تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد نهم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۵
۲۱۵-۲۰۵

بررسی تأثیر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم با استفاده از مدل ET-HS

علی سلیمانی*
دانشیارگروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۲/۱۶

چکیده

به منظور بررسی اثرات تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم با استفاده از مدل ET-HS که بر گرفته از روش سامانی–هارگریوز است، آزمایشی در سال زراعی ۹۱-۹۰ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۶ تیمار و ۳ تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان اجرا شد. تیمارهای آبیاری عبارت بودند از ۵۰ ، ۷۵ (به ترتیب تنش شدید و ملایم)،۱۰۰ (عدم تنش) ، ۱۲۵ و۱۵۰ درصد نیاز آبی گندم بر اساس مدل ET-HS در طول فصل رشد و آبیاری معمول پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A به عنوان تیمار شاهد، تا ابتدای بهار بر اساس تیمار شاهد آبیاری صورت گرفت و پس از آن میزان آب مورد نیاز بر اساس مدل ET-HS در هر دور آبیاری تخمین زده شده و تیمارها اعمال شد. نتایج نشان داد که تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی به طور معنی دارای در مقایسه با ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ درصد نیاز آبی، بیشترین تعداد سنبله بارور، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه و کارایی مصرف آب را دارا بود که منجر به تولید بالاترین میزان عملکرد دانه و شاخص برداشت شد که اختلاف آن با تیمار شاهد معنی دار نبود. با افزایش شدت تنش خشکی در تیمارهای ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی عملکرد دانه و اجزای آن به طور معنی داری کاهش یافت. با توجه به دقت مدل ET-HS در مقایسه با تیمار شاهد می‌توان از این مدل برای مدیریت آبیاری گیاه گندم بدون نیاز به داده های هواشناسی گسترده در شرایط اصفهان استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: **شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک، کارایی مصرف آب، نیاز آبی.**

مقدمه

راندمان آبیاری در ایران در حدود ۳۰ درصد برآورد شده است (Abbasi and Sohrab, 2011). این مقدار نشان دهنده ضرورت اصلاحات اساسی روش تحلیلی جدید در رابطه با مدیریت آب می‌باشد (Kombaz and Saad, 2002). محدودیت منابع آب در ایران سبب شده است که بخشی قابل توجهی از عملکرد گیاه گندم به واسطه تنش خشکی کاهش یابد. استفاده از مدل‌های جدید در تعیین نیاز آبی و زمان‌بندی آبیاری در کنار فعالیت‌هایی در راستای اصلاح گیاهان (Jones et al., 2003) از مدیریت‌های کارآمد در زمینه توسعه پایدار منابع آب در کشاورزی می‌باشد. مدل هارگرویز-سامانی از جمله مدل‌هایی است که به طور رضایت‌بخشی برای برآورد پتانسیل تبخیر و تعرق در اصفهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل ET-HS، مدل دیگری است که بر گرفته از روش سامانی-هارگریوز بوده و نیازمند حداقل داده‌های هواشناسی است و بر اساس اطلاعات لایسیمتر برای شرایط نیمه خشک ایران طراحی شده است که در برآورد دقیق تبخیر و تعرق کارایی خوبی دارد (Najafi and Tabatabaei, 2004; Najafi and Tabatabaei, 2007; Najafi and Tabatabaei, 2009). کارایی بالای این مدل در تعیین نیاز آبی و تعیین برنامه‌ریزی آبیاری گوجه‌فرنگی، بادمجان (Najafi and Tabatabaei, 2007)، چغندرقند (Soleymani et al., 2012)، جو (Zarei, 2013) و گلرنگ (Esmaeili 2014) در اصفهان گزارش شده است.

* نگارنده پاسخگو: علی سلیمانی. پست الکترونیک: a_soleymani444@yahoo.com

گندم گیاه استراتژیکی است که به مقدار زیاد و در مساحت وسیعی از زمین‌های کشاورزی دنیا و به خصوص نواحی خشک کشت می‌گردد. اهمیت اقتصادی گندم چه از نظر تولید و چه از نظر تغذیه در دنیا بیش از سایر محصولات کشاورزی می‌باشد (Kazemi, 2007; Khodabande, 2005; Emam, 2007; Majnoonhoseini, 2006). گندم از نظر تولید و سطح زیر کشت جایگاه ویژه‌ای دارد که افزایش عملکرد محصول آن تابع عوامل خاصی بوده که در این میان تعیین نیاز آبی آن از اهمیت شایانی برخوردار می‌باشد. عدم تأمین نیاز آبی گیاه گندم موجب بروز تنش خشکی در گیاه شده و عملکرد دانه گیاه بسته به شدت تنش خشکی کاهش می‌یابد. عملکرد دانه برآیند ساده و متقابل اجزای عملکرد یعنی تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه است (Emam et al., 2007).

تأثیر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد گیاه گندم متفاوت است. فاولر (Fowler, 2002) نشان داد که وقوع تنش خشکی در مرحله به ساقه رفتن باعث کاهش تعداد سنبله بارور در واحد سطح می‌گردد. نتایج حاصل از مطالعات متعددی حاکی از آن است که وقوع تنش خشکی در مرحله پنجه‌زنی بیشترین تأثیر منفی را بر روی تعداد سنبله بارور در واحد سطح خواهد داشت، به طوری که پنجه‌ها می‌توانند یک نقش کلیدی در چیره شدن بر عامل تنش خشکی ایفا نمایند (Ali et al., 1999; Duggan and Fowler, 2006; Cone et al., 2004). عملکرد دانه برآیند اثر ساده و متقابل اجزای عملکرد دانه است، تعداد دانه در سنبله نیز یکی از اجزای عملکرد دانه است که کاهش یا افزایش آن به طور چشم گیری و بیشتر از سایر اجزای عملکرد دانه تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد (Ghahraman and Sepaskhah, 1997; Dencic et al., 2000) که این واکنش بیانگر محدودیت عملکرد دانه به واسطه محدودیت مقصد است (Guttieri et al., 2001). تنش خشکی بر وزن هزار دانه نیز بسیار تأثیر گذار است (Ghahraman and Sepaskhah, 1997; Pandy et al., 2001). در آزمایشی، افزایش شدت تنش خشکی از دور آبیاری ۷۰ به ۹۰ و ۱۱۰ میلی متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A به طور معنی‌داری موجب کاهش وزن هزار دانه گندم رقم سپاهان تحت شرایط اقلیمی اصفهان شد (Dehghanzadeh, 2006). وزن دانه‌های گندم در مرحله بلوغ در همبستگی نزدیک با تعداد سلول‌های آندوسپرمی تولید شده در این دوران می‌باشد که در اثر تنش خشکی کاهش می‌یابد (Sasaleam and Muzammil, 2003). رشد دانه به واسطه کاهش آسیمیلاسیون در طول مرحله گرده‌افشانی محدود می‌شود، این مورد بیانگر اهمیت تأمین آسیمیلات می‌باشد، به عبارت دیگر هر گونه اختلال در فتوسنتز روی وزن دانه تأثیر می‌گذارد (Duggan and Flower, 2006). گزارشات متعددی کاهش عملکرد دانه در شرایط عدم تأمین نیاز آبی گندم حاکی از آن است که کاهش فتوسنتز برگ و در نتیجه کاهش میزان آسیمیلات برای دانه‌های در حال رشد موجب کاهش عملکرد دانه می‌شود (Ali et al., 1999; Engel et al., 2003). سالمی و افیونی (Salemi and Afyooni, 2005) نیز کاهش معنی‌داری در تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه و شاخص برداشت گیاه گندم را در تیمارهای آبیاری به میزان ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی را نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گزارش کردند. تنش باعث پیری زودرس برگ‌ها و ریزش برگ‌های پایینی و مسن گیاه می‌شود که خود باعث افت میزان ماده خشک کل می‌گردد (Papa and Gagianas, 1991; Engel et al., 2003).

تأمین نیاز آبی گیاه گندم در طی دوره رشد در تولید عملکرد دانه مناسب از اهمیت ویژه ای برخوردار است. لذا هدف از این مطالعه بررسی تأثیر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم رقم سپاهان با استفاده از مدل ET-HS و ارزیابی مدل در تخمین نیاز آبی گیاه گندم در مقایسه با روش آبیاری معمول در شرایط آب و هوایی اصفهان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان با مختصات جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۸ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی و ۱۵۵۵ متر ارتفاع از سطح دریا در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۶ تیمار آبیاری و ۳ تکرار بر روی گیاه گندم رقم سپاهان اجرا شد. شش تیمار آبیاری عبارت بودند از آبیاری بر اساس تأمین ۵۰ (تنش شدید)، ۷۵(تنش ملایم)، ۱۰۰ (عدم تنش)، ۱۲۵ و ۱۵۰ درصد نیاز آبی گیاه گندم بر اساس مدل ET-HS در طول فصل رشد و آبیاری بر اساس ۷۰ میلی متر تبخیر از

تشت تبخیر کلاس A در طول فصل رشد به عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

زمین محل آزمایش در سال قبل از کشت به صورت آیش بود. جهت تأمین نیاز کودی بر اساس آزمون خاک و نیاز کودی گیاه گندم، ۲۰ کیلوگرم در هکتار اکسید فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل،۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به صورت قبل از کاشت و ۷۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به صورت سرک از منبع اوره در هنگام شروع رشد بهاره به هر کرت آزمایشی اختصاص داده شد (Kazemi, 2007). کاشت در ۱۰ آبان ماه به صورت دستی توسط کارگر ماهر با تراکم گیاهی ۴۰۰ بوته در مترمربع صورت گرفت. هر کرت آزمایشی دارای ۱۰ خط کاشت به طول ۵ متر بود و فاصله خطوط کاشت ۱۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و کاشت به صورت خطی صورت گرفت. به منظور جلوگیری از هر گونه اختلاط آبیاری بین کرت‌های آزمایشی ۱/۵ متر فاصله پیش‌بینی شد. در طول دوره رشد کنترل علف‌های هرز با استفاده از علف‌کش 2,4,D انجام شد.

جدول ۱. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در عمق ۰ -۳۰ سانتی متر

Table 1. Physical and chemical properties of site soil at the depth of 0-30 cm

عمق Depth	هدایت الکتریکی EC	اسیدیته pH	ماده آلی Organic matter	نیتروژن قابل جذب N	فسفر قابل جذب P	پتاسیم قابل جذب K	سیلت Silt	شن Sand	رس Clay	بافت خاک
(cm)	(dsm^{-1})		(%)	---------- (mg. kg^{-1}) ----------			----------(%)----------			
0-30	3.3	7.04	1.01	0.11	36	415	40	21	39	Clay-loam
0-60	2.8	7.05	1.03	0.10	38	385	38	22	40	Clay-loam

تا ابتدای بهار آبیاری برای تمام تیمارهای آبیاری بر اساس تیمار آبیاری شاهد (آبیاری بر اساس ۷۰ میلی متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A) صورت گرفت (Liu et al., 2016) و پس از آن میزان آب مورد نیاز گیاه گندم بر اساس مدل ET-HS در هر دور آبیاری تخمین زده شده و تیمارهای آبیاری اعمال شدند. مدل ET-HS از رابطه اصلاح شده سامانی-هارگریوز طبق رابطه (۱) حاصل شده است. این مدل برای مناطق خشک و نیمه خشک طراحی شده و برای برآورد پتانسیل تبخیر و تعرق و تخمین نیاز آبی گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرد (Najafi and Tabatabei, 2004).

$$ET_{(ij)}=\alpha\, j\,(Tmax_j-Tmin_j)\left[\left(\frac{Tmax_j+Tmin_j}{2}\right)+17.8\right] \quad [۱]$$

در رابطه (۱) : ET تبخیر و تعرق محصول، α ضریب کالیبراسیون (که این عامل بستگی به شرایط آب و هوایی و خاک منطقه دارد) و Tmax و Tmin به ترتیب بیشینه و کمینه دمای روزانه می‌باشد که در ضمن تحقیق به دست می‌آیند (Najafi and Tabatabei, 2007). پس از کالیبراسیون مدل ET-HS، میزان آب آبیاری برای تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه گندم و زمان آبیاری طبق جدول ۲ تخمین زده شد. سپس با استفاده از کنتور آب، میزان آب محاسبه شده برای هر تیمار آبیاری اعمال گردید.

در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی خطوط اول، دوم، نهم، دهم و همچنین نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت آزمایشی به عنوان اثرات حاشیه ای حذف و در سطحی معادل ۲ متر مربع بوته‌ها از ۲۰ سانتی متری سطح خاک برداشت شد و عملکرد دانه و اجزای آن شامل تعداد سنبله بارور در متر مربع، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه با ۱۴ درصد رطوبت محاسبه گردید. شاخص برداشت نیز طبق رابطه (۲) تعیین شد.

$$HI=\frac{GY}{BY}*100 \quad [۲]$$

که در آن HI شاخص برداشت، GY عملکرد دانه، و BY عملکرد بیولوژیکی می‌باشد.

برای تحلیل آماری از نرم افزار MSTAT-C استفاده شد و مقایسه میانگین صفات مورد بررسی بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت پذیرفت.

جدول ۲. میزان آب مورد نیاز گیاه گندم و زمان آبیاری بر اساس مدل ET-HS

Table 2. The amount of applied water during season and date of irrigations on the basis of ET-HS model

۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه گندم بر اساس مدل ET-HS 100 percent of crop water demand supplied based on ET-HS model (mm)	زمان آبیاری	Date of irrigation
35	۱۳۹۱/۱/۱۵	2012/4/03
35	۱۳۹۱/۱/۲۳	2012/4/11
30	۱۳۹۱/۱/۲۹	2012/4/17
30	۱۳۹۱/۲/۰۲	2012/4/21
30	۱۳۹۱/۲/۰۶	2012/4/25
30	۱۳۹۱/۲/۱۰	2012/4/29
30	۱۳۹۱/۲/۱۴	2012/5/03
30	۱۳۹۱/۲/۱۸	2012/5/07
30	۱۳۹۱/۲/۲۲	2012/5/11
30	۱۳۹۱/۲/۲۶	2012/5/15
33	۱۳۹۱/۲/۳۱	2012/5/20
33	۱۳۹۱/۳/۰۵	2012/5/25
33	۱۳۹۱/۳/۱۰	2012/5/30
33	۱۳۹۱/۳/۱۵	2012/6/04
33	۱۳۹۱/۳/۲۰	2012/6/09

نتایج و بحث

تعداد سنبله بارور در متر مربع اثر تیمارهای آبیاری بر تعداد سنبله بارور در متر مربع نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین تعداد سنبله بارور در واحد سطح به میزان ۴۸۸ عدد توسط تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی حاصل شد که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارهای آبیاری داشت. پس از تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی، تیمار شاهد بیشترین تعداد سنبله بارور در واحد سطح را تولید نمود که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها داشت. کمترین تعداد سنبله بارور در متر مربع توسط تیمار آبیاری در ۵۰ درصد نیاز آبی بدست آمد که اختلاف آن با تیمار آبیاری در ۷۵ درصد نیاز آبی معنی‌دار نبود، ولی با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری نشان داد. نتایج حاکی از آن است که با کاهش شدت تنش خشکی از طریق تأمین نیاز آبی گیاه از ۵۰ تا ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه بر اساس مدل ET-HS، تعداد سنبله بارور در متر مربع به طور معنی‌داری افزایش یافت، ولی افزایش نیاز آبی پس از ۱۰۰ درصد نیاز آبی به ۱۲۵ و ۱۵۰ درصد، تعداد سنبله بارور را به طور معنی‌داری کاهش داد (جدول ۴). علت این امر به دلیل آب شویی عناصر غذایی و ناتوانی گیاه برای تغذیه تعداد سنبله بیشتر و تأمین انرژی لازم برای بارور ساختن آن‌ها و کم شدن تهویه برای ریشه می‌باشد اختلاف معنی‌داری نیز میان تیمار ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی بر طبق مدل ET-HS مشاهده نشد که طبق گزارشات علی و همکاران (Ali et al., 1999) و موگوبا و نیاکاتاواب (Mugobea and Nyakatawab, 2000)، عدم افت معنی‌دار تعداد سنبله بارور در واحد سطح در شرایط تنش خشکی به علت توسعه یافته بودن سیستم ریشه‌ای تحت این شرایط می‌باشد. وجود اختلاف معنی دار بین تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی با تیمار شاهد (جدول ۴) نیز حاکی از آن است که تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی توانسته است در مقایسه

با آبیاری شاهد نیاز آبی گیاه را در تولید سنبله بارور در متر مربع تأمین نماید.

تعداد دانه در سنبله اثر تیمارهای آبیاری بر تعداد دانه در سنبله در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین تعداد دانه در سنبله برابر ۴۰ دانه توسط تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارهای آبیاری داشت. همچنین کمترین مقدار تعداد دانه در سنبله در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی بر اساس مدل ET-HS حاصل شد که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارهای آبیاری داشت. با افزایش شدت تنش خشکی از تیمار آبیاری ۱۰۰ به تیمار های آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی، تعداد دانه در سنبله به طور معنی داری کاهش یافت. شدت تنش خشکی در تیمارهای شاهد، ۱۲۵ درصد و ۱۵۰ درصد نیاز بر اساس مدل ET-HS به حدی نبود که اختلاف معنی‌داری در تعداد دانه در سنبله به وجود آورد (جدول ۴). وجود اختلاف معنی دار در تیمار های ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه با شاهد حاکی از عدم تأمین نیاز آبی گیاه در تیمار شاهد می‌باشد. علت کاهش معنی‌دار در تیمار آبیاری بر اساس ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی به دلیل تأثیر نامطلوب تنش خشکی بر روی فتوسنتز و تأثیر منفی کاهش میزان فتوسنتز بر روی تعداد دانه‌ها می‌باشد (Pandey et al., 2001; Duggan and Fowler, 2006). نتایج حاصل از مطالعات متعددی نیز نشان دهنده آن است که با افزایش شدت تنش خشکی تعداد دانه در سنبله به طور معنی داری کاهش می‌یابد (Guttieri et al., 2001; Pandet et al., 2001; Dencic et al., 2000).

وزن هزار دانه تأثیر تیمارهای آبیاری بر وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین وزن هزار دانه به میزان ۳۹/۶ گرم توسط تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی حاصل شد که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای شاهد، ۱۲۵ و ۱۵۰ درصد نیاز آبی بر اساس مدل ET-HS ندارد. با افزایش شدت تنش خشکی در تیمارهای ۷۵ درصد و ۵۰ درصد نیاز آبی، وزن هزار دانه به طور معنی‌داری کاهش یافت، به طوری که کمترین میزان وزن هزار دانه برابر با ۳۷/۱ گرم در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارهای آبیاری داشت (جدول ۴). پاندی و همکاران (Pandey et al., 2001) گزارش نمودند که کاهش ظرفیت فتوسنتزی به واسطه سرعت از بین رفتن برگ‌ها در حین پر شدن دانه باعث کاهش وزن هزار دانه می‌گردد. سدیک و همکاران (Siddique et al., 1999) اختلال در راندمان جذب و تأثیر پذیری ریشه و اختلاف در انتقال مواد فتوسنتزی در درون گیاه به واسطه تنش خشکی را دلیل کاهش وزن هزار دانه عنوان کردند.

جدول ۳. تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد دانه تحت تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری

Tabl 3. Analysis of variance for grain yield and its components in irrigation treatments

		میانگین مربعات Mean of Squares					
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	تعداد سنبله بارو No. of spikes	تعداد دانه در سنبله No. of seeds in spike	وزن هزار دانه One thousand seed weight	عملکرد دانه Grain Yield	عملکرد بیولوژیک Biological Yield	شاخص برداشت Harvest Index
تکرار Replication	2	2029.1^{ns}	18.4^{ns}	0.036^{ns}	123993.1^{ns}	7179.2^{ns}	0.0001^{ns}
تیمار Treatment	5	66589.1^{**}	164.6^{*}	2.998^{**}	5012805.6^{**}	58385.8^{**}	0.009^{**}
خطا Error	10	25.8	0.589	0.051	3909.7	92.5	0.0001

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and **: Non-significant and significant at the 5% and 1% levels of probability respectively.

جدول ۴. مقایسه میانگین‌های عملکرد دانه و اجزای آن تحت تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری

Table 4. Mean comparison of grain yield and it's components as affected by the different irrigation treatments

تیمار درصد نیاز آبی گیاه بر اساس مدل ET-HS Treatment (percent of crop water demand supplied on the basis of ET-HS model)	تعداد سنبله بارو در متر مربع No. of spikes per m^2	تعداد دانه در سنبله No. of seeds in spike	وزن هزار دانه One thousand seed weight	عملکرد دانه Grain Yield (kg ha^{-1})	عملکرد بیولوژیک Biological Yield (kg ha^{-1})	شاخص برداشت Harvest index (%)
50	382 e	29 d	37.1 c	4107 f	15070 e	27.3 c
75	385 e	34 c	38.4 b	5023 e	17470 d	28.8 c
100	488 a	40 a	39.6 a	7736 a	19200 a	40.3 a
125	470 c	37 b	39.4 a	6790 c	18370 b	37.0 b
150	460 d	36 b	39.3 a	6455 d	17970 c	35.9 b
Control	480 b	38 b	39.5 a	7205 b	17480 d	41.2 a

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند فاقد تفاوت معنی دار بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

Means followed by the same letters in each column do not have significantly different at 5% level, according to Duncan's multiple Range Test.

عملکرد دانه تأثیر تیمارهای آبیاری بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین عملکرد دانه به میزان ۷۷۳۶۰ کیلوگرم در هکتار توسط تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی بر اساس مدل ET-HS حاصل شد که با سایر تیمارهای آبیاری اختلاف معنی‌داری داشت. با افزایش شدت تنش خشکی از تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی عملکرد دانه کاهش معنی‌داری را نشان داد، تا جایی که کمترین میزان عملکرد دانه برابر با ۴۱۰۷ کیلوگرم در هکتار در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی حاصل شد. با کاهش میزان آب مصرفی و افزایش میزان تنش خشکی به دلیل کاهش معنی دار اجزای عملکرد دانه، عملکرد دانه نیز به طور معنی داری کاهش یافت. در تیمار ۱۲۵ و ۱۵۰ درصد نیاز آبی بر اساس مدل ET-HS در طول فصل رشد، به دلیل آب شویی عناصر غذایی و کم شدن تهویه محیط اطراف ریشه، عملکرد دانه به طور معنی‌داری کاهش یافت. وجود اختلاف معنی داری بین تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی بر اساس مدل ET-HS با تیمار شاهد نیز حاکی از تأمین مناسب نیاز آبی گیاه توسط مدل می‌باشد (جدول ۴). عملکرد دانه برآیند ساده و متقابل اجزای عملکرد یعنی تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه می‌باشد و تنش خشکی سرعت و میزان رشد فنولوژیکی گندم و در نهایت عملکرد دانه و اجزای آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Villegas et al., 2001). نتایج گزارشات دهقان‌زاده (Dehghanzadeh, 2006) بر روی ۳ تیمار آبیاری پس از ۷۰، ۹۰ و ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A نشان داد که در تیمار آبیاری پس از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A به علت افزایش تنش خشکی، کاهش معنی‌داری در وزن هزار دانه به وجود آمد که سبب افت معنی‌دار عملکرد دانه شد. در آزمایشی (Mugobea and Nyakatawab, 2000) که بر روی ۳ تیمار آبیاری به ترتیب آبیاری کامل، ۳/۴ آبیاری و ۱/۲ آبیاری کامل صورت گرفت، کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه و به تبع آن افت معنی‌دار عملکرد بر اثر شدت تنش خشکی مشاهده شد. سالمی و افیونی (Salemi and Afyooni, 2005) نیز علت کاهش عملکرد دانه در تیمار های آبیاری ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه گندم را به واسطه اثر تنش خشکی بر اجزای عملکرد دانه بیان داشتند. در مطالعه حاضر نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه با تعداد سنبله بارور در واحد سطح ($r = ۰/۹۴۵^{**}$)، تعداد دانه در سنبله ($r = ۰/۸۰۷^{**}$) و وزن هزار دانه ($r = ۰/۹۱۱^{**}$) داشت که این مورد نشانگر اهمیت اجزای عملکرد دانه در تشکیل عملکرد دانه می‌باشد.

عملکرد بیولوژیک اثر تیمار آبیاری بر عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین عملکرد بیولوژیک به میزان ۱۹۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در تیمار آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی بدست آمد که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارهای آبیاری نشان داد و با افزایش شدت تنش خشکی، عملکرد بیولوژیک افت معنی‌داری یافت به طوری که در تیمار آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به کمترین میزان خود (۱۵۰۷۰

کیلوگرم در هکتار) رسید. (جدول ۴). علت کاهش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک بر اثر افزایش شدت تنش خشکی به دلیل کاهش تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه می‌باشد. دهقان‌زاده (Dehghanzadeh, 2006) پیری و ریزش برگ‌های گیاه تحت تأثیر شرایط تنش خشکی را دلیل کاهش معنی‌دار کاهش عملکرد بیولوژیک عنوان کرد. همبستگی مثبت و معنی‌داری میان وزن عملکرد بیولوژیک با تعداد دانه در سنبله ($r =$ ۰/۹۴۰**)، تعداد سنبله بارور ($r =$ ۰/۹۵۸**) و وزن هزار دانه ($r =$ ۰/۸۶۸**) مشاهده شد که نشانگر سهم نسبی این صفات در تشکیل عملکرد بیولوژیک می‌باشد.

شاخص برداشت اثر تیمارهای آبیاری بر شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین مقادیر شاخص برداشت برابر ۴۱/۲ درصد در تیمار شاهد و ۴۰/۳ درصد در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی بر اساس مدل ET-HS بدست آمد و کمترین شاخص برداشت به میزان ۲۷/۳ درصد در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی حاصل شد که با تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی اختلاف معنی‌داری نداشت. با افزایش میزان آب مصرفی از ۱۰۰ درصد به ۱۲۵ و ۱۵۰ درصد نیاز آبی، شاخص برداشت کاهش معنی‌داری یافت (جدول ۴). علت کاهش شاخص برداشت با افزایش شدت تنش خشکی به دلیل کاهش بیشتر عملکرد دانه نسبت به تولید کاه می‌باشد. انگل و همکاران (Engel et al., 2003) نیز بیان داشتند شدت کاهش عملکرد دانه در اثر تنش خشکی بیشتر از میزان ماده خشک کل می‌باشد. علی و همکاران (Ali et al., 1999) نیز با اعمال تنش به صورت عدم آبیاری به مدت ۴۰ روز از ظهور برگ پرچم تا زمان رسیدگی گندم کاهش عملکردی را معادل ۶ تا ۱۱ درصد گزارش کردند. با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار میان شاخص برداشت و عملکرد دانه ($r =$ ۰/۹۴۴**) و همبستگی منفی و معنی داری بین شاخص برداشت با عملکرد بیولوژیک ($r =$ -۰/۶۶۷**) نشان دهنده تأثیر افزاینده عملکرد دانه و تأثیر کاهنده عملکرد بیولوژیک بر شاخص برداشت می‌باشد.

میزان آب مصرفی، کارایی مصرف آب ماده خشک کل و عملکرد دانه اثر تیمارهای آبیاری بر میزان آب مصرفی، کارایی مصرف آب بر اساس ماده خشک و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۵). بیشترین میزان آب مصرفی به میزان ۷۴۵۸/۳ متر مکعب در هکتار توسط تیمار آبیاری بر اساس ۱۵۰ درصد نیاز آبی گیاه بر اساس مدل ET-HS حاصل شد که اختلاف آن با سایر تیمارهای آبیاری معنی دار بود. کمترین میزان آب مصرفی برابر با ۲۳۴۱/۶ متر معکب در هکتار توسط تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد که با افزایش درصد نیاز آبی گیاه از ۵۰ تا ۱۵۰ درصد، میزان آب مصرفی به طور معنی داری افزایش یافت. تیمار شاهد در مقایسه با تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه بر اساس مدل ET-HS به طور معنی داری به میزان ۱۲/۳ درصد از میزان آب مصرفی بیشتری برخوردار بود (شکل ۱). بیشترین میزان کارایی مصرف آب بر اساس ماده خشک کل به میزان ۶/۴۹ کیلوگرم بر متر معکب توسط تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی حاصل شد که اختلاف آن با سایر تیمار های آبیاری معنی دار بود. کمترین کارایی مصرف آب ماده خشک کل برابر با ۲/۴۲ کیلوگرم بر متر معکب توسط تیمار ۱۵۰ درصد نیاز آبی حاصل شد که اختلاف آن با تیمارهای شاهد و ۱۲۵ درصد نیاز آبی معنی دار نبود. تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی نیز به طور معنی داری به میزان ۱۹/۸ درصد کارایی مصرف آب ماده خشک بیشتری را در مقایسه با تیمار شاهد حاصل نمود (شکل ۲). بیشترین کارایی مصرف آب بر اساس عملکرد دانه توسط تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی حاصل شد که اختلاف آن صرفاً با تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی معنی دار نبود. تیمار شاهد نیز اختلاف معنی داری را از نظر کارایی مصرف آب بر اساس عملکرد دانه با تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی نشان نداد (شکل ۳). لذا نتایج حاکی از آن است که تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی بر اساس مدل ET-HS در مقایسه با تیمار شاهد به طور معنی داری از میزان آب مصرفی کمتر، کارایی مصرف آب بر اساس ماده خشک بیشتری برخوردار بود که در نهایت منجر شد کارایی مصرف آب بر اساس عملکرد دانه بیشتری را نیز تولید نماید. لیو و همکاران (Liu et al., 2016) نیز بیان داشتند که با افزایش شدت تنش خشکی کارایی مصرف آب برای ماده خشک کل و عملکرد دانه افزایش می‌یابد به طوری که تنش ملایم نسبت به تیمار عدم تنش اختلاف معنی داری را ایجاد می‌نماید.

جدول ۵. تجزیه واریانس میزان آب مصرفی و کارایی مصرف آب برای تولید ماده خشک و عملکرد دانه در تیمارهای مختلف آبیاری

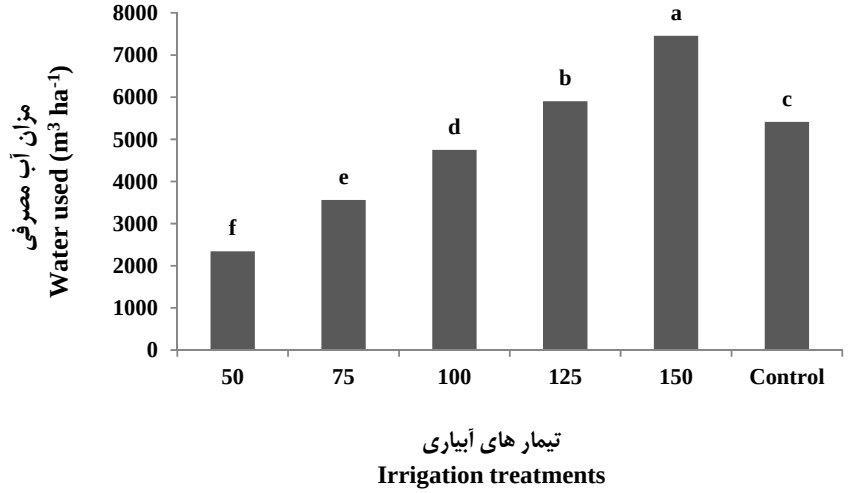
Tabl 5. Analysis of variance for water used and water use efficiency for total dry matter and grain yield in irrigation treatments

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of Squares: میزان آب مصرفی Water Used	راندمان مصرف آب ماده خشک کل WUE (TDM) +	راندمان مصرف آب عملکرد دانه WUE (Grain yield)
تکرار Replication	2	410555.6^{ns}	0.003^{ns}	0.074^{ns}
تیمار Treatment	5	9705993.1^{**}	0.066^{**}	0.0345^{**}
خطا Error	10	166555.6	0.002	0.019

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

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

+ : WUE : Water use efficiency and TDM: Total dry matter

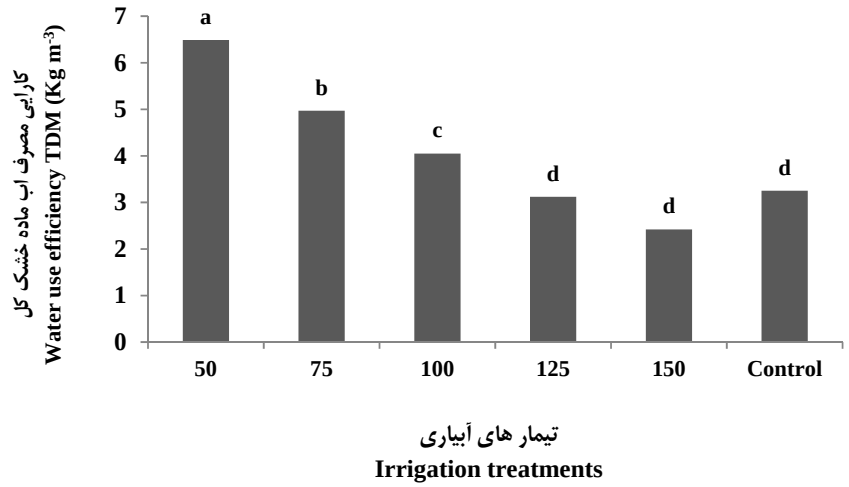


شکل ۱. مقایسه میانگین میزان آب مصرفی تحت تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری بر اساس مدل ET-HS و تیمار شاهد

Fig. 1. Comparison of Water used as affected by the different irrigation treatments (percent of crop water demand supplied on the basis of ET-HS model and control).

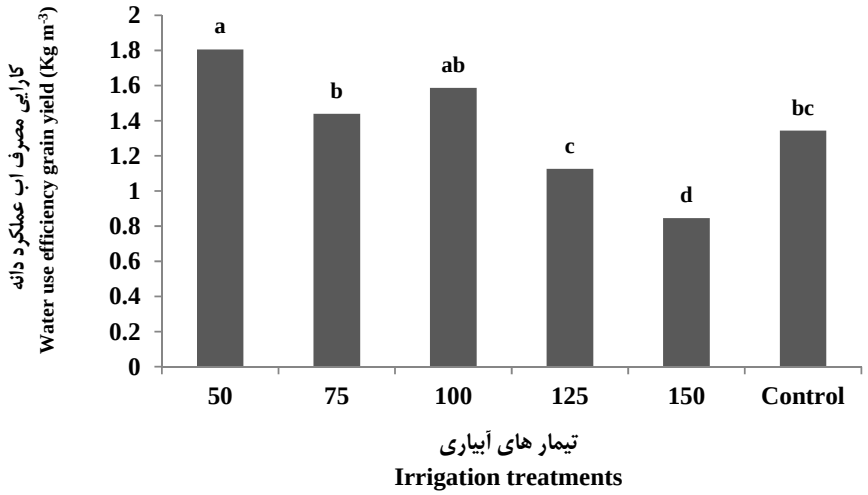
نتیجه‌گیری

تیمار آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی طبق مدل ET-HS در طول فصل رشد به طور نسبی بیشترین، تعداد سنبله بارور، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه را دارا بود که در نهایت منجر به تولید بالاترین میزان عملکرد دانه و شاخص برداشت شد و در صورت اعمال تنش خشکی بهترین نتیجه در تیمار آبیاری در ۷۵ درصد نیاز آبی بر اساس مدل ET-HS حاصل شد، زیرا به نسبت کاهش آب مصرفی از عملکرد بهتری نسبت به سایر تیمارها برخوردار بود. عکس‌العمل کارایی مصرف آب بر اساس ماده خشک کل و عملکرد دانه نیز حاکی از آن است که تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی در مقایسه با تیمار شاهد از کارایی مصرف آب مطلوب‌تری برخور دار بود. لذا بر اساس نتایج بدست آمده از مطالعه حاضر به نظر می‌رسد که مدل ET-HS می‌تواند از طریق برآورد پتانسیل تبخیر و تعرق نیاز آبی گیاه را با دقت بالایی تخمین زده و برای مناطق خشک و نیمه خشک ایران که آب عامل محدود کننده به حساب می‌آید کارایی خوبی داشته باشد.



شکل ۲. مقایسه میانگین کارایی مصرف آب ماده خشک کل تحت تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری بر اساس مدل ET-HS و تیمار شاهد

Fig. 2. Comparison of Water use efficiency (WUE) based on Total Dry Matter (TDM) as affected by the different irrigation treatments (percent of crop water demand supplied on the basis of ET-HS model and control).



شکل ۳ . مقایسه میانگین کارایی مصرف آب عملکرد دانه تحت تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری بر اساس مدل ET-HS و تیمار شاهد

Fig. 3. Comparison of Water use efficiency (WUE) based on grain yield as affected by the different irrigation treatments (percent of crop water demand supplied on the basis of ET-HS model and control)

منابع

Abbasi, F., Sohrab, F., 2011. Evalyating irrigation efficiency and iso-efficiency maps in Iran.p. 213-220. In Proceedings of the 21th International Congress on Irrigation and Drainage, 15-23 Oct. 2011. Tehran, Iran.

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

Cone, A.E., Slafer, G.A., Halloran, G.M., 2004. Effects of moisture stress on leaf appearance, tillering and other aspects of development in T*riticum tauschii.* Euphytica. 86, 55-64.

Dehghanzadeh, H., 2006. Effect of drought stress on wheat in Isfahan condition. Ph.D dissertation, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Ahvaz Branch, Iran. [In Persian with English Summary].

Dencic, S., Kastorni, R., Kobilijski, B., Duggan, B., 2000. Evaluation of grain yield and its components in wheat cultivars and landraces under near optimal and drought conditions. Euphytica. 113, 43-52.

Duggan, B.L., Fowler, D.B., 2006. Yield structure and kernel potential of winter wheat on the Canadian prairies. Crop Science. 46, 1479-1488.

Emam, Y., 2007. Cereal Crops. Shiraz University Press, 190p. [In Persian].

Emam, Y., Ranjbaran, A.M., Baharani, M.J., 2007. Evaluation of yield and yield components in wheat genotypes under post-anthesis drought stress. Journal of Science Technology Agriculture Nature Resources. 11, 1-3.

Engel, R.E., Long, D.S., Carlson, G.R., 2003. Predicting straw yield of hard red spring wheat. Agronomy Journal. 95, 290-293.

Esmaelili, R., 2013. Evaluation of ET-HS Model in Water Requirements Estimation of Safflower in Esfahan Condition. MSc dissertation, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Isfahan, Iran Branch. [In Persian with English Summary].

Fowler, D.B., 2002. Growth stages of wheat. Agronomy Sustain Development. 17, 87-92.

Gajri, P.R., Prihar, S.S., 1983. Effect of small irrigation amounts on the yield of wheat. Agriculture Water Management. 6, 31-41.

Ghahraman, B., Sepaskhah, A.R., 1997. Use of a water deficit sensitivity index for partial irrigation scheduling of wheat and barley. Irrigation Science. 41, 327-335.

Guttieri, M.J., Stark, J.C., O'Brien, K., Souza, E., 2001. Relative sensitivity of spring wheat gain yield and quality parameters to moisture deficit. Crop Science. 41, 327-335.

Jones, P.D., Lister, D.H., Jaggard, K.W., Pidgeon, J.D., 2003. Future climate change impact on the productivity of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in Europe. Climatic Change. 58, 93-108.

Kazemi, H., 2007. Agronomy. Centeral Press of University. p315. [In Persian].

Khodabande, N., 2005. Cereals. Tehran University Press. p538. [In Persian].

Kombaz, T.E., Saad, M.B., 2002. Projections and trends in water availability for agriculture in Egypt up to year 2020. P. 23-35. In Proceedings of 18th Congress on Irrigation and Drainage, 21-28 July. 2002. Montreal, Canada.

Majnoonhoseini, N., 2006. Cereals (Wheat, Barley, Rice and Corn), Naghsh Mehr Press, p116. [In Persian].

Liu, E.K., Mei, X.R., Yan, C.R., Gong, D.Z., Zhang, Y.Q., 2016. Effects of water stress on photosynthetic characteristics, dry mattertranslocation and WUE in two winter wheat genotypes. Agricultural Water Management. 167, 75-85.

Mugobea, F.T., Nyakatawab, E.Z., 2000. Effect of deficit irrigation on wheat and opportunities of growing wheat on residual soil moisture in southeast Zimbabwe. Agriculture Water Management. 46, 111-119.

Najafi, P., Tabatabaei, A., 2004. Effects of using subsurface drip irrigation and ET-HS model to increasing WUE in Irrigation of some crop. Land and Water Management: Decision Tools and Practice. 1, 34-41.

Najafi, P., Tabatabaei, A., 2007. Effect of using subsurface drip irrigation and ET-HS model to increase WUE in irrigation of some crops. Irrigation and Drainage. 56, 477-486.

Najafi, P., Tabatabaei, A., 2009. Comparsion of different Hargreaves-Samani methods for estimating potential evapotranspiration in arid and semi-arid regions of Iran. Research on Crops. 10, 441-447.

Pandey, R.K., Maranville, J.W., Adamou, A., 2001. Tropical wheat response to irrigation and nitrogen in a sahelian environment. I. Grain yield, yield components and water use efficiency. European Journal Academic. 15, 93-105.

Papa, D.K., Gagianas, A.A., 1991. Nitrogen and dry matter accumulation remobilization, and losses for Mediterranean wheat during grain filling. Agronomy Journal. 83, 864-870.

Salemi, H.R., Afyooni, V., 2005. The impact of limited irrigation on grain yield and yield components of several new wheat varieties. Journal Agricultural Science Natural and Resource. 12(3), 11-20.

Sasaleam, A., Muzammil, M., 2003. Responses of durum and bread wheat genotypes to drought stress: biomass and yield components. Asian Journal of Plant Science. 3, 290-293.

Siddique, M.R.B., Hamid, A., Islam, M.S., 1999. Drought stress effects on photosynthesis rate and leaf gas exchange of wheat Bot Bull. Academic Science. 40, 141-145.

Soleymani, A., Najafi, P., Dehnavi, M., Shahrajabian, M.H., 2012. Evaluation of ET-HS model for estimating water demand and water use efficiency of sugar beet in semi-arid condition of Isfahan, Iran. Journal of Sugar Beet. 27(2), 29-36.

Villegas, D., Apricito, N., Blanco, R., Royo, C., 2001. Biomass accumulation and main stem elongation of durum wheat grown under Mediterranean condition. Annual of Botany. 88, 617-627.

Zarei, M., Soleymani, A., 2013. Evaluation of ET-HS model for estimating water demand of barley and its influence on yield and yield components of barley in center of Iran. International Journal of Agronomy and Plant Production. 4 (4), 774-781.