

Interaction Effect of Water Stress and Fertilizer on Yield and Water Productivity of Wheat in Saline Condition

AJDAR ONNABI MILANI*

Assistant Professor, Soil and Water Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Tabriz, Iran

(Received: Jan. 1, 2019- Revised: Feb. 10, 2019- Accepted: Feb. 16, 2019)

ABSTRACT

In this study, the interaction effect of water stress at different growth stages and NK fertilizer application on yield and water productivity of wheat was investigated in a saline condition. This experiment was conducted in a split plot design, based on a completely randomized block with five irrigation treatments (as main plots) and four fertilizer treatments (as sub plots) with 4 replications in Khosrowshah region of East Azerbaijan province for 3 years (2011-2014). Irrigation treatments comprised of full irrigation (I_1), irrigation cut at stage of stem elongation (I_2), Irrigation cut at flowering stage (I_3), irrigation cut at milk stage (I_4) and irrigation cut at milk and dough stage (I_5). Fertilizer treatments comprised of N- and K-fertilizer application based on the local recommendation (F_1), 30% more than the recommended rate (F_2), 30% lower than the recommended rate (F_3) and 30% reduction only in N-fertilizer recommended rate (F_4). Results revealed that there was a significant difference between I_3 and other treatments. Treatments I_1 and I_3 with 2865 and 2028 kg ha^{-1} had the highest and lowest grain yield, respectively. There was significant differences among the treatments in terms of water productivity. I_5 with 1.42 kg m^{-3} and I_3 with 0.71 kg m^{-3} had the highest and the lowest water productivity (WP) among treatments, respectively. Among fertilizer treatments, F_3 had the lowest biomass and WP in terms of biomass yield, whereas there was no significant difference among the other treatments. There was no significant differences among the fertilizer treatments in terms of grain yield, WP, protein and seed nutrients contents (NPK). Based on the obtained results, in the case of limited yield production due to water scarcity and salinity stress, eliminating late season irrigation at milk and dough stages and also application of N and K fertilizer at the recommended rate are suggested.

Keywords: Deficit irrigation, Nitrogen, Potassium, Saline stress, Yield response factor.

اثر متقابل تنش آبی و کود بر عملکرد محصول و بهره‌وری آب گندم در شرایط شور

اژدر عَنابِی میلانی*

استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۱۱ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۱۱/۲۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۱۱/۲۷)

چکیده

در این پژوهش اثر متقابل تنش رطوبتی در مراحل مختلف رشد و مصرف کودهای نیتروژن و پتاسیم در شرایط شور بر عملکرد محصول و بهره‌وری آب گندم بررسی گردید. این مطالعه در قالب طرح کرت خرد شده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با پنج تیمار آبیاری به‌عنوان کرت اصلی، چهار تیمار کودی به‌عنوان کرت فرعی و در چهار تکرار به مدت سه سال (۱۳۹۳-۱۳۹۰) در منطقه خسروشاه استان آذربایجان شرقی انجام شد. تیمارهای آبیاری شامل آبیاری در تمام مراحل رشد (I₁)، قطع آب در مرحله ساقه رفتن (I₂)، قطع آب در مرحله گل‌دهی (I₃)، قطع آب در مرحله شیری شدن (I₄) و قطع آب در دو مرحله شیری و خمیری شدن (I₅) بود. تیمارهای کودی عبارت بودند از: توصیه کودی منطقه (F₁)، نیتروژن و پتاسیم ۳۰ درصد بیشتر از توصیه (F₂)، نیتروژن و پتاسیم ۳۰ درصد کمتر از توصیه (F₃) و نیتروژن ۳۰ درصد کمتر و پتاسیم به اندازه‌ی توصیه منطقه (F₄). نتایج نشان داد اختلاف عملکرد دانه بین تیمار آبیاری I₃ و بقیه‌ی تیمارها معنی‌دار بوده و تیمار I₁ با ۲۸۶۵ کیلوگرم بر هکتار بیشترین و تیمار I₃ با ۲۰۲۸ کیلوگرم بر هکتار کمترین عملکرد را داشتند. از نظر بهره‌وری آب اختلاف بین تیمارهای آبیاری معنی‌دار بوده و تیمار I₅ با متوسط ۱/۴۲ کیلوگرم بر مترمکعب بیشترین و تیمار I₃ با ۰/۷۱ کیلوگرم بر مترمکعب کمترین بهره‌وری را به خود اختصاص دادند. از نظر عملکرد بیولوژیک و بهره‌وری آب براساس عملکرد بیولوژیک در بین تیمارهای کودی تیمار F₃ کمترین عملکرد را داشت. از نظر عملکرد دانه، بهره‌وری آب بر پایه عملکرد دانه، میزان پروتئین دانه و غلظت عناصر دانه اختلاف بین تیمارهای کودی معنی‌دار نبود. در شرایط محدودیت آب و شوری محیط ریشه که عملکرد را محدود می‌کند، حذف آبیاری‌های مراحل شیری و خمیری و مصرف نیتروژن و پتاسیم به مقدار توصیه شده برای گندم در منطقه قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم، تنش شوری، عامل پاسخ عملکرد، کم‌آبیاری، نیتروژن.

مقدمه

برای تولید غذای کافی برای جمعیت در حال رشد، افزایش عمده تولیدات کشاورزی بدون تخریب منابع اکولوژیکی مورد نیاز است. اما تولیدات کشاورزی با محدوده وسیعی از تنش‌های زنده و غیرزنده به‌طور فزاینده‌ای در حال محدود شدن است. نتایج حاکی از آن است که به‌طور مثال در گندم، تنش‌های زنده و غیرزنده می‌توانند به ترتیب ۲۸ (Oerke, 2006) و ۸۲ (Bray et al., 2000) درصد عملکرد را کاهش دهند. نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که عناصر غذایی معدنی نقش اساسی در تحمل گیاهان به تنش دارند (Cakmak, 2005; Marschner, 2012; Romheld and Kirkby, 2010; Shabir et al., 2015). گندم به‌عنوان مهم‌ترین محصول راهبردی همانند دیگر محصولات، برای تولید عملکرد کمی و کیفی بهینه، به آب و عناصر تغذیه‌ای کافی نیاز دارد. در سال‌های اخیر، کمبود آب به‌واسطه افزایش مصرف آب و

همچنین تغییر شرایط آب و هوایی (خشکی بیشتر) به تدریج افزایش یافته است. بنابراین برای صرفه‌جویی آب، فهم بهتر بیلان آب در زراعت ضروری است. یکی از مهم‌ترین نمودهای بیلان آب، تعداد آبیاری محصول می‌باشد که نقش اساسی در بهره‌وری آب در کشاورزی آبی ایفا می‌کند. راهبردهای آبیاری تنظیم شده به همراه استفاده مناسب از کود یکی از کاربردی‌ترین راه‌ها برای صرفه‌جویی در آب و افزایش بهره‌وری آن است.

پژوهش‌های متعددی در خصوص اثر متقابل آب و کود به منظور افزایش بهره‌وری آب صورت گرفته است (De Juan et al., 1999; Li et al., 2001). تغذیه گیاهی صحیح یکی از راهبردهای مؤثر برای ارتقاء بهره‌وری آب در تولید محصول می‌باشد. عناصر غذایی گیاه، نقش بسیار مهمی در ارتقاء بهره‌وری آب در شرایط محدودیت منابع آب دارند (Waraich et al., 2011a). همچنین مطالعات نشان داده‌اند که اثر متقابل بین آب و عناصر غذایی گیاه،

رشد، نیاز محصول نیز در مراحل مختلف رشد متفاوت بوده و برخی مراحل به تنش رطوبتی، حساس‌تر از مراحل دیگر است (Musick and Porter, 1990). پژوهش‌های متعددی برای تعیین حساس‌ترین مرحله‌ی رشد گندم به کمبود آب صورت گرفته و بر اساس نوع رقم، دوره‌ی رشد، شرایط مختلف آب‌وهوا و خاک، مراحل حساس مختلفی تعیین شده است (Agarwal and Choudhary and Kumar, Buller *et al.*, 1988; Yadav, 1978; Labhsetwar, Fischer, 1973; Day and Intalap, 1970; 1980; Singh *et al.*, 1979; Lal, 1985; 2004).

برای تعیین اثر آب و کود در شرایط غیرشور، مطالعات متعددی صورت گرفته است ولی انجام این پژوهش‌ها در شرایط شور کم و اندک است. با توجه به کاهش نزولات آسمانی در سال‌های اخیر و مصرف بی‌رویه آب چاه‌های منطقه در شرق دریاچه ارومیه که بیشتر آن‌ها به درجات مختلف شور هستند و باعث افزایش شوری زمین‌های کشاورزی وسیعی شده‌اند؛ هدف از این پژوهش تعیین اثر تنش رطوبتی در مراحل مختلف رشد و مصرف کودهای نیتروژنه و پتاسیمی در شرایط شور بر عملکرد و بهره‌وری آب بوده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به مدت سه سال (۱۳۹۰-۱۳۹۳) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی خسروشاه متعلق به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی به انجام رسید (شکل ۱). مطالعه در قالب طرح کرت‌های خرد شده^۱ بر پایه‌ی بلوک‌های کامل تصادفی و در چهار تکرار انجام شد. تیمارهای آبیاری شامل پنج بار آبیاری در تمام مراحل رشد (کاشت، ساقه-دهی، گل‌دهی، شیری و خمیری شدن دانه) مرسوم در منطقه (I₁)، قطع آب در مرحله‌ی ساقه‌دهی (I₂)، قطع آب در مرحله‌ی گل‌دهی (I₃)، قطع آب در مرحله‌ی شیری شدن دانه (I₄) و قطع آب در دو مرحله‌ی شیری و خمیری شدن دانه (I₅)، کرت‌های اصلی را تشکیل می‌دادند. تیمارهای کودی، کرت‌های فرعی را تشکیل می‌دادند که شامل کود دهی طبق توصیه (N₉₅P₅₅K₃₅) (F₁)، نیتروژن و پتاسیم ۳۰ درصد بیشتر از توصیه (F₂)، نیتروژن و پتاسیم ۳۰ درصد کمتر از توصیه (F₃) و نیتروژن ۳۰ درصد کمتر و پتاسیم به مقدار توصیه شده (F₄)، بودند. همان‌طور که ذکر گردید آبیاری‌های مرسوم منطقه توسط کشاورزان در پنج مرحله کاشت، ساقه‌دهی، گل‌دهی، شیری و خمیری شدن دانه صورت می‌گیرد. با توجه به کاهش منابع آب، تعیین حساس‌ترین مراحل از این پنج مرحله مدنظر قرار گرفت تا آبیاری‌ها در آن

تأثیر عمده‌ای نه تنها بر تولید محصول بلکه بر کارایی مصرف؛ هم آب و هم کود دارد (Cooke, 1986).

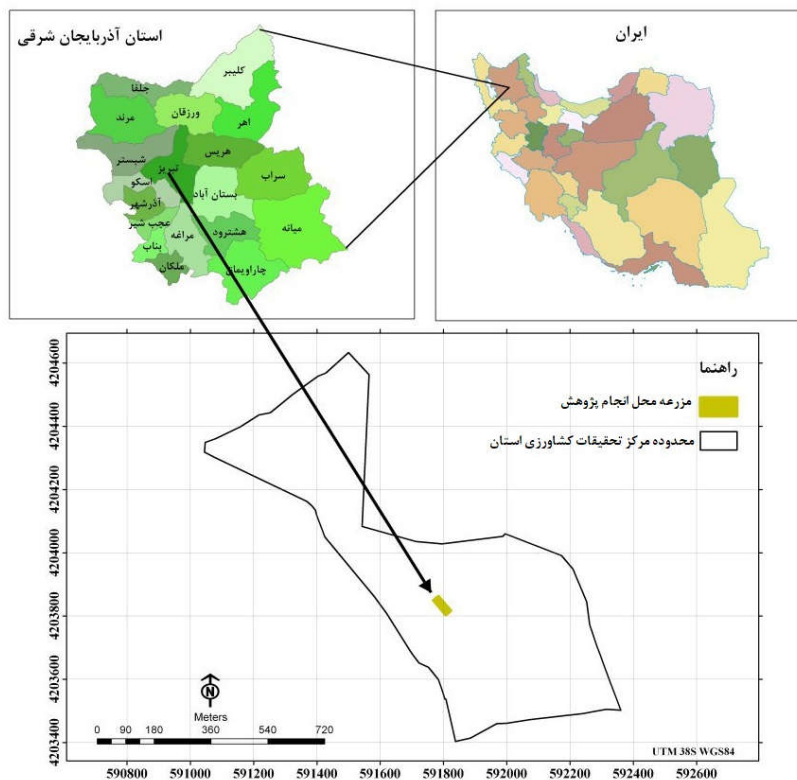
نیتروژن یکی از عناصر غذایی پرمصرف ضروری است که کمبود آن در اغلب خاک‌ها به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک دیده می‌شود (Herandez *et al.*, 1997). جذب و استفاده نیتروژن توسط گیاه در شرایط تنش آب، برای رشد و بهره‌وری آن بسیار ضروری است (Waraich *et al.*, 2011b). تنش خشکی علاوه بر محدود کردن رشد به‌واسطه کاهش تعرق، با کاهش جذب، انتقال و توزیع مجدد نیتروژن نیز باعث کاهش رشد می‌شود (Rouphael *et al.*, 2012). در کل پاسخ گندم به آبیاری با افزایش نیتروژنی افزایش می‌یابد و همچنین پاسخ آن به کود نیز با افزایش آبیاری بیشتر می‌شود (Kumar *et al.*, Campbell *et al.*, 1977). 1995؛ Shimshi and Kafkafi, 1978). طبیعت این اثر متقابل برای رژیم‌های مختلف آبیاری متفاوت است و بستگی به تعامل بین برخی فرایندهای گیاه و خاک دارد. از جمله این فرایندها می‌توان به اثر زمان و مقدار آبیاری در شستشوی عناصر غذایی، اثر آبیاری در توانایی گیاه در جذب عناصر غذایی از خاک، تأثیر کود دهی در جذب آب توسط گیاه و تأثیر هر دو عامل (آب و کود) در اجزاء عملکرد محصول اشاره کرد (Shimshi and Kafkafi, 1978).

پتاسیم نقش مهمی در زنده‌مانی گیاهان در شرایط تنش-های محیطی دارد (Waraich *et al.*, 2011b). مطالعات حاکی از این است که گیاهان صدمه دیده از تنش‌های محیطی مانند خشکی، نیاز بیشتری به پتاسیم دارند (Cakmak and Engels, 1999). پتاسیم در فعالیت آنزیم‌ها، سنتز پروتئین، فتوسنتز، تنظیم اسمزی، باز و بسته شدن روزنه‌ها، انتقال انرژی، جریان شیره پرورده، تعادل کاتیون‌ها و آنیون‌ها و تحمل تنش، نقش اساسی ایفا می‌کند (Marschner, 2012). در طول تنش خشکی، رشد ریشه و همچنین انتشار کاتیون پتاسیم در خاک هر دو محدود می‌شود و جذب پتاسیم توسط ریشه کاهش می‌یابد. در نتیجه تأمین پتاسیم کافی برای گیاه برای تحمل آن در مقابل خشکی حیاتی است (Wang *et al.*, 2013). کاتیون پتاسیم به‌عنوان یک یون اسمزی غیر آلی نقش کلیدی در تطبیق اسمزی در شرایط تنش خشکی دارد (Marschner, 2012). کمبود پتاسیم معمولاً در شرایط تنش شوری دیده می‌شود (Botella *et al.*, 1997). رشد گیاه و تحمل آن به شوری هر دو سریعاً زمانی که گیاه تحت تنش هم‌زمان شوری و کمبود پتاسیم قرار می‌گیرد، کاهش می‌یابد (Degl'Innocenti *et al.*, 2009).

علاوه بر تغییر قدرت تبخیرکنندگی اتمسفر در طول دوره‌ی

همچنین از کلیه لایه‌های نیم‌رخ، نمونه‌های بهم نخورده برای تعیین رطوبت گنجایش مزرعه‌ای و نقطه‌ی پژمردگی دائم و چگالی ظاهری تهیه شد. نتایج ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی به ترتیب در جدول‌های (۱) و (۲) ارائه شده است.

مراحل انجام گیرد و تیمارهای آبیاری بر این اساس انتخاب گردید. قبل از کاشت برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای پژوهش، نیم‌رخ در نزدیکی مزرعه‌ی انتخابی حفر و از لایه‌های مختلف آن نمونه‌های بهم‌خورده تهیه گردید.



شکل ۱- نقشه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی و محدوده مزرعه محل انجام پژوهش

جدول ۱- ویژگی‌های شیمیایی خاک محل اجرای پژوهش

عمق (cm)	EC (dS m ⁻¹)	pH	کربنات کلسیم معادل کربن (%)	آلی نیتروژن (%)	کل فسفر قابل جذب (mg kg ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب	آهن	مس	منگنز	روی
۲۵-۰	۷/۳	۷/۷	۵/۹	۰/۰۷	۱۴/۷	۴۶۷	۱/۶	۱/۹	۶/۹	۱/۹
۵۵-۲۵	۴/۰	۷/۸	۴/۵	۰/۰۴	۳/۴	۳۵۰	۱/۴	۱/۳	۲/۰	۱/۷
۷۵-۵۵	۳/۴	۷/۷	۲/۷	۰/۰۱	۲/۰	۱۷۰	۰/۹	۰/۹	۱/۷	۱/۵

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی خاک محل اجرای پژوهش

عمق (cm)	درصد اشباع	تجزیه مکانیکی			چگالی ظاهری		رطوبت وزنی (%)	
		شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	بافت	(g cm ⁻³)	FC	PWP
۲۵-۰	۴۰	۳۲	۴۷	۲۱	لوم	۱/۱۹	۲۰/۹	۱۳/۷
۵۵-۲۵	۴۰	۳۰	۴۵	۲۵	لوم	۱/۵۲	۱۹/۲	۱۴/۰
۷۵-۵۵	۲۸	۵۸	۲۴	۱۸	لوم شنی	۱/۴۴	۱۶/۲	۹/۵

مترمربع صورت گرفت. بین کرت‌ها ۰/۵ متر و بین تکرارها ۱ متر فاصله در نظر گرفته شد تا رطوبت یک کرت، کرت مجاور را تحت

بعد از تعیین قطعه زمین مورد نظر و شخم و دیسک و تسطیح آن، کرت‌بندی به تعداد ۸۰ کرت به ابعاد ۱۰ (۲/۵ × ۴)

محصول هر کرت با حذف حاشیه‌ها از سطح ۶ متر مربع به صورت کف‌بر برداشت گردیده و توزین شد. با مدنظر قرار دادن سطح برداشت عملکرد بیولوژیک (عملکرد مجموع دانه و کاه و کلش) تعیین شد. بعد از بوجاری محصول برداشت شده هر کرت توسط خرمن‌کوب، عملکرد دانه نیز با مدنظر قرار دادن سطح برداشت تعیین شد. شاخص برداشت (HI) بر اساس رابطه (۳) برای هر تیمار محاسبه گردید.

$$HI = \frac{\text{grain yield}}{\text{Biomass}} \quad (\text{رابطه ۳})$$

بعد از تعیین عملکرد و مقدار آب مصرفی در آبیاری، از طریق رابطه (۴) مقدار بهره‌وری (WP) برای تیمارها محاسبه گردید.

$$WP = \frac{Ya}{ETa} \quad (\text{رابطه ۴})$$

سپس از دانه‌های هر کرت، نمونه‌هایی برای اندازه‌گیری N ، P ، K ، Na ، Cl ، Fe ، Mn ، Zn ، Cu و میزان پروتئین به آزمایشگاه منتقل و تجزیه‌های لازم بر روی آن‌ها صورت گرفت. در پایان نتایج به دست آمده توسط بسته نرم‌افزار آماری MSTAT-C مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و میانگین‌ها توسط آزمون دانکن در سطح احتمال یک و پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج

عملکرد: از نظر عملکرد بیولوژیک اختلاف بین تیمارهای آبیاری معنی‌دار نشد ولی اختلاف معنی‌دار در تیمارهای کودی ($p < 0.05$) مشاهده شد (جدول ۳). با این توضیح که تیمار F_3 نسبت به بقیه تیمارها عملکرد کمتری داشت ولی بقیه تیمارهای کودی در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۴). در مورد عملکرد دانه اختلاف بین تیمارهای آبیاری معنی‌دار شد ($p < 0.01$) ولی اختلافی بین تیمارهای کودی مشاهده نگردید (جدول ۳). در بین تیمارهای آبیاری، تیمار I_1 با ۲۸۶۵ کیلوگرم بر هکتار بیشترین و تیمار I_3 با ۲۰۲۸ کیلوگرم بر هکتار کمترین عملکرد را داشتند (جدول ۴). اثر متقابل تیمارهای آبیاری و کودی از نظر عملکرد معنی‌دار نگردید.

حجم آب مصرفی در آبیاری: با توجه به قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد، حجم آب مصرفی در تیمارهای مختلف متفاوت بود و متوسط کل حجم آب مصرفی در طول فصل رشد در طی سه سال بدون احتساب بارندگی، از تیمار I_1 تا I_5 به ترتیب برابر ۳۱۶۰، ۲۹۰۵، ۲۸۴۳، ۲۶۶۲ و ۱۹۱۱ مترمکعب بر هکتار بود (جدول ۴). کل مقدار بارندگی نیز از کاشت تا برداشت محصول ۲۱۵/۲ میلی‌متر اندازه‌گیری گردید.

تأثیر قرار ندهد. پس از تسطیح هر کرت و قبل از کاشت، کود فسفره از منبع سوپر فسفات تریپل به میزان ۵۵ کیلوگرم بر هکتار و کود پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم بر اساس نیاز کودی تیمار، در داخل کرت‌ها پخش و با خاک سطحی مخلوط شدند. سپس شیارهایی به فواصل ۲۵ سانتی‌متر ایجاد و بذر گندم رقم الوند با تراکم ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار به صورت خطی در داخل شیارها کاشته شد. بعد از کاشت، نصف کود نیتروژن بر اساس تیمارهای موجود از منبع اوره در سطح کرت‌ها پخش گردید و تمام کرت‌ها به طور یکنواخت آبیاری شدند. تیمارهای آبیاری از اوایل بهار هر سال شروع گردید. در تمامی تیمارها پس از رسیدن مرحله آبیاری و قبل از آبیاری از ناحیه‌ی توسعه ریشه نمونه‌برداری انجام و پس از اندازه‌گیری رطوبت، از طریق رابطه (۱) عمق آب مورد نیاز برای آبیاری محاسبه گردید:

$$ID = \frac{D(\overline{FC} - \overline{QT})\overline{\rho_b}}{100(1-LR)} \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این رابطه D عمق مؤثر ریشه‌دوانی بر حسب سانتی‌متر؛ \overline{FC} ، \overline{QT} و $\overline{\rho_b}$ به ترتیب متوسط‌های وزنی رطوبت گنجایش مزرع‌های رطوبت ناحیه ریشه قبل از آبیاری بر حسب درصد و چگالی ظاهری بر حسب گرم بر سانتی‌مترمکعب تا عمق D می‌باشد و LR نیاز آبشویی است که مقدار آن بستگی به شوری آب آبیاری داشته و بر اساس EC آب آبیاری (۳/۹ دسی‌زیمنس بر متر) طبق روش پیشنهادی فانو (Doorenbos and Pruitt, 1977) برابر ۰/۱۵ در نظر گرفته شد. پس از تعیین عمق آب آبیاری (ID)، حجم آب مورد نیاز در هر کرت محاسبه و توسط فلوم WSC مقدار آب ورودی به کرت‌ها اندازه‌گیری گردید. آبیاری‌ها به روش غرقابی صورت گرفت.

یک‌چهارم کود نیتروژنه هنگام ساقه رفتن و یک‌چهارم باقیمانده نیز در زمان سنبله‌دهی مصرف شد.

در این پژوهش همچنین ضریب حساسیت تنش (K_y) برای مراحل مختلف رشد تعیین شد:

$$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m}\right) \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این رابطه Y_a عملکرد واقعی هر تیمار، Y_m بیشینه عملکرد که در حالت بدون تنش آبی (تیمار I_1) به دست آمد، ET_a مقدار تبخیر-تعرق واقعی اندازه‌گیری شده (حجم آب مصرفی در هر تیمار) و ET_m بیشینه مقدار تبخیر-تعرق محصول است که برابر مقدار آب مصرفی مربوط به تیمار I_1 در نظر گرفته شد.

در انتهای فصل رشد قبل از برداشت محصول اجزاء عملکرد شامل: تعداد بوته، تعداد پنجه، تعداد سنبله و تعداد دانه در واحد سطح و همچنین طول سنبله‌ها اندازه‌گیری و تعیین گردید. سپس

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب عملکرد، بهره‌وری آب، وزن هزار دانه، شاخص برداشت و میزان پروتئین دانه

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه		بهره‌وری آب	وزن هزار دانه	شاخص برداشت	پروتئین
			میانگین مربعات	بیولوژیک				
سال	۲	۲۵۲/۵**	۱۲/۵**	۳۱۰/۶**	۴۰۹/۶**	۰/۰۷۱**	۲۱۴/۲**	
تکرار (سال)	۶	۱۱/۳*	۱/۷**	۱/۵	۰/۲۲*	۵۸/۵	۲۰/۳**	
آبیاری	۴	۱۰/۵	۳/۷**	۱۶/۵**	۲/۰۵**	۲۴۸/۴**	۹/۵	
سال × آبیاری	۸	۵/۷	۰/۸*	۲/۶	۰/۲۸**	۵۸/۵	۳/۴	
خطا	۲۴	۴/۰	۰/۴	۱/۱	۰/۰۶	۳۰/۱	۴/۱	
کود	۳	۳/۸*	۰/۲	۱/۱**	۰/۰۷	۳۳/۹*	۳/۱	
سال × کود	۶	۲/۷	۰/۳	۰/۷**	۰/۰۶	۲۸/۸**	۱/۳	
آبیاری × کود	۱۲	۱/۳	۰/۲	۰/۲	۰/۰۴	۳/۰	۱/۲	
سال × آبیاری × کود	۲۴	۲/۲	۰/۳*	۰/۳	۰/۰۵	۶/۳	۱/۳	
خطا	۹۰	۱/۴	۰/۲	۰/۲	۰/۰۴	۸/۷	۱/۳	

** و * معنی‌دار به ترتیب در سطح ۱ و ۵ درصد

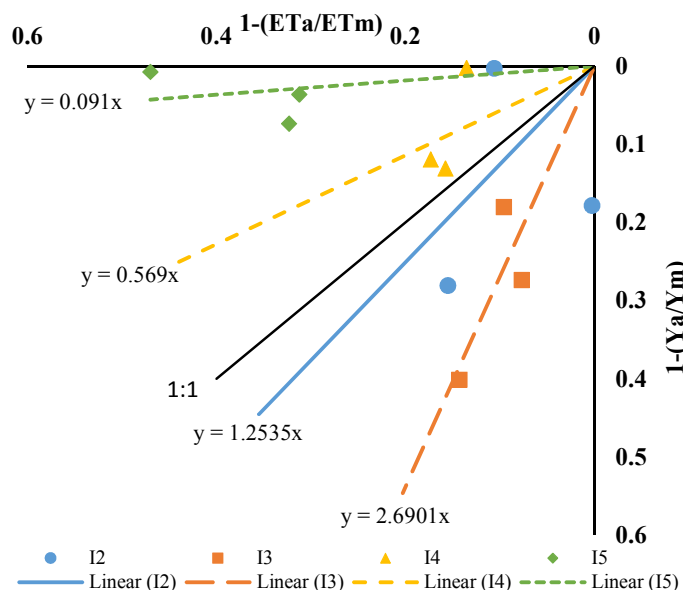
جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین عملکرد، مقدار آب آبیاری و بهره‌وری آب در تیمارهای مختلف آبی و کودی

تیمار	عملکرد (kg ha ⁻¹)		مقدار آب آبیاری (m ³ ha ⁻¹)	عامل پاسخ عملکرد (Ky)	بهره‌وری آب (kg m ⁻³) براساس عملکرد	
	کل	دانه			بیولوژیک	دانه
I ₁	۷۸۰۱	۲۸۶۵a	۳۱۶۰	-	۲/۴۷c	۰/۹۱b
I ₂	۷۸۰۰	۲۵۳۶a	۲۹۰۵	۱/۲۵	۲/۶۹bc	۰/۸۷b
I ₃	۶۶۴۳	۲۰۲۸b	۲۸۴۳	۲/۶۹	۲/۳۴c	۰/۷۱c
I ₄	۷۸۷۶	۲۶۵۲a	۲۶۶۲	۰/۵۷	۲/۹۶b	۱/۰۰b
I ₅	۷۹۰۶	۲۷۰۹a	۱۹۱۱	۰/۰۹	۴/۱۴a	۱/۴۲a
F ₁	۷۷۱۱a	۲/۶۰	-	-	۲/۹۶a	۰/۹۹
F ₂	۷۸۱۹a	۲/۵۱	-	-	۳/۰۱a	۰/۹۷
F ₃	۷۱۷۶b	۲۴۸۴	-	-	۲/۷۴b	۰/۹۵
F ₄	۷۷۱۵a	۲۶۳۸	-	-	۲/۹۷a	۱/۰۲
C.V (%)	۱۵/۵	۱۶/۸	-	-	۷/۵	۸/۷

عملکرد بیولوژیک و هم بر پایه‌ی عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳) و در این میان تیمار I₅ با ۴/۱۴ کیلوگرم بر مترمکعب بر پایه‌ی عملکرد بیولوژیک و ۱/۴۲ کیلوگرم بر مترمکعب بر پایه‌ی عملکرد دانه و تیمار I₃ با ۲/۳۴ کیلوگرم بر مترمکعب بر پایه‌ی عملکرد بیولوژیک و ۰/۷۱ کیلوگرم بر مترمکعب بر پایه‌ی عملکرد دانه، به ترتیب بیشترین و کمترین بهره‌وری را داشتند (جدول ۴). اختلاف بین تیمارهای کودی فقط در مورد بهره‌وری آب بر پایه‌ی عملکرد بیولوژیک معنی‌دار گردید (جدول ۳) و در این بین تیمار F₂ با ۳/۰۱ کیلوگرم بر مترمکعب و تیمار F₃ با ۲/۷۴ کیلوگرم بر مترمکعب به ترتیب بیشترین و کمترین بهره‌وری آب را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). اثر متقابل تیمارهای آبیاری و کودی از نظر بهره‌وری آب معنی‌دار نگردید (جدول ۳).

عامل پاسخ عملکرد (Ky): عامل پاسخ عملکرد، عکس-العمل گیاه را به کاهش عملکرد در اثر کاهش آب مصرفی نشان می‌دهد. عامل پاسخ عملکرد در هر مرحله از رشد در واقع حساسیت گیاه به تنش را در آن مرحله نشان می‌دهد. مراحل از رشد که Ky بیشتر از یک دارند، حساس به تنش و مرحله‌ای که Ky کمتر از یک دارند، متحمل‌تر به تنش هستند. با توجه به شکل (۲) و جدول (۴)، حساس‌ترین مرحله رشد گندم به تنش، مرحله گل‌دهی بوده و بعد از آن به ترتیب مراحل ساقه‌دهی، شیری و خمیری شدن دانه قرار دارند.

بهره‌وری آب: بهره‌وری آب براساس مقدار عملکرد تولید شده به ازاء واحد آب مصرف شده در آبیاری محاسبه گردید. اختلاف بین تیمارهای آبیاری از نظر بهره‌وری آب هم بر پایه‌ی



شکل ۲- عامل پاسخ عملکرد (K_y) در تیمارهای مختلف آبیاری

معنی دار شد (جدول ۳). در میان تیمارهای آبیاری تیمار I₁ با ۳۳/۵ گرم و تیمار I₃ با ۲۶/۹ گرم به ترتیب بیشترین و کمترین وزن هزاردانه را به خود اختصاص دادند و در میان تیمارهای کودی تیمار F₄ با ۳۱/۹ گرم و تیمار F₁ با ۲۹/۹ گرم به ترتیب بیشترین و کمترین وزن هزاردانه را داشتند (جدول ۵).
 پروتئین: از نظر میزان پروتئین دانه اختلاف چه بین تیمارهای کودی، چه بین تیمارهای آبیاری و چه اثر متقابل آن‌ها معنی دار نگردید (جدول ۳) و متوسط میزان پروتئین دانه برابر ۱۲/۶ درصد تعیین شد.

شاخص برداشت: از نظر شاخص برداشت اختلاف هم بین تیمارهای آبیاری (p<0.01) و هم تیمارهای کودی (p<0.05) معنی دار گردید (جدول ۳). در میان تیمارهای آبیاری، تیمار I₁ با ۰/۳۸ بیشترین و تیمار I₃ با ۰/۳۱ کمترین شاخص برداشت را داشتند. در بین تیمارهای کودی نیز تیمار F₃ با ۰/۳۵ بیشترین و تیمار F₂ با ۰/۳۳ کمترین شاخص برداشت را به خود اختصاص دادند (جدول ۵). اثر متقابل تیمارهای آبیاری و کودی در خصوص این صفت معنی دار نشد (جدول ۳).
 وزن هزاردانه: از نظر وزن هزاردانه اختلاف هم بین تیمارهای آبیاری (p<0.01) و هم تیمارهای کودی (p<0.05)

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین وزن هزار دانه، شاخص برداشت و میزان پروتئین و عناصر غذایی دانه در تیمارهای مختلف

تیمار	وزن هزار دانه (g)	شاخص برداشت	پروتئین (%)			غلظت عناصر غذایی دانه (%)			
			نیتروژن	فسفر	پتاسیم	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	
I ₁	۳۳/۵a	۰/۳۸a	۱۲/۵	۲/۱۹	۰/۳۵	۰/۵۸	۶۲/۶a	۱۰/۱a	۱۶/۷a
I ₂	۳۲/۷a	۰/۳۳b	۱۳/۴	۲/۳۵	۰/۳۵	۰/۶۰	۵۸/۲a	۸/۹a	۱۵/۳a
I ₃	۲۶/۹b	۰/۳۱b	۱۲/۸	۲/۲۵	۰/۳۴	۰/۶۶	۴۴/۶b	۶/۹b	۱۳/۳b
I ₄	۲۹/۵ab	۰/۳۵ab	۱۲/۱	۲/۱۳	۰/۳۴	۰/۶۰	۵۵/۷a	۸/۹a	۱۶/۳a
I ₅	۳۱/۲a	۰/۳۵ab	۱۲/۲	۲/۱۴	۰/۳۳	۰/۶۰	۵۶/۹a	۹/۱a	۱۶/۳a
F ₁	۲۹/۹b	۰/۳۴ab	۱۲/۷	۲/۲۳	۰/۳۴	۰/۶۱	۵۷/۲	۹/۱	۱۵/۹
F ₂	b۳۰/۳	b۰/۳۳	۱۲/۹	۲/۲۷	۰/۳۴	۰/۶۱	۵۵/۸	۸/۷	۱۵/۴
F ₃	ab۳۰/۹	a۰/۳۵	۱۲/۴	۲/۱۷	۰/۳۴	۰/۶۱	۵۳/۰	۸/۵	۱۵/۱
F ₄	a۳۱/۹	a۰/۳۵	۱۲/۴	۲/۱۷	۰/۳۴	۰/۶۰	۵۶/۴	۸/۹	۱۵/۹
C.V (%)	۹/۶	۱۲/۷	۸/۹	۸/۹	۹/۰	۱۳/۲	۹/۴	۲۰/۱	۲۱/۵

درحالی که Singh *et al.* (1987) در هندوستان اثر متقابل مثبتی بین کود نیتروژن و آب مصرفی به دست آوردند به طوری که با افزایش آب مصرفی، عملکرد دانه گندم در سطوح بالای نیتروژن بیشتر از سطوح پایین آن بود. اما در پژوهش حاضر به دلیل شوری آب و خاک و عدم نیل به پتانسیل تولید گندم، افزایش ۳۰ درصد نیتروژن نتوانست به طور معنی داری عملکرد را افزایش دهد و به همین جهت اثر متقابل آب و کود معنی دار نگردید. با توجه به کاهش معنی دار عملکرد در تیمار I₃ (قطع آب در مرحله گل دهی) مشخص می گردد که مرحله ی گل دهی حساس ترین مرحله به قطع آب در منطقه می باشد و این مطلب توسط مطالعات زیادی به اثبات رسیده است (Buller *et al.*, 1988؛ India Agro Net؛ Labhsetwar, 2004). هر چند که غلات در مرحله تشکیل گل و تقسیم میوزی برای تشکیل قسمت های مختلف گل حساسیت نشان می دهند با این حال اثر خشکی بر مریستم گل از جمله مباحث کمتر فهمیده شده در خصوص توسعه زایشی محصول تحت شرایط محدودیت آب است (Barnabas *et al.*, 2008). در غلات تنش آب در مرحله گل دهی باعث تأخیر در گل دهی و حتی بازدارندگی تشکیل گل می شود (Barnabas *et al.*, 2008). Evans *et al.* (1975) دلیل حساسیت مرحله گل دهی را چنین بیان می کنند که بیشتر هیدرات های کربن در گندم در فتوسنتز بعد از مرحله گل دهی تشکیل می شود و به همین خاطر کاهش عملکرد به واسطه تنش، در مرحله گل دهی و بعد از آن بیشتر است. هر چند که برخی مطالعات نشان داده اند که مرحله ی توسعه ی ریشه که هم زمان با پنجه دهی و شروع ساقه دهی است هم از مراحل دیگر حساس به تنش آب است (Agarwal and Ikisan, 1978؛ Choudhary and Kumar, 1980؛ Yadav, 2018؛ Singh *et al.*, 1979). ولی با توجه به اینکه بارندگی های فصلی فروردین و اردیبهشت ماه در منطقه محل اجرای پژوهش با این مرحله از رشد گندم هم زمان است، عدم آبیاری در این مرحله، تأثیر کمی داشته است. Mirzaei *et al.* (2011) در پژوهشی در غرب ایران به این نتیجه رسیدند که تنش آبی در مراحل طولی شدن ساقه، گل دهی و پر شدن دانه عملکرد دانه را به ترتیب ۳۲، ۳۲ و ۳۵ درصد کاهش می دهد. آن ها ادعان کردند که کاهش عملکرد در اثر تنش در مراحل مختلف رشد به دلیل متغیر بودن اجزاء عملکرد است.

عامل پاسخ عملکرد (KY): با توجه به اینکه KY مراحل ساقه دهی و گل دهی بیشتر از واحد است (شکل ۲ و جدول ۴)، در این مراحل گیاه نباید دچار تنش آبی شود. در نتیجه برای اعمال کم آبیاری،

عناصر غذایی دانه: همان طوری که از جدول (۵) مشخص است، غلظت هیچ یک از عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم چه بین تیمارهای آبیاری و چه تیمارهای کودی اختلاف معنی داری نداشته و متوسط غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب ۲/۲۱، ۰/۳۴ و ۰/۶۱ درصد به دست آمد. با توجه به اختلاف عملکرد دانه بین تیمارهای مختلف، مقدار عناصر برداشت شده توسط محصول، بین تیمارهای آبیاری معنی دار گردید (جدول ۵). همان طور که ذکر گردید علت اصلی اختلاف تیمارها، اختلاف در عملکرد بوده است تا غلظت هر یک از عناصر.

بحث:

عملکرد: در خصوص معنی داری تیمارها بر عملکرد، Kausar and Gull (2014) نیز در پاکستان به این نتیجه رسیدند که کاربرد سولفات پتاسیم در شرایط شور صرف نظر از مقدار آن، باعث افزایش عملکرد بیولوژیک گندم می شود. Aown *et al.* (2012) نیز در پاکستان به این نتیجه رسیدند که تنش آبی در هر سه مرحله پنجه زنی، گل دهی و شیری شدن دانه باعث کاهش معنی دار عملکرد دانه می شود. در پژوهش آن ها کاربرد پتاسیم به صورت محلول پاشی به طور معنی داری باعث افزایش عملکرد دانه در هر سه مرحله تنش آبی شد. Ozturk and Aydin (2004) نیز در مقایسه تنش ابتدا و انتهای فصل رشد به این نتیجه رسیدند که حساسیت مراحل ابتدایی رشد (شروع ساقه دهی تا شیری شدن دانه) به تنش، بیشتر از مراحل انتهایی رشد (بعد از شیری شدن دانه) است به طوری که کاهش عملکرد دانه در تنش مراحل ابتدایی ۴۱ درصد و در تنش مراحل انتهایی ۲۴ درصد بود. این نتایج عدم وجود اختلاف معنی دار تیمارهای I₄ و I₅ با تیمار I₁ (جدول ۴) را در پژوهش جاری توجیه می کند. Malek-Mohammadi *et al.* (2013) در ایلام تأثیر مثبتی از پتاسیم به دست آوردند به طوری که با افزایش مقدار پتاسیم، عملکرد دانه گندم افزایش یافت. همچنین Baque *et al.* (2006) نیز به این نتیجه رسیدند که سطوح بالای پتاسیم صرف نظر از مقدار رطوبت خاک، باعث افزایش عملکرد گندم می شود. نتایج این دو پژوهش با پژوهش حاضر مغایرت دارد. به نظر می رسد علت مغایرت اولاً شرایط شوری خاک در آزمایش حاضر بود که به علت عملکرد کم، محصول به پتاسیم اضافی عکس العمل نشان نداده است. علاوه بر آن در هر دو پژوهش فوق به ویژه پژوهش Baque *et al.* (2006)، مقدار پتاسیم موجود در خاک کمتر از پژوهش حاضر بوده و با افزایش پتاسیم عملکرد افزایش یافته است. در پژوهش حاضر اثر متقابل تیمارهای آبیاری و کودی از نظر عملکرد معنی دار نگردید

کاه و کلش نسبت به دانه شده و در نتیجه شاخص برداشت را کاهش داده است. Donald and Hamblin (1976) در بررسی عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت خاطرنشان کردند که مصرف کودهای نیتروژنه در غلات، معمولاً عملکرد بیولوژیک را نسبت به عملکرد دانه بیشتر افزایش می‌دهد و شاخص برداشت کاهش می‌یابد. Mirzaei et al. (2011) نیز در پژوهش خود بیشترین شاخص برداشت را از تیمارهای آبیاری کامل و تنش در مرحله پر شدن دانه و کمترین شاخص برداشت را از تیمارهای تنش در مرحله ساقه‌دهی و گل‌دهی به دست آوردند که دقیقاً با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.

وزن هزاردانه: تنش به وقوع پیوسته در مرحله گل‌دهی، باعث ضعیف شدن دانه‌های تشکیل شده گردیده و به همین علت وزن هزاردانه در تیمار I_3 کمترین بوده است. Pandey et al. (2001) نیز گزارش کردند که تنش آبی در مرحله گل‌دهی باعث کاهش عملکرد دانه به واسطه کاهش وزن هزاردانه می‌شود. در پژوهش Mirzaei et al. (2011) نیز تنش به وقوع پیوسته در مرحله پر شدن دانه بیشترین تأثیر را در کاهش وزن هزار دانه داشته است. Ozturk and Aydin (2004) بیشترین و کمترین وزن هزاردانه را به ترتیب از آبیاری کامل و تیمار تنش در مراحل پایانی رشد (بعد از شیری شدن دانه) به دست آوردند. در تیمار F_4 نیز پتاسیم بالا و نیتروژن کم باعث افزایش وزن هزاردانه شده است. Baque et al. (2006) نیز به نتیجه نسبتاً مشابهی دست یافتند. در پژوهش آن‌ها اختلاف وزن هزاردانه بین سطوح کم و زیاد پتاسیم در آبیاری کامل معنی‌دار نبود ولی در حالت تنش متوسط و زیاد، اختلاف بین سطوح کم و زیاد پتاسیم معنی‌دار شد. در پژوهش Zhong and Shangguan (2014) نیز بیشترین وزن هزاردانه از تیمار بدون مصرف نیتروژن به دست آمده بود که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.

پروتئین: هر چندکه از نظر میزان پروتئین دانه اختلاف بین تیمارهای آبیاری معنی‌دار نگردید اما پژوهش‌های متعدد نشان داده‌اند که تنش آب در هنگام پر شدن دانه باعث افزایش پروتئین دانه می‌شود؛ به عنوان مثال Mirzaei et al. (2011) بیشترین و کمترین میزان پروتئین دانه را به ترتیب از تیمار تنش در مرحله پر شدن دانه و تیمار بدون تنش به دست آوردند. همچنین در پژوهش Ozturk and Aydin (2004) تیمار بدون تنش نسبت به تیمارهای تنش به‌طور معنی‌داری دارای پروتئین کمتری بود. اما به نظر می‌رسد در پژوهش جاری اثر متقابل تنش شوری و آبی باعث شده است که تنش آب نتواند باعث افزایش پروتئین دانه شود چراکه در بیشتر مواقع تنش شوری باعث کاهش پروتئین دانه می‌شود (Hendawey, 2009). البته باید خاطرنشان کرد که

مراحل شیری و خمیری شدن دانه، مناسب‌ترین مراحل می‌باشند. Ebrahimi Pak (2012) نیز نتایج مشابهی در شهرکرد به دست آورد به‌طوری‌که بیشترین Ky در پژوهش وی از مرحله گل‌دهی به دست آمد و بعد از آن مراحل ساقه‌دهی، پنجه‌دهی، شیری شدن دانه، جوانه‌زنی و خمیری شدن دانه قرار داشتند.

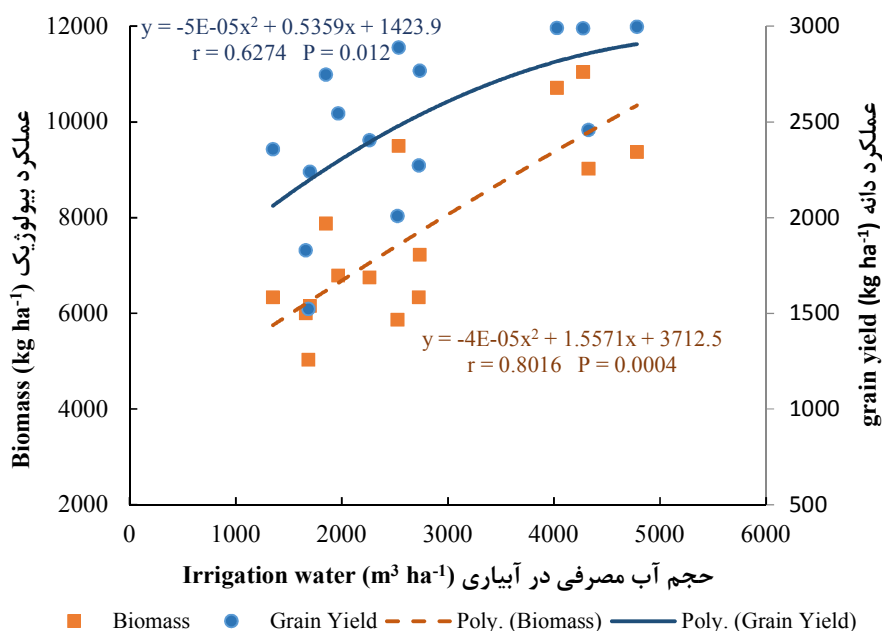
بهره‌وری آب: با توجه به این که حساس‌ترین مرحله به تنش رطوبتی مرحله‌ی گل‌دهی است، در نتیجه قطع آب در این مرحله باعث شده است که بهره‌وری آب در تیمار I_3 کمتر از تیمارهای دیگر باشد. Mogensen et al. (1985) نیز در پژوهش خود که تأثیر تنش رطوبتی از مرحله‌ی پنجه‌زنی تا پر شدن دانه را مطالعه کردند، به این نتیجه رسیدند که مرحله‌ی آبستنی تا تشکیل سنبله از حساس‌ترین مراحل به تنش رطوبتی است و تنش در این مرحله باعث کاهش بهره‌وری آب می‌شود. Evans et al. (1975) دلیل آن را چنین بیان می‌کنند که بیشتر هیدرات‌های کربن در گندم در فتوسنتز بعد از مرحله گل‌دهی تشکیل می‌شود و به همین خاطر کاهش عملکرد به واسطه تنش، در مرحله زایشی بیشتر است. در پژوهش انجام شده در چین (Zhong and Shangguan, 2014)، کاربرد نیتروژن در دو سال باعث افزایش بهره‌وری آب گردید ولی در سال سوم تأثیری بر بهره‌وری نداشت که علت امر به رطوبت بالای خاک قبل از کاشت و بارندگی زیاد در سال سوم ربط داده شده است که باعث افزایش عملکرد دانه در غیاب نیتروژن شده است. در پژوهش حاضر نیز محدود شدن عملکرد به‌واسطه شوری باعث شده است که افزایش ۳۰ درصد نیتروژن کاربردی، تأثیر معنی‌داری بر بهره‌وری آب نداشته باشد چراکه نتوانسته است عملکرد را بهبود بخشد. در هند (Pradhan et al., 2013) کاربرد نیتروژن باعث افزایش بهره‌وری گردید که علت آن افزایش عملکرد بیشتر نسبت به افزایش جزئی آب مصرفی با کاربرد نیتروژن بوده است. بیشترین بهره‌وری آب با کاربرد نیتروژن تا ۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار به همراه کود آلی (۳۰ تن کود خاکی) در چین به دست آمد. (Zhang et al., 2017).

شاخص برداشت: با توجه به جدول (۵) بیشترین شاخص برداشت از تیمار آبیاری I_1 به دست آمده، تیماری که در تمام مراحل آبیاری شده بود و انتظار می‌رفت بیشترین شاخص برداشت را داشته باشد ولی تیمار کودی F_3 که در آن مقدار نیتروژن و پتاسیم مصرف شده ۳۰ درصد کمتر از مقدار توصیه شده بود، بیشترین شاخص برداشت را در بین تیمارهای کودی داشت علت امر را می‌توان چنین توضیح داد که با توجه به این که نیتروژن بیشتر از آنچه رشد زایشی را افزایش دهد، رشد رویشی را بیشتر می‌کند؛ در نتیجه مصرف بیشتر آن در تیمارهای F_1 و F_2 باعث افزایش

شده برای این ارتباط معادله درجه دوم بود. بر اساس این رابطه (اگر فرض شود که آب مصرفی تا ۶۰۰۰ مترمکعب بر هکتار صادق باشد) بیشترین عملکرد دانه در آب مصرفی ۵۹۸۸ مترمکعب بر هکتار حاصل می‌شود. Onnabi Milani *et al.* (2004) نیاز آبیاری گندم را در دشت تبریز در یک مطالعه لایسیمیتری ۶۰۰ میلی‌متر (۶۰۰۰ مترمکعب بر هکتار) تعیین کردند که با مقدار به دست آمده در پژوهش حاضر کاملاً هم‌خوانی دارد.

میزان پروتئین دانه در تیمار I₃ از نظر عددی بیشتر از تیمارهای دیگر است (جدول ۵) و شاید اگر دقت پژوهش بیشتر از این می‌بود، احتمالاً اثر آبیاری بر میزان پروتئین دانه معنی‌دار می‌گردید.

تابع آب-عملکرد: در شکل (۳) تابع آب-عملکرد برای عملکرد بیولوژیک و دانه رسم شده است. همان‌طوری که ملاحظه می‌شود ارتباط معنی‌داری بین آب مصرفی در آبیاری با عملکرد بیولوژیک ($P < 0.001$) و دانه ($P < 0.01$) وجود دارد. بهترین معادله برازش



شکل ۳- ارتباط بین آب مصرفی و عملکرد گندم

با توجه به کاهش منابع آب در منطقه، بهره‌وری آب در مقایسه با عملکرد می‌تواند شاخص بهتری برای تصمیم‌گیری بوده و بر این اساس علاوه بر لزوم آبیاری در مرحله گل‌دهی، نیازی به آبیاری اواخر فصل رشد شامل مراحل شیری و خمیری شدن دانه در منطقه نیست. هرچند که منابع مختلف کاربرد عناصر تغذیه‌ای و به‌ویژه پتاسیم را برای تحمل به تنش آبی مهم می‌دانند، اما نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در شرایط کم‌آبیاری و وجود تنش شوری، به علت محدود شدن عملکرد محصول، کاربرد ۳۰ درصد کود بیشتر توصیه نمی‌شود.

نتیجه‌گیری

مرحله گل‌دهی گندم، حساس‌ترین مرحله رشدی به تنش آب بوده و قطع آب در این مرحله به‌ویژه در شرایط شور توصیه نمی‌شود. با توجه به کامل شدن رشد رویشی در این مرحله، تنش آب بر عملکرد بیولوژیک تأثیر معنی‌داری نداشت. کاهش ۳۰ درصدی در مصرف نیتروژن و پتاسیم تأثیر معنی‌داری در کاهش عملکرد بیولوژیک داشت. حذف آبیاری‌های مراحل شیری و خمیری شدن دانه با این‌که به‌طور معنی‌داری بهره‌وری آب را ارتقاء داد، اما تأثیری بر عملکرد دانه، وزن هزاردانه و شاخص برداشت نداشت.

REFERENCES

- Agarwal, S. K. and Yadav, S. K. (1978). Effect of nitrogen and irrigation levels on the growth and yield of wheat. *Indian Journal of Agronomy*. 23. 137-143.
- Aown, M., Raza, S., Saleem, M. F., Anjum, S. A., Khaliq T. and Wahid, M. A. (2012). Foliar application of potassium under water deficit

conditions improved the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Animal and Plant Sciences*. 22(2). 431-437.

- Baque, A., Karim, A., Hamid, A., and Tetsushi, H. (2006). Effects of fertilizer potassium on growth, yield and nutrient uptake of wheat (*Triticum aestivum* L.) under water stress conditions.

- Journal of South Pacific Studies* 27(1): 25–35.
- Barnabas, B., Jager, K. and Feher, A. (2008). The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant, Cell and Environment*. 31. 11-38.
- Botella, M. A., Martinez, V., Pardines, J., and Cerda, A. (1997). Salinity induced potassium deficiency in maize plants. *Journal of Plant Physiology*. 150. 200–205.
- Bray, E. A., Bailey-Serres, J., and Weretilnyk, E. (2000). Responses to abiotic stresses. In B. Buchanan, W. Gruissem, R. Jones (Eds.), *Biochemistry and Molecular Biology of Plants. American Society of Plant Physiologists*. (pp. 1158–1203). Rockville, MD, USA.
- Buller, O. H., Manges, H. L., Stone, L. R., and Williams, J. R. (1988). Selecting irrigated crops for net income and water conservation in western Kansas. Agricultural Experiment Station, Kansas State University, Manhattan 66506. Report of Progress 536. Retrieved November 6. 2018 from: <https://www.ksre.k-state.edu/historicpublications/pubs/SRP536.pdf>.
- Cakmak, I. (2005). The role of potassium in alleviating de trimeral effects of abiotic stresses in plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 168. 521–530.
- Cakmak, I., and Engels, C. (1999). Role of mineral nutrients in photosynthesis and yield formation. In Zn. Rengel (Ed.), *Mineral Nutrition of Crops: Mechanisms and Implications*. (pp. 141–168). The Haworth Press, New York, USA.
- Campbell, C. A., Davidson, H. R., and Warder, F. G. (1977). Effects of fertilizer N and soil moisture on yield, yield components, protein content and N accumulation in the aboveground parts of spring wheat. *Canadian Journal of Soil Science*. 57. 311–327.
- Choudhary, P. N., and Kumar, V. (1980). The sensitivity of growth and yield of dwarf wheat to water stress at three growth stages. *Irrigation Science*. 1. 223–231.
- Cooke, G. W. (1986). The interactions between the supplies of water and of nutrients available to crops: implications for practical progress and for scientific work. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 316(1537). 331–346.
- De Juan, J. A., Tarjuelo, J. M., Ortega, J. F., Valiente, M., and Crrion, P. (1999). Management of water consumption in agriculture—a model for economic optimization of water use: application to a sub-humid area. *Agricultural Water Management*. 40. 303–313.
- Day, A. D., and Intalap, S. (1970). Some effects of soil moisture stress on the growth of wheat (*Triticum aestivum* L. em Thell.). *Agronomy Journal*. 62. 27–29.
- Degl'Innocenti, E., Hafsi, C., Guidi, L., and Navari-Izzo, F. (2009). The effect of salinity on photosynthetic activity in potassium-deficient barley species. *Journal of Plant Physiology*. 166. 1968–1981.
- Donald, C. M., and Hamblin, J. (1976). The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. *Advanced Agronomy*. 28. 361–405.
- Doorenbos, J., and Pruitt, W. O. (1977). Guidelines for predicting crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper*. 24. FAO, Rome.
- Ebrahimi Pak, N. A. 2012. Determination of wheat yield response factor to deficit irrigation at different growth stage. *Journal of Crop Production and Processing*. 2(5). 121–130 (In Farsi)
- Evans, L. T., Wadlaw, I. F. and Fischer, R. A. (1975). Wheat. In L. T. Evans (Ed.), *Crop physiology*. (pp. 101–150), Cambridge University Press, London, UK.
- Fischer, R. A. (1973). The effects of water stress at various stages of development on yield processes in wheat. In: *Plant Response to Climatic Factors, Proceedings of the Uppsala Symposium, Ecology and Conservation*, 5, (pp. 233–241) Unesco.
- Herandez, L. E., Garate, A., and Caroeba-Ruiz, R. (1997). Effect of cadmium on the uptake, distribution and assimilation of nitrate in *Pisum sativum*. *Plant and Soil*. 189. 97–106.
- Ikisan Agriinformatics and Services. (2018). Irrigation: Critical stages of irrigation requirement. Retrieved August 7. 2018 from <http://www.ikisan.com/irrigation.html#Need%20for%20Irrigation>.
- India Agro Net. (2018). Application of water at critical stages. Ag. Technologies (Water Mgmt.) Retrieved August 7. 2018 from https://www.indiaagronet.com/indiaagronet/water_management/CONTENTS/Critical%20Stages.htm.
- Kausar, A., and Gull, M. (2014). Effect of potassium sulphate on the growth and uptake of nutrients in wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt stressed conditions. *Journal of Agricultural Science*. 6(8). 101–112.
- Kumar, A., Sharma, D. K., and Sharma, H. C. (1995). Water and nitrogen needs of wheat (*Triticum aestivum*) in sodic soil. *Indian Journal of Agricultural Science*. 65(5). 323–327.
- Labhsetwar, V. L. (2004). Irrigation strategies for crop production under water scarcity. Retrieved November 6. 2018 from http://irncid.org/English/GetFileArticles.aspx?FilePrm=9836_39233.pdf.
- Lal, R. B. (1985). Irrigation requirement of dwarf durum and aestivum wheat varieties. *Indian Journal of Agronomy*. 30. 207–213.
- Li, F. M., Song, Q. H., Liu, H. S., Li, F. R., and Liu, X. L. (2001). Effects of pro-sowing irrigation and phosphorus application on water use and yield of spring wheat under semi-arid conditions. *Agricultural Water Management*. 49. 173–183.
- Malek-Mohammadi, M., Maleki, A., Siaddat, A., and Beigzade, M. (2013). The effect of zinc and potassium on the quality yield of wheat under drought stress conditions. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 6(16). 1164–1170.

- Marschner, P. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*, (3rd ed.). Academic Press, London, UK.
- Mirzaei, A., Naseri, R., and Soleimani, R. (2011). Response of different growth stages of wheat to moisture tension in a semiarid land. *World Applied Sciences Journal*. 12(1). 83–89.
- Mogensen, V. O., Jensen, H. E., and Rab, M. A. (1985). Grain yield, yield components, drought sensitivity, and water use efficiencies of spring wheat subjected to water stress at various growth stages. *Irrigation Science*. 6. 131–140.
- Musick, J. T., and Porter, K. B. (1990). Wheat. In B. A. Stewart, D. R. Nielsen (Eds.), *Irrigation of Agricultural Crops*. (pp. 597–638), Agronomy 30, Madison, Wisconsin, USA.
- Oerke, E. C. (2006). Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science*. 144. 31–43.
- Onnabi Milani, A., Kalantari, F., Mousavimanesh, S., Chitsaz, S., and Pashaei, S. (2004). Determining and evaluating the crop coefficient for wheat during growing season at Tabriz plain. Final report of research plan No. 1182, AREEO, Iran. (In Farsi)
- Ozturk, A., and Aydin, F. (2004). Effect of water stress at various growth stages on some quality characteristics of winter wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 190. 93–99.
- Pandy, P. K., Maranville, J. W., and Admou, A. (2001). Tropical wheat response to irrigation and nitrogen in a Sahelian environment. I. Grain yield, yield components and water use efficiency. *European Journal of Agronomy*. 15. 93–105.
- Pradhan, S., Chopra, U. K., Bandyopadhyay, K. K., Singh, R., Jain, A. K., and Ishwar Chand. (2013). Effect of water and nitrogen management on water productivity and nitrogen use efficiency of wheat in a semi-arid environment. *The International Journal of Agriculture Food Science & Technology*. 4(7). 727–732.
- Romheld, V., and Kirkby, E. A. (2010). Research on potassium in agriculture: Needs and prospects. *Plant and Soil*. 335. 155–180.
- Rouphael, Y., Cardarelli, M., Schwarz, D., Franken, P., and Colla, G. (2012). Effects of drought on nutrient uptake and assimilation in vegetable crops. In R. Aroca, (Ed.), *Plant Responses to Drought Stress*. (pp. 171–195). Springer, Berlin, Heidelberg, Germany.
- Shabir, R. N., Ashraf, M. Y., Waraocj, E. A., Ahmad, R., and Shahbaz, M. (2015). Combined effects of drought stress and NPK foliar spray on growth, physiological processes and nutrient uptake in wheat. *Pakistan Journal of Botany*. 47(4). 1207–1216.
- Shimshi, D., and Kafkafi, U. (1978). The Effect of supplemental irrigation and nitrogen fertilisation on wheat (*Triticum aestivum* L.). *Irrigation Science*. 1(1). 27–38.
- Singh, K. P., and Kumar, V. (1981). Water use and water-use efficiency of wheat and barley in relation to seeding dates, levels of irrigation and nitrogen fertilization. *Agricultural Water Management*. 3(4). 305–316.
- Singh, N. T., Singh, R., Mahajan, P. S., and Vig, A. C. (1979). Influence of supplemental irrigation and presowing soil water storage on wheat. *Agronomy Journal*. 71. 483–486.
- Singh, P. N., Joshi, B. P., and Singh, G. (1987). Water use and yield response of wheat to irrigation and nitrogen on an alluvial soil in North India. *Agricultural Water Management*. 12(4). 311–321.
- Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q., and Guo, S. (2013). The critical role of potassium in plant stress response. *International Journal of Molecular Sciences*. 14. 7370–7390.
- Waraich, E. A, Ahmad, R., Ashraf, M. Y., Saifullah, and Ahmad, M. (2011a). Improving agricultural water use efficiency by nutrient management in crop plants. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science* 61. 291–304.
- Waraich, E. A, Ahmad, R., Saifullah, Ashraf, M. Y., and Ehsanullah. (2011b). Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants. *Australian Journal of Crop Science*. 5. 764–777.
- Zhang, H., Yu, X., Jin, Zh., Zheng, W., Zhai, B., and Li, Z. (2017). Improving grain yield and water use efficiency of winter wheat through a combination of manure and chemical nitrogen fertilizer on the Loess plateau, China. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 17(2). 461–474.
- Zhong, Y., Shangguan, Zh. (2014). Water consumption characteristics and water use efficiency of winter wheat under long-term nitrogen fertilization regimes in northwest china. *PLoS One*. 9(6). e98850.