Archive of SID
DOI: 10.22059/ijswr.2019.272752.668085 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۰، شماره ۶، آبان ۱۳۹۸ (ص ۱۵۲۰-۱۵۰۹)

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 $kgha^{-1}$ 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 kgm^{-3} and I_3 with 0.71 kgm^{-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.

* Corresponding Author's E-mail: a_o_milani@yahoo.com
www.SID.ir

Archive of SID

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

اژدر عُنّابی 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 (I_1)، قطع آب در مرحله ساقه رفتن (I_2)، قطع آب در مرحله گل‌دهی (I_3)، قطع آب در مرحله شیری شدن (I_4) و قطع آب در دو مرحله شیری و خمیری شدن (I_5) بود. تیمارهای کودی عبارت بودند از: توصیه کودی منطقه (F_1)، نیتروژن و پتاسیم ۳۰ درصد بیشتر از توصیه (F_2)، نیتروژن و پتاسیم ۳۰ درصد کمتر از توصیه (F_3) و نیتروژن ۳۰ درصد کمتر و پتاسیم به اندازه‌ی توصیه منطقه (F_4). نتایج نشان داد اختلاف عملکرد دانه بین تیمار آبیاری I_3 و بقیه‌ی تیمارها معنی‌دار بوده و تیمار I_1 با ۲۸۶۵ کیلوگرم بر هکتار بیشترین و تیمار I_3 با ۲۰۲۸ کیلوگرم بر هکتار کمترین عملکرد را داشتند. از نظر بهره‌وری آب اختلاف بین تیمارهای آبیاری معنی‌دار بوده و تیمار I_5 با متوسط ۱/۴۲ کیلوگرم بر مترمکعب بیشترین و تیمار I_3 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 F_3 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) به‌تدریج 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،

* نویسنده مسئول: a_o_milani@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

تأثیر عمده‌ای نه‌تنها 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 کود نیتروژنی افزایش می‌یابد و همچنین پاسخ آن به کود نیز با افزایش آبیاری بیشتر می‌شود (Campbell *et al*., 1977؛ Kumar *et al*., 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 فرآیندها 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 تنش‌های 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. درنتیجه 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 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, 1980؛ Buller *et al*., 1988؛ Yadav, 1978؛ Day and Intalap, 1970؛ Fischer, 1973؛ Labhsetwar, 2004؛ Lal, 1985؛ Singh *et al*., 1979).

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

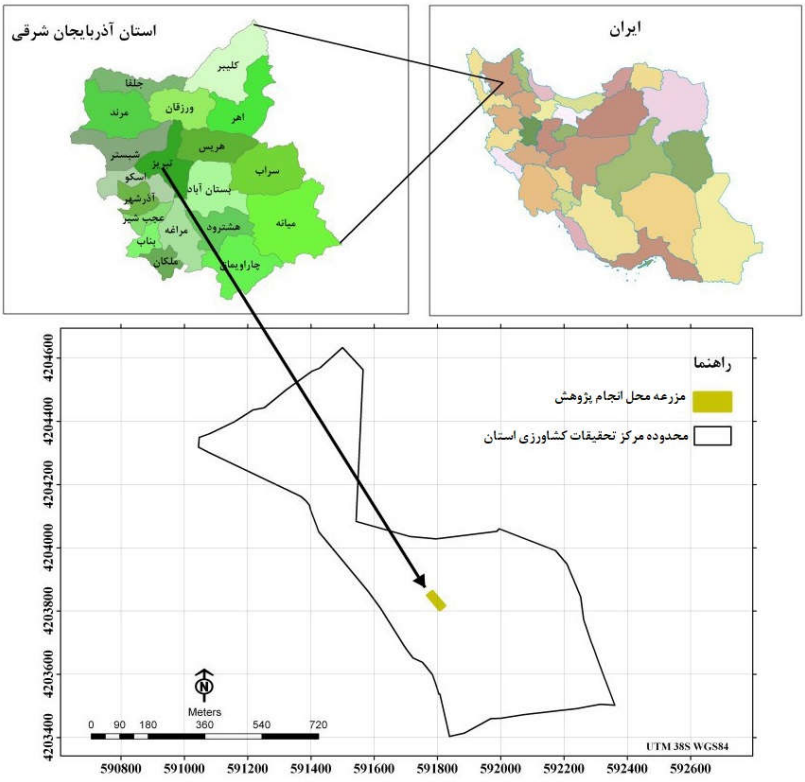
این پژوهش به مدت سه سال (۱۳۹۰-۱۳۹۳) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی خسروشاه متعلق به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی به انجام رسید (شکل ۱). مطالعه در قالب طرح کرت‌های خرد شده[1] بر پایه‌ی بلوک‌های کامل تصادفی و در چهار تکرار انجام شد. تیمارهای آبیاری شامل پنج بار آبیاری در تمام مراحل رشد (کاشت، ساقه‌دهی، گل‌دهی، شیری و خمیری شدن دانه) مرسوم در منطقه (I_1)، قطع آب در مرحله‌ی ساقه‌دهی (I_2)، قطع آب در مرحله‌ی گل‌دهی (I_3)، قطع آب در مرحله‌ی شیری شدن دانه (I_4) و قطع آب در دو مرحله‌ی شیری و خمیری شدن دانه (I_5)، کرت‌های اصلی را تشکیل می‌دادند. تیمارهای کودی، کرت‌های فرعی را تشکیل می‌دادند که شامل کود دهی طبق توصیه ($N_{95}P_{55}K_{35}$) (F_1)، نیتروژن و پتاسیم ۳۰ درصد بیشتر از توصیه (F_2)، نیتروژن و پتاسیم ۳۰ درصد کمتر از توصیه (F_3) و نیتروژن ۳۰ درصد کمتر و پتاسیم به مقدار توصیه شده (F_4)، 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

1. Split plot

www.SID.ir

Archive of SID

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



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

جدول ۱- ویژگی‌های شیمیائی 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	۰/۶۳	۰/۰۷	۱۴/۷	۴۶۷	۱/۶	۱/۹	۶/۹	۱/۹
۵۵-۲۵	۴/۰	۷/۸	۴/۵	۰/۳۹	۰/۰۴	۳/۴	۳۵۰	۱/۴	۱/۳	۲/۰	۱/۷
۷۵-۵۵	۳/۴	۷/۷	۲/۷	۰/۱۳	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	تجزیهٔ مکانیکی				چگالی ظاهری ($g\ cm^{-3}$)	رطوبت وزنی (%)	
		شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	بافت		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

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) 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

www.SID.ir

Archive of SID

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 به‌صورت خطی در داخل شیارها کاشته شد. بعد از کاشت، نصف کود نیتروژن براساس تیمارهای موجود از منبع اوره در سطح کرت‌ها پخش گردید و تمام کرت‌ها به‌طور یکنواخت آبیاری شدند. تیمارهای آبیاری از اوایل بهار هر سال شروع گردید. در تمامی تیمارها پس از رسیدن مرحله‌ی 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:

$$ID = \frac{D(\overline{FC}-\overline{Qt})\overline{\rho_b}}{100(1-LR)}$$ (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 براساس EC آب آبیاری (۳/۹ دسی زیمنس بر متر) طبق روش پیشنهادی فائو (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 (Ky) برای مراحل مختلف رشد تعیین شد:

$$(1-\frac{Y_a}{Y_m}) = K_y(1-\frac{ET_a}{ET_m})$$ (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 محصول هر کرت با حذف حاشیه‌ها از سطح ۶ متر مربع به‌صورت 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.

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

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

$$WP = \frac{Ya}{ET_a}$$ (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 بقیه‌ی تیمارها عملکرد کمتری داشت ولی بقیه‌ی 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.

www.SID.ir

Archive of SID

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

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	بهره‌وری آب		وزن هزار دانه	شاخص برداشت	پروتئین
				بیولوژیک	دانه			
سال	۲	۲۵۲/۵**	۱۲/۵**	۳۱۰/۶**	۲۴/۶۴**	۴۰۹/۶**	۰/۰۷۱**	۲۱۴/۲**
تکرار (سال)	۶	۱۱/۲*	۱/۷**	۱/۵	۰/۲۲*	۵۸/۵	۰/۰۰۲	۲۰/۳**
آبیاری	۴	۱۰/۵	۳/۷**	۱۶/۵**	۲/۰۵**	۲۴۸/۴**	۰/۰۲۰**	۹/۵
سال × آبیاری	۸	۵/۷	۰/۸*	۲/۶	۰/۲۸**	۵۸/۵	۰/۰۰۳	۳/۴
خطا	۲۴	۴/۰	۰/۴	۱/۱	۰/۰۶	۳۰/۱	۰/۰۰۳	۴/۱
کود	۳	۳/۸*	۰/۲	۱/۱**	۰/۰۷	۳۳/۹*	۰/۰۰۶*	۳/۱
سال × کود	۶	۲/۷	۰/۳	۰/۷**	۰/۰۶	۲۸/۸**	۰/۰۰۲	۱/۳
آبیاری × کود	۱۲	۱/۳	۰/۲	۰/۲	۰/۰۴	۳/۰	۰/۰۰۱	۱/۲
سال × آبیاری × کود	۲۴	۲/۲	۰/۳*	۰/۳	۰/۰۵	۶/۳	۰/۰۰۱	۱/۳
خطا	۹۰	۱/۴	۰/۲	۰/۲	۰/۰۴	۸/۷	۰/۰۰۲	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

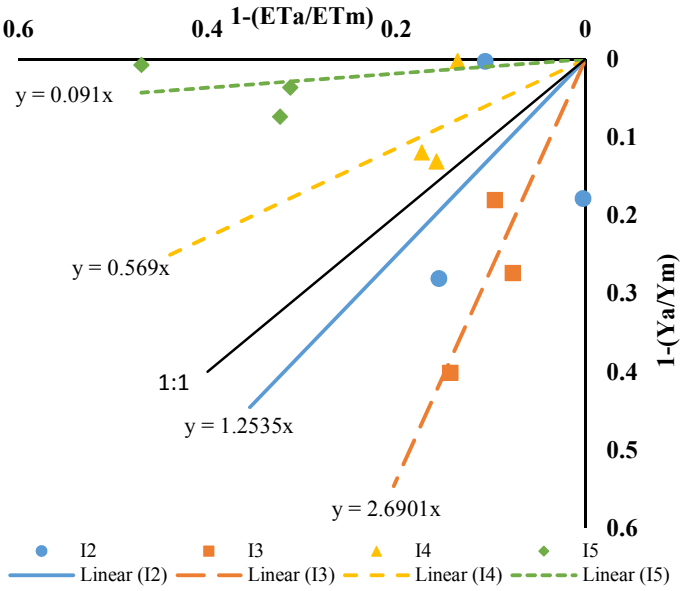
تیمار	عملکرد ($kg\ ha^{-1}$)		مقدار آب آبیاری ($m^3\ ha^{-1}$)	عامل پاسخ عملکرد (Ky)	بهره‌وری آب ($kg\ m^{-3}$) براساس عملکرد	
	کل	دانه			بیولوژیک	دانه
I_1	۷۸۰۱	۲۸۶۵a	۳۱۶۰	–	۲/۴۷c	۰/۹۱b
I_2	۷۸۰۰	۲۵۳۶a	۲۹۰۵	۱/۲۵	۲/۶۹bc	۰/۸۷b
I_3	۶۶۴۳	۲۰۲۸b	۲۸۴۳	۲/۶۹	۲/۳۴c	۰/۷۱c
I_4	۷۸۷۶	۲۶۵۲a	۲۶۶۲	۰/۵۷	۲/۹۶b	۱/۰۰b
I_5	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

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. مراحلی از رشد که Ky بیشتر از یک دارند، حساس به تنش و مراحلی که Ky کمتر از یک دارند، متحمل‌تر به تنش هستند. با توجه به شکل (۲) و جدول (٤)، 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 عملکرد بیولوژیک و هم بر پایه‌ی عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳) و در این میان تیمار I_5 با ۴/۱۴ کیلوگرم بر مترمکعب بر پایه‌ی عملکرد بیولوژیک و ۱/۴۲ کیلوگرم بر مترمکعب بر پایه‌ی عملکرد دانه و تیمار I_3 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 F_2 با ۳/۰۱ کیلوگرم بر مترمکعب و تیمار F_3 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).

www.SID.ir

Archive of SID



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

شاخص برداشت: از نظر شاخص برداشت اختلاف هم بین تیمارهای آبیاری ($p<0.01$) و هم تیمارهای کودی ($p<0.05$) معنی‌دار گردید (جدول ۳). در میان تیمارهای آبیاری، تیمار I_1 با ۰/۳۸ بیشترین و تیمار I_3 با ۰/۳۱ کمترین شاخص برداشت را داشتند. در بین تیمارهای کودی نیز تیمار F_3 با ۰/۳۵ بیشترین و تیمار F_2 با ۰/۳۳ کمترین شاخص برداشت را به خود اختصاص دادند (جدول ۵). اثر متقابل تیمارهای آبیاری و کودی در خصوص این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۳).

وزن هزاردانه: از نظر وزن هزاردانه اختلاف هم بین تیمارهای آبیاری ($p<0.01$) و هم تیمارهای کودی ($p<0.05$) معنی‌دار شد (جدول ۳). در میان تیمارهای آبیاری تیمار I_1 با ۳۳/۵ گرم و تیمار I_3 با ۲۶/۹ گرم به ترتیب بیشترین و کمترین وزن هزاردانه را به خود اختصاص دادند و در میان تیمارهای کودی تیمار F_4 با ۳۱/۹ گرم و تیمار F_1 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 معنی‌دار نگردید (جدول ۳) و متوسط میزان پروتئین دانه برابر ۱۲/۶ درصد تعیین شد.

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 غذائی دانه (٪)			کل مقدار عناصر دانه ($kg\ ha^{-1}$)		
				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

www.SID.ir

Archive of SID

عناصر غذائی دانه: همان‌طوری‌که از جدول (۵) مشخص است، غلظت هیچ‌یک از عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم چه بین تیمارهای آبیاری و چه تیمارهای کودی اختلاف معنی‌داری 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 معنی‌دار گردید (جدول ۵). همان‌طور که ذکر گردید علت اصلی اختلاف تیمارها، اختلاف در عملکرد بوده است تا غلظت هر یک از عناصر.

بحث:

عملکرد: در خصوص معنی‌داری تیمارها بر عملکرد، Kausar and Gull (2014) نیز در پاکستان به این نتیجه رسیدند که کاربرد سولفات پتاسیم در شرایط شور صرف‌نظر از مقدار آن، باعث افزایش عملکرد بیولوژیک گندم می‌شود. Aown *et al.* (2012) نیز در پاکستان به این نتیجه رسیدند که تنش آبی در هر سه مرحله پنجه‌زنی، گل‌دهی و شیری شدن دانه باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه می‌شود. در پژوهش آن‌ها کاربرد پتاسیم به‌صورت محلول‌پاشی به‌طور معنی‌داری 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 ساقه‌دهی تا شیری شدن دانه) به تنش، بیشتر از مراحل انتهایی رشد (بعد از شیری شدن دانه) است به‌طوری که کاهش عملکرد دانه در تنش مراحل ابتدایی ۴۱ درصد و در تنش مراحل انتهایی ۲۴ درصد بود. این نتایج عدم وجود اختلاف معنی‌دار تیمارهای I_4 و I_5 با تیمار I_1 (جدول ۴) را در پژوهش جاری توجیه می‌کند. 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 صرف‌نظر از مقدار رطوبت خاک، باعث افزایش عملکرد گندم می‌شود. نتایج این دو پژوهش با پژوهش حاضر مغایرت دارد. به نظر می‌رسد علت مغایرت اولاً شرایط شوری خاک در آزمایش حاضر بود که به علت عملکرد کم، محصول به پتاسیم اضافی عکس‌العمل نشان نداده است. علاوه بر آن در هر دو پژوهش فوق به‌ویژه 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 معنی‌دار نگردید درحالی‌که Singh *et al.* (1987) در هندوستان اثر متقابل مثبتی بین کود نیتروژن و آب مصرفی به دست آوردند به‌طوری 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 به‌طور معنی‌داری عملکرد را افزایش دهد و به همین جهت اثر متقابل آب و کود معنی‌دار نگردید. با توجه به کاهش معنی‌دار عملکرد در تیمار I_3 (قطع آب در مرحله گل‌دهی) مشخص می‌گردد که مرحله‌ی گل‌دهی حساس‌ترین مرحله به قطع آب در منطقه می‌باشد و این مطلب توسط مطالعات زیادی به اثبات رسیده است (Buller *et al.*, 1988؛ India Agro Net. ؛ Labhsetwar, 2004). هرچند که غلات در مرحله تشکیل گل و تقسیم میوزی برای تشکیل قسمت‌های مختلف گل حساسیت نشان می‌دهند 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 گل‌دهی باعث تأخیر در گل‌دهی و حتی بازدارندگی تشکیل گل می‌شود (Barnabas *et al.*, 2008). Evans *et al.* (1975) دلیل حساسیت مرحله گل‌دهی 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 گل‌دهی و بعد از آن بیشتر است. هر چند که برخی مطالعات نشان داده‌اند که مرحله‌ی توسعه‌ی ریشه که هم‌زمان با پنجه‌دهی و شروع ساقه‌دهی است هم از مراحل دیگر حساس به تنش آب است (Agarwal and Ikisan ؛Choudhary and Kumar, 1980 ؛Yadav, 1978 Singh *et* ؛Lal, 1985 ؛Agriinformatics and Services, 2018 *al.*, 1979). ولی با توجه به اینکه بارندگی‌های فصلی فروردین و اردیبهشت ماه در منطقه محل اجرای پژوهش با این مرحله از رشد گندم هم‌زمان 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 طویل شدن ساقه، گل‌دهی و پر شدن دانه عملکرد دانه را به ترتیب ۳۲، ۳۲ و ۳۵ درصد کاهش می‌دهد. آن‌ها اذعان 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 ساقه‌دهی و گل‌دهی بیشتر از واحد است (شکل۲ و جدول ۴)، در این مراحل گیاه نباید دچار تنش آبی شود. در نتیجه برای اعمال کم‌آبیاری،

www.SID.ir

Archive of SID

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؛ Singh and Kumar, 1981) 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 خوکی) 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 در صد 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 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. Pandy *et al.* (2001) نیز گزارش کردند که تنش آبی در مرحله گل‌دهی باعث کاهش عملکرد دانه به‌واسطه 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.

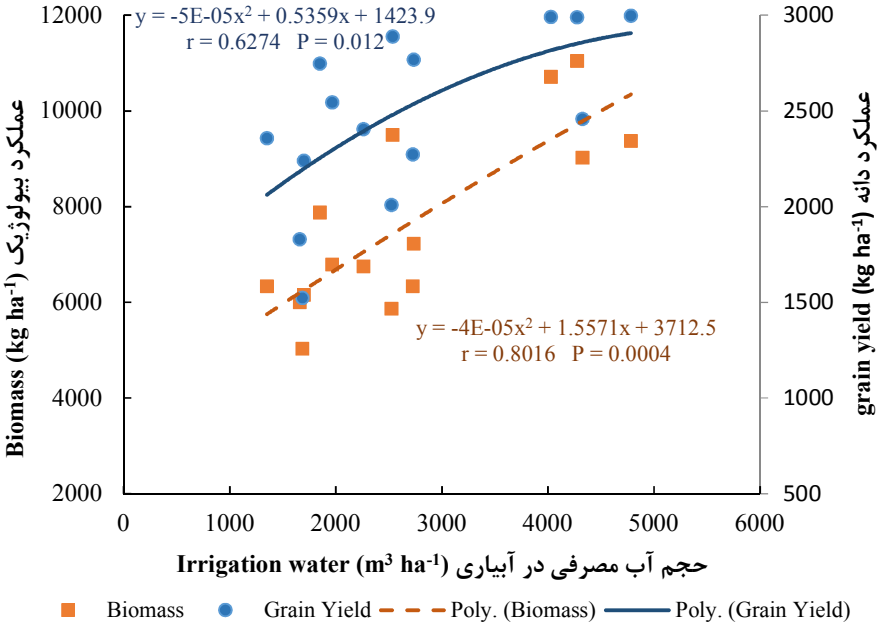
پروتئین: هر چندکه از نظر میزان پروتئین دانه اختلاف بین تیمارهای آبیاری معنی‌دار نگردید اما پژوهش‌های متعدد نشان داده‌اند که تنش آب در هنگام پر شدن دانه باعث افزایش پروتئین دانه می‌شود؛ به عنوان مثال Mirzaei *et al.* (2011) بیشترین و کمترین میزان پروتئین دانه را به ترتیب از تیمار تنش در مرحله پر شدن دانه 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

www.SID.ir

Archive of SID

میزان پروتئین دانه در تیمار I_3 از نظر عددی بیشتر از تیمارهای دیگر است (جدول ۵) و شاید اگر دقت پژوهش بیشتر از این می‌بود، احتمالاً اثر تیمار 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 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 لایسیمتری ۶۰۰ میلی‌متر (۶۰۰۰ مترمکعب بر هکتار) تعیین کردند که با مقدار به دست آمده در پژوهش حاضر کاملاً هم‌خوانی دارد.



شکل ۳- ارتباط بین آب مصرفی و عملکرد گندم

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. 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.

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.

www.SID.ir

Archive of SID

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 trimental 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.

www.SID.ir

Archive of SID

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.

www.SID.ir