

## تعیین مناسب‌ترین فضای رنگی به منظور تعیین تنش آبی در گیاهان گلخانه‌ای به صورت هوشمند (مطالعه موردی: حُسن یوسف)

مریم ندافزاده<sup>۱</sup>، سامان آبدانان مهدی‌زاده<sup>۲\*</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
  ۲. استادیار، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
- (تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۹/۱۵ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۵/۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۵/۷)

### چکیده

تخمین دقیق میزان آب مصرفی گیاه به عوامل بسیاری وابسته است که درصد پوشش سبز گیاه یکی از مؤثرترین پارامترها می‌باشد. از پردازش تصاویر دیجیتال و بینایی ماشین می‌توان به منظور اندازه‌گیری این پارامتر در برنامه‌های مدیریت آب در کشاورزی به طور گسترده استفاده نمود. در این پژوهش مجموعه‌ای از تصاویر گیاه زینتی حُسن یوسف در دو وضعیت (شاداب و پژمرده) جهت تجزیه و تحلیل پیکسل‌ها و مقایسه فضاهای رنگ پیشنهاد شده با هدف تشخیص نیاز آبی گیاه مورد بررسی قرار گرفتند؛ فضاهای رنگی مورد بررسی عبارتند از: RGB, rGB, XYZ, Lab, UVL, HSV, HLS, YCbCr, YUV, TSL, و I1I2I3. هر فضای رنگی شرایط مختلفی از احتمال توزیع یک گروه رنگ را ارائه می‌دهد، بدین ترتیب پس از بررسی فضاهای رنگی با توجه به نتایج آنالیز آماری در سطح احتمال ۵٪ و با کمک ترسیم داده‌ها و مقایسه بصری آن‌ها، مناسب‌ترین فضاهای رنگی انتخاب گردید. نهایتاً فراوانی شدت‌های فضای رنگی مطلوب جهت آموزش طبقه‌بند بیز مورد استفاده قرار گرفتند که در این حالت طبقه‌بند بیز با دقت کلی ۸۳/۱۱ درصد دو وضعیت شاداب و پژمرده گیاه را از یکدیگر تشخیص داد. در نتیجه بر اساس اطلاعات حاصل از نمودارهای هیستوگرام تصاویر (فراوانی سطوح شدت تصاویر) وضعیت نیاز گیاه به آبیاری قابل تشخیص می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: فضاهای رنگی، پردازش تصاویر دیجیتال، آبیاری، پژمردگی، طبقه‌بند بیز

### مقدمه

نحوه بخش‌بندی پیکسل‌های گیاه نسبت به سایر پیکسل‌های موجود در تصویر می‌باشد (McCarthy et al., 2010)، این موضوع در تخمین درصد پوشش سبز گیاه (PGC<sup>۱</sup>) از اهمیت بسزایی برخوردار است. با توجه به تحقیقات (Fernandez-Pacheco et al., 2014) برای تصاویر اخذ شده به عنوان نسبتی از سطح زمین که توسط پوشش سبز گیاه پوشیده می‌شود، تعریف گردیده است؛ دیگر محققان نیز برای این پارامتر از اصطلاحاتی مانند نمای فوقانی سطح برگ (Giacomelli et al., 1998) و یا منطقه پوشش تاج گیاهی (Xu et al., 2010) استفاده می‌کنند. این پارامتر نقش مهمی در نظارت و کنترل پوشش گیاهی دارد و برای تعیین آب مورد نیاز گیاه با استفاده از روش فائو-۵۶ مؤثر می‌باشد (Allen et al., 1998). علاوه بر این، بسیاری از محققان برای ورودی سیستم‌های آبیاری اتوماتیک رابطه‌ای با پارامترهای مختلف یافتند، به عنوان مثال:

تغییر رنگ در گیاهان، معیار مناسبی برای تشخیص نیاز به آبیاری و سطح تنش‌ها با توجه به کمبود آب است. رنگ یکی از ویژگی‌های مهم در زمینه آنالیز تصاویر و سامانه‌های بینایی ماشین است، علاوه بر این بخش گسترده‌ای از ویژگی‌ها مانند اشکال، لبه‌ها، بافت و غیره می‌توانند در این حوزه‌ها مؤثر واقع شوند. در برنامه‌های کاربردی که نظارت بر روی محصول پایه و اساس آن‌ها است، مشخصه رنگ نقش قابل توجهی دارد (Lin et al., 2013)؛ کنترل کیفیت میوه‌ها و سبزیجات (Kodagali & Balaji, 2012)، کنترل علف‌های هرز (Slaughter et al., 2008) و نظارت و کنترل تصاویر ماهواره‌ای محصولات (Campos et al., 2010) از جمله مطالعات انجام شده در ارتباط با کاربردهای رنگ هستند. از مسائل مهم پردازش تصویر در حوزه کشاورزی

1. Percentage of Ground Cover  
2. FAO-56

\* نویسنده مسئول: saman.abdanan@gmail.com

دیگر، کار تشخیص چهره انسان را تسهیل نمودند. تشخیص رنگ پوست انسان (Kakumanu et al., 2007) و سیستم‌های رانندگی اتوماتیک (Kumar et al., 2002) از جمله مطالعات انجام شده در حوزه فضاهاى رنگی می‌باشند.

Foucher et al. (2004) به ارزیابی عملکرد بینایی مصنوعی در راستای اصلاح وضعیت گیاه یاس زرد بر اساس روش‌های تجزیه و تحلیل شکل آن پرداختند. این محققین چندین روش را برای شناسایی ویژگی‌های گیاه جهت بررسی رشد مورفولوژی گیاهان تحت تنش آب، مورد آزمایش قرار دادند و نهایتاً نشان دادند که 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. Garcia-Mateos et al. (2015) نیز به منظور بهبود مدیریت آبیاری گیاه کاهو با استفاده از تکنیک پردازش تصاویر دیجیتال، فضاهاى رنگ مختلفى را مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. از میان فضاهاى رنگی پیشنهاد شده در این تحقیق، فضای رنگی Lab با دقت کلی ۹۹/۲٪ طبقه‌بندی، به عنوان مطلوب‌ترین فضای رنگی در تشخیص کاهو از خاک و تقسیم‌بندی گیاهی انتخاب شد.

نیاز آبی گیاه حُسنِ یوسف که از خانواده نعنای سانان می‌باشد، بسته به شرایطی که در آن قرار دارد متفاوت است؛ وجود تفاوت در سرعت فرآیند تبخیر گیاهان مختلفی که در مجاورت این گیاه قرار دارند، نوع خاک و همچنین سن گیاه از جمله موارد مؤثر در مقدار آبیاری این گیاه می‌باشند. لذا آبیاری این گیاه می‌بایست در فواصل کوتاهی از زمان در حد ظرفیت زراعی<sup>۴</sup> خاک صورت گیرد به گونه‌ای که سطح خاک مرطوب باقی بماند. در حقیقت می‌توان گفت که این گیاه می‌تواند جزء گیاهان پرمصرف از لحاظ آبیاری محسوب شود (Shoor et al., 2012). بدین ترتیب با نظارت و کنترل شرایط رشد گیاه می‌توان به کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی کمک نمود. لذا با توجه به مسأله بحران آب و اهمیت مصرف آن، از پردازش تصویر به عنوان روشی کاربردی جهت بدست آوردن میزان آب مورد نیاز گیاه استفاده می‌شود. در نتیجه هدف از این پژوهش مقایسه و بررسی دقیق فضاهاى رنگی و نمایش توزیع رنگ جهت تشخیص تنش آبی گیاه و مصرف بهینه آب می‌باشد. بدین منظور در این پژوهش، ۱۱ فضای رنگی برای انتخاب فضای رنگی مطلوب مورد بررسی قرار گرفت. توضیحات مربوط به این فضاهاى رنگی در جدول (۱) آورده شده است. شایان ذکر است

PGC مرتبط با پارامترهایی مانند ارتفاع بوته (Fernandez-Pacheco et al., 2014; Grant et al., 2012; Xu et al., 2010 Hanson & May, 2005; Lopez-Urrea et al., 2009; Allen & Pereira, 2009) و عمق ریشه گیاه (Escarabajal-Henarejos et al., 2015) است. Ruzhitsky نیز از تصاویر تک رنگ نهال‌های گوجه فرنگی، PGC را اندازه‌گیری کردند و بخش‌بندی همراه با آستانه‌گذاری<sup>۱</sup> را با استفاده از روش اوتسو<sup>۲</sup> انجام دادند.

Story et al. (2010) سیستمی را برای تشخیص کمبود کلسیم در محصولات زراعی کاهو با استفاده از رنگ و دیگر ویژگی‌ها طراحی نمودند، در این سیستم از فضاهاى رنگی RGB و HSL استفاده شد. Astrand & Baerveldt (2002) نیز با بکارگیری فضای رنگ RGB نرمال شده در جهت کنترل علف‌های هرز اقدام نمودند. این محققین دریافتند که اندازه‌گیری مقدار رنگ سبز (g)، در تشخیص محصول از گیاهان علف هرز، با دقت ۹۱٪ بسیار مؤثر است. Sumiya & Shiraishi (1996) با استخراج کانال رنگی Q از فضای YIQ پس از آستانه‌گذاری، پیکسل‌های گیاه و پس زمینه را طبقه‌بندی نمودند. در پژوهشی دیگر Golzarian et al. (2014) تعدادی از تبدیلات خطی فضای رنگی RGB را برای جداسازی منطقه برگ از پس‌زمینه بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که فاکتور رنگی G-B با معیار عملکرد ۵/۸۶ برای جداسازی برگ سبز از پس‌زمینه آبی و G/R با معیار عملکرد ۵/۱ برای جداسازی برگ قرمز مناسب هستند.

با وجود این تحقیقات گسترده، انتخاب بهینه فضاهاى رنگی و روش‌های نمایش رنگ به منظور بخش‌بندی گیاه با محدودیت‌هایی روبرو است. به طور کلی می‌توان گفت که طبقه‌بندی با استفاده از روش‌های آستانه‌گذاری، تفکیک کننده‌های خطی، مدل‌های گاوسی<sup>۳</sup>، منطق فازی، شبکه‌های عصبی و با بکارگیری یک فضای رنگی از پیش تعریف شده انجام می‌گیرد. این نوع از مطالعات در دیگر حوزه‌ها به ویژه در نمایش و بازیابی تصویر چهره انسان و تشخیص پوست بیشتر رایج است، به عنوان مثال Liu & Shih (2005) دوازده فضای رنگی را در کاربردهای بازیابی صورت انسان مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گرفتند که بهترین حالات با کانال‌های Y-I و Y-V به ترتیب در فضاهاى رنگی YUV و YIQ حاصل می‌شود. Terrillon & Akamatsu (2000) در مقایسه با ۹ فضای رنگی

1. Thresholding  
2. Otsu  
3. Gaussian models

4. Field Capacity (FC)

که با ارزیابی هیستوگرام تصاویر (نمودار فراوانی شدت‌ها) در نهایتاً بکارگیری این اطلاعات به تشخیص و کنترل آب مورد نیاز گیاهان کمک می‌کند. همین راستا اطلاعات متعددی (تعداد کانال‌ها، کانال‌های مورد استفاده و فراوانی شدت‌ها) از یک گروه رنگ حاصل شد که

جدول ۱. فهرست اختصارات فضاهای رنگی مورد استفاده

نماد فضای رنگی	شرح
RGB	در این مدل رنگی، هر رنگ با سه مقدار R، G و B که مقادیر مختلفی از رنگ‌های قرمز، سبز و آبی است، تولید می‌شود. در تصاویر دیجیتال هر پیکسل شامل سه رنگ اولیه (مدل رنگی RGB) می‌باشد (Luzuriaga & Balaban, 2002).
Rgb	یکی از معایب فضای رنگ RGB، حساسیت ابعاد رنگ نسبت به روشنایی، زاویه سطح و دیگر شرایط عکس‌برداری است (Liu, 2005). به منظور کاهش این حساسیت، هر یک از کانال‌های فضای رنگ RGB، نرمالیزه شدند. این فضای رنگ نرمال شده، فضای رنگی rgb نامیده می‌شود.
XYZ	این فضای رنگی متناسب با حساسیت اعصاب بینایی به طول موج‌های مختلف است و متشکل از سه کمیت X، Y و Z می‌باشد. کانال Z به صورت تقریبی با طول موج‌های کوتاه رنگ مرتبط بوده، کانال X نمایش ترکیبی از طول موج‌های بلند و متوسط و کانال Y متناسب با طول موج‌های متوسط رنگ می‌باشد و درخشش یا روشنایی کلی را مشخص می‌سازد که بیشتر به رنگ سبز وابسته است (Garcia-Mateos et al., 2015).
HLS و HSV	دو فضای رنگ HLS و HSV ارتباطی نزدیک به تفسیر و توصیف انسان از رنگ دارند. در فضای HSV، H متوسط فام رنگ [۰، ۳۶۰]، S متوسط اشباع رنگ [۰، ۱] و V متوسط مقدار رنگ [۰، ۱] می‌باشند. مؤلفه H در هر دو فضای رنگی HLS و HSV مشترک است. در فضای HLS، L نشان دهنده متوسط شدت روشنایی رنگ [۰، ۱] و S متوسط اشباع رنگ [۰، ۱] است (Gonzalez et al., 2004).
$L^*a^*b^*$ و $L^*u^*v^*$	مختصات CIELAB، رنگ را با استفاده از سه مقدار $L^*$ ، $a^*$ و $b^*$ توصیف می‌کند. مختصات $L^*$ روشنایی نمونه و همین‌طور موقعیت محور خاکستری را از سیاه به سفید بیان می‌نماید. مختصات $a^*$ و $b^*$ به ترتیب، توصیف‌گر رنگ از سبز به قرمز و از آبی به زرد هستند (HunterLab, 2001). در فضای رنگی $L^*u^*v^*$ ، $u^*$ و $v^*$ به ترتیب نشانگر تبدیلات غیر خطی X و Y می‌باشند و $L^*$ مشابه مختصه‌ی روشنایی در فضای $L^*a^*b^*$ تعریف می‌گردد.
YUV و YCbCr	این فضاها از تبدیلات خطی فضای RGB بدست می‌آیند. Y در هر دو فضا نشان دهنده درخشندگی اطلاعات رنگ تصویر است (مشابه مشخصه‌ی Y در فضای XYZ). در فضای YCbCr، Cr و Cb به ترتیب با کانال‌های نورمال شده‌ی R و B مطابقت دارند. U و V نیز در فضای YUV تفاضل شدت روشنایی هستند که به ترتیب با مقادیر R و B در ارتباط می‌باشند.
TSL	در این فضای رنگی، T همانند کانال H در فضاهای رنگی HSV و HLS، نشان دهنده فام رنگ است، S اشباع رنگ و L روشنایی نمونه (مشابه کانال Y در فضای رنگی XYZ) را نشان می‌دهد.
III2I3	فضای رنگی III2I3 به عنوان شکل ناهمبسته اجزای فضای RGB که حاصل تبدیل Loeve-Karhunen است، معرفی گردیده است (Ohta et al., 1980).

## مواد و روش‌ها

تمامی آزمایشات این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان طی بهار ۱۳۹۵ انجام پذیرفت.

### نمونه گیاه و خاک مورد استفاده و آزمایش‌ها

یکی از عوامل پژمردگی در گیاه کاهش میزان آب موردنیاز است، بدین ترتیب آبیاری منظم گیاه از مهم‌ترین شرایط دستیابی به بازده عملکرد مطلوب می‌باشد و در صورت عدم آبیاری به موقع، گیاه شادابی خود را از دست داده و دچار پژمردگی می‌گردد. بر این اساس در این تحقیق از ۱۵ گلدان با

قطر ۱۳/۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر که حاوی نوعی خاک با ظرفیت زراعی ۱۳/۲۴ درصد بودند، استفاده شد. در این گلدان‌ها گیاه زینتی حُسن‌یوسف با نام علمی *Plectranthus scutellarioides* رشد داده شد. گلدان‌ها پس از شماره‌بندی در گلخانه و در دمایی بین ۲۳ تا ۲۷ درجه سلسیوس قرار گرفتند. در این پژوهش به منظور انجام آزمایشات ابتدا همه گیاهان در حد ظرفیت زراعی آب داده شدند و پس از آن آبیاری به مدت ۷ روز متوالی متوقف گردید.

### اخذ تصویر

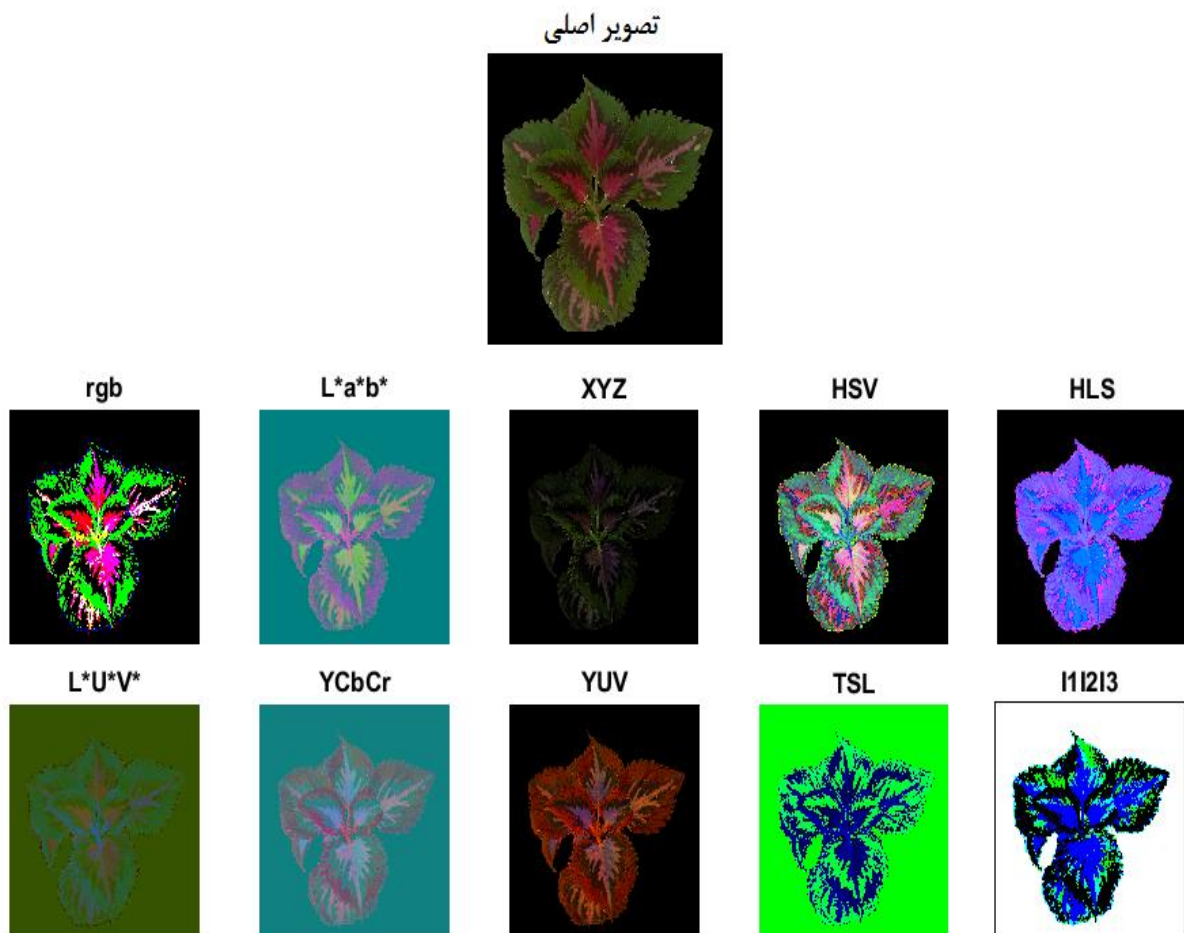
در این پژوهش تصویربرداری در یک گلخانه تحت شرایط ثابت و

در نهایت منجر به انتخاب فضاهای رنگی مناسب می‌گردند. پیش‌پردازش، تصویر را بهبود داده (بارسازی)، نویزها را برطرف کرده و سرانجام تصویر را برای استخراج پارامترهای مورد نظر آماده می‌سازد. در ادامه فرآیند بخش‌بندی، تصویر دیجیتالی اخذ شده را به نواحی مشخص و مجزا از یکدیگر تقسیم می‌کند و پس از آن با انجام عملیات آستانه‌گذاری نهایتاً منطقه پوشش تاج گیاه استخراج گردیده و به فضاهای رنگی مختلف (RGB, TSL, YUV, YCbCr, HLS, HSV, UVL, Lab, XYZ, rgb و I1I2I3). مرحله نهایی این بخش از پژوهش شامل بررسی تصویر در فضاهای رنگی مورد مطالعه و رسم نمودار هیستوگرام تصاویر (نمودارهای فراوانی شدت‌ها) در فضاهای رنگی مناسب، تفسیر داده‌ها و طبقه‌بندی آن‌ها با استفاده از طبقه‌بند بیز است که به تفصیل در بخش بعدی توضیح داده می‌شود.

کنترل شده نور به صورت روزانه طی مدت آزمایشات انجام پذیرفت. به منظور اخذ تصاویر، دوربین به دوربین به فاصله ثابت ۲۵۰ سانتی‌متر از سطح زمین و به صورت عمود بر سطح افقی در مکانی بالاتر از گلدان‌ها قرار گرفت. عکس‌برداری با استفاده از یک دوربین دیجیتالی (TP-LINK، مدل TL-SC3230N، H.264) انجام شد که در ادامه پس از انتقال تصاویر از طریق یک دستگاه گیرنده و فرستنده صدا و تصویر بی‌سیم (Boscam، مدل SC2000، آمریکا) با برد ۵۰۰ متر به رایانه، با استفاده از نرم‌افزار Matlab 2016a، پردازش تصویر انجام پذیرفت. لازم به ذکر است که دوربین تمامی تصاویر را در فضای رنگی RGB ثبت نمود.

#### پردازش تصویر

تأکید این تحقیق بر انجام سه مرحله‌ی پیش‌پردازش، بخش‌بندی و نمایش تصویر در فضاهای رنگی مختلف است که



شکل ۱. استخراج منطقه پوشش تاج گیاه به عنوان تصویر اصلی و نمایش آن در فضاهای رنگی مختلف با استفاده از پردازش تصویر

استفاده قرار گرفت. این فضاهای رنگ عبارتند از: RGB, rgb, XYZ, L\*a\*b\*, L\*u\*v\*, HLS, HSV, YCbCr, YUV, TSL و I1I2I3. شایان ذکر است که تمامی فضاهای رنگ مورد ارزیابی در این پژوهش با استفاده از توابع تبدیل و روابط ریاضی موجود

#### فضاهای رنگی مورد آزمایش

در این پژوهش، ۱۱ فضای رنگی جهت بررسی تصاویر و انتخاب فضای رنگی مناسب به منظور تشخیص نیاز آبی گیاه مورد

در جدول (۲) و از فضای رنگی RGB به دست آمده‌اند.

جدول ۲. توابع تبدیل از فضای RGB به دیگر فضاهای رنگی (کانال‌هایی که در فضاهای مختلف استفاده می‌شوند تنها یک بار نمایش داده شده‌اند).

فضای رنگی	کانال‌ها	تبدیل فضای رنگی از فضای RGB
rgb	R	$r = R/(R + G + B)$
	G	$g = G/(R + G + B)$
	B	$b = B/(R + G + B)$
XYZ	X	$X = 0.607 \cdot R + 0.174 \cdot G + 0.200 \cdot B$
	Y	$Y = 0.299 \cdot R + 0.587 \cdot G + 0.114 \cdot B$
	Z	$Z = 0.066 \cdot G + 1.116 \cdot B$
HSV	V	$V = M; M = \max\{R, G, B\};$ $m = \min\{R, G, B\}; p = 60 m/M$
	S	$S = (M - m)/M$
	H	$H = \{p(G-B) \text{ if } M = R; 120 + p(B-R) \text{ if } M = G;$ $240 + p(R-G) \text{ if } M = B\}$
HLS	L	$L = (M + m)/2$
	S	$S = (M - m)/\min\{M + m, 2 - M - m\}$
	L*	$L^* = \{116Y^{1/3} \text{ if } Y > k; 903.3Y \text{ if } Y \leq k\},$ $k = 0.008856$
L*a*b*	a*	$a^* = 500(f(X) - f(Y)),$ $f(t) = \{t^{1/3} \text{ if } t > k; 7.787 t + 0.1379 \text{ if } t \leq k\}$
	b*	$b^* = 200(f(Y) - f(Z))$
	u*	$u^* = 13 L^* (4X/(X + 15Y + 3Z) - 0.197939)$
L*u*v*	v*	$v^* = 13 L^* (9Y/(X + 15Y + 3Z) - 0.468311)$
	Cb	$Cb = 0.564 (B - Y) + 128$
	Cr	$Cr = 0.713 (R - Y) + 128$
YUV	U	$U = -0.14713 R - 0.28886 G + 0.436 B$
	V	$V = 0.615 R - 0.51499 \cdot G - 0.10001 B$
TSL	T	$T = \text{atan2}(r', g'); r' = r - 1/3; g' = g - 1/3$
	S	$S = [9/5 (r'^2 + g'^2)]^{1/2}; L = Y$
I1I2I3	I1	$I1 = 1/3 (R + G + B)$
	I2	$I2 = 1/2 (R - B)$
	I3	$I3 = 1/4 (2G - R - B)$

شدت در طول محور افقی بیان شده و میزان فراوانی هر مقدار در محور عمودی بیان می‌گردد. مقیاس شدت روشنایی شامل زیر قسمتهایی تحت عنوان میله‌های<sup>۱</sup> هیستوگرام است (Gonzalez *et al.*, 2004)، در این پژوهش سطوح شدت تصاویر در حالت‌های ۱۶، ۳۲، ۶۴، ۱۲۸ و ۲۵۶ میله‌ای به منظور انتخاب حالت بهینه جهت آموزش طبقه‌بند بیز بررسی شد.

#### طبقه‌بند بیز

یکی از طبقه‌بندهای پایه و ساده، طبقه‌بند بیز است که بر اساس قضیه بیزی می‌باشد. داده  $x_i$  به عنوان نماینده ویژگی‌های استخراج شده از تصویر  $i$  ام تعریف می‌گردد.  $p(\omega_i|x)$  مطابق این قضیه در رابطه (۱) احتمال مشاهده ویژگی‌های نمونه  $x$  به ازای  $x \in R$  است که متعلق به کلاس  $\omega_i$ ، با شرط  $(i=1,2,\dots,c)$

تصاویری از کانال‌های ۱۱ فضای رنگی که به آن‌ها اشاره شد، به صورت نمونه در شکل (۲) نشان داده شده است. در این پژوهش به منظور تعیین مناسب‌ترین فضاهای رنگی، برای هر فضا اطلاعات حاصل از هر کانال رنگ نسبت به دیگر کانال‌ها با ترسیم نمودارهای آن‌ها مورد مقایسه قرار گرفت.

#### نمودارهای فراوانی سطوح شدت تصاویر (هیستوگرام تصاویر)

هنگامی که شکل داده‌ها ناشناخته باشد و یا زمانی که توزیع آن‌ها بسیار پیچیده است، روش‌های غیر پارامتریک ترجیح داده می‌شوند، از میان روش‌های موجود، روش‌هایی که بر اساس نمودار هیستوگرام هستند بسیار رایج می‌باشند (Kakumanu *et al.*, 2007). در هر تصویر دیجیتالی، مقادیر پیکسل‌ها بیانگر خصوصیات آن تصویر (میزان سطوح شدت روشنایی تصویر و وضوح آن) می‌باشند. هیستوگرام تصویر در حقیقت بیان گرافیکی میزان سطوح شدت روشنایی است. مقادیر سطوح

می‌باشند (Chou et al., 2007).

c, ..., 2 می‌باشد. به عنوان مثال، احتمال مقادیر  $P(\omega_i)$  با تعیین فراوانی‌های مربوط به کلاس‌های مختلف هیستوگرام (شاداب و پژمرده) حاصل می‌شوند. در مجموع مسأله اصلی، یافتن تابع چگالی احتمال  $p(x|\omega_i)$  با فرض توزیع گوسی آن، می‌باشد (Tellaache et al., 2008). در موارد n بعدی، تابع چگالی احتمال گاوسی نمونه‌ها از کلاس  $\omega_i$  با استفاده از روابط زیر قابل محاسبه است:

$$p(x|\omega_i) = \gamma \exp[-\frac{1}{2}(x - \mu_j)^T C_i^{-1}(x - \mu_j)] \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$\gamma = \frac{1}{(2\pi)^{n/2} |C_i|^{1/2}} \quad (\text{رابطه ۵})$$

که در آن  $\mu_i$  و  $C_i$  با میانگین و ماتریس کواریانس کلاس  $\omega_i$  مطابقت دارند. این پارامترها را می‌توان با توجه به نمونه  $x$  که متعلق به کلاس  $\omega_i$  است با استفاده از معادلات زیر بدست آورد:

$$\mu_i = \frac{1}{N_i} \sum_{x \in \omega_i} x \quad (\text{رابطه ۶})$$

$$C_i = \frac{1}{N_i} \sum_{x \in \omega_i} (xx^T - \mu_j \mu_j^T) \quad (\text{رابطه ۷})$$

$$p(\omega_i | x) = (p(\omega_i) p(x|\omega_i)) / p(x) \quad (\text{رابطه ۱})$$

$p(x|\omega_i)$  تابع چگالی احتمال شرطی نمونه‌ها است که ترکیبی از کلاس  $\omega_i$  می‌باشد و  $P(\omega_i)$  نیز به عنوان تابع احتمال پیشین، وابسته به کلاس  $\omega_i$  است.

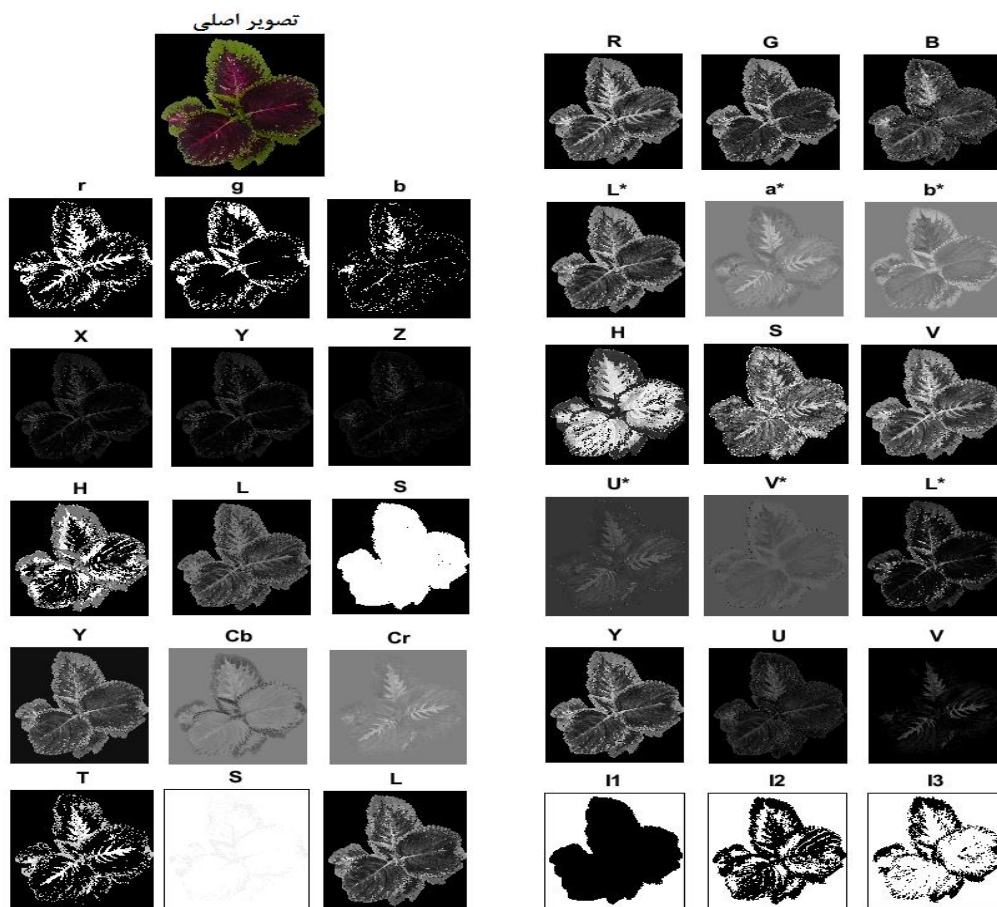
طبق طبقه‌بند بیز، زمانی نمونه  $x$  متعلق به کلاس  $\omega_i$  است که:

$$p(\omega_i | x) > p(\omega_j | x), \quad i, j = 1, 2, \dots, c, \quad i \neq j \quad (\text{رابطه ۲})$$

رابطه (۲) را می‌توان به صورت معادله زیر بازنویسی کرد:

$$p(x|\omega_i) p(\omega_i) > p(x|\omega_j) p(\omega_j) \quad (\text{رابطه ۳})$$

تابع تصمیم‌گیری طبقه‌بند بیز  $d_i(x) = p(x|\omega_i)P(\omega_i)$  با کلاس معین  $\omega_i$ ، وابسته به دانش اولیه  $p(x|\omega_i)$ ،  $\forall i=1, \dots, c$ ، و  $P(\omega_i)$ ،



شکل ۲. کانال‌های ۱۱ فضای رنگی مورد استفاده در یک نمونه تصویر از گیاه (از چپ به راست و از بالا به پایین این فضاها رنگی عبارتند از: RGB, rgb, HLS, HSV, XYZ, L\*a\*b\*, L\*u\*v\*, YCbCr, YUV, YUV, TSL و I1I2I3)

در این پژوهش ابتدا تصاویر اخذ شده از وضعیت گیاه در دو

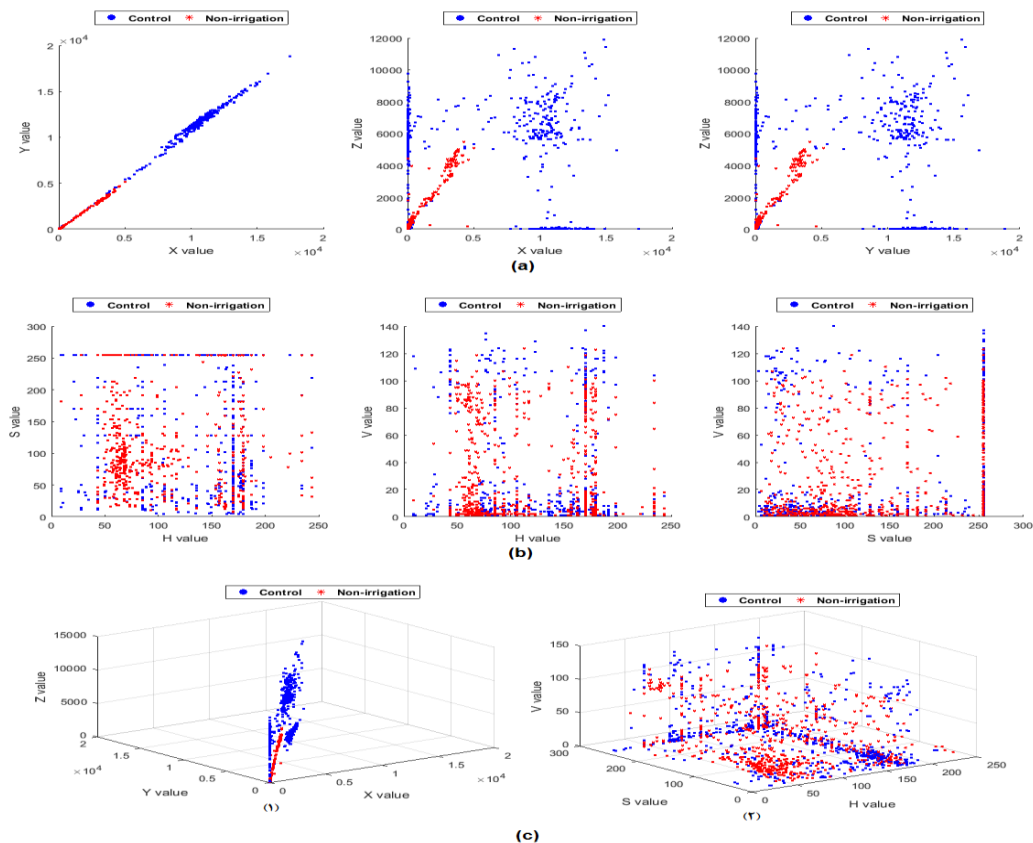
نتایج و بحث

است، شدت اکثر پیکسل‌ها نسبت به وضعیت گیاه در زمان پژمردگی نسبتاً دارای مقادیر بزرگتری است و طبق نمودارهای سه بعدی شکل (c) ۳، داده‌های حاصل از تصویر گیاه شاداب به صورت تقریبی در سطح بالاتری از گیاه پژمرده قرار گرفته‌اند. لازم به ذکر است که گیاه حسن یوسف هم دارای رنگیزه سبز (کلروفیل) و هم رنگیزه بنفش و قرمز (آنتوسیانین‌ها) می‌باشد، با شروع تنش خشکی کلروفیل‌ها زودتر از بین می‌روند و آنتوسیانین‌ها بیشتر دوام دارند، مطابقت داشتن این موضوع با ویژگی‌های فضای رنگی XYZ که قبلاً به آن‌ها اشاره شد (به عنوان مثال وابستگی مشخصه‌ی Y به رنگ سبز که با افزایش پژمردگی، این مؤلفه کاهش می‌یابد). به انتخاب این فضای رنگ به عنوان فضای رنگ مطلوب بیشتر کمک می‌کند. این در حالی است که برای بعضی دیگر از فضاهای رنگی مانند فضای رنگی HSV که در شکل (b) ۳ نشان داده شده است، چنین تفکیکی میان گیاه شاداب و پژمرده مشاهده نمی‌شود. در نتیجه به دلیل عدم توانایی در جداسازی و ناحیه‌بندی داده‌ها نمی‌توان از آن‌ها جهت تشخیص نیاز آبی گیاه استفاده کرد و جزء فضاهای رنگی نامناسب قرار می‌گیرند.

حالت (شاداب و پژمرده)، در طول مدت آزمایش مورد پردازش قرار گرفته و با جداسازی قسمت مورد نظر (ROI) از سایر قسمت‌ها تصویر پوشش تاج گیاه حاصل شد. لازم به ذکر است که این عملیات جداسازی جهت مشاهده تغییرات وضعیت نیاز آبی گیاه برای هر گلدان بعد از برچسب‌زنی تکرار گردید. سپس تصاویر بدست آمده به منظور بررسی و انتخاب فضاهای رنگی مناسب مورد ارزیابی قرار گرفتند.

### بررسی و مقایسه بصری ترسیم داده‌ها در هر فضای رنگی

کارایی یک مدل رنگی با دو اصطلاح نشان داده می‌شود: (۱) قابلیت جداسازی: توانایی تفکیک نرخ توزیع گروه‌های مختلف رنگ در فضای رنگی (۲) تعمیم‌پذیری: فراهم سازی امکان طبقه‌بندی صحیح داده‌ها در طول آموزش طبقه‌بند (Garcia-Mateos *et al.*, 2015). در این بخش به منظور روشن نمودن نحوه بررسی‌ها در فضاهای رنگی مختلف به صورت نمونه دو فضای رنگی مناسب (XYZ) و نامناسب (HSV) ترسیم گردید (شکل ۳). مطابق شکل (a) ۳ فضای رنگی مناسب می‌باشد که برای دو حالت از گیاه (شاداب و پژمرده)، داده‌ها در هر کانال هر یک در ناحیه‌ای مجزا قرار گیرند، این بدین معنی است که به عنوان مثال در همین شکل، زمانی که گیاه در وضعیت شاداب



شکل ۳. (a): نمودارهای حاصل از فضای رنگی XYZ (یکی از بهترین فضاهای رنگی)، (b): نمودارهای حاصل از فضای رنگی HSV (یکی از نامناسب ترین فضاهای رنگی) و (c): نمودارهای سه بعدی (۱ فضای XYZ ۲ فضای HSV)

**آنالیز فضاهای رنگی مورد آزمایش از لحاظ معنی داری**

در این پژوهش به منظور بررسی اختلاف معنی دار میان داده‌ها در کانال‌های رنگ استخراج شده از نمونه‌های مورد مطالعه، آنالیز آماری دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام پذیرفت. با توجه به اینکه با گذشت زمان نیاز آبی گیاه به دلیل افزایش دمای برگ و همچنین تغییر وضعیت تعرق در آن شدت پیدا می‌کند و در نتیجه میزان پژمردگی به مرور روندی صعودی به همراه دارد، داده‌های اندازه‌گیری شده نیز با گذشت زمان و متناسب با میزان تغییرات پژمردگی دارای مقداری متفاوت می‌گردند. به همین

خاطر در هر فضای رنگی میان کانال‌های رنگ در دو حالت از وضعیت گیاه (شاداب و پژمرده)، آزمون آماری صورت پذیرفت. نتایج تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها در جداول (۳-۵) گزارش شده است. مطابق جدول (۳) مشاهده می‌گردد، هر سه کانال تشکیل دهنده فضاهای رنگی RGB، rgb، XYZ و همچنین دو کانال L و b در فضای رنگی Lab، ضمن معنی دار بودن اختلافات بین تیمارها در سطح احتمال ۵٪، در زمانی که گیاه در وضعیت شاداب قرار دارد دارای مقادیر بزرگتری بوده و هنگام پژمردگی این مقادیر کاهش یافته‌اند.

جدول ۳. جدول مقایسه میانگین فضاهای رنگی

تیمار	صفات											
	فضای XYZ			فضای Lab			فضای Rgb			فضای RGB		
	X	Y	Z	L	a	b	r	g	b	R	G	B
۱ (شاداب)	۱۴۴۷/۸۳ <sup>a</sup>	۱۵۷۰/۳۴ <sup>a</sup>	۱۰۸۳/۵۱ <sup>a</sup>	۳۹/۷۳ <sup>a</sup>	۱۲۷/۵۱ <sup>a</sup>	۱۲۸/۶۸ <sup>a</sup>	۵۰/۰۱ <sup>a</sup>	۳۲/۳۵ <sup>a</sup>	۶۴/۲۲ <sup>a</sup>	۵۳/۰۲ <sup>a</sup>	۵۰/۱۹ <sup>a</sup>	۳۶/۱۷ <sup>a</sup>
۲ (پژمرده)	۶۱۲/۷۶ <sup>b</sup>	۶۶۹/۷۷ <sup>b</sup>	۵۴۳/۱۸ <sup>b</sup>	۲۷/۲۶ <sup>b</sup>	۱۲۷/۲۹ <sup>a</sup>	۱۲۷/۷۳ <sup>b</sup>	۱۹/۸۳ <sup>b</sup>	۲۰/۸۹ <sup>b</sup>	۵۵/۹۳ <sup>b</sup>	۴۳/۲۰ <sup>b</sup>	۳۹/۵۹ <sup>b</sup>	۲۵/۷۴ <sup>b</sup>

حروف مشترک نشان دهنده‌ی غیر معنی دار بودن در سطح احتمال ۵٪

بدین ترتیب با توجه به نتایج آنالیز آماری حاصل از ترسیم داده‌ها و مقایسه بصری آن‌ها نتیجه گرفته شد که فضاهای رنگی XYZ، rgb، RGB و کانال L در فضاهای Lab، HLS و UVL و همچنین کانال‌های b و Y به ترتیب در فضاهای رنگی Lab و YUV مناسب‌ترین فضاهای رنگی به منظور تشخیص آب مورد نیاز گیاه هستند.

نتیجه‌ای مشابه مطابق جداول (۴-۵) برای کانال L در دو فضای رنگی HLS و UVL و همچنین برای کانال Y در فضای رنگی YUV حاصل شد. در مجموع به دلیل تنش خشکی وارد شده شدت مقادیر داده‌های رنگی با گذشت زمان کاهش می‌یابد. در سایر فضاهای رنگی بررسی شده، کانال‌های رنگ دارای اختلافات معنی داری بین تیمارها در سطح احتمال ۵٪ نبودند که این مسأله حاکی از نامناسب بودن این فضاهای رنگی است.

جدول ۴. جدول مقایسه میانگین فضاهای رنگی

تیمار	صفات											
	فضای YCbCr			فضای UVL			فضای HLS			فضای HSV		
	Y	Cb	Cr	U	V	L	H	L	S	H	S	V
۱ (شاداب)	۵۴/۸۹ <sup>a</sup>	۵۴/۸۹ <sup>a</sup>	۱۲۶/۹۸ <sup>a</sup>	۵۵/۵۴ <sup>a</sup>	۶۶/۹۷ <sup>a</sup>	۴۳/۳۲ <sup>a</sup>	۲۰۰/۵۵ <sup>a</sup>	۲۳/۹۶ <sup>a</sup>	۲۳۱/۱۲ <sup>a</sup>	۱۳۹/۱۰ <sup>a</sup>	۱۷۴/۴۵ <sup>a</sup>	۲۹/۱۲ <sup>a</sup>
۲ (پژمرده)	۴۳/۸۸ <sup>a</sup>	۴۳/۸۸ <sup>a</sup>	۱۲۵/۴۲ <sup>a</sup>	۵۰/۹۱ <sup>a</sup>	۶۳/۴۷ <sup>a</sup>	۱۸/۸۵ <sup>b</sup>	۱۸۷/۷۵ <sup>a</sup>	۲۱/۰۷ <sup>b</sup>	۲۲۶/۴۴ <sup>a</sup>	۱۲۴/۹۹ <sup>a</sup>	۱۷۰/۰۰ <sup>a</sup>	۲۴/۵۴ <sup>a</sup>

حروف مشترک نشان دهنده‌ی غیر معنی دار بودن در سطح احتمال ۵٪

جدول ۵. جدول مقایسه میانگین فضاهای رنگی

تیمار	صفات								
	فضای I1I2I3			فضای TLS			فضای YUV		
	I1	I2	I3	T	L	S	Y	U	V
۱ (شاداب)	۰ <sup>a</sup>	۰/۲۵ <sup>a</sup>	۰ <sup>a</sup>	۱/۶۵ <sup>a</sup>	۱/۰۰ <sup>a</sup>	۳۵/۱۶ <sup>a</sup>	۳۳/۴۳ <sup>a</sup>	۱۳/۹۶ <sup>a</sup>	۲/۸۸ <sup>a</sup>



. <sup>a</sup>	.۰/۲۲ <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	۱/۳۱ <sup>a</sup>	۱/۰۰ <sup>a</sup>	۳۳/۵۶ <sup>a</sup>	۳۱/۸۹ <sup>b</sup>	۱۱/۷۳ <sup>a</sup>	۲/۶۴ <sup>a</sup>	۲ (پژمرده)
----------------	--------------------	----------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------	-------------------	------------

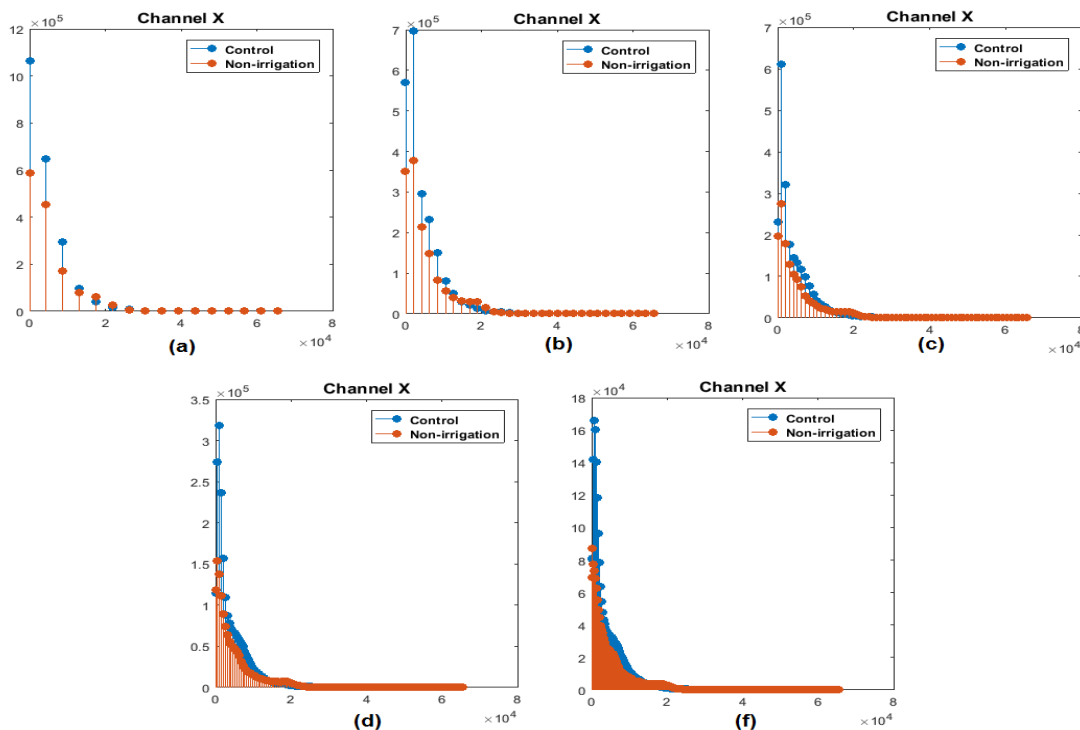
حروف مشترک نشان دهنده‌ی غیر معنی دار بودن در سطح احتمال ۵٪

کلسیم در محصولات زراعی کاهو از فضاهاى رنگی RGB و HSL استفاده نمودند که موثرترین کانال مؤلفه رنگی L بدست آمد که با پژوهش حاضر در یک راستا می‌باشد.

#### بررسی نمودارهای فراوانی فضاهاى رنگی مطلوب

پس از انتخاب فضاهاى رنگی مناسب، در ادامه فراوانی سطوح شدت تصاویر به منظور مقایسه وضعیت گیاه در دو حالت (شاداب و پژمرده) مورد بررسی قرار گرفت. بدین ترتیب با مقایسه سطوح شدت تصاویر در حالت‌های ۱۶، ۳۲، ۶۴، ۱۲۸ و ۲۵۶ میله‌ای نسبت به یکدیگر، حالت بهینه بخش‌بندی مقیاس شدت تصاویر جهت آموزش طبقه‌بند انتخاب شد (شکل ۴). با توجه به این موضوع معیار مناسب برای انتخاب حالت بهینه این است که فواصل میان میله‌های هیستوگرام و تعداد آن‌ها کافی و مناسب باشد تا طبقه‌بند از اطلاعات کافی جهت آموزش برخوردار باشد و همچنین دچار حساسیت و انحراف نگردد.

Arefi *et al.* (2011) در پژوهشی به منظور برداشت خودکار گوجه فرنگی جهت تشخیص گوجه فرنگی‌های رسیده از الگوریتمی با ترکیب فضاهاى رنگی RGB، HSI و YIQ استفاده کردند که دقت کل الگوریتم پیشنهادی ۹۶/۳۶٪ بود. همچنین Blasco *et al.* (2002) فضای RGB را جهت شناسایی علف‌های هرز مناسب دانسته به طوری که دقت طبقه‌بندی را ۹۶٪ گزارش نمودند. در مطالعه‌ای مشابه برای کنترل علف‌های هرز، مؤلفه رنگی g از فضای RGB به منظور تشخیص محصول از گیاهان علف هرز با دقت ۹۱٪ مؤثر بدست آمد (Astrand & Baerveldt, 2002). در پژوهش حاضر نیز مؤلفه‌های رنگی فضای رنگی RGB در گیاه شاداب و پژمرده دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند. در پژوهشی دیگر برای تشخیص بیماری‌های گیاهی فضای رنگی HSI مورد بررسی قرار گرفت، نهایتاً مشخص شد که مؤلفه رنگی H بهترین نتایج را بدست می‌دهد (Weizheng *et al.*, 2008). Story *et al.* (2010) نیز برای تشخیص کمبود



شکل ۴. نمودارهای هیستوگرام کانال X (در فضای رنگی XYZ) در سطوح شدت با تعداد میله‌های (a): ۱۶، (b): ۳۲، (c): ۶۴، (d): ۱۲۸ و (d): ۲۵۶

(۴) مناسب‌ترین انتخاب برای فضاهاى رنگی مطلوب می‌باشد. شایان ذکر است که در این حالت از مقیاس شدت (تعداد ۶۴ میله)، به خوبی تفاوت دو حالت از وضعیت گیاه (شاداب و

با در نظر گرفتن معیاری که به آن اشاره شد، مطابق شکل (۴) با مشاهده نمودارهای فراوانی شدت‌ها در حالت‌های مختلف می‌توان متوجه شد که نمودار فراوانی با تعداد ۶۴ میله (شکل

برابر ۸۹/۶٪ و ۹۱/۹٪ بود. Zhao et al. (2016) به منظور تشخیص گوجه فرنگی‌های رسیده در گلخانه به صورت خودکار توانستند بیش از ۹۶٪ از گوجه فرنگی‌ها را با ترکیبی از طبقه‌بند آدابوست و آنالیز رنگ به درستی تشخیص دهند. همانطور که مشخص است دقت پژوهش‌های فوق‌الذکر از مطالعه حاضر بالاتر می‌باشد. البته دلیل این مسأله را می‌توان به محصول مورد مطالعه نسبت داد که در فضای RGB دارای تمایز حداکثری است. در پژوهشی دیگر Leemans & Destain (2004) برای طبقه‌بندی سیب، ویژگی‌های مورد نظر از نواحی ناسالم سیب را در فضای رنگی RGB استخراج نمودند و برای برچسب گذاری هر ناحیه ناسالم از روش خوشه‌یابی k-mean و برای طبقه‌بندی از طبقه‌بند جداساز درجه دو (Quadratic Discriminant) استفاده کردند. لازم به ذکر است که در تحقیق آن‌ها میزان و نوع خرابی اهمیتی نداشت و نهایتاً میوه‌ها به درستی با نرخ ۷۳٪ طبقه‌بندی شدند. در مطالعه‌ای دیگر جهت طبقه‌بندی نوعی پیاز به دو گروه سالم و معیوب از شبکه عصبی و طبقه‌بند بیز به عنوان روش انتخاب ویژگی استفاده شد. طبق نتایج این تحقیق دقت، تلفات و نرخ مثبت کاذب طبقه‌بند عصبی به ترتیب ۹۰، ۶ و ۱۰٪ مشاهده شد اما طبقه‌بند بیز دارای دقت ۸۰٪، تلفات ۱۶٪ و نرخ مثبت کاذب ۱۷٪ بود (Shahin et al., 2002). در نتیجه مطالعه حاضر دارای دقت بالاتری نسبت به دو پژوهش فوق‌الذکر می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

یکی از مهم‌ترین روش‌های بهبود مدیریت مصرف آب در کشاورزی، تخمین دقیق میزان آب مصرفی گیاه است. لذا با توجه به اهمیت مصرف آب ارائه راهکاری مناسب جهت کنترل آبیاری گیاه مورد نیاز می‌باشد. در این تحقیق، به منظور تشخیص تنش آبی گیاه، تصاویر پوشش تاج گیاهان در دو حالت از وضعیت گیاه (شاداب و پژمرده) با استفاده از تکنیک پردازش تصویر مورد بررسی قرار گرفت. بدین ترتیب با بررسی فضاهای رنگی (RGB، XYZ rgb، L\*a\*b\*، L\*u\*v\*، HSV، HLS، YCbCr، YUV، TSL، I1I2I3) و با توجه به نتایج آنالیز آماری دانکن در سطح احتمال ۵٪ و همچنین بررسی و مقایسه بصری ترسیم داده‌ها در هر فضای رنگ، مناسب‌ترین فضاهای رنگی (سه کانال تشکیل دهنده‌ی فضاهای رنگی RGB، XYZ rgb و همچنین دو کانال L و b در فضای رنگی Lab، کانال L در دو فضای رنگی HLS و UVL و کانال Y در فضای رنگی YUV) انتخاب شد. پس از آن نمودارهای هیستوگرام تصاویر در فضاهای رنگی مطلوب ترسیم گردید و در نهایت با توجه به

پژمرده) نمایان است. دلیل این انتخاب این مسأله بود که اولاً، اطلاعات وارد شده به طبقه‌بند در این تقسیم‌بندی دارای جزئیات کافی می‌باشد و ثانیاً، این جزئیات به قدری زیاد نبود که سبب گمراهی طبقه‌بند گردد (بالاترین دقت طبقه‌بند در تقسیم‌بندی ۶۴ تایی نمودار فراوانی بدست آمد). همانطور که در شکل ۴(c-f) مشخص است این تمییز در بازه  $10^4 \times 2 - 0$  کاملاً آشکار می‌باشد. در مجموع با توجه به نتایج مشاهدات و بررسی‌ها در اکثر فضاهای رنگی میزان فراوانی سطوح شدت در تصاویر گیاهان شاداب دارای مقادیری معین است و در اکثر موارد بیشتر از حالت پژمرده مشاهده شده‌اند، در نهایت بر اساس مقادیر فراوانی و آموزش طبقه‌بند با استفاده از این مقادیر، وضعیت نیاز آبی گیاه تشخیص داده شد.

### نتایج طبقه‌بند بیز

در این پژوهش بعد از انتخاب مناسب‌ترین فضاهای رنگی (سه کانال تشکیل دهنده‌ی فضاهای رنگی RGB، XYZ rgb و همچنین دو کانال L و b در فضای رنگی Lab، کانال L در دو فضای رنگی HLS و UVL و کانال Y در فضای رنگی YUV) فراوانی‌های هر فضای رنگی در محدوده‌ای که بیشترین اختلاف وجود داشت محاسبه و دو-سوم داده‌ها (۷۰ عدد) برای آموزش طبقه‌بند بیز و یک-سوم (۳۵ عدد) به منظور آزمون طبقه‌بند به صورت اتفاقی مورد استفاده قرار گرفتند. در این پژوهش تعداد گروه‌ها ۲ عدد (شاداب و پژمرده) می‌باشد. ماتریس درهم ریختگی (جدول ۶) نحوه عملکرد طبقه‌بند آموزش‌دیده در گروه‌بندی گیاهان را نشان می‌دهد. همانطور که در ماتریس درهم‌ریختگی (جدول ۶) آمده است طبقه‌بند هر ۷ عدد گیاه شاداب را به درستی طبقه‌بندی می‌کند (دقت ۱۰۰٪). در حالی که دقت طبقه‌بند در تشخیص گیاهان پژمرده ۷۸/۵۷٪ می‌باشد. در نتیجه دقت کلی طبقه‌بندی ۸۳/۱۱ درصد محاسبه گردید.

جدول ۶. ماتریس درهم‌ریختگی طبقه‌بند بیز آموزش دیده با ۱۴ کانال فضای رنگی

گروه	دقت طبقه‌بندی (%)	
	شاداب	پژمرده
شاداب	۷	۰
پژمرده	۶	۲۲
دقت طبقه‌بندی (%)	۵۳/۸۴	۱۰۰

در پژوهشی Steward et al. (2004) از روش خوشه‌بندی به منظور تعریف سطوح تصمیم‌گیری جهت طبقه‌بندی خاک گیاه در فضای RGB استفاده کردند. در تحقیق آن‌ها برای شرایط نور در دو حالت ابری و آفتابی میزان موفقیت به ترتیب

راستای بهبود وضعیت گیاه اقدام نمود.

### سپاسگزاری

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

نتایج مشاهدات و بررسی‌های حاصل از این نمودارها، بر اساس مقادیر فراوانی سطوح شدت تصاویر گیاهان در دو حالت (شاداب و پژمرده) و آموزش طبقه‌بند با استفاده از این مقادیر، وضعیت نیاز آبی گیاه تشخیص داده شد. به این ترتیب مطابق روش پیشنهاد شده می‌توان حتی تغییرات اندک در فرآیند پژمردگی گیاه را مشاهده و بر اساس آن، نیاز گیاه به آبیاری را تشخیص داد و نهایتاً با طراحی یک سامانه هوشمند آبیاری می‌توان در

### REFERENCES

- Allen, R. G. & Pereira, L. S. (2009). Estimating crop coefficients from fraction of groundcover and height. *Irrig. Sci.* 28, 17–34.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. & Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements-FAO Irrigation and Drainage Paper 56. *FAO, Rome*. 6541 p.
- Arefi, A., Motlagh, A. M., Mollazade, K. & Teimourlou, R. F. (2011). Recognition and localization of ripen tomato based on machine vision. *Australian Journal of Crop Science*. 5(10), 1144-1149.
- Astrand, B. & Baerveldt, A. J. (2002). An agricultural mobile robot with vision-based perception for mechanical weed control. *Autonomous Robots*. 13, 21–35.
- Blasco, J., Aleixos, N., Roger, J. M., Rabatel, G. & Molto, E. (2002). Robotic weed control using machine vision. *Biosyst. Eng.* 83(2), 149–157.
- Campos, I., Neale, C. M., Calera, A., Balbontin, C. & Gonzalez-Piqueras, J. (2010). Assessing satellite-based basal crop coefficients for irrigated grapes (*Vitis vinifera* L). *Agric. Water Manage.* 98, 45–54.
- Chou, J. J., Chen, C. P. & Yeh, J. T. (2007). Crop identification with wavelet packet analysis and weighted Bayesian distance. *Computers and electronics in agriculture*, 57(1), 88-98.
- Damas, M., Prados, A. M., Gomez, F. & Olivares, G. (2001). Hidro Bus system: fieldbus for integrated management of extensive areas of irrigated land. *Microprocessors and Microsystems*, 25(3), 177-184.
- Dorigo, M. & Stutzle, T. (2004). Ant colony optimization. A Bradford book. The United States of America: The MIT Press. p. 321.
- Escarabajal-Henarejos, D., Molina-Martinez, J. M., Fernandez-Pacheco, D. G. & Garcia-Mateos, G. (2015). Methodology for obtaining prediction models of root depth of lettuce for its application in irrigation automation. *Agric. Water Manage.* 151, 167–173.
- Fernandez-Pacheco, D. G., Escarabajal, D., Ruiz-Canales, A., Conesa, J. & Molina-Martinez, J. M. (2014). A digital image-processing-based method for determining the crop coefficient of lettuce crops in the southeast of Spain. *Biosyst. Eng.* 117, 23–34.
- Foucher, P., Revillon, P., Vigouroux, B. & Chasseriaux, G. (2004). Morphological image analysis for the detection of water stress in potted *Forsythia*. *Biosystems Engineering*, 89 (2), 131-138.
- Garcia-Mateos, G., Hernandez-Hernandez, J. L., Escarabajal-Henarejos, D., Jaen-Terrones, S. & Molina-Martinez, J. M. (2015). Study and comparison of color models for automatic image analysis in irrigation management applications. *Agricultural Water Management*. 151, 158-66.
- Giacomelli, G. A., Ling, P. P. & Kole, J. (1998). Determining nutrient stress in lettuce plants with machine vision technology. *Hort Technology*. 8(3), 361–365.
- Golzarian, M. R., Sadeghi, F., Ghanei, N. & Kazemi, F. (2014). A qualitative and quantitative approach to assessing the performance of contrast enhancing colour indices used in automatic computer vision plant identification system. Conference: *The 8th National Congress on Agr. Machinery (Biosystem) Engineering and Mechanization.*, At Mashad, Iran. pp. 1579-1592. (in Farsi).
- Gonzalez, R. C., Woods, R. E. & Eddins, S. L. (2004). Digital image processing using MATLAB. Pearson Education India.
- Grant, O. M., Davies, M. J., Longbottom, H. & Harrison-Murray, R. (2012). Evapotranspiration of container ornamental shrubs: modelling crop-specific factors for a diverse range of crops. *Irrigation Science*. 30(1), 1–12.
- Hanson, B. R. & May, D. M. (2005). Crop coefficients for drip-irrigated processing tomato. *Agric. Water Manage.* 81(3), 381–399.
- Hendrawan, Y. & Murase, M. (2011). Bio inspired feature selection to select informative image features for determining water content of cultured *Sunagoke* moss. *Expert Systems with Applications*, 38(11), 14321–14335.
- HunterLab. (2001). Application note. Insight on Color. 13, pp. 1-4.
- Kakumanu, P., Makrogiannis, S. & Bourbakis, N. (2007). A survey of skin-color modeling and detection methods. *Pattern Recognit.* V. 40(3), 1106–1122.
- Kodagali, J. A. & Balaji, S. (2012). Computer vision and image analysis based techniques for

- automatic characterization of fruits—a review. *Int. J. Comput. Appl.* 50(6),6–12.
- Kumar, P., Sengupta, K. & Lee, A. (2002). A comparative study of different color spaces for foreground and shadow detection for traffic monitoring system. *The IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Systems.* 100–105.
- Leemans, V. & Destain, M. F. (2004). A real-time grading method of apples based on features extracted from defects. *Journal of Food Engineering.* 61(1), 83-89.
- Lin, K., Chen, J., Si, H. & Junhui, W. (2013). A review on computer vision technologies applied in greenhouse plant stress detection. *Adv. Image Graphics Technol.* 363, 192–200.
- Ling, P. P. & Ruzhitsky, V. N. (1996). Machine vision techniques for measuring the canopy of tomato seedling. *J. Agric. Eng. Res.* 65, 85–95.
- Lopez-Urrea, R., Martin de Santa Olalla, F., Montoro, A. & Lopez-Fuster, P. (2009). Single and dual crop coefficients and water requirements for onion (*Allium cepa* L.) under semiarid conditions. *Agric. Water Manage.* 96, 1031–1036.
- Luzuriaga, D. A. & Balaban, M. O. (2002). Colour machine vision system: an alternative for colour measurement. In *Proceedings of the world congress of computers in agriculture and natural resources, Iguacu Falls, Brazil.* 13–15 March. pp. 93–100.
- McCarthy, C. L., Cheryl, N. H. & Hancock, S. R. (2010). Applied machine vision of plants—a review with implications for field deployment in automated farming operations. *Intell. Serv. Rob.* 3(4), 209–217.
- Ohta, Y., Kanade, T. & Sakai, T. (1980). Color information for region segmentation. *Comput. Graphics Image Process.* 13(3), 222–241.
- Shahin, M. A., Tollner, E. W., Gitaitis, R. D., Sumner, D. R. & Maw, B. W. (2002). Classification of sweet onions based on internal defects using image processing and neural network techniques. *Transactions of the ASAE.* 45(5), 1613–1618.
- Shih, P. & Liu, C. (2005). Comparative assessment of content-based face image retrieval in different color spaces. *Int. J. Patt. Recogn. Artif. Intell.* 19(7), 873–893.
- Shiraishi, M. & Sumiya, H. (1996). Plant identification from leaves using quasi-sensor fusion. *J. Manuf. Sci. Eng., Trans. ASME.* 118(3), 382–387.
- Shoor, M., Behzadi, M. & Goldani, M. (2012). Study of Rooting, Quantitative and Anatomical Traits on Two Coleus Spices in High Level Carbon Dioxide. *Journal of Horticultural Science,* 26(3), 277-285.
- Slaughter, D. C., Giles, D. K. & Downey, D. (2008). Autonomous robotic weed control systems: a review. *Comput. Electron. Agric.* 61, 63–78.
- Steward, B. L., Tian, L. F., Nettleton, D. & Tang, L. (2004). Reduced-dimension clustering for vegetation segmentation. *Trans. ASAE.* 47(2), 609–616.
- Story, D., Kacira, M., Kubota, C., Akoglu, A. & An, L. L. (2010). Lettuce calcium deficiency detection with machine vision computed plant features in controlled environments. *Comput. Electron. Agric.* 74(2), 238–243.
- Tellaache, A., Burgos-Artizzu, X. P., Pajares, G. & Ribeiro, A. (2008). A vision-based method for weeds identification through the Bayesian decision theory. *Pattern Recognition,* 41(2), 521–530.
- Terrillon, J. C. & Akamatsu, S. (2000). Comparative performance of different chrominance spaces for color segmentation and detection of human faces in complex scene images. In: *International Conf. on Face and Gesture Recognition,* pp. 54–61.
- Weizheng, S., Yachun, W., Zhanliang, C. & Hongda, W. (2008). Grading method of leaf spot disease based on image processing. In *Computer Science and Software Engineering, International Conference.* 6, 491-494.
- Xu, X. G., Wang, J. H., Li, C. J., Song, X. U. & Huang, W. J. (2010). Estimating growth height of winter wheat with remote sensing. In: *In Proceedings of the SPIE 7824, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XII.*
- Zhao, Y., Gong, L., Zhou, B., Huang, Y. & Liu, C. (2016). Detecting tomatoes in greenhouse scenes by combining AdaBoost classifier and colour analysis. *Biosystems Engineering.* 148, 127-137.