



# یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



پایش تنش آبی گیاه کنجد با استفاده از پردازش مقادیر رنگی دیجیتال

زهره مصطفایی، عباس همت و سید احمد میره ای

دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه صنعتی اصفهان؛ zohremostafaei@yahoo.com

استاد، گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه صنعتی اصفهان؛ ahemmat@cc.iut.ac.ir

دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه صنعتی اصفهان

## چکیده

تنش آبی یکی از عمده ترین تنش های محیطی است که بر تولید محصولات کشاورزی در سراسر جهان تاثیر می گذارد. تشخیص به موقع زمان آبیاری می تواند در جهت پیشگیری از تنش آبی حائز اهمیت باشد. در این راستا می توان از پردازش تصویر و ماشین بینایی به منظور اندازه گیری فاکتورهای رنگی موثر استخراجی از تصاویر گیاه در تشخیص تنش آبی استفاده نمود. در پژوهش حاضر تصاویر رنگی از کانوپی گیاهان کنجد در سه وضعیت بدون تنش (WW)، تنش متوسط (MWS) و تنش شدید (SWS) تهیه شدند. سپس با استفاده از الگوریتم پردازش تصویر مساحت کانوپی و پارامترهای رنگی R، G و B حاصل از آن، با هدف تشخیص تنش آبی مورد بررسی قرار گرفتند. پس از بررسی پارامترهای استخراج شده از تصاویر رنگی با توجه به نتایج آنالیز آماری پارامترهای رنگی نرمال شده،  $R/(R+G+B)$ ،  $G/(R+G+B)$  و  $B/(R+G+B)$  و مساحت کانوپی گیاه کنجد هر کدام در سه وضعیت آبی در سطح احتمال ۵٪ معنی دار بودند.

کلمات کلیدی: تنش آبی، پردازش تصویر، کنجد، پارامترهای رنگی، آنالیز آماری.

## Monitor the water stressed of sesame using digital color processing

Zohre mostafaei, Abbas hemmat, Seyed ahmad mirehei

Graduate Student, Department of Biomedical Engineering, Isfahan University of Technology

Professor, Department of Biological Engineering, Isfahan University of Technology

Associate Professor, Department of Biological Engineering, Isfahan University of Technology

### ABSTRACT

Water stress is one of the major environmental stresses affecting crop production around the world. Timely detection of irrigation can be important in preventing water stress. In this regard, image processing and visual machine can be used to measure the effective color extraction factors of plant images in the determination of water stress. In this study, color images of canopy of sesame plants were prepared in three stress-free conditions (WW), medium stress (MWS) and severe stress (SWS). Then, by using the image processing algorithm, the canopy area and the color parameters R, G and B derived from it were studied for the purpose of water stress tensile. After examining the parameters extracted from the color images, according to the statistical analysis of the normalized color parameters,  $R / (R + G + B)$ ,  $G / (R + G + B)$ ,  $B / (R + G + B)$  and The canopy area of sesame plant was significant in three levels of blue at 5% probability level.

**Keywords:** Water stress, Image processing, Sesame, Color parameters, Statistical analysis.

### ۱- مقدمه

یکی از بحران های مهمی که بشر را تهدید می کند، مسأله کمبود آب است. سهم بالای مصرف آب در بخش کشاورزی یکی از بزرگترین چالش های کم آبی می باشد. با توجه به اینکه دوران استحصال آب های ارزان قیمت به پایان رسیده و بارش های کم کشور دیگر نمی تواند پاسخگوی نیازهای رو به رشد تقاضای آب بخصوص در بخش کشاورزی باشد، ناچار و مکلف به بهینه سازی مصرف آب کشاورزی می باشیم. محدودیت منابع آب، رشد روز افزون جمعیت و مصرف بالای آب در بخش کشاورزی موجب ارائه راهکارهایی برای بهینه سازی مصرف آب شده است [۳]. کمبود آب و تنش ناشی از آن مهمترین و رایج ترین تنش های محیطی است که هر ساله خسارت های زیادی به محصولات در جهان بخصوص ایران که به عنوان کشوری خشک و نیمه خشک محسوب می گردد، وارد می نماید [۱۲]. کم آبی به عنوان مهمترین عامل محدود کننده رشد و تولید گیاهان زراعی شناخته شده است که حدود ۴۰ تا ۶۰ درصد اراضی زیر کشت جهان را تحت تأثیر قرار می دهد [۹]. کنجد با نام علمی *Sesamum indicum* L. یکی از منابع تولید روغن می باشد. دانه کنجد و روغن آن به طور گسترده به عنوان غذا، دارو و تولید عطر در صنعت مصرف می شود. با توجه به این که هر ساله مبالغ زیادی ارز صرف واردات روغن (بیش از ۹۰ درصد روغن مصرفی وارداتی است) به کشور می گردد، توجه به دانه های روغنی و افزایش تولید آن ها



ضروری به نظر می‌رسد. این گیاه در نواحی با خشکی و گرمای شدید که امکان کشت و رشد سایر گیاهان وجود ندارد، قابل کشت و رشد می‌باشد. بنابراین، به عنوان یک گیاه دانه روغنی مقاوم به کم آبی مطرح است [۱۱، ۱۳]. محققان، کارشناسان و تولیدکنندگان در تلاش هستند تا با تشخیص و بکارگیری این ارقام مقاوم، تأثیر تنش‌های مؤثر بر بازدهی عملکرد محصول را کاهش دهند [۱]. در عصر حاضر که تصاویر دیجیتال تولید شده توسط دوربین‌های الکترونیکی و رایانه‌ها بیش از پیش و به کرات مورد استفاده قرار می‌گیرند. طراحی و به‌کارگیری روش‌ها و تکنیک‌های خودکار برای پردازش و تحلیل تصاویر دیجیتال از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است [۵]. استفاده از فناوری‌های نوین همچون سیستم بینایی ماشین برای انتخاب سریع و به موقع ارقام مقاوم و همچنین تشخیص به موقع تنش‌ها در گیاهان، می‌تواند یک راه حل کارآمد جهت استفاده بهینه از آب و جلوگیری از کاهش محصول باشد. به واقع می‌توان گفت سیستم بینایی ماشین، تکنولوژی امید بخشی در کشاورزی نوین است. پردازش تصویر به عنوان هسته ماشین بینایی روشی غیرمخرب است که با به کارگیری تجهیزاتی مانند دوربین، کامپیوتر، اسکنر و برنامه‌های تحلیل تصاویر، می‌تواند تصاویر را ضبط و پردازش نموده و اطلاعات مورد نظر را از آن استخراج کند [۱]. نداف زاده و همکاران (۱۳۹۶)، در پژوهشی نشان دادند که با بررسی‌های پارامترهای رنگی و مورفولوژیکی گیاه حسن یوسف می‌توان نیاز گیاه به آب را تشخیص داد و در نهایت در راستای بهبود وضعیت گیاه اقدام نمود [۱۰]. طی مطالعه‌ای برای تشخیص شرایط آبی خز ه ساناگوک از ویژگی‌های تصاویر دیجیتال تهیه شده از آن‌ها استفاده کردند [۶]. در پژوهشی دیگر برای نظارت بر رشد و وضعیت آبی گیاه گوجه فرنگی از تصاویر دیجیتال تهیه شده از این گیاه استفاده شد. در این پژوهش کنترل آبیاری گیاهان فقط بر پردازش تصویر متکی بود [۴]. بدین ترتیب می‌توان با استفاده از روش‌های هوشمند وضعیت آبی گیاه را از طریق پردازش تصویر کنترل و بررسی نمود.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- کشت گلدانی و اعمال تیمارهای آبیاری

در این پژوهش تعداد ۱۶۵ گلدان از ژنوتیپ مقاوم به تنش آبی کنجد (بکتا) در شرایط کنترل شده گلخانه کاشته شدند [۱۴]. آزمایش قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵۵ تکرار برای هر تیمار انجام گردید. گلدان‌ها به طور یکنواخت با حجم مساوی، با مقادیر مساوی سنگ ریزه (جهت زهکشی) و خاکی با بافت لوم رسی شنی (۲/۵ کیلوگرم خاک هوا خشک) خاک‌گیری شدند. کاشت در ۲۳ تیر ماه سال ۱۳۹۵ انجام شد. در هر گلدان تعدادی بذر در عمق یک سانتی‌متری خاک کاشته شد. پس از سبز شدن کامل و استقرار، عمل تنک کردن انجام گرفت تا در هر گلدان شش گیاه باقی ماند. از ابتدای کاشت تا شش هفته، همه گلدان‌ها، به طور یکسان تحت آبیاری و کوددهی مناسب قرار گرفتند. تنش آبی پس از استقرار کامل گیاه و گذشت شش هفته از کاشت و در آغاز مرحله زایشی گیاهان اعمال شد. سطوح آبیاری بر اساس درصد حداکثر تخلیه مجاز<sup>۱</sup> (MAD) از آب در دسترس خاک (ASW) در سه سطح پتانسیل آبی خاک ۰/۱ - (بدون تنش<sup>۲</sup>؛ WW)، ۱ - (تنش متوسط<sup>۳</sup>؛ MWS) و ۱/۵ - (مگا پاسکال<sup>۴</sup>؛ تنش شدید<sup>۵</sup>؛ SWS) انجام شد. پتانسیل آبی خاک، بر اساس ASW و منحنی مشخصه رطوبتی خاک تعیین شد (شکل ۱-۲). ASW و حجم آبیاری (V<sub>irrig</sub>) به ترتیب با استفاده از روابط ۱-۲ و ۲-۲ به دست آمد:

$$ASW = (\theta_{FC} - \theta_{PWP}) \times \rho_b \times V_{pot} \quad (1-2)$$

$$V_{irrig} = ASW \times M \quad (2-2)$$

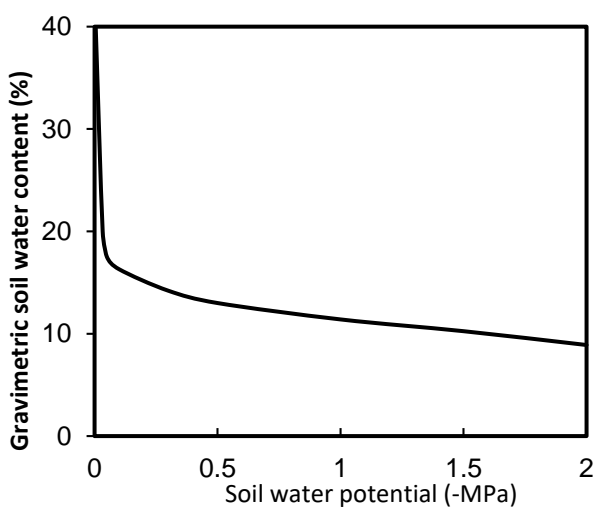
که در آن  $\theta_{FC}$  محتوای وزنی رطوبت خاک (% در ظرفیت زراعی)،  $\theta_{PWP}$  محتوای وزنی رطوبت خاک (% در نقطه پژمردگی دائم)،  $\rho_b$  چگالی ظاهری ( $g\ cm^{-3}$ ) خاک مورد آزمایش،  $V_{pot}$  حجم گلدان ( $cm^3$ ) و  $M$  بخشی از ASW که می‌تواند از منطقه ریشه تخلیه شود (جدول ۱-۲). بنابراین مقدار آب مورد نیاز هر گلدان جهت رسیدن به پتانسیل ماتریک مورد نظر محاسبه و با استفاده از روش وزن کردن، به گلدان‌ها افزوده شد.

Maximum allowable depletion<sup>۱</sup>  
Available soil water<sup>۲</sup>  
Well watered<sup>۳</sup>  
Moderate water-stressed<sup>۴</sup>  
Severe water-stressed<sup>۵</sup>



جدول ۱- مشخصات فیزیکی خاک

چگالی ظاهری ( $\text{g cm}^{-3}$ )	pH	EC ( $\text{dS m}^{-1}$ )	درصد وزنی رطوبت در نقطه پژمردگی	درصد وزنی رطوبت در ظرفیت زراعی	بافت خاک	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)
1.3	7.7	2.45	9	18	لوم رسی شنی	26.4	18.3	55.3

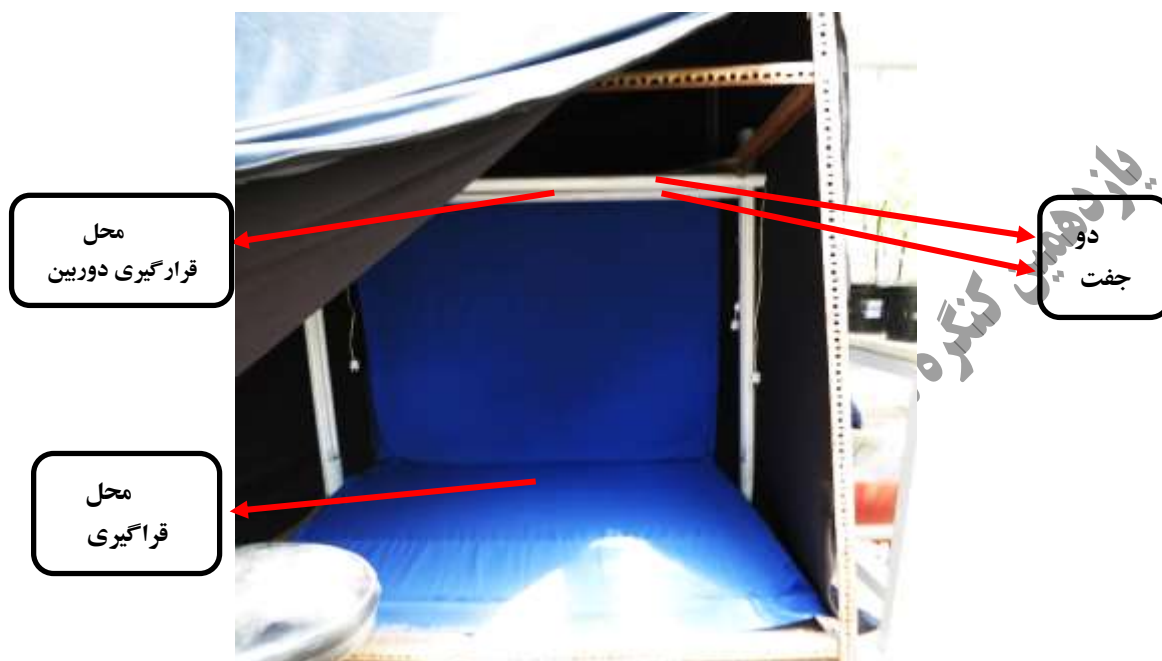


شکل ۱- منحنی مشخصه رطوبت خاک.

## ۲-۲- تصویربرداری

پس از اعمال تنش‌ها تصویربرداری مرئی به مدت سه هفته از شروع تنش آبی ادامه پیدا کرد. مرحله اول تصویربرداری ۳ روز پس از اعمال اولین دوره آبیاری تنشی انجام گرفت. در هر تصویربرداری، یک گلدان از هر تیمار (WW, MWS, SWS) برای تصویربرداری در یک محفظه تصویربرداری قرار گرفت. همچنین به علت کاهش نویزهای احتمالی ناشی از لرزش دوربین از هر نمونه ۳ تصویر اخذ گردید که میانگین پارامترهای به دست آمده از ۳ تصویر، مورد ارزیابی قرار گرفت. تصاویر مورد استفاده در این پروژه توسط دوربین دیجیتال Sony مدل HX 100 و در فضای رنگی RGB تهیه شدند. وضوح تصویر دوربین  $3456 \times 4608$  پیکسل بود.

محفظه تصویربرداری از نظر سیستم نورپردازی به وسیله مهتابی‌های LED، ۱۸ وات با دمای رنگ ۶۵۰۰ کلوین تعبیه شده بود. چیدمان منبع نور محفظه به گونه‌ای بود که چهار مهتابی (هر کدام به طول ۱۲۰ سانتی‌متر) به صورت موازی و هم‌راستا با هم در بالای گلدان‌ها و در سقف محفظه قرار داشتند (شکل ۲-۳). همچنین محل قرارگیری دوربین برای تصویربرداری از بالای تاج (پوشش) گیاه به صورت عمود بر گلدان‌ها و در بین جفت مهتابی‌ها به گونه‌ای قرار گرفت که بازتاب نور و سایه کمتری ایجاد شود. به منظور جلوگیری از ورود نور مزاحم به محفظه در هنگام تصویربرداری، پوششی از جنس چرم ضخیم و متناسب با محفظه برای آن تهیه گردید. به دلیل این‌که گیاه کنجد سبز رنگ می‌باشد، رنگ کف محفظه (زمینه تصویر) آبی انتخاب شد تا بیشترین کنتراست با گیاه فراهم شود. ابعاد محفظه تصویربرداری در ابتدا به گونه‌ای در نظر گرفته شد که با هر بار تصویربرداری سه گلدان از سه تیمار آبیاری (WW, MWS, SWS) در کنار هم و در یک تصویر قرار گرفت ولی به دلیل همپوشانی کنوپی سه گلدان در کنار هم، تصمیم گرفته شد، که در هر تصویر یک گلدان قرار گیرد. تصاویر اخذ شده به منظور پردازش تصویر برای استخراج پارامترهای رنگی به رایانه منتقل گردید.



شکل ۲- محفظه تصویربرداری.

### ۲-۳- پردازش تصاویر

پردازش تصاویر با استفاده از نرم افزار Matlab R2015a انجام شد. در این مرحله پیش پردازش، جداسازی و انتقال به سایر فضاهای رنگی به منظور استخراج ویژگی های رنگی صورت گرفت.

پیش پردازش تصویر عبارت است از عملیاتی که روی داده های خام تصویر به منظور تصحیح اعوجاج، حذف اغتشاش، تصحیح سطح خاکستری و تصحیح بخش های تیره و تاریک می گردد، که سبب بهبود کیفیت تصویر می شود. در این پژوهش به منظور یکنواخت نمودن تصاویر و کاهش نویز، فیلتر میانه بر روی تصاویر پیاده سازی شد [۷].

برای دستیابی به ویژگی های استخراجی مورد نظر از تصاویر، لازم بود که تصویر کانوپی گیاه از زمینه جدا گردد. زیرا تصاویر بخش بندی شده با استفاده از خصوصیت همگن بودن پیکسل ها دارای مزایایی مانند استفاده از فضای ذخیره سازی کوچکتر، سرعت پردازش سریع و سهولت در ایجاد تغییرات هستند. در این پژوهش به منظور جداسازی گیاه از زمینه از روش آستانه گذاری استفاده شد. هر تصویر رنگی RGB از سه سطح خاکستری R، G و B تشکیل شده است. با استفاده از هیستوگرام هر یک از این سطوح خاکستری، آستانه مناسب (آستانه ای که جدایی گیاه از زمینه را نشان دهد) انتخاب شد. استفاده هیستوگرام به گونه ای بود که با توجه به نشان دادن مقدار شدت هر پیکسل توسط هیستوگرام تصویر، توانایی تشخیص آستانه مناسب را فراهم آورد. با انتخاب آستانه یک تصمیم دودویی گرفته می شود، مقدار شدت هر پیکسل تصویر با مقدار آستانه مقایسه می شود و تصمیم دودویی تعیین می کند که پیکسل مورد نظر ۰ یا ۱ در نظر گرفته شود، ماحصل آن تصویری باینری (دودویی) می باشد که جدایی گیاه از زمینه را نشان می دهد (شکل ۲-۴).



شکل ۳- الف: تصویر اولیه رنگی، ب: تصویر باینری حاصل از آستانه‌گذاری، پ: تصویر نهایی استخراجی گیاه از زمینه.

پس از جدا سازی تصویر گیاه از زمینه، مؤلفه‌های  $R$ ،  $G$  و  $B$  در تصویر گیاه جدا شده از زمینه با استفاده از نرم افزار Matlab R2015a استخراج شدند. در این مرحله با تقسیم مقدار هر مؤلفه بر ۲۵۵، مقادیر بین ۰ و ۱ قرار گرفت. پس از استخراج مؤلفه‌های  $R$ ،  $G$  و  $B$ ، مؤلفه‌های کروماتیکی  $R'$ ،  $G'$  و  $B'$  با استفاده از روابط ۲-۳، ۲-۴، ۲-۵ محاسبه شدند.

$$R' = \frac{R}{R + G + B} \quad (۳-۲)$$

$$G' = \frac{G}{R + G + B} \quad (۴-۲)$$

$$B' = \frac{B}{R + G + B} \quad (۵-۲)$$

در مرحله بعد، برای یافتن مساحت کانوپی گیاه کنگد از تصاویر دودویی حاصل از آستانه گذاری که منجر به جدا شدن گیاه از زمینه بود استفاده شد (شکل ۲-۴ ب). به منظور کالیبره کردن مساحت محاسبه شده به وسیله نرم افزار متلب با اندازه واقعی، در زمان تصویربرداری مرجعی (به رنگ سیاه و مربع شکل با ابعاد  $۵ \times ۵$  سانتی متر) قرار داده شد.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- تاثیر تنش آبی بر مولفه‌های رنگی و مساحت کانوپی گیاه

نتایج حاصل از مقایسه میانگین استخراجی از نرم افزار 9 sas نشان داد که اثر سطوح متفاوت آبیاری بر مولفه‌های نرمال شده  $R'$ ،  $G'$  و  $B'$  معنی دار بود. بیشترین مقدار  $R'$  و  $B'$  (بازتاب رنگ قرمز و آبی از سطح کانوپی) در تیمار با تنش شدید و بیشترین مقدار  $G'$  (بازتاب رنگ سبز) در تیمارهای بدون تنش مشاهده شد. نتایج نشان داد که مولفه نرمال شده  $B'$  می‌تواند برای جداسازی گیاهان تحت تنش از گیاهان بدون تنش استفاده شود، به طوری که تنش شدید و متوسط در گیاه کنگد نسبت به گیاه بدون تنش به ترتیب موجب افزایش ۱۴ درصد و ۷ درصد در بازتابش مولفه آبی شدند (جدول ۳-۱). کلمان و فارگالاند (۱۹۸۷) گزارش نمودند که از مختصات رنگی  $B'$  می‌توان برای جداسازی جو تحت تنش آبی در سطح مزرعه استفاده نمود [۸].

همچنین نتایج حاصل از مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش سطح تنش مساحت کانوپی گیاه کنگد نسبت به حالت بدون تنش (آبیاری مطلوب) از کاهش محسوسی برخوردار است.

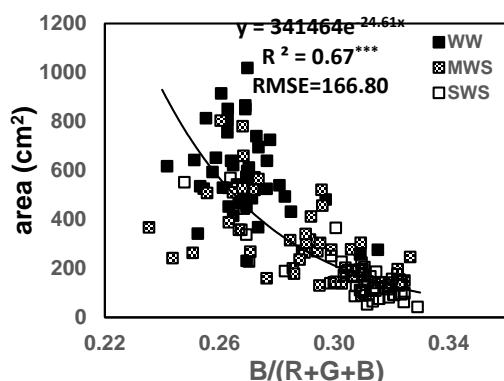
جدول ۲- مقایسه میانگین تأثیر تنش آبی بر مؤلفه‌های کروماتیکی و مساحت کانوپی گیاه کنگد

area	B'	G'	R'	تیمار
555.46 <sup>a</sup>	0.2701 <sup>c</sup>	0.4665 <sup>a</sup>	0.3133 <sup>c</sup>	بدون تنش (WW)
316.11 <sup>b</sup>	0.2900 <sup>b</sup>	0.3906 <sup>b</sup>	0.3194 <sup>b</sup>	تنش متوسط (MWS)
177.44 <sup>c</sup>	0.3066 <sup>a</sup>	0.3663 <sup>c</sup>	0.3272 <sup>a</sup>	تنش شدید (SWS)

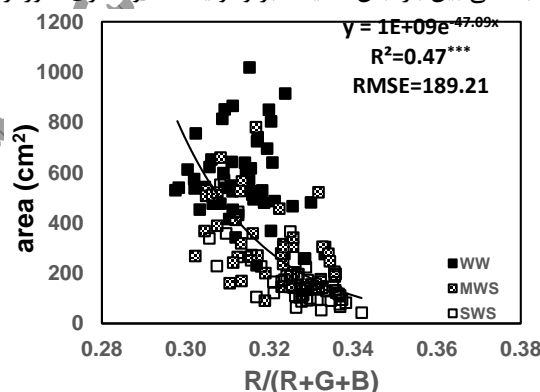
در هر ستون میانگین‌ها با حروف غیرمشترک تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۰/۰۵ بر اساس آزمون حداقل تفاوت‌های معنی‌دار (LSD) را نشان می‌دهند.

### ۲-۳- مساحت کانوپی و مؤلفه‌های کروماتیکی بازتاب یافته

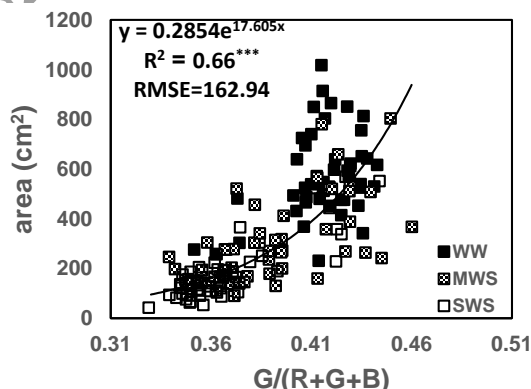
رابطه‌ی بین مساحت کانوپی و مؤلفه‌های کروماتیکی قرمز، آبی و سبز در ژنوتیپ یکتا در شکل ۱-۳ نشان داده شده است. مطابق این شکل روابط میان مؤلفه‌های کروماتیکی قرمز و آبی با مساحت به صورت نمایی با شیب منفی معنی‌دار شد. بنابراین، هر قدر بازتابش رنگ‌های آبی و قرمز کمتر باشد، تولیدات فتوسنتزی گیاه بیشتر می‌شود. نوع رابطه در خصوص مؤلفه‌ی سبز رنگ، نمایی مثبت بود. بنابراین، با افزایش بازتاب مؤلفه‌ی سبز، مقدار تولیدات فتوسنتزی گیاه بیشتر بود. اگرچه گیرنده‌های نوری کلروپلاست قادر به جذب طول موج‌های محدوده مرئی طیف الکترومغناطیس (۳۴۰-۷۴۰ نانومتر) هستند، ولی حداکثر مقادیر جذب در نواحی آبی و قرمز صورت گرفته و لذا انتظار می‌رود که بیشترین شدت و سرعت فتوسنتز در گیاهان از جمله کنگد در این دو ناحیه از طیف باشد. چون حداقل جذب در ناحیه طیف سبز رخ می‌دهد، بنابراین مشاهده حداقل میزان فتوسنتز (وجود همبستگی بین بازتابش ناحیه سبز و تولیدات فتوسنتزی) دور از انتظار نیست [۲].



(ب)



(الف)



(ج)

شکل ۴- تغییرات مساحت تصویر شده کانوپی گیاه هر گلدان از بالا با مؤلفه‌های کروماتیکی: (الف) مؤلفه R'، (ب) مؤلفه B'، (ج) مؤلفه



.G'

#### ۴- نتیجه گیری

تعیین وضعیت آبی گیاه کنجد از طریق روشی هوشمند، بدون آسیب زدن به گیاه و با سرعت هدف نهایی این تحقیق بود. بررسی وضعیت تصاویر تهیه شده از گیاه کنجد در سه شرایط آبیاری بدون تنش، تنش متوسط و تنش شدید نشان داد که میان تصاویر تهیه شده و شرایط آبیاری رابطه معنی داری وجود دارد. نتایج نشان داد که با افزایش سطح تنش بازتاب مولفه های  $R'$  و  $B'$  افزایش و بازتاب مولفه  $G'$  کاهش می یابد. همچنین مساحت کاتوپی گیاه کنجد تحت شرایط تنش آبی نسبت به شرایط آبیاری مناسب کمتر می باشد.

#### منابع

- [1] Aglave, V. A., S. B. Patil and N. B. Sambre. (2012). Imaging technique to measure leaf area, disease severity and chlorophyll content: A Survey Paper. *J. Comput. Technol.* 1(3).
- [2] Ahmadi, A., Ehsanzade, P., & Jabari, F. (2005). *Introduction to plant physiology 2* (translation). Tehran University Press. (Persian)
- [3] Bordbar, M., Solouki, M., & Bordbar, B. (2009). Solutions and Methods for Optimal Water Use in Agriculture, First National Conference on Water Management, Marvdasht, Iran. (Persian)
- [4] Font, L. and Farkas, I. (2007). Wilting Detection in Greenhouse Plants by Image Processing. *ISHS Acta Horticulturae* 801: International Symposium on High Technology for Greenhouse System Management. pp. 669-676.
- [5] Hadizadeh, H. (2015). Teaching Pascal's Concepts in Digital Image Processing, University of Technology, New Technologies, Quchan. First Edition. (Persian)
- [6] Hendrawan, Y. and M. Murase. (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.
- [7] Jafarnejhad Qomi, A., (2008). *Digital Image Processing (translation)*, Babil Publications Computer Science. (Persian)
- [8] Kleman, J., E. Fagerlund. (1987). Influence of different nitrogen and irrigation treatments of the spectral reflectance of barley. *Remote Sens. Environ.* 21:1-14.
- [9] Misagh, M., Movahedi Dehnavi, M., Yadavi, R., & Khadem Hamzeh, H. R. (2016). Improvement of yield, oil percentage and sesame protein under drought stress conditions with zinc and boron spraying, *Journal of Crop Production*, 1: 180-163. (Persian)
- [10] Nadafzadeh, M., Abdanan Mehdizadeh, S., Asoudar, A., & Salehi Selmi, M. R. (2017). Design and development of intelligent control system. Determination of required water requirement for greenhouse plants with the help of machine vision (Case study: Hassan-e-Yousef plant), *Bio Systems Engineering*, 48, 2: 285-297. (Persian)
- [11] Tabaei Aghdani, S. R. (2003). Genetic correction of drought tolerance in plants, *Journal of agricultural land and agricultural drought*, 8: 36-30. (Persian)
- [12] Weiss, E. A. (2000). *Oilseed Crops*, 2<sup>th</sup> ed., Blackwell Sc. Ltd., Bodmin, UK.
- [13] Wiwart, M., G. Fordonski, K. Żuk-Golaszewska and E. Suchowilska. (2009). Early diagnostics of macronutrient deficiencies in three legume species by color image analysis. *Comput. Electron. Agri.* 65:125-132.
- [14] 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.