

اثر مصرف کود زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام ارزن معمولی (*Panicum miliaceum* L.)  
و دم روباهی (*Setaria italica* L.) در شرایط تنش کم آبیظهرا ب ادوی<sup>۱\*</sup> و ابوالفضل باغبانی آرانی<sup>۱</sup>

استادیاران بخش کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۷/۲۳ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱/۱۸)

## چکیده

به منظور بررسی اثر رژیم های مختلف آبیاری و کاربرد کود زیستی بر صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم ارزن، آزمایشی به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور شهرستان فریدونشهر در سال ۱۳۹۶ اجرا گردید. در این آزمایش رژیم های رطوبتی به عنوان عامل اصلی در سه سطح (تأمین ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) در کرت های اصلی و کاربرد کود زیستی در سه سطح شامل: عدم کاربرد، ۰/۵ و یک لیتر کود زیستی (باکتری ازتوباکتر کروکوکوم و آزوسپیریوم برازیلنس به صورت بذرمال) و دو رقم ارزن (گلباف و باستان) به عنوان عوامل فرعی به صورت فاکتوریل در کرت های فرعی بودند. نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که تنش کم آبی موجب کاهش معنی دار ارتفاع بوته، روز تا رسیدگی، محتوای آب برگ، عملکرد بیولوژیک، تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و شاخص برداشت شد. بیشترین و کمترین عملکرد دانه در تیمارهای بدون تنش کم آبی و کاربرد یک لیتر کود زیستی و تنش شدید کم آبی و بدون مصرف کود زیستی (۱۰۷۱/۲۵ و ۳۱۸/۷۵ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد که حاکی از کاهش ۶۳/۲ درصدی ناشی از تنش شدید کم آبی بر این صفت می باشد. بر اساس نتایج به دست آمده از این آزمایش، کاربرد کود زیستی، توانست اثرات مضر ناشی از تنش کم آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد در هر دو رقم ارزن را کاهش دهد. رقم باستان از نظر عملکرد بیولوژیک و دانه در رژیم های مختلف رطوبتی، اعم از کاربرد و عدم کاربرد کود زیستی نسبت به رقم گلباف برتری نشان داد. واژه های کلیدی: ازتوباکتر، آزوسپیریوم، صفات زراعی، عملکرد بیولوژیک، کم آبیاری.

Effect of bio-fertilizers application on yield and yield components of millet cultivars  
Common (*Panicum miliaceum* L.) and Foxtail millet (*Setaria italica* L.)  
in water deficit stressZ. Adavi<sup>\*1</sup>, A. Baghbani-Arani<sup>1</sup>

1- Department of Agricultural Science, Payam Noor University, Tehran, Iran

(Received: October 15, 2018 - Accepted: April 7, 2019)

## ABSTRACT

To investigate the effect of different irrigation regimes and bio-fertilizers application on morphological, physiological, yield and yield components of two millet cultivars, an experiment was conducted as split factorial based on complete randomized blocks design with four replications on the research farm of Fereydunshahr, Esfahan province in 2016. In this experiment, irrigation regimes were considered as the main plots with three levels (100, 75 and 50 percent of plant water requirement) while bio-fertilizer (with three levels including control, using 1 or 0.5 L.ha<sup>-1</sup> *Azotobacter chroococcum* and *Azospirillum brasilense* as seed inoculation) and millet cultivars (including Golbaf and Bastan) were arranged as factorial sub plots. The results of variance analysis showed that plant height, days to maturity, relative water content, biological yield, number of panicles per plant, number of seeds per panicle, the thousand-seed weight, grain yield, harvest index were significantly decreased under the water deficit stress. The highest seed yield obtained in non-stressed treatments by using 1 liter of bio fertilizer while the lowest was observed under the severe deficit water stress without bio fertilizer which indicates a 63.2% reduction in seed yield due to the severe water. According to the results of this experiment, the application of bio fertilizer could reduce the harmful effects of water stress on yield and yield components in both millet varieties. Bastan cultivar showed greater biological and seed yield advantage over Golbaf cultivar under different irrigation regimes including with or without bio-fertilizers.

Keywords: Agronomical traits, Azotobacter, Azospirillum, biological yield, low irrigation.

\* Corresponding author E-mail: z\_adavi@pnu.ac.ir

## مقدمه

در ایران از یک طرف، عدم توجه لازم به افزایش کمی و کیفی علوفه، موجب کمبود گوشت و مواد لبنی و کاهش کیفیت آنها و از سوی دیگر بر اثر فشار دام بر جنگل‌ها و مراتع طبیعی، به نابودی بخش عظیمی از پوشش گیاهی منجر شده‌است. بنابراین، توجه به زراعت گیاهان علوفه‌ای با روش علمی در کشور اهمیت خاصی دارد (Norouzi et al., 2014).

آب و نیتروژن، از مهم‌ترین عوامل تنش‌زای غیرزنده در کاهش عملکرد گیاهان می‌باشند که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم در عملکرد دستگاه فتوسنتزی گیاهان اختلال ایجاد کرده و با تغییر متابولیسم، باعث کاهش رشد و نمو گیاهان می‌گردند (Baghbani-Arani et al., 2017).

زیاد بودن میزان تبخیر و تعرق و محدودیت منابع آب سبب کاهش طول دوره رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌شود و این موضوع لزوم توجه بیشتر به مطالعه تنش خشکی، انتخاب ارقام متحمل (Hayati et al., 2011; Mashayekhi et al., 2016)

و تغییر الگوی کشاورزی به سمت کشت گیاهان سازگار به شرایط خشکی را طلب می‌نماید (Kazemi Arbat, 1995; Mashayekhi et al., 2016).

بنابراین به نظر می‌رسد که یکی از راه‌های مقابله با تنش خشکی، اصلاح و کاشت گیاهان متحمل و زودرس است و شناخت این موضوع که هر یک از گیاهان یا ژنوتیپ‌ها چگونه با تنش

مقابله می‌کنند، حائز اهمیت است و انتخاب برای گیاهانی که بدین شکل از تنش خشکی اجتناب می‌کنند، با موفقیت‌های زیادی همراه بوده‌است (Nakhaei et al., 2014).

ژنوتیپ‌های مختلف ارزن به‌دلیل برخورداری از فصل رشد کوتاه، به آب کمتری نیاز دارند و می‌توانند در شرایط نامساعد محیطی نسبت به سایر غلات محصول

بیشتری تولید کنند (Kazemi Arbat, 1995; Hayati et al., 2011; Nakhaei et al., 2014).

رشد سریع، تحمل نسبی بالا به خشکی، چهار کربنه بودن، توانایی بالای تولید آن در نواحی گرم و خشک و کارایی بالاتر مصرف آب نسبت به گونه‌های سه

کربنه، از خصوصیات ویژه ارزن‌ها به منظور کشت در نواحی با محدودیت منابع آب محسوب می‌گردد (Hayati et al., 2011).

در بررسی تأثیر کم آبیاری بر عملکرد کمی و کیفی ارزن علوفه‌ای (*Setaria italic L.*) گزارش شده‌است که این گیاه از آستانه تحمل نسبی بالایی به شرایط کم‌آبی برخوردار بوده و می‌تواند گیاه مناسبی برای کشت و تولید علوفه در مناطق گرمسیر و کم‌آب کشور باشد (Nakhaei et al., 2014; Hayati et al., 2011).

نتایج تحقیقات انجام شده بر ارزن نشان داده است تنش رطوبتی (خفیف و شدید) سبب کاهش صفات تعداد خوشه در واحد سطح، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و علوفه خشک می‌گردد (Hayati et al., 2011; Nakhaei et al., 2014).

تحقیقی تدین و کریم‌زاده سورشجانی (Tadayon & Karimzadeh Soureshjani, 2017) گزارش کردند که کاهش میزان آب آبیاری، باعث کاهش ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، محتوای نسبی آب برگ، عملکرد

دانه و اجزای آن، عملکرد زیست توده (بیوماس)، شاخص برداشت، کارایی مصرف آب و کلروفیل کل در ارزن گردید به‌گونه‌ای که بیشترین درصد کاهش عملکرد

دانه (۷۷/۲ درصد) نسبت به تیمار شاهد (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی) در تیمار تأمین ۲۵ درصد نیاز آبی

به‌دست آمد. از سویی برخی پژوهشگران در نتایج بررسی‌های خود گزارش کردند، تنش رطوبتی (دور آبیاری ۷ و ۱۴ روز) تأثیری بر عملکرد دانه، وزن خوشه،

وزن دانه، شمار پنجه، شمار پنجه بارور، شاخص برداشت خوشه، سطح برگ و درصد نیتروژن برگ ارزن پروسو (*Panicum miliaceum*)، ارزن مرواریدی

(*Pennisetum glaucum*) و ارزن دم روباهی (*Setaria italica*) نداشت (Khazaie et al., 2005).

کودهای زیستی به‌عنوان جایگزین طبیعی کودهای شیمیایی، نقش مثبت و غیرقابل انکاری در مدیریت پایدار خاک و در نهایت پایداری کل سیستم کشاورزی

دارند. کودهای زیستی منحصراً به مواد آلی حاصل از کودهای دامی، اضافات گیاهی و غیره اطلاق نمی‌شود بلکه تولیدات حاصل از فعالیت میکروارگانیسم‌هایی که

(Mirshkari *et al.*, 2012).

با توجه به لزوم مدیریت تغذیه گیاهی در راستای رفع نیاز غذایی گیاهان در جهت افزایش عملکرد و پایداری تولید در شرایط کم آبیاری در راستای کشاورزی پایدار و اهمیت و جایگاه گیاه ارزن به عنوان یک گیاه علوفه‌ای مهم و معرفی ارقام متحمل به خشکی، هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر تنش کم‌آبی بر برخی خصوصیات کمی و کیفی دو رقم ارزن و تأثیر مصرف کودهای زیستی در جهت جبران خسارت ناشی از تنش کم‌آبی می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور واقع در اراضی کشاورزی جنوب فریدونشهر با موقعیت جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۶ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۷ دقیقه طول شمالی و ارتفاع ۲۵۳۰ متر از سطح دریا اجرا شد. بر اساس اطلاعات ایستگاه هواشناسی اصفهان، متوسط بارندگی سالیانه منطقه ۵۹۰ میلی‌متر می‌باشد. که شرایط اقلیمی منطقه در طول فصل زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در جدول (۱) ارائه شده است. قبل از انجام آزمایش به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه برداری از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک صورت گرفت که در جدول (۲) ارائه شده است.

در ارتباط با تثبیت نیتروژن و یا فراهمی فسفر و سایر عناصر غذایی در خاک هستند را نیز شامل می‌شوند (Kennedy *et al.*, 2004). از این میکروارگانیسم‌ها می‌توان به ازتوباکتر و آزوسپریلیوم، سودوموناس و باسیلوس اشاره کرد (Zahir *et al.*, 2004). محققین (Vessey, 2003; Siahmargue *et al.*, 2014) اظهار داشتند بهبود رشد گیاه در نتیجه تلقیح با ازتوباکتر و آزوسپریلیوم فقط به دلیل تثبیت نیتروژن نیست بلکه به دلیل سنتز هورمون‌های تحریک کننده رشد از قبیل سیتوکنین، اسیدجیبرلیک، اکسین، اسیدهای آمینه و ویتامین‌های گروه B می‌باشد. در تحقیقی سیاهمرگویی و همکاران (Siahmargue *et al.*, 2014) گزارش کردند کاربرد کودهای زیستی در افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاه ارزن مرواریدی مؤثر بوده و تلقیح بذر آن با کودهای زیستی علاوه بر تولید هورمون‌های محرک رشد، باعث توسعه سطح فعال سیستم ریشه‌ای و افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی شده که در نهایت شاخص‌های رشدی (شاخص سطح برگ و سرعت رشد گیاه) ارزن مرواریدی را افزایش داد. همچنین در تحقیقی نشان داده شد تلقیح بذر گلرنگ بهاره (*Linum usitatissimum* L.) با باکتری آزادزی ازتوباکتر و یک قارچ با رابطه میکوریزایی، افزون بر افزایش عملکرد دانه و درصد روغن، باعث افزایش مقاومت گیاه در برابر عوامل نامساعد محیطی و بهبود کیفیت محصول شد

جدول ۱: میانگین ماهانه بیشینه و کمینه دمای هوا (درجه سانتیگراد) طی فصل رشد ارزن در سال ۱۳۹۶  
Table 1: The Average of monthly maximum and minimum air temperatures (°C) during the growing season of millet in 2017

Months	June	July	August	September	Annual mean
Maximum air temperatures (°C)	35	37	41	33	16
Minimum air temperatures (°C)	11	13	12	9	4.5

جدول ۲- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2. The Chemical and physical characteristics of the soil experimental.

Depth (cm)	Soil Texture	K (mg.kg <sup>-1</sup> )	Total Nitrogen (%)	Bulk Density (g.cm <sup>-3</sup> )	Organic Carbon (%)	pH	EC (dS.m <sup>-1</sup> )	P (mg.kg <sup>-1</sup> )
0-30	Loamy Clay	401	0.1	1.5	0.5	8.1	2.7	9.4

شش ردیف کاشت با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی متر و روی ردیف ۱۰ سانتی متر بود (Zabet et al., 2015). بین دو کرت یک پشته ۷۵ سانتی متری و بین تکرارها دو متر فاصله برای جلوگیری از نشت رطوبت در نظر گرفته شد. نیاز آبی به کمک روش FAO با استفاده از آمار تبخیر از تشتک کلاس A و با در نظر گرفتن راندمان ۸۰ درصد برای پخش آب در مزرعه تعیین شد (Hellen et al., 1998):

[1] تبخیر از تشتک (میلی متر) × ضریب تشتک (۰/۷) = تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی متر)  
 [2] تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی متر) × ضریب گیاهی = تبخیر و تعرق گیاه (میلی متر)

در این روش برای تعیین ضریب گیاهی در مراحل مختلف رشد از دستورالعمل‌های FAO استفاده گردید (Hellen, et al., 1998; Zabet et al., 2015). هنگامی که میزان رطوبت خاک در تیمار شاهد به میزان ۴۰ درصد رطوبت خاک، در حد ظرفیت زراعی رسید آبیاری صورت گرفت، به اینگونه که میزان آب مورد نیاز تا رسیدن به رطوبت در ظرفیت زراعی در واحد سطح برای تیمار آبی شاهد (۱۰۰ درصد نیاز آبی) محاسبه و به کرت‌های شاهد داده شد (Tadayon & Karimzadeh Soureshjani, 2017). همچنین مقادیر ۷۵ و ۵۰ درصد میزان آب محاسبه شده با استفاده از کنتور حجمی به تیمارهای آبیاری اختصاص داده شد (مجموع آب مصرفی به ترتیب برای تیمارهای ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی برابر: ۸۴۹۶، ۶۰۶۰، ۴۴۳۶ لیتر بود).

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب (RWC) در ساعت ۱۲-۱۴ از آخرین برگ توسعه یافته در زمان گلدهی نمونه برداری انجام شد. برگ‌های جدا شده از هر بوته به‌طور جداگانه در کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شدند و برای جلوگیری از تلفات آب، نمونه‌ها روی تکه‌های یخ قرار داده شد و به آزمایشگاه منتقل و وزن تر آنها اندازه‌گیری شد. سپس برگ‌ها در آب مقطر دو بار تقطیر، به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق و نور کم برای محاسبه وزن اشباع غوطه ور شدند و پس از این مدت نمونه‌ها با دقت با دستمال کاغذی خشک شده و وزن اشباع آنها اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه

در این آزمایش تنش کم‌آبی به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح (شاهد بدون تنش، تنش خفیف و شدید و آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه، تأمین ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) در کرت‌های اصلی و کاربرد کود زیستی در سه سطح شامل: عدم مصرف، ۰/۵ و یک لیتر کود زیستی برای ۹ کیلوگرم بذور (Sajadi Nik & Yadavi, 2014) و دو رقم ارزن (گلباف و باستان) به‌عنوان عوامل فرعی به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی بودند. لاین KFM9 (رقم باستان) ارزن دم روباهی (*Setaria italica* L.) است با عملکرد علوفه خشک ۳ الی ۴ تن در هکتار، عملکرد قصیل ۲۵ الی ۳۰ تن در هکتار، عملکرد دانه ۲/۵ الی ۳ تن در هکتار و صفات دیگری نظیر زودرسی و تحمل بسیار مطلوب به ورس در مرحله دانه‌بندی، تعداد روز تا گلدهی ۵۷ روز و وزن هزار دانه ۳/۵ گرم و مقاوم به خشکی است (Mehrani et al., 2013). و اکوتیپ گلباف ارزن معمولی (*Panicum miliaceum* L.) با عملکرد بیولوژیک و دانه، وزن هزار دانه و تحمل بیشتر به خشکی نسبت به رقم باستان می‌باشد (Mashayekhi et al., 2016).

کود زیستی مورد استفاده در این تحقیق، تلفیقی از دو باکتری از توباکتر کروکوکوم و آروسپیریوم برازیلنس با غلظت‌های ۱۰<sup>۷</sup> CFU/ML بود که کود استفاده شده از شرکت بیو اگسان ساخت کشور مالزی تهیه شد. پس از گاورو شدن زمین، کشت در تاریخ ۱۳۹۶/۳/۲۵ با دست انجام گردید. بر اساس نتیجه آزمایش خاک، کودهای شیمیایی پایه شامل نیتروژن و فسفر به ترتیب به مقدار ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار از منابع اوره و سوپر فسفات تریپل همزمان با کشت به خاک اضافه گردید. کود نیتروژن به‌صورت سرک (۳۰ درصد در مرحله کاشت، ۴۰ درصد در مرحله ساقه رفتن و ۳۰ درصد در مرحله شروع گل‌دهی) به کرت‌های مورد نظر و فسفر در زمان کاشت به‌طور کامل به خاک داده شد. به منظور اعمال تیمار کود زیستی، بذور ارزن را در زمان کاشت به مدت یک ساعت در مایه تلقیح خیسانده و سپس بذور دور از نور خورشید خشک شدند. بلافاصله پس از خشک شدن بذور تلقیح شده اقدام به کشت بذور شد (Siahmargue et al., 2014). هر کرت فرعی شامل

سانتیگراد در آون قرار گرفتند. RWC مطابق فرمول رابطه (۱) محاسبه شد (Almeselmani et al., 2015):

$$RWC (1) = \frac{\text{وزن تر} - \text{وزن خشک}}{\text{وزن خشک}} \times 100$$

در زمان رسیدگی فیزیولوژیک دانه، پس از حذف ردیف‌های حاشیه و ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای هر کرت با برداشت از خطوط میانی برای ۱۰ گیاه صفاتی نظیر ارتفاع بوته، تعداد خوشه در هر گیاه، تعداد دانه در خوشه، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک، وزن هزار دانه و عملکرد دانه اندازه‌گیری شدند.

تمامی تجزیه‌های آماری صورت گرفته با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9(1.3) انجام پذیرفت (SAS Institute Inc., 2002). قبل از انجام عمل تجزیه واریانس، از نرمال بودن توزیع باقیمانده‌ها (با استفاده از رویه Univariate) اطمینان حاصل شد. تجزیه واریانس داده‌های آزمایش با استفاده از رویه GLM (مدل خطی تعمیم یافته) انجام شد. مقایسه میانگین تیمارهای آزمایشی به روش آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد انجام گرفت.

**تعداد روز تا رسیدگی:** تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تعداد روز تا رسیدگی فقط تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری قرار گرفت. بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳)، با افزایش شدت تنش کم‌آبی، تعداد روز تا برداشت کاهش یافت. بیشترین تعداد روز تا برداشت در تیمار شاهد با ۱۰۶ روز و کمترین آن در تیمار تنش شدید کم‌آبی با ۹۸ روز مشاهده گردید (جدول ۴).

به نظر می‌رسد که ارزن برای اجتناب از تنش رطوبتی به‌ویژه در انتهای فصل رشد-که به عنوان یک راهبرد اکولوژیک مطرح است- از طریق تسریع فنولوژی، چرخه زندگی خود را تکمیل کرده و به نوعی از خشکی فرار می‌کند. محققین گزارش کردند تنش کم‌آبی باعث کاهش تعداد روز تا گل‌دهی و رسیدگی در شنبلیله

همچنین در مطابقت با نتایج این تحقیق، محققین دیگری گزارش کردند که تعداد روز تا برداشت شنبلیله (Baghbani-Arani, 2017) و خاکشیر (Mokhtassi-Bidgoli et al., 2013) تحت تأثیر کود و در شنبلیله (Bidgoli et al., 2013) و آفتابگردان و نخود (Bazazi et al., 2013) و تحت تأثیر رقم قرار نگرفت. (Gomez et al., 1991)

**ارتفاع بوته:** تجزیه واریانس صفات نشان داد اثر ساده سطوح آبیاری، کاربرد کود زیستی و رقم و برهمکنش سطوح آبیاری و کود زیستی بر ارتفاع ارزن معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌های صفات نشان داد که بیشترین و کمترین میزان ارتفاع گیاه به ترتیب در تیمارهای بدون تنش آبی با تلقیح کود زیستی به میزان یک لیتر در هکتار (IIB3) و تیمار تنش شدید رطوبتی بدون تلقیح با کود زیستی (I3BI) (۱۲۳/۰۷ و ۹۷/۲۰ سانتی‌متر) مشاهده گردید (جدول ۵). تنش کم‌آبی با کاهش محتوای آب، فشار آماس و پژمردگی و بسته شدن روزنه‌ها، سبب کاهش رشد سلول، رشد و عملکرد گیاهان می‌گردد (Manivannan et al., 2007). در تحقیقی روی ارزن گزارش کردند بیشترین کاهش ارتفاع بوته در مقایسه با تیمار شاهد (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی) به میزان ۴۵/۸ درصد، در تیمار ۲۵ درصد نیاز آبی رخ داد (Tadayon & Karimzadeh Soureshjani, 2017).

گل‌دهی و رسیدگی در آون قرار گرفتند. RWC مطابق فرمول رابطه (۱) محاسبه شد (Almeselmani et al., 2015):

$$RWC (1) = \frac{\text{وزن تر} - \text{وزن خشک}}{\text{وزن خشک}} \times 100$$

در زمان رسیدگی فیزیولوژیک دانه، پس از حذف ردیف‌های حاشیه و ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای هر کرت با برداشت از خطوط میانی برای ۱۰ گیاه صفاتی نظیر ارتفاع بوته، تعداد خوشه در هر گیاه، تعداد دانه در خوشه، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک، وزن هزار دانه و عملکرد دانه اندازه‌گیری شدند.

تمامی تجزیه‌های آماری صورت گرفته با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9(1.3) انجام پذیرفت (SAS Institute Inc., 2002). قبل از انجام عمل تجزیه واریانس، از نرمال بودن توزیع باقیمانده‌ها (با استفاده از رویه Univariate) اطمینان حاصل شد. تجزیه واریانس داده‌های آزمایش با استفاده از رویه GLM (مدل خطی تعمیم یافته) انجام شد. مقایسه میانگین تیمارهای آزمایشی به روش آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد انجام گرفت.

**تعداد روز تا رسیدگی:** تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تعداد روز تا رسیدگی فقط تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری قرار گرفت. بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳)، با افزایش شدت تنش کم‌آبی، تعداد روز تا برداشت کاهش یافت. بیشترین تعداد روز تا برداشت در تیمار شاهد با ۱۰۶ روز و کمترین آن در تیمار تنش شدید کم‌آبی با ۹۸ روز مشاهده گردید (جدول ۴).

به نظر می‌رسد که ارزن برای اجتناب از تنش رطوبتی به‌ویژه در انتهای فصل رشد-که به عنوان یک راهبرد اکولوژیک مطرح است- از طریق تسریع فنولوژی، چرخه زندگی خود را تکمیل کرده و به نوعی از خشکی فرار می‌کند. محققین گزارش کردند تنش کم‌آبی باعث کاهش تعداد روز تا گل‌دهی و رسیدگی در شنبلیله

(Baghbani-Arani, 2017) (Trigonella foenum-graecum L.) و خاکشیر (Arani, 2017) (Descurainia sophia L.)

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات زراعی، مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی بر ارقام ارزن تحت تأثیر رژیم آبیاری و کود زیستی  
 Table 3. The Analysis of variance for agronomical, morphological and physiological characteristics of millet cultivars under the effect of irrigation regime and bio-fertilizer treatment.

S.O.V	df	Days to maturity	Plant height	Number of panicle in plant	Number of seed in panicle	1000-seeds weight	Grain yield	RWC	Harvest index	Biological yield
Mean squares										
Block	3	402.9 *	397.8 *	0.3 ns	9.2 **	88.6 *	5202.3 ns	21.1 ns	86.1 **	599120.4 *
I	2	420.9 *	2149.4**	17.2**	123.1**	7.7 ns	1498699.7**	380.5**	5.8 ns	17157746.9**
Main error	6	69.6	10.8	0.3	0.5	12.2	1203.8	13.4	4.7	89622.4
B	2	28.4 ns	89.8*	2.3**	28.3**	4.8 ns	332411.8**	62.4 ns	5.3 ns	3860262.1**
C	1	21.1 ns	15.7 ns	0.01 ns	16.5**	14.7 ns	45625.3**	99.9 ns	3.2 ns	662726.7**
I×B	4	23.5 ns	83.7*	4.8**	6.2**	32.1*	4361.8*	25.1 ns	110.2**	507960.1**
I×C	2	7.1 ns	2.5 ns	0.6 ns	1.4 ns	3.8 ns	1473.9 ns	11.3 ns	7.9 ns	94196.1 ns
B×C	2	0.0 ns	10.2 ns	0.2 ns	1.3 ns	3.4 ns	1993.2 ns	3.0 ns	13.9 ns	327552.2*
I×B×C	4	7.0 ns	10.1 ns	0.2 ns	2.9 ns	29.1 *	454.2 ns	56.6 ns	59.0 **	329124.7 **
Sub error	45	23.0 ns	23.8	0.3	1.9	10.0	1184.3	71.9	10.2	75174.8
C.V. (%)	-	4.7	7.2	9.7	14.2	9.5	4.9	11.1	9.2	11.4

I: آبیاری، B: باکتری، C: رقم

\* و \*\*: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

\* and \*\*: Significant at 5% and 1% probability level, respectively

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های تعداد روز تا رسیدگی، عملکرد دانه و میزان آب نسبی برگ ارزن تحت تأثیر آبیاری و رقم  
 Table 4. The Mean comparison of the number of day to maturity, grain yield and RWC in millet under the effect of irrigation and cultivar

Treatments	Days to maturity (Day)	RWC (%)	Number of seed in panicle	Grain yield (kg ha <sup>-1</sup> )
I <sub>1</sub>	106.54 a	80.59 a	-	-
I <sub>2</sub>	102.25 ab	76.25 b	-	-
I <sub>3</sub>	98.16 b	72.63 c	-	-
Golbaf	-	-	409.0b	674.63 b
Bastan	-	-	410.1a	725.00 a

I<sub>1</sub>= آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه (شاهد)، I<sub>2</sub>= آبیاری به میزان ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، I<sub>3</sub>= آبیاری به میزان ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه

- داده معنی دار نشده؛ میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد، اختلاف معنی دار با هم ندارند.

I<sub>1</sub>= unstressed (Control), Irrigation based on the plant's water requirement, I<sub>2</sub>= Irrigation at 75% of the plant's water requirement, I<sub>3</sub>= Irrigation at 50% of the plant's water requirement.  
 -, Data is not significant; means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level by LSD Test.

معنی دار را در شرایط بدون تنش ایجاد کرد (جدول ۵).  
 در پژوهش‌های صورت گرفته به کاهش میزان آلودگی و

تلقیح بذر ارزن با کود زیستی در هر سه رژیم آبیاری  
 سبب افزایش ارتفاع بوته گردید، ولی بیشترین تأثیر



دسترسی به نیتروژن بیشتر، افزایش جذب آن و فتوسنتز بیشتر توسط گیاه از دلایل احتمالی افزایش ارتفاع در تیمارهای دارای کود زیستی می‌باشد (Baghbani- Arani et al., 2017).

تلقیح موفق کودهای زیستی با ریشه گیاهان تحت تنش رطوبتی اشاره شده است (Soleymani & Pirzad, 2016; Habibzadeh et al., 2013). ارتفاع بوته شاخصی از رشد رویشی محسوب می‌شود و با توجه به این واقعیت که نیتروژن از عناصر اساسی برای رشد رویشی می‌باشد،

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های ارتفاع و صفات زراعی ارقام ارزن تحت تأثیر برهمکنش آبیاری × کود زیستی

Table 5-The Means comparison of plant height and agronomical traits in millet cultivars under the effect of irrigation × bio fertilizer interaction

Irrigation	Bio-fertilizer	Plant height (cm)	Number of panicle in plant	Number of seed in panicle	Grain yield (kg ha <sup>-1</sup> )
I <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	117.65 b	6.56 b	411.05 ab	865.63c
	B <sub>2</sub>	116.28 b	5.80 cd	411.74 a	927.38 b
	B <sub>3</sub>	123.07 a	7.25 a	411.47 a	1071.25 a
I <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	103.35 c	4.96 ef	408.65 c	583.63 f
	B <sub>2</sub>	103.81 c	5.37 de	410.01 bc	665.38 e
	B <sub>3</sub>	105.19 c	5.38 de	411.56 a	819.25 d
I <sub>3</sub>	B <sub>1</sub>	97.20 d	4.12 g	405.79 d	318.75 h
	B <sub>2</sub>	105.76 c	5.98 c	406.29 d	466.88 g
	B <sub>3</sub>	101.33cd	4.73 f	408.92 c	580.25 f

I<sub>1</sub>= آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه (شاهد)، I<sub>2</sub>= آبیاری به میزان ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، I<sub>3</sub>= آبیاری به میزان ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه؛ B<sub>1</sub>= عدم مصرف کود زیستی (شاهد)، B<sub>2</sub>= میزان ۰/۵ لیتر کود زیستی از توباکتر + آزوسپیریلیوم، B<sub>3</sub>= یک لیتر کود زیستی از توباکتر + آزوسپیریلیوم.

میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد، اختلاف معنی‌دار با هم ندارند.

I<sub>1</sub>= unstressed(Control), Irrigation based on the plant's water requirement, I<sub>2</sub>= Irrigation at 75% of the plant's water requirement, I<sub>3</sub>= Irrigation at 50% of the plant's water requirement; B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> and B<sub>3</sub>: no bio-fertilizer(Control), 0.5 liters of Azotobacter + Azospirillum and 1 liters of Azotobacter + Azospirillum bio-fertilizer respectively. The Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level by LSD Test.

کاربرد کودهای زیستی در شرایط تنش شدید نسبت به سایر رژیم‌های آبیاری مؤثرتر است به گونه‌ای که کاربرد ۰/۵ لیتر کود زیستی در شرایط تنش خفیف و شدید آبی، سبب افزایش ۸ و ۳۱ درصدی تعداد خوشه در گیاه گردید.

در تحقیقی نخعی و همکاران (Nakhaei et al., 2014) گزارش کردند که تنش رطوبتی در ارزن منجر به کاهش ۱۴/۲۷ درصدی تعداد خوشه در متر مربع، ۲۶/۳۴ درصدی تعداد دانه در خوشه و ۱۰/۴۱ درصدی

تعداد خوشه در گیاه: تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی سطوح آبیاری و تلقیح با کود زیستی و اثر دوگانه آبیاری و کود زیستی بر تعداد خوشه در گیاه در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها حاکی از آن است که با کاهش آب خاک، تعداد خوشه در ارزن کاهش یافت، به گونه‌ای که تنش خفیف و شدید نسبت به شاهد سبب کاهش به ترتیب ۲۴/۴ و ۳۷/۲ درصدی تعداد خوشه در گیاه گردید (جدول ۵). همچنین نتایج جدول ۵ نشان داد

تنش خشکی و کود زیستی و برهمکنش آنها بر تعداد دانه در کاپیتول در ماریتیغال (*Silybum marianum* L.) معنی دار گردید، به گونه‌ای که کمترین آن در شرایط تنش شدید کم‌آبی، بدون کود زیستی حاصل شد. وجود انواع ریزموجودات در کودهای زیستی از طریق تولید موادی همانند ایندول استیک اسید باعث افزایش رشد گیاه می‌شود و مراحل اولیه رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در نتیجه ریشه حجم بیشتری از خاک را اشغال می‌کند و سطح جذب (آب و مواد غذایی) افزایش می‌یابد که منجر به افزایش رشد، سرشاخه‌های گلدار، تعداد دانه در گسل و وزن دانه می‌شود (Mohammadpour Vashvaei et al., 2017).

**وزن هزار دانه:** نتایج تجزیه واریانس حاکی از معنی دار بودن اثر دو جانبه رژیم‌های آبیاری و کود زیستی و برهمکنش سه‌گانه رژیم آبیاری، کود زیستی و رقم بر وزن هزار دانه در سطح پنج درصد بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر برهمکنش سه‌گانه بین تیمارها نشان داد بیشترین وزن هزار دانه در تیمار بدون تنش آبی با کاربرد یک لیتر کود زیستی در رقم گلپاف (۱۷/۱ گرم) حاصل شد (جدول ۶).

به نظر می‌رسد به دلیل اثر منفی تنش خشکی بر میزان فتوسنتز، تولید ناکافی مواد لازم برای پر شدن دانه‌ها و کاهش طول دوره پر شدن دانه میانگین وزن هر دانه کاهش یافته است. این نتایج با یافته‌های سایر محققان در مورد کاهش وزن هزار دانه در اثر تنش خشکی در ارزن مطابقت دارد (Hayati et al., 2011; Nakhaei et al., 2014). همچنین در اکثر تیمارهای مربوط به اثر برهمکنش رژیم آبیاری و رقم، کاربرد کود زیستی سبب افزایش وزن هزار دانه گردید (جدول ۶). در این راستا، در تحقیقی دانشور و خاجوئی نژاد (Daneshvar & Khajoei-Nejad, 2014) گزارش نمودند که استفاده از کودهای بیولوژیک به دلیل افزایش توسعه ریشه و افزایش جذب مواد غذایی، سبب افزایش انتقال مواد فتوسنتزی و در نتیجه افزایش وزن هزار دانه می‌شود.

وزن هزار دانه نسبت به تیمار آبیاری کامل گردید. کاهش تعداد سنبله در متر مربع تحت تأثیر تنش خشکی در جهت تنظیم تعداد مخازن فیزیولوژیک با میزان تولید مواد پرورده رخ می‌دهد. دانشور و خاجوئی نژاد (Daneshvar & Khajoei-Nejad, 2014) نشان دادند استفاده کود زیستی (از توباکتر و آروسپیریلیوم) به دلیل افزایش جذب مواد غذایی، سبب افزایش تعداد طبق در گلرنگ گردید و عدم کاربرد کود بیولوژیک اثرات منفی ناشی از تنش رطوبتی را افزایش داد.

**تعداد دانه در خوشه:** تجزیه واریانس نشان داد علاوه بر معنی دار شدن تمامی اثرات اصلی تیمارهای آزمایشی، اثر دوگانه رژیم آبیاری و کود زیستی نیز بر تعداد دانه در خوشه ارزن در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) نشان داد تنش کم‌آبی سبب کاهش تعداد دانه در خوشه ارزن گردید و تلقیح ارزن با باکتری از توباکتر و آروسپیریلیوم، سبب تعدیل آثار منفی تنش بر این صفت گردید، به گونه‌ای که بیشترین تعداد دانه در خوشه در تیمار بدون تنش آبی با کاربرد نیم لیتر کود زیستی مشاهده گردید که با تیمارهای بدون تنش آبی و کاربرد یک لیتر کود زیستی و تنش کم‌آبی خفیف و کاربرد یک لیتر کود زیستی اختلاف آماری معنی داری نشان نداد. همچنین نتایج این جدول حکایت از مؤثرتر بودن کود زیستی در شرایط تنش آبی دارد به گونه‌ای که در شرایط بدون تنش آبی، تلقیح ارزن با کود زیستی (هر دو سطح) تأثیر معنی داری بر این صفت نداشته است (جدول ۵). همچنین نتایج جدول (۴) نیز حاکی از برتری جزئی (یک درصدی) رقم باستان بر گلپاف در تعداد دانه در خوشه بود.

کاهش عملکرد دانه تحت تأثیر تنش خشکی در ارزن از طریق کاهش سه جز مهم عملکرد یعنی تعداد خوشه در متر مربع، وزن دانه و تعداد دانه در خوشه می‌باشد. کاهش تعداد دانه در خوشه در ارزن می‌تواند ناشی از عقیمی گلچه‌ها، مرگ و میر گلچه‌ها و اختلال در گرده افشانی و پر شدن دانه‌ها باشد (Nakhaei et al., 2014). در تحقیقی گزارش گردید اثر



جدول ۶- مقایسه میانگین‌های صفات زراعی ارقام ارزن تحت تأثیر برهمکنش رژیم‌های آبیاری × رقم × کود زیستی

**Table 6-The Mean comparison of agronomical traits in millet cultivars under the effect of irrigation × bio fertilizer × cultivars interaction**

Irrigation	Cultivars	Bio-fertilizer	1000-seeds weight (g)	Biological yield (kg ha <sup>-1</sup> )	Harvest index (%)
I <sub>1</sub>	Golbaf	B <sub>1</sub>	1.07 bc	2298.7d	27.57 e
		B <sub>2</sub>	0.96 c	3016.6bc	33.46bcd
		B <sub>3</sub>	1.71 a	3781.3a	41.78 a
	Bastan	B <sub>1</sub>	1.19 abc	3263.6b	34.35bcd
		B <sub>2</sub>	1.24 abc	3351.9b	32.46cde
		B <sub>3</sub>	1.36 abc	3961.7a	35.72bcd
I <sub>2</sub>	Golbaf	B <sub>1</sub>	1.51 ab	2128.5de	37.88ab
		B <sub>2</sub>	1.37 abc	2308.4d	38.13ab
		B <sub>3</sub>	1.08 bc	2075.1de	31.70cde
	Bastan	B <sub>1</sub>	1.44 abc	2087.0de	30.84de
		B <sub>2</sub>	1.59 ab	2811.2c	34.86bcd
		B <sub>3</sub>	1.12 bc	2761.5 c	33.08bcd
I <sub>3</sub>	Golbaf	B <sub>1</sub>	1.54 ab	1018.6 g	36.77abc
		B <sub>2</sub>	1.36 abc	1326.7 g	37.00abc
		B <sub>3</sub>	1.08 bc	1423.2fg	30.93de
	Bastan	B <sub>1</sub>	1.23 abc	1749.7ef	36.77abc
		B <sub>2</sub>	1.47 abc	1940.8 de	35.53bcd
		B <sub>3</sub>	1.46 abc	2081.1de	33.91bcd

I<sub>1</sub>= آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه (شاهد)، I<sub>2</sub>= آبیاری به میزان ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، I<sub>3</sub>= آبیاری به میزان ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه؛ B<sub>1</sub>= عدم مصرف کود زیستی (شاهد)، B<sub>2</sub>= میزان ۰/۵ لیتر کود زیستی ازتوباکتر + آزوسپیریلیوم، B<sub>3</sub>= یک لیتر کود زیستی ازتوباکتر + آزوسپیریلیوم.

میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد، اختلاف معنی‌دار با هم ندارند.

I<sub>1</sub>= unstressed(Control), Irrigation based on the plant's water requirement, I<sub>2</sub>= Irrigation at 75% of the plant's water requirement, I<sub>3</sub>= Irrigation at 50% of the plant's water requirement; B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> and B<sub>3</sub>: no bio-fertilizer(Control), 0.5 liters of Azotobacter + Azospirillum bio-fertilizer and 1 liters of Azotobacter + Azospirillum bio-fertilizer respectively. The Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level by LSD Test.

هکتار) حاصل شد که حاکی از کاهش ۶۳/۲ درصدی ناشی از تنش شدید خشکی بر این صفت می باشد (جدول ۵). همچنین استفاده نیم لیتری کود زیستی (۶/۶۶، ۱۲/۲۹ و ۳۱/۷۳ درصدی) و یک لیتری آن (۱۹/۱۹، ۲۸/۷۶ و ۴۵/۰۷ درصدی) به ترتیب در تیمارهای آبیاری شاهد، تنش خفیف و شدید کم‌آبی، سبب افزایش عملکرد دانه ارزن گردیده است (جدول ۵) که دلالت بر تاثیر مثبت کودهای زیستی در تعدیل

عملکرد دانه: عملکرد دانه در ارزن تحت تأثیر رژیم آبیاری، کود زیستی و رقم و اثر دو جانبه رژیم‌های آبیاری و کود زیستی در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر دو جانبه رژیم آبیاری و کود زیستی نشان داد به ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد دانه ارزن در تیمارهای بدون تنش آبی و کاربرد یک لیتر کود زیستی و تنش شدید کم آبی بدون کود زیستی (۱۰۷۱/۲۵ و ۳۱۸/۷۵ کیلوگرم در

(جدول ۴). محتوای رطوبت نسبی برگ شاخص بسیار مهم در بیان وضعیت آبی برگ تحت شرایط تنش رطوبتی می‌باشد به طوری که در طول رشد و نمو گیاهی، خشکی به طور معنی داری مقدار محتوای رطوبت نسبی برگ را کاهش می‌دهد (Almeselmani et al., 2015). در موافقت با نتایج این تحقیق، عباس زاده و همکاران (Abbaszadeh et al., 2010) گزارش کردند تنش رطوبتی باعث کاهش محتوای آب برگ (RWC) در بادرنجبویه گردید و با افزایش شدت خشکی مقدار آن بیشتر کاهش یافت. به نظر می‌رسد گیاهانی که تحت تنش رطوبتی قرار می‌گیرند، فضای بین سلولی و میزان آب در پیکره خود را از طریق افزایش مواد اسمزی در درون بافت‌ها به حداقل می‌رسانند تا آب از بافت خاک با نیروی بیشتری وارد آنها شود، که این امر موجب کاهش میزان نسبی آب آزاد سلول جهت جذب بیشتر آب در شرایط تنش رطوبتی می‌گردد؛ در نتیجه، قابلیت دسترسی به آب برای فرایندهای توسعه سلول را محدود می‌کند. همچنین، محققین در مطالعات خود کاهش رشد و فعالیت ریشه و افزایش میزان تبخیر و تعرق از برگ‌ها را نیز از عوامل مؤثر در کاهش محتوای نسبی آب در مواجهه با تنش رطوبتی معرفی نموده‌اند (Venkateswarlu & Ramesh, 1993).

**شاخص برداشت:** تجزیه واریانس نشان داد شاخص برداشت در ارزن تحت تاثیر اثر برهمکنش رژیم آبیاری و کود زیستی و اثر برهمکنش سه گانه بین تیمارها در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین شاخص برداشت متعلق به رقم گلباف با کاربرد یک لیتر کود زیستی در شرایط بدون تنش آبی با ۴۱/۷۸ درصد به دست آمد (جدول ۶). همچنین نتایج این جدول حاکی از آن است در اکثر ترکیبات تیماری آبیاری، تیمارهای کود زیستی به همراه رقم گلباف ارزن، بیشترین شاخص برداشت را حاصل نمودند (جدول ۶).

دانشور و خاجوئی نژاد (Daneshvar & Khajoei, 2014) گزارش نمودند اثر دور آبیاری (۵، ۱۰ و ۱۵ روز) و کودهای زیستی (از توباکتر و آزوسپیریلیوم + کود فسفات بارور ۲) تأثیر معنی داری بر شاخص برداشت گلرنگ نداشتند، همچنین در بین ارقام نیز از

اثرات منفی تنش بر عملکرد دانه از طریق توسعه سیستم ریشه‌های گیاه و به تبع آن افزایش دسترسی و جذب آب و مواد غذایی و بهبود استقرار و توسعه اندام‌های هوایی گیاه می‌باشد. در بین ارقام مورد مطالعه نیز رقم ارزن باستان با تولید (۷۲۵ کیلوگرم در هکتار) برتری ۶/۹۵ درصدی بر رقم گلباف داشت (جدول ۴). همانطور که از جدول ۶ قبل استنباط است در اکثر ترکیبات تیماری آبیاری و کود زیستی، رقم باستان وزن هزار دانه بیشتری را تولید کرده است.

حیاتی و همکاران (Hayati et al., 2011) با افزایش فواصل آبیاری از ۷ به ۲۱ روز و ایجاد تنش خشکی، کاهش حدود ۲۳/۷ درصدی عملکرد دانه در ارزن را گزارش کردند و اعلام داشتند که هرگونه تنش که فراهمی مواد پرورده را کاهش دهد منجر به کاهش عملکرد دانه می‌شود. براک و همکاران (Bruck et al., 2000) دلیل کاهش عملکرد دانه ارزن تحت کم آبیاری را مختل شدن فعالیت‌های فیزیولوژیک در گیاه اعلام کردند. در موافقت با نتایج این تحقیق، گزارش کردند فقط در شرایط بدون تنش آبی، بین ۱۳ رقم ارزن دم روباهی تفاوت معنی داری از نظر عملکرد دانه وجود داشت ولی در شرایط تنش خشکی تفاوت معنی داری بین نمونه‌های مورد بررسی مشاهده نگردید که این موضوع نشان می‌دهد که تفاوت ژنتیکی نمونه‌های ارزن در شرایط تنش خشکی کمتر بروز می‌کند (Nakhaei et al., 2014). در بعضی مطالعات نشان داده شده که استفاده از باکترهای محرک رشد با افزایش سطح برگ و سرعت رشد محصول در نهایت عملکرد کمی و کیفی در گیاه ارزن (Siahmargue et al., 2014) و علاوه بر آن، مقاومت به خشکی در گیاه جو (Cakmakci et al., 2007) را افزایش می‌دهد.

**محتوای رطوبت نسبی برگ (RWC):** تجزیه واریانس نشان داد محتوای رطوبت نسبی برگ فقط تحت تاثیر رژیم‌های آبیاری در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد با افزایش شدت تنش کم آبی، از میزان محتوای رطوبت نسبی برگ کاسته شد. به گونه‌ای که تیمار آبیاری در زمان ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، سبب کاهش ۱۰٪ محتوای رطوبت نسبی برگ نسبت به شاهد گردید

نظر این صفت تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. معنی‌دار نشدن اثرات اصلی دور آبیاری و کود بیولوژیک بر شاخص برداشت به این دلیل است که تأثیر بر عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در تمامی تیمارهای آبیاری و کودی یکسان بوده است (Daneshvar & Khajoei-Nejad, 2014). در تحقیقی دیگر گزارش شد استفاده از کود زیستی سبب افزایش شاخص برداشت در ذرت گردید (Ashkavand et al., 2013).

**عملکرد بیولوژیک:** عملکرد بیولوژیک ارزن تحت تأثیر اثرات ساده و برهمکنش دو و سه‌گانه تیمارها در سطح یک درصد، به‌جز اثر دوگانه رژیم آبیاری و رقم قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین نشان داد کاربرد تنش کم‌آبی و کود زیستی، به‌ترتیب سبب کاهش و افزایش عملکرد بیولوژیک در هر دو رقم گردید و به دنبال آن بیشترین عملکرد بیولوژیک در هر دو رقم (گلباف و باستان) در تیمارهای بدون تنش کم‌آبی و با کاربرد یک لیتر کود زیستی از توباکتر + آروسپیریلیوم (۳/۳۷۸۱ و ۳۹۶۱/۷ کیلوگرم در هکتار)، که اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند، و کمترین آن در تیمار تنش شدید کم‌آبی بدون کود در هر دو رقم حاصل شد (جدول ۶). در موافقت با نتایج این تحقیق، ضابط و همکاران (Zabet et al., 2015) نشان دادند تیمار کودی، تنش رطوبتی و اثر برهمکنش آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر وزن تر و خشک برگ، ساقه و کل گیاه ارزن در دو چین علوفه داشتند. ضابط و همکاران (Zabet et al., 2015) گزارش کردند به‌ترتیب عملکرد تر و خشک کل ارزن علوفه‌ای با کاهش آبیاری تا حد تامین ۵۰٪ نیاز آبی گیاه ۳۸/۸ و ۴۰/۳ درصد کاهش یافت. همچنین استفاده از کود نیتروژن سبب افزایش وزن تر و خشک علوفه ارزن شد و بیان داشتند آبیاری و نیتروژن دو عامل کلیدی در تعیین عملکرد ارزن علوفه‌ای می‌باشند (Zabet et al., 2015). در تحقیقی دیگر در ارزن گزارش گردید بیشترین وزن خشک گیاه در رقم باستان، بدون تنش رطوبتی با کود فسفر حاصل شد (Rahbari et al., 2014). تنش کم‌آبی به‌عنوان مهمترین تنش غیرزیستی خصوصاً در مناطق خشک و نیمه خشک، به‌دلیل تغییرات در سیستم فتوسنتزی گیاه، سبب کاهش بیوماس گیاه می‌گردد.

### نتیجه‌گیری کلی

آب و مواد غذایی، دو عامل تأثیرگذار بر صفات مورفولوژیک و عملکرد و اجزای عملکرد ارزن می‌باشند. و کاهش آبیاری با کاهش میزان آب نسبی برگ و تعداد روز تا رسیدگی، سبب کاهش کلیه صفات عملکردی (عملکرد بیولوژیک، تعداد خوشه در بوته و تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه) در ارزن گردید، همچنین با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت کاربرد کودهای زیستی می‌تواند اثرات نامطلوب ناشی از تنش رطوبتی را بر عملکرد و اجزای عملکرد در هر دو رقم ارزن کاهش دهد. با توجه به اثر متقابل موجود بین ارقام و تیمارهای کودی از نظر عملکرد بیولوژیک، استفاده از کودهای زیستی در هر دو رقم، عملکرد علوفه را نسبت به شاهد افزایش داد، بنابراین استفاده از این کودها برای افزایش عملکرد علوفه و دانه در ارقام مختلف ارزن می‌تواند موثر باشد. رقم باستان از نظر عملکرد بیولوژیک و دانه در شرایط مختلف، اعم از کاربرد و بدون کاربرد کود زیستی نسبت به رقم گلباف برتری نشان داد.

## REFERENCES

1. Almeselmani, M., Al-Rzak Saud, A., Al-Zubi, K., Al-Ghzali, S., Hareri, F., Al-Nassan, M., Ammar, M. A. Kanbar, O. Z., Al-Naseef, H., Al-Nator, A., Al-Gazawi, A. & Teixeira da Silva, J. A. (2015). Evaluation of physiological traits, yield and yield components at two growth stages in 10 durum wheat lines grown under rain fed conditions in southern Syria. *Secretări Agronomic în Moldova*, 2(162), 29-49.
2. Ashkavand, M., Roshdi, M., Khalili Mohaleh, J., Jalili, F. & Hossein Pour, A. (2013). Effect of drought stress during phenological stage and biofertilizer and nitrogen application on yield and yield components of corn (KSC 704). *Journal of Crop Ecophysiology*, 6(4), 365-376. (In Farsi).
3. Baghbani- Arani, A., Modarres-Sanavy, S. A. M., Mashhadi Akbar Boojar, M. & Mokhtassi Bidgoli, A. (2017b). Towards improving the agronomic performance, chlorophyll fluorescence parameters and pigments in fenugreek using zeolite and vermicomposting under deficit water stress. *Industrial Crops and Products*, 109, 346-357.
4. Bazazi, N., Khodambashi M. & Mohammadi, Sh. (2013). Effect of drought stress on morphological characteristics and yield components of Fenugreek. *Journal of Crop Production and Processing*, 3(8), 11-22. (In Farsi).
5. Bruck, H., Payne, W. A. & 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.
6. Daneshvar, F. & Khajoei-Nejad, Gh. (2014). Study of bio-fertilizers application effects on yield potential and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars under different irrigation regimes. *The Iranian Society of Water and Irrigation Engineering*, 4(16), 59-69. (In Farsi).
7. Fulchieri, M., Lucangeli, C. & Bottini, R. (1993). Inoculation with *Azospirillum* effects growth and gibberellin status of corn seedling roots. *Plant Cell Physiology*, 34, 1305-1309.
8. Habibzadeh, Y., Pirzad, A., Zardashti, M. R., Jalilian, J. & Eini, O. (2013). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on seed and protein yield under water-deficit stress in mung bean. *Agronomy Journal*, 105, 79-84.
9. Hayati, A., Ramroudi, M. & Galavi, M. (2011). Effect of timing of potassium application on Millet (*Setaria italica*) yield and grain protein content in different irrigation regimes. *Journal of Crop Production and Processing*, 1(2), 35-44. (In Farsi).
10. Hellen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. *FAO irrigation and drainage*, No 56.
11. Kazemi Arbat, H. (1995). *Special agronomy. Vol. 1: Cereal crops*, Center of University Press, Tehran, Iran. (In Farsi).
12. Khazaie, H. R., Mohammad abadi, A. A. & Borzooei, A. (2005). The effect of drought stress on morphological and physiological characteristics of millets. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 3(1), 35-44. (In Farsi).
13. Kennedy, I. R., Choudhury, A. T. M. A., Kecskes, M. L., Roughley, R. J. & Hien, N. T. (2004). Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: Can their potential for plant growth promotion be better exploited? *Soil Biology and Biochemistry*, 36(8), 1229-1244.
14. Lian, Y., Ali, Sh., Zhang, X., Wang, T., Liu, Q., Jia, Q., Jia, Z. & Han, O. (2016). Nutrient and tillage strategies to increase grain yield and water use efficiency in semi-arid areas. *Agricultural Water Management*, 178, 137-147.
15. Manivannan, P., Abdul Jaleel, C., Sankar, B., Kishorekumar, A., Somasundaram, R., Lakshmanan, G. M. A. & Panneerselvam, R. (2007). Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 59, 141-149.
16. Mashayekhi, S., Khajoeinejad, Gh. & Mohammadinejad, Gh. (2016). Evaluation of yield and yield components of different millet genotypes under two irrigation regimes. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 14(1), 120-132. (In Farsi).
17. Mehrani, A., Mosavat, A., Shushi, A. A., Abbasi, M. R., Najafinejad, H., Tabatabaai, S. A. & Ghassemi, A. (2013). Bastan, a new foxtail millet cultivar adapted to short growing season for forage production. *Seed and Plant Improvement Journal*, 29(4), 865-867 (In Farsi).
18. Mirshekari, M., Amiri, R., Irannezhad, H., Noori, A. & Zandevakili, O. R. (2012). Effect of

- planting date and water deficit on quantitative and qualitative traits of flax seed. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science*, 12(7), 901-913.
19. Mohammadpour Vashvaei, R., Ramroudi, M. & Fakheri, B. A. (2017). Effects of drought stress and bio-fertilizer inoculation on quantitative and qualitative characteristics of Marian thistle (*Silybum marianum* L.). *Journal of Agro Ecology*, 9(1), 31-49. (In Farsi).
  20. Mokhtassi-Bidgoli, A., Aghaalikhani, M., Nassiri-Mahallati, M., Zand, E., Gonzalez-Andujar, J. L. & Azari, A. (2013). Agronomic performance, seed quality and nitrogen uptake of *Descurainia Sophia* in response to different nitrogen rates and water regimes. *Industrial Crops and Products*, 44, 583-592.
  21. Nakhaei, A., Abbasi, M. R., Arazmjoo, E. & Azari NasrAbad, A. (2014). Evaluation of terminal drought tolerance in foxtail millet (*Setaria italic* L.) accessions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 16(1), 25-38. (In Farsi).
  22. Norouzi, H., Roshanfekar, H., Hasibi, P. & Mesgarbashi, M. (2014). Effect of irrigation water salinity on yield and quality of two forage millet cultivars. *Journal of Water Research in Agriculture*, 28(3), 551-560. (In Farsi).
  23. Rahbari, A., Masood Sinaki, J. & Zarei, M. (2014). Effects of phosphate fertilizer and less irrigation on grain yield of the forage millet. *Journal of Agronomy Science*, 5(10), 27-38. (In Farsi).
  24. Tadayon, M. R. & Karimzadeh Soureshjani, H. (2017). Effect of zeolite on physiological and biochemical attributes of Proso millet (*Panicum miliaceum* L.) in deficit irrigation conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 48(2), 443-452. (In Farsi).
  25. Sajadi Nik, R. & Yadavi, A. R. (2014). Effect of nitrogen fertilizer, vermicompost and nitroxin on growth indexes, phenological stages and grain yield of sesame. *Electronic Journal of Crop Production*, 6(2), 73-99. (In Farsi).
  26. SAS Institute Inc, 2002. The SAS System for Windows. In: Release 90. Statistical Analysis Systems Institute, Cary, NC, USA.
  27. Siahmargue, A., Rasi Serai, M. R. & Naseri, M. Y. (2014). Effect of biological fertilizers on some forage quantity traits in millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.). *Journal of Iranian plant of Eco-physiology Researches*, 9(2), 72-81. (In Farsi).
  28. Soleymani, F. & Pirzad, A. R. (2016). The effect of mycorrhizal fungi on the oxidant enzymes activity in the medicinal herb, hyssop, under water deficit conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 31(6), 1013-1023. (In Farsi).
  29. Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting Rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil*, 255, 571-586.
  30. Zabet, M. Bahamin, S. Ghoreishi, S. Sadeghi, H. & Moosavi, Gh. (2015). Effect of deficit irrigation and nitrogen fertilizer on quantitative yield of aboveground part of forage pear millet (*Pennisetum glaucum* L.) in Birjand. *Environmental Stressed in Crop Sciences*, 7(2), 187-194. (In Farsi).
  31. Zahir, A. Z., Arshad, M. & Frankenberger, W. F. (2004). Plant growth promoting rhizobacteria: Application and perspectives in agriculture. *Advances in Agronomy*, 81, 97-168.