

## طراحی و ساخت سامانه برخط به منظور پایش وضعیت آبی گل لیلیوم به کمک بینایی ماشین

حدیث بی‌آبی، سامان آبدانان مهدی‌زاده، هادی اورک و محمدرضا صالحی سلمی

### چکیده

آب نقش مهمی بر رشد و سلامت گیاهان دارد. تامین این ماده حیاتی نه تنها بر عملکرد محصول کشاورزی، بلکه بر کیفیت و کنترل فرآیندهای فیزیولوژیکی آن‌ها تاثیر می‌گذارد. بنابراین کمبود آب سبب اثرات منفی در رشد و نمو گیاهان می‌شود. در این پژوهش با هدف تشخیص نیاز آبی گیاه، مجموعه‌ای از تصاویر گیاه لیلیوم تحت شرایط تنش خشکی جهت استخراج ویژگی‌های رنگی و مورفولوژی بررسی و بر اساس این ویژگی سامانه هوشمندی به منظور تشخیص نیاز آبی گیاه طراحی و ساخته شد. پس از بررسی پارامترهای استخراج شده از تصاویر با توجه به نتایج آنالیز آماری در سطح احتمال ۵٪ و روش انتخاب ویژگی پی‌درپی پیشرو مناسب‌ترین ویژگی‌ها به منظور پیش‌بینی محتوای رطوبت گیاه انتخاب و عمل طبقه‌بندی با ماشین بردار پشتیبان (SVM) با کرنل‌های مختلف صورت پذیرفت. در نهایت نشان داده شد که دقت طبقه‌بند برای سه کرنل خطی، سیگموئید و RBF به ترتیب با ۶، ۹ و ۹ ویژگی برابر با ۸۱.۱۹، ۸۱.۰۴ و ۸۳.۱۲ درصد بود. بدین ترتیب نتایج نشان داد که سامانه پیشنهاد شده از توانایی مناسبی جهت تشخیص سطوح تنش و کنترل میزان آب مورد نیاز برخوردار است.

### کلید واژه‌ها

پردازش تصاویر دیجیتال، سامانه هوشمند آبیاری، طبقه‌بند بردار پشتیبان

### ۱ مقدمه

بخش کشاورزی به شمار می‌رود. لذا استفاده از روش‌های مدیریت صحیح آبیاری در این بخش می‌تواند به عنوان یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین راهکارهای مقابله با بحران آب محسوب شود. بنابراین دستیابی به توسعه و خودکفایی در زمینه کشاورزی بدون جلوگیری از هدر رفت آب مورد نیاز برای آبیاری و بهره‌مندی از تکنولوژی‌های جدید امکان‌پذیر نیست. طی چند دهه‌ی گذشته با گسترش روزافزون روش‌های مختلف اخذ اطلاعات، استفاده از پویشگرها، دوربین‌های دیجیتال و پردازش تصویر کاربرد فراوانی یافته است. با توجه به این موضوع کاشت و نگهداری بسیاری از گیاهان از جمله گل لیلیوم (*lilium longiflorum*) به دلیل نیاز آبی پی‌در پی اما به مقدار کم، مورد توجه قرار گرفته است. لیلیوم یکی از گیاهان وحشی بومی است که به خانواده سوسن‌ها (*lilia*)

امروزه با توجه به رشد جمعیت، افزایش نیاز به مواد غذایی و همچنین محدودیت منابع آب به خصوص در مناطق گرم و خشک جهان (مانند کشور ایران)، مسأله‌ی بحران آب به یکی از عمده‌ترین مسائل در این مناطق تبدیل شده است؛ همچنین این مسأله از جمله عوامل اصلی محدود کننده توسعه فعالیت‌های اقتصادی در

این مقاله در خردادماه ۱۳۹۷ دریافت، در مهرماه ۱۳۹۹ بازنگری و در اسفندماه همان سال پذیرفته شد.

دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

{hadis.biaby,saman.abdanan,hadiorak,mrsalehisalmi}@gmail.com

نویسنده مسئول: سامان آبدانان مهدی‌زاده

DOR: 20.1001.1.23831197.1400.8.4.7.7

فضای رنگی HSI استفاده کردند. بر اساس نتایج مشخص گردید که همبستگی بالایی ( $R^2 = 0.9483$ ) بین زاویه قرارگیری برگ و کلروفیل موجود در گیاه وجود دارد [۱۳]. Steinmetz و همکارانش نیز برای توصیف کیفیت گل سرخ بریده شده از این پارامترهای رنگی و مورفولوژیکی استفاده نمودند [۱۴].

در حقیقت هدف اصلی آبیاری فراهم ساختن آب کافی برای گیاه به منظور بدست آوردن محصول مطلوب و اقتصادی می باشد که در این شرایط بحران آب بهترین گزینه افزایش راندمان آبیاری، تبدیل روش های آبیاری سطحی به سیستم های آبیاری هوشمند می باشد. از مهم ترین مزیت های این سیستم ها، صرفه جویی در مصرف آب است. در نتیجه با توجه به توانایی روش پردازش تصویر در تشخیص حالت های مختلف گیاه هدف از این مطالعه طراحی یک سامانه کنترل هوشمند است که به صورت خودکار نیاز آبی گیاه لیلیوم را تشخیص داده و سپس عملیات آبیاری را در جهت رفع نیاز آبی آن اجرا نماید.

## ۲ مواد و روش ها

تمامی آزمایشات این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان طی زمستان ۱۳۹۶ انجام پذیرفت.

### ۲-۱ جمع آوری نمونه ها

در این مطالعه تعداد ۸۰ عدد گل لیلیوم مورد بررسی قرار گرفت. پیازچه های این نمونه ها در گلدان هایی با شرایط خاک یکسان رشد داده شد. قطر گلدان ها ۲۰ سانتی متر و دارای ارتفاع ۳۰ سانتی متر بود. آزمایش در گلخانه ای با دمای ۱۵/۲۷ درجه سلسیوس روزانه/شبانه و رطوبت نسبی ۷۰-۷۵ درصد انجام پذیرفت. نمونه ها به چهار نوع مختلف تنش خشکی تقسیم شدند که شامل: ۱۰۰ FC % (تیمار شاهد)، ۷۵ FC %، ۵۰ FC % و ۲۵ FC % بود.

### ۲-۲ سامانه هوشمند تشخیص آب مورد نیاز گیاه

سامانه مورد نظر (شکل ۱) شامل یک دوربین دیجیتالی (لاجیتک، مدل C930e)، دو عدد پروژکتور LEDw ۵۰ جهت نورپردازی (زاویه ی قرارگیری لامپ ها ۴۵ درجه نسبت به سطح عکس برداری در نظر گرفته شد تا هم پوشانی سایه ها حذف گردد، یک سکوی متحرک عکس برداری به شعاع ۱۲۰ سانتی متر از جنس فایبرگلاس، موتورگیربکس ۱۲DC ولت ۱۰RPM (ZHENG)، مدل ZGX50R، چین)، پمپ آب (۱۲ ولت ۳/۶ وات، مدل TOL، چین) و شیر برقی مورد نظر (۱۲ ولت، مدل E247، چین)، مخزنی با ظرفیت ۱ لیتر و یک لپ تاپ بود. ۸ نقطه توقف بر روی صفحه دوار (محل قرارگیری گلدان ها) قرار داده شده است. برای تشخیص موقعیت ها از سنسور اثر هال (مدل UGN3144، چین) استفاده گردید. این سنسور به میدان مغناطیسی حساس است و خروجی آن به محض قرارگیری در مقابل آهنربا فعال می گردد. یک

تعلق دارد و به صورت گلدانی، شاخه بریده و باغچه ای استفاده می شود. این گل دارای مزایای بهداشتی و درمانی بسیاری از قبیل: تنظیم ضربان قلب، درمان سوختگی و جلوگیری از تشکیل بافت اسکار، درمان بی خوابی، افسردگی، سرفه، خشکی گلو و همچنین درمان جذام و سکنه مغزی می باشد [۱]. در حال حاضر گل لیلیوم با در اختیار داشتن رتبه چهارم در زمره پر فروش ترین گل های جهان قرار دارد و در ایران نیز جزء گل های اقتصادی، گران قیمت و لوکس بوده و بسیار مورد توجه است.

در سال های گذشته استفاده از تکنیک های تجزیه و تحلیل تصویر برای ارزیابی کیفیت گیاهان منجر به مطالعات متنوعی شده است [۲] تا [۶].

به طور عمده هدف از این مطالعات، تعیین یک رابطه میان روش بینایی مصنوعی با سایر ویژگی های گیاهانی است که تحت تنش های مختلف آب قرار می گیرند؛ به عنوان مثال در همین راستا سامانه کنترل هوشمند تعیین آب مورد نیاز گیاهان گلخانه ای به کمک بینایی ماشین توسط ندافزاده و همکاران، طراحی و توسعه یافت؛ در این پژوهش نشان داده شد که سامانه خودکار آبیاری طراحی شده قادر است تا با بررسی پارامترهای رنگی و مورفولوژیکی گیاه حسن یوسف، میزان پژمردگی را اندازه گیری و بر اساس آن، نیاز گیاه به آب را تشخیص و نهایتاً در راستای بهبود وضعیت گیاه اقدام نماید. این سامانه خودکار آبیاری تشخیص نیاز آبی گیاه را به ترتیب با صحت، حساسیت، تشخیص و دقت ۹۴٪، ۹۶٪ و ۹۵٪ انجام داد [۷].

به طور کلی می توان گفت هنگامی که نیاز آبی گیاهان تحت تنش آبی تأمین نشود، گیاه دچار پوسیدگی و خم شدگی شده و به دلیل بسته شدن روزنه های آن جهت حفظ رطوبت گیاه، عمل فتوسنتز کاهش یافته و برگ ها ممکن است دچار پژمردگی شوند [۸]. این میزان پژمردگی با توجه به مواردی از قبیل سن گیاه، برگ، فاصله دوربین تا گیاه، وضوح دوربین، زمان حصول اطلاعات و پارامترهای محیطی تغییر پیدا می کند [۲]. روش های بسیاری برای تشخیص تنش آبی در گیاهان با استفاده از پردازش تصویر توسعه یافته است که از آن جمله می توان به شناسایی برگچه های محرک<sup>۱</sup> سویا [۹]، بررسی رأس برگ و تغییر شیب آن و تجزیه و تحلیل تصویر کامل پوشش تاج<sup>۲</sup> گیاه [۱۰]، شاخص طیفی [۱۱]، ویژگی های مورفولوژی [۶] و اطلاعات رنگی [۱۲] اشاره نمود. Ahmad and Reid، با استفاده از اطلاعات رنگ، سطح تنش ها را با توجه به کمبود آب و نیتروژن تعیین کردند [۱۲]. در پژوهشی Zhang و همکاران بنیه<sup>۳</sup> گیاه پنبه را با کمک پردازش تصویر مورد ارزیابی قرار دادند. به منظور پیش بینی کلروفیل از اندازه گیری زاویه برگ و پارامترهای رنگی H، I و S از

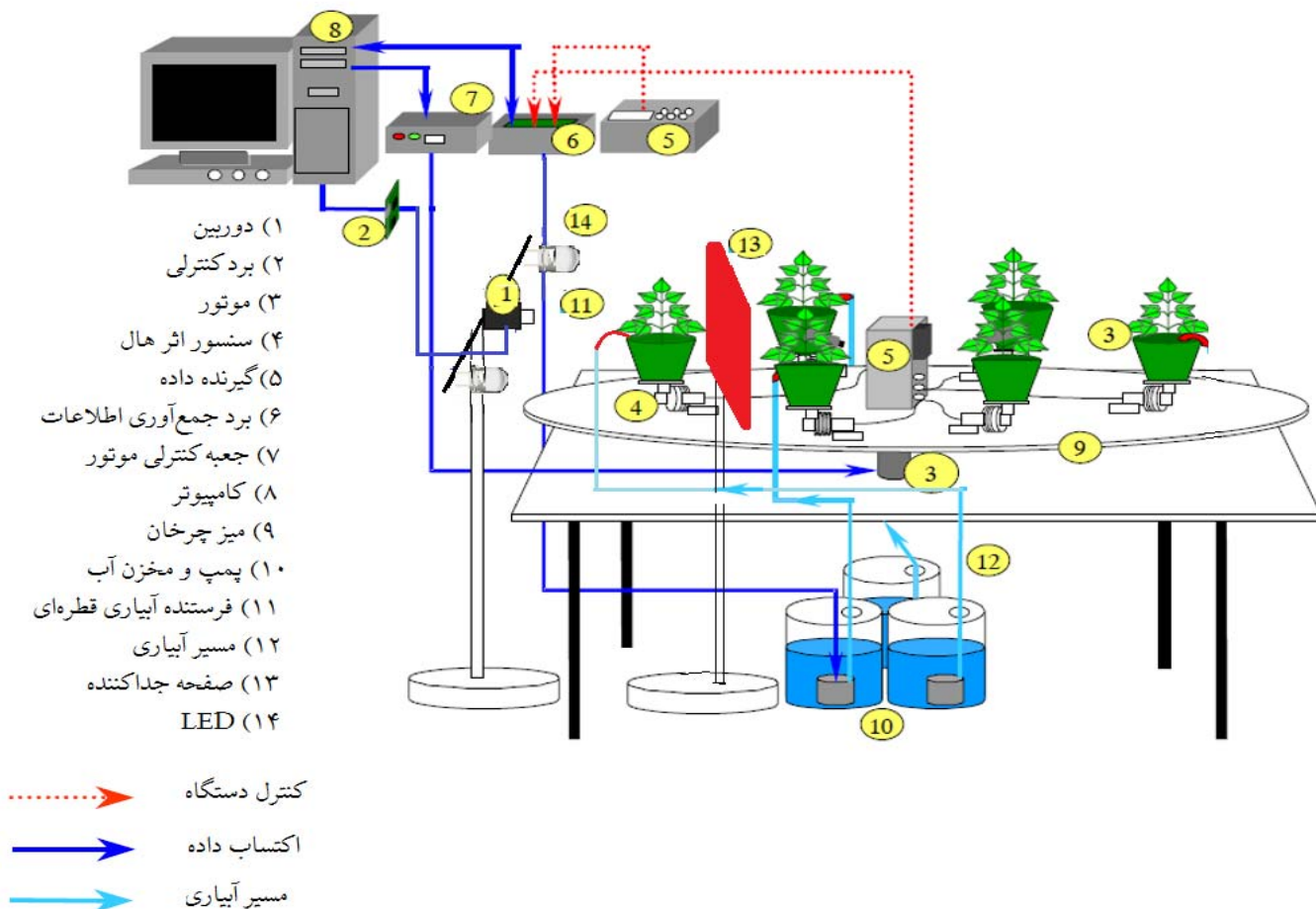
1- Leaflet movement

2-Canopy

3. vigor

فضای گلخانه در ساعتی مشخصی (۱۰ تا ۱۲) از روز طی مدت آزمایشات به صورت یک روز در میان گرفته شدند. تصویر اخذ شده در فضای رنگی RGB و با قدرت تفکیک  $۸۴۰ \times ۱۰۲۴$  اخذ شد؛ به منظور جداسازی بهتر گیاه از پس‌زمینه از یک صفحه جدا کننده استفاده شد و در ادامه پس از انتقال تصاویر به رایانه، با استفاده از نرم‌افزار Matlab 2016a پردازش تصویر به صورت برخط انجام می‌پذیرد که شرح آن در ذیل خواهد آمد.

عدد آهنربا به عنوان شاخص بروی صفحه دوار نصب است که با چرخش صفحه و عبور آهنربا از روی سنسور خروجی آن فعال گردیده و برد کنترلر موقعیت صفحه را نمایش می‌دهد. سامانه طراحی شده توانایی عملکرد به دو صورت زمان‌بندی شده و تشخیص بر اساس ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر را دارد. نحوه قرارگیری دوربین به این صورت بود که دوربین در فاصله ثابت ۵۰ سانتی‌متر جهت ارزیابی ساقه و برگ‌های متصل به آن در کنار قرار داده شد. بدین ترتیب تصاویر تحت شرایط نور ثابت در



شکل ۱ شماتیک سامانه هوشمند تشخیص آب مورد نیاز گیاه

$$g(x, y) = \frac{f(x, y) - f_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}} \times 2^{bpp} \quad (1)$$

که در این رابطه  $f(x, y)$  تصویر اصلی،  $f_{\min}$  کمینه شدت،  $f_{\max}$  بیشینه شدت،  $bpp$  تعداد بیت‌های استفاده شده برای نمایش (۸) بیت در هر کانال رنگی) و  $g(x, y)$  تصویر نهایی بعد از گسترش هیستوگرام.

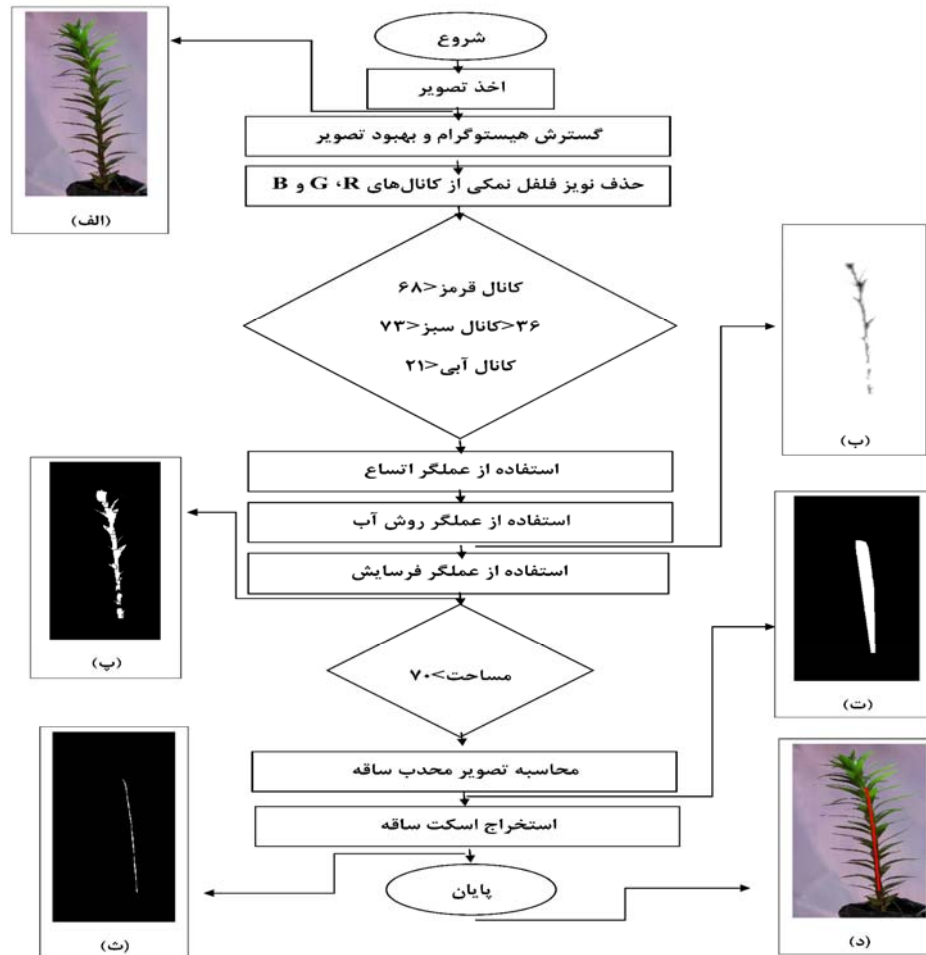
به منظور رفع نیاز آبی گیاه، پس از طبقه‌بندی گیاه و تشخیص نیاز آبی گیاه‌ها تحت تنش با توجه به مشخص بودن میزان دبی پمپ در الگوریتم سامانه پمپ به میزان مشخصی روشن شده و میزان آب متناسب با FC های مختلف برای گیاه تامین می‌شود.

## ۲-۳ پیش‌پردازش و پردازش تصویر

به منظور افزایش وضوح و درجه تباین تصاویر اخذ شده، هیستوگرام هر کانال رنگی تصویر به کمک رابطه ۱ گسترش یافت [۸]:

کانال‌های R، G و B ساقه گیاه از پس‌زمینه جدا گردید. به دلیل تشابه رنگی بین ساقه و برگ‌ها، قسمت‌هایی از ساقه به اشتباه حذف شدند که می‌بایست این نواحی در تصویر بازسازی شوند. شکل (۲) فلورچارت جداسازی ساقه از پس‌زمینه را نشان می‌دهد. جزئیات این عملیات در بخش بعدی (استخراج ساقه) آمده است.

سپس نویزهای فلفل نمکی موجود در هر کدام از کانال‌های تصویر (کانال‌های R، G و B) با استفاده از فیلتر میانه بدون آسیب زدن به جزئیات لبه‌ها حذف گردیدند [۱۵]. سپس با دانستن این موضوع که اگر نیاز آبی گیاهان تحت تنش خشکی تأمین نشود، گیاه دچار پوسیدگی و خم‌شدگی می‌شود [۸]، ساقه گل لیلیوم مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور ابتدا با آستانه‌گذاری بر روی



شکل ۲ فلورچارت جداسازی ساقه از پس‌زمینه

(شکل ۳ الف). به این منظور از عملگر اتساع<sup>۱</sup> برای بازسازی این نواحی و عملگر فرسایش<sup>۲</sup> و روش آب‌پخشان<sup>۳</sup> برای حذف بخش‌های ناخواسته استفاده گردید [۱۶]. در روش آب پخشان تصویر به صورت لایه‌های توپولوژی در نظر گرفته می‌شود که در آن

## ۲-۴ استخراج ساقه

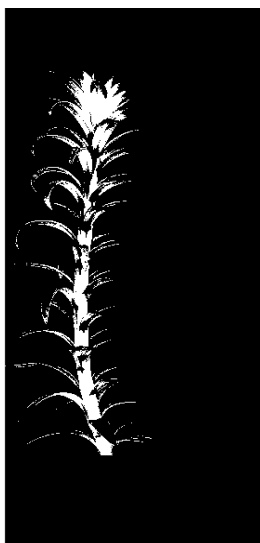
بعد از آستانه‌گذاری بر روی کانال‌های R، G و B ساقه، عمل جداسازی این بخش از گیاه از پس‌زمینه صورت پذیرفت؛ اما به دلیل تشابه رنگی بین ساقه و برگ‌ها، قسمت‌هایی از ساقه به اشتباه حذف و بخش‌هایی از برگ نیز در این آستانه‌گذاری باقی‌ماندند

- 1-Dilation
- 2-Erosion
- 3-Watershed

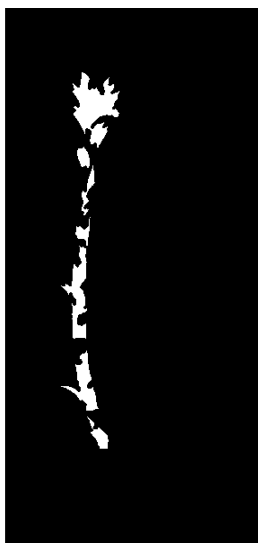
(شکل ۳ ب). اما همانطور که در شکل ۳ ب مشخص است همچنان ساقه به صورت کامل و پیوسته نبوده بنابراین تشخیص و بدست آوردن نقاط ابتدایی و انتهایی ساقه اصلی و همچنین انحنای آن در این حالت امکان‌پذیر نمی‌باشد. برای حل این مشخص تصویر محدب ساقه استخراج گردید. تصویر محدب کوچکترین چند ضلعی محدبی است که توانایی پوشش تمامی ناحیه شی موجود در پیش‌زمینه را داشته باشد. تصویر محدب یک تصویر باینری پیوسته و بدون شاخ و برگ است که استخراج اسکلت تصویر را بسیار راحت می‌سازد. بدین منظور الگوریتم جست‌وجویی برای یافتن نقاط انتهایی در ۴ گوشه گیاه (نقاط بالا، چپ، پایین و راست تصویر) توسعه داده شد (شکل ۳ پ). سپس نقاط بدست آمده بهم متصل، شکل بازسازی و قسمت‌های خالی آن پر گردید (شکل ۳ ت). با استفاده از تصویر محدب ساقه، بعد از تعیین اسکلت تصویر استخراج (شکل ۳ ث) برگ‌های اضافی موجود در تصویر حذف و ساقه اصلی جدا گردید (شکل ۳ ج).

مقادیر سطوح خاکستری، میزان بلندی (دره و قله) را نشان داده و نواحی همگن در آن متناظر با حوزه‌های نسبتاً مسطحی هستند که توسط لبه‌های شیب‌داری محصور شده‌اند. در الگوریتم آبریز از سطح صفر (مقادیر مینیمم‌ها در سطوح خاکستری) شروع شده و به تدریج نواحی همگن را پر خواهد کرد سپس با ادامه یافتن روند آبریزی و بالا آمدن سطح آب به تدریج حوزه‌های آبریز (نواحی همگن) تشکیل می‌شود. این حوزه‌ها به تدریج افزایش یافته و در نهایت به جایی خواهد رسید که ممکن است آب دو حوزه یا ناحیه همگن مختلف با یکدیگر ادغام شوند. در این لحظه الگوریتم یک سد ایجاد کرده تا از اتصال حوزه‌های (نواحی همگن تشکیل‌شده) مختلف به یکدیگر جلوگیری کند. در نهایت با رسیدن سطح آب به بیشترین مقدار خود، مجموعه حوزه‌های آبریز و سدهای ایجادشده قطعه‌بندی آب‌پخش‌شان را تشکیل داده که همان ساقه و بخشی از برگ‌های موجود می‌باشد [۲۷]. شایان ذکر می‌باشد که برای بکارگیری عملگر اتساع و فرسایش از ماتریس همسایگی  $3 \times 3$  استفاده گردید.

پس از جداسازی برگ‌ها از ساقه با فیلترگذاری بر روی مساحت (۷۰ پیکسل مربع) برگ‌ها از تصویر حذف شدند. فیلترگذاری بر روی تصویر یا کثودگی ناحیه سبب حذف نویزهای موجود در تصویر و مساحت‌های کوچک می‌گردد



(الف)



(ب)



(پ)



شکل ۳ مراحل استخراج ساقه

بعد از برآزش توابع چندجمله‌ای درجه اول و درجه دوم به ترتیب برای ویژگی‌های زاویه قرارگیری (رابطه ۲) و انحنای ساقه (رابطه ۳)، ویژگی مربوط به هر قسمت محاسبه و در نهایت میانگین‌گیری صورت گرفت (شکل ۴ د).

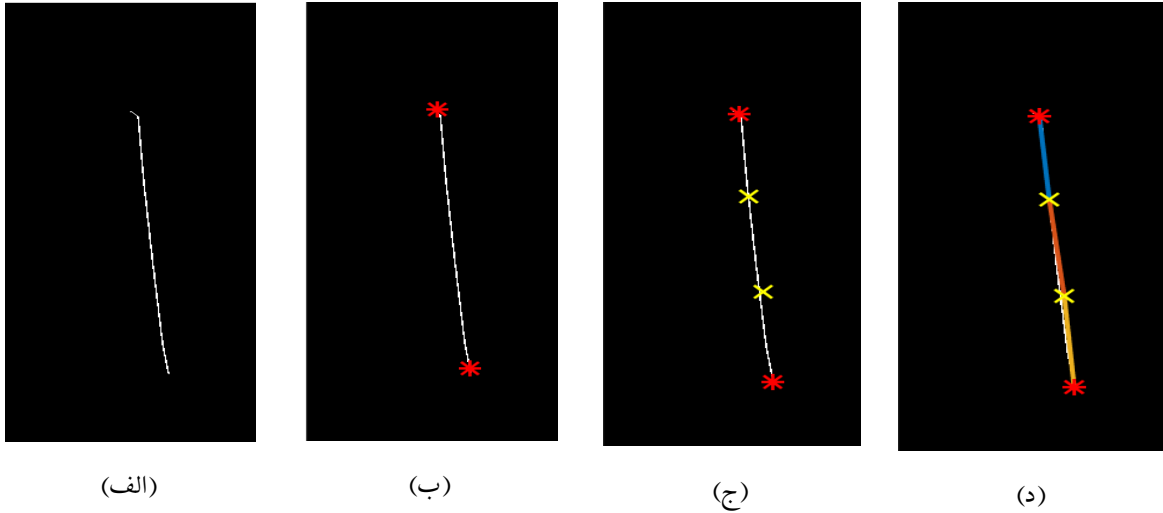
$$\theta = \frac{\pi}{2} - \tan^{-1}\left(\frac{dy_1}{dx}\right) \quad (2)$$

$$\rho = \frac{d^2y_2/dx^2}{\left(1 + \left(\frac{dy_2}{dx}\right)^2\right)^{3/2}} \quad (3)$$

که در این روابط  $\theta$  زاویه قرارگیری ساقه نسبت به محور  $y$ ،  $\rho$  انحنای،  $\frac{dy_1}{dx}$  مشتق مرتبه اول تابع چند جمله‌ای درجه یک،  $\frac{d^2y_2}{dx^2}$  مشتق مرتبه است.

پس از جداسازی ساقه از پس‌زمینه ویژگی‌های طول، زاویه قرارگیری و انحنای ساقه به عنوان پارامترهای ارزیابی تنش خشکی و طراوت گیاه، استخراج گردیدند. بدین منظور با این فرض که تنش آبی باعث خم‌شدگی قسمت‌های مختلف ساقه به میزان متفاوت می‌شود، طول ساقه به سه قسمت تقسیم گردید؛ سپس، زاویه و انحنای هر قسمت محاسبه و میانگین این سه بخش به عنوان ویژگی مورفولوژیکی ذخیره شد. برای استخراج سه ویژگی ذکر شده ابتدا اسکلت ساقه در تصاویر، بدست آمد (شکل ۴ الف). سپس نقاط ابتدایی و انتهایی اسکلت در تصویر محاسبه گردید (شکل ۴ ب). در الگوریتم جست‌وجویی تعداد یک‌ها در تصویر باینری برای تعیین طول ساقه محاسبه و دو نقطه با فواصل یکسان بر روی آن قرار داده شد (شکل ۴ ج). با در نظر گرفتن این حالت، طول هر کدام از نمونه‌ها به سه قسمت مساوی تقسیم و

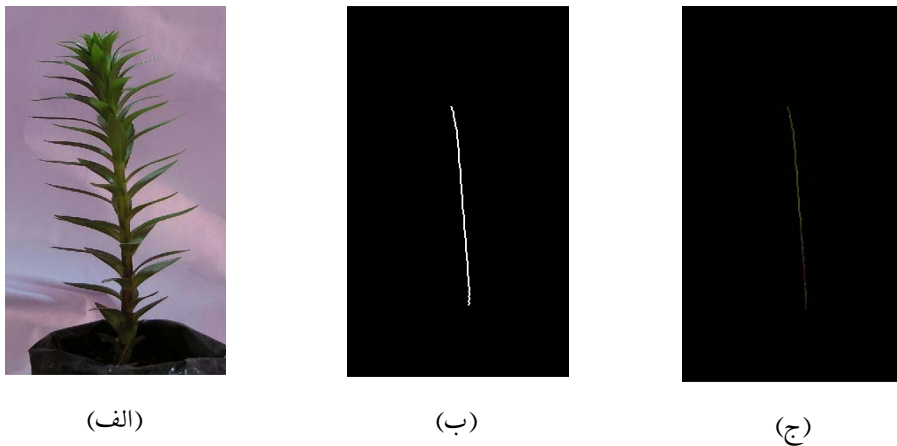




شکل ۴ فرایند تقسیم اسکلت ساقه به منظور استخراج زاویه و شعاع انحنا در سه بخش از ساقه

(شکل ۵ب) استفاده گردید. تصویر حاصل (شکل ۵ج) نماینده تغییرات رنگ در طول ساقه می‌باشد. نهایتاً به منظور استخراج میانگین کانال‌های رنگی، تصاویر RGB با اعمال تبدیل مناسب به فضاهاى رنگی HSV و Lab منتقل شده و ویژگی‌های رنگی در امتداد محور اصلی ساقه محاسبه گردیدند.

تنش‌های خشکی وارد به گیاه باعث ایجاد تغییرات در شکل و رنگ گیاه می‌گردد [۷-۱۲ و ۱۴-۱۹] به منظور بررسی تغییرات رنگی، نه ویژگی رنگی شامل:  $L, a, b, S, H, V, R, G, B$  از فضاهاى رنگی Lab، HSV و RGB از ساقه و برگ و تاج گیاه لیلیوم استخراج گردید. به منظور استخراج ویژگی‌های رنگی ساقه، از ضرب تصویر اصلی (شکل ۵الف) در اسکلت بهبود یافته



شکل ۵ استخراج رنگ در امتداد محور اصلی نمونه: (الف) تصویر اصلی، (ب) اسکلت ساقه و (ج) حاصل ضرب (الف) در (ب)

دارد. در مطالعه جاری، از طبقه بردار پشتیبان (SVM<sup>۸</sup>) به منظور طبقه‌بندی استفاده شد. SVM یک روشی برای آموزش چندجمله‌ای‌ها، RBF<sup>۹</sup> و یا طبقه‌بند ادراک چند لایه است. SVM مشکل دسته‌بندی دوتایی را با یافتن حداکثر فاصله صفحه‌های جداکننده بین گروه‌های مختلف حل می‌کند. در صورتی که داده‌های ورودی به صورت خطی جدا نشوند، SVM در ابتدا داده‌ها را به یک فضای ویژگی با ابعاد بزرگ‌تر منتقل کرده و سپس داده‌ها با حداکثر فاصله صفحه جداکننده<sup>۱۰</sup> طبقه‌بندی می‌شوند. پس از انتقال داده‌ها و طراحی فضای ویژگی، SVM، در واقع، الگوریتمی است صفحه جداکننده‌ای به صورت بهینه ایجاد می‌کند [۲۱].

قبل از ایجاد طبقه‌بند SVM، نیاز است که یک تابع کرنل مناسب انتخاب شود. توابع پرکاربرد کرنل به ترتیب عبارتند از: تابع کرنل چندجمله‌ای (خطی)، تابع کرنل سیگموئیدی<sup>۱۱</sup> و کرنل RBF. در این مطالعه از هر سه تابع استفاده گردید (روابط ۴ تا ۷). در ضمن ۷۰ درصد داده‌ها (۲۱۰ عدد) برای آموزش طبقه‌بند و ۳۰ درصد آن‌ها (۹۰ عدد) به منظور آزمون طبقه‌بند به صورت تصادفی مورد استفاده قرار گرفتند.

$$K(X_i, X_j) = X_i \cdot X_j \quad (۴)$$

$$K(X_i, X_j) = (C + X_i \cdot X_j)^d \quad (۵)$$

$$K(X_i, X_j) = \tanh(C + X_i \cdot X_j) \quad (۶)$$

$$K(X_i, X_j) = \exp\left\{-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{\sigma^2}\right\} \quad (۷)$$

### ۳ نتایج و بحث

در این پژوهش ابتدا تصاویر اخذ شده از وضعیت گیاه در چهار سطح تنش در طول مدت آزمایش مورد پردازش قرار گرفته و با جداسازی قسمت مورد نظر از سایر قسمت‌ها ویژگی‌های یاد شده استخراج و تصاویر تجزیه و تحلیل شدند.

### ۳-۱ نتایج حاصل از استخراج اسکلت ساقه با استفاده

#### از پردازش تصویر

استخراج اسکلت ساقه، به دلیل وجود برگ‌های زیاد در امتداد ساقه این عمل را دشوار می‌سازد (شکل ۷ الف). به‌منظور حذف برگ‌ها از روش آب پخشان مطابق شکل ۷ ب استفاده شد. این روش با استفاده از الگوی بارانی و غرقه‌سازی، نواحی یکنواخت را جداسازی

به منظور محاسبه ویژگی‌های رنگی برگ‌ها ابتدا تصویر ساقه از تصویر باینری گیاه لیلیوم کم شد و سپس با اعمال عملگر and میان تصویر اصلی و تصویر باینری ساقه برگ‌ها از تصویر اصلی جدا و ویژگی‌های رنگی محاسبه گردیدند (شکل ۶).



شکل ۶ نمونه‌ای از استخراج برگ‌ها از پس‌زمینه

### ۲-۵ انتخاب ویژگی

انتخاب ویژگی‌های موثر از میان کل خصوصیات استخراجی از نمونه، در مرحله طبقه‌بندی بسیار مهم می‌باشد. در حقیقت در صورتی که کل مراحل تصویربرداری، پیش پردازش، پس پردازش و استخراج خصوصیات با دقت بالایی انجام شده باشد، با انتخاب یک روش ناکارآمد به منظور انتخاب ویژگی‌های موثر، کارایی سیستم بینایی ماشین کاهش پیدا خواهد کرد. روش‌های مختلفی جهت انتخاب ویژگی موثر در حوزه‌های آماری و هوش مصنوعی وجود دارند. در این مطالعه از روش انتخاب ویژگی پی-درپی پیشرو<sup>۷</sup> به منظور انتخاب ویژگی‌های موثر استفاده گردید. در این روش ابتدا در مجموعه تهی مانند  $x$  ویژگی‌های پیش‌بینی شده قرار گرفته سپس مابقی ویژگی‌ها به صورت تکی در مدل مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. ویژگی‌هایی به مجموعه  $x$  اضافه می‌شوند که کمترین خطا را برای مدل ایجاد کنند و تا زمانی که خطای مدل نسبت به حالت‌های قبلی افزایش یابد این روند ادامه می‌یابد. در پایان ویژگی‌هایی درون مجموعه  $x$  قرار می‌گیرند که بهترین مدل با کمترین خطا مطابق روند انتخاب شده را فراهم می‌کنند و قابل استفاده در محاسبات می‌باشند [۲۰]. تابع هدف در این پژوهش دقت طبقه‌بند و تعداد تکرارها ۱۰۰ عدد در نظر گرفته شد.

### ۲-۶ طبقه‌بندی با استفاده از ماشین بردار پشتیبان

مهم‌ترین و آخرین مرحله در سیستم بینایی ماشین، مرحله طبقه‌بندی می‌باشد. در واقع خصوصیات موثر انتخاب شده در مرحله قبل به واحد طبقه‌بندی ارسال شده و واحد طبقه‌بندی وظیفه شناسایی حالت‌های مختلف گیاه براساس این خصوصیات را

8. Support Vector Machine

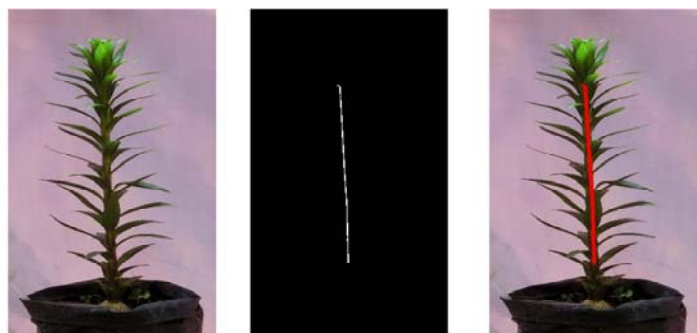
9. Radial Basis Function

10. hyperplane

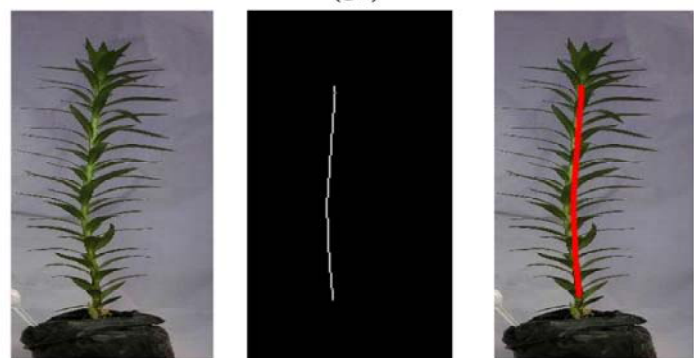
11. sigmoid

7. Sequential Forward Feature Ranking





(الف)



(ب)

شکل ۸ روند جداسازی اسکلت ساقه الف) گیاه شاداب و ب) گیاه تحت تنش

می‌کند. سپس به منظور حذف خطوط (برگ‌ها) عملگر فرسایش (شکل ۷ ج) بر روی تصاویر اعمال گردید. با این حال نواحی کوچکی در تصویر باقی ماند که با فیلتر گذاری بر روی مساحت ۷۰ پیکسل مربع حذف گردیدند. پس از حذف نویزها تصویر محدب ساقه محاسبه گردید (شکل ۷ د) و با استفاده از تصویر محدب، ناحیه‌ای یکنواخت حاصل شد که از آن به منظور استخراج اسکلت ساقه گل لیلیوم استفاده گردید (شکل ۷ و و).



(الف)

(ب)

(ج)



(د)

(ه)

(و)

شکل ۷ روند جداسازی اسکلت ساقه

### ۲-۳ نتایج آنالیز آماری انجام شده میان پارامترهای

#### اندازه‌گیری شده آزمایش

آنالیز واریانس ویژگی‌های رنگی برگ، ساقه و ویژگی موفولوژی مربوط به ساقه به ترتیب در جداول (۱، ۲ و ۳) مشاهده می‌شود. همانطور که مطابق جدول (۱) مشاهده می‌گردد اثر روز بر روی تمامی ویژگی‌ها به جز ویژگی R و V در سطح ۱٪ معنی‌دار شده است و اثر تنش هم بر روی تمامی ویژگی‌ها به جز L و V در سطح ۱٪ معنی‌دار شده است. همچنین اثر متقابل روز در تنش برای ویژگی‌های G، a، b، H و S در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشد.

شکل (۸) نتیجه اعمال این الگوریتم را برای دو حالت گیاه شاداب و تحت تنش نمایش می‌دهد. همانطور که در شکل ۸ الف نشان داده شده است گیاه شاداب دارای ساقه‌ای صاف و بدون انحناء است در حالی که ساقه گیاه تحت تنش خمیده شده و انحناء یافته است (شکل ۸ ب).

جدول ۱ نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های رنگی برگ گل لیلیوم

میانگین مربعات									DF	S. O. V
V	S	H	b	a	L	B	G	R		
۳۹.۷۰ <sup>n.s</sup>	۰.۰۵ <sup>**</sup>	۰.۷۶ <sup>**</sup>	۸۳۲.۶۱ <sup>**</sup>	۱۵۴۲.۹۲ <sup>**</sup>	۱۴۰.۷۵ <sup>**</sup>	۲۳۱۰.۷۴ <sup>**</sup>	۶۹۷.۴۹ <sup>**</sup>	۹۵۷.۶۶ <sup>n.s</sup>	۹	روز
۳۸.۶۶ <sup>n.s</sup>	۰.۱۹ <sup>**</sup>	۰.۷۲ <sup>**</sup>	۱۷۸۹.۰۲ <sup>**</sup>	۲۸۶۵.۹۸ <sup>**</sup>	۱۷.۵۷ <sup>n.s</sup>	۱۲۹۶.۷۳ <sup>**</sup>	۳۱۸۸.۵۹ <sup>**</sup>	۲۱۴۰.۶۸ <sup>**</sup>	۳	تنش
۳۹.۰ <sup>n.s</sup>	۰.۰۲ <sup>**</sup>	۰.۰۷ <sup>**</sup>	۱۱۲.۸۲ <sup>**</sup>	۱۲۲.۷۶ <sup>**</sup>	۲۱.۳۸ <sup>n.s</sup>	۸۰.۶۹ <sup>n.s</sup>	۲۲۵.۵۳ <sup>**</sup>	۱۲۷.۹۳ <sup>n.s</sup>	۲۷	روز × تنش

\*, \*\*, n.s به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهد.

شده از تصاویر برای تیمار روز و تنش خشکی مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۴ و ۵). مطابق جدول (۴) از میان ویژگی‌هایی که برای برگ بود کانال B در روز دوم کمترین مقدار را به خود اختصاص داده و در روز دهم بیشترین مقدار را داشته است. با توجه به این تغییرات هر چه میزان تنش اعمال شده افزایش یابد میزان تمایل گیاه به سمت آبی شده نیز افزایش می‌یابد. برای کانال L نیز یک روند صعودی مشاهده می‌شود که کمترین مقدار آن مربوط به روز اول و بیشترین مقدار در روز ۱۰ بوده است ولی بین روزهای ۸، ۹ و ۱۰ اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود ( $p > 0.05$ ). طول ساقه گیاه از روز اول تا روز دهم یک روند افزایشی داشته (البته این مساله امری بدهی است) ولی با توجه به اینکه اثر تنش خشکی در این اثر ساده نمایان نمی‌شود در نتیجه بحث علمی نمی‌توان در این بخش صورت داد. کانال B ساقه گیاه نیز مانند برگ‌های آن روند افزایشی را در طول آزمایش دنبال کرده و از ۲۳.۸۰۹ در روز اول به ۵۰.۷۶۱ در روز دهم رسیده است.

بر اساس آنالیز آماری ویژگی‌های رنگی استخراج شده از ساقه (جدول ۲) مشخص می‌باشد که از فضای رنگی RGB اثر متقابل روز در تنش برای کانال R در سطح ۱٪ و G در سطح ۵٪ معنی‌دار شدند؛ برای فضای رنگی Lab پارامتر b در سطح احتمال ۱٪ و در فضای رنگی HSV هر سه کانال در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار گردیدند. در نتیجه از بین سه فضای رنگی مورد بررسی، بهترین فضا HSV با ۳ کانال، دومین فضا RGB با ۲ کانال معنی‌دار و سومین Lab با ۱ کانال معنی‌دار بودند. این مساله نشان از حساسیت بالاتر فضای رنگی HSV نسبت به تنش خشکی اعمال شده به گیاه لیلیوم می‌باشد.

از بین ۳ ویژگی مورفولوژی که از ساقه گیاه استخراج شده بود اثر متقابل روز در تنش تنها برای پارامتر انحنا معنی‌دار گردید ( $p < 0.05$ ) اما برای مابقی ویژگی‌ها اثر متقابل معنی‌دار نشده ولی اثر ساده آن‌ها (هم تیمار روز و هم تیمار تنش) معنی‌دار می‌باشد (جدول ۳).

به منظور بررسی دقیق‌تر اثر ساده بر پارامترهای معنی‌دار شده آنالیز دانکن در سطح احتمال ۵٪ روی ویژگی‌های استخراج

جدول ۲ نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های رنگی ساقه گل لیلیوم

میانگین مربعات									DF	S. O. V
V	S	H	B	a	L	B	G	R		
۰.۰۱**	۰.۱۸**	۰.۰۷**	۳۸۵.۶۳**	۴۷.۸۲ <sup>n.s</sup>	۸۵.۷۶**	۲۱۰۵.۶۹**	۵۱۹.۵۳**	۴۱۲.۸۳**	۹	روز
۰.۰۲**	۰.۳۳**	۰.۱۲**	۱۹۱۱.۳۱**	۱۴۸.۹**	۳۹۲.۱۹**	۱۰۶۶.۸۵**	۱۸۷۳.۵۴**	۲۹۸۷.۲۲**	۳	تنش
۰.۰۰۲**	۰.۰۲**	۰.۰۱**	۹۹.۵۱**	۲۵.۱۸ <sup>n.s</sup>	۴۲.۷۲ <sup>n.s</sup>	۵۳.۱۸ <sup>n.s</sup>	۱۷۲.۳۸*	۲۸۲.۲۷**	۲۷	روز × تنش

\*, \*\*, n.s به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهد.

جدول ۳ نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های مورفولوژی ساقه گل لیلیوم

میانگین مربعات			DF	S. O. V
زاویه قرارگیری	طول ساقه	انحنا		
۱۸۸.۱۶**	۵۳۴۷.۰۲**	۷۶۰۶.۵۸**	۹	روز
۷۵.۶۲*	۷۴۷.۱۸*	۴۱۴۵.۹**	۳	تنش
۱۵.۱۴ <sup>n.s</sup>	۱۲۶.۲۵ <sup>n.s</sup>	۱۷۲.۲۴*	۲۷	روز × تنش

\*, \*\*, n.s به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهد.

جدول ۴ نتایج بررسی اثرات ساده (دانکن) روز بر ویژگی‌های رنگی و مورفولوژی گل لیلیوم

ویژگی	ویژگی‌های رنگی برگ		ویژگی مورفولوژی گل		ویژگی‌های رنگی ساقه		فاکتور	روز
	L	B	طول ساقه	زاویه قرارگیری	a	L		
۱	۲۳.۹۹ <sup>c</sup>	۵۰.۲۵ <sup>ef</sup>	۳۳.۸۳ <sup>f</sup>	۸۵.۵۹ <sup>a</sup>	۲۳.۹۵ <sup>b</sup>	۲۴.۱ <sup>d</sup>	-۷.۷۳ <sup>ab</sup>	۱
۲	۲۴.۲۲ <sup>c</sup>	۴۷.۳۴ <sup>g</sup>	۴۳.۹۱ <sup>e</sup>	۸۵.۴۱ <sup>a</sup>	۲۳.۷۵ <sup>b</sup>	۲۳.۸ <sup>d</sup>	-۸.۱۳ <sup>ab</sup>	۲
۳	۲۵.۴۳ <sup>bc</sup>	۵۱.۱۲ <sup>gf</sup>	۴۶.۴۷ <sup>e</sup>	۸۴.۸۲ <sup>ab</sup>	۲۸.۳۵ <sup>a</sup>	۲۹.۶۶ <sup>d</sup>	-۹.۹۱ <sup>b</sup>	۳
۴	۲۶.۶۸ <sup>bc</sup>	۵۴.۸۱ <sup>ef</sup>	۴۹.۴۷ <sup>ed</sup>	۸۴.۸ <sup>ab</sup>	۲۸.۷۶ <sup>a</sup>	۳۹.۴۹ <sup>c</sup>	-۵.۳۳ <sup>a</sup>	۴
۵	۲۵.۶۳ <sup>bc</sup>	۵۶.۲۸ <sup>ef</sup>	۵۲.۷۳ <sup>ed</sup>	۸۳.۰۳ <sup>abc</sup>	۲۸.۶ <sup>a</sup>	۴۱.۲ <sup>c</sup>	-۷.۰۴ <sup>ab</sup>	۵
۶	۲۶.۴۴ <sup>bc</sup>	۶۱.۲۸ <sup>de</sup>	۵۶.۴ <sup>cd</sup>	۸۱.۴۲ <sup>bcd</sup>	۲۸.۹۵ <sup>a</sup>	۴۳.۷۳ <sup>bc</sup>	-۷.۳۲ <sup>ab</sup>	۶
۷	۲۷.۵۲ <sup>bc</sup>	۶۴.۲۱ <sup>cd</sup>	۶۲.۷۷ <sup>bc</sup>	۸۱.۱۵ <sup>cd</sup>	۲۸.۰۱ <sup>a</sup>	۴۵.۵۵ <sup>abc</sup>	-۸.۹ <sup>ab</sup>	۷
۸	۲۸.۷۳ <sup>ab</sup>	۶۸.۷۷ <sup>bc</sup>	۶۸.۵۳ <sup>b</sup>	۷۹.۹ <sup>cde</sup>	۲۸.۸۵ <sup>a</sup>	۴۹.۱۷ <sup>ab</sup>	-۹.۳۲ <sup>ab</sup>	۸
۹	۳۱.۳ <sup>a</sup>	۷۳.۸۵ <sup>ab</sup>	۷۹.۶۶ <sup>a</sup>	۷۹.۱۳ <sup>de</sup>	۲۹.۵۹ <sup>a</sup>	۴۸.۹۸ <sup>ab</sup>	-۱۰.۶۷ <sup>b</sup>	۹
۱۰	۳۱.۵۹ <sup>a</sup>	۷۹.۵۵ <sup>a</sup>	۸۶.۰۱ <sup>a</sup>	۷۶.۵۳ <sup>e</sup>	۲۷.۴۸ <sup>a</sup>	۵۰.۷۶ <sup>a</sup>	-۸.۶۵ <sup>ab</sup>	۱۰

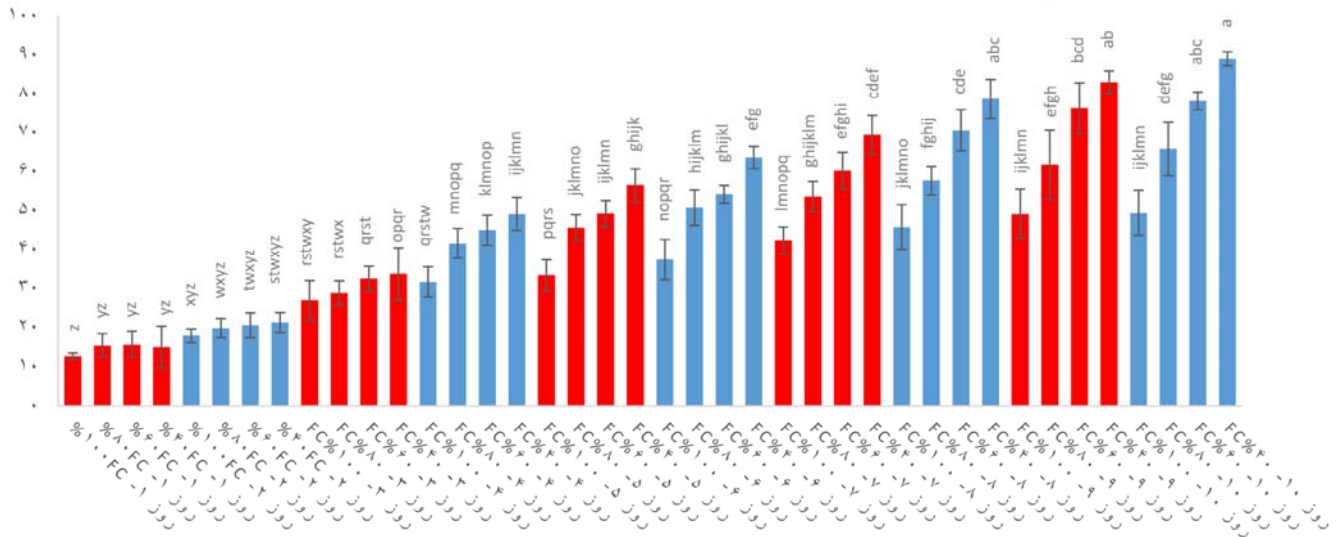
شود؛ اما زمانی که گیاه طراوت خودش را حفظ می‌کند (تیمار شاهد) این کاهش زاویه با توجه به مقاومت بیشتر ساقه نسبت به دیگر تیمارها کمتر می‌باشد. بیشترین مقدار زاویه را پیدا ولی از آن طرف با افزایش تنش میزان خم‌شدگی گیاه افزایش پیدا کرده است که بین FC ۱۰۰٪ و FC ۴۰٪ اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ مشاهده گردید در حالی که بین FC ۸۰٪ و FC ۶۰٪ با شاهد (FC ۱۰۰٪) این اختلاف معنی‌داری نشد ( $p > 0.05$ ). در بین ویژگی‌های رنگی ساقه پارامتر L با توجه به افزایش سطح تنش روند کاهشی داشته است که بین شاهد با سطوح تنش اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. این مساله نشان از تیره‌تر رنگ در در گیاهان تحت تنش خشکی است.

مطابق جدول (۵) کانال R تیمار شاهد (FC ۱۰۰٪) بیشترین مقدار را نسبت به باقی تیمارها داشته و این اختلاف بین شاهد با سطوح تنش در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار می‌باشد؛ در کانال B بین سطوح تنش (تنش FC ۸۰٪، FC ۶۰٪ و FC ۴۰٪) اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده است؛ اما بین این سطوح با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری گردید ( $p < 0.05$ ). همانطور که در جدول (۴) نشان داده شد با گذشت زمان طول ساقه در حال افزایش است که این افزایش برای تیمار شاهد نسبت به باقی تیمارها بیشتر بوده و این افزایش طول بین شاهد و سطوح تنش معنی‌دار می‌باشد ( $p < 0.05$ ). با توجه به اینکه گیاه در حال رشد است و ساقه آن سنگین‌تر می‌شود زاویه قرارگیری گیاه نسبت به ۹۰ درجه طی انجام آزمایشات کمتر می‌

جدول ۵ نتایج بررسی اثرات ساده (دانکن) تنش بر ویژگی‌های رنگی و مورفولوژی گل لیلیوم

ویژگی	ویژگی‌های رنگی برگ		ویژگی‌های مورفولوژی		ویژگی‌های رنگی ساقه		درصد تنش
	B	R	طول ساقه	زاویه قرارگیری	a	L	
FC ۱۰۰٪	۵۳.۱۵۸ <sup>b</sup>	۷۹.۹۶۴ <sup>a</sup>	۶۳.۴۳۹ <sup>a</sup>	۸۳.۶۹ <sup>a</sup>	۳۱.۳۸۶ <sup>a</sup>	۳۴.۴۰۹ <sup>b</sup>	-۹.۳۳ <sup>bc</sup>
FC ۸۰٪	۶۲.۵۱۹ <sup>a</sup>	۶۹.۲۲۴ <sup>b</sup>	۵۷.۰۸۶ <sup>b</sup>	۸۲.۵۵۲ <sup>ab</sup>	۲۷.۱۶۲ <sup>b</sup>	۳۷.۱۷۶ <sup>b</sup>	-۱۰.۱۷۹ <sup>c</sup>
FC ۶۰٪	۶۳.۸۶۹ <sup>a</sup>	۶۸.۰۲۶ <sup>b</sup>	۵۷.۰۹۶ <sup>b</sup>	۸۱.۶۶۹ <sup>ab</sup>	۲۷.۳۸۳ <sup>b</sup>	۴۲.۹۰۷ <sup>a</sup>	-۷.۱۰۸ <sup>ab</sup>
FC ۴۰٪	۶۳.۴۵۵ <sup>a</sup>	۶۴.۹۲۱ <sup>b</sup>	۵۴.۳۱۳ <sup>b</sup>	۸۰.۸۱۷ <sup>b</sup>	۲۴.۶۰۶ <sup>c</sup>	۴۴.۱۰۱ <sup>a</sup>	-۶.۵۹ <sup>a</sup>

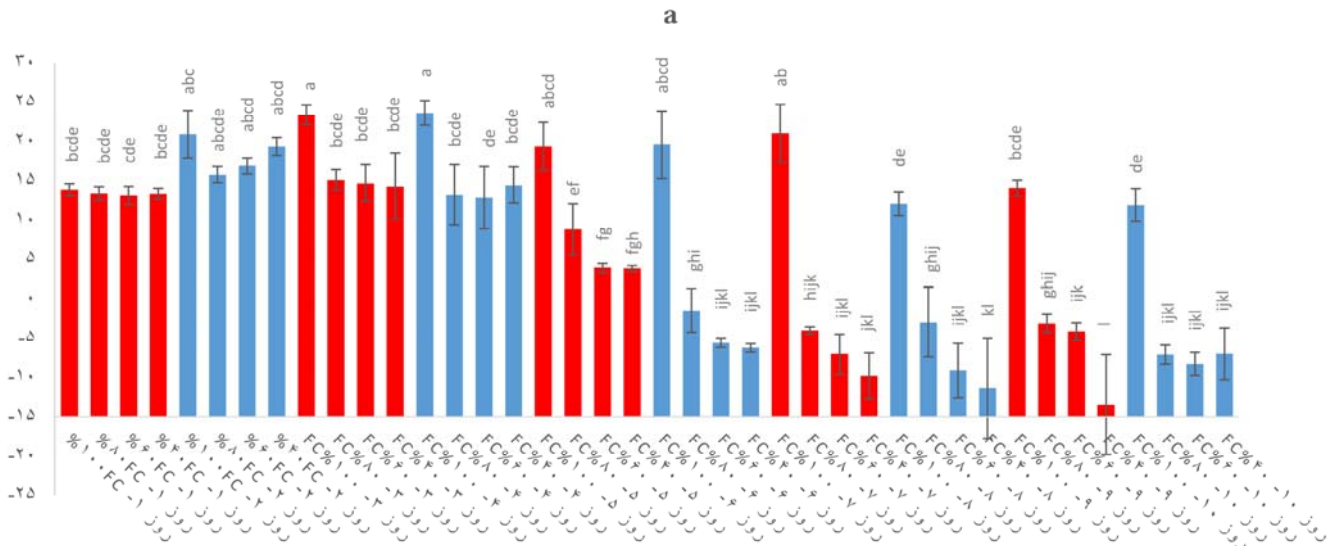
## انحنا



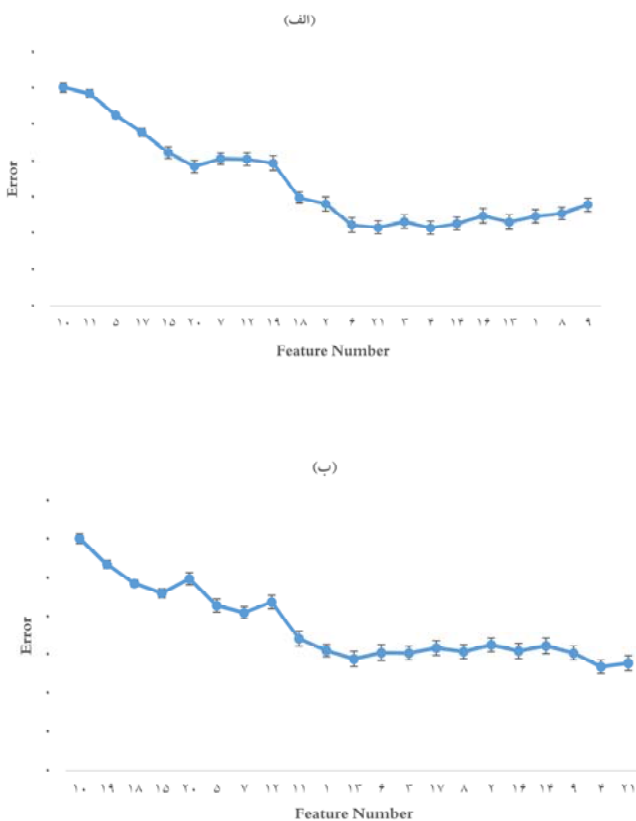
شکل ۹ نمودار اثر متقابل روز در تنش ویژگی مورفولوژی (انحنا) استخراج شده از تصویر ساقه لیلیوم

همان طور که در شکل (۹) نشان داده شده است، در سه روز اول اعمال تنش هیچ گونه اختلاف معنی داری بین سطوح تنش با شاهد مشاهده نمی شود ( $p > 0/05$ ). شاید دلیل آن وجود رطوبت قبلی در خاک است؛ از این رو سطوح تنش نتوانسته اند اثرات خود را به خوبی نشان دهند. اما از روز چهارم به بعد بین سطوح تنش با شاهد اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۵٪ مشاهده گردید. همچنین در طول آزمایش با افزایش سطوح تنش میزان انحنا نیز به صورت معنی داری افزایش یافته است ( $p < 0/05$ ). میزان پارامتر انحنا در روز اول در سطوح مختلف تنش ۴۰ FC، ۶۰ FC و ۸۰ FC به ترتیب ۱۵۰۰۶، ۱۵۰۶۹ و ۱۵۰۴۳ بود که در روز دهم برای همین سطوح تنش به ترتیب ۸۹۰۰۶، ۷۸۰۱۵ و ۶۵۰۷۸ گردید که نشان از سیر صعودی این پارامتر طی ۱۰ روز نگهداری می باشد. با توجه به آنالیز آماری صورت گرفته مشخص گردید که این معیار از روز چهارم به بعد به خوبی می تواند میزان تنش خشکی را در گیاه تشخیص دهد.

۱۲. از بین ۲۱ ویژگی رنگی و مورفولوژی ۱۲ تا آن ها اثر متقابلشان معنی دار شده است با توجه به محدودیت تعداد صفحات به صورت نمونه، تنها دو تا از آن ها گزارش شده اند.



شکل ۱۰ نمودار اثر متقابل روز در تنش و ویژگی a استخراج شده از تصویر برگ لیلیوم



مطابق شکل (۱۰) مقادیر پارامتر a با گذشت زمان در طول آزمایش کاهش یافته‌اند که نشان‌دهنده تمایل گیاه به سمت سبزیگی است اما مقادیر این پارامتر برای تیمارهایی که تحت تنش بودند از میزان کمتری برخوردار است. بر اساس آنالیزها اختلاف معنی‌داری در دو روز اول اعمال تنش بین سطوح مختلف تنش خشکی با تیمار شاهد مشاهده نشده است ( $p > 0.05$ ). اما از روز سوم تا روز دهم بین شاهد اثر تنش بر روی نمونه‌ها افزایش یافت و سبب ایجاد اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد گردید ( $p < 0.05$ ). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این معیار پس از گذشت سه روز از اعمال تنش به خوبی می‌تواند کم آبی در گیاه را تشخیص دهد. این یافته با نتایج نداف‌زاده و آبدانان مهدی‌زاده که نشان دادند میان پارامترهای رنگی و موفولوژی استخراج شده از تصاویر گیاه حسن‌یوسف، پارامترهای L, a, b, c و f به منظور تشخیص وضعیت گیاه (حالت شادابی و یا پژمردگی) مناسب هستند سازگار است [۲۳]. در همین راستا Garcia-Mateos و همکاران نیز به منظور بهبود مدیریت آبیاری گیاه کاهو، تکنیک پردازش تصاویر دیجیتال در فضاهای رنگی مختلفی را مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. از میان فضاهای رنگی پیشنهاد شده در این پژوهش، کانال a در فضای رنگی Lab با دقت کلی ۹۹.۲٪، به عنوان مطلوب‌ترین فضای رنگی در تشخیص کاهو از خاک و تقسیم‌بندی گیاهی انتخاب شد [۲۴].

### ۳-۳ نتایج انتخاب ویژگی

در این پژوهش سه کرنل مختلف خطی، سیگموئیدی و RBF جهت طبقه‌بندی داده‌ها استفاده گردید (شکل ۱۱).

۱۵ (کانال B ساقه) استفاده شد. نهایتاً با توجه به انتخاب ویژگی- صورت گرفته در ۱۰۰ تکرار بهترین ویژگی‌ها با توجه تکرار آن‌ها در سه کرنل مربوط به ویژگی ۵ (کانال a برگ)، ۱۰ (انحنا)، ۱۵ (کانال B ساقه) و ۲۰ (کانال S ساقه) بودند. بعلاوه مطابق آنالیز آماری صورت گرفته جداول ۱، ۲، ۳ و ویژگی a برگ، انحنا و S ساقه برای گیاه لیلیوم نیز معنی‌دار بود که می‌توان نتیجه گرفت که انتخاب ویژگی عملکرد مناسبی داشته است.

#### ۳-۴ نتایج طبقه‌بندی بردار پشتیبان (SVM)

در این پژوهش بعد از انتخاب مناسب‌ترین ویژگی‌ها عمل طبقه‌بندی چهار گروه (FC ۱۰۰٪ (تیمار شاهد)، FC ۸۰٪، FC ۶۰٪ و FC ۴۰٪) صورت پذیرفت. نتایج طبقه‌بندی داده‌ها در ماتریس درهم ریختگی (جدول ۶، ۷ و ۸) آورده شده است.

جدول ۶ ماتریس درهم ریختگی طبقه‌بند بردار پشتیبان کرنل خطی

FC	۱۰۰	۸۰٪	۶۰٪	۴۰٪	(%)
Accuracy	۳۰	۳	۰	۰	۹۰.۹۰
۱۰۰٪	۳۰	۳	۰	۰	۹۰.۹۰
۸۰٪	۰	۱۴	۴	۰	۷۷.۷۷
۶۰٪	۰	۴	۱۶	۱	۷۶.۱۹
۴۰٪	۰	۲	۲	۱۴	۷۷.۷۷
Accuracy (%)	۱۰۰	۸۶	۷۲	۳۳	۸۱.۱۹
Accuracy		۶۰	۷۲	۹۳	

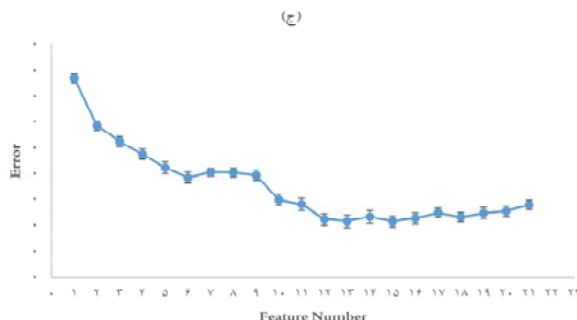
جدول ۷ ماتریس درهم ریختگی طبقه‌بند بردار پشتیبان کرنل سیگموئیدی

FC	۱۰۰	۸۰٪	۶۰٪	۴۰٪	(%)
Accuracy	۲۷	۵	۱	۰	۸۱.۸۱
۱۰۰٪	۲۷	۵	۱	۰	۸۱.۸۱
۸۰٪	۰	۱۳	۴	۱	۷۲.۲۲
۶۰٪	۰	۳	۱۸	۰	۸۵.۷۱
۴۰٪	۰	۲	۱	۱۵	۸۳.۳۳
Accuracy (%)	۱۰۰	۵۲	۷۵	۷۵	۸۱.۰۴
Accuracy		۵۶	۷۲	۹۳	

جدول ۸ ماتریس درهم ریختگی طبقه‌بند بردار پشتیبان کرنل RBF

FC	۱۰۰٪	۸۰٪	۶۰٪	۴۰٪	Accuracy (%)
Accuracy	۲۸	۳	۱	۱	۸۴.۸۴
۱۰۰٪	۲۸	۳	۱	۱	۸۴.۸۴
۸۰٪	۰	۱۵	۳	۰	۸۳.۳۳
۶۰٪	۱	۳	۱۷	۰	۸۰.۹۵
۴۰٪	۱	۱	۱	۱۵	۸۳.۳۳
Accuracy (%)	۹۳.۳۳	۶۸.۱۸	۷۲.۲۷	۹۳.۷۵	۸۳.۱۲

همانطور که در ماتریس درهم ریختگی جدول (۶) آمده است برای گروه یک تا چهار به ترتیب دقت برابر با ۹۰.۹۰، ۷۷.۷۷، ۷۶.۱۹ و



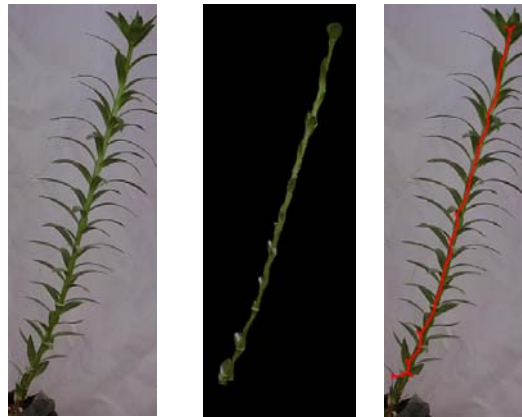
شکل ۱۱ نمودار خطای طبقه‌بند SVM برای کرنل‌های: الف) خطی، ب) سیگموئیدی و ج) RBF

همان طور که در شکل (۱۱ الف) مشاهده می‌شود در کرنل خطی اولین ویژگی وارد شده ویژگی شماره ۱۰ (انحنا) می‌باشد که با ورود این ویژگی خطای ۲۲ درصدی در تشخیص گیاهان تحت تنش حاصل گردید؛ خطای تشخیص برای کرنل خطی تا وارد شدن ویژگی ۲۰ (کانال S ساقه) کاهش یافته و به مقدار ۱۷ درصد رسید. مقدار خطا از ویژگی ۲۰ تا ۱۹ تقریباً ثابت بود و از ۱۹ تا ۶ یک افت در خطا اتفاق می‌افتد که با وارد شدن ۱۱ ویژگی خطای تشخیص تقریباً برابر با ۱۴ درصد شد؛ اما با توجه به اینکه بین ویژگی ۲۰ تا ۶ تنها کمتر از ۲ درصد کاهش خطا مشاهده گردید برای جلوگیری از پیچیده شدن طبقه‌بند از ۵ ویژگی اول برای آموزش طبقه‌بند با کرنل خطی استفاده شد. لذا در کرنل خطی ویژگی‌های ۱۰ (انحنا)، ۱۱ (طول ساقه)، ۵ (کانال a برگ)، ۱۷ (کانال a ساقه)، ۱۵ (کانال B ساقه) و ۲۰ (کانال S ساقه) استفاده شدند. با توجه به نمودار ۱۱ ب (طبقه‌بند با کرنل سیگموئیدی) با وارد شدن ویژگی ۱۰ (ویژگی انحنا) میزان خطا برابر با ۲۲ درصد شد. همان طور که مشاهده می‌شود با وارد شدن ویژگی‌های ۱۹ (کانال H ساقه)، ۱۸ (کانال b ساقه)، ۱۵ (کانال B ساقه)، ۲۰ (کانال S ساقه)، ۵ (کانال a برگ)، ۷ (کانال H برگ)، ۱۲ (زاویه قرارگیری ساقه) و ۱۱ (طول ساقه) میزان خطا به ۱۶.۸ درصد می‌رسد و از ویژگی ۱۱ به بعد تقریباً خطا ثابت می‌باشد. در نتیجه به منظور آموزش طبقه‌بند کرنل سیگموئیدی از ۹ ویژگی ۱۰ (انحنا)، ۱۹ (کانال H ساقه)، ۱۸ (کانال b ساقه)، ۱۵ (کانال B ساقه)، ۲۰ (کانال S ساقه)، ۵ (کانال a برگ)، ۷ (کانال H برگ)، ۱۲ (زاویه قرارگیری ساقه) و ۱۱ (طول ساقه) استفاده گردید. در طبقه‌بند با کرنل RBF (شکل ۱۱ ج) با وارد شدن اولین ویژگی کانال b ساقه (ویژگی شماره ۱۸) میزان خطای طبقه‌بند برابر با ۲۶ درصد گردید و مقدار این خطا از ویژگی ۱۸ تا ۱۵ نمودار روند نزولی داشت و ۹ درصد کاهش خطا مشاهده شد. از ویژگی ۱۵ (کانال B ساقه) به بعد خطای تشخیص کاهش قابل توجهی نداشت (کمتر از ۳ درصد) در نتیجه برای آموزش طبقه‌بند کرنل RBF از ۹ ویژگی ۱۸ (کانال b ساقه)، ۱۰ (انحنا)، ۱۳ (کانال R ساقه)، ۱۲ (زاویه قرارگیری ساقه)، ۲۰ (کانال S ساقه)، ۸ (کانال S برگ)، ۱ (کانال R برگ)، ۵ (کانال a برگ) و



گردید. همچنین با توجه به جدول (۸) دقت طبقه‌بند کرنل RBF برای گروه اول برابر با ۸۴.۸۴ درصد بود و برای گروه دوم که معادل FC ۸۰٪ برابر با ۸۳.۳۳ درصد و برای دو گروه بعدی به ترتیب برابر با ۸۰.۹۵ و ۸۳.۳۳ درصد بود. دقت کلی این طبقه‌بند برابر با ۸۳.۱۲ درصد بود. با توجه به نتایج طبقه‌بندی، علارغم اینکه کرنل خطی و سیگموئیدی گروه یک را با دقت بالاتری نسبت به کرنل RBF تشخیص داده‌اند اما کرنل RBF علاوه بر اینکه از دقت کلی بالاتری برخوردار است در گروه‌های میانی نیز خطای کمتری داشته است.

و ۷۷.۷۷ بوده در نهایت دقت کلی کرنال خطی برابر با ۸۱.۱۹ می‌باشد. بیشترین خطا و کمترین دقت در گروه ۳ مشاهده می‌شود که می‌توان به علت نزدیکی بین گروه ۲ و ۳ باشد که ۴ عدد از نمونه‌هایی که به گروه ۳ تعلق داشته به گروه ۲ اختصاص یافته که باعث کاهش دقت طبقه‌بند شده است. با توجه به ماتریس درهم ریختگی طبقه‌بند بردار پشتیبان کرنل سیگموئیدی جدول (۷) دقت طبقه‌بند برای گروه FC ۱۰۰٪ برابر با ۸۱.۸۱ و برای FC ۸۰٪، FC ۶۰٪ و FC ۴۰٪ به ترتیب برابر با ۷۲.۲۲، ۸۵.۷۱ و ۸۳.۳۳ می‌باشد. بیشترین خطا در این نوع طبقه‌بند نیز به گروه ۲ اختصاص یافته و دقت کلی طبقه‌بند سیگموئیدی برابر با ۸۱.۰۴



(الف)

(ب)

(ج)

شکل ۱۲ نمونه‌ای از تصاویری که توسط SVM به درستی تشخیص داده نشده است

بکارگیری الگوریتم ماشین بردار پشتیبان موفق به تشخیص گیاهان گندم سالم از گندم‌های تحت تنش گردیدند [۱۱]. در پژوهشی Steward و همکاران از روش خوشه‌بندی به منظور تعریف سطوح تصمیم‌گیری جهت طبقه‌بندی خاک‌گیاه در فضای RGB استفاده کردند. در تحقیق آنها برای شرایط نور در دو حالت ابری و آفتابی میزان موفقیت به ترتیب برابر با ۸۹.۶٪ و ۹۱.۹٪ بود [۲۵]. در همین راستا Kurtulmus و همکاران برای تعیین محل برش کامل ذرت الگوریتمی بر اساس ماشین بردار پشتیبان طراحی نمودند که دقت تشخیص صحیح ۸۱.۶٪ گزارش شد [۲۶].

#### ۴ جمع‌بندی

آب مهم‌ترین و اساسی‌ترین عامل در بخش کشاورزی است، لذا کمبود آب از عوامل اصلی محدود کننده توسعه فعالیت‌های اقتصادی در این بخش به شمار می‌رود. بنابراین با صرفه‌جویی در مصرف آب و کنترل شرایط رشد گیاه به صورت همزمان می‌توان به سطح پایینی از مصرف آب دست یافت. در این تحقیق، به منظور تشخیص تنش آبی، تصاویر ساقه گیاه لیلیوم در چهار سطح

به عنوان نمونه مطابق با شکل (۱۲) یکی از گل‌های یکه سامانه هوشمند به خطا نیازمند آبیاری تشخیص داده مشاهده می‌شود؛ علت انحراف ساقه گیاه تنش خشکی نمی‌باشد بلکه بخاطر عدم آماده‌سازی مناسب خاک گلدان و جوانه‌زنی نامناسب پیازچه گل این تغییر حالت در گیاه اتفاق افتاده که سبب ایجاد خطا گردیده است.

در پژوهشی نداف‌زاده و همکاران سامانه هوشمند با بکارگیری پردازش تصویر و الگوریتم رگرسیون بردار پشتیبان به منظور پیش‌بینی و کنترل محتوای رطوبت گیاه چمن توسعه دادند. در این مطالعه مجموعه‌ای از تصاویر گیاه چمن تحت شرایط تنش خشکی جهت استخراج ویژگی‌های رنگی، بافت و تعدادی از پارامترهای تصویر در حوزه فرکانس با هدف تشخیص نیاز آبی گیاه مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به نتایج مشخص گردید که کرنل خطی در تابع الگوریتم SVR نسبت به سایر کرنل‌ها دارای بالاترین ضریب همبستگی (۹۵٪) و همچنین کمترین مقادیر MAPE (۱۴.۰۸)، RMSE (۰.۱۰)، SRE (۰.۰۶۳) و RAV (۰.۱۴) بود [۷]. در پژوهشی دیگر Moshou و همکارانش نیز با

- Vase Life of Cut Lily Flowers", *Biosystems Engineering*, vol. 86, pp. 45-49, 2003.
- [2] 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, pp. 669-676, 2007.
- [3] Leinonen, I., Jones, H. G., "Combining thermal and visible imagery for estimating canopy temperature and identifying plant stress", *Journal of Experimental Botany*, vol. 55, pp. 1423-1431, 2004.
- [4] Hendrawan, Y., Murase, H., "Precision Irrigation for Sunagoke Moss Production using Intelligent Image Analysis", *Environmental Control in Biology*, vol. 47, pp. 21-36, 2009.
- [5] Ushada, M., Murase, H., Fukuda, H., "Non-destructive sensing and its inverse model for canopy parameters using texture analysis and artificial neural network" *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 57, pp. 149-165, 2007.
- [6] Foucher, P., Revollon, P., Vigouroux, B., Chassériaux, G., "Morphological Image Analysis for the Detection of Water Stress in Potted Forsythia", *Biosystems Engineering*, vol. 89, pp.131-138, 2004.
- on the WSN technology", *Computers and Electronics in Agriculture*. vol.133. pp. 68-79, 2017.
- [14] Steinmetz, V., Delwiche, M., Giles, D., Evans, R., "Grading roses with machine vision. Paper presented at the American Society of Agricultural Engineers", Meeting (USA), 1993.
- [15] Lu, C.T., Chou, T.C., "Denoising of salt-and-pepper noise corrupted image using modified directional-weighted-median filter" *Pattern Recognition Letters*, vol. 33, pp. 1287-1295, 2012.
- [16] Liu, Z., Cheng, F., Zhang, W., "A novel segmentation algorithm for clustered flexional agricultural products based on image analysis", *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 126, pp. 44-54, 2016.
- [17] Zhuang, S., Wang, P., Jiang, B., Li, M., Gong, Z., "Early detection of water stress in maize based on digital images", *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 140, pp. 461-468, 2017.
- [18] Escós, J., Alados, C. L., Pugnaire, F. I., Puigdefábregas, J., Emlen, J., "Stress resistance strategy in an arid land shrub: interactions between developmental instability and fractal dimension" *Journal of Arid Environments*, vol. 45, pp. 325-336, 2000.
- [19] Oide, M., Ninomiya, S., "Discrimination of soybean leaflet shape by neural networks with image input", *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 29, pp. 59-72, 2000.

مختلف تنش خشکی (FC ۱۰۰٪ (تیمار شاهد)، FC ۸۰٪، FC ۶۰٪ و FC ۴۰٪) مورد بررسی قرار گرفت. با بررسی فضاهای رنگی (Lab، RGB و HSV) و با توجه به نتایج آنالیز آماری دانکن در سطح احتمال ۵٪ و همچنین بررسی داده‌ها در هر فضای رنگ، مناسب‌ترین فضاهای رنگی (HSV و سپس RGB) تعیین گردید. مناسب‌ترین ویژگی‌ها برای استفاده در بردار پشتیبان توسط ویژگی پی‌درپی پیشرو انتخاب شدند. سرانجام به منظور پیش‌بینی سطوح تنش آبی طبقه‌بندی برای ۳ کرنل خطی، سیگموئیدی و RBF پیاده سازی گردید که دقت آن‌ها به ترتیب برابر با ۸۱.۱۹، ۸۱.۰۴ و ۸۳.۱۲ بدست آمد. در نهایت نتیجه گرفته شد که سامانه توسعه یافته قادر است نیاز آبی را تشخیص و آب مورد نیاز را تامین نماید.

## سپاسگزاری

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

## مراجع

- [1] Brosnan, T., Sun, D. W., "Influence of Modulated Vacuum Cooling on the Cooling Rate, Mass Loss and
- [7] Nadafzadeh, M., Abdanan Mehdizadeh, S., Asoodar, M. A. Salehi Salmi, M. R., "Design and Development of an Intelligent Control System for Determination of Required Water needed by Plant in Greenhouse Using Machine Vision (Case Study: coleus)", *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, vol. 48, pp.285-297, 2017. (In Farsi).
- [8] Kacira, M., Ling, P. P., Short, T. H., "Machine vision extracted plant movement for early detection of plant water stress", *Transactions of the ASAE (American Society of Agricultural Engineers)*, vol.45, pp. 1147-1153, 2002.
- [9] Oosterhuis, D. M., Walker, S., Eastham, J., "Soybean Leaflet Movements as an Indicator of Crop Water Stress", *Crop Science*, vol. 25, pp. 1101-1106, 1985.
- [10] Kacira, M., Ling, P. P., "Design and development of an automated and non-contact sensing system for continuous monitoring of plant health and growth" *Trans. ASAE*, vol. 44, pp. 989-996, 2001.
- [11] Moshou, D., Pantazi, X.-E., Kateris, D., Gravalos, I., "Water stress detection based on optical multisensory fusion with a least squares support vector machine classifier", *Biosystems Engineering*, vol. 117, pp. 15-22, 2014.
- [12] Ahmad, I. S., Reid, J. F., "Evaluation of Colour Representations for Maize Images" *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol. 63, pp. 185-195, 1996.
- [13] Zhang, R., Ren, Z., Sun, J., Tang, W., Ning, D. Qian, Y., "Method for monitoring the cotton plant vigor based



**حدیث بی آبی** مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی مکانیک بیوسیستم در سال ۱۳۹۵ از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان دریافت کرد. در سال ۱۳۹۶ تحصیل در مقطع کارشناسی ارشد را در همان دانشگاه در گرایش طراحی و ساخت شروع نمود. علاقه‌مندی‌های علمی ایشان کاربردهای بینایی ماشین 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 سامانه

های هوشمند در کشاورزی از دانشگاه تربیت مدرس تهران اخذ نمود. ایشان از سال ۱۳۹۲ در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی 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.



**هادی اورک** مدرک کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را به ترتیب در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۶ در رشته مهندسی مکانیک بیوسیستم گرایش طراحی و ساختاز دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان دریافت کرد. علاقه‌مندی‌های علمی ایشان پردازش تصاویر دیجیتال در کشاورزی است.



**محمدرضا 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. علاقه‌مندی‌های علمی ایشان فیزیولوژی تنش در گیاهان زینتی است.

- [20] Ververidis, D., Kotropoulos, C., "September. Sequential forward feature selection with low computational cost", In Signal Processing Conference, pp. 1-4, IEEE, 2005.
- [21] Chen, Q., Zhao, J., Fang, C. H., Wang, D., "Feasibility study on identification of green, black and Oolong teas using near-infrared reflectance spectroscopy based on support vector machine (SVM)", Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, vol. 66, pp. 568-574, 2007.
- [22] Chen, K., Sun, X., Qin, C., Tang, X., "Color grading of beef fat by using computer vision and support vector machine" Computers and Electronics in Agriculture, vol. 70, pp. 27-32, 2010.
- [23] Nadafzadeh, M., Abdanan Mehdi-zadeh, S., "Determination of the most suitable color space for intelligent water stress discrimination for plants inside the greenhouse (Case Study: Coleus)", in Iranian journal of biosystem Engineering, p.p 407-418, 2017.
- [24] 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*. vol.151, 158-66, 2015.
- [25] Steward, B. L., Tian, L. F., Nettleton, D., Tang, L., "Reduced-dimension clustering for vegetation segmentation", *Trans. ASAE*. vol.47, 609-616, 2004.
- [26] 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*, vol.15, 57-79, 2014.
- [27] Amandeep Kaur, Aayushi, "Image Segmentation Using Watershed Transform", *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJDCE)*, Vol.4, pp.5-8, 2014.

