



## به‌زرعی کشاورزی

دوره ۲۱ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۳۹۸

صفحه‌های ۲۸۸-۲۷۵

### تأثیر پلیمر سوپرجاذب و کود دامی بر کارایی مصرف آب ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.) در رژیم‌های مختلف آبیاری

اسماعیل قلی‌نژاد<sup>۱\*</sup>، علیرضا عیوضی<sup>۲</sup>

۱. دانشیار، گروه علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

۲. استادیار، بخش تحقیقات نهال و بذر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۱۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۱/۲۷

#### چکیده

به‌منظور بررسی اثر پلیمر سوپرجاذب و کود دامی بر کارایی مصرف آب ارقام گندم در شرایط مختلف کم آبی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی ساعتلوی استان آذربایجان غربی اجرا شد. فاکتور اول آبیاری در دو سطح شرایط مطلوب و تنش خشکی انجام شد و فاکتور دوم شامل سوپرجاذب به‌میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، کود دامی به‌میزان ۴۰ تن در هکتار، مصرف توأم آنها و عدم مصرف کود (شاهد) و فاکتور سوم شامل سه رقم گندم آبی (میهن، حیدری و زرینه) بود. نتایج نشان داد تنش خشکی در مقایسه با آبیاری مطلوب، عملکرد دانه، شاخص کلروفیل، شاخص برداشت و محتوای نسبی آب برگ را به‌ترتیب به‌میزان ۳۲، ۲۲، ۲۴ و ۱۹ درصد کاهش داد. مصرف جداگانه کود دامی، سوپرجاذب و مصرف توأم سوپرجاذب و کود دامی در مقایسه با شاهد، عملکرد دانه (۲۰، ۲۲ و ۳۳ درصد افزایش)، شاخص کلروفیل (۷، ۸ و ۱۴ افزایش)، شاخص برداشت (۸، ۱۰ و ۱۵ افزایش)، محتوای نسبی آب برگ (۱۲، ۱۳ و ۱۶ افزایش)، کارایی مصرف اقتصادی آب (۲۰، ۲۳ و ۳۵ افزایش) و کارایی مصرف بیولوژیک آب (۱۴، ۱۵ و ۲۴ افزایش) را افزایش داد. بیش‌ترین دمای برگ (۳۳/۱۰ درجه سانتی‌گراد) در شرایط تنش خشکی و عدم مصرف کود و کم‌ترین دمای برگ (۲۱/۹۹ درجه سانتی‌گراد) در شرایط آبیاری مطلوب و مصرف توأم سوپرجاذب و کود دامی به‌دست آمد. بیش‌ترین کارایی مصرف اقتصادی آب (۱۳۴ کیلوگرم بر مترمکعب) و کارایی مصرف بیولوژیک آب (۴/۱۰ کیلوگرم بر مترمکعب) در شرایط تنش خشکی و مصرف توأم سوپرجاذب و کود دامی مشاهده شد. در بین ارقام مورد مطالعه، رقم میهن از نظر عملکرد دانه، شاخص برداشت و محتوای نسبی آب برگ در هر دو شرایط رطوبتی برتر از دو رقم دیگر بود. بیش‌ترین عملکرد دانه و بیولوژیک در شرایط آبیاری مطلوب و مصرف توأم سوپرجاذب و کود دامی به‌دست آمد.

**کلیدواژه‌ها:** پرولین، دمای برگ، عملکرد دانه، محتوای نسبی آب برگ، نشت یونی.

### The Effect of Super Absorbent Polymer and Manure Fertilizer on Water Use Efficiency of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars under Different Irrigation Regimes

Esmaeil Gholinezhad<sup>1\*</sup>, Alireza Eivazi<sup>2</sup>

1. Associate Professor, Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran.

2. Assistant Professor, Seed and Plant, Department of Agricultural Research and Natural Resources of West Azarbaijan province, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Urmia, Iran.

Received: April 16, 2019

Accepted: May 8, 2019

#### Abstract

In order to investigate the effect of super absorbent polymer and manure fertilizer on water use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under different water deficit conditions, an experimental has been carried out in a factorial layout, based on randomized complete block design with three replications at the research field of West-Azerbaijan (Saatlo station) during 2017-2018. The first factor is irrigation in two levels: normal and drought stress conditions, with the second one being super absorbent polymer 200 kg ha<sup>-1</sup>, manure fertilizer 40 ton ha<sup>-1</sup>, their dual application, and the control (i.e., non-application fertilizer). As for the third factor, it deals with wheat cultivars (Mihan, Heidari, and Zarineh). Results indicate that drought stress, compared to normal irrigation, has reduced grain yield, chlorophyll index, harvest index, and relative water content by about 32%, 22%, 24%, and 19%, respectively. Separate applications of super absorbent polymer, manure fertilizer, and dual application of them lead to an increase in grain yield (by 20%, 22%, and 33%), chlorophyll index (by 7%, 8%, and 14%), harvest index (by 8%, 10%, and 15%), relative water content (by 12%, 13%, and 16%), economical water use efficiency (by 20%, 23%, and 35%), and biological water use efficiency (by 14%, 15%, and 24%), in comparison with the control. The highest leaf temperature (33.10 °C) is obtained under drought stress and no application of the fertilizer, while the lowest one (21.99 °C) belongs to favorable irrigation conditions along with dual application of super absorbent polymer and manure fertilizer. The highest economical and biological water use efficiency (1.34 kg m<sup>-3</sup> and 4.10 kg m<sup>-3</sup>, respectively) occur under drought stress conditions as well as dual application of super absorbent polymer, on one hand, and manure fertilizer, on the other. It turns out that Mihan is a superior cultivar for grain yield, harvest index, and relative water content, among all cultivars under two different moisture conditions. The highest grain and biological yields belong to favorable irrigation conditions and dual application of super absorbent polymer and manure fertilizer.

**Keywords:** Grain yield, ion leakage, leaf temperature, proline, leaf relative water content.

## ۱. مقدمه

در پژوهشی که تأثیر کاربرد پلیمر سوپرجاذب را بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد گندم در شرایط دیم بررسی نمودند، کاربرد سوپرجاذب باعث افزایش جذب آب توسط گیاه، افزایش محتوای نسبی آب و افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دانه گردید (Mortazavi *et al.*, 2016). به‌طور نسبی، در شرایط زراعی، افزایش کمبود آب سبب افزایش راندمان مصرف آب می‌شود. به‌عبارت دیگر در شرایط نزدیک به تنش کمبود آب، گیاه در مقایسه با شرایط آبی، نسبت به میزان آب مصرف‌شده محصول بیش‌تری تولید می‌کند (Shobeiri *et al.*, 2007).

گزارش شده است که اصلاح خاک با استفاده از کود دامی راهکار مفیدی برای کاهش مصرف کود شیمیایی و بهبود سامانه‌های کشاورزی محسوب می‌شود (Moradi-Ghahderijani *et al.*, 2017). با توجه به این‌که در مناطق خشک و نیمه‌خشک، تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش فتوسنتز و عملکرد گیاهان زراعی به‌شمار می‌رود، استفاده از روش‌های زراعی شامل مصرف کودهای آلی و یا بهبود شرایط زیستی خاک، می‌تواند در کاهش اثرات سوء تنش خشکی مؤثر واقع شود (Gholam-Hoseini *et al.*, 2013). نتایج سایر پژوهشگران بیانگر افزایش ارتفاع بوته، قطر ساقه، عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده و شاخص برداشت با کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار پلیمر سوپرجاذب بود (Robiul Islam *et al.*, 2011). سوپرجاذب با کاهش اثرات منفی تنش آبی بر گیاه، باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود بنابراین هر عاملی که باعث افزایش عملکرد دانه شود، بر کارایی مصرف آب نیز تأثیر مستقیم دارد (Fazeli Rostampoor *et al.*, 2011).

این تحقیق با هدف ارزیابی تأثیر پلیمر سوپرجاذب و کود دامی بر کارایی مصرف اقتصادی و بیولوژیک آب در ارقام گندم در شرایط مختلف کم آبی انجام گرفت.

گندم مهم‌ترین غلات در تغذیه انسان به‌شمار می‌رود که در سرتاسر جهان کشت می‌شود و با تولید سالانه بیش از ۶۰۰ میلیون تن، بعد از ذرت و برنج بیش‌ترین تولید را در دنیا به خود اختصاص داده است (Asseng *et al.*, 2011). در ایران نیز گندم از نظر سطح زیرکشت و تولید مهم‌ترین محصول زراعی است و به‌عنوان یک محصول استراتژیک با سطح زیر کشت بیش از ۶/۶ میلیون هکتار حدود نیمی از مساحت زمین‌های زراعی را به خود اختصاص داده است (Nakhjivani Moghadam *et al.*, 2010). تنش آب از یکسو باعث کاهش ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه شده و از سوی دیگر به دلیل بالا بودن قیمت آب، هزینه تولید را افزایش می‌دهد (Rosales *et al.*, 2012). گزارش شده است که تنش رطوبتی عملکرد دانه گندم زمستانه را کاهش داد؛ درحالی‌که کارایی مصرف آب در شرایط کم‌آبیاری به‌میزان قابل‌توجهی افزایش می‌یابد (Zhang *et al.*, 2006). تنش خشکی شدید در مقایسه با تیمار آبیاری مطلوب باعث کاهش عملکرد دانه به‌میزان تقریبی ۴۴ درصد گردید. با کاهش فواصل آبیاری، کارایی اقتصادی و بیولوژیکی مصرف آب افزایش یافت (Gholinezhad *et al.*, 2010). پلیمرهای سوپرجاذب از جنس هیدروکربن هستند، این مواد چندین برابر وزن خود آب را جذب و نگهداری می‌کنند که در اثر خشک شدن محیط، آب داخل پلیمر به‌تدریج تخلیه و به این ترتیب خاک به مدت طولانی و بدون نیاز به آبیاری مجدد، مرطوب می‌ماند (Widiastuti *et al.*, 2008). پلیمرهای سوپرجاذب باعث افزایش راندمان آب در خاک گشته و مقدار آبیاری را تا ۷۱ درصد کاهش می‌دهد (Nazarli *et al.*, 2010). افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک با استفاده از پلیمرهای آب‌دوست منجر به کاهش تلفات آب از طریق آبخسویی و بهبود کارایی استفاده از مصرف آب می‌شود (Nazarli *et al.*, 2010).

تأثیر پلیمر سوپرچاذب و کود دامی بر کارایی مصرف آب ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.) در رژیم‌های مختلف آبیاری

## ۲. مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی ساعتلوی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی با طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۲ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۴ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳۵۲ متر از سطح دریا واقع در ۲۵ کیلومتری ارومیه اجرا گردید. منطقه از نظر اقلیمی جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. با توجه به آمار هواشناسی بلندمدت در ارومیه، متوسط بارندگی سالیانه ۳۹۰ میلی‌متر، متوسط دما ۱۱/۳ درجه سانتی‌گراد و میانگین رطوبت نسبی ۷۵٪ می‌باشد. برخی از پارامترهای هواشناسی از کاشت تا برداشت در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در جدول ۱ ارائه گردیده است. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های

کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول در دو سطح، شرایط آبیاری مطلوب (آبیاری بعد از ۷۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A) و تنش خشکی (آبیاری بعد از ۲۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A) انجام شد. فاکتور دوم شامل سوپرچاذب به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، کود دامی به میزان ۴۰ تن در هکتار، مصرف توأم آنها و عدم مصرف کود (شاهد) و فاکتور سوم شامل سه رقم گندم آبی (میهن، حیدری و زرینه) بود. پس از شخم و آماده‌سازی زمین، کرت‌هایی به طول سه و عرض دو متر ایجاد شد و عملیات تسطیح صورت گرفت. بین کرت‌ها، حدود ۰/۵ متر به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شد. بین تیمار آبیاری مطلوب و تنش خشکی نیز فاصله ۴ متر منظور شد. خاک محل آزمایش دارای بافت لومی رسی، pH حدود ۷/۴۸ و هدایت الکتریکی حدود ۰/۹ دسی‌زیمنس بر متر بود (جدول ۲).

جدول ۱. شرایط اقلیمی شهرستان ارومیه در طی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶

عوامل اقلیمی	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر
میزان بارندگی (میلی‌متر)	۱/۰	۲۹/۳	۴۸/۳	۸/۴	۳۸/۵	۲۴/۶	۷۴/۱	۱۰۸/۱	۲۰/۲	۰/۰
حداکثر مطلق دما (درجه سانتی‌گراد)	۲۳/۸	۱۷/۹	۹/۳	۱۰/۷	۸/۵	۱۳/۹	۱۹/۴	۱۹/۹	۲۸/۴	۳۶/۷
حداقل مطلق دما (درجه سانتی‌گراد)	۸/۲	۷/۱	-۲/۰	۰/۴	-۱/۱	۴/۱	۶/۶	۸/۵	۱۲/۸	۱۸/۲
رطوبت حداکثر (%)	۵۱/۳	۷۳/۴	۷۸/۸	۷۲/۲	۸۰/۱	۷۴/۳	۶۸/۸	۸۳/۳	۶۹/۵	۴۲/۶
رطوبت حداقل (%)	۲۲/۶	۴۳/۱	۴۰/۸	۳۷/۸	۴۵/۷	۴۰/۸	۲۸/۵	۴۰/۴	۲۳/۷	۱۴/۱
ساعت آفتابی	۲۶۱/۳	۱۴۸/۲	۱۳۰/۴	۱۱۰/۲	۱۱۸/۶	۱۴۱/۰	۲۳۳/۶	۲۰۲/۲	۳۱۹/۸	۳۸۲/۳
تبخیر (میلی‌متر)	۱۳۲/۹	۷۸/۳	۰/۳	۰/۰	۰/۸	۲/۰	۹۷/۵	۱۱۹/۹	۲۲۸/۲	۳۱۲/۱
یخبندان (روز)	۸	۱۰	۲۱	۱۹	۱۵	۰	۲	۰	۰	۰

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر

عمق خاک (سانتی‌متر)	بافت خاک	EC (dS.m <sup>-1</sup> )	pH	درصد اشباع	آهک	رس	لای	شن	کربن آلی	نیترژن	فسفر	پتاسیم
				(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)
۰-۳۰	لومی رسی	۰/۹	۷/۴۸	۴۵	۱۶	۳۳	۳۸	۲۹	۱/۲۲	۰/۱۴	۱۳	۳۶۵

بزرگ‌راه کشاورزی

دوره ۲۱ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۳۹۸

وسط هر کرت ۱ مترمربع محصول برداشت شد و برای اندازه‌گیری صفات به آزمایشگاه منتقل شد. برای محاسبه عملکرد دانه و ماده خشک کل کرت بوته‌ها برداشت و توزین گردید. شاخص برداشت (عملکرد دانه در ۱۰۰ ضرب شده و سپس بر عملکرد بیولوژیک تقسیم گردید). محتوای نسبی آب برگ با استفاده از رابطه (۲) (Wikenz & Norfolk, 2010) محاسبه شد:

$$RWC = \frac{wf - wd}{ws - wd} \times 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن:  $RWC$  = محتوای نسبی آب برگ،  $Wf$  = وزن تر برگ،  $Wd$  = وزن خشک برگ،  $Ws$  = وزن اشباع برگ می‌باشد. برای تعیین شاخص کلروفیل (SPAD) تعداد پنج برگ از هر کرت به‌طور تصادفی با دستگاه کلروفیل‌سنج (مدل Minolta، ساخت کشور ژاپن) اندازه‌گیری شد و سپس میانگین آنها به‌دست آمد.

برای اندازه‌گیری محتوای پرولین، ۰/۲ گرم ماده تر گیاهی با هاون خرد شده و درون لوله آزمایش ریخته شد، سپس ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۰/۳٪ به آن اضافه شد و نمونه‌ها درون یخ قرار داده شد. پس از سانتریفیوژ در ۱۵۰۰۰ دور به‌مدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد، مقدار ۲ میلی‌لیتر از عصاره حاصل با ۲ میلی‌لیتر نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسیداستیک گلاسیال مخلوط شد. نمونه‌ها پس از قرارگیری در حمام آب گرم ۸۰ درجه به‌مدت ۱ ساعت درون یخ سرد شدند. مقدار ۴ میلی‌لیتر تولوئن به محلول لوله‌ها اضافه و به‌مدت ۲۰ ثانیه با دستگاه ورتکس به‌هم زده شد. پس از اندازه‌گیری جذب محلول‌ها در طول موج ۵۲۰ نانومتر منحنی استاندارد رسم و معادله خط تعیین شد. با قراردادن جذب نمونه‌ها در معادله خط، محتوای پرولین محاسبه شد (در طول آزمایش نمونه‌ها در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد) (Bates et al., 1973). برای رسم منحنی استاندارد از پرولین استفاده شد.

۸۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل، ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات منگنز و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات روی بر اساس آزمون تجزیه خاک به‌طور یکنواخت در سطح مزرعه پخش گردید. در تیمار کودی شاهد به کرت‌ها هیچ کودی اضافه نگردید.

عملیات کاشت در نیمه اول آبان‌ماه با تراکم ۴۵۰ بذر در هر مترمربع به‌صورت هیرم‌کاری صورت گرفت. هفته آخر فروردین ماه با علف‌کش توفوردی با علف‌های هرز مبارزه شد. یک بار هم وجین دستی در تاریخ نیمه اول اردیبهشت‌ماه انجام گرفت. کود اوره در سه نوبت در مراحل پیش از کاشت، ساقه‌دهی و سنبله‌دهی به‌میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار مصرف شد. تیمارهای آبیاری از اول اردیبهشت‌ماه سال ۱۳۹۷ اعمال شد حجم آب آبیاری از طریق کنتور محاسبه شد. روش آبیاری با استفاده از لوله‌های پلی‌اتیلنی سه اینچی انجام گرفت. مقدار آب آبیاری برای هر کرت از طریق رابطه (۱) محاسبه شد:

$$I = W \times D \times f \times 10000 \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در این معادله:  $I$  = مقدار آبی است که باید در هر نوبت آبیاری داده شود (بر حسب مترمکعب در هکتار)،  $W$  = توانایی ذخیره آب هر مترمکعب خاک (در خاک لومی رسی، ۰/۱۶ بود)،  $D$  = عمق توسعه ریشه یا مقدار عمق موردنظر برای خیس کردن خاک که بهتر است ۲۰ سانتی‌متر بیش‌تر از عمق توسعه ریشه باشد (بر حسب متر). در این آزمایش ۰/۶ متر در نظر گرفته شد.  $f$  = ضریب آب سهل الوصول که گیاه می‌تواند به راحتی آب را از خاک توسط ریشه جذب کند. در این آزمایش ۰/۶ در نظر گرفته شد. عدد ۱۰۰۰۰ هم برای تبدیل معادله به مترمکعب در هکتار است (TayfeRezaei, 2014). تعداد سه نوبت آبیاری برای تیمار آبیاری مطلوب و یک نوبت آبیاری برای تنش خشکی انجام گرفت. برداشت در نیمه اول تیرماه سال ۱۳۹۷ صورت گرفت. برای این منظور از

آبیاری مطلوب و کم‌ترین عملکرد دانه (۴۷۹۰ کیلوگرم بر هکتار) در شرایط تنش خشکی به‌دست آمد. تنش خشکی در مقایسه با آبیاری مطلوب، عملکرد دانه را به‌میزان ۳۲ درصد کاهش داد. مصرف جداگانه کود دامی، سوپرجاذب و مصرف توأم سوپرجاذب و کود دامی در مقایسه با شاهد، عملکرد دانه را به‌ترتیب به‌میزان ۲۰، ۲۲ و ۳۳ درصد افزایش داد. گزارش شده است که کاربرد سوپرجاذب به‌میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد سوپرجاذب) در گیاه گندم سبب افزایش میزان عملکرد دانه به‌میزان ۸/۵ درصد شد (Abedini & Sajedi, 2015). رقم میهن بیش‌ترین عملکرد دانه (۶۳۹۸ کیلوگرم در هکتار) را تولید کرد (جدول ۴). بیش‌تر بودن عملکرد دانه در تیمار کود دامی در این پژوهش می‌تواند به‌دلیل فراهمی بیش‌تر نیتروژن تا انتهای رشد و رهاسازی تدریجی آن و تطابق آن با نیازهای گیاه باشد (Moradi-Ghahderijani et al., 2017).

### ۲.۳. شاخص کلروفیل

نتایج مقایسه میانگین نشان داد تنش خشکی در مقایسه با آبیاری مطلوب، شاخص کلروفیل را ۲۲ درصد کاهش داد (جدول ۴). در شرایط آبیاری مطلوب، بین ارقام مختلف گندم از نظر شاخص کلروفیل تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. تخریب غشاهای تیلاکوئید کلروپلاست و اکسیداسیون نوری کلروفیل در اثر گونه‌های فعال اکسیژن و افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز از جمله دلایل کاهش کلروفیل در شرایط تنش خشکی گزارش شده است (Alonso et al., 2001). مصرف جداگانه کود دامی، سوپرجاذب و مصرف توأم سوپرجاذب و کود دامی در مقایسه با شاهد، شاخص کلروفیل را به‌ترتیب به‌میزان ۸، ۸ و ۱۴ درصد افزایش داد (جدول ۴). در نتایج سایر پژوهشگران نیز بالاترین شاخص کلروفیل با مصرف ۴۵

دمای داخلی برگ در مزرعه در ساعت‌های ۱۲ تا ۱۴ با استفاده از دماسنج مادون قرمز مدل ۸۸۸۹ ساخت کارخانه AZ تایوان اندازه‌گیری شد (Singh et al., 1985). برای سنجش میزان نشت الکترولیت<sup>۱</sup> برگ، نمونه‌های برگ تازه برداشت‌شده ۳ بار با آب مقطر شسته شد تا الکترولیت‌های چسبیده به سطح برگ از بین بروند. ۰/۱ گرم از برگ برداشته شد و در داخل آب مقطر به‌مدت یک ساعت قرار داده شد (داخل آنکوباتور و دمای ثابت). هدایت الکتریکی آن با هدایت سنج اندازه‌گیری شد ( $L_1$ ). سپس محلول به‌مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم (بن‌ماری) در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و هدایت الکتریکی آن مجدداً تعیین شد ( $L_2$ ). نشت الکترولیت برگ از رابطه (۳) محاسبه گردید (Bai et al., 1996):

$$EL = \frac{L_1}{L_2} \times 100 \quad \text{رابطه ۳}$$

کارایی مصرف اقتصادی آب (عملکرد دانه بر آب مصرفی (آب آبیاری + بارندگی مؤثر) هر تیمار برحسب مترمکعب در هکتار تقسیم گردید). کارایی مصرف بیولوژیک آب (عملکرد بیولوژیک بر آب مصرفی (آب آبیاری + بارندگی مؤثر) هر تیمار برحسب مترمکعب در هکتار تقسیم گردید). برای محاسبه به‌میزان بارندگی مؤثر از نرم‌افزار Cropwat 8 استفاده شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار رایانه‌ای SAS (9.1)، MSTATC و مقایسه میانگین‌ها نیز توسط آزمون توکی در سطح ۵ درصد صورت پذیرفت.

### ۳. نتایج و بحث

#### ۱. عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس تأثیر آبیاری، سوپرجاذب و رقم بر صفات مختلف در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد بیش‌ترین عملکرد دانه (۶۹۸۰ کیلوگرم بر هکتار) از

1. Electrolyte leakage

شرایط تنش خشکی باشد (Mortazavi et al., 2016). سایر پژوهشگران نشان دادند با کاهش میزان آبیاری، شاخص کلروفیل کاهش یافت و با افزایش میزان سوپرژادب در خاک میزان شاخص کلروفیل افزایش یافت (Fazeli Rostampoor & Mohebbian, 2012).

کیلوگرم در هکتار سوپرژادب به مقدار ۲۹/۷۹ به‌دست آمد که نسبت به شاهد ۳۱/۸ درصد افزایش داشت (Mortazavi et al., 2016). به‌نظر می‌رسد افزایش محتوای کلروفیل با کاربرد مقادیر بالاتر سوپرژادب بدلیل فراهمی آب و افزایش جذب نیتروژن توسط گیاه در

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات مختلف ارقام گندم با کاربرد سوپرژادب و کود دامی در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی

میانگین مربعات											
منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت	شاخص کلروفیل	دمای داخلی برگ	پرولین	درصد نشت یونی	محتوای نسبی آب برگ	کارایی مصرف اقتصادی آب	کارایی مصرف بیولوژیک آب
بلوک	۲	۲۱۳۴۵۶۶/۷۹**	۱۱۷۵۵۲۷/۰۰ns	۵۴/۹۹**	۱/۳۳ns	۶/۳۸ns	۴۱۰/۱۹ns	۶/۲۴ns	۲۲/۸۷**	۰/۱۰**	۰/۰۴ns
آبیاری (I)	۱	۸۶۳۱۰۶۳۸/۵۶**	۶۳۳۲۲۴۷/۰۰**	۱۵۷۴/۰۷**	۲۱۶۰/۴۳**	۳۹۰/۵۰**	۸۶۶۵۲/۸۴**	۵۱۰۵/۵۵**	۲۰۷۷/۹۷**	۰/۰۶**	۱۷/۷۷**
سوپرژادب (S)	۳	۱۶۱۲۱۱۶۵/۱۶**	۵۴۳۲۰۲۸۸۷**	۸۵/۵۴**	۱۲۸/۵۹**	۹۸/۴۲**	۲۳۸۴۲/۵۵**	۲۵۷۹/۳۳**	۲۳/۱۳**	۰/۵۷**	۲/۰۶**
رقم (C)	۲	۵۴۳۱۴۶۹/۰۷**	۴۰۶۷۱۸۰۴/۰۰**	۳۷۳/۶۱**	۷۴/۸۰**	۱/۳۵ns	۷۶۹۰۰/۵۶**	۶۳۸/۵۵**	۱۱/۲۶ns	۰/۱۸**	۱/۲۸**
I × S	۳	۲۸۹۴۸۴/۶۰ns	۱۳۱۰۰۲۲/۸۰ ns	۲/۵۴ ns	۰/۳۹ ns	۵۲/۲۶**	۳۲۳/۷۹ ns	۱۰۸۷/۱۶**	۴/۹۵ns	۰/۰۲*	۰/۲۱**
I × C	۲	۷۴۶۸۸/۶۰ ns	۴۱۷۲۷۹۳/۵*	۱۴/۱۲ ns	۵۹/۰۳**	۱۰/۸۳*	۱۴۰۸۲/۰۱**	۳۲۶/۸۹**	۲۱۳/۶۰**	۰/۰۰۳ns	۰/۰۱۹ ns
S × C	۶	۲۶۳۱۱۰/۷۸ ns	۴۳۵۵۰۰۵/۱۰**	۴/۲۷ ns	۵/۵۷ ns	۱/۰۴ ns	۲۴۳/۴۲ ns	۲۰۳/۵۹**	۳۰/۶۱**	۰/۰۰۹ ns	۰/۱۸**
I × S × C	۶	۱۲۵۰۶۲/۷۷ ns	۷۵۸۰۶۵/۱ ns	۸/۰۱ ns	۵/۵۸ ns	۲/۱۹ ns	۹۴۹/۸۴**	۲۴۵/۶۲**	۱۹/۹۷**	۰/۰۰۳ns	۰/۰۶ ns
خطای آزمایشی	۴۶	۲۶۷۰۰۲/۵	۱۰۸۶۱۲۴/۰۰	۶/۰۲	۴/۶۶	۲/۹۲	۳۱۷/۵۲	۲۸/۲۳	۴/۱۴	۰/۰۰۹۸	۰/۰۴
ضریب تغییرات (%)	-	۸۷۷	۶/۲۵	۶/۹۹	۴/۸۴	۶/۸۰	۳/۱۶	۴/۸۳	۳/۸۷	۹/۱۸	۶/۴۳

ns و \*، \*\*، \*\*\* اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵٪ و نبود اختلاف معنی‌دار.

جدول ۴. مقایسه میانگین اثرات ساده آبیاری، کود و رقم بر صفات مورد مطالعه

تیمار	عملکرد دانه (kg.ha <sup>-1</sup> )	شاخص کلروفیل	شاخص برداشت (%)	کارایی مصرف اقتصادی آب (kg.m <sup>-3</sup> )
آبیاری مطلوب	۶۹۸۰ a	-	۳۹/۷۳ a	-
تنش خشکی	۴۷۹۰ b	-	۳۰/۲۸ b	-
۱	۴۷۰۱ c	۴۲/۱۵ c	۳۲/۲۳ c	-
۲	۵۸۱۷ b	۴۵/۵۲ b	۳۴/۸۵ b	-
۳	۶۰۱۱ b	۴۵/۷۸ b	۳۵/۶۴ ab	-
۴	۷۰۱۰ a	۴۸/۶۸ a	۳۷/۴۸ a	-
میهن	۶۶۳۶ a	-	۳۹/۳۲ a	۱/۱۷ a
حیدری	۵۷۹۱ b	-	۳۱/۵۳ c	۱/۰۶ b
زربنه	۵۹۵۷ b	-	۳۴/۳۱ b	۱/۰۰ c

۱: عدم مصرف کود، ۲: کود دامی ۴۰ تن در هکتار، ۳: سوپرژادب ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، ۴: سوپرژادب ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و کود دامی ۴۰ تن در هکتار. در هر ستون تفاوت بین دو میانگین که یک حرف مشترک دارند بر اساس آزمون توکی از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیست.

تأثیر پلیمر سوپرجاذب و کود دامی بر کارایی مصرف آب ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.) در رژیم‌های مختلف آبیاری

### ۳.۳. شاخص برداشت

نتایج نشان داد بیش‌ترین شاخص برداشت (۳۹/۷۳) درصد) از آبیاری مطلوب و کم‌ترین شاخص برداشت (۳۰/۳۸ درصد) در شرایط تنش خشکی به‌دست آمد. تنش خشکی در مقایسه با آبیاری مطلوب، شاخص برداشت را به‌میزان ۲۴ درصد کاهش داد. دلیل کاهش شاخص برداشت در شرایط تنش خشکی به حساسیت بیش‌تر رشد زایشی نسبت به شرایط نامطلوب در مقایسه با رشد رویشی نسبت داده شده است. کاهش شاخص برداشت توسط تنش خشکی در گیاه گندم توسط سایر پژوهشگران هم گزارش شده است (Abdoli & Saeidi, 2012). مصرف جداگانه کود دامی، سوپرجاذب و مصرف توأم سوپرجاذب و کود دامی در مقایسه با شاهد، شاخص برداشت را به‌ترتیب به‌میزان ۸، ۱۰ و ۱۵ درصد افزایش داد. رقم میهن بیش‌ترین (۳۹/۳۲ درصد) شاخص برداشت را تولید کرد (جدول ۴). مقادیر بالای شاخص برداشت در یک رقم می‌تواند عملکرد بالا را در شرایط تنش خشکی را موجب گردد ارقامی از گندم که دارای شاخص برداشت بالایی هستند دارای عملکرد دانه بالا در شرایط آبیاری

نرمال و تنش خشکی خواهند بود (Abdoli & Saeidi, 2012).

### ۴.۳. کارایی مصرف اقتصادی آب

نتایج نشان داد بیش‌ترین کارایی مصرف اقتصادی آب (۱/۳۴ کیلوگرم بر مترمکعب) از تنش خشکی و مصرف توأم کود دامی و پلیمر سوپرجاذب و کم‌ترین کارایی مصرف اقتصادی آب (۰/۸۷ کیلوگرم بر مترمکعب) در شرایط آبیاری مطلوب و عدم مصرف کود دامی و سوپرجاذب (شاهد) به‌دست آمد (جدول ۵). در شرایط آبیاری مطلوب، مصرف جداگانه کود دامی، سوپرجاذب و مصرف توأم سوپرجاذب و کود دامی در مقایسه با شاهد، کارایی مصرف اقتصادی آب را به‌ترتیب به‌میزان ۱۴، ۱۹ و ۳۰ درصد افزایش داد. همچنین در شرایط تنش خشکی، مصرف جداگانه کود دامی، سوپرجاذب و کاربرد توأم کود دامی و سوپرجاذب در مقایسه با شاهد (عدم مصرف) کارایی مصرف اقتصادی آب را به‌ترتیب به‌میزان ۲۷، ۲۶ و ۳۹ درصد افزایش داد (جدول ۵).

جدول ۵. مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری و کود بر صفات مورد مطالعه

تیمار (آبیاری × کود)	دمای داخلی برگ (°C)	کارایی مصرف اقتصادی آب (kg.m <sup>-3</sup> )	کارایی مصرف بیولوژیک آب (kg.m <sup>-3</sup> )
۱	۲۳/۵۷ cd	۰/۸۷ de	۲/۳۵ f
۲	۲۲/۹۳ d	۱/۰۱ cd	۲/۶۰ ef
۳	۲۲/۷۳ d	۱/۰۷ c	۲/۶۶ de
۴	۲۱/۹۹ d	۱/۲۳ ab	۲/۹۳ cd
۱	۳۳/۱۰ a	۰/۸۳ e	۳/۰۳ c
۲	۲۷/۴۶ b	۱/۱۳ bc	۳/۷۲ b
۳	۲۵/۵۶ bc	۱/۱۲ bc	۳/۶۷ b
۴	۲۳/۷۳ cd	۱/۳۴ a	۴/۱۰ a

۱: عدم مصرف کود، ۲: کود دامی ۴۰ تن در هکتار، ۳: سوپرجاذب ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، ۴: سوپرجاذب ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و کود دامی ۴۰ تن در هکتار. در هر ستون تفاوت بین دو میانگین که یک حرف مشترک دارند بر اساس آزمون توکی از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیست.

### ۳.۵. کارآیی مصرف بیولوژیک آب

نتایج نشان داد بیش‌ترین کارآیی مصرف بیولوژیک آب (۴/۱۰ کیلوگرم بر مترمکعب) از تنش خشکی و مصرف توأم کود دامی و پلیمر سوپرجاذب و کم‌ترین کارآیی مصرف بیولوژیک آب (۲/۳۵ کیلوگرم بر مترمکعب) در شرایط آبیاری مطلوب و عدم مصرف کود دامی و سوپرجاذب (شاهد) به‌دست آمد. در شرایط آبیاری مطلوب، مصرف جداگانه کود دامی، سوپرجاذب و مصرف توأم سوپرجاذب و کود دامی در مقایسه با شاهد، کارآیی مصرف بیولوژیک آب را به‌ترتیب به‌میزان ۱۰، ۱۲ و ۲۰ درصد افزایش داد.

در شرایط تنش خشکی، مصرف جداگانه کود دامی، سوپرجاذب و کاربرد توأم کود دامی و سوپرجاذب در مقایسه با شاهد (عدم مصرف) کارآیی مصرف بیولوژیک آب را به‌ترتیب به‌میزان ۱۹، ۱۸ و ۲۷ درصد افزایش داد (جدول ۵). بیش‌ترین کارآیی مصرف بیولوژیک آب (۳/۸۱ کیلوگرم بر مترمکعب) از رقم حیدری و مصرف توأم کود دامی و پلیمر سوپرجاذب و کم‌ترین کارآیی مصرف بیولوژیک آب (۲/۴۴ کیلوگرم بر مترمکعب) از رقم زرینه و عدم مصرف کود دامی و پلیمر سوپرجاذب به‌دست آمد (جدول ۷). در آزمایشی بیان گردید که در شرایط تنش خشکی بالاترین مقدار کارآیی مصرف بیولوژیک آب در ارقام سویا به‌دست آمد (Madanzadeh *et al.*, 2016). با افزایش تنش خشکی، کارآیی مصرف بیولوژیک آب بیش‌تر شد که دلیل آن را می‌توان به کاهش آب مصرفی در شرایط تنش خشکی ارتباط داد و کاربرد کود دامی و سوپرجاذب به‌دلیل کاهش آب مصرفی سبب افزایش کارآیی مصرف بیولوژیک آب شد این نتایج با یافته‌های سایر پژوهشگران مطابقت داشت (Asvadi *et al.*, 2019). افزایش کارآیی مصرف بیولوژیک آب در شرایط تنش خشکی در مقایسه با شرایط آبیاری مطلوب،

در بسیاری از مطالعات گذشته گزارش شده است (Kafi & Panahi, 2013).

### ۳.۶. دمای داخلی برگ

بررسی اثر برهمکنش تیمار آبیاری و سوپرجاذب نشان داد بیش‌ترین دمای داخلی برگ در شرایط تنش خشکی و عدم مصرف کود دامی و سوپرجاذب (شاهد) حاصل شد. کمترین دمای داخلی برگ در شرایط آبیاری مطلوب و مصرف توأم کود دامی و پلیمر سوپرجاذب به‌دست آمد (جدول ۵). در هر دو شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی، مصرف کود دامی و پلیمر سوپرجاذب باعث کاهش دمای داخلی برگ شد. در شرایط آبیاری مطلوب، مصرف جداگانه کود دامی، پلیمر سوپرجاذب و مصرف توأم کود دامی و پلیمر سوپرجاذب در مقایسه با شاهد (عدم مصرف)، دمای داخلی برگ را به‌ترتیب به‌میزان ۳، ۴ و ۷ درصد کاهش داد. همچنین در شرایط تنش خشکی، مصرف جداگانه کود دامی، پلیمر سوپرجاذب و مصرف توأم کود دامی و پلیمر سوپرجاذب در مقایسه با شاهد (عدم مصرف)، دمای داخلی برگ را به‌ترتیب به‌میزان ۱۸، ۲۳ و ۲۹ درصد کاهش داد.

به‌نظر می‌رسد تأثیر مصرف کود دامی و پلیمر سوپرجاذب در کاهش دمای داخلی برگ در شرایط تنش خشکی بهتر از شرایط آبیاری مطلوب بوده است. مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری و رقم نیز نشان داد بیش‌ترین دمای داخلی برگ در شرایط تنش خشکی و رقم حیدری به‌دست آمد، در این شرایط بین ارقام مختلف گندم از نظر دمای داخلی برگ تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۶).

در آزمایشی مشاهده شد که تنش خشکی باعث افزایش دمای کانوپی گیاه گندم شد (Ahmadi Larjani & Imam, 2014).



تأثیر پلیمر سوپرجاذب و کود دامی بر کارایی مصرف آب ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.) در رژیم‌های مختلف آبیاری

جدول ۶. مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری و رقم بر صفات مورد مطالعه

عملکرد بیولوژیک (kg.ha <sup>-1</sup> )	دمای داخلی برگ (°C)	شاخص کلروفیل	تیمار (آبیاری × رقم)
۱۶۹۳۲ b	۲۲/۵۵ b	۵۰/۰۵ a	میهن
۱۹۵۵۰ a	۲۲/۴۵ b	۵۱/۹۶ a	آبیاری مطلوب × حیدری
۱۶۳۱۷ bc	۲۳/۴۱ b	۵۱/۰۲ a	زرینه
۱۵۲۹۹ c	۲۷/۳۷ a	۴۱/۱۵ b	میهن
۱۶۷۴۷ b	۲۸/۳۶ a	۴۲/۵۷ b	تنش خشکی × حیدری
۱۵۱۳۰ c	۲۶/۶۵ a	۳۶/۴۵ c	زرینه

در هر ستون تفاوت بین دو میانگین که یک حرف مشترک دارند بر اساس آزمون توکی از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیست.

آبیاری مطلوب حاصل شد (جدول ۶) همچنین رقم حیدری بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک را در شرایط مصرف توأم کود دامی و سوپرجاذب (۲۰۲۶۶ کیلوگرم در هکتار) تولید کرد (جدول ۷). تنش خشکی در مقایسه با آبیاری مطلوب مقدار عملکرد بیولوژیک کلیه ارقام گندم را ۱۱ درصد کاهش داد (جدول ۶). کاهش سطح فتوسنتزکننده و همچنین کاهش میزان فتوسنتز بر اثر تنش خشکی باعث کاهش تجمع ماده خشک و کاهش عملکرد بیولوژیک در پایان دوره رشد گیاه می‌شود (Mortazavi et al., 2016).

مصرف جداگانه کود دامی، پلیمر سوپرجاذب و کاربرد توأم آنها در مقایسه با شاهد (عدم مصرف کود دامی و سوپرجاذب) مقدار عملکرد بیولوژیک کلیه ارقام گندم را به ترتیب ۳۸، ۳۹ و ۴۴ درصد افزایش داد (جدول ۷). تحقیقات مختلف نشان داده است کاربرد پلیمر سوپرجاذب باعث افزایش عملکرد بیولوژیک شده است (Kazemi et al., 2017). افزایش در عملکرد بیولوژیک می‌تواند نتیجه افزایش قابلیت نگهداری آب و برخی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در خاک در اثر مصرف پلیمر سوپرجاذب باشد. سوپرجاذب می‌تواند عناصری مانند آهن، روی، فسفر و نیتروژن را در خود نگه دارند و از آبشویی و هدر رفتن آنها جلوگیری کنند (Pouresmaeil, 2006).

یکی از مکانیسم‌های خنک‌کننده گیاه تعرق است در شرایط مطلوب، روزنه‌های گیاه باز است و گیاه همزمان با انجام فتوسنتز، تعرق نیز انجام می‌دهد و نتیجه این کار خنک‌شدن گیاه و تولید ماده خشک است ولی در شرایط تنش خشکی، گیاه برای این‌که آب کم‌تری از دست بدهد روزنه‌های خود را می‌بندد و باعث می‌شود فرآیند تعرق انجام نگیرد و به تدریج دمای گیاه بالاتر می‌رود و فتوسنتز گیاه محدود می‌شود (Flexas & Medrano, 2002)، در چنین شرایطی کاهش قدرت تولیدی گیاه دور از انتظار نیست. بیش‌ترین دما (۳۶/۹ درجه سانتی‌گراد) مربوط به دور آبیاری ده روز بود و کم‌ترین دمای کانوپی (۳۴/۶ درجه سانتی‌گراد) مربوط به تیمار بدون سوپرجاذب با دور آبیاری چهارده روز بود. به نظر می‌رسد که خشکی با تأثیر بر هدایت روزنه‌ای سبب کاهش آب درون‌بافتی برگ‌ها شد که این کاهش آب در گیاه سبب افزایش دمای کانوپی می‌شود و با افزایش فواصل آبیاری دمای کانوپی نیز افزایش می‌یابد (Jahan et al., 2014).

### ۳.۷. عملکرد بیولوژیک

بررسی اثرات برهمکنش دوگانه آبیاری × رقم و سوپرجاذب × رقم نشان داد بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک از رقم حیدری (۱۹۵۵۰ کیلوگرم بر هکتار) در شرایط

جدول ۷. مقایسه میانگین برهمکنش کود و رقم بر صفات مورد مطالعه

تیمار (کود × رقم)	عملکرد بیولوژیک (kg.ha <sup>-1</sup> )	کارایی مصرف بیولوژیک آب (kg.m <sup>-3</sup> )
میهن	۱۵۲۷۸ d	۲/۸۸ d
۱ × حیدری	۱۴۹۸۲ de	۲/۷۶ de
زربینه	۱۳۰۱۶ e	۲/۴۴ e
میهن	۱۵۳۶۹ d	۲/۸۹ d
۲ × حیدری	۱۸۷۰۲ ab	۳/۵۳ ab
زربینه	۱۶۰۹۲ cd	۳/۰۵ cd
میهن	۱۵۸۹۸ cd	۲/۹۹ cd
۳ × حیدری	۱۸۶۴۳ ab	۳/۴۹ ab
زربینه	۱۵۹۷۱ cd	۳/۰۲ cd
میهن	۱۷۹۱۷ bc	۳/۳۷ bc
۴ × حیدری	۲۰۲۶۶ a	۳/۸۱ a
زربینه	۱۷۸۱۵ bc	۳/۳۷ bc

۱: عدم مصرف کود، ۲: کود دامی ۴۰ تن در هکتار، ۳: سوپرچادب ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، ۴: سوپرچادب ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و کود دامی ۴۰ تن در هکتار. در هر ستون تفاوت بین دو میانگین که یک حرف مشترک دارند بر اساس آزمون توکی از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیست.

### ۸.۳. پرولین

بیش‌ترین محتوای پرولین از رقم میهن (۷۲۷/۳۳ میلی‌مول در کیلوگرم وزن خشک برگ) در شرایط تنش خشکی و مصرف توأم کود دامی و پلیمر سوپرچادب حاصل شد (جدول ۸). تنش خشکی در مقایسه با آبیاری مطلوب، محتوای پرولین کلیه ارقام گندم را ۱۲ درصد افزایش داد (جدول ۸). در شرایط آبیاری مطلوب، مصرف جداگانه کود دامی، سوپرچادب و کاربرد توأم کود دامی و سوپرچادب در مقایسه با شاهد (عدم مصرف) محتوای پرولین را به‌ترتیب به‌میزان ۴، ۹ و ۱۴ درصد افزایش داد. همچنین در شرایط تنش خشکی، مصرف جداگانه کود دامی، سوپرچادب و کاربرد توأم کود دامی و سوپرچادب در مقایسه با شاهد (عدم مصرف) محتوای پرولین را به‌ترتیب به‌میزان ۵، ۱۱ و ۱۵ درصد افزایش داد (جدول ۸). به‌نظر می‌رسد تأثیر مصرف جداگانه کود دامی،

سوپرچادب و کاربرد توأم کود دامی و سوپرچادب در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط آبیاری مطلوب در افزایش محتوای پرولین مؤثرتر بوده است. پرولین یکی از ترکیبات محافظت‌کننده غشاهای سلولی است که در مقابله با تنش خشکی بیش‌تر تجمع کرده و در کاهش اثرات منفی کمبود آب نقش دارد (Verbruggen & Hermans, 2008). در تنش‌های شدید خشکی (آبیاری پس از ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) با افزایش غلظت پلیمرها، میزان پرولین به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت (Razban & Pirzad, 2012).

### ۹.۳. نشت یونی

بیش‌ترین نشت یونی از رقم میهن (۱۷۵/۹ درصد) در شرایط تنش خشکی و عدم مصرف کود دامی و پلیمر سوپرچادب (شاهد) حاصل شد (جدول ۸). تنش خشکی

تأثیر پلیمر سوپرچاذب و کود دامی بر کارایی مصرف آب ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.) در رژیم‌های مختلف آبیاری

آمد و کم‌ترین نشت یونی با میانگین ۴۱/۹۱ درصد از تیمار ۳۰ کیلوگرم در هکتار سوپرچاذب به‌دست آمد (Abedini & Sajedi, 2015). به‌نظر می‌رسد با مصرف سوپرچاذب و تأمین رطوبت بیش‌تر برای گیاه از بسته‌شدن روزنه‌ها و تولید عوامل آسیب‌زا از قبیل رادیکال‌های آزاد جلوگیری به‌عمل آمده است لذا، آسیب به غشا در مصرف سطوح بالاتر سوپرچاذب کاهش می‌یابد.

### ۱۰.۳. محتوای نسبی آب برگ

بیش‌ترین محتوای نسبی آب برگ از رقم میهن (۶۴/۴۰ درصد) در شرایط آبیاری مطلوب و مصرف توأم کود دامی و پلیمر سوپرچاذب حاصل شد (جدول ۸). تنش خشکی در مقایسه با آبیاری مطلوب، محتوای نسبی آب برگ کلیه ارقام گندم را ۱۹ درصد کاهش داد (جدول ۸).

در مقایسه با آبیاری مطلوب، نشت یونی کلیه ارقام گندم را ۱۵ درصد افزایش داد (جدول ۸). در شرایط آبیاری مطلوب، مصرف جداگانه کود دامی، سوپرچاذب و کاربرد توأم کود دامی و سوپرچاذب در مقایسه با شاهد (عدم مصرف) نشت یونی را به‌ترتیب به‌میزان ۶، ۶ و ۱۲ درصد کاهش داد.

در شرایط تنش خشکی، مصرف جداگانه کود دامی، سوپرچاذب و کاربرد توأم کود دامی و سوپرچاذب در مقایسه با شاهد (عدم مصرف) نشت یونی را به‌ترتیب به‌میزان ۲۴، ۲۷ و ۳۰ درصد کاهش داد (جدول ۸). به‌نظر می‌رسد تأثیر مصرف جداگانه کود دامی، سوپرچاذب و کاربرد توأم کود دامی و سوپرچاذب در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط آبیاری مطلوب در کاهش نشت یونی مؤثرتر بوده است. بیش‌ترین نشت یونی با میانگین ۴۳/۷۱ درصد از تیمار عدم مصرف سوپرچاذب به‌دست

جدول ۸. مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری × کود × رقم بر صفات مورد مطالعه در گندم

تیمار (کود × رقم)	پرویلین (mmol.kg <sup>-1</sup> DW)		نشت یونی (%)		محتوای نسبی آب برگ (%)	
	آبیاری مطلوب	تنش خشکی	آبیاری مطلوب	تنش خشکی	آبیاری مطلوب	تنش خشکی
میهن	۵۳۴/۱۶ f-i	۶۳۷/۰۰ cd	۱۰۸/۳ c-g	۱۷۵/۹ a	۵۵/۵۳ c-g	۳۷/۰۰ m
۱ × حیدری	۵۰۸/۴۰ h-j	۵۲۸/۴۳ ghi	۱۰۶/۲ c-g	۱۳۴/۰ b	۴۹/۶۶ g-j	۴۳/۰۶ klm
زیرینه	۴۳۷/۷۰ k	۴۹۰/۸۶ ijk	۱۰۷/۴ c-g	۱۳۲/۰ b	۵۵/۱۳ d-g	۴۴/۰۳ jkl
میهن	۵۵۳/۷۳ fgh	۶۶۵/۶۶ bc	۱۰۴/۶ c-g	۱۰۹/۲ c-g	۶۰/۰ a-d	۴۱/۴۰ lm
۲ × حیدری	۵۲۲/۰۶ ghi	۵۵۸/۰۰ e-h	۹۷/۸۶ d-g	۱۱۷/۲ bc	۵۷/۲۰ b-f	۵۰/۷۳ f-i
زیرینه	۴۵۸/۳۳ jk	۵۱۰/۰۳ g-j	۱۰۲/۰ c-g	۱۱۱/۳ c-f	۵۶/۶۰ b-f	۵۳/۰۶ e-h
میهن	۵۶۱/۰۰ e-h	۷۰۴/۶۶ ab	۱۰۳/۷ c-g	۱۱۴/۶ cd	۶۲/۳۳ ab	۴۹/۲۰ g-k
۳ × حیدری	۵۴۰/۶۶ f-i	۶۱۳/۰۰ cde	۱۰۱/۷ c-g	۱۱۳/۷ cde	۶۱/۹۰ abc	۴۹/۰۳ g-k
زیرینه	۵۱۹/۳۳ ghi	۵۳۴/۰۰ f-i	۱۰۰/۴ c-g	۹۸/۶۳ d-g	۵۴/۱۰ d-h	۴۷/۵۶ h-l
میهن	۵۸۷/۰۰ def	۷۲۷/۳۳ a	۹۷/۰۰ efg	۱۱۱/۴ c-f	۶۴/۴۰ a	۴۴/۴۰ i-l
۴ × حیدری	۵۶۶/۰۰ efg	۶۳۳/۶۶ cd	۹۶/۰۶ fg	۱۰۲/۹ c-g	۵۹/۸۶ a-d	۵۳/۱۳ f-h
زیرینه	۵۴۹/۰۰ fgh	۵۶۷/۳۳ efg	۹۲/۹۶ g	۹۹/۳۳ d-g	۵۸/۴۶ a-e	۵۳/۶۳ d-h

۱: عدم مصرف کود، ۲: کود دامی ۴۰ تن در هکتار، ۳: سوپرچاذب ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، ۴: سوپرچاذب ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و کود دامی ۴۰ تن در هکتار. در هر ستون تفاوت بین دو میانگین که یک حرف مشترک دارند بر اساس آزمون توکی از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیست.

دامی و سوپر جاذب مقدار محتوای نسبی آب برگ را افزایش داده است (Jafari et al., 2017). بررسی جدول ۹ نیز نشان داد در هر دو شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی، بیش‌ترین سود خالص ناشی از عملکرد دانه از رقم میهن حاصل شد. در شرایط آبیاری مطلوب، بیش‌ترین سود خالص حاصل از عملکرد کاه و کلش از رقم حیدری به‌دست آمد همچنین در شرایط تنش خشکی، رقم میهن بیش‌ترین سود خالص مربوط به عملکرد کاه و کلش را تولید کرد. در مجموع سود خالص از عملکرد دانه و کاه و کلش در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی، به‌ترتیب به ارقام حیدری و میهن مربوط بود (جدول ۹). رقم زرینه با این‌که کارایی مصرف اقتصادی و بیولوژیک آب بالاتری در مقایسه با دو رقم دیگر داشت ولی سود خالص حاصل از رقم زرینه در رتبه پایین‌تری قرار داشت.

در شرایط آبیاری مطلوب، مصرف جداگانه کود دامی، سوپر جاذب و کاربرد توأم کود دامی و سوپر جاذب در مقایسه با شاهد (عدم مصرف) محتوای نسبی آب برگ را به‌ترتیب به‌میزان ۸، ۱۱ و ۱۳ درصد افزایش داد. همچنین در شرایط تنش خشکی، مصرف جداگانه کود دامی، سوپر جاذب و کاربرد توأم کود دامی و سوپر جاذب در مقایسه با شاهد (عدم مصرف) محتوای نسبی آب برگ را به‌ترتیب به‌میزان ۱۵، ۱۵ و ۱۸ درصد افزایش داد (جدول ۸). به‌نظر می‌رسد تأثیر مصرف جداگانه کود دامی، سوپر جاذب و کاربرد توأم کود دامی و سوپر جاذب در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط آبیاری مطلوب در افزایش محتوای نسبی آب برگ مؤثرتر بوده است. در نتایج سایر پژوهشگران نیز تنش خشکی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ شده است درحالی‌که کاربرد کود

جدول ۹. محاسبه سود حاصل از عملکرد دانه و عملکرد کاه و کلش ارقام گندم در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی

عملکرد دانه ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ )							
ارقام	آبیاری مطلوب			تنش خشکی			ارقام
	میانگین	سود ناخالص (ریال)	هزینه آب (ریال)	سود خالص (ریال)	میانگین	سود ناخالص (ریال)	
میهن	۶۸۰۳/۹۴	۱۰۸۸۶۳۰۴۰	۱۰۳۵۰۰۰۰	۹۸۵۱۳۰۴۰	۴۱۶۴/۷۵	۶۶۶۳۶۰۰۰	۳۴۵۰۰۰۰
حیدری	۵۵۴۶/۶۶	۸۸۷۴۶۵۶۰	۱۰۳۵۰۰۰۰	۷۸۳۹۶۵۶۰	۳۱۹۳/۳۳	۵۱۰۹۳۲۸۰	۳۴۵۰۰۰۰
زرینه	۵۰۷۳/۳۳	۸۱۱۷۳۲۸۰	۱۰۳۵۰۰۰۰	۷۰۸۲۳۲۸۰	۳۴۲۸/۳۴	۵۴۸۵۳۴۴۰	۳۴۵۰۰۰۰
عملکرد کاه و کلش (کیلوگرم بر هکتار)							
ارقام	آبیاری مطلوب			تنش خشکی			ارقام
	میانگین	سود ناخالص (ریال)	هزینه آب (ریال)	سود خالص (ریال)	میانگین	سود ناخالص (ریال)	
میهن	۹۱۵۲/۰۳	۸۲۳۶۸۲۷۰	۱۰۳۵۰۰۰۰	۷۲۰۱۸۲۷۰	۱۰۴۳۶/۱۴	۹۳۹۲۴۰۰۰	۳۴۵۰۰۰۰
حیدری	۱۱۶۸۷/۸	۱۰۵۱۸۳۰۰۰	۱۰۳۵۰۰۰۰	۹۴۸۳۳۰۰۰	۹۵۳۷/۹۸	۸۵۸۴۱۸۲۰	۳۴۵۰۰۰۰
زرینه	۸۸۷۹/۳۴	۷۹۹۱۱۰۰۰	۱۰۳۵۰۰۰۰	۶۹۵۶۱۰۰۰	۸۶۵۱/۱۰	۷۷۵۸۹۰۰۰	۳۴۵۰۰۰۰
مجموع سود خالص حاصل از عملکرد دانه و کاه و کلش به ریال							
ارقام	آبیاری مطلوب			تنش خشکی			ارقام
	میانگین	سود ناخالص (ریال)	هزینه آب (ریال)	سود خالص (ریال)	میانگین	سود ناخالص (ریال)	
میهن	۱۷۰۵۳۱۳۱۰	۱۵۳۶۵۴۰۰۰	۱۳۰۰۳۵۱۰۰	۱۲۵۸۱۲۴۴۰	۱۳۰۰۳۵۱۰۰	۱۲۵۸۱۲۴۴۰	۱۳۰۰۳۵۱۰۰
حیدری	۱۷۳۲۲۹۵۶۰	۱۳۰۰۳۵۱۰۰	۱۳۰۰۳۵۱۰۰	۱۲۵۸۱۲۴۴۰	۱۳۰۰۳۵۱۰۰	۱۲۵۸۱۲۴۴۰	۱۳۰۰۳۵۱۰۰
زرینه	۱۴۰۳۸۴۲۸۰	۱۳۰۰۳۵۱۰۰	۱۳۰۰۳۵۱۰۰	۱۲۵۸۱۲۴۴۰	۱۳۰۰۳۵۱۰۰	۱۲۵۸۱۲۴۴۰	۱۳۰۰۳۵۱۰۰

قیمت هر کیلوگرم گندم معادل ۱۶۰۰۰ ریال، قیمت هر کیلوگرم کاه و کلش معادل ۹۰۰۰ ریال، هر هکتار در هر نوبت آبیاری ۱۱۶۶ مترمکعب آب نیاز دارد و قیمت هر ساعت آب با دبی ۱۴ لیتر بر ثانیه لوله ۴ اینچی معادل ۱۵۰۰۰۰ ریال در نظر گرفته شده است که ۲۳ ساعت آبیاری هر هکتار زمان می‌برد تعداد دفعات آبیاری برای تیمار آبیاری مطلوب ۱ نوبت و برای تنش خشکی ۳ نوبت بوده است.

- Ahmadi Lahijani, M. J. & Imami, Y. (2014). Investigating the response of wheat genotypes to drought stress at the end of the season using physiological indices. *Journal of Crop Production and Processing*, 3(9), 163-175. (In Persian).
- Alonso, R., Elvira, S., Castillo, F. J. & Gimeno, B. S. (2001). Interactive effects of ozone and drought stress on pigments and activities of antioxidative enzymes in *Pinus halepensis*. *Plant Cell Environment*, 24(9), 905-916. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00738.x>.
- Asseng, S., Foster, I. & Turner, N. (2011). The impact of temperature variability on wheat yields. *Global Change Biology*, 17(2), 997-1012. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02262.x>.
- Asvadi, H., Aghayari, F. & Samiee, L. (2019). Nanostructured silica aerogel on water use efficiency of corn under deficit irrigation conditions. *Journal of Environmental Science and Technology*, 20(2), 125-140. (In Persian)
- Bai, B. Z., Yu, S. Q., Tian, W. X. & Zhao, J. Y. (1996). *Plant physiology*. China Agricultural Science Press.
- Bates, L. S., Waldern, R. P. & Teave, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress standees. *Plant and Soil*, 39, 205-207. DOI: 10.1007/BF00018060.
- Fazeli Rostampoor, M. & Mohebbian, S. M. (2012). The effect of irrigation and superabsorbent polymer on the remobilization of photosynthetic material (*Zea mays* L.) in corn. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 4(2), 127-138. (In Persian).
- Fazeli Rostampoor, M., Seghatoleslami, M. J. & Moosavi, S. G. R. (2011). Effect of water stress and polymer (Superjabez A200) on yield and water use efficiency of corn (*Zea mays* L.) in Birjand region. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 4(1), 11-19. (In Persian).
- Flexas, J. & Medrano, H. (2002). Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomata and non-stomatal limitations revisited. *Annals of Botany*, 89(2), 183-189.
- Gholam Hoseini, M., Ghalavand, A., Khodaei-Joghan, A., Dolatabadian, A., Zakikhani, H. & Farmanbar, H. (2013). Zeolite-amended cattle manure effects on sunflower yield, seed quality, water use efficiency and nutrient leaching. *Soil and Tillage Research*, 126(1), 193-202. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.08.002>.

#### ۴. نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک ارقام مختلف گندم شد. مصرف جداگانه کود دامی، سوپرجاذب و مصرف توأم سوپرجاذب و کود دامی در مقایسه با شاهد، عملکرد دانه، شاخص کلروفیل، شاخص برداشت و محتوای نسبی آب برگ، کارایی مصرف اقتصادی آب و کارایی مصرف بیولوژیک آب را افزایش داد. علت افزایش کارایی مصرف اقتصادی و بیولوژیک آب، افزایش عملکرد دانه و بیولوژیک بوده است. افزودن کود دامی و سوپرجاذب به خاک سبب بهبود شرایط فیزیکی خاک شده و به‌طور غیرمستقیم بر عملکرد و کارایی مصرف آب مؤثر می‌باشد. احتمالاً علاوه بر آب، ترکیبات محلول مانند عناصر غذایی نیز می‌توانند جذب سوپرجاذب شده و با آزاد شدن تدریجی مورد استفاده گیاه قرار گیرند. در بین ارقام مورد مطالعه، رقم میهن از نظر عملکرد دانه، شاخص برداشت، محتوای نسبی آب برگ و کارایی مصرف اقتصادی آب در هر دو شرایط رطوبتی برتر از دو رقم دیگر بود.

#### ۵. سپاسگزاری

از حمایت‌های علمی، فنی و مالی دانشگاه پیام نور مرکز ارومیه، مرکز تحقیقات کشاورزی استان آذربایجان غربی و کلیه دانشجویانی که ما را در اجرای این طرح پژوهشی کمک نمودند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

#### ۶. منابع

- Abdoli, M. & Saeidi, M. (2012). Using different indices for selection of resistant wheat cultivars to post a thesis water deficit in the west of Iran. *Annals of Biological Research*, 3(3), 1322-1333.
- Abedini, A. & Sajedi, N. A. (2015). Effect of application of superabsorbent polymer on physiological traits of dry land wheat cultivars. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 103, 139-146. (In Persian).

- Gholinezhad, E., Ayenehband, A., Hassanzadeh Ghourt tapeh, A., Noormohammadi, Gh. & Bernousi, I. (2010). Effect of irrigation regime on water and nitrogen use efficiency in sunflower at various levels of nitrogen application and plant density under Urmia climate conditions. *Water and Soil Science*, 20(1), 27-45. (In Persian).
- Jafari, M., Rezaei Nejad, A. H. & Feizian, M. (2017). Effect of super-absorbent, manure and irrigation frequency on growth and some physiological and biochemical characteristics of *Rose Geranium*. *Crops Improvement*, 18(2), 467-480. (In Persian).
- Jahan, M., Kamayestani, N. & Ranjbar, F. (2014). Assay for applying super absorbent polymer in a low input corn (*Zea mays* L.) production system aimed to reduce drought stress under Mashhad conditions. *Agroecology*, 5(3), 272-281. (In Persian)
- Kafi, M. & Panahi, H. (2013). Effect of low irrigation on yield, yield components and water use efficiency of wheat cultivars in Mashhad. *Journal of Water Research in Agriculture*, 27(4), 587-577. (In Persian).
- Kazemi, M. R., Ghoshchi, F. & Kasrayee, P. (2017). Effect of super absorbent polymer on the morpho-physiological and biochemical characteristics of wheat (*Triticum aestivum* L.) under water deficit stress. *Quarterly Journal of Agronomy Research at the Desert Border*, 13(1), 47-62. (In Persian).
- Madanzadeh, H. R., Paknezhad, F., Habibi, D., Sadeghi Shoa, M. & Rezaei, K. (2016). Effect of drought stress and irrigation methods on WUE of tow soybean cultivars. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 11(1), 1-6. (In Persian)
- Moradi-Ghahderijani, M., Jafarian, S. & Keshavarz, H. (2017). Alleviation of water stress effects and improved oil yield in sunflower by application of soil and foliar amendments. *Rhizosphere*, 4, 54-61. DOI: 10.1016/j.rhisph.2017.06.002.
- Mortazavy, S. M., Tavakoli, A., Mohammadi, M. H. & Afsahi, K. (2016). Effect of superabsorbent on physiological traits and yield of wheat Azar2 cultivar under dry farming condition. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 106, 118-125. (In Persian)
- Nakhjivani Moghadamad, M. M., Sadr Ghayen, S. H. & Akbari, M. (2010). Effects of water stress on yield and water use efficiency of wheat. *Third National Conference on Irrigation and Drainage Management*. Chamran Ahwaz University. 20 Feb. Khuzestan, Iran.
- Nazarli, H., Zardashti, M. R., Darvishzadeh, R. & Najafi, S. (2010). The effect of water stress and polymer on water use efficiency, yield and several morphological traits of sunflower. *Notulae Scientia Biologicae*, 2(4), 53-58.
- Pouresmaeil, P. (2006). *Evaluation of effects of superabsorbent polymer on water use efficiency and yield of Kidney bean*. Master thesis of Islamic Azad University of Karaj, Iran.
- Razban, M. & Pirzad, A. (2012). Evaluation the effect of varying amounts of superabsorbent under different irrigation on growth and water deficit tolerance of German Chamomile (*Matricaria chamomilla*), as a second crop. *Journal of Agricultural Science*, 21(4), 123-137. (In Persian)
- Robiul Islam, M. R., Hu, Y., Mao, S., Jia, P., Eneji, A. E. & Xue, X. (2011). Effects of water-saving superabsorbent polymer on antioxidant enzyme activities and Lipid peroxidation in corn (*Zea mays* L.) under drought stress. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(5), 813-819. Doi: 10.1002/jsfa.4252.
- Rosales, M. A., Ocampo, E., Rodriguez-Valentin, R., Olvera-Carrillo, Y., Acosta-Gallegos, J. & Covarrubias, A. A. (2012). Physiological analysis of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars uncovers characteristics related to terminal drought resistance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 56, 24-34. Doi: 10.1016/j.plaphy.2012.04.007.
- Shobeiri, S., Ghasemi Gholozani, K., Gholchin, A. & Jalal, S. (2007). Effect of irrigation water on the phenology and yield of three chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Agricultural Science*, 16(2), 137-147. (In Persian).
- Singh, D. P., Singh, P., Kumar, A. & Sharma, H. C. (1985). Transpiration cooling as a screening technique for drought tolerance in oilseed *Brassica*. *Annals of Botany*, 56, 815-820.
- TayfeRezaei, H. (2014). Planning irrigation of crops and garden. *Journal of Agricultural Engineering Organization, Agricultural Jihad Organization*. 24 pages. (In Persian).
- Verbruggen, N. & Hermans, C. (2008). Proline accumulation in plants: a review. *Amino Acids*, 35(4), 753-759. DOI: 10.1007/s00726-008-0061-6.
- Widiastuti, N., Wu, H., Ang, M. & Zhang, D. K. (2008). The potential application of natural zeolite for greywater treatment. *Desalination*, 218(1-3), 271-280. DOI: https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.02.022.
- Wikenz, J. E. & Norfolk, I. (2010). *Eco-Physiology of economic plants in arid and semi-arid regions, Adaptations for desert living creatures*. Translated by Zehtabian, A., A. Shahriyari and M. R. Javadi. Tehran University Press. P. 370. Tehran, Iran.
- Zhang, B., Li, F. M., Huang, G., Cheng, Z. Y. & Zhang, Y. (2006). Yield performance of spring wheat improved by regulated deficit irrigation in an arid area. *Agricultural Water Management*, 79(1), 28-42. DOI: 10.1016/j.agwat.2005.02.007.