

تعیین موازنه آبی و مراحل بحرانی آن در گندم دیم با استفاده از شاخص تنش آبی گیاه (CWSI)

ولی فیضی اصل^{1*} - امیر فتوت² - علیرضا آستارایی³ - امیر لکزیان⁴ - میراحمد موسوی شلمانی⁵

تاریخ دریافت: 1392/9/16

تاریخ پذیرش: 1393/4/2

چکیده

به منظور تعیین آستانه تنش آبی و وضعیت آن در ژنوتیپ‌های مختلف گندم دیم در مدیریت‌های مختلف مصرف نیتروژن، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، به صورت کرت‌های دو بار خرد شده با دو زمان مصرف (کل در پائیز و $\frac{2}{3}$ در پائیز و $\frac{1}{3}$ در بهار) و چهار سطح نیتروژن (صفر، 30، 60 و 90 کیلوگرم در هکتار) بر روی 7 ژنوتیپ گندم در سه بلوک در سال زراعی 90-1389 به اجرا درآمد. همچنین برای محاسبه پارامترهای شاخص تنش آبی، ژنوتیپ‌های مورد نظر در شرایط آبیاری تکمیلی در نزدیک‌ترین فاصله با آزمایش قبل کشت شدند. دمای پوشش سبز در مراحل گلدهی و اوایل خمیری شدن اندازه‌گیری و شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) محاسبه شد. حد مبنای پائین با مفهوم شرایط بدون تنش (T_c) گلدھی و اوایل خمیری شدن اندازه‌گیری و شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) محاسبه شد. حد مبنای بالا با مفهوم حداکثر تنش ($T_c - T_a = 6^\circ C$) و شرایط بدون تعرق برای گندم دیم تعیین شد. آستانه تنش آبی گیاه $CWSI = 0/4$ محاسبه شد که عبور از آن 8 روز قبل از مرحله سنبله‌دهی اتفاق افتاد. در آستانه تنش آبی، مجموع 60 میلی‌متری از آب قابل استفاده تا عمق 50 سانتی‌متری پروفیل تخلیه شد. همچنین بین شاخص CWSI و عملکرد دانه در سطوح مختلف نیتروژن همبستگی منفی معنی‌داری ($p < 0/01$) وجود داشت. مصرف نیتروژن منجر به کاهش تنش آبی و افزایش عملکرد دانه شد. در مصرف تقسیطی و پائیزی N_{30} بهترین ژنوتیپ‌ها از لحاظ عملکرد دانه و مقاومت به تنش آبی به ترتیب اوحدی و رصد و در مصرف تقسیطی و پائیزی N_{60} به ترتیب ژنوتیپ‌های Cereal4 و رصد بود.

واژه‌های کلیدی: شاخص CWSI، آستانه تنش رطوبتی، وضعیت رطوبتی خاک و گیاه، نیتروژن، ژنوتیپ‌های گندم دیم

مقدمه

معضل، بیشتر به دنبال گزینش ارقام مقاوم به تنش خشکی با کارایی بالای مصرف آب هستند. آنان برای این منظور از روش‌های زراعی، فیزیولوژیک و زیستی استفاده می‌نمایند (43). استفاده از روش‌های کلاسیک برای تخمین و نظارت بر مقدار کاهش آب در سیستم گیاه - خاک، نیازمند اندازه‌گیری میزان رطوبت خاک، خصوصیات گیاه یا متغیرهای آب و هوایی است. این روش‌ها وقت‌گیر بوده و با تولید اطلاعات نقطه‌ای، وضعیت کلی مزرعه را به صورت ضعیف توصیف می‌نمایند، مگر این که تعداد زیادی نمونه از آن تهیه و مورد تفسیر قرار گیرد (30).

تنش رطوبتی در شرایط دیم تنها به دلیل کمبود بارندگی و محدودیت آب رخ نمی‌دهد، بلکه عوامل دیگری مانند تنش گرمایی به ویژه پس از مرحله گلدهی گندم، باعث برهم زدن تعادل جذب و مصرف آب و تشدید پدیده تنش آبی می‌شود. بر همین اساس، ژنوتیپ‌هایی که بتوانند در دوره پرشدن دانه با جذب آب از اعماق پائین پروفیل و انجام تعرق، دمای پوشش سبز خنک‌تری ایجاد

تنش‌های رطوبتی و دمایی از جمله مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی هستند که در مراحل مختلف رشد گیاه در مناطق خشک و نیمه خشک اتفاق می‌افتند (20). تنش رطوبتی در قسمت اعظمی از دوره رشد و تنش حرارتی در اواخر دوره رشد گندم دیم از عوامل مهم تهدید کننده تولید این محصول بشمار می‌روند (40). متأسفانه در سال‌های اخیر به دلیل تنش رطوبتی ناشی از افزایش دما، تولید محصولات زراعی مانند برنج، ذرت و گندم در قسمت‌های زیادی از آسیا به شدت کاهش یافته است (48). به‌نژادگران برای مقابله با این

1- استادیار موسسه تحقیقات کشاورزی دیم و دانشجوی سابق دکتری گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*)-نویسنده مسئول: (Email: v_feiziasl@yahoo.com)
2، 3، 4 و 5- به ترتیب دانشیاران، استاد و دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

همچنین برآورد میزان تنش آبی وارد شده بر ژنوتیپ‌های گندم دیم در مدیریت‌های مختلف نیتروژنی است. ثانیاً شناسایی مناسب‌ترین مدیریت مصرف نیتروژن برای ژنوتیپ‌های گندم دیم از طریق ارتباط بین شاخص CWSI با مدیریت‌های مختلف نیتروژن (زمان و میزان مصرف) برای دستیابی به عملکردهای مطلوب می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به منظور واسنجی ارتباط بین دمای پوشش سبز با پاسخ گندم دیم، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به صورت کرت‌های دو بار خرد شده (اسپلیت اسپلیت پلات) با دو زمان مصرف نیتروژن (کل در پائیز و $\frac{2}{3}$ در پائیز و $\frac{1}{3}$ در بهار در مرحله پنجه‌زنی (ZGS32)) در کرت اصلی، سطوح مختلف نیتروژن (صفر، 30، 60 و 90 کیلوگرم نیتروژن در هکتار) در کرت فرعی و هفت ژنوتیپ گندم دیم در کرت فرعی در فرعی (جمعاً با 56 تیمار) در سه تکرار در سال زراعی 90-1389 (کاشت تا برداشت) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم کشور (مراغه) با بارندگی و مشخصات نزدیک به میانگین بلندمدت به اجرا درآمد (جدول 1). همچنین به منظور محاسبه پارامترهای مورد نیاز شاخص تنش آبی، 7 ژنوتیپ مورد نظر در این پژوهش در شرایط آبیاری تکمیلی (50 میلی‌متر در زمان کاشت و 30 میلی‌متر در اواخر ساقه‌دهی) در نزدیک‌ترین فاصله با آزمایش قبل اجرا شد (4 و 7).

مقادیر نیتروژن کرت‌ها در مصرف پائیزی به کمک دستگاه‌های هاسیا از منبع اوره همزمان با کاشت حدود 10-8 سانتی‌متر زیر بذر جایگذاری شد (1). مقدار فسفر مورد نیاز بر اساس کمبود از حد بحرانی آن برای گندم دیم (10 میلی‌گرم در کیلوگرم) محاسبه (5) و همزمان با کاشت از منبع سوپر فسفات تریپل به صورت جایگذاری مصرف شد. با توجه به بالا بودن میزان پتاسیم، آهن، منگنز، روی و مس قابل استفاده در خاک (جدول 2) از حد بحرانی ارائه شده برای این عناصر برای گندم دیم (پتاسیم 250، آهن 9، منگنز 11، روی 1 و مس 1/8 میلی‌گرم در کیلوگرم) نیازی به مصرف کودهای پتاسیمی و عناصر کم مصرف مشاهده نشد (19 و 40).

بذرهای گندم با تراکم 400 دانه در مترمربع پس از ضدعفونی با قارچ‌کش کاربوکسین تیرام به نسبت دو در هزار و به کمک بذرکار آزمایشی (وینتراشتایگر) در عمق 5-7 سانتی‌متری کشت شد. دمای پوشش سبز (T_c) در زمان بیشترین تنش دمایی و آبی (ساعت 13 الی 14) در مراحل گلدهی (ZGS54) و اوایل مرحله خمیری شدن دانه (ZGS73) با استفاده از دماسنج فروسرخ مدل A-1 (ساخت انگلستان) در روزهای بدون وزش باد در 3 خرداد و 6 تیر ماه 1390 در تمامی تیمارها اندازه‌گیری شد.

نماینده موفق عمل کرده و عملکردهای مناسب‌تری را تولید می‌نمایند (18 و 49). بورک (16) معتقد است، زمانی که دمای پوشش گیاهی به میزان یک الی چهار درجه سلسیوس کمتر از دمای هوا باشد، گیاه در حال تعرق کامل بوده و فتوسنتز به خوبی انجام می‌گیرد، اما اگر دمای آن به میزان چهار الی شش درجه سلسیوس بیش از دمای هوا باشد، تعرق و عوامل فتوسنتزی مانند سرعت فتوسنتز، میزان هدایت روزنه‌ای و غلظت CO_2 زیر روزنه‌ای به طور چشمگیری کاهش یافته و در دماهای بالاتر کاملاً متوقف می‌شود (37).

امروزه، استفاده از دمای پوشش گیاهی با تکنیک رادیومتری گیاه مبنای یکی از موثرترین روش‌های غیرتخریبی در تعیین وضعیت آبی گیاه شناخته شده است (20 و 44). با استفاده از این تکنیک، پارامتری کاربردی تحت عنوان شاخص تنش آبی گیاه¹ (CWSI) محاسبه می‌شود که اولین بار به طور همزمان توسط ایدسو و همکاران (26) و جکسون و همکاران (29) معرفی شد. این شاخص بیشتر برای استفاده در مناطق خشک و نیمه خشک توسعه یافته است و در مناطق مرطوب به دلیل بالا بودن دمای پوشش سبز از دمای هوا، کارایی کمتری دارد (34). دامنه تغییر CWSI بین صفر تا یک می‌باشد. صفر بدین معنی است که گیاه با تنش آبی مواجه نبوده و ایده‌آل‌ترین شرایط را از لحاظ انجام تعرق دارد، اما وقوع عدد یک گویای حداکثر تنش آبی وارد شده بر گیاه و توقف کامل تعرق می‌باشد (26). پژوهشگران زیادی استفاده از این شاخص را در شناسایی شدت تنش رطوبتی و مدیریت آبی بسیاری از گیاهان زراعی و باغی به ویژه در شرایط دیم موفقیت‌آمیز گزارش کرده‌اند. شاخص CWSI علاوه بر اینکه همبستگی منفی و بالایی با وضعیت آبی گیاه - خاک دارد، بلکه با عملکرد محصول نیز چنین همبستگی را نشان داده است (36، 38، 46، 50 و 52). از سوی دیگر اثبات شده است که دمای پوشش سبز در شرایط مختلف رطوبتی، شدیداً تحت تاثیر تغییرات وضعیت نیتروژن و مدیریت این عنصر مهم قرار می‌گیرد. طوریکه نیتروژن همبستگی بین شاخص CWSI و عملکرد را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد (33 و 39). به همین دلیل پژوهشگران با اذعان به اثرات متقابل آب و نیتروژن، با استفاده از شاخص CWSI، علاوه بر تعیین نیازهای آبی گیاه، نیازهای نیتروژنی آن را نیز مشخص می‌نمایند. اثرات متقابل بین نیتروژن و شاخص CWSI بستگی به شدت تنش رطوبتی حاکم دارد. در تنش‌های رطوبتی پائین، مصرف نیتروژن منجر به افزایش تدریجی حجم ریشه و کاهش تنش آبی (CWSI) می‌شود، اما در تنش‌های رطوبتی بالا مصرف مقادیر زیاد نیتروژن منجر به افزایش سطح پوشش سبز و تقاضای تعرق گیاه و در نتیجه تشدید تنش آبی (افزایش CWSI) می‌شود (41). هدف از پژوهش حاضر، اولاً محاسبه شاخص CWSI و آستانه تنش رطوبتی برای گندم دیم و

1- Crop water stress index (CWSI)

جدول 1- آمار هواشناسی ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه در سال زراعی 90-89 و میانگین 20 ساله (90-70)

سال	بارندگی (میلی متر)	متوسط حداقل دما (°C)	متوسط حداکثر دما (°C)	متوسط دما (°C)	تعداد روزهای زیر صفر	رطوبت نسبی هوا (%)	تبخیر (میلی متر)
89-90	353	2/5	16/5	8/7	130	50/3	1485
20 ساله	365	4/2	14/6	9/4	128	53/2	1757

جدول 2- ویژگی‌های خاک مورد مطالعه در عمق 0-25 سانتی متری

بافت خاک	Cu	Zn	Mn	Fe	K	P	OC (%)	TNV (%)	SP	EC (dSm ⁻¹)	pH
لوم رسی	2/3	1/1	13/6	7/6	677	5/8	0/72	5/1	47	0/15	7/7

رابطه بازن¹ محاسبه و از طریق فشار بخار اشباع و رطوبت نسبی هوا، میزان کمبود فشار بخار هوا از طریق رابطه زیر محاسبه شد (49):

$$VPD = e_s(1-RH) \quad (2)$$

که در آن:

e_s : فشار بخار هوا بر حسب میلی بار و

RH: رطوبت نسبی هوا (به صورت نسبی) و

VPD: کمبود فشار بخار هوا بر حسب میلی بار می‌باشد.

بین کمبود فشار بخار نسبی هوا (VPD) و تفاوت دمای پوشش گیاهی با دمای هوا ($T_c - T_a$) یک رابطه رگرسیون خطی تعریف و جایگزین Tdl در معادله 1 شد (49):

$$dT_1 = (T_c - T_a)_1 = a - b (VPD)_m \quad (3)$$

که در آن:

$(T_c - T_a)_1$: تفاوت دمای پوشش سبز گیاه و هوا در شرایط مطلوب بر حسب سلسیوس (حد مبنای پائین) و

$(VPD)_m$: کمبود فشار بخار هوا بر حسب کیلو پاسکال و a و b ضرایب رگرسیون می‌باشند.

همچنین با استفاده از اطلاعات هواشناسی ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم، تبخیر و تعرق پتانسیل به صورت روزانه در طول فصل زراعی با استفاده از رابطه بلنی-کریدل² محاسبه شد (28):

$$ET_0 = p(0.46 \times T_{mean} + 8.13) \quad (4)$$

که در آن:

ET_0 : تبخیر و تعرق پتانسیل بر حسب میلی متر در روز

p: میانگین سالیانه درصد ساعات آفتابی و

T_{mean} : میانگین دمای روزانه بر حسب سلسیوس می‌باشد.

پس از انجام محاسبات لازم، از طریق رابطه بین $(T_c - T_a)$ با شاخص CWSI، آستانه تنش آبی برای گندم دیم محاسبه شد. همچنین، با استفاده از تغییرات شاخص CWSI و ارتباط آن با تبخیر

در هر کرت 4 قرائت در 4 سوی کرت با زاویه میل دستگاه حدود 45 درجه و فاصله تقریبی 0/5 متر انجام گرفت که میانگین آنها به عنوان متوسط دمای پوشش سبز هر تیمار لحاظ شد (10). با استفاده از مدل پیشنهادی ایدسو و همکاران (26) شاخص تنش آبی گیاه برای تیمارهای آزمایشی محاسبه شد:

$$CWSI = \frac{dT_m - dT_1}{dT_u - dT_1} \quad (1)$$

که در آن:

dT_m : تفاوت دمای پوشش گیاهی و دمای هوا ($T_c - T_a$) بر حسب سلسیوس

dT_u : حد بالای تفاوت دمای پوشش گیاهی و دمای هوا (حد مبنای بالا) بر حسب سلسیوس و

dT_1 : حد پائین تفاوت دمای پوشش گیاهی و دمای هوا (حد مبنای پائین) بر حسب سلسیوس می‌باشد.

حد بالا (dT_u) و پائین (dT_1) به ترتیب نشانگر حالات تنش حداکثر و حداقل برای گیاه می‌باشند که در بین این دو حد، میزان تغییرات دمای پوشش گیاهی با فشار بخار هوای مجاور همبستگی دارد. به منظور تعیین حد مبنای بالا تفاوت دمای پوشش گیاهی و دمای هوا ($T_c - T_a$) در ساعت 13 الی 14 به مدت 9 روز (از شروع مرحله گلدهی) در خشک‌ترین تیمارها (از طریق مشاهده علایم ظاهری در تیمارهای دیم مانند لوله‌ای شدن برگ) اندازه‌گیری و میانگین آن به عنوان حد مبنای بالا (dT_u) در معادله 1 قرار داده شد (13).

برای تعیین حد مبنای پائین که خود یک رگرسیون خطی است به مدت شش روز (از مرحله گلدهی) تفاوت دمای پوشش سبز گیاه با هوای مجاور $(T_c - T_a)_1$ در تیمار بدون تنش رطوبتی (ژنوتیپ‌های مشابه کشت شده در شرایط آبیاری تکمیلی در مجاور آزمایش) در ساعت 13 الی 14 اندازه‌گیری شد. سپس با کمک اطلاعات هواشناسی ایستگاه در روزهای یادشده، فشار بخار اشباع با استفاده از

1- Bazant

2- Blanney-Criddle

شرایط دیم می‌باشد، استفاده شد. نتایج پژوهش‌های انجام گرفته نیز بر روی ارقام دیم نشان می‌دهد، انجام آبیاری‌های غرقابی نیمه سنگین و سنگین به ویژه در مراحل حداکثر تنش (دوره پر شدن دانه) اغلب منجر به تشدید تنش آبی و کاهش عملکرد دانه شده است (3 و 6). پژوهشگران علت آن را فاز تاخیری جذب آب نسبت به افزایش سرعت و شدت تعرق و در نتیجه کاهش معنی‌دار عوامل فتوسنتزی مانند سرعت فتوسنتز، میزان هدایت روزنه‌ای و غلظت CO₂ زیر روزنه‌ای در شرایط آبیاری کامل عنوان نموده‌اند (2 و 32).

دامنه کمبود فشار بخار هوا (VPD) در خط مبنای پائین 0/4 الی 3/6 کیلوپاسکال و برای اختلاف دمای پوشش سبز و دمای هوا 10/8- الی 4/4 درجه سلسیوس (معادل با دمای پوشش سبز 18 الی 26 درجه سلسیوس) متغیر بود (شکل 1الف). معمولاً در پژوهش‌های سایرین این دامنه برای VPD کمتر از 1/5 کیلوپاسکال برای گندم گزارش شده است، در حالی که در پژوهش حاضر این دامنه بیش از سه کیلوپاسکال تعیین شد. از مزایای مهم گسترده بودن دامنه VPD این است که از خط مبنای پائین برازش شده می‌توان در مکان‌های دیگری نیز استفاده نمود، اما اگر این دامنه محدودتر باشد، چنین امکانی برای آن مهیا نخواهد بود (21).

حد مبنای بالا برای گندم دیم شش درجه سلسیوس ($T_c - T_a = 6$) °C تعیین شد (شکل 1الف) که نشانگر وضعیت اشباع هوا از بخار آب، توقف کامل تعرق در گیاه و در نتیجه بیشترین تنش وارد شده بر آن می‌باشد. نتایج سایرین در خصوص این حد نیز برای گندم متفاوت بوده است. اغلب این حد را برای گندم در محدوده دو سلسیوس تعیین کرده‌اند (9 و 22)، اما جکسون و همکاران (29) این مقدار را برای گندم پنج درجه سلسیوس و ایدسو (27) چهار درجه سلسیوس گزارش کرده‌اند که تا حدودی نزدیک به عدد به دست آمده در پژوهش حاضر می‌باشد. معمولاً در ژنوتیپ‌های دیم که برگ‌های باریک و بلندی دارند و میزان تعرق آنها کمتر است، عدد محاسبه شده برای حد مبنای بالا، بیشتر خواهد بود (27). همچنین، در مناطق مرطوب و شرایطی که گیاه تحت تنش خشکی نباشد، این مقدار پائین خواهد بود، اما برای شرایطی مانند پژوهش حاضر که بیشترین تنش گرمایی بر گندم در مرحله گلدهی و پرشدن دانه وارد می‌شود، انتظار به دست آمدن اعداد بالایی برای حد مبنای بالا وجود دارد.

پس از تعیین خط مبنای پائین و بالا برای گندم دیم، با استفاده از معادله تجربی پیشنهادی ایدسو و همکاران (26) شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) برای کل داده‌های آزمایش محاسبه شد. به منظور تعیین آستانه تنش آبی در گندم دیم از رابطه رگرسیونی بین این شاخص با اختلاف دمای پوشش سبز و دمای هوا ($T_c - T_a$) استفاده شد. چنانچه در این رابطه $[CWSI = 0.0671(T_c - T_a) + 0.4107]$ ، $T_c - T_a = 0$ باشد، شاخص CWSI برابر با 0/41 خواهد بود که این عدد به عنوان آستانه تنش آبی گندم دیم در شرایط پژوهش معرفی

و تعرق پتانسیل (ET_0) و بارندگی، زمان دقیق وقوع اولین تنش آبی و شدت آن در طول دوره رشد گندم دیم تعیین شد. از طریق روابط بین شاخص CWSI و عملکرد دانه در سطوح و زمان‌های مختلف مصرف نیتروژن، شدت تنش آبی وارد شده بر ژنوتیپ‌های مختلف بررسی و مناسب‌ترین مدیریت مصرف نیتروژن برای شرایط مختلف توصیه شد.

نتایج و بحث

رابطه رگرسیونی بین کمبود فشار بخار هوا (VPD) با اختلاف دمای پوشش سبز و دمای هوا ($T_c - T_a$) در شرایط نیمه آبی (حد مبنای پائین)، از نوع خطی کاهشی و در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری بود. در این رابطه تغییرات کمبود فشار بخار اشباع توانست 92 درصد از تغییرات اختلاف دمای پوشش سبز و دمای هوا را توجیه نماید (شکل 1الف):

$$R^2 = 0.92 \quad SE = 1.44 \quad (5)$$

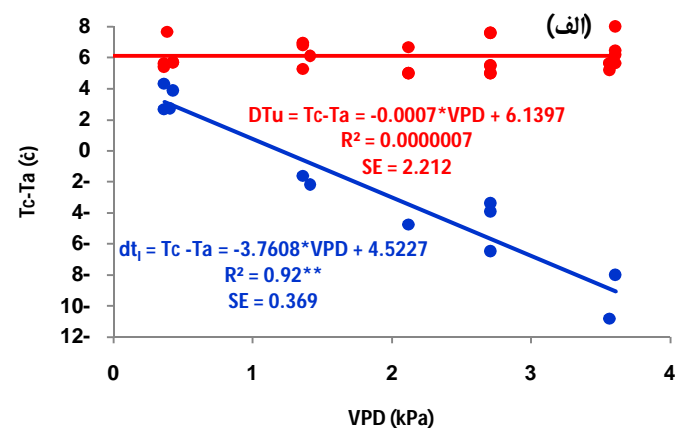
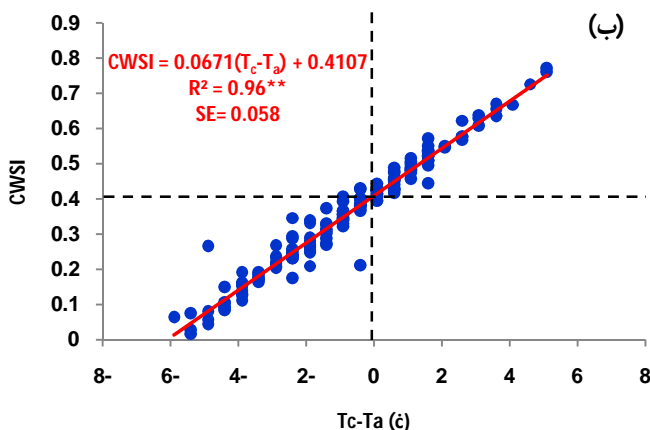
که در آن: VPD کمبود فشار بخار هوا بر حسب کیلوپاسکال و $T_c - T_a$ اختلاف دمای پوشش سبز و دمای هوا بر حسب سلسیوس می‌باشد.

در اغلب پژوهش‌های انجام گرفته شیب منحنی بزرگتر (بین 0/98- الی 2/1-) و عرض از مبدا کوچکتری (0/4 الی 2/9) برای گندم در مراحل گلدهی و بعد از آن گزارش شده است (6 و 19)، اما نتایج پژوهش حاضر تا حدودی با نتایج ایدسو (24) و جکسون و همکاران (29) از لحاظ منفی‌تر بودن شیب منحنی (-3/3) و مثبت‌تر بودن عرض از مبدا (3/4) تشابه زیادی دارد. ایدسو (27) معتقد است این ضرایب در گندم با مراحل فنولوژیک گیاه تغییر می‌کند، به نحوی که در مراحل رویشی گیاه شیب منحنی منفی‌تر و عرض از مبدا آن مثبت‌تر از مراحل زایشی است. علاوه بر آن شرایط اقلیمی، نوع خاک و وارسته گیاهی از عوامل دیگری هستند که بر روی این ضرایب تاثیرگذارند (15). معمولاً در مناطق گرم و خشک شیب منحنی منفی‌تر و در مناطق سرد و مرطوب میل به سمت مقدار صفر می‌یابد (35). بنابراین، منفی بودن شیب رگرسیون (-3/8) و مثبت بودن عرض از مبدا (4/5) در پژوهش حاضر مورد انتظار بوده و می‌تواند موید شرایط اجرای آزمایش و ژنوتیپ‌های مورد بررسی باشد، چونکه در شرایط آزمایش هرگز نمی‌توان انتظار داشت میزان تعرق گیاه بر میزان تعرق پتانسیل (ET_0) منطبق باشد، زیرا اولاً شدت و میزان تعرق پتانسیل برای ژنوتیپ‌های سازگار با شرایط دیم با ارقام آبی کاملاً متفاوت می‌باشد و این مقدار برای ارقام دیم بسیار کمتر از ارقام آبی است (37). ثانیاً شرایط اجرای آزمایش در این پژوهش برای تعیین خط مبنای پائین آبیاری کامل (تعرق کامل) نبوده است، چون که آبیاری کامل مشابه برای گندم آبی هرگز نمی‌تواند برای گندم دیم واقعیت داشته و مبنای مقایسه آن قرار گیرد، لذا در پژوهش حاضر از دو مرحله آبیاری تکمیلی که نزدیک به واقعیت نسبتاً ایده‌آل برای

و دقیق در تشخیص زمان آبیاری به منظور رفع تنش رطوبتی در گیاهان مختلف مانند گندم (0/3 الی 0/5)، ذرت (0/6)، سورگوم، دانه‌ای (0/45)، یونجه (0/15)، پنبه (0/41)، گوجه فرنگی (0/7)، آفتابگردان (0/6)، هندوانه (0/2) و غیره در مناطق خشک و نیمه خشک استفاده می‌نمایند (38، 42 و 55). بنابراین نتایج پژوهش حاضر در خصوص مقدار آستانه تنش آبی (CWSI=0/4) با نتایج سایرین مطابقت داشته و این مقدار در محدوده 0/3 الی 0/5 برای گندم گزارش شده است.

رابطه رگرسیونی بین دمای پوشش سبز (T_c) که مستقیماً از طریق دماسنج فرورسرخ اندازه‌گیری می‌شود، با شاخص CWSI، معنی‌دار ($p < 0/01$) بود. مطابق این رابطه، دمای 25/4 درجه سلسیوس برای پوشش سبز معادل با آستانه تنش رطوبتی (CWSI=0/4) می‌باشد که می‌تواند همانند آن به عنوان مبنایی برای تفکیک و انتخاب ارقام و تیمارهای مناسب در منطقه مورد مطالعه قرار گیرد (شکل 2الف). در این رابطه، اولاً با افزایش هر یک درجه سلسیوس دمای پوشش سبز، مقدار شاخص تنش آبی گندم دیم به میزان 0/067 افزایش و عملکرد دانه 303 کیلوگرم در هکتار (11 درصد) کاهش یافت که این کاهش در نقطه حداکثر شرایط تنش رطوبتی به 1545 کیلوگرم در هکتار رسید. ثانیاً بررسی داده‌های هواشناسی سال زراعی مربوطه (89-90) نشان داد، عبور دمای پوشش سبز از آستانه دمایی 25/4 درجه سلسیوس عملاً در ماه‌های خرداد و به ویژه تیر رخ می‌دهد. با توجه به اینکه دامنه تاریخ‌های سنبله‌دهی در تیمارها و ژنوتیپ‌های مختلف در پژوهش حاضر نیمه اول خرداد ماه بود، به نظر می‌رسد گندم دیم در مراحل زایشی با بحران تنش رطوبتی روبرو بوده است.

می‌شود (شکل آب)، زیرا در مقادیر $T_c - T_a > 0$ ، دمای پوشش سبز بیش از دمای هوای مجاور خواهد بود و شرایط رطوبتی گیاه به حد مبنای بالا نزدیک‌تر می‌شود که در چنین شرایطی گیاه به منظور مبارزه با تنش گرمایی و حفظ آب اندام‌های خود با بستن روزنه‌ها و کاهش تعرق با کمبود آب مبارزه می‌نماید و به همین دلیل دمای پوشش گیاهی نیز افزایش می‌یابد (23). در چنین شرایطی تیمارهایی موفق عمل می‌نمایند که با رفع شرایط تنش رطوبتی از طریق افزایش جذب آب و مقاومت روزنه‌ای، پتانسیل نسبی آب برگ را افزایش داده و باعث ورود CO_2 و حفظ فتوسنتز شوند و بدین طریق باعث کاهش دمای پوشش گیاهی و تولید بیشتر عملکرد دانه شوند (12). چنین پدیده‌ای در مقادیر $T_c - T_a < 0$ رخ داده و دمای پوشش سبز کمتر از دمای هوای مجاور شده است (شکل آب). به عبارت دیگر، در این شرایط وضعیت رطوبتی گیاه به حد مبنای پائین (شرایط ایده‌ال رطوبتی) و تعرق پتانسیل (ET_0) نزدیک‌تر می‌شود، در نتیجه جذب CO_2 و فتوسنتز با شدت بیشتری در راستای تولید مطلوب انجام می‌گیرد. بنابراین، مقادیر CWSI بالاتر از 0/4 را می‌توان شرایط نامطلوب و کمتر از آن را شرایط مطلوب رشد و فتوسنتز از لحاظ تنش رطوبتی برای گندم دیم معرفی نمود. زمانی که مقادیر CWSI از طریق اندازه‌گیری دمای پوشش گیاهی به این آستانه (CWSI=0/4) نزدیک‌تر و یا از آن عبور می‌نماید (منفی می‌شود)، می‌توان اقدامات پیش‌گیرانه‌ای را مطابق نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر و پژوهش‌های مشابه و همچنین امکانات موجود در مزرعه مانند انجام آبیاری تکمیلی، انتخاب مدیریت بهینه نیتروژن انجام داد و یا این‌که در مدیریت‌های کودی و پیشگیرانه بر اساس نتایج پژوهش‌ها بر روی ژنوتیپ‌ها طوری عمل نمود که رخ داد چنین پدیده‌ای در شرایط نرمال منطقه نادر باشد. دقت آستانه تنش رطوبتی در شناسایی و تشخیص شرایط تنش آبی از شرایط حداقل تنش ممکن، در عمل تا حدی است که اغلب پژوهشگران از این آستانه به عنوان مبنایی موفق



شکل 1- خطوط مبنای بالا و پائین برای گندم دیم (الف) و رابطه بین اختلاف دمای پوشش سبز و دمای هوا با شاخص CWSI (ب)

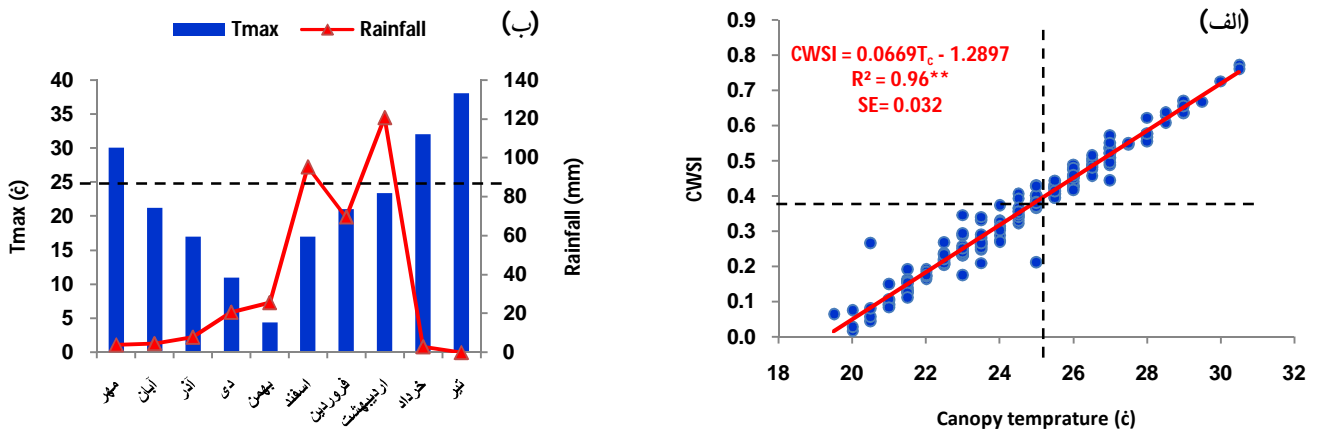
شاخص CWSI سیر صعودی داشت. میانگین شاخص CWSI در طول این دوره 0/47 و تبخیر و تعرق پتانسیل 4/9 میلی‌متر در روز بود. همچنین، شروع روز بحرانی یا تاریخ آستانه تنش آبی (CWSI=0/4) که یکی از تاریخ‌های مهم در مدیریت گندم دیم بشمار می‌رود و در آن میزان شاخص CWSI از 0/4 عبور می‌کند، حدود یک هفته (هشت روز) قبل از مرحله ظهور سنبله‌دهی معادل با 26 اردیبهشت ماه (219 روز پس از زمان کاشت) بود که در آن میزان تبخیر و تعرق پتانسیل به 4/7 میلی‌متر در روز رسید (شکل 3الف). پژوهشگران دیگری نیز روند افزایشی شاخص CWSI و تبخیر و تعرق پتانسیل را در طول دوره رویشی گندم از مرحله رویشی به زایشی گزارش کرده‌اند (53 و 55). گونیتا و تیواری (22) در تیمارهای مختلف آبیاری تکمیلی، میانگین شاخص CWSI را در طول دوره رشد برای شرایط بدون تنش (آبیاری کامل) نزدیک به صفر، شرایط نیمه تنش 0/52 و برای شرایط حداکثر تنش (شرایط دیم) 0/96 گزارش کرده‌اند. مقایسه این اعداد با اعداد به دست آمده از پژوهش حاضر برای شرایط بدون تنش (پنجه‌دهی 0/03)، نیمه تنش (ساقه رفتن تا سنبله‌دهی 0/43) و حداکثر تنش (گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیک 0/74) از لحاظ روند تغییرات شاخص CWSI و میانگین آن در هر دوره، تا حدودی مطابقت دارد. لازم به یادآوری است که بررسی دقیق داده‌های هواشناسی ایستگاه نشان داد، بعد از بارندگی‌های مؤثر و حتی کم در طول دوره رویشی (ابتدای فروردین) تا رسیدگی فیزیولوژیک (اوایل تیر)، با یک فاز تاخیری کوتاه شاخص CWSI کاهش یافت که این موضوع وابستگی شدید و حساسیت بالای این شاخص را به رطوبت موجود در محیط گیاه و ریشه آن نشان می‌دهد (شکل 3ب). زیبا و همکاران (55) نیز کاهش شدید شاخص CWSI را بعد از وقوع بارندگی در گندم گزارش نموده‌اند.

از امتیازات دیگر این شاخص ارتباط آن با میزان رطوبت خاک و محتوی نسبی آب گیاه است. بررسی همبستگی بین میزان رطوبت در اعماق مختلف پروفیل خاک در مراحل رشد گیاه با شاخص CWSI وجود این همبستگی (منفی) را تأیید نمود. همچنین این نتایج نشان داد، اولاً این همبستگی در اعماق 40 الی 90 سانتی‌متری پروفیل در مراحل گلدهی و پر شدن دانه از لحاظ آماری معنی‌دار بود. شاید این موضوع بتواند اهمیت تامین آب مورد نیاز گندم دیم را از اعماق پائین پروفیل در مراحل حساس به تنش رطوبتی نشان دهد. ثانیاً در مرحله گلدهی که حساس‌ترین مرحله به تنش‌های حرارتی و آبی گندم در بین تمامی مراحل رشد شناخته شده است (20)، ضریب همبستگی بین شاخص CWSI با میزان رطوبت خاک در تمامی اعماق پروفیل معنی‌دار بود (جدول 3). کاپلند (17) نیز همبستگی منفی بین میزان رطوبت خاک را تا عمق 75 سانتی‌متری با شاخص CWSI در گیاه پنبه گزارش کرده است.

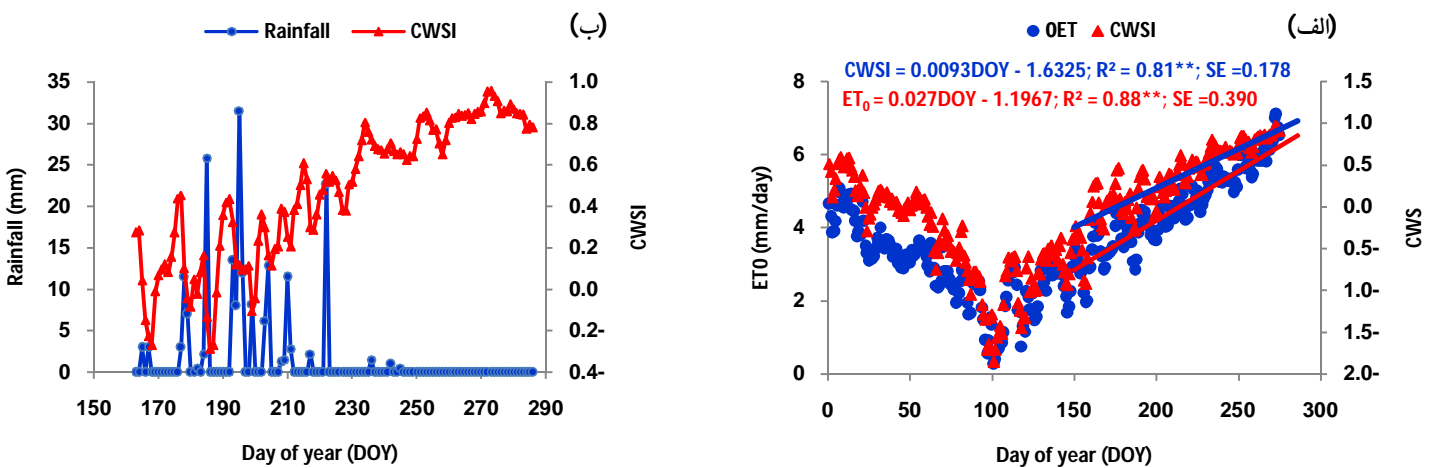
به ویژه اینکه در این دوره همزمان با افزایش شدید دما در اواسط روز، هیچ اقدامی (بارندگی یا آبیاری محدود) برای تعدیل این شرایط نامناسب وجود نداشته است (شکل 2ب). در آزمایش آسودو و همکاران (10) دماهای 20-25 درجه سلسیوس به عنوان دماهای مطلوب برای گندم زمستانه در مراحل زایشی گزارش شده است. همچنین آنان گزارش کردند، همبستگی منفی و معنی‌داری بین میزان فتوسنتز برگ با افزایش دمای پوشش سبز به بیش از 25 درجه سلسیوس مشاهده شد که در دمای 35 درجه سلسیوس، مقدار فتوسنتز به نصف شرایط ایده‌آل تقلیل یافت. وگاند و کولار (51) افزایش هر یک درجه سلسیوس دمای پوشش سبز را از 26 درجه سلسیوس، موجب کاهش چهار الی هشت برابری وزن دانه، هاندال (4) آنرا معادل با کاهش هفت الی نه درصدی و زانگ و همکاران (54) موجب کاهش 19/7 الی 28/3 درصدی عملکرد دانه گندم مطرح نمودند که علت آن افزایش درصد عقیمی گلچه‌ها در دماهای بالا گزارش شده است. معمولاً دماهای بیش از پنج الی 10 درجه سلسیوس بالای دمای نرمال منجر به کاهش شدید پایداری غشاها و میزان مواد محلول سلولی و پایداری پروتئین‌های گیاهی در گندم زمستانه می‌شود که این امر منجر به کاهش فتوسنتز و در نتیجه عملکرد این محصول استراتژیک می‌شود (10). بنابراین رمز موفقیت ارقام مقاوم به تنش‌های حرارتی، تولید سریع پروتئین‌های ویژه‌ای به منظور مبارزه با شرایط به وجود آمده می‌باشد که اصطلاحاً این پروتئین‌ها را پروتئین‌های شوک حرارتی¹ می‌نامند. نتایج پژوهش حاضر در خصوص تعیین بالاترین حد مطلوب دمای پوشش سبز (25/4 درجه سلسیوس) برای گندم دیم در مرحله زایشی و همچنین کاهش عملکرد دانه با یک واحد افزایش دمای پوشش سبز کاملاً با نتایج مطرح شده توسط ویکاند و کولار (51) و آسودو و همکاران (10) مطابقت دارد.

به منظور تعیین زمان دقیق وقوع تنش آبی در طول دوره رشد گندم دیم، مقادیر شاخص CWSI و تبخیر و تعرق پتانسیل (ET₀) در طول فصل زراعی مورد بررسی قرار گرفت (شکل 3الف). نتایج نشان داد، روند تغییرات شاخص CWSI با شروع رشد رویشی (اوایل فروردین) تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (اواخر تیر) افزایشی بود، طوری که در هر ماه این شاخص به طور میانگین 0/28 افزایش یافته است. محدوده شاخص CWSI در مراحل پنجه‌زنی (19-14 فروردین)، ساقه رفتن (21-14 اردیبهشت)، سنبله‌دهی (13-4 خرداد)، گلدهی (29-18 خرداد) و رسیدگی فیزیولوژیک (11-4 تیر) به ترتیب 0-0/04، 0/29-0/35، 0/49-0/56، 0/62-0/72، 0/78-0/84 و 0/78-0/84، 0/78-0/84، 3/6-3/7، 4/4-4/6، 5/0-5/2 و 5/3-5/6 و 5/8-6/0 میلی‌متر در روز بود که همانند

1- Heat Shock Proteins (HSP)



شکل 2- رابطه بین دمای پوشش سبز با شاخص CWSI (الف) و حداکثر دمای مطلق و میزان بارندگی ماهانه در فصول مختلف سال زراعی (ب)



شکل 3- تبخیر و تعرق پتانسیل و شاخص CWSI (الف) و تغییرات بارندگی و شاخص CWSI در طول دوره رشد گندم دیم (ب)

سانتی‌متر خاک تا عمق 50 سانتی متری تخلیه شده است، اما این تخلیه در عمق‌های سطحی بسیار بیشتر از عمق‌های پائینی بوده است. به نحوی که از هر 10 سانتی‌متر از سطح خاک به ترتیب 21/2، 16/1، 11/7، 7/3 و 3/6 میلی‌متر (به ترتیب 20، 27، 35 و 6 درصد) رطوبت تخلیه شده است که نشانگر تخلیه بیش از 80 درصدی از عمق 30 سانتی متر اولیه می‌باشد (شکل 4الف). شاید دلیل این موضوع مجاورت عمق‌های سطحی خاک با هوا و همچنین تمرکز بیشتر ریشه گندم در این محدوده بوده است، زیرا بررسی‌ها نشان می‌دهد ارقام گندم مناسب برای شرایط نیمه خشک، بیشترین توده ریشه‌ای خود را در افق‌های 30 سانتی‌متری سطح خاک دارند (25). در محدوده 50 درصد تخلیه رطوبت خاک، مقدار 54 میلی‌متر آب قابل استفاده از عمق 50 سانتی‌متری خارج می‌شود، و این زمانی است که مقدار شاخص $CWSI=0/39$ است که تفاوت چندانی با

گزارش مشابهی از میجر (39) در خصوص گیاه ذرت موجود می‌باشد. همچنین پژوهشگران دیگری حساسیت این شاخص را در مقابل تغییرات رطوبت خاک از طریق انجام آبیاری در گندم گزارش کرده‌اند (22). علاوه بر این بین شاخص CWSI و میزان تخلیه رطوبتی در عمق 50 سانتی‌متری خاک، رگرسیون خطی معنی‌داری در سطح احتمال 1 درصد مشاهده شد. مطابق این رابطه، در آستانه تنش آبی ($CWSI=0/4$)، مجموع 60 میلی‌متری از آب قابل استفاده تا عمق 50 سانتی‌متری تخلیه شده است. به عبارت دیگر مرز بین شرایط بدون تنش و تنش آبی از لحاظ میزان آب قابل استفاده در گندم دیم، تخلیه حدود 55 درصدی آن در عمق 50 سانتی‌متر اول ریشه می‌باشد، مطابق این نتیجه، با افزایش هر 0/1 واحد شاخص CWSI (افزایش هر 1/5 درجه سانتی‌گراد دمای پوشش سبز نسبت به دمای هوا)، به طور میانگین 12 میلی‌متر رطوبت از هر 10

90 کیلوگرم در هکتار) به ازای افزایش هر 0/1 واحد شاخص CWSI به ترتیب 273، 329، 405 و 463 کیلوگرم در هکتار بود. این موضوع نشان می‌دهد بین مصرف نیتروژن و تنش آبی در شرایط دیم اثرات متقابل شدیدی وجود دارد و مصرف نیتروژن در هر سه مقدار باعث کاهش شاخص CWSI و افزایش عملکرد دانه شد. کاهش شاخص CWSI در تیمارهای N₃₀، N₆₀ و N₉₀ در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب 0/20، 0/14 و 0/10 بود که به ترتیب افزایش عملکرد 862، 1269 و 947 کیلوگرم در هکتار را در پی داشت (جدول 4). رابطه خطی کاهشی بین شاخص CWSI با عملکرد دانه گندم مورد تأیید سایرین نیز بوده است (22 و 55). البشیر و همکاران (18) با انجام پژوهشی بر روی 12 ژنوتیپ گندم در مناطق خشک کشور سودان به این نتیجه رسیدند که مصرف نیتروژن از 43 تا 129 کیلوگرم در هکتار منجر به کاهش شاخص CWSI و افزایش عملکرد دانه گندم تا آخرین سطح مصرف نیتروژن شد. در پژوهش‌های بدارودین و همکاران (14) و علی (11) نیز در شرایط تنش حرارتی بالا، با مصرف نیتروژن دمای پوشش سبز (شاخص CWSI) در گندم کاهش و عملکرد زیست توده و دانه آن افزایش یافت.

رابطه بین تفاوت دمای پوشش گیاهی و دمای هوا ($T_c - T_a$) با شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) در تمامی سطوح مصرف نیتروژن به صورت خطی و معنی‌دار ($p < 0/01$) بود. مقایسه مصرف تقسیطی و پائیزی نیتروژن در تیمار N₃₀ نشان داد در مصرف تقسیطی و پائیزی، شاخص CWSI در هیچ یک از ژنوتیپ‌ها بیش از آستانه تنش آبی ($CWSI > 0/4$) نبود و لذا برای اولین سطح مصرف نیتروژن مطابق مقادیر عملکرد دانه تولیدی برای مصرف پائیزی رقم آذر2 و به ویژه رقم رصد و برای مصرف تقسیطی سایر ژنوتیپ‌ها (اوحدی، Cereal1، Cereal2، Cereal3 و Cereal4) به ویژه اوحدی و Cereal4 می‌تواند قابل توصیه باشد (شکل 5الف و ب). در سطح N₆₀ که بیشترین میانگین عملکرد دانه را در بین تمامی سطوح نیتروژن در هر دو مصرف پائیزی و تقسیطی به خود اختصاص داد، در مصرف پائیزی دو ژنوتیپ Cereal1 و Cereal2 بیش از مرز آستانه تنش آبی قرار گرفتند، اما در مصرف تقسیطی اگرچه ژنوتیپ‌های آذر2، رصد و Cereal2 در محدوده آستانه تنش آبی بودند، اما از این محدوده عبور نکردند. برای سطح N₆₀ با در نظر گرفتن شاخص CWSI و عملکرد دانه برای مصرف پائیزی ارقام اوحدی و به ویژه رصد و برای مصرف تقسیطی سایر ژنوتیپ‌ها (آذر2، Cereal1، Cereal2، Cereal3 و Cereal4) به ویژه آذر2 و Cereal4 قابل توصیه می‌باشند (شکل 6الف و ب). در سطح N₉₀ در هر دو روش تقسیطی و پائیزی تعدادی از ژنوتیپ‌ها از آستانه تنش آبی عبور کردند و گیاه دچار تنش آبی ناشی از مصرف نیتروژن شد (شکل 7الف و ب).

میزان تخلیه رطوبت در آستانه تنش آبی گندم دیم ندارد. استگمن و سودرلود (47) نیز همانند نتایج به دست آمده از این پژوهش از آستانه تنش آبی به عنوان محدوده تخلیه 50 درصدی رطوبت خاک و زیاده همکاران (55) از این حد به عنوان وضعیت آب در عمق 40 سانتی‌متری در زراعت گندم استفاده کردند. علاوه بر این، جکسون و پینتر (31) نیز از آن به عنوان شاخصی برای شناسایی شروع پیری برگ‌ها و اندام‌های رویشی (0/3) و حتی توقف رشد (0/5) گندم استفاده نموده‌اند. از سوی دیگر، رابطه بین دمای پوشش سبز با محتوی نسبی آب گیاه¹ (RWC) در پژوهش حاضر نشان داد با افزایش دمای پوشش سبز از 22 درجه سانتی‌گراد، RWC نیز به شدت افزایش یافت و در دمای 25/7 درجه سانتی‌گراد به حداکثر مقدار خود (64 درصد) رسید. در دمای‌های بالاتر از 25/7 درجه سانتی‌گراد، محتوی نسبی آب گیاه با افزایش هر یک درجه سلسیوس 1/5 الی 8/5 درصد کاهش یافت (شکل 4ب). این موضوع نیز دقت آستانه تنش رطوبتی به دست آمده (25/4 درجه سلسیوس) برای گندم دیم را مجدداً مورد تأیید قرار می‌دهد. بنابر نتایج یاد شده، اگرچه در محاسبه شاخص CWSI از مقادیر رطوبت خاک و گیاه استفاده نمی‌شود و تنها بازتاب‌های حرارتی گیاه مد نظر قرار می‌گیرد، اما این شاخص علاوه بر اینکه معیار مناسبی از وضعیت آب گیاه (RWC) می‌باشد، بلکه وضعیت رطوبت موجود در اعماق مختلف پروفیل را در مراحل مختلف رشد گیاه به خوبی پیش‌بینی می‌نماید که این ویژگی می‌تواند ارزش فوق‌العاده‌ای برای انتخاب و معرفی ارقام و تیمارهای مناسب برای شرایط مختلف اقلیمی باشد.

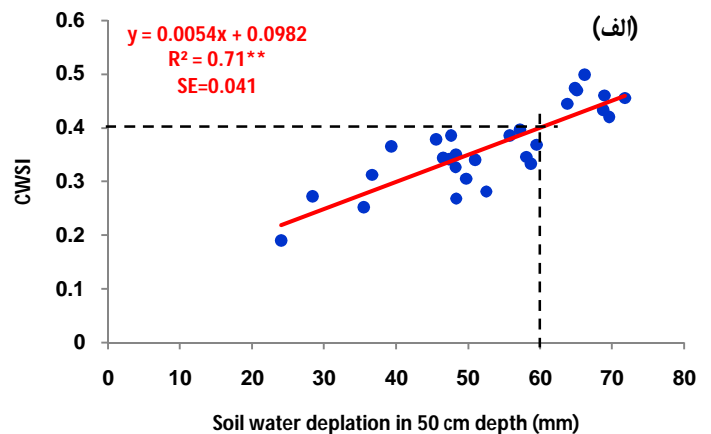
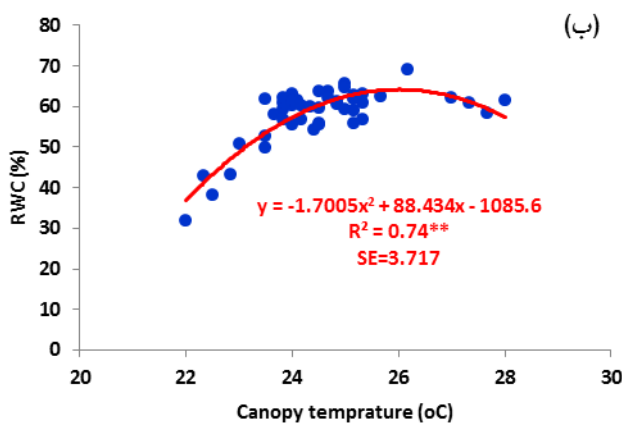
مهمترین عاملی که بیانگر کاربردی بودن شاخص CWSI است، همبستگی بالای (منفی) آن با عملکرد محصول در شرایط مختلف می‌باشد که در سطوح مختلف تنش آبی، میزان عملکرد محصول از طریق این رابطه قابل پیش‌بینی است و این موضوع مورد تأیید تمامی پژوهشگرانی است که از آن به عنوان معیار تشخیص شدت تنش آبی و اعمال مدیریت‌های کنترلی آن برای بهبود وضعیت محصولات مختلف استفاده کرده‌اند (45 و 50). در پژوهش حاضر نیز رابطه رگرسیونی خطی معنی‌داری ($p < 0/01$) بین شاخص CWSI با عملکرد دانه گندم دیم در سطوح مختلف مصرف نیتروژن وجود داشت که به طور میانگین تغییرات شاخص CWSI توانست 64 درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه نماید. مطابق این رابطه ($GY = -$) $4518.8 + 4548.1 * CWSI$ با افزایش هر 0/1 واحد به شاخص CWSI در دامنه مورد مطالعه (0/17 الی 0/67)، میزان تنش رطوبتی وارد شده بر گیاه افزایش و عملکرد دانه به طور متوسط 455 کیلوگرم در هکتار کاهش یافت که این کاهش بر اساس روابط بین شاخص CWSI و عملکرد دانه در سطوح مختلف نیتروژن (صفر، 30، 60 و

1- Relative Water Content (RWC)

جدول 3- ضرایب همبستگی خطی بین شاخص CWSI و میزان رطوبت حجمی در اعماق مختلف پروفیل در مراحل مختلف رشد گندم دیم

عمق پروفیل (سانتی‌متر)									مراحل رشد
80-90	70-80	60-70	50-60	40-50	30-40	20-30	10-20	0-10	
-0/39*	-0/38*	-0/59**	-0/54**	-0/47*	-0/55**	-0/45*	-0/30ns	-0/24ns	ساقه‌دهی
-0/26ns	-0/46*	-0/65**	-0/57**	-0/19ns	-0/27ns	-0/50**	-0/44*	-0/65**	ظهور برگ پرچم
-0/48**	-0/63**	-0/71**	-0/78**	-0/54**	-0/54**	-0/50**	-0/45*	-0/44*	گلدهی
-0/59**	-0/65**	-0/74**	-0/61**	-0/41*	-0/51	-0/42*	-0/30ns	-0/33ns	شیری شدن
-0/62**	-0/63**	-0/71**	-0/67**	-0/54**	-0/44*	-0/33ns	-0/11ns	-0/21ns	خمیری شدن
-0/53**	-0/60**	-0/66**	-0/39*	-0/22ns	-0/34ns	-0/32ns	-0/03ns	-0/09ns	رسیدگی فیزیولوژیک
-0/68**	-0/65**	-0/80**	-0/72**	-0/50**	-0/52**	-0/48**	-0/38*	-0/42*	میانگین

ns، * و ** - به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال 5 و 1 درصد



شکل 4- روابط رگرسیونی بین شاخص CWSI با میزان تخلیه رطوبت تا عمق 50 سانتیمتری پروفیل (الف) و دمای پوشش سبز با RWC

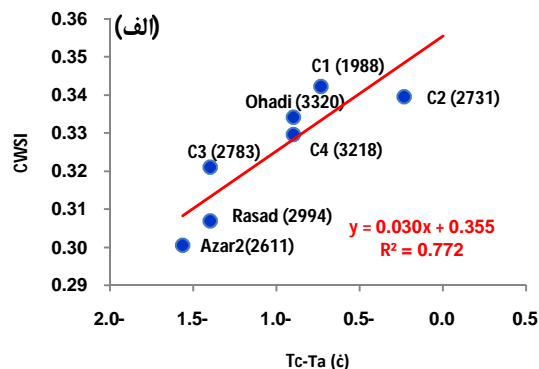
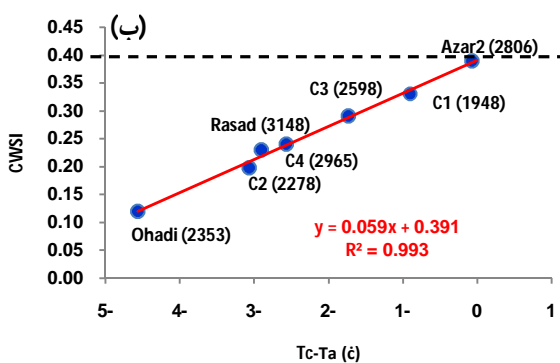
جدول 4- مشخصات روابط رگرسیونی بین عملکرد دانه (GY) و شاخص CWSI در سطوح مختلف مصرف نیتروژن

خطای استاندارد (SE)	ضریب تبیین (R ²)	مدل رگرسیونی	نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)
129/6	0/68**	GY = -2725.6*CWSI + 3316.4	صفر
185/7	0/53**	GY = -3290.9*CWSI + 3821.8	30
209/9	0/64**	GY = -4054.1*CWSI + 4708.3	60
251/7	0/82**	GY = -4629.0*CWSI + 4761.6	90
363/1	0/64**	GY = -4548.1*CWSI + 4518.8	میانگین

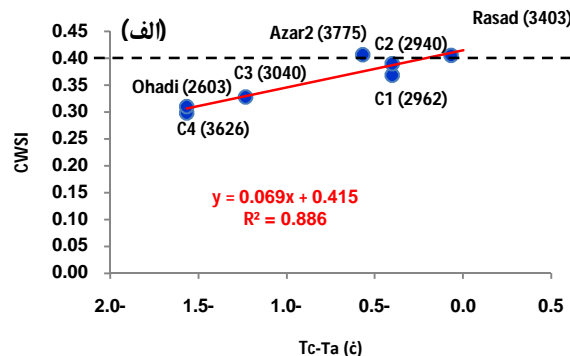
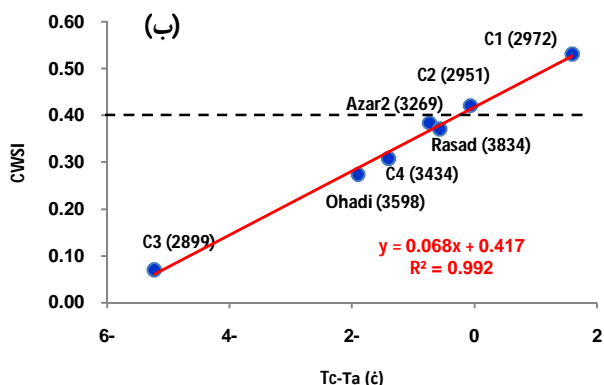
** - معنی‌دار در سطح احتمال 1 درصد

به مرز آستانه تنش آبی و یا بیش از آن بود. در حالی که رقم رصد در مصرف پائیزی با عملکردهای بالا دارای شاخص CWSI بسیار پائین‌تری بود. ثانیاً در مصرف تقسیطی و پائیزی N₃₀ بهترین ژنوتیپ‌ها به ترتیب اوحدی و رصد و در مصرف تقسیطی و پائیزی N₆₀ به ترتیب Cereal4 و رصد بودند که این نشان می‌دهد در مصرف پائیزی نیتروژن رقم رصد مناسب‌ترین می‌باشد.

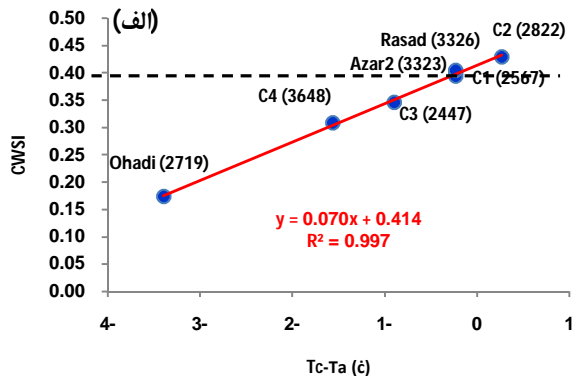
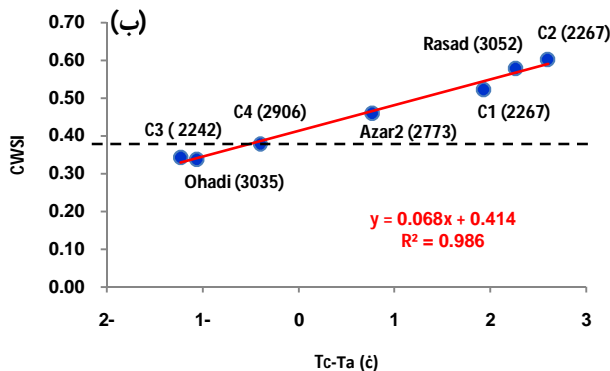
مصرف تقسیطی شامل ژنوتیپ‌های Cereal2 و رصد و در مصرف پائیزی ژنوتیپ‌های Cereal2، رصد، Cereal1 و آذر2 بودند. با توجه به اینکه عملکردهای به دست آمده از سطح N₆₀ برای ژنوتیپ‌ها بسیار بیشتر از سطح N₉₀ بود، لذا مصرف تیمار N₉₀ در شرایط آزمایش توصیه نمی‌شود. مطابق نتایج یادشده اولاً در مقادیر N₆₀ و N₃₀ در اغلب موارد رقم آذر2 از لحاظ شاخص CWSI نزدیک



شکل 5- رابطه بین تفاوت دمای پوشش سبز با دمای هوا با شاخص CWSI در مصرف تقسیطی (الف) و پائیزی (ب) در سطح N30



شکل 6- رابطه بین تفاوت دمای پوشش سبز با دمای هوا با شاخص CWSI در مصرف تقسیطی (الف) و پائیزی (ب) در سطح N60



شکل 7- رابطه بین تفاوت دمای پوشش سبز با دمای هوا با شاخص CWSI در مصرف تقسیطی (الف) و پائیزی (ب) در سطح N90

در شکل‌های 5، 6 و 7، C1، C2، C3 و C4 به ترتیب ژنوتیپ‌های Cereal1، Cereal2، Cereal3 و Cereal4 و اعداد داخل پرانتز عملکرد دانه مربوط به هر ژنوتیپ بر حسب کیلوگرم در هکتار می‌باشد.

گیاه می‌توان وضعیت آبی و همچنین میزان و شدت تنش آبی وارد شده بر گیاه را تنها با اندازه‌گیری دمای پوشش گیاه محاسبه نمود. شروع تنش آبی گندم دیم در اوایل مرحله سنبله‌دهی (هفته آخر اردیبهشت ماه) زمانی است که 56 درصد آب قابل استفاده تا عمق 50 سانتی‌متری پروفیل تخلیه می‌شود. با مدیریت بهینه مصرف نیتروژن می‌توان تنش آبی وارد شده بر گیاه را کاهش و عملکرد دانه را

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد، بین دمای پوشش سبز و وضعیت آبی گیاه (محتوی نسبی آب گیاه) و همچنین میزان آب موجود و یا میزان تخلیه رطوبت در پروفیل خاک همبستگی بسیار بالایی وجود دارد که با استفاده از این روابط و بدون اندازه‌گیری میزان رطوبت در خاک و

ژنوتیپ‌های Cereal4 و رصد بودند. کاربرد N₉₀ به دلیل افزایش تنش آبی و کاهش عملکرد دانه ناشی از آن در شرایط این مطالعه توصیه نمی‌شود.

افزایش داد. به طوری که برای مصرف تقسیطی و پائیزی N₃₀ بهترین ژنوتیپ‌ها از لحاظ عملکرد دانه و مقاومت به تنش آبی به ترتیب اوحدی و رصد و در مصرف تقسیطی و پائیزی N₆₀ به ترتیب

منابع

- 1- اسکندری ا. و محمودی ح. 1379. اثر جایگذاری کود بر عملکرد گندم دیم. مجله به‌نژدای نهال و بذر. جلد 2، شماره 17. ص 203-215.
- 2- تدین م. و امام ی. 1386. اثر آبیاری تکمیلی و مقدار فراهمی آب بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک دو رقم گندم دیم. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد 11، شماره 42. ص 145-156.
- 3- توکلی ع. 1385. ارزیابی زراعی و اقتصادی (بودجه بندی بخشی) مدیریت تک آبیاری گندم در شرایط خشکسالی. مجله علمی کشاورزی. جلد 29، شماره 1. ص 17-29.
- 4- توکلی ع. 1390. اثر تاریخ کاشت و آبیاری محدود بر عملکرد و اجزای عملکرد پنج رقم گندم در مراغه. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. جلد 2، شماره 6. ص 87-97.
- 5- فیضی اصل و، کسرابی ر، مقدم م. و ولیزاده غ. 1383. بررسی تشخیص کمبود و محدودیت‌های جذب عناصر غذایی با استفاده از روش‌های مختلف با مصرف کودهای فسفر و روی برای گندم دیم رقم سرداری. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. جلد 11، شماره 3. ص 23-33.
- 6- فیضی اصل و، و ولیزاده غ. 1380. تعیین نیاز نیتروژن و فسفر گندم رقم سبلان در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی. مجله علوم زراعی ایران. جلد 3، شماره 4. ص 16-28.
- 7- مسلمی م، روستائی م. و رشیدی و. 1391. ارزیابی عملکرد دانه و اجزای عملکرد در ژنوتیپ‌های گندم نان در رژیم‌های متفاوت رطوبتی. مجله به‌نژدای نهال و بذر. جلد 28، شماره 4. ص 611-630.
- 8- ملکوتی م.ج. و نبی‌غیبی م. 1376. تعیین حد بحرانی عناصر غذایی محصولات استراتژیک و توصیه صحیح کودی در کشور. انتشارات نشر آموزش کشاورزی. ص 56.
- 9- نخجوانی مقدم م.م. و قهرمان ب. 1387. ارزیابی دمای پوشش سبز جهت زمان بندی آبیاری و عملکرد گیاه گندم زمستانه. مجله علوم و صنایع کشاورزی، ویژه آب و خاک. جلد 22، شماره 1. ص 101-112.
- 10- Acevedo E., Silva P. and Silva H. 2002. Wheat growth and physiology. p 53-89. In: B.C. Curtis, S. Rajaram, H. Gómez Macpherson (eds). Bread wheat Improvement and Production. Cereals Officer, Crop and Grassland Service, FAO.
- 11- Ali Z.I. 2000. Morphophysiological Traits Associated with Moisture and Nitrogen Stresses in Some Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes. PhD Thesis, Gezira University, Sudan, p. 123.
- 12- Anjum S.A., Xie X., Wang L., Saleem M.F., Man C. and Lei W. 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. African Journal of Agricultural Research. 6(9): 2026-2032.
- 13- Ayeneh A., Van Ginkel M., Reynolds M.P. and Ammar K. 2002. Comparison of leaf, spike, peduncle, and canopy temperature depression in wheat under heat stress. Field Crops Res. 79: 173-184.
- 14- Badaruddin M., Reynolds M.P. and Ageeb O.A.A. 1999. Wheat management in warm environments: effect of organic and inorganic fertilizers, irrigation frequency, and mulching. Agron. J. 91: 975-983.
- 15- Bucks D., Nakavamma F., French O., Regard W. and Alexander W. 1985. Irrigated guayule evapotranspiration and plant water stress. Agricultural water management. 10: 61-79.
- 16- Burke J.J. 1990. Variation among species in the temperature dependence of the reappearance of variable fluorescence following illumination. Plant Physiol. 93: 652-656.
- 17- Copeland S. 1989. Soil water potential as related to the crop water stress index of irrigated cotton. M. S. thesis, Dept. of Agricultural and Biosystems Engineering, University of Arizona, Tucson, AZ. Page 107.
- 18- Elbasher E.M.E., Tahir I.S.A., Saad A.I. and Ibrahim M.A.S. 2012. Wheat genotypic variability in utilizing nitrogen fertilizer for a cooler canopy under a heat-stressed irrigated environment. African Journal of Agricultural Research. 7(3): 385-392.
- 19- Feiziasl V., Jafarzadeh J., Pala M. and Mosavi S.B. 2009. Determination of micronutrient critical Levels by plant response column order procedure for dryland wheat (*T. aestivum* L.) in Northwest of Iran. Inter. J. Soil Sci. 4(1): 14-19.
- 20- Fitzgerald G.J., Rodriguez D., Christensen L.K., Belford R., Sadras V.O. and Clarke T.R. 2006. Spectral and thermal sensing for nitrogen and water status in rainfed and irrigated wheat environments. Precision Agri. 7 (4): 233-248.

- 21- Gardner B.R. and Shock C.C. 1989. Interpreting the Crop Water Stress Index. ASAE Paper No: 89-2642.
- 22- Gontia N.K. and Tiwari K.N. 2008. Development of crop water stress index of wheat crop for scheduling irrigation using infrared thermometry. *Agricultural Water Management*. 95(10): 1144-1152.
- 23- Gonzalez-Dugo M.P., Moran M.S., Mateos L. and Bryant R. 2005. Canopy temperature variability as an indicator of crop water stress severity. *Irrig. Sci.* 24: 233-240.
- 24- Hundal S.S. 2004. Climatic changes and their impact on crop productivity vis-a- vis mitigation and adaptation strategies. pp 148-153. In proc. of workshop "Sustainable Agricultural Problems and Prospects" Punjab Agricultural University, Ludhiana, India.
- 25- Hurd E.A. 1976. Plant breeding for drought resistance. In: T. T. Kozlowski (ed.) *water deficits and plant growth*. P: 317-354. Academic press, New York.
- 26- Idso S.B., Jackson R.D., Jr. Pinter P.J., Reginato R.J. and Hatfield J.L. 1981. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agric. Meteorol.* 24(1): 45-55.
- 27- Idso S.B. 1982. Non-water-stressed baselines: a key to measuring and interpreting plant water stress. *Agricultural Meteorology*. 27:59-70.
- 28- Irmak S., Istanbuluoglu E. and Irmak A. 2008. An Evaluation of Evapotranspiration model complexity against performance in comparison with Bowen Ration Energy Balance measurements. *Transactions of the ASABE*. 51(4):1295-1310.
- 29- Jackson R.D., Idso S.B., Reginato R.J. and Pinter P.J. 1981. Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resour Res.*17(4):1133-1138.
- 30- Jackson R.D. 1982. Canopy temperature and crop water stress. In D. Hillel Ed. *Advances in Irrigation*, Vol 1, pp43-85.
- 31- Jackson R.D. and Pinter P.J., Jr. 1981. Detection of water stress in wheat by measurement of reflected solar and emitted thermal IR radiation. *Int. Colloq.Spectral Signatures Objects Remote Sens.*,1982, pp.399-406.
- 32- Jiang Y. and Huang B. 2000. Effects of drought or heat stress alone and in combination on kentucky bluegrass. *Crop Sci.*40: 1358-1362.
- 33- Jia-Zhou C., Li-Rong L., Guo L. and Shuang W. 2010. Effects of nitrogen fertilization on crop water stress index of summer maize in red soil. *J. Plant Nutrition and Fertilizer Science*. 16(5): 1114-1119.
- 34- Keener M.E. and Kircher P.L. 1983. The use of canopy temperature as an indicator of drought stress in humid regions. *Agric. Forest Meteorol.* 28: 339-349.
- 35- Kirnak H., Çopur O., Doan E., Bahçeci I., Demir S. and Tonkaz T. 2005. Evaluation of relationship between crop water stress index and generative-fiber characteristics of cotton (in Turkish). GAP IV. Tarım Kong., Sanliurfa, 21-23 September, pp. 1164-1171.
- 36- Koksall E.S., Candogan B.N., Yildirim Y.E. and Yazgan S. 2010. Determination of water use and water stress of cherry trees based on canopy temperature, leaf water potential and resistance. *Zemdirbyste=Agriculture*. 97(4): 57-64.
- 37- Lawlor D.W. and Cornic C. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant Cell Environ.* 25:275-294.
- 38- López L.R., Arteaga R.R., Sánchez C.I., Ojeda B.W. and González L.V. 2011. Evapotranspiration and Crop Water Stress Index in Mexican Husk Tomatoes (*Physalis Ixocarpa Brot*). pp: 187-210. In: *Evapotranspiration-From Measurements to Agricultural and Environmental Applications*. Gerosa G (Ed). Intechwem.Org.
- 39- Meijer A.D. 2004. Characterizing a Crop Water Stress Index for Predicting Yield in Corn. A thesis submitted to the Graduate Faculty of North Carolina State University in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Master of Science. *Crop Science*. Pages 141.
- 40- Mohammadi M., Karimizadeh R. and Naghavi M.R. 2009. Selection of Bread Wheat Genotypes against Heat and Drought Tolerance Based on Chlorophyll Content and Stem Reserves. *J. Agric. Soc. Sci.* 5 (5): 119-122.
- 41- Nielsen D.C. and Halvorson A.D. 1991. Nitrogen fertility influences on water stress and yield of winter wheat. *Agron. J.* 83:1065-1070.
- 42- O'Shaughnessy S.A., Evett S.R., Colaizzi P.D. and Howell T.A. 2012. A crop water stress and time threshold for automatic irrigation scheduling of grain sorghum. *Agric. Water Manage.* 107:122-132.
- 43- Pinter P.J., Zipoli G., Reginato R.J., Jackson R.D., Idso S.B. and Hohman J.P. 1990. Canopy temperature as an indicator of differential water use and yield performance among wheat cultivars. *Agricultural Water Management*. 18: 35-48.
- 44- Rodriguez D., Sadras V.O., Christensen L.K., and Belford R. 2005. Spatial assessment of the physiological status of wheat crops as affected by water and nitrogen supply using infrared thermal imagery. *Australian Journal Agricultural Research*. 56: 983-993.
- 45- Schneekloth J.P. and Nielsen D.C. 2011. Irrigation Capacity Impact on Limited Irrigation Management and Cropping Systems. Proceedings of the 23rd Annual Central Plains Irrigation Conference, Burlington, CO., February 22-23, 2011, Available from CPIA, 760 N. Thompson, Colby, Kansas.
- 46- Sneha C., Santhoshkumar A.V. and Sunil K.M. 2013. Quantifying water stress using crop water stress index in

- mahogany (*Swietenia macrophylla King*) seedlings. *Current Sci.* 104 (3): 348-351.
- 47- Stegman E.C. and Soderlund M. 1992. Irrigation scheduling of spring wheat using infrared thermometry. *Trans-ASAE. St. Joseph, MI.* 35:143-152.
- 48- Tao F., Yokozawa M., Zhang Z., Hayashi Y., Gerassl H. and Fu C. 2004. Variability in climatology and agricultural production in China in association with the East Asia Summer monsoon and El Niño Southern Oscillation. *Climate Res.* 28: 23-30.
- 49- Tilling K., Leary G.J.O., Ferwerda J.G., Jones S.D., Fitzgerald G.J., Rodriguez D. and Belford R. 2007. Remote sensing of nitrogen and water stress in wheat. *Field Crops Res.* 104: 77-85.
- 50- Ünlü M., Kanber R., Kapur B., Tekin S. and Koç D.L. 2011. The crop water stress index (CWSI) for drip irrigated cotton in a semi-arid region of Turkey. *African Journal of Biotechnology.* 10(12): 2258-2273.
- 51- Wiegand C.L. and Cuella J.A. 1981. Duration of grain filling and kernel weight of wheat as affected by temperature. *Crop Sci.*, 21: 95-101.
- 52- Wirya-Alongkorn W., Spreer W., Ongaprasert S., Spohrer K., Pankasemsuk T. and Müller J. 2013. Detecting drought stress in longan tree using thermal imaging. *Maejo Int. J. Sci. Technol.* 7(01): 166-180.
- 53- Yuan G., Luo Y., Sun X. and Tang D. 2004. Evaluation of a crop water stress index for detecting water stress in winter wheat in the North China Plain. *Agricultural Water Management.* 64: 29-40.
- 54- Zhang H.H, Rong H. M., Young-Huan L.I.U., Fei L.I., Cui-Ping W.U., Bin Z. and Ying W. X. 2008. Effect of high temperature stress at late grain filling stage and nitrogen and sulfur fertilization on wheat grain yield and quality. *Chinese Journal of Ecology* 27(02): 162 -166.
- 55- Zia S., Spohrer K., Du W., Spreer W., Romano G., He X., and Müller J. 2011. Monitoring physiological responses to water stress in two maize varieties by infrared thermography. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering.* 4(3): 7-15.

Determination of Soil and Plant Water Balance and Its Critical Stages for Rainfed Wheat Using Crop Water Stress Index (CWSI)

V. Feiziasl^{1*}- A. Fotovat²- A. Astaraei³- A. Lakzian⁴- M.A. Mousavi Shalmani⁵

Received: 07-12-2013

Accepted: 23-06-2014

Abstract

In order to determination of water stress threshold and dryland wheat genotypes water status in different nitrogen managements, this experiment was carried out in split split plot RCBD design in three replications in 2010-2011 cropping year. Treatments included: N application time (whole fertilization of N at planting time , and its split fertilization as 2/3 at planting time and 1/3 in early spring), N rates (0, 30, 60 and 90 kg ha⁻¹) and 7 wheat genotypes. Also these genotypes were grown in supplemental irrigation condition for calculation of crop water stress index (CWSI) parameters. Canopy temperature (T_c) was measured in flowering and early milking stages. Crop water stress index (CWSI) was calculated. A non-water stressed baseline (lower baseline) were fitted as $T_c - T_a = 4.523 - 3.761 \times VPD$; $R^2 = 0.92$ and non-transpiring baseline (upper baseline) determined 6 °C for rainfed wheat genotypes. Water stress threshold was 0.4 and crossing of that occurred 8 days before heading stage. In water stress threshold boundary, was depleted 60 mm available water from 0 to 50 cm soil depth. There was negative significant relationship ($p < 0.01$) between CWSI and grain yield in all treatments and different nitrogen rates. Nitrogen application reduced water stress and increased grain yield of rainfed wheat genotypes. Ohadi and Rasad genotypes showed highest resistance to water stress and high grain yield production for N₃₀ in split and planting time application, respectively. Cereal4 and Rasad genotypes were suitable for N₆₀ application in split and planting time application, respectively.

Keywords: Crop water stress index (CWSI), Water stress threshold, Soil and plant water balance, Nitrogen, Rainfed wheat genotypes

1- Assistant Professor, Dryland Agricultural Research Institute (DARI) and Former PhD Student of Ferdowsi University of Mashhad, Iran

(*- Corresponding Author Email: v_feiziasl@yahoo.com)

2,3,4,5- Associate Professors, Professor and Ph.D. Student Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran