تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد دوازدهم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۸
۳۶۵-۳۷۵
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2019.1394.1300

ارزیابی برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی مؤثر بر رشد و عملکرد دانه سه رقم گندم تحت شرایط تنش خشکی

حمید دهقان‌زاده
استادیار گروه علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۲/۰۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۱/۱۴

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر تنش خشکی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی، عملکرد و برخی اجزای عملکرد دانه سه رقم گندم نان (*Triticum aestivum* L.)، آزمایشی در سال زراعی ۹۳ - ۱۳۹۲ به‌صورت کرت‌های خردشده، با طرح پایه بلوک کامل تصادفی در چهار تکرار در شهرستان تیران اصفهان به اجرا درآمد. تنش خشکی با سه سطح (آبیاری پس از ۷۰، ۹۰ و ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A، به ترتیب به‌عنوان عدم تنش، تنش ملایم و شدید) در کرت‌های اصلی و سه رقم گندم سپاهان، قدس و پیشتاز در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. تغییرات شاخص سطح برگ، روند تجمع ماده خشک کل، سرعت اسیمیلاسیون خالص، سرعت رشد محصول و عملکرد دانه ارقام گندم موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد، افزایش شدت تنش از ۹۰ به ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی، باعث کاهش معنی‌دار در میانگین شاخص‌های رشدی و عملکرد دانه شد. تحت تیمارهای آبیاری پس از ۷۰ و ۹۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی، روند تغییرات شاخص سطح برگ، ماده خشک کل، سرعت اسیمیلاسیون خالص و سرعت رشد محصول شباهت زیادی به یکدیگر داشت. این در حالی بود که در همه نمونه‌برداری‌ها با افزایش فاصله دو آبیاری از ۹۰ به ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی، کاهش معنی‌داری در روند تغییرات شاخص سطح برگ، ماده خشک کل و سرعت رشد محصول مشاهده گردید؛ بنابراین ممکن است در شرایط آب و هوائی مشابه با انجام آبیاری گندم بر اساس ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشک تبخیر کلاس A، ضمن کاهش ۲۲ درصد در مصرف آب آبیاری، شاخص‌های رشدی و عملکرد دانه هم به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار نگیرد.

***واژه‌های کلیدی*: سرعت اسیمیلاسیون خالص، سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ، ماده خشک کل**

مقدمه

در ایران کم‌آبی و خشکی همواره یکی از مهم‌ترین مشکلات بخش کشاورزی بوده و درنتیجه بررسی تأثیر تنش خشکی بر روی گیاهان زراعی از اهمیت خاصی برخوردار است. خشک‌سالی سال‌های زراعی ۹۰–۱۳۸۹ در ایران به‌طور میانگین کاهشی در حدود ۲ میلیون هکتار در سطح کاشت و ۵ میلیون تن در تولید محصولات زراعی به‌جای گذاشت (Aminian et al., 2011).

آنالیزهای رشدی به‌منظور مطالعه واکنش ارقام محصولات زراعی به شرایط محیطی و جهت یافتن عواملی که در بهبود عملکرد اقتصادی دارای اهمیت هستند، به‌طور گسترده‌ای موردمطالعه قرار گرفته است. در برنامه‌های اصلاحی، آنالیزهای رشدی می‌توانند در تعیین صفاتی که با عملکردهای بالا تحت شرایط محیطی خاص ارتباط دارند مفید باشد (Nadeem et al., 2002). عملکرد محصولات زراعی به‌وسیله انرژی تابشی و کارایی تبدیل این انرژی به ماده خشک محدود می‌شود (Karimi and Siddique, 1991). کاهش سطح برگ یک مکانیسم عمومی اجتناب از تنش خشکی است (Shiranirad, 2000). گزارش‌هایی از کاهش

* نگارنده پاسخگو: حمید دهقان زاده. پست الکترونیک: Dehghanzadeh@pnu.ac.ir

شاخص سطح برگ[1] و دوام آن تحت شرایط تنش رطوبتی در گندم وجود دارد (Ali et al., 1999; Hirasawa et al., 1998). کاهش شاخص سطح برگ با کمبود رطوبت در اثر تنش خشکی رابطه مستقیمی دارد (Karimzadeh-Asl et al., 2004). تنش شدید خشکی می‌تواند منجر به بسته شدن روزنه‌ها گردیده، این امر جذب CO_2 و فتوسنتز را کاهش داده، باعث کاهش تولید ماده خشک می‌شود (Koocheki and Sarmadniya, 1993). در مطالعه‌ای (Muhammad et al., 2016) با اعمال تیمارهای آبیاری ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی نشان داده شد که تنش شدید موجب زردی و ریزش زودهنگام برگ‌ها و درنتیجه کاهش شاخص سطح برگ در گندم گردید.

کمبود آب، تأثیر ویژه‌ای بر کاهش سرعت اسیمیلاسیون خالص[2] دارد (Hirasawa et al., 1998). در یک مطالعه (Hirasawa et al., 1998) گزارش گردید که در زمان ۳۸ روز بعد از کاشت گندم، میزان سرعت اسیمیلاسیون خالص در تیمار تنش نسبت به آبیاری کامل کاهش یافت. از طرفی میزان شاخص سطح برگ هم در این مرحله کمتر بود. کاهش شاخص سطح برگ درنتیجه کاهش پتانسیل آب برگ و کاهش سرعت اسیمیلاسیون خالص درنتیجه افت فتوسنتز در نیمروز و بعدازظهر در گیاهان تحت تنش، به‌واسطه بسته شدن روزنه‌ها و افزایش تنفس گزارش شده است.

کاهش سرعت رشد محصول[3] در شرایط تنش خشکی، در برخی از بررسی‌ها گزارش شده است (Sokoto and Abubakar, 2015; Soleymani, 2017). پیری زودرس برگ‌های گیاه موجب کاهش هر چه بیشتر در سرعت رشد نسبی می‌شود (Abdi et al., 2007; Soleymani et al., 2003). در مطالعه‌ای بر روی گندم (Nakagami et al., 2004) گزارش شد که تیمار آبیاری به میزان ۸۰ درصد ظرفیت زراعی نسبت به تیمار آبیاری به میزان ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی دارای سرعت رشد محصول بیشتری بود. این محققین زیادتر بودن شاخص سطح برگ (به‌واسطه حفظ مقادیر بالاتر نیتروژن و تأخیر در پیری) و سرعت اسیمیلاسیون خالص بالاتر (به‌واسطه غلظت بالاتر کلروفیل و سرعت فتوسنتزی بالاتر) را علت افزایش سرعت رشد محصول در تیمار تنش ملایم بیان کردند.

با توجه به کمبود آب در اصفهان و اختصاص آب آبیاری بهاره به محصولات اقتصادی‌تر نظیر صیفی‌جات، دستیابی به حد آستانه کاهش مصرف آب آبیاری، امری اجتناب‌ناپذیر است. علاوه بر این از واکنش شاخص‌های رشدی ارقام گندم به رژیم‌های مختلف آبیاری تحت شرایط اصفهان اطلاعات کافی و جامعی وجود ندارد. هدف از این مطالعه بررسی تغییرات برخی از شاخص‌های مهم فیزیولوژیکی رشدی و عملکرد دانه سه رقم گندم تحت شرایط تنش خشکی بوده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در منطقه تیران اصفهان با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۹ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۴۲ دقیقه انجام گرفت. ارتفاع محل آزمایش ۱۵۹۵ متر از سطح دریا و میانگین بارندگی سالیانه ۱۶۵ میلی‌متر است. خصوصیات خاک محل آزمایش در جدول ۱ آورده شده است. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی و در چهار تکرار اجرا گردید. تنش خشکی در سه سطح، شامل آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی به‌عنوان شاهد (Salemi and Afiuni, 2005)، ۹۰ و ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A به‌عنوان فاکتور اصلی و به ترتیب به‌عنوان شاهد، تنش ملایم و تنش شدید در نظر گرفته شد. عامل فرعی هم شامل ارقام گندم قدس، سپاهان و پیشتاز بودند. کارایی مصرف آب آبیاری ۵۵ درصد در نظر گرفته شد (Mamanpoush et al., 2002). با توجه به مشخصات هواشناسی محل آزمایش، ضریب تشت با استفاده از روابط فائو ۰/۸ به دست آمد (Doorenbos and Pruitt, 1977). ضریب گیاهی نیز در طول فصل زراعی از ۰/۴ تا ۱/۳ متغیر بود. میزان ظرفیت ذخیره خاک (Fc-Pwp) از ۱۷ درصد در سطح تا ۱۵/۵ درصد وزنی در اعماق مختلف متغیر بود. درصد حجمی رطوبت خاک در حالت اشباع، ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی به ترتیب ۳۶/۵، ۲۹/۶۷ و ۱۴/۰۶ درصد بود. درصد حجمی رطوبت خاک قبل از آبیاری در تیمارهای I1، I2 و I3به ترتیب ۲۲/۵، ۱۷/۱ و ۱۳/۸ بود.

هر کرت فرعی شامل ۱۲ خط کاشت شش متری با فاصله خطوط کاشت ۲۰ سانتی‌متر بود. فواصل کرت‌های فرعی از

[1] Leaf Area Index
[2] Net Assimilation Rate
[3] Crop Growth Rate

یکدیگر یک متر و فواصل کرت‌های اصلی از یکدیگر دو متر در نظر گرفته شد. نیاز کودی با توجه به تجزیه خاک (جدول ۱)، به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار اکسید فسفر (P2O5) از منبع سوپر فسفات تریپل و مقدار ۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار به‌صورت قبل از کاشت و همچنین ۷۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به‌صورت سرک از منبع اوره و در هنگام شروع رشد بهاره تأمین گردید. کاشت با دست و تراکم حدود ۴۰۰ بذر در مترمربع و در تاریخ ۱۵ آبان صورت گرفت. در طول دوره رشد، مراقبت‌های زراعی به‌طور یکنواخت برای همه کرت‌های آزمایشی انجام گردید. تیمارهای آبیاری از هنگام شروع رشد بهاره و در مرحله ساقه-رفتن گیاهان اعمال گردید. در مراحل ساقه‌رفتن، گرده-افشانی و پر شدن دانه، با استفاده از رابطه (۱) میزان آب مصرفی در هر آبیاری جهت کرت‌های اصلی برآورد و در هنگام آبیاری از طریق سرریز به کرت‌ها وارد گردید (Hassanli, 2000).

$$VW = [(FC-SM).\ Bd.\ D.\ A] \qquad [۱]$$

در این رابطه VW حجم آب مصرفی در هر آبیاری (برحسب مترمکعب)، FC درصد وزنی رطوبت خاک در ظرفیت زراعی، SMدرصد وزنی رطوبت خاک در هنگام نمونه‌برداری، Bd جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتیمترمکعب)، D عمق توسعه ریشه گیاه (متر) و Aمساحت کرت اصلی (مترمربع) است. مقدار آب مصرفی در تیمارهای I1، I2 و I3 به ترتیب ۶۷۴۸، ۵۴۰۴ و ۴۰۴۷ مترمکعب در هکتار به دست آمد. برای مشخص کردن درصد وزنی رطوبت خاک به‌منظور محاسبه میزان آب موردنیاز، از سه قسمت مختلف هر کرت نمونه‌هایی تا عمق توسعه ریشه برداشت گردید. بلافاصله وزن مرطوب توزین و سپس به مدت ۱۲ ساعت در آون با حرارت ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد جهت تعیین وزن خشک آن قرار داده شد (Varavipour, 2011). از زمان اعمال تیمارهای آبیاری، به فواصل زمانی هر ۲۰ روز از سطحی معادل ۰/۱ مترمربع نمونه‌هایی از خطوط وسط کرت با رعایت حاشیه برداشت و سطح برگ با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج مدل AM-300 اندازه‌گیری شد. وزن خشک نمونه‌ها از طریق قرار دادن آن‌ها در داخل آون و دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۴۸ ساعت به دست آمد.

برای تعیین تغییرات شاخص سطح برگ، روند تجمع ماده خشک کل، سرعت اسیمیلاسیون خالص و سرعت رشد محصول، به ترتیب از روابط (۲)، (۳)، (۴) و (۵) استفاده شد (Soleymani, 2017).

$$LAI = e^{a_1+b_1t+c_1t^2} \qquad [۲]$$

$$W = e^{a_2+b_2t+c_2t^2} \qquad [۳]$$

$$NAR = (b_2+2c_2t)e^{(a_2-a_1)+(b_2-b_1)+(c_2-c_1)t^2} \qquad [۴]$$

$$CGR = NAR \times LAI = (b_2+2c_2t)e^{a_2+b_2t+c_2t^2} \qquad [۵]$$

در روابط فوق W ماده خشک کل برحسب گرم، tزمان برحسب تعداد روز، LAI شاخص سطح برگ، NARسرعت اسیمیلاسیون خالص، CGR سرعت رشد محصول و a_1، a_2، b_1، b_2، c_1، c_2 ضرایب رگرسیون هستند.

در مرحله برداشت عملکرد دانه روی نمونه‌های برداشت‌شده از مساحت یک مترمربع از خطوط وسط هر کرت با رعایت حاشیه تعیین شد. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Minitab(ver 13) انجام گرفت. در صورت معنی-دار بودن اثر عامل آزمایشی، از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شد. رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excell انجام گرفت.

جدول ۱. مشخصات شیمیایی و فیزیکی خاک در محل اجرای آزمایش در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر

Table 1. Chemical and physical properties of soil at the depth of 0-30 cm

بافت خاک (Soil texture)	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	نیتروژن کل Total nitrogen	ماده آلی Organic matter	پتاسیم K	فسفر P	pH	هدایت الکتریکی Ec
	----------(%)----------					-----pm-----			$(ds.m^{-1})$
Silty clay loam	40	35	25	0.034	0.2	320	12	7.5	2.7

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

میانگین شاخص سطح برگ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای آبیاری قرار گرفت (جدول ۲).

روند تغییرات شاخص سطح برگ نشان داد که در تیمار تنش شدید از حدود ۱۶۰ روز و در تیمارهای شاهد و تنش ملایم، از حدود ۱۵۵ روز پس از سبز شدن شاخص سطح برگ شروع به افزایش کرد و در تیمار تنش شدید در ۱۹۵ روز و در شاهد و تیمار تنش ملایم از ۲۱۰ روز بعد از سبز شدن به‌سرعت کاهش یافت (شکل ۱). در تیمار تنش شدید، شاخص سطح برگ در هیچ مرحله‌ای از رشد به ۳ نرسید و این در حالی بود که تیمارهای شاهد و تنش ملایم، به ترتیب دارای حداکثر شاخص سطح برگ به میزان ۴/۸ و ۴/۵ بودند (شکل ۱). هرچند میانگین شاخص سطح برگ در تیمارهای شاهد و تنش ملایم، به ترتیب ۲/۶۳ و ۲/۴۱ بود (جدول ۳)، افزایش شاخص سطح برگ در این تیمارها روند مشابهی داشت و به‌طور تقریبی در تمام مراحل رشد شاهد بر تیمار تنش ملایم برتر بود (شکل ۱).

جدول ۲. تجزیه واریانس شاخص سطح برگ، ماده خشک کل، سرعت اسیمیلاسیون خالص، سرعت رشد محصول و عملکرد دانه ارقام گندم تحت تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری.

Table 2. Analysis of variance for leaf area index, total dry matter, net assimilation rate, crop growth rate and grain yield of wheat cultivars under irrigation regimes

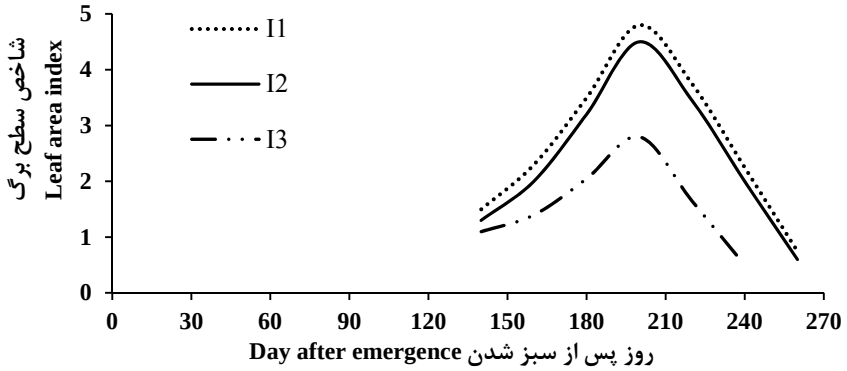
S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	عملکرد دانه Grain yield	وزن هزار دانه Tousand kenels weight	تعداد دانه در سنبله Kernel per spike	تعداد سنبله در واحد سطح Spike per square meter
Replication (R)	تکرار	3	4916281	44.60	1.75	7477
Irrigation (I)	آبیاری	2	122268741**	751.90**	217.73**	103409**
Error a	خطای اصلی	6	641060	30.40	21.67	2099
Cultivar (C)	رقم	2	5099143*	58.38**	41.04*	21445*
I×C	آبیاری× رقم	4	1733239^{ns}	8.68^{ns}	8.33^{ns}	8384^{ns}
Error b	خطای فرعی	18	948627	5.60	3.10	1723
C.V (%)	ضریب تغییرات	-	*13.85*	*7.07*	*4.6*	*7.55*

Table 2. Continued **جدول ۲. ادامه**

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	میانگین سرعت رشد محصول Mean crop growth rate	میانگین اسیمیلاسیون خالص Mean net assimilation rate	ماده خشک کل Total dry matter	میانگین شاخص سطح برگ Mean leaf area index
Replication (R)	تکرار	3	29.7	4.340	14029562	0.316
Irrigation (I)	آبیاری	2	154.60**	5.960**	481095974**	1.820**
Error a	خطای اصلی	6	1.52	0.880	4315257	0.036
Cultivar (C)	رقم	2	0.82^{ns}	0.311^{ns}	14259049^{ns}	0.094^{ns}
I×C	آبیاری× رقم	4	3.04*	0.179^{ns}	6158798^{ns}	.075*
Error b	خطای فرعی	18	1.01	0.126	2479338	0.011
C.V (%)	ضریب تغییرات	-	*9.8*	*10.1*	*9.04*	*4.8*

ns، * و * * به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱٪

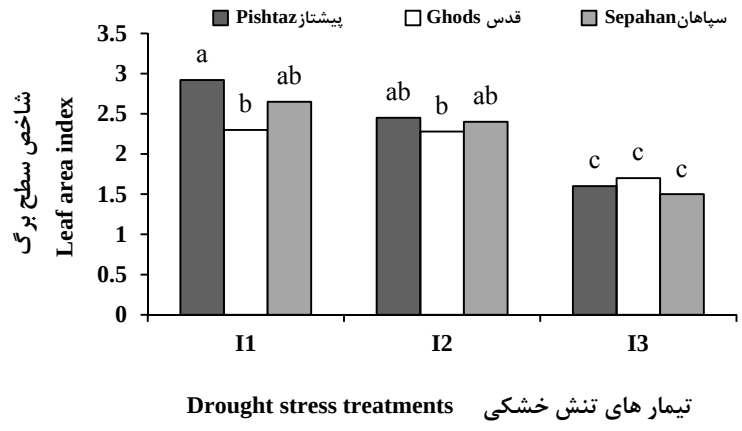
ns, *, **: Non significant and significant at the 5 and 1% level of probability respectively



شکل ۱. روند تغییرات شاخص سطح برگ در تیمارهای آبیاری پس از ۷۰(I1)، ۹۰ (I2) و ۱۱۰ (I3) میلی‌متر تبخیر تجمعی
Fig. 1. The trend of leaf area index (LAI) changes under irrigation after 70 (I1), 90 (I2) and 110 (I3) mm cumulative evaporation.

نتایج نشان داد با افزایش فاصله آبیاری به تنش شدید، گیاه هم دارای میانگین شاخص سطح برگ کمتر و هم دارای حداکثر شاخص سطح برگ کمتری بود. افت سطح برگ در تیمارهای تنش می‌تواند به دلیل حساسیت بالای سرعت رشد سلولی به تنش آبی و از طریق کاهش فشار تورگر ایجاد شده باشد (Nadeem et al., 2002). در مطالعه‌ای بر روی گندم (Muhammad et al., 2017) هم کاهش معنی‌دار شاخص سطح برگ در شرایط آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به‌واسطه پیری تدریجی و از دست رفتن برگ‌ها گزارش گردید. عدم تفاوت معنی‌دار در شاخص سطح برگ گندم در تیمار آبیاری کامل و آبیاری به میزان ۸۰ درصد ظرفیت زراعی در یک مطالعه (Nakagami et al., 2004) گزارش شده است که با نتایج این آزمایش همسو است. آن‌ها علت را در کافی نبودن شدت تنش، توسعه بیشتر سیستم ریشه‌ای و حفظ مقادیر بالای نیتروژن برگ در تیمار تنش ملایم بیان کردند.

اثر متقابل رقم و آبیاری بر میانگین شاخص سطح برگ معنی‌دار بود (جدول ۲). در تیمار شاهد، ارقام پیشتاز و قدس به ترتیب بیشترین و کمترین میانگین شاخص سطح برگ بودند (شکل ۲). با افزایش فاصله آبیاری از شاهد به تنش ملایم، رقم پیشتاز و قدس بیشترین و کمترین کاهش در میانگین شاخص سطح برگ به ترتیب به میزان ۱۷/۵ و ۱/۲ درصدی بودند. با افزایش فاصله آبیاری به تنش شدید، کاهش میانگین شاخص سطح برگ در ارقام پیشتاز و قدس به ترتیب ۴۷/۵ و ۳۰/۵ درصد بود (شکل ۲). میانگین شاخص سطح برگ ارقام تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۲).



شکل ۲. اثر متقابل تیمارهای آبیاری پس از ۷۰(I1)، ۹۰ (I2) و ۱۱۰ (I3) میلی‌متر تبخیر تجمعی با ارقام بر میانگین شاخص سطح یرگ
Fig. 2. The ineraction effect of irrigation after 70 (I1), 90 (I2) and 110 (I3) mm cumulative evaporation with cultivar on LAI mean.

ماده خشک کل

تیمارهای آبیاری تأثیر معنی‌داری بر ماده خشک کل داشت (جدول ۲) و با افزایش فاصله آبیاری به تنش شدید، ماده خشک کل کاهش معنی‌داری داشت (جدول ۳). روند تجمع ماده خشک نشان داد که در تنش شدید، تجمع ماده خشک از ۱۶۵ روز پس از سبز شدن تا ۲۱۰ روز پس از سبز شدن به‌طور خطی افزایش یافت و از ۲۲۵ روز پس از سبز شدن تا هنگام برداشت روند کاهشی نشان داد (شکل ۳). در تیمارهای شاهد و تنش ملایم، تجمع ماده خشک از حدود ۱۷۰ روز پس از سبز شدن تا ۲۳۰ روز پس از سبز شدن به‌طور خطی افزایش یافت و در حدود ۲۴۵ روز پس از سبز شدن تا مرحله برداشت شروع به کاهش نمود (شکل ۳). کاهش ماده خشک کل بعد از رسیدن به حداکثر می‌تواند به دلیل ریزش برگ‌های مسن و حذف ماده خشک آن‌ها باشد (Hosseinpoor et al., 2003). در تیمارهای شاهد و تنش ملایم در مقایسه با تنش شدید، از ابتدای رشد سرعت افزایش تجمع ماده خشک بیشتر بود (شکل ۳). از طرفی در تیمار تنش شدید، روند کاهش ماده خشک کل از زمان وقوع حداکثر تا برداشت، بسیار شدیدتر از تیمارهای شاهد و تنش ملایم بود (شکل ۳).

جدول ۳. اثر ساده تیمار آبیاری و رقم بر شاخص سطح برگ، ماده خشک کل، سرعت اسیمیلاسیون خالص، سرعت رشد محصول و عملکرد دانه

Table 3. The simple effect of irrigation and cultivars on leaf area index, total dry matter, net assimilation rate, crop growth rate and grain yield

Treatment	تیمار	عملکرد دانه Grain yield ($Kg.ha^{-1}$)	وزن هزار دانه 1000-kernels weight (gr)	تعداد دانه در سنبله kernel per spike	تعداد سنبله در واحد سطح Spike per m^2
Irrigation treatments	**رژیم آبیاری**				
70 mm		9115 a	38.35 a	40.4 a	627 a
90 mm		8861 a	36.24 a	41.4 a	623 a
110 mm		3120 b	25.71 b	33.6 b	398 b
Cultivar	**رقم**				
Pishtaz	**پیشتاز**	7355 a	36.01 a	34.7 b	591 a
Ghods	**قدس**	6464 b	30.06 b	43.0 a	494 b
Sepahan	**سپاهان**	ab 7280	34.22 a	37.7 b	563 a

Table 3. Continued **جدول ۳. ادامه**

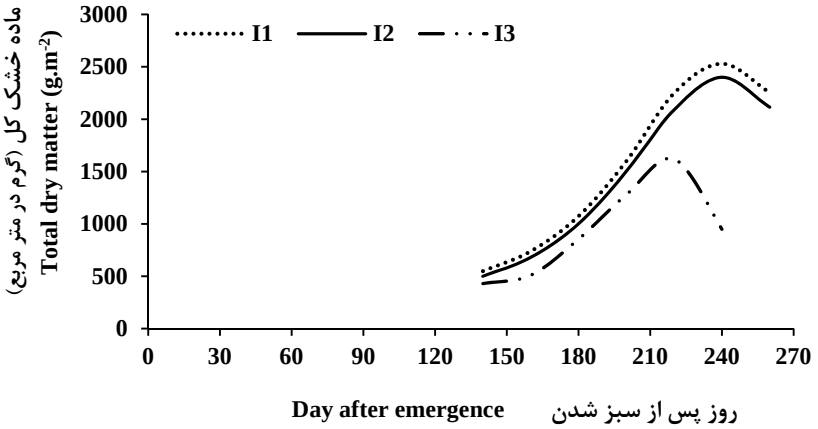
Treatment	تیمار	میانگین سرعت رشد محصول CGR mean ($gr.m^{-2}.day^{-1}$)	میانگین اسیمیلاسیون خالص NAR mean ($gr.m^{-2}$ leaf.day^{-1})	ماده خشک کل در مرحله برداشت TDM ($Kg.ha^{-1}$)	میانگین شاخص سطح برگ LAI mean
Irrigation treatments	**رژیم آبیاری**				
70 mm		12.97 a	4.03 a	22247 a	2.63 a
90 mm		12.80 a	4.18 a	20795 a	2.36 a
110 mm		4.65 b	2.38 b	9176 b	1.57 b
Cultivar	**رقم**				
Pishtaz	**پیشتاز**	10.32 a	3.79 a	17943 a	2.33 a
Ghods	**قدس**	10.05 a	3.34 a	16458 a	2.10 a
Sepahan	**سپاهان**	10.26 a	3.46 a	17817 a	2.13 a

میانگین‌های هر عامل آزمایش در هر ستون که حداقل یک حرف مشترک دارند، با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

All means followed by the same letter(s) in column are not significantly different at the 5% probability level by Duncan test

ریزش بیشتر برگ‌های گیاه تحت شرایط تنش خشکی را می‌توان علت کاهش بیشتر وزن خشک کل در تیمار تنش شدید بیان کرد (Ren et al., 2016). این نتایج با گزارش‌های سایر محققین مبنی بر کاهش ماده خشک تولیدی در شرایط تنش مطابقت دارد (Soleymani, 2017; Mousavi et al., 2009). روند تغییرات ماده خشک کل در تیمارهای آبیاری (شکل ۳) شباهت زیادی به روند تغییرات شاخص سطح برگ داشت (شکل ۱).

می‌توان این‌گونه استنباط کرد که با افزایش فاصله آبیاری، شاخص سطح برگ کاهش و با کم شدن ظرفیت فتوسنتزی، ماده خشک تولیدی هم کاهش می‌یابد. ارقام تفاوت معنی-داری در ماده خشک کل نداشتند (جدول ۱).



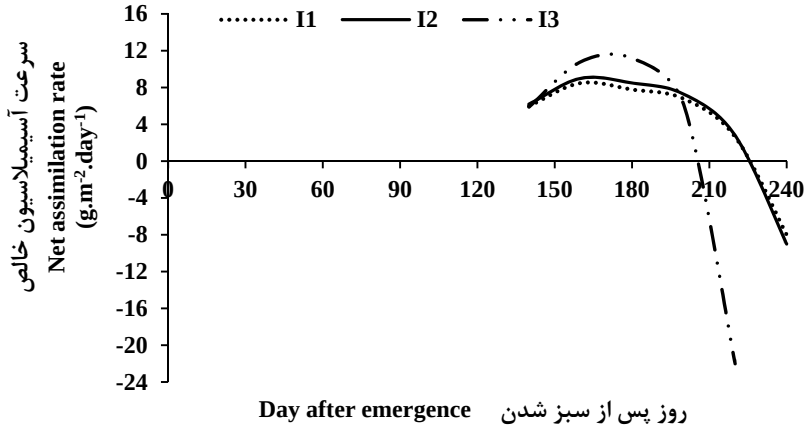
شکل ۳. روند تغییرات ماده خشک کل در تیمارهای آبیاری پس از ۷۰(I1)، ۹۰ (I2) و ۱۱۰ (I3) میلی‌متر تبخیر تجمعی

Fig. 3. The trend of total dry matter (TDM) changes under irrigation after 70(I1), 90 (I2) and 110 (I3) mm cumulative evaporation.

سرعت اسیمیلاسیون خالص

سرعت اسیمیلاسیون خالص به‌طور معنی‌داری و در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر تیمارهای آبیاری قرار گرفت (جدول ۲). روند تغییرات سرعت اسیمیلاسیون خالص نشان داد که در تنش شدید تا حدود ۱۶۵ روز پس از سبز شدن سرعت اسیمیلاسیون خالص افزایش یافت (شکل ۴) و این زمان با زمانی که شاخص سطح برگ شروع به رشد خطی نمود، مطابقت داشت (شکل ۱). این روند سپس تا ۱۹۵ روز پس از سبز شدن و به مدت ۳۰ روز در سطح بالایی حفظ شد و از ۱۹۵ روز پس از سبز شدن که هم‌زمان با حداکثر شاخص سطح برگ بود (شکل ۱) به دلیل افزایش سایه‌اندازی برگ‌ها و دریافت نور کمتر توسط برگ‌هایی که در قسمت‌های زیرین پوشش گیاهی قرار دارند، سرعت اسیمیلاسیون خالص کاهش یافت (Abdi et al., 2007). از ۲۰۵ روز پس از سبز شدن، ظاهراً به دلیل زرد شدن برگ‌ها و کاهش فتوسنتز ناشی از بسته شدن نیمروزی روزنه‌ها به‌واسطه دماهای بالا (Hirasawa et al., 1998)، سرعت اسیمیلاسیون خالص منفی شد (شکل ۴). در تیمارهای شاهد و تنش ملایم، روند سرعت اسیمیلاسیون خالص شباهت زیادی داشت و تا ۱۶۰ روز پس از سبز شدن سرعت اسیمیلاسیون خالص افزایش یافت (شکل ۴) که هم‌زمان با شروع رشد خطی شاخص سطح برگ بود (شکل ۱). سپس تا ۲۱۰ روز پس از سبز شدن و حدود ۵۰ روز در مقادیر بالا حفظ شد و این زمان با زمان حداکثر شاخص سطح برگ مطابقت داشت (شکل ۱). حفظ مقادیر بالای سرعت اسیمیلاسیون خالص باوجود شاخص سطح برگ بالا در تیمارهای شاهد و تنش ملایم، ممکن است به دلیل تداوم فتوسنتز و باز بودن روزنه‌ها در مدت‌زمان طولانی‌تر ناشی از شرایط رطوبتی مساعد باشد (Bajii et al., 2001). این‌گونه استنباط می‌شود که در تیمار تنش شدید به دلیل شاخص سطح برگ کمتر، برگ‌های بیشتری در معرض نور مستقیم خورشید قرارگرفته و مقادیر حداکثر سرعت اسیمیلاسیون خالص بیشتری در مقایسه با تیمارهای شاهد و تنش ملایم ایجاد شد (Muhammad et al., 2016). این وجود سرعت اسیمیلاسیون خالص در تنش شدید در مقایسه

با تیمارهای شاهد و تنش ملایم با شدت بیشتری کاهش یافت (شکل ۴). این نتایج با گزارش‌های سایر محققین (Hirasawa et al., 1998; Bajii et al., 2001) بر روی گندم مطابقت دارد. ارقام اختلاف معنی‌داری در سرعت اسیمیلاسیون خالص نداشتند (جدول ۲).



شکل ۴. روند تغییرات سرعت اسیمیلاسیون خالص در تیمارهای آبیاری پس از ۷۰(I1)، ۹۰ (I2) و ۱۱۰ (I3) میلی‌متر تبخیر تجمعی

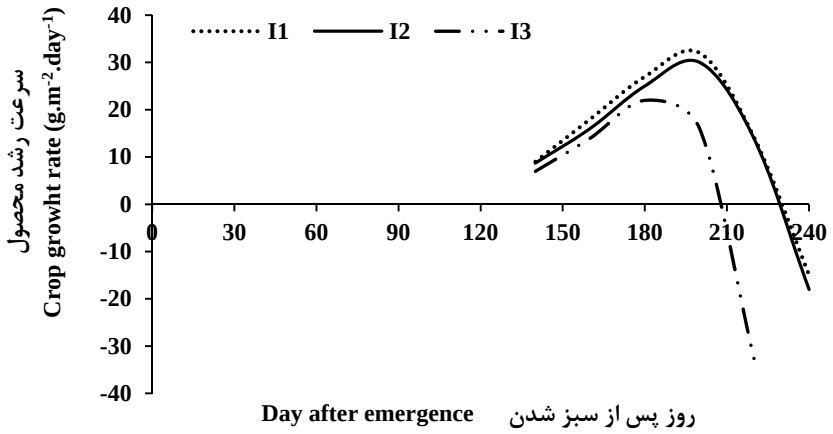
Fig 4. The trend of net assimilation rate (NAR) changes under irrigation after 70(I1), 90 (I2) and 110 (I3) mm cumulative evaporation.

سرعت رشد محصول

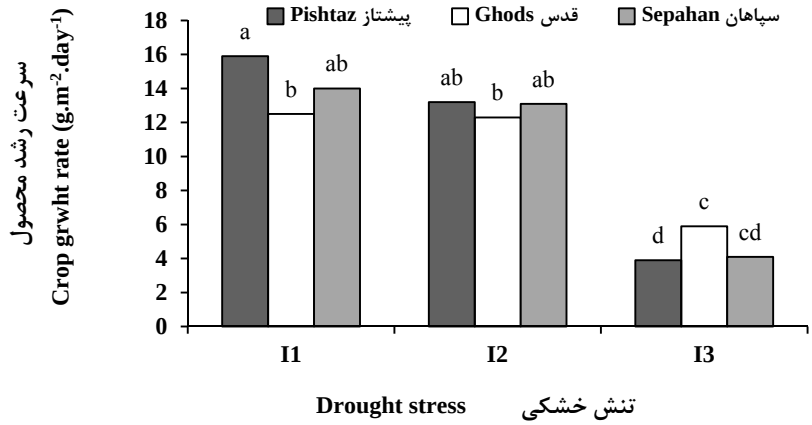
اثر تیمارهای آبیاری بر سرعت رشد محصول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). روند تغییرات سرعت رشد محصول نشان داد که در همه مراحل رشد، سرعت رشد محصول در تیمار تنش شدید پایین‌تر از تیمارهای شاهد و تنش ملایم بود (شکل ۵). روند تغییرات سرعت رشد محصول در این دو تیمار شباهت زیادی داشت و در همه مراحل شاهد بر تیمار تنش ملایم برتر بود. میزان سرعت رشد محصول در تیمار تنش شدید در ۱۹۰ روز پس از سبز شدن و در تیمارهای شاهد و تنش ملایم در ۲۰۰ روز پس از سبز شدن حداکثر بود (شکل ۵). کاهش سرعت رشد محصول در تیمار تنش شدید در مقایسه با تیمارهای شاهد و تنش ملایم بعد از رسیدن به حداکثر با شدت بیشتری ادامه یافت، به‌طوری‌که در تیمار تنش شدید در حدود ۲۰۸ روز پس از سبز شدن و در شاهد و تیمار تنش ملایم در حدود ۲۳۰ روز پس از سبز شدن منفی شد (شکل ۵).

روند تغییرات سرعت رشد محصول در تیمارهای تنش با روند تغییرات شاخص سطح برگ در تیمارهای تنش (شکل ۱) هماهنگ‌تر بود و هماهنگی کمتری با روند تغییرات سرعت اسیمیلاسیون خالص داشت (شکل ۴) که با نتایج حسین‌پور و همکاران (Hosseinpoor et al., 2003) مطابقت دارد؛ بنابراین این‌گونه استنباط می‌شود که شاخص سطح برگ نقش اصلی را در تعیین سرعت رشد محصول داشته است. محققین دیگر (Soleymani, 2017; Hirasawa et al., 1998) هم کاهش معنی‌دار سرعت رشد محصول در شرایط تنش خشکی را به‌واسطه کاهش شاخص سطح برگ و کاهش سرعت اسیمیلاسیون خالص گزارش کردند. پایین بودن دوام و کمی حداکثر شاخص سطح برگ در تیمار تنش شدید (شکل ۱)، سبب کاهش تولید ماده خشک (شکل ۳) و درنتیجه کاهش سرعت رشد محصول گردید (شکل ۵). این واکنش موجب شد که عملکرد ماده خشک و عملکرد دانه در تیمار تنش شدید نسبت به تیمار شاهد، به ترتیب ۵۸ و ۶۵ درصد کاهش یابند (جدول ۲). کاهش ماده خشک تولیدی در شرایط تنش خشکی به دلیل کاهش سرعت رشد محصول گندم در یک مطالعه دیگر هم گزارش شده است (Sokoto and Abubakar, 2015) که با نتایج این تحقیق همسو است.

اثر متقابل رقم با آبیاری بر متوسط سرعت رشد محصول معنی‌دار بود (جدول ۲). در تیمار شاهد، ارقام پیشتاز و قدس به ترتیب دارای بیشترین و کمترین میانگین سرعت رشد محصول بودند (شکل ۶). با افزایش فاصله آبیاری به تنش ملایم، ارقام پیشتاز و قدس به ترتیب دارای بیشترین و کمترین درصد کاهش در متوسط سرعت رشد محصول بودند. این میزان کاهش در ارقام پیشتاز و قدس به ترتیب ۱۶/۶ و ۱/۳ درصد بود (شکل ۶). با افزایش فاصله دو آبیاری به تنش شدید کاهش متوسط سرعت رشد محصول در ارقام پیشتاز و قدس به ترتیب ۷۴/۵ و ۵۲/۷ درصد بود (شکل ۶). هرچند میانگین سرعت رشد محصول در ارقام تفاوت معنی‌داری نداشت، بااین‌حال رقم پیشتاز سرعت رشد محصول بالاتری داشت (جدول ۲).



شکل ۵. روند تغییرات سرعت رشد محصول در تیمارهای آبیاری پس از ۷۰(I1)، ۹۰ (I2) و ۱۱۰ (I3) میلی‌متر تبخیر تجمعی
Fig 5. The trend of crop growth rate (CGR) changes under under irrigation after 70(I1), 90 (I2) and 110 (I3) mm cumulative evaporation.



شکل ۶. اثرات متقابل تیمارهای آبیاری پس از ۷۰(I1)، ۹۰ (I2) و ۱۱۰ (I3) میلی‌متر تبخیر تجمعی با رقم بر میانگین سرعت رشد محصول
Fig. 6. The ineraction effect of irrigation after 70(I1), 90 (I2) and 110 (I3) mm cumulative evaporation with cultivar on CGR mean.

عملکرد و اجزای عملکرد دانه

تیمار آبیاری تأثیر معنی‌داری بر تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه بر سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد دانه داشت (جدول ۲). بین تیمار شاهد و تنش ملایم اختلاف معنی‌داری در عملکرد و اجزای عملکرد دانه مشاهده نشد (جدول ۳). عدم وجود تفاوت معنی‌دار در عملکرد و اجزای عملکرد دانه در تیمار آبیاری به میزان ۸۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش ملایم) و آبیاری کامل، به‌واسطه کمی شدت تنش و بهبود سیستم ریشه‌ای در تیمار تنش ملایم در یک مطالعه (Nakagami et al., 2004) گزارش شده که با نتایج این بررسی مطابقت دارد؛ اما با افزایش فاصله آبیاری به تنش شدید، عملکرد و اجزای عملکرد دانه به‌طور معنی¬داری کاهش یافت (جدول ۳). این نتایج با مطالعه جیان یانگ و همکاران (Jian-yong et al., 2017) مبنی بر کاهش عملکرد و اجزای عملکرد دانه گندم در اثر تنش خشکی مطابقت دارد. تنش شدید خشکی باعث کاهش تعداد سنبله به‌واسطه افزایش ناباروری پنجه‌ها (Ali et al., 1999)، کاهش تعداد دانه در سنبله از طریق افزایش عقیمی گلچه‌های انتهایی سنبله (Salemi and Afiuni, 2005) و کاهش وزن هزار دانه به دلیل تسریع پیری و کاهش ظرفیت فتوسنتزی گیاه (Jian-yong et al., 2017) گردید. کاهش عملکرد دانه در تیمار آبیاری پس از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر، می‌تواند در اثر کاهش سطح برگ، سرعت اسیمیلاسیون خالص و سرعت رشد محصول باشد (جدول ۳).

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی، نتایج نشان داد که با افزایش فاصله آبیاری از ۷۰ به ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A، کاهش میانگین شاخص سطح برگ، میانگین سرعت اسیمیلاسیون خالص و میانگین سرعت رشد محصول معنی‌دار نبود. این عکس‌العمل باعث شد به علت حفظ توان فتوسنتزی، عملکرد دانه در تیمار آبیاری پس از ۹۰ میلی‌متر تبخیر، کاهش معنی‌داری نداشته باشد (جدول ۳). با افزایش فاصله آبیاری به ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A، میانگین شاخص سطح برگ، میانگین سرعت اسیمیلاسیون خالص، میانگین سرعت رشد محصول، عملکرد و اجزای عملکرد دانه کاهش معنی‌داری داشت؛ بنابراین ممکن است در شرایط آب و هوائی مشابه با انجام آبیاری گندم بر اساس ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشک تبخیر کلاس A، ضمن کاهش ۲۲ درصد در مصرف آب آبیاری، شاخص‌های رشدی و عملکرد دانه هم به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار نگیرد.

منابع

Abdi, S., Moghadam, A.G., Ghadimzadeh, M., 2007. Effects of different levels defoliation in reproductive stages on grain yield and oil content in tow sunflower cultivars. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. 40, 245-255. [In Persian with English Summary].

Ali, M., Jensen, C.R., Mogensen, V.O., Andersen, M.N., Henson, I.E., 1999. Root signaling and osmotic adjustment during intermittent soil drying sustain grain yield of field grown wheat. Field Crops Research. 62, 35-52.

Aminian, R., Mohammadi, S., Hooshmand, S., Khodombashi, M., 2011. Chromosomal analysis of photosynthesis rate and stomatal conductance and their relationships with grain yield in wheat (*Triticum aestivum* L.) under water-stressed and well-watered conditions. Acta Physiologiae Plantarum. 33, 755-764.

Bajii, M., Lutts, S., Kinet, J., 2001. Water deficit effect on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three wheat cultivars performing differently in arid conditions. Plant Science. 160, 669-681.

Doorenbos, J., Pruitt, W.O., 1977. Crop Water Requirements: Irrigation and Drainage. FAO. Rome. pp: 18-34.

Hassanli, A.M. 2000. Different Methods of Water Measurement. Shiraz University Publication. 345p. [In Persian].

Hirasawa, T., Nakahara, M., Isumi, T., Iwamoto, Y., Ishihara, K., 1998. Effect of pre-flowering soil moisture deficits on dry matter production and ecophysiological characteristics in soybean plants under well irrigated conditions during grain filling. Plant Production Science. 1, 8-17.

Hosseinpoor, T., Siadat, S.A., Mamghani, R., Rafiei, M., 2003. Study some effective morphological and physiological traits on yield

and yield components of wheat genotype under deficit irrigation conditions. Iranian Journal of Crop Science, 5(1), 23-36. [In Persian with English Summary].

Jian-yong, W., You-Cai, X., Feng-Min, L., Kadambot, H.M., Neil, C.T., 2017. Effects of Drought Stress on Morpho-physiological Traits, Biochemical Characteristics, Yield, and Yield Components in Different Ploidy Wheat: A Meta-Analysis. Advance in Agronomy. 134, 139-173

Karimi, M.M., Siddique, K.H.M., 1991. Crop growth and relative growth rate of old and modern wheat cultivars. Australian Journal of Agricultural Research. 42, 13-20.

Karimzadeh-Asl, K.H., Mazaheri, D., Peyghambari, S.A., 2004. Effect of four irrigation intervals on seed yield and physiological indices of three sunflower cultivars. Desert. 9, 255-266. [In Persian with English Summary].

Koocheki A.R., Sarmadniya, G.H., 1993. Crop Physiology. Jahade Daneshgahi, Mashhad Press. 400P. [In Persian].

Mamanpoush, A.R., Abbasi, F., Mousavi, S.F., 2002. Evaluation of application efficiency in surface irrigation of some field in Isfahan province. Journal of Agricultural Engineering Research. 2, 43-58. [In Persian with English Summary].

Mousavi, S.G.H., Mirhadi, M.J., Siadat, S.A, Noor Mohammadi, G.H., Darvish, F., 2009. Effect of water stress and nitrogen on yield and water use efficiency of sorghum and millet. Journal of Modern Science of Sustainable Agriculture. 15, 101-114. [In Persian with English Summary].

Muhammad, Z.I., Fathy, S.E., Saleh, M.I., 2016. Wheat phenological development and growth studies as affected by drought and late season high temperature stress under arid environment. Frontiers in Plant Science. 7, 1-14.

Nadeem, T.M.H., Imran, M., Kamil Husain, M., 2002. Evaluation of sunflower Helianthus annuus L. inbred lines for drought tolerance. International Journal of Agriculture and Biology. 25, 398-400.

Nakagami, K., Okawa, T.O., Hirasawa, T., 2004. Effect of a reduction in soil moisture from one month before flowering through ripening on dry matter production and ecophysiological characteristics of wheat plants. Plant Production Science. 7, 143-154.

Ren, D., Xu, X., Hao, Y., Huang, G., 2016. Modeling and assessing field irrigation water use in a canal system of Hetao, upper Yellow River basin: Application to maize, sunflower and Watermelon. Journal of Hydrology. 532, 122-139.

Salemi, H.R., Afiuni, D., 2005. The impact of limited irrigation on grain yield and yield components of several new wheat varieties. Journal of Agricultural Science and Natural Resource. 12, 11-20.

Shiranirad, A.H., 2000. Crop Physiology. Dibagaran Tehran Press. 320p. [In Persian].

Sokoto, M.B., Abubakar, I.U., 2015. Growth analysis of wheat (*Triticum aestivum* L.) as influenced by water stress and variety in Sudan Savannah, Nigeria. Agrosearch. 15, 129 – 45.

Soleymani, A., 2017. Effect of drought stress on some physiological growth indices of sunflower cultivars. Environmental Stresses in Crop Sciences. 10, 505-519. [In Persian with English Summary].

Soleymani, A., Khajepour, M.R., Noormohamadi, G.H., Sadeghyian, Y., 2003. Effect of planting date and pattern on some physiological growth indices of sugar beet. Journal of Agricultural Science. 9, 105-123. [In Persian with English Summary].

Varavipour, M., 2011. Soil Science. Payame Noor University Press. 275P. [In Persian].