



رابطه بین مؤلفه‌های رنگی استخراجی از تصاویر دیجیتال و محتوای رطوبت نسبی در گیاه کنجد تحت تنش آبی

زهره مصطفایی^{۱*}، عباس همت^۲، سید احمد میره ای^۳

۱، ۲، ۳ گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان (zohremostafaei@yahoo.com)

چکیده

یکی از عمده‌ترین تنش‌هایی که گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد، تنش آبی می‌باشد. با توجه به فراگیر بودن این تنش در شرایط کنونی در سراسر جهان، با تشخیص به موقع آن و تعیین زمان آبیاری، می‌توان از صدمات وارده به بخش کشاورزی را کاهش داد. هدف از این پژوهش نشان دادن رابطه بین مؤلفه‌های رنگی $G/(R+G+B)$ ، $R/(R+G+B)$ و شاخص فیزیولوژی محتوای رطوبت نسبی (RWC) در راستای تشخیص تنش آبی می‌باشد. بدین منظور با استفاده از پردازش تصویر، مؤلفه‌های رنگی ذکر شده از تصاویر دیجیتال تهیه شده از کانوپی گیاهان کنجد استخراج شدند و RWC نیز اندازه‌گیری شد. همچنین از دو نوع ژنوتیپ حساس (ناز تک شاخه) و مقاوم (یکتا) به تنش آبی کنجد استفاده شد. گیاهان کنجد در سه وضعیت آبیاری: بدون تنش (WW)، تنش متوسط (MWS) و تنش شدید (SWS) قرار داشتند. نتایج نشان داد که با افزایش سطح تنش مقدار $R/(R+G+B)$ و $B/(R+G+B)$ افزایش و ارتباط این دو مؤلفه با RWC به صورت معکوس و با افزایش سطح تنش مقدار $G/(R+G+B)$ کاهش یافته و ارتباط این مؤلفه با RWC به صورت مستقیم بود. همچنین تغییرات $B/(R+G+B)$ و $G/(R+G+B)$ در ژنوتیپ حساس محسوس‌تر بود. بنابراین نتایج می‌توان از روش پردازش تصویر برای تشخیص تنش آبی استفاده نمود که جایگزینی برای اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیولوژی مانند RWC باشد.

کلمات کلیدی: تنش آبی، پردازش تصویر، RWC، کنجد.

* نویسنده مسئول: zohremostafaei@yahoo.com



رابطه بین مولفه‌های رنگی استخراجی از تصاویر دیجیتال و محتوای رطوبت نسبی در گیاه کنجد تحت تنش آبی

مقدمه

خشکی شایع‌ترین تنش محیطی محسوب می‌شود که می‌توان گفت به‌طور تقریبی موجب محدودیت تولید در ۲۵ درصد از اراضی جهان شده است [۱۲]. به طوری که خشکسالی و تنش آبی حاصل از آن هر ساله موجب خسارت‌های هنگفتی به محصولات کشاورزی در سراسر جهان به‌خصوص ایران به‌عنوان کشوری واقع در منطقه خشک و نیمه‌خشک، می‌شود [۶]. آثار این عامل در کاهش عملکرد محصول زمانی ظاهر می‌شود که تنش در فیزیولوژی رشد گیاه اثر کند [۵]. یکی از صفات فیزیولوژیک برای تعیین وضعیت آب گیاه محتوای نسبی رطوبت آب (RWC^1) برگ می‌باشد؛ روشی کارآمد و مؤثر در تعیین تأثیر تنش خشکی در گیاه است [۱۶]. کاهش RWC تحت شرایط خشکی باعث محدود شدن رشد و برخی تغییرات فیزیولوژیکی و متابولیکی می‌گردد [۴]. کاهش محتوای رطوبتی نسبی آب برگ با افزایش تنش آبی در یونجه [۱۹]، گندم [۱۵]، نخود [۱] و کنجد [۷] گزارش شده است.

کنجد (*Sesamum indicum L.*) گیاه یکساله خودگشن با دیرینه زراعی طولانی است؛ به علت داشتن درصد زیاد روغن و همچنین مقدار مناسب پروتئین به عنوان منبع تغذیه‌ای ارزشمندی محسوب می‌شود [۱۱]. کنجد از دانه‌های روغنی مناطق گرم و نیمه گرم می‌باشد، که کشت بعضی از ارقام آن به مناطق معتدل نیز گسترش یافته است؛ این دانه روغنی دارای ارقام متعددی می‌باشد [۲۳]. مقدار روغن در زمان رسیدگی فیزیولوژیکی به سطح ثابتی می‌رسد و تا زمان رسیدگی بذر نوسان اندکی دارد [۱۷]. آبیاری می‌تواند سبب افزایش مقدار روغن شود، که بدین ترتیب تنش آبی سبب کاهش آن می‌شود. از نظر عملکرد روغن دانه رقم‌های مقاوم به تنش عملکرد بهتری دارند به گونه‌ای که در نهایت روغن بیشتری تولید می‌کنند [۲۱]. یکی از شاخه‌های هوش مصنوعی، بینایی ماشین می‌باشد که مشکلات مربوط به حس بینایی و تحلیل اطلاعات بصری را به سهولت حل می‌کند. این علم می‌تواند در هر جایی که نیاز باشد به جای انسان بیند و مورد استفاده قرار گیرد [۲]. اگرچه انسان عملکرد بهتر و قابلیت انطباق بیشتری برای خطاها دارد، ولی با توجه به سرعت و دقت بالا، کار ۲۴ ساعته و انجام محاسبات تکراری دستگاه‌های با قابلیت بینایی به مرور جای نیروی انسانی را پر کرده‌اند [۳]. پردازش تصویر به عنوان هسته علم ماشین بینایی امروزه رشد شگرفی در زمینه‌های متفاوت از جمله پزشکی، نظارت هوایی، مکانیزه نمودن خط تولید و... را داشته است [۲۲]. بر اساس مطالعات پیشین می‌توان گفت ماشین بینایی در زمینه کشاورزی موفق عمل کرده است. در پژوهشی با استفاده از اطلاعات رنگی استخراج شده، سطح تنش آبی و کمبود نیتروژن تعیین گردید [۱۳]. نداف زاده و همکاران (۱۳۹۶)، نشان دادند که با بررسی‌های پارامترهای رنگی تصاویر دیجیتال و مورفولوژیکی گیاه حسن یوسف می‌توان نیاز گیاه به آب را تشخیص داد و بدین وسیله در راستای بهبود وضعیت گیاه اقدام نمود [۹]. در خصوص گیاه چمن با استفاده از پردازش تصویر، محتوای رطوبت گیاه پیش‌بینی و کنترل شد [۱۰]. در پژوهشی دیگر پس از بررسی پارامترهای استخراج شده از تصاویر رنگی با توجه به نتایج آنالیز آماری پارامترهای رنگی RGB و مساحت کانوی گیاه کنجد هر کدام در سه وضعیت آبی در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بودند [۸]. هدف از این پژوهش، بررسی رابطه میان مولفه‌های رنگی استخراجی از تصاویر دیجیتال و شاخص فیزیولوژی RWC در راستای تشخیص تنش آبی در گیاه کنجد است.

1 Relative water content



مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۵ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان به مرحله اجرا در آمد. در این تحقیق تعداد ۱۸۰ گلدان از دو ژنوتیپ حساس (ناز تک شاخه) و مقاوم (یکتا) به تنش آبی در شرایط کنترل شده گلخانه کاشته شدند. خاک گیری گلدان‌ها (هر گلدان تقریباً ۲/۵ کیلوگرم هواخشک) به طور مساوی انجام گرفت. در هر گلدان تعدادی بذر در عمق یکسان (تقریباً ۱ سانتی‌متر) کاشته شد. پس از رشد و استقرار کامل گیاه عملیات تنک کردن به طوری که در هر گلدان ۵ گیاه باقی بماند انجام شد. از زمان کاشت تا شش هفته آبیاری و کوددهی برای همه گلدان‌ها به صورت یکسان انجام شد. سپس آبیاری به صورت تنشی اعمال گردید. پتانسیل آب خاک بر اساس ASW و منحنی مشخصه رطوبتی خاک تعیین گردید، همچنین سطوح آبیاری بر اساس درصد حداکثر تخلیه مجاز (MAD) از آب در دسترس خاک (ASW) در سه سطح پتانسیل آبی خاک ۱/۰- (بدون تنش؛ WW^2)، ۱- (تنش متوسط؛ MWS^3) و ۱/۵- (مگاپاسکال (تنش شدید؛ SWS^4) انجام شد. پس از اعمال تنش‌ها به مدت سه هفته تصویربرداری مرئی و اندازه‌گیری محتوای رطوبت نسبی انجام گرفت. RWC به عنوان شاخص فیزیولوژی تشخیص تنش خشکی با استفاده از روش ارائه شده توسط اسمارت و بینگام و رابطه (۱) محاسبه شد [۲۰]. که در آن FW وزن برگ تازه، DW وزن برگ خشک و TW وزن برگ بعد قرار گرفتن در آب مقطر، در اتاق تاریک به مدت ۴ ساعت می‌باشد.

$$RWC = ((FW - DW) / (TW - DW)) * 100 \quad (1)$$

اولین تصویربرداری سه روز پس از اعمال اولین تنش انجام شد. هر گلدان در زمان تصویربرداری در محفظه‌ای قرار داده شد، این محفظه برای کنترل نورپردازی و جلوگیری از سایه‌های مزاحم با پوشش چرمی پوشیده شده بود و دو مهتابی LED، ۱۸ وات با دمای رنگ ۶۵۰۰ کلوین به صورت موازی با هم در بالای کانوپی گیاه قرار داده شده بود، محل قرار گیری دوربین دیجیتال (Sony مدل HX 100) در زمان تصویربرداری بین دو مهتابی و در راستای عمود بر کانوپی گیاه کج بود. برای کاهش نویزهای احتمالی از هر گلدان سه تصویر تهیه شد که در نهایت میانگین پارامترهای بدست آمده از سه تصویر مورد بررسی قرار گرفت. برای پردازش تصویر از نرم‌افزار متلب استفاده شد. در این مرحله به منظور استخراج ویژگی‌های رنگی هر تصویر پیش‌پردازش و جداسازی گیاه از زمینه تصویر انجام گرفت. پیش‌پردازش تصویر به منظور تصحیح اعوجاج، حذف اغتشاش، تصحیح سطح خاکستری و تصحیح بخش‌های تیره و تاریک می‌گردد، که سبب بهبود کیفیت تصویر می‌شود، در این پژوهش از فیلتر میانه جهت پیش‌پردازش استفاده شد. جداسازی سبب می‌شود از خصوصیت همگن بودن پیکسل‌ها استفاده کرد و از مزایایی همچون کوچک‌سازی فضای ذخیره، سرعت پردازش سریع و سهولت در ایجاد تغییرات استفاده کرد. در پژوهش حاضر، در راستای جداسازی گیاه از زمینه از روش آستانه گذاری استفاده شد. از آنجایی که هر تصویر رنگی RGB از سه سطح خاکستری R، G و B تشکیل شده است، ما توانستیم با تعیین آستانه مناسب و با استفاده از هیستوگرام آستانه مناسب را تعیین کنیم و تصویر گیاه را جدا سازیم. سپس مولفه‌های R، G و B در تصویر جدا

2 Well-watered
3 Moderate water-stressed
4 Severe water-stressed



شده کانوبی گیاه استخراج شدند، جهت استنتاج دقیق تر مقدار هر مؤلفه با تقسیم بر ۲۵۵ بین صفر و یک قرار گرفتند، این مؤلفه‌های کروماتیکی R' ، G' و B' طبق رابطه ۲ تا ۴ محاسبه شده‌اند:

$$R' = R / (R + G + B) \quad (۲)$$

$$G' = G / (R + G + B) \quad (۳)$$

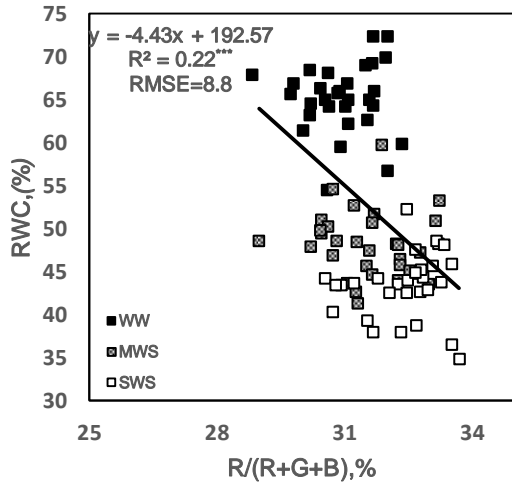
$$B' = B / (R + G + B) \quad (۳)$$

تحلیل نتایج

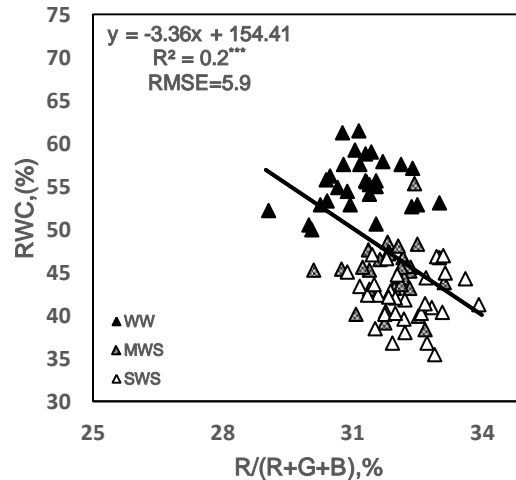
رابطه‌ی بین RWC و مؤلفه‌های رنگی R' ، G' و B' برای هر دو ژنوتیپ حساس (ناز تک شاخه) و مقاوم (یکتا) در شکل ۱ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، رابطه‌ی خطی معکوس و معنی‌داری بین RWC و مؤلفه‌های کروماتیکی قرمز و آبی بازتاب شده برای هر دو ژنوتیپ وجود دارد، که نشان می‌دهد با افزایش تنش RWC و مؤلفه‌های کروماتیکی قرمز و آبی بازتاب شده کاهش و مؤلفه‌ی کروماتیکی سبز بازتاب شده افزایش می‌یابد (شکل ۱ الف، ب، ج و د). از طرف دیگر رابطه‌ی بین مؤلفه‌ی کروماتیکی سبز بازتاب شده، خطی، مستقیم و معنی‌دار برای هر دو ژنوتیپ است. در هر سه رابطه، پراکنش داده‌ها برای ژنوتیپ مقاوم بیشتر از ژنوتیپ حساس می‌باشد [۲۵]. بنابر نظر آلن و همکاران (۲۰۰۷) کاهش در RWC با کاهش در میزان فتوسنتز همراه است. بنابراین می‌توان گفت با تجزیه کلروفیل و کاهش فتوسنتز و همچنین با توجه به اینکه کلروفیل جاذب طیف‌های آبی و قرمز است [۱۴] درصد بیشتری از بازتابش نور باندهای قرمز و آبی در گیاهان تحت تنش نسبت به گیاهان بدون تنش، مشاهده می‌شود. در همین راستا کریگن و همکاران (۲۰۱۴) که با نورهای LED در مورد تأثیر مؤلفه‌های RGB روی عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی کار می‌کردند، نشان دادند که گیاه گوجه‌فرنگی تحت باند سبز شدیداً آسیب می‌بیند در حالی که به طیف‌های آبی و قرمز نیاز بیشتری دارد [۱۸]. به بیان دیگر می‌توان گفت زمانی که گیاه تحت تنش است رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاه آسیب‌دیده، فتوسنتز و رشد گیاه دچار اختلال شده است، در نتیجه باندهای آبی و قرمز بیشتری را بازتاب می‌کند. رشد و توسعه‌ی گیاه به طور قوی تحت تأثیر طیف نور محیط رشد گیاه است و در این میان، رنگ آبی در دامنه‌ی وسیعی از فرآیندهای گیاهی شامل نورگرایی (Phototropism)، بازشدگی روزنه و عملکرد فتوسنتزی برگ نقش دارد [۲۵]. شدت نور زیاد آبی، موجب رشد گیاه از طریق کنترل یکپارچگی پروتئین‌های کلروپلاست می‌شود که عملکرد فتوسنتز در شرایط طبیعی را بهینه می‌کند [۲۴].

نتیجه‌گیری

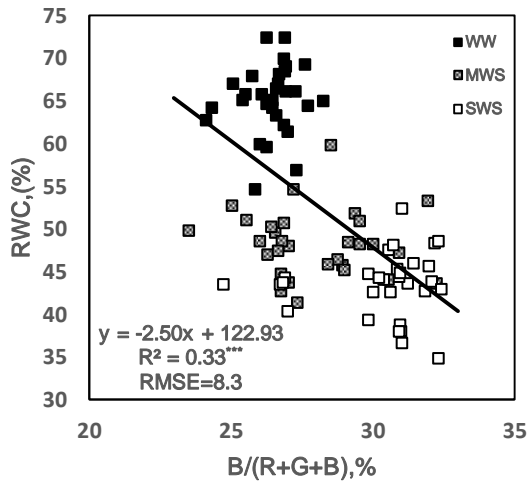
با توجه به اینکه اندازه‌گیری محتوای رطوبت نسبی (RWC) به دستگاه‌های خاص و زمان زیادی نیاز دارد و همچنین بر روی برگ‌های محدودی قابل انجام است، نتایج این پژوهش نشان داد با استفاده از پردازش تصویر می‌توان روش جایگزینی برای تعیین این صفت فیزیولوژی در گیاه کنجد را به دست آورد.



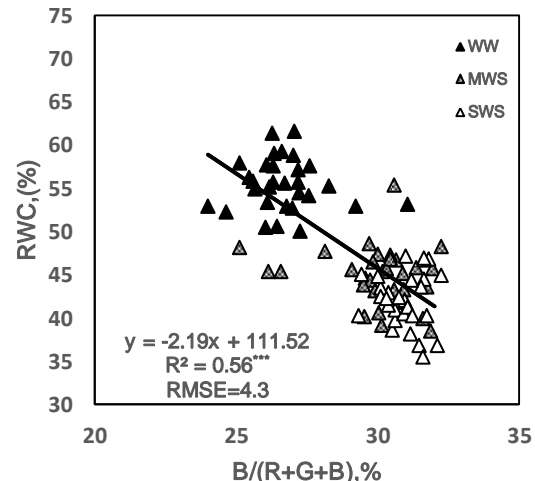
(ب)



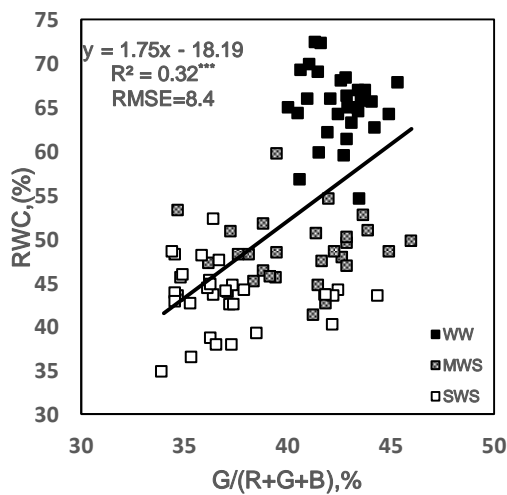
(الف)



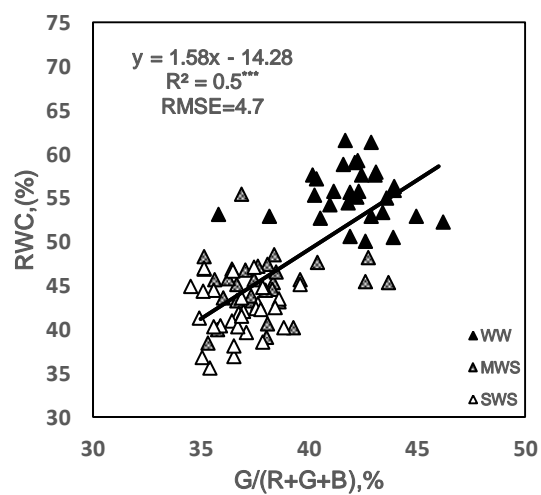
(د)



(ج)



(و)



(ه)

شکل ۱ - محتوای نسبی رطوبت در برابر شدت مولفه‌های کروماتیکی: (الف) مؤلفه R، ژنوتیپ ناز تک‌شاخه، (ب) مؤلفه R، ژنوتیپ یکتا، (ج) مؤلفه B، ژنوتیپ ناز تک‌شاخه، (د) مؤلفه B، ژنوتیپ یکتا؛ (ه) مؤلفه G، ژنوتیپ ناز تک‌شاخه؛ (و) مؤلفه G، ژنوتیپ یکتا.



منابع

۱. امیری ده احمدی، س. ر. م. پارسا، ا. نظامی و ع. گنجعلی، ۱۳۸۹. تأثیر تنش خشکی در مراحل مختلف رشدی بر شاخص‌های رشد خود در شرایط گلخانه، پژوهش‌های حبوبات ایران. ۱(۲): ۸۴-۶۹.
۲. بردسکی، گ.، آ. کلهر، ا. شعبانی نیا و ر. محمدی نصیری، ۱۳۹۱. بینایی ماشین و پردازش تصویر با OpenCV، انتشارات کیان رایانه سبز.
۳. جعفرنژاد قمی، ع، ۱۳۸۷، پردازش تصویر دیجیتال (ترجمه)، انتشارات بابل علوم رایانه.
۴. جهانپین، ش. طهماسبی سروسناتی، ز. مدرس ثانوی، س. ع. و کریم زاده، ق. ۱۳۸۲. اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه، برخی از اجزای عملکرد و شاخص‌های مقاومت در ژنوتیپ‌های جو لخت. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۴: ۲۵-۳۳.
۵. حسینی، ع. ۱۳۸۸. تأثیر تنش کمبود آب بر عملکرد اقتصادی و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی کلزا. یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات. ۳۷۹۰-۳۷۹۳.
۶. صباغ پور، س. ح. ۱۳۸۲. ساز و کارهای تحمل به خشکی در گیاهان. فصل نامه خشکی و خشک‌سالی کشاورزی. شماره ۲۱: ۱۳-۳۲.
۷. کدخدایی، ا.، ۱۳۹۲. تأثیر رژیم آبیاری بر ویژگی‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های کنجد (*Sesamum indicum L.*)، رساله دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۸. مصطفایی، ز. همت، ع. و میره ای، ا. ۱۳۹۷. پایش تنش آبی گیاه کنجد با استفاده از پردازش مقادیر رنگی دیجیتال. یازدهمین کنگره ملی مهندسی بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران.
۹. نداف زاده، م.، س. آبدانان مهدی‌زاده، م. ا. آسودار و م. ر. صالحی سلمی، ۱۳۹۶. طراحی و توسعه سامانه کنترل هوشمند تعیین آب مورد نیاز گیاهان گلخانه‌ای با کمک بینایی ماشین (مورد مطالعه: گیاه حسن یوسف)، مهندسی بیوسیستم ایران، ۴۸، ۲: ۲۸۵-۲۹۷.
۱۰. نداف زاده، م.، س. آبدانان مهدی‌زاده و م. ر. صالحی سلمی. ۱۳۹۷. پیش‌بینی و کنترل محتوای رطوبت گیاه چمن توسط یک سامانه هوشمند با بکارگیری پردازش تصویر و الگوریتم رگرسیون بردار پشتیبان. مجله ماشین بینایی و پردازش تصویر. ۵(۲): ۸۵-۱۰۲.
۱۱. نصر، ز. ۱۳۸۲. ارزیابی مقایسه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مهم دانه در برخی ارقام سویا. پایان‌نامه کارشناسی ارشد فیزیولوژی گیاهی. دانشگاه ارومیه.
۱۲. هاشمی دزفولی، الف. کوچکی، ع. و بنیان، م. ۱۳۷۵. افزایش عملکرد گیاهان زراعی (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد
13. Ahmad, I. S. and Reid, J. F. 1996. Evaluation of colour representations for maize images. *Journal of Agricultural and Engineering Research*. 63(3): 185-196.
14. Allen, E. J., D. G. Morgan and W. T. Ridgman. 1971. A physiological of the growth of oilseed rape. *J. Agric. Sci.* 77: 339-410.
15. Baji, M., Kinet, J. M. and Lutts, S. 2001. The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat. *Plant Growth Regulation*. 1-10.



16. Blum, A. 2011. Plant breeding for water-limited environments. Springer Verlag.
17. Folwer, D. B., and Daweny R. K. 1970. Liquid and Morphological changes in developing rapeseed (*Brassica napus* L.). Canadian Journal of plant Sci. 50:233-247.
18. O'Carrigan , A. M., Babla. F., Wang. X., Liu. M., Mak. R., Thomas. B., Bellotti and Z., Chen. 2014. Analysis of gas exchange, stomatal behavior and micronutrients uncovers dynamic response and adaptation of tomato plants to monochromatic light treatments. J. Plant. Physiol. Bioch.82: 339-410.
19. Siddique, M. R. B., Hamid, A. & Islam, M. S. (2000). Drought stress effects on water relations of wheat. Botanical Bulletin of Academia Sinica, 41, 35-39.
20. Smart, R.E. & Bingham, G. E. (1974). Rapid estimates of relative water content. Plant Physiol, 53, 58-68.
21. Smith, L. 1., and Scarisbrick. D. H. 1990. Reproductive development oilseed rape (*Brassica napu. Biennu*). Annals of Botany. 65:205-212.
22. Sun, D. W. 2004. Computer vision: An objective, rapid and noncontact quality evaluation tool for the food industry. J. Food Eng. 61: 1-2.
23. Weise, E. A. 2000. Oilseed crops. Blackwell Sci. Ltd Oxford. UK. 364p.
24. Whitelam. G., and K., Halliday. 2007. Light and Plant Development; Blackwell: Oxford, UK.
25. Yousefzadeh Najafabadi, M. and P. Ehsanzsdeh. 2017. Photosynthetic and antioxidative upregulation in drought-stressed sesame (*Sesamum indicum* L.) subjected to foliar-applied salicylic acid. Photosynthetica. 55 (4): 611-622.



Relationship between color components derived from digital images and relative water content in sesame under water stress

Zohre Mostafaei^{1*}, Abbas Hemmat², Seyed Ahmad Mireei³

1, 2, 3 Department of Biosystems Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology

Abstract

One of the major stresses affecting plants is water stress. Given the prevalence of this stress in the present conditions around the world, timely detection of stress level can reduce damage to the agricultural sector. The purpose of this study was to show the relationship between the color components $R / (R + G + B)$, $G / (R + G + B)$, $B / (R + G + B)$ and physiological index of relative water content (RWC)_g for fast detecting water stress. For this purpose, the color components were extracted from digital images obtained from canopy of sesame plants and RWC was also measured. Sesame plants were under three irrigation conditions: non-stress (WW), medium stress (MWS) and severe stress (SWS). As the stress level increases, the reflected red and blue color components increase and a negative relationship between reflected blue/red component and RWC was observed. With increasing stress level, the amount of the reflected green color decreases and a positive relationship between the reflected green and RWC is obtained. The changes in $B / (R + G + B)$ and $G / (R + G + B)$ with RWC is more sensitive for less resistance genotype. It can be concluded that the image processing is useful method for fast detecting the water stress..

Keywords: Water stress, Image processing, RWC, Sesame.

*Corresponding author

E-mail: zohremostafaei@yahoo.com