

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی اثر کم آبیاری بخشی ریشه در مقادیر مختلف آب آبیاری و تراکم بوته بر عملکرد دانه و بهره‌وری آب ارزن دانه‌ای در منطقه خشک کاشمر

مهدی مکاری^{۱*}، مجید طاهریان^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۳/۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۴/۱۷

چکیده

این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی و به صورت کرت‌های یک بار خرد شده با سه تکرار در محل مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان کاشمر به اجرا درآمد. چهار تیمار آبیاری شامل ۱۰۰ درصد نیاز آب آبیاری، ۸۰ درصد نیاز آب آبیاری، ۶۰ درصد نیاز آب آبیاری و ۴۰ درصد نیاز آب آبیاری به عنوان کرت‌های اصلی و سه تیمار تراکم بوته شامل ۱۰، ۲۰ و ۳۰ بوته در مترمربع به عنوان کرت‌های فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری و تراکم بوته بر صفاتی نظیر ارتفاع بوته، وزن هزاردانه، عملکرد دانه و بهره‌وری آب در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. اثر متقابل تیمارهای آبیاری و تراکم فقط بر تعداد پانیکول در بوته و عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود. بیش‌ترین عملکرد دانه و بهره‌وری آب به ترتیب با مقادیر ۳۳۹۵ کیلوگرم در هکتار و ۰/۸۷ کیلوگرم بر مترمکعب در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آب آبیاری و تراکم ۱۰ بوته در مترمربع مشاهده گردید. در تمام تیمارهای آبیاری با افزایش تراکم بوته، عملکرد بیولوژیک به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بین شاخص برداشت در تیمارهای کم آبیاری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. با توجه به کاهش معنی‌دار عملکرد دانه و بهره‌وری آب در اثر تنش خشکی و افزایش تعداد بوته در واحد سطح، تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آب آبیاری گیاه ارزن دانه‌ای با تراکم کاشت ۱۰ بوته در هر مترمربع برای منطقه خشک کاشمر پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، شاخص برداشت، عملکرد دانه، کم آبیاری

مقدمه

نقاط دنیا بوده و از موانع اصلی رسیدن به عملکرد بالقوه گیاهان زراعی است.

کم آبیاری راهکاری مناسب برای کسب عملکرد قابل قبول و اقتصادی با مصرف حداقل آب می‌باشد (Zegbe et al., 2004). در کم آبیاری با وجود این که عملکرد در واحد سطح کاهش پیدا می‌کند، ولی کاهش در مقدار آب مصرفی، هزینه‌های استحصال، انتقال و توزیع آب موجب کسب سود بیش‌تر خواهد شد (Yazar et al., 2009).

آبیاری بخشی از ریشه (PRD^۳) شکل اصلاح شده‌ای از کم آبیاری است که در آن بخشی از سیستم ریشه‌ای گیاه آبیاری می‌گردد و بخشی دیگر در خاک خشک قرار دارد. روش PRD بر این فرض استوار است که بخشی از ریشه که تحت تنش واقع شده است، ریشه‌های نابجا تولید نموده و با خشک و تر نمودن متناوب، سیستم ریشه‌ای خود را توسعه می‌بخشد؛ لذا گیاهان در روش کم آبیاری ناقص

ارزن (*Pennisetum glaucum* L.) یکی از غلات سنتی در نواحی خشک و نیمه‌خشک مناطق گرمسیری محسوب می‌شود. ارزن‌ها در بین غلات پس از گندم، برنج، ذرت، جو و سورگوم در رتبه ششم اهمیت قرار دارند. علیرغم اهمیت زراعی ارزن‌ها در زمان‌های گذشته و نیز جایگاه ویژه آن‌ها در کشاورزی سنتی، در رابطه با اثرات تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد و صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک مؤثر در عملکرد این گیاه، تحقیقات کمی صورت گرفته است (نباتی و رضوانی مقدم، ۱۳۸۹). تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی یکی از عوامل مهم محدودکننده رشد و نمو گیاهان در اغلب

۱- استادیار گروه مهندسی آب، مرکز آموزش عالی کاشمر

۲- استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

(* - نویسنده مسئول: (Email: mehdimokari@gmail.com)

ریشه می‌توانند سیستم ریشه‌ای متفاوتی در مقایسه با گیاهانی که تحت آبیاری کامل و یا کم‌آبیاری تنظیم شده قرار دارند، داشته باشند (Dry and Loveys, 1998). در این روش با جذب آب از قسمت تر ریشه وضعیت آب گیاه در یک حالت مطلوب نگه داشته می‌شود (Davies et al., 2002) و قسمتی از ریشه که در ناحیه خشک قرار دارد سبب افزایش تولید هورمون آبسپیک اسید می‌شود. افزایش این هورمون باعث کاهش هدایت روزه‌ای شده و در نتیجه کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد (Davies and Zhang, 1991).

راسکیو و همکاران گزارش نمودند که در شرایط تنش خشکی وزن دانه، وزن خوشه اصلی، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در ارقامی از ارزن که از تحمل کمتری برخوردار هستند، کاهش می‌یابد (Rascio et al., 1998). براک و همکاران نیز بیان نمودند که کمبود آب اثرات زیادی بر تشکیل ماده خشک برگ‌ها و خوشه‌ها دارد و کاهش شاخص برداشت گیاه ارزن، در اثر تنش خشکی را گزارش کردند (Bruck et al., 2000). آن‌ها مشاهده نمودند که تنش آبی باعث کاهش ارتفاع گیاه، وزن خشک اندام هوایی و تعداد پنجه در گیاه گردید. نصیرپور و ذاکرنژاد (۱۳۹۷) گزارش کردند که افزایش تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار وزن تر و خشک برگ، وزن تر و خشک ساقه و ارتفاع بوته در ارزن مرواریدی گردید. همچنین آن‌ها در مطالعه خود اثر چهار تراکم ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ بوته در مترمربع را بر عملکرد علوفه ارزن مرواریدی مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که بیش‌ترین عملکرد علوفه ارزن در تراکم ۵۰ بوته در مترمربع و کمترین مقدار آن در تراکم ۲۰ بوته در مترمربع به‌دست آمد. مهرپویان و فرامرزی (۱۳۹۰) نیز در مطالعه خود نشان دادند که کم‌آبیاری باعث کاهش معنی‌دار عملکرد علوفه و کارایی مصرف آب ارزن گردید به‌طوری بیش‌ترین عملکرد علوفه متعلق به تیمار بدون تنش آبی و کم‌ترین مقدار آن متعلق به تیمار ۳۰ درصد نیاز آبی بود. ولدآبادی و همکاران (۱۳۷۹) نیز در پژوهشی به بررسی اثر تنش خشکی بر خواص کیفی و کمی و شاخص‌های رشد ارزن پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار شاخص سطح برگ، سرعت رشد مطلق، عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک و درصد پروتئین دانه گردید. نخعی و همکاران (۱۳۹۳) گزارش کردند که تنش خشکی در آخر فصل رشد منجر به کاهش معنی‌دار تعداد خوشه در واحد سطح، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و علوفه خشک ارزن دمریابی گردید. نتایج پژوهش حیاتی و همکاران (۱۳۹۰) نیز نشان داد که با افزایش دور آبیاری و تحمیل تنش خشکی بیش‌تر به ارزن دمریابی، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و بیولوژیک، تعداد دانه در خوشه و شاخص برداشت در این گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. آن‌ها در مطالعه خود فواصل آبیاری ۷، ۱۴ و ۲۱ روز را در نظر گرفتند. خرمی و توحیدی‌نژاد (۱۳۹۷) در مطالعه خود اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه سه ژنوتیپ

ارزن معمولی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که تنش خشکی به‌طور معنی‌داری عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه را کاهش داد. رهبری و همکاران (۱۳۹۳) نیز کاهش معنی‌دار وزن خشک ارزن علوفه‌ای در شرایط کم‌آبیاری را گزارش کردند. نتیجه پژوهش توسلی و همکاران (۱۳۸۹) حاکی از کاهش معنی‌دار ارتفاع، عملکرد علوفه خشک و دانه، شاخص برداشت و وزن هزاردانه ارزن مرواریدی در شرایط تنش خشکی بود. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه، شاخص برداشت و وزن هزاردانه در شرایط بدون تنش خشکی به‌دست آمد.

در زمینه اثر تراکم بوته بر گیاه ارزن، صفری و همکاران (۱۳۸۷) بیان نمودند که افزایش تراکم بوته از ۳۰ به ۶۰ عدد در متر مربع باعث افزایش معنی‌دار در صفاتی مانند وزن علوفه تر و خشک می‌شود. آقاعلیخانی (۱۳۹۲) گزارش کرد که با افزایش تراکم، ارتفاع بوته ارزن افزایش می‌یابد. ون اوستروم و همکاران گزارش کردند که پنجه‌زنی در ارقام مختلف ارزن مرواریدی همبستگی بالایی با تراکم ندارد ولی در تراکم‌های پایین، تعداد پنجه‌های تولیدی افزایش می‌یابد و علوفه حاصله خشبی‌تر خواهد بود (Van Oosterom et al., 2015). آشینو و همکاران در مورد بررسی تراکم‌های مختلف از ۵ تا ۴۰ بوته در مترمربع اظهار نظر فوق را تأیید نموده و دریافتند که افزایش تراکم، صفاتی از قبیل وزن خشک تک بوته و سطح برگ در بوته را نیز کاهش می‌دهد (Ashiono et al., 2005).

ارزن علاوه بر مصرف دام و طیور، توسط انسان نیز مصرف می‌شود و امروزه غذای حدود ۵۰۰ میلیون نفر از مردم کره زمین را تشکیل می‌دهد. رشد سریع و توانایی بالای تولید آن در نواحی گرم و خشک باعث شده است تا ارزن به عنوان گیاهی مطلوب جهت کشت در نواحی که با محدودیت منابع آبی مواجه هستند، به‌حساب آید. با توجه به محدودیت منابع آبی در منطقه خشک کاشمر و با توجه به این که بخش زیادی از جمعیت این منطقه به دامپروری و کشاورزی مشغول هستند لزوم مدیریت صحیح منابع آبی در کشت ارزن امری اجتناب‌ناپذیر است. به همین منظور هدف این پژوهش بررسی عملکرد دانه و بهره‌وری آب ارزن دانه‌ای در شرایط کم‌آبیاری بخشی از ریشه بود. کاری که هنوز به آن پرداخته نشده است.

مواد و روش‌ها

محل مورد مطالعه

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۸ در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان کاشمر انجام شد. ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان کاشمر در فاصله ۲ کیلومتر از مرکز شهرستان و در طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه

و ۱۲ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۲۴ دقیقه شمالی قرار دارد. ارتفاع این مرکز ۱۱۰۹/۷ متر از سطح دریا می‌باشد. میانگین بلند مدت دمای سالیانه محل آزمایش ۱۷/۸ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه ۱۹۲/۱ میلی‌متر می‌باشد. اقلیم منطقه بر اساس طبقه‌بندی دو مارتن، خشک می‌باشد.

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی خاک مزرعه تحقیقاتی

عمق خاک (cm)	pH	EC _e (dS/m)	OC (%)	TNV (%)	N (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)
۰-۳۰	۷/۹	۰/۵۹۸	۰/۵۰۲	۲۰/۵	۰/۰۷۱	۹/۶	۳۱۰	۰/۰۴۹	۷/۹۱
۳۰-۶۰	۷/۷	۰/۵۷۰	۰/۲۵۰	۳۶	۰/۰۳۴	۴	۲۸۰	۰/۰۳۰	۴/۴۰

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی خاک مزرعه تحقیقاتی

عمق خاک (cm)	درصد رسی	درصد سیلت	درصد شن	بافت خاک	وزن مخصوص ظاهری (gr/cm ³)
۰-۳۰	۳۱/۵	۴۳/۵	۲۵	لومی-رسی	۱/۳۶
۳۰-۶۰	۴۵	۳۸	۱۷	رسی	۱/۴۱

جدول ۳- خصوصیات شیمیایی آب مزرعه تحقیقاتی

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
pH	۷/۳۵	HCO ₃ ³⁻ (meq/L)	۴/۳
EC (dS/m)	۰/۸۵	CO ₃ ²⁻ (meq/L)	۰
Na ⁺ (meq/L)	۰/۲۱	SO ₄ ²⁻ (meq/L)	۰/۰۳
K ⁺ (meq/L)	۰/۴۲	Ca ²⁺ (meq/L)	۳/۱۱
Cl ⁻ (meq/L)	۰/۵۱	Mg ²⁺ (meq/L)	۱/۲۷

قبل از کاشت آزمون خاک انجام شد و بر اساس نتایج، کود کامل (شامل نیتروژن و فسفر ترکیبی، گوگرد، پتاس، مواد آلی و سولفات منیزیم) به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و اوره در دو مرحله (هر مرحله ۵۰ کیلوگرم در هکتار) داده شد. کنترل علف‌های هرز در طول دوره رشد از طریق وجین دستی صورت گرفت. برداشت زمانی که خوشه‌ها کاملاً زرد رنگ شده بود با حذف دو ردیف کناری و نیم‌متر ابتدا و انتهای ردیف‌ها به عنوان اثر حاشیه‌ای، انجام گرفت. عملکرد و اجزای عملکرد تیمارها شامل ارتفاع گیاه، وزن هزار دانه، تعداد پانیکول در هر گیاه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک اندازه‌گیری شده و تحلیل نتایج با استفاده از نرم افزار SPSS صورت گرفت. برای محاسبه تعداد پانیکول در هر بوته، از هر کرت تعداد ۳۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب شد و متوسط تعداد پانیکول‌ها محاسبه شد. برای اندازه‌گیری وزن هزار دانه نیز تعداد پنج نمونه ۱۰۰ تایی از هر کرت انتخاب و وزن هر نمونه اندازه‌گیری شده و به ۱۰۰۰ دانه تعمیم داده شد. در نهایت میانگین پنج نمونه به عنوان وزن هزار دانه پذیرفته شد (امیدی‌نسب و همکاران، ۱۳۹۴). برای به‌دست آوردن میزان کاه تولیدی، وزن دانه به‌دست آمده از واحد سطح از وزن کل محصول برداشت شده در واحد سطح کسر گردید. شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک به‌دست آمد.

این پژوهش به صورت کرت‌های یک بار خرد شده در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. هر تکرار شامل چهار کرت اصلی به عنوان تیمارهای آبیاری بود که عبارت بودند از (۱) آبیاری مطلوب بر اساس نیاز آب آبیاری تعیین شده برای گیاه ارزن در منطقه کاشمر؛ (۲) کم‌آبیاری که در آن ۸۰ درصد نیاز آب آبیاری گیاه در اختیار آن قرار داده شد؛ (۳) کم‌آبیاری که در آن ۶۰ درصد نیاز آب آبیاری گیاه در اختیار آن قرار داده شد و (۴) کم‌آبیاری که در آن ۴۰ درصد نیاز آب آبیاری گیاه در اختیار آن قرار داده شد. انجام آبیاری در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آب آبیاری به صورت معمولی (دو طرفه) و در تیمارهای کم‌آبیاری به صورت متناوب در طرفین ریشه (آبیاری بخشی) انجام شد. هر کرت اصلی شامل سه کرت فرعی به عنوان تیمارهای تراکم به این شرح بود: (۱) تراکم ۱۰ بوته در هر متر مربع، (۲) تراکم ۲۰ بوته در هر متر مربع و (۳) تراکم ۳۰ بوته در هر متر مربع. هر کرت شامل شش خط کاشت به فاصله ۵۰ سانتی‌متر و طول پنج متر بود. بین کرت‌های فرعی دو خط نکاشت (یک متر) به عنوان فاصله بین کرت‌ها در نظر گرفته شد. بین کرت‌های اصلی نیز سه متر فاصله لحاظ گردید. ترکیب تیماری مورد استفاده در این پژوهش در شکل ۱ ارائه شده است.

	I1	I3	I4	I2
R1	D1	D3	D2	D1
	D3	D2	D1	D2
	D2	D1	D3	D3
R2	I2	I4	I1	I3
	D3	D1	D3	D3
	D2	D3	D2	D1
R3	I3	I1	I2	I4
	D2	D2	D3	D2
	D1	D1	D1	D3
	D3	D3	D2	D1

R1، R2 و R3 به ترتیب تکرار اول، دوم و سوم؛ I1، I2، I3 و I4 به ترتیب تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی، ۸۰ درصد نیاز آبی، ۶۰ درصد نیاز آبی و ۴۰ درصد نیاز آبی؛ D1، D2 و D3 به ترتیب تراکم ۱۰، ۲۰ و ۳۰ بوته در مترمربع

شکل ۱- شمایی از نقشه طرح استفاده شده در این پژوهش

۰/۳ و ۱/۰۶ در نظر گرفته شد.

دور آبیاری برای آبیاری سطحی جوی و پشته‌ای ۷ روز و بر اساس عرف منطقه در نظر گرفته شد. برای محاسبه عمق خالص آبیاری از رابطه (۳) استفاده گردید:

$$d_n = \sum_{i=1}^7 ET_{Ci} \quad (3)$$

که در رابطه فوق، d_n عمق خالص آبیاری (mm) می‌باشد.

در این پژوهش راندمان آبیاری در کرت‌های ۱۵ متر مربعی، ۱۰۰ درصد در نظر گرفته شد. زیرا در غیر این صورت، تلفات آبیاری ناشی از راندمان‌های کمتر از ۱۰۰ درصد در تیمارهای کم آبیاری نفوذ عمقی نکرده و در ناحیه ریشه باقی می‌ماند و تنش رطوبتی را به کمتر از حد مورد انتظار می‌رساند. بنابراین با در نظر گرفتن راندمان آبیاری ۱۰۰ درصد، عمق ناخالص آبیاری و در نهایت حجم آب آبیاری مورد نیاز در طول دوره رشد برای هر کرت از روابط زیر محاسبه گردید:

$$d_g = \frac{d_n}{E_a} \quad (4)$$

$$V = d_g \times A \quad (5)$$

که در روابط فوق، d_g عمق ناخالص آبیاری (mm)، E_a راندمان کاربرد (۱۰۰ درصد)، A مساحت هر کرت (متر مربع) و V حجم آب آبیاری بر حسب لیتر می‌باشد. در نهایت حجم آب آبیاری مورد نیاز با استفاده از کنتور اندازه‌گیری و به هر کرت منتقل شد.

بهره‌وری آب برای تیمارها از طریق رابطه ۶ محاسبه شد (Liu et

محاسبات نیاز آب آبیاری

ابتدا با استفاده از داده‌های هواشناسی روزانه شامل دمای کمینه و بیشینه، رطوبت نسبی کمینه و بیشینه، سرعت باد و ساعات آفتابی در منطقه (اخذ شده از ایستگاه همدیدی کاشمر) تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از فرمول پنمن - مانیتث محاسبه شد.

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \left[\frac{890}{T+273}\right]U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (1)$$

که در این رابطه، ET_0 تبخیر- تعرق مرجع (mm/day)، R_n تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ($MJm^{-2}d^{-1}$)، T متوسط دمای هوا در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین ($^{\circ}C$)، U_2 متوسط سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (m/s)، $(e_s - e_a)$ کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری ($Kpa/0^{\circ}C$)، Δ شیب منحنی فشار بخار ($Kpa/0^{\circ}C$)، γ ضریب رطوبتی ($Kpa/0^{\circ}C$) و G شار گرما به داخل خاک ($MJm^{-2}d^{-1}$) می‌باشند.

سپس نیاز آب آبیاری گیاه با اعمال ضریب گیاهی از رزن در مراحل مختلف رشد (اقتباس از نشریه ۵۶ فائو) و با استفاده از رابطه زیر تعیین گردید (Allen et al., 1998):

$$ET_C = K_C \times ET_0 \quad (2)$$

که در رابطه فوق، ET_0 تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع (میلی‌متر در روز)، ET_C نیاز آب آبیاری گیاه (میلی‌متر بر روز) و K_C ضریب گیاهی می‌باشد که برای مراحل چهارگانه رشد به ترتیب ۰/۱۵،

(al., 2015)

بعد از عملیات کاشت اولین آبیاری در تاریخ ۱۳۹۸/۰۵/۱۰ صورت گرفت و آبیاری‌های بعدی با رعایت دور آبیاری تا تاریخ ۱۳۹۸/۰۷/۱۱ انجام گردید. در جدول ۴ مقادیر آب مصرف شده در تاریخ‌های آبیاری و در تیمارهای مختلف آبیاری بر حسب میلی‌متر ارائه شده است.

$$WP = \frac{Y}{TWU} \quad (۶)$$

که در این رابطه WP بهره‌وری کل آب مصرفی (کیلوگرم بر متر مکعب)، Y مقدار عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) و TWU کل آب مصرفی شامل آبیاری و بارندگی مؤثر (متر مکعب در هکتار) می‌باشد.

جدول ۴- مقادیر آب مصرف شده در تیمارهای مختلف آبیاری بر حسب میلی‌متر

تیمارهای آبیاری				تاریخ‌های آبیاری
۱۰۰ درصد نیاز آب آبیاری	۸۰ درصد نیاز آب آبیاری	۶۰ درصد نیاز آب آبیاری	۴۰ درصد نیاز آب آبیاری	
۱۰	۸	۶	۴	۱۳۹۸/۰۵/۱۰
۵۰	۳۳	۲۴	۱۶	۱۳۹۸/۰۵/۱۷
۶۰	۴۸	۳۶	۲۴	۱۳۹۸/۰۵/۲۴
۶۰	۴۸	۳۶	۲۴	۱۳۹۸/۰۵/۳۱
۵۴	۴۴	۳۳	۲۲	۱۳۹۸/۰۶/۰۷
۶۰	۴۰	۳۰	۲۰	۱۳۹۸/۰۶/۱۴
۵۰	۳۹	۲۹	۱۹	۱۳۹۸/۰۶/۲۱
۳۹	۳۱	۲۳	۱۵	۱۳۹۸/۰۶/۲۸
۱۲	۱۰	۷	۵	۱۳۹۸/۰۷/۰۴
۱۲	۱۰	۷	۵	۱۳۹۸/۰۷/۱۱
۴۰۷	۳۱۱	۲۳۱	۱۵۴	مقدار کل آب داده شده (mm)

در جدول ۵ طول مراحل فنولوژیکی و مقدار آب مصرف شده در هر مرحله بر حسب میلی‌متر در تیمارهای مختلف آبیاری ارائه شده است.

جدول ۵- طول مراحل فنولوژیکی ارزن دانه‌ای و مقدار آب مصرف شده در هر مرحله در تیمارهای مختلف آبیاری بر حسب میلی‌متر

تیمار آبیاری		۱۰۰ درصد نیاز آب آبیاری		۸۰ درصد نیاز آب آبیاری		۶۰ درصد نیاز آب آبیاری		۴۰ درصد نیاز آب آبیاری	
دوره رشد		روز		روز		روز		روز	
		مقدار آب داده شده (mm)		مقدار آب داده شده (mm)		مقدار آب داده شده (mm)		مقدار آب داده شده (mm)	
از کاشت تا سبز شدن		۴	۶	۴	۵	۴	۴	۴	۲
از سبز شدن تا پنجه‌زنی		۱۲	۶۳	۱۲	۵۰	۱۳	۴۳	۱۳	۲۸
از پنجه‌زنی تا ساقه رفتن		۱۱	۹۵	۱۲	۸۲	۱۳	۶۶	۱۵	۵۱
از ساقه رفتن تا ظهور خوشه		۱۹	۱۴۱	۲۰	۱۱۷	۲۱	۹۰	۲۱	۶۰
از ظهور خوشه تا گلدهی		۵	۳۳	۵	۲۵	۴	۱۴	۴	۸
از گلدهی تا پرشدن دانه		۱۱	۳۷	۹	۲۰	۹	۱۰	۸	۶
از پرشدن دانه تا رسیدن فیزیولوژیک		۱۲	۱۴	۱۱	۱۱	۱۰	۶	۹	۴

نتایج و بحث

عملکرد کاه، عملکرد بیولوژیک و کارایی مصرف آب در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. اثر متقابل رژیم آبیاری و تراکم بوته فقط بر تعداد پانیکول در هر گیاه و عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود و بر بقیه صفات اثر معنی‌داری نداشت.

در جدول ۶ تجزیه واریانس عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب ارزن دانه‌ای تحت تأثیر تراکم و رژیم‌های مختلف آبیاری نشان داده شده است. نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که رژیم آبیاری و تراکم بوته بر ارتفاع گیاه، تعداد پانیکول در هر گیاه، وزن هزاردانه،

جدول ۶- تجزیه واریانس عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب ارزن دانه‌ای معمولی تحت تأثیر تراکم و رژیم‌های مختلف آبیاری

میانگین مربعات									
منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع گیاه (سانتی متر)	تعداد پانیکول در هر گیاه	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد کاه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت (درصد)	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)
رژیم آبیاری	۳	۵۵۸/۱۱۵ **	۶/۱۱۵ **	۲/۰۵۵ **	۸۴۳۳۸۳۴/۶۶۷ **	۱/۶۵۳×۱۰ ^۷ **	۴/۲۴۶×۱۰ ^۷ **	۰/۰۰۴ **	۰/۳۲۵ **
تراکم	۱	۱۳۴/۰۳۱ **	۰/۷۸۱ **	۰/۷۲۰ **	۱۲۶۰۸۷۲/۰ **	۳۹۳۱۲۰۸/۰ **	۸۵۵۳۲۴۸/۰ **	۰/۰۰۰۲ ns	۰/۶۵۸ **
تراکم × رژیم آبیاری	۳	۰/۹۴۸ ns	۰/۲۸۱ *	۰/۰۳۰ ns	۱۰۱۷۲۵/۳۳۳ ns	۴۲۱۰۲۱/۳۳۳ ns	۱۷۳۳۹۹۴/۶۶۷ *	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۱ ns
خطا	۲۴	۱/۸۰۲	۰/۰۷۳	۰/۰۱۹	۱۰۹۵/۵۵۶	۲۱۶۶۰۸/۰	۴۸۰۳۶۸/۰	۰/۰۰۱	۰/۰۲۶
ضرب تغییرات (درصد)		۱/۹۶	۱۱/۲۲	۱/۸۱	۱۲/۳۸	۱۵/۰۲	۱۳/۴۶	۸/۰۶	۱۱/۰۴

** : معنی‌داری در سطح یک درصد، * : معنی‌داری در سطح پنج درصد، ns : غیرمعنی‌دار

در جدول ۷ مقایسه میانگین اثرات ساده تیمارهای آبیاری یک دانه، عملکرد کاه، شاخص برداشت و بهره‌وری آب ارزن دانه‌ای ارائه در میان متناوب و تراکم بوته بر ارتفاع گیاه، وزن هزاردانه، عملکرد

جدول ۷- مقایسه میانگین اثرات ساده تیمارهای آبیاری یک در میان متناوب و تراکم بوته بر ارتفاع گیاه، وزن هزاردانه، عملکرد کاه، شاخص برداشت و بهره‌وری آب ارزن دانه‌ای

تیمارهای آبیاری	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد کاه (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت (درصد)	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)
۱۰۰ درصد نیاز آب آبیاری	۷۷/۶۲ ^a	۸/۱۷ ^a	۳۳۹۵ ^a	۴۸۲۲ ^a	۴۲ ^a	۰/۸۷ ^a
۸۰ درصد نیاز آب آبیاری	۷۱/۸۸ ^b	۷/۸۰ ^b	۲۲۴۳ ^b	۳۵۷۴ ^b	۳۸ ^b	۰/۷۲ ^b
۶۰ درصد نیاز آب آبیاری	۶۵/۳۸ ^c	۷/۵۰ ^c	۱۵۱۵ ^c	۲۵۴۰ ^c	۳۸ ^b	۰/۶۷ ^b
۴۰ درصد نیاز آب آبیاری	۵۸/۲۵ ^d	۶/۹۷ ^d	۱۰۳۵ ^d	۱۴۵۸ ^d	۳۷ ^b	۰/۶۵ ^b
تراکم بوته						
۱۰ بوته در مترمربع	۶۶/۳۱ ^a	۷/۷۶ ^a	۲۲۴۵ ^a	۳۴۴۹ ^a	۳۹ ^a	۰/۸۰ ^a
۲۰ بوته در مترمربع	۷۰/۲۵ ^b	۷/۴۶ ^b	۱۸۴۸ ^b	۲۷۴۸ ^b	۳۹ ^a	۰/۶۵ ^b
۳۰ بوته در مترمربع	۷۱/۲۵ ^b	۷/۲۳ ^b	۱۷۶۳ ^b	۲۶۱۴ ^b	۳۸ ^a	۰/۵۷ ^b

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند.

ارتفاع گیاه

به تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آب آبیاری و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار ۴۰ درصد نیاز آب آبیاری بود. ارتفاع گیاه در تیمارهای آبیاری ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آب آبیاری نسبت به تیمار شاهد (یعنی ۱۰۰

مقایسه میانگین اثر ساده تیمارهای آبیاری یک در میان متناوب بر ارتفاع گیاه در جدول ۷ نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع گیاه مربوط

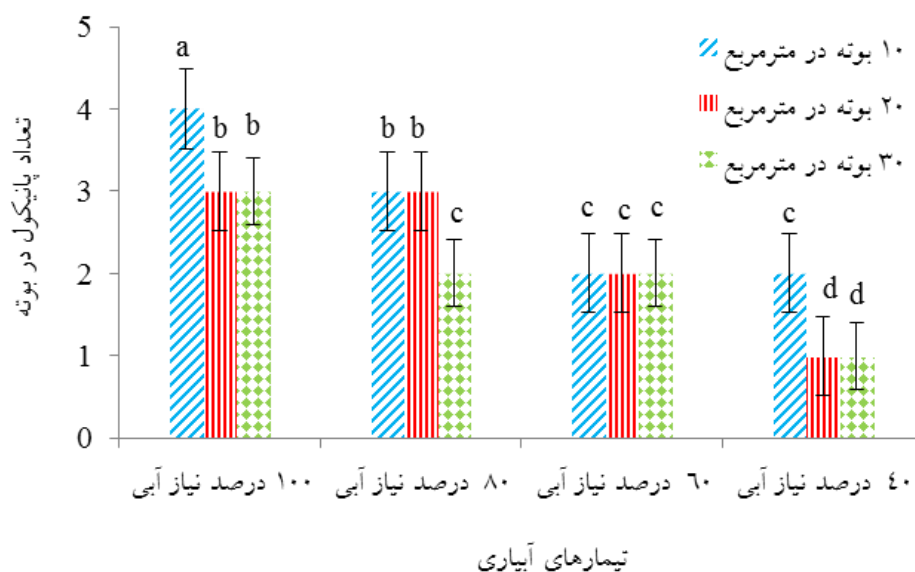
که با افزایش تنش خشکی در تیمارهای آبیاری یک در میان متناوب تعداد پانیکول در بوته به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بیش‌ترین تعداد پانیکول در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آب آبیاری و تراکم بوته ۱۰ بوته در مترمربع و به تعداد چهار و کمترین مقدار آن در تیمار ۴۰ درصد نیاز آب آبیاری و تراکم بوته ۲۰ بوته در مترمربع و به تعداد یک اتفاق افتاد. مقصود و اعظم علی نیز در مطالعه خود کاهش تعداد خوشه در بوته ارزن را در اثر تنش خشکی گزارش نمودند (Maqsood and Azam Ali, 2007).

نتایج همچنین نشان داد که در تیمارهای آبیاری ۱۰۰ و ۴۰ درصد نیاز آب آبیاری، تعداد پانیکول در بوته در تراکم‌های ۱۰ و ۲۰ بوته در مترمربع با یکدیگر تفاوت معنی‌دار داشتند در حالی که در تیمارهای آبیاری ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آب آبیاری، تعداد پانیکول در بوته در هر دو تراکم یکسان بود و تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. این نشان می‌دهد که در شرایط آبیاری مطلوب و در شرایط تنش خشکی شدید، اثر تراکم بوته بر تعداد پانیکول بیش‌تر است به گونه‌ای که با تغییر تراکم از ۱۰ به ۲۰ بوته در مترمربع تعداد پانیکول در بوته کاهش معنی‌داری نشان می‌دهد. اما در تنش‌های خشکی کم تا متوسط تراکم بوته تأثیری در افزایش یا کاهش معنی‌دار تعداد پانیکول در بوته ندارد. از طرفی با توجه به شکل ۲ مشخص می‌شود که تعداد پانیکول در تیمار آبیاری ۸۰ درصد نیاز آب آبیاری و تراکم‌های ۱۰ و ۲۰ بوته در متر مربع با تعداد پانیکول در تیمار آبیاری مطلوب و تراکم‌های ۲۰ و ۳۰ بوته در مترمربع تفاوت معنی‌داری ندارد. این نتیجه نیز حاکی از تأثیر بیش‌تر تراکم بر تعداد پانیکول در شرایط آبیاری مطلوب نسبت به شرایط تنش خشکی کم تا متوسط است.

درصد نیاز آب آبیاری به ترتیب ۱۵/۷، ۲۶/۳۹ و ۲۴/۹۵ درصد کاهش نشان داد. این نشان داد که افزایش تنش خشکی اثر معنی‌داری بر کاهش ارتفاع گیاه داشت. براک و همکاران نیز بیان نمودند که تنش آبی باعث کاهش ارتفاع گیاه ارزن گردید که با نتیجه به دست آمده در این پژوهش مطابقت داشت (Bruck et al., 2000). نصیریپور و ذاکرنژاد (۱۳۹۷) نیز در مطالعه خود به این نتیجه دست یافتند که بیش‌ترین ارتفاع بوته با ۸۷ سانتی‌متر به تیمار ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشت و کمترین آن با ۶۵/۱ سانتی‌متر به تیمار ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تعلق داشت. به عبارتی با افزایش دور آبیاری و بیش‌تر شدن تنش خشکی، ارتفاع گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. آن‌ها در مطالعه خود اثر تراکم و رژیم‌های مختلف آبیاری بر عملکرد علوفه ارزن مرواریدی در شرایط آب و هوایی اهواز را بررسی نمودند. کاهش ارتفاع گیاه در اثر مصرف کمتر آب آبیاری را می‌توان به کاهش رشد و تقسیم سلولی در گیاه مربوط دانست. نتایج همچنین نشان داد که افزایش تراکم بوته از ۱۰ به ۲۰ بوته در مترمربع نیز ارتفاع گیاه را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. آقاعلیخانی (۱۳۹۲) و نصیریپور و ذاکرنژاد (۱۳۹۷) نیز گزارش کردند که با افزایش تراکم، ارتفاع بوته ارزن افزایش می‌یابد که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. با افزایش تراکم بوته در واحد سطح، به علت رقابت ایجاد شده در جذب نور، گیاه ارتفاع خود را افزایش می‌دهد تا بتواند نور بیش‌تری جذب نماید.

تعداد پانیکول در هر بوته

در شکل ۲ اثر متقابل تیمارهای آبیاری و تراکم بر تعداد پانیکول در هر بوته نشان داده شده است. با توجه به شکل ۲ مشخص گردید



شکل ۲- اثر متقابل تیمارهای آبیاری و تراکم بوته بر تعداد پانیکول در هر گیاه

وزن هزار دانه

در هر دو تراکم ۱۰ و ۲۰ بوته در مترمربع با افزایش تنش خشکی وزن هزار دانه به طور معنی داری کاهش یافت. بیشترین وزن هزاردانه متعلق به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آب آبیاری و به مقدار ۸/۱۷ گرم و کمترین مقدار آن متعلق به تیمار ۴۰ درصد نیاز آب آبیاری و به مقدار ۶/۹۷ گرم بود. وزن هزاردانه در تیمارهای ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آب آبیاری نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۴/۵۲، ۸/۲ و ۱۴/۶۸ درصد کاهش یافت. حیاتی و همکاران (۱۳۹۰) نیز در مطالعه خود نشان دادند که با افزایش دور آبیاری و تحمیل تنش خشکی بیش‌تر به گیاه، وزن هزاردانه ارزن مرواریدی به طور معنی داری کاهش یافت. در مطالعه آن‌ها بیشترین وزن هزاردانه در دور آبیاری هفت روز (۲/۴۳ گرم) و کمترین آن در دور آبیاری ۲۱ روز (۲/۰۵ گرم) به دست آمد. به طور کلی وزن هزاردانه تابعی از سرعت و طول دوره پرشدن آن است که از دو منبع فتوسنتز جاری و انتقال مجدد ذخیره شده در گیاه تأمین می‌شود که به نظر می‌رسد با افزایش تنش خشکی و تخلیه رطوبت بیش‌تر خاک، این مؤلفه‌ها از سرعت و مدت کمتری نسبت به شرایط عدم تنش آبی برخوردار بوده و باعث کاهش وزن هزاردانه می‌گردند. نتیجه مطالعه توسلی و همکاران (۱۳۸۹) حاکی از کاهش معنی دار وزن هزاردانه ارزن مرواریدی در اثر تنش خشکی در مرحله خوشه‌دهی بود. علت کاهش وزن هزاردانه به دلیل تنش خشکی در مرحله خوشه‌دهی را می‌توان به کاهش هورمون سیتوکینین در شرایط تنش مربوط دانست که در نتیجه آن تشکیل سلول‌های آندوسپرم تحت تأثیر قرار گرفته و پتانسیل وزن دانه کاهش می‌یابد (Bradford, 1994). در تمام تیمارهای آبیاری وزن هزاردانه در تراکم ۱۰ بوته در مترمربع نسبت به تراکم ۲۰ بوته در مترمربع بیش‌تر بود.

عملکرد دانه

عملکرد دانه در تیمارهای ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آب آبیاری به ترتیب به اندازه ۳۳/۹۳، ۵۵/۳۷ و ۶۹/۵۱ درصد نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آب آبیاری کاهش نشان داد. بیشترین عملکرد دانه در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آب آبیاری و به مقدار ۳۳۹۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار آن در تیمار ۴۰ درصد نیاز آب آبیاری و به مقدار ۱۰۳۵ کیلوگرم در هکتار مشاهده گردید. به نظر می‌رسد مصرف متعادل آب طی مراحل مختلف نمو در تیمار شاهد منجر به بهبود عملکرد دانه می‌گردد. ماهالاکشمی و بدینگر گزارش کردند تنش خشکی در طی مراحل پرشدن دانه و پس از آن عملکرد دانه ارزن را تا ۵۰ درصد کاهش می‌دهد که با نتایج به دست آمده در این پژوهش همخوانی داشت (Mahalakshmi and Bidinger, 1985).

بدینگر و همکاران نیز گزارش کردند که تنش آبی باعث کاهش عملکرد دانه ارزن مرواریدی گردید (Bidinger et al., 1987).

مقصود و اعظم علی گزارش نمودند که تنش خشکی ناشی از افزایش فواصل بین آبیاری‌ها از طریق کاهش تعداد خوشه در بوته و تعداد دانه در خوشه، عملکرد دانه ارزن را کاهش می‌دهد (Maqsood and Azam Ali, 2007). تنش خشکی در دوره پرشدن دانه نیز سبب کاهش عملکرد دانه می‌شود (Yadav et al., 2001). نتیجه پژوهش حیاتی و همکاران (۱۳۹۰) نشان داد که با افزایش فواصل آبیاری و ایجاد تنش خشکی، عملکرد دانه ارزن دم روباهی کاهش یافت، به طوری که کاهش عملکرد دانه از فواصل آبیاری هفت به ۲۱ روز حدود ۲۳/۷ درصد بود.

افزایش تراکم بوته از ۱۰ به ۲۰ بوته در مترمربع باعث کاهش معنی دار عملکرد دانه در تمام تیمارهای آبیاری شد. این نشان داد که اثر تنش خشکی بر کاهش عملکرد دانه با کاهش تراکم بوته در واحد سطح قابل جبران کردن نیست.

عملکرد کاه

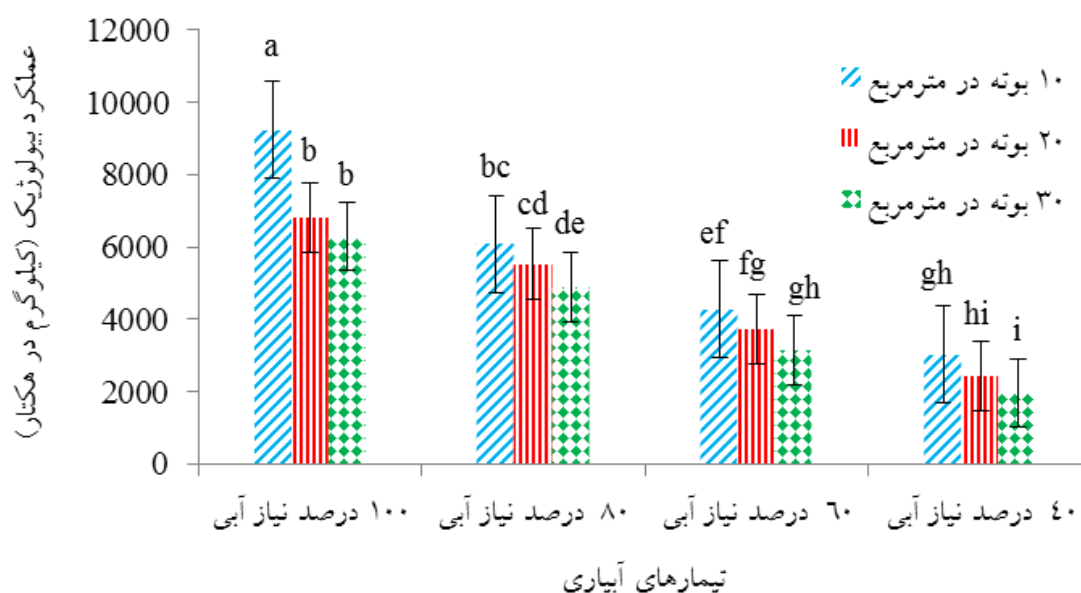
بیشترین عملکرد کاه در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آب آبیاری و به مقدار ۴۸۲۲ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار آن در تیمار ۴۰ درصد نیاز آب آبیاری و به مقدار ۱۴۵۸ کیلوگرم در هکتار اتفاق افتاد. در تمام تیمارهای کم آبیاری عملکرد کاه به طور معنی داری کاهش یافت. این نشان داد که در آبیاری بخشی از ریشه گیاه ارزن، تنش‌های خشکی کم، متوسط و زیاد باعث کاهش معنی دار عملکرد کاه نسبت به شرایط آبیاری مطلوب گردیدند. نتایج همچنین نشان داد که در تمام تیمارهای آبیاری تراکم بوته اثر معنی داری بر عملکرد کاه داشت به طوری که عملکرد کاه در تراکم ۱۰ بوته در مترمربع نسبت به تراکم ۲۰ بوته در مترمربع بیش‌تر بود.

عملکرد بیولوژیک

با توجه به شکل ۳ مشخص می‌شود که با افزایش تنش خشکی عملکرد بیولوژیک در هر دو تراکم ۱۰ و ۲۰ بوته در مترمربع به طور معنی داری کاهش یافت. در شرایط آبیاری مطلوب (یعنی تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آب آبیاری) بین عملکرد بیولوژیک در تراکم ۱۰ و ۲۰ بوته در مترمربع تفاوت معنی دار وجود داشت و عملکرد بیولوژیک در تراکم ۱۰ بوته در مترمربع نسبت به تراکم ۲۰ بوته در مترمربع بیش‌تر بود. اما در تیمارهای کم آبیاری، عملکرد بیولوژیک در تراکم ۱۰ و ۲۰ بوته در مترمربع تفاوت معنی داری نداشت به عبارتی دیگر در تیمارهای کم آبیاری تراکم بوته اثر معنی داری در کاهش یا افزایش عملکرد بیولوژیک نداشت. همچنین نتایج ارائه شده در شکل ۳ نشان داد که عملکرد بیولوژیک در تیمار ۸۰ درصد نیاز آب آبیاری و تراکم ۱۰ بوته در مترمربع با عملکرد بیولوژیک در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آب آبیاری و تراکم ۲۰ بوته در مترمربع تفاوت معنی داری نداشت اما این روند در

بیولوژیک ارزن دم روباهی در مقایسه با شاهد گردید. به‌طوری که بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک با مقدار $49.05/6$ کیلوگرم در هکتار به تیمار شاهد تعلق داشت. شرایط آبیاری مطلوب از طریق بهبود شاخص سطح برگ و در نتیجه افزایش سرعت رشد موجب افزایش تجمع ماده خشک در اندام‌های رویشی و عملکرد بیولوژیک می‌گردد. خرمی و توحیدی‌نژاد (۱۳۹۷) گزارش کردند که کمبود آب منجر به کاهش عملکرد بیولوژیک گردید. کاهش عملکرد بیولوژیک در شرایط کم‌آبی می‌تواند به دلیل کاهش محتوای نسبی آب برگ، کاهش سطح برگ و در نتیجه کاهش فتوسنتز باشد. پژوهش‌گران دیگری نیز کاهش عملکرد بیولوژیک ارزن تحت تأثیر تنش خشکی را کرده‌اند که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (Moosavi, 2014; Keshavars et al., 2012).

تیمارهای ۶۰ درصد نیاز آب آبیاری (تنش خشکی متوسط) و ۴۰ درصد نیاز آب آبیاری (تنش خشکی شدید) مشاهده نگردید. این نشان می‌دهد که در شرایط تنش خشکی کم می‌توان با کاشت تعداد بوته کمتر در واحد سطح، اثر تنش خشکی در کاهش عملکرد بیولوژیک نسبت به شرایط آبیاری مطلوب را خنثی نمود. بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آب آبیاری و تراکم ۱۰ بوته در مترمربع و کمترین مقدار آن در تیمار ۴۰ درصد نیاز آب آبیاری به‌دست آمد. عملکرد بیولوژیک در تیمارهای ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آب آبیاری نسبت به تیمار شاهد (یعنی تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آب آبیاری و تراکم ۱۰ بوته در مترمربع) به ترتیب $34/27$ ، $33/62$ و $67/24$ درصد کاهش یافت. نتیجه پژوهش حیاتی و همکاران (۱۳۹۰) نیز نشان داد که افزایش تنش رطوبتی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد



شکل ۳- اثر متقابل تیمارهای آبیاری و تراکم بوته بر عملکرد بیولوژیک

پژوهش مطابقت داشت. براک و همکاران نیز کاهش شاخص برداشت در اثر تنش خشکی را گزارش نمودند (Bruck et al., 2000). نتیجه مطالعه توسلی و همکاران (۱۳۸۹) نیز نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار شاخص برداشت در ارزن مرواریدی گردید و بیش‌ترین شاخص برداشت در شرایط آبیاری مطلوب و به مقدار $11/27$ درصد اتفاق افتاد. کاهش شاخص برداشت در شرایط اعمال تنش می‌تواند به دلیل عقیم ماندن گلچه‌ها و کاهش وزن هزاردانه باشد. از طرفی پایین بودن شاخص برداشت ارزن مرواریدی در شرایط آبیاری مطلوب در مقایسه با ارزن معمولی را می‌توان به عملکرد علوفه بالا در مقایسه با عملکرد پایین دانه در این نوع ارزن نسبت داد. همچنین نتایج نشان داد که تغییر تراکم بوته از ۱۰ به

شاخص برداشت

شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک به‌دست آمد. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۷ مشخص می‌شود که شاخص برداشت در تیمار آبیاری مطلوب افزایش معنی‌داری نسبت به مقدار این شاخص در تیمارهای کم‌آبیاری داشت. بیش‌ترین شاخص برداشت در شرایط آبیاری مطلوب و به مقدار ۴۲ درصد مشاهده گردید. بین شاخص برداشت در تیمارهای کم‌آبیاری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. حیاتی و همکاران (۱۳۹۰) در مطالعه خود گزارش کردند که اعمال تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار شاخص برداشت در ارزن دم روباهی گردید و بیش‌ترین شاخص برداشت در شرایط آبیاری مطلوب به‌دست آمد که با نتایج به‌دست آمده در این

۲۰ بوته در مترمربع تأثیری در افزایش یا کاهش معنی‌دار شاخص برداشت نداشت.

بهره‌وری آب

بیش‌ترین بهره‌وری آب در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آب آبیاری و به مقدار ۰/۸۷ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد. بین بهره‌وری آب در تیمارهای کم‌آبیاری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. بهره‌وری آب در تراکم ۱۰ بوته در مترمربع نسبت به تراکم ۲۰ بوته در مترمربع افزایش معنی‌داری داشت.

نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که کم‌آبیاری بخشی از ریشه ارزن دانه‌ای عملکرد دانه و بهره‌وری آب را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. بیش‌ترین عملکرد دانه و بهره‌وری آب در شرایط آبیاری مطلوب اتفاق افتاد. از طرفی افزایش تعداد بوته در واحد سطح منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد دانه و بهره‌وری آب در این گیاه گردید به‌طوری که بیش‌ترین عملکرد دانه و بهره‌وری آب در تراکم ۱۰ بوته در مترمربع مشاهده گردید. بنابراین با توجه به نتایج به‌دست آمده در این پژوهش می‌توان گفت که تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آب آبیاری گیاه ارزن دانه‌ای (۳۸۷۰ مترمکعب در هکتار) و رعایت تعداد ۱۰ بوته در هر مترمربع (۱۰۰۰۰ بوته در هکتار) برای این گیاه در هنگام کاشت، برای دست یافتن به عملکرد دانه و بهره‌وری آب بالا برای منطقه خشک کاشمر قابل توصیه است.

منابع

آقاعلیخانی، م. ۱۳۹۲. اثر تراکم بوته بر عملکرد کمی و کیفی ارزن مرواریدی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد زراعت. دانشگاه تربیت مدرس.

امیدی‌نسب، د.، قرینه، م. ح.، بخشنده، ع. م.، شرفی‌زاده، م.، شافعی‌نیا، ع. ر. و عزیزه، س. ۱۳۹۴. اثر میزان بذر و کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گندم (*Triticum aestivum*) در بقایای گیاهی ذرت (*Zea mays*) (بی‌خاک‌ورزی). نشریه پژوهش‌های زراعی. ۱۳: ۵۹۸-۶۱۰.

توسلی، ا.، قنبری، ا.، امیری، ا. و پای‌گذار، ی. ۱۳۸۹. اثر تنظیم‌های رشد یونیکونازول و سایکوسل در شرایط تنش خشکی بر برخی خصوصیات ارزن مرواریدی. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. ۳: ۱۵-۳۰.

حیاتی، ا.، رمودی، م. و گوی، م. ۱۳۹۰. تأثیر زمان کاربرد پتاسیم بر

عملکرد و محتوای پروتئین دانه ارزن دم‌روباهی در رژیم‌های متفاوت آبیاری. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. ۱: ۳۵-۴۳.

خرمی، ع. و توحیدی‌نژاد، ع. ۱۳۹۷. بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه سه ژنوتیپ ارزن معمولی (*Panicum miliaceum* L). تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۱۱: ۱-۲۱.

رهبری، ع.، سینکی، ج. م. و زارعی، م. ۱۳۹۳. تأثیر کود آلی فسفره و کم‌آبیاری بر عملکرد ارقام ارزن علوفه‌ای. نشریه دانش زراعت. ۵: ۱۰-۳۸.

صفری، ف.، گالشی، س.، تربتی‌نژاد، ن. م. و مساوات، س. ا. ۱۳۸۷. اثر تاریخ کاشت و تراکم بر عملکرد علوفه ارزن دم‌روباهی (*Setaria italica*). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۵: ۵-۱۲۰-۱۲۷.

مهرپویان، م. و فرامرزی، ع. ۱۳۹۰. تأثیر سطوح مختلف کم‌آبیاری بر عملکرد کمی و راندمان مصرف آب در ارزن نوتریفید و سورگوم اسپیدفید. فصلنامه علمی-پژوهشی گیاه و زیست بوم. ۷: ۲۶-۷۱-۶۰.

نباتی، ج. و رضوانی‌مقدم، پ. ۱۳۸۹. اثر فواصل آبیاری بر خصوصیات زراعی، مورفولوژیکی و کیفی ارزن، سورگوم و ذرت علوفه‌ای. مجله علوم زراعی ایران. ۴۱: ۱-۱۷۹-۱۸۶.

نخعی، آ.، عباسی، م. ر.، آرزومجو، ا. و آذری نصرآبادی، ع. ۱۳۹۳. ارزیابی تحمل خشکی انتهایی فصل در نمونه‌های ارزن دم‌روباهی. مجله علوم زراعی ایران. ۱۶: ۱-۲۵-۳۸.

نصیرپور، م. و ذاکرنژاد، س. ۱۳۹۷. تأثیر تراکم کاشت و رژیم‌های مختلف آبیاری بر عملکرد علوفه ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum* L.) در شرایط آب و هوایی اهواز. دو فصلنامه‌ی علوم به‌زراعی گیاهی. ۸: ۲-۱۷۱-۱۸۲.

ولدآبادی، س. ع.، مظاهری، د.، نورمحمدی، ق. و هاشمی دزفولی، س. ا. ح. ۱۳۷۹. بررسی اثر تنش خشکی بر خواص کمی و کیفی و شاخص‌های رشد ذرت، سورگوم و ارزن. مجله علوم زراعی ایران. ۲: ۱-۳۹-۴۷.

Allen, R.G., Pereira, S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). FAO Irrigation and Drainage Paper. No. 56. 327 P.

Ashiono, G.B., Gatuiku, S., Mwangi, P. and Akuja, T.E. 2005. Effect of nitrogen and phosphorus application on growth and yield of dual-purpose sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), E1291, in the dry highlands of Kenya. Asian Journal of Plant Sciences. 4: 379-382.

- translocation and WUE in two winter wheat genotypes. *Agricultural Water Management*. 167: 75-85.
- Mahalakshmi, V. and Bidinger, F.R. 1985. Flowering response of pearl millet to water stress during panicle development. *Annals of Applied Biology*. 106: 571-578.
- Maqsood, M. and Azam Ali, S.N. 2007. Effects of environmental stress on growth, radiation use efficiency and yield of finger millet (*Eleusine coracana*). *Pakistan Journal of Botany*. 39: 463-474.
- Moosavi, S.Gh. 2014. Effect of water stress and N fertilizer levels on yield and water use efficiency of forage millet. *Annual Research and Review in Biology*. 4. 14: 2318-2326.
- Rascio, A., Russo, M., Platani, C. and Difonzo, N. 1998. Drought intensity effects on genotypic differences in tissue affinity for strongly bound water. *Plant Science*. 132. 2: 121-126.
- Van Oosterom, E.J., Carberry, P.S. and O'leary, G.J. 2015. Simulating growth, development and yield of tillering pearl millet I. Leaf area profiles on main shoots and tillers. *Field Crop Research*. 72: 51-66.
- Yadav, R.S., Gayadin, C. and Jaiswal, A.K. 2001. Morpho-physiological changes and variable yield of wheat genotypes under moisture stress conditions. *Indian Journal of Plant Physiology*. 6: 390-394.
- Yazar, A., Gokcel, F. and Sezen, M. 2009. Corn yield response to partial root zone drying and deficit irrigation strategies applied with drip system. *Plant, Soil & Environment*. 55. 11: 494-503.
- Zegbe, J., Behboudian, M. and Clothier, B. 2004. Partial root zone drying is a feasible option for irrigation processing tomatoes. *Agricultural Water Management*. 68. 3: 195-206.
- Bidinger, F.R., Mahalakshmi, V. and Rao, G.D.P. 1987. Assessment of drought resistance in pearl millet (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke). II. Estimation of genotype response to stress. *Australian Journal of Agricultural Research*. 38: 49-59.
- Bradford, K.J. 1994. Water stress and the water relations of seed developments: A critical review. *Crop Science*. 34: 1-11.
- Bruck, H., Payne, W.A. and Sattelmacher, B. 2000. Effects of phosphorus and water supply on yield, transpiration, water use efficiency and carbon isotope discrimination of pearl millet. *Crop Science*. 40: 120-125.
- Davies, W.J. and Zhang, J. H. 1991. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 42: 55-76.
- Davies, W.J., Wilkinson, S. and Loveys, B. 2002. Stomatal control by chemical signaling and the exploitation of this mechanism to increase water use efficiency in agriculture. *New Phytologist*. 153: 449-460.
- Dry, P. and Loveys, B. R. 1998. Factors influencing grapevine and the potential for control with partial root zone drying. *Australian Journal of grape and wine research*. 4. 3: 140-148.
- Keshavars, L., Farahbakhsh, H. and Golkar, P. 2012. The effects of drought stress and super absorbent polymer on morphological traits of pear millet (*Pennisetum glaucum*). *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*. 3. 1: 148-154.
- Liu, E.K., Mei, X.R., Yan, C.R., Gong, D. Z. and Zhang, Y.Q. 2015. Effects of water stress on photosynthetic characteristics, dry matter

Investigation the Effect of Partial Root Drying Deficit Irrigation under Different Irrigation Regimes and Plant Density on Grain Yield and Water Productivity of Grain Millet in Arid Region of Kashmar

M. Mokari^{1*}, M. Taherian²

Recived: May.22, 2020

Accepted: Jul.07, 2020

Abstract

This research was conducted as a split plot experiment based on completely randomized design with three replications at natural resources and agricultural research center of Kashmar. Irrigation treatments including full irrigation (i.e. providing 100% irrigation water requirement of plant), 80, 60 and 40% irrigation water requirement were as main plots and plant density treatments including density of 10, 20 and 30 plants per square meter were as sub-main plots. The results showed that irrigation treatments and plant density were significant on some traits such as plant height, 1000-grain weight, grain yield and water productivity (WP) at one level percentage ($P < 0.01$). Interaction of irrigation treatments and density was only significant on biologic yield and panicle no. per plant. The highest grain yield and WP with quantities of 3395 Kg/ha and 0.87 Kg/m³ respectively, was observed for full irrigation treatment and density of 10 plants per square meter. In all of the irrigation treatments by increasing the plant density, the biologic yield decreased significantly. There was no significant difference among the harvest index in all of the deficit irrigation treatments. Considering the effect of drought stress and increasing of plant density was significant in grain yield and WP reduction, it is recommended that full irrigation method and density of 10 plants per square meter was applied for planting of grain millet in Kashmar region.

Keywords: Deficit irrigation, Grain yield, Harvest index, Water productivity

1- Assistant Professor Water Engineering, Kashmar Higher Education Institute

2- Assistant Professor of Horticulture Crop Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran

(* - Corresponding Author Email: mehdimokari@gmail.com)