف هرز با استفاده از ماشین بردار پشتیبان، اولین کنفرانس ملی راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار در بخش‌های کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست، صص ۸-۱، ۱۳۹۱.

- [52] Moshou D., Pantazi X.E., Kateris D., Gravalos I., *Water stress detection based on optical multisensor fusion with a least squares support vector machine classifier*, Biosystems Engineering, 117, 15-22, 2014.
- [53] Kurtulmus F., Lee W.S., Vardar A., *Immature peach detection in colour images acquired in natural illumination conditions using statistic classifiers and neural network*, Precision Agriculture, 15, 57-79, 2014.