Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

# Effect of Foliar Application of Nano and Conventional Zinc Oxide and Silica Fertilizers on Yield and Yield Components of Millet in Deficit Irrigation Conditions

**Hamed Javadi[✉1], Mohammad Javad Seghatoleslami[2], Seyyed Gholamreza Moosavi [3] and Ahmad Moosavi[4]**

1. Corresponding Author, Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University (PNU), Iran, Email: h_javadi@pnu.ac.ir
2. Agriculture, Medicinal Plants and Animals Sciences Research Center, Birjand branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran, Email: mjseghat@yahoo.com
3. Agriculture, Medicinal Plants and Animals Sciences Research Center, Birjand branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran, Email: s_reza1350@yahoo.com
4. Payame Noor University (PNU), Tehran, Iran, Email: ahmadmosavizohan@yahoo.com

## Article Info

**Article type:** Research Article

**Article history:**

**Received:** Apr. 13, 2022

**Received:** May. 20, 2022

**Accepted:** May. 28, 2022

**Published online:** July. 23, 2022

**Keywords**:
Pishhang,
Spad,
Stomatal conductance.

## ABSTRACT

In order to study the effect of foliar application of nano and conventional zinc oxide and silica fertilizers on yield and yield components of millet Pishhang cultivar, an experiment was conducted in 2017 in the research farm of Birjand branch, Islamic Azad University, Birjand as split plots based on a randomized complete block design with three replications. Two levels of irrigation (irrigation based on 50% and 100% of water requirement by FAO method) were as the main plots. Also seven treatment of fertilizer foliar application (no foliar application (control), zinc oxide, silica oxide, nano zinc oxide, nano Silica, zinc oxide + silica and nano-zinc + nano-silica) were as the sub-plots. The results showed that deficit irrigation reduced plant height (36.2%), panicle length (21.2%), stomata conductance (14.2%), number of panicles per square meter (39.6%), number of seeds per panicle (33%), grain yield (62.8%), biological yield (38.4%) and harvest index (45.7%) compared to the control (100% water requirement). The effect of fertilizer foliar application was significant on chlorophyll index, stomata conductance, number of panicles per square meter, grain yield and biological yield. The highest grain yield was obtained from the application of common zinc oxide, nano-silica and zinc oxide+silica, which increased by 27.7, 26.8 and 15.9%, respectively, compared to the control. Also, the highest biological yield was obtained from the application of zinc + silica, ordinary zinc and nano-silica, which had an increase of 16.3%, 8.8% and 6.6%, respectively, compared to the control. Based on the results of this experiment, in order to preserve the environment and achieve maximum grain yield of millet in Birjand region, optimal irrigation and foliar application of nano-silica can be used.

Cite this article: Javadi, H., Seghatoleslami, M. J., Moosavi, S. GH. & Moosavi, A., (2022) Effect of Foliar Application of Nano and Conventional Zinc Oxide and Silica Fertilizers on Yield and Yield Components of Millet in Deficit Irrigation Conditions, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53 (5), 1009-1021.

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/10.22059/ijswr.2022.341546.669244

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۳، شماره ۵ شاپا: ۷۸۳۳-۲۴۲۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

# تأثیر محلول‌پاشی کودهای نانو و معمولی اکسید روی و سیلیس بر عملکرد و اجزای عملکرد ارزن دانه‌ای در شرایط تنش کم‌آبی

حامد جوادی ✉[۱]، محمد جواد ثقه الاسلامی[۲]، سید غلامرضا موسوی[۳]، سید احمد موسوی[۴]

۱. نویسنده مسئول، گروه علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور،تهران، ایران. ایمیل: h_javadi@pnu.ac.ir

۲. مرکز تحقیقات کشاورزی، گیاهان دارویی و علوم دامی، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران. ایمیل: mjseghat@yahoo.com

۳. مرکز تحقیقات کشاورزی، گیاهان دارویی و علوم دامی، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران. ایمیل: s_reza1350@yahoo.com

۴. دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. ایمیل: ahmadmosavizohan@yahoo.com

**اطلاعات مقاله**

**نوع مقاله:** مقالهٔ پژوهشی

**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۱/۱/۲۴
**تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۱/۲/۳۰
**تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۱/۳/۷
**تاریخ انتشار:** ۱۴۰۱/۵/۱

**واژه‌های کلیدی:**
پیشاهنگ،
عدد کلروفیل‌متر،
هدایت روزنه‌ای.

**چکیده**

به‌منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی کودهای نانو و معمولی اکسید روی و سیلیس بر عملکرد و اجزای عملکرد ارزن رقم پیشاهنگ، آزمایشی در سال ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی بیرجند به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. دو سطح آبیاری (آبیاری بر اساس ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی به روش FAO) به‌عنوان عامل اصلی و هفت سطح محلول‌پاشی کودی (عدم محلول‌پاشی (شاهد)، اکسید روی، اکسید سیلیس، نانو اکسید روی، نانو اکسید سیلیس، اکسید روی + اکسید سیلیس، نانو اکسید روی + نانو اکسید سیلیس) به‌عنوان عامل فرعی بودند. نتایج نشان داد که کم‌آبی موجب کاهش ارتفاع بوته (۳۶/۲ درصد)، طول پانیکول (۲۱/۲ درصد)، هدایت روزنه‌ای (۱۴/۲ درصد)، تعداد پانیکول در مترمربع (۳۹/۶ درصد)، تعداد دانه در پانیکول (۳۳ درصد)، عملکرد دانه (۶۲/۸ درصد)، عملکرد بیولوژیک (۳۸/۴ درصد) و شاخص برداشت (۴۵/۷ درصد) نسبت به شاهد (۱۰۰ درصد نیاز آبی) شد. اثر محلول‌پاشی کودی بر عدد کلروفیل‌متر، هدایت روزنه‌ای، تعداد پانیکول در مترمربع، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد دانه به طور مشترک از کاربرد روی معمولی، نانو سیلیس و روی معمولی + سیلیس معمولی حاصل شد که از افزایش به ترتیب ۲۷/۷، ۲۶/۸ و ۱۵/۹ درصدی نسبت به شاهد برخوردار بودند. همچنین بیشترین عملکرد بیولوژیک به طور مشترک از کاربرد روی معمولی + سیلیس معمولی، کاربرد روی معمولی و کاربرد نانو سیلیس حاصل شد که از افزایش به ترتیب ۱۶/۳، ۸/۸ و ۶/۶ درصدی نسبت به شاهد برخوردار بودند. بر اساس نتایج این آزمایش، به منظور حفظ محیط‌زیست و دستیابی به حداکثر عملکرد دانه ارزن دانه‌ای در منطقه بیرجند می‌توان از آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی نانو سیلیس استفاده نمود.

استناد: جوادی، حامد؛ ثقه الاسلامی، محمدجواد؛ موسوی، سیدغلامرضا؛ موسوی، سیداحمد (۱۴۰۱). تأثیر محلول‌پاشی کودهای نانو و معمولی اکسید روی و سیلیس بر عملکرد و اجزای عملکرد ارزن دانه‌ای در شرایط تنش کم‌آبی. *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۳ (۵)، ۱۰۲۱-۱۰۰۹.

DOI: http//doi.org/10.22059/ijswr.2022.341546.669244

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

## مقدمه

ارزن‌ها جزء غلات دانه‌ریز محسوب می‌شوند و به خانواده گندمیان تعلق دارند. این گیاه به‌عنوان محصول علوفه‌ای و دانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد که بیشتر محصول دانه‌ای آن از اهمیت خاصی برخوردار است و به مصرف پرندگان، سایر حیوانات و انسان می‌رسد و در صنعت برای تهیه الکل به کار می‌رود (Emam, 2007). ارزن از نظر مسیر فتوسنتزی جزء گیاهان چهار کربنه بوده که کارایی آن‌ها تحت شرایطی مانند درجه حرارت بالا و کمبود آب به‌طور قابل‌توجهی بیشتر از گیاهان سه کربنه است و به دلیل رشد سریع و تحمل نسبی بالا به خشکی، گیاهی مناسب جهت کشت در نواحی خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود (Mehrpooyan and Faramarzi, 2011).

خشکی مهمترین عامل محیطی محدودکننده رشد و تولید در گیاهان زراعی است (Paygzar et al., 2009). کم‌آبیاری یکی از راهکارهای بهینه‌سازی مصرف آب است که طی آن به گیاه زراعی اجازه داده می‌شود مقداری تنش کم‌آبی را در طول فصل رشد تحمل نمایند. هدف اصلی در کم‌آبیاری، افزایش کارایی مصرف آب از طریق کاهش نیاز آبی و حذف آن بخش از آب آبیاری است که تأثیر معنی‌داری در افزایش عملکرد ندارد (Howelle et al., 2004). نتایج تحقیقی در خصوص تأثیر رژیم‌های آبیاری بر عملکرد ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum* L.) حاکی از آن بود که کاهش آبیاری تا ۳۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش متوسط) تأثیری معنی‌داری بر عملکرد دانه نداشت اما در شرایط تنش شدید آبیاری (۴۵ درصد ظرفیت زراعی) عملکرد دانه کاهش یافت (Ghanbari et al., 2020). نتایج تحقیقی دیگر نشان داد که کاهش میزان آبیاری از ۱۰۰ درصد به ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه موجب کاهش ارتفاع بوته، کلروفیل برگ، عملکرد و اجزای عملکرد دانه و شاخص برداشت در ارزن پروسو (*Panicum miliaceum* L.) شد (Tadaton and Karimzadeh Soureshjani, 2017). نتایج تحقیقی در خصوص ارقام ارزن معمولی (*Panicum miliaceum* L.) و ارزن دم‌روباهی (*Setaria italica* L.) حاکی از آن بود که کاهش میزان آبیاری از تأمین ۱۰۰ درصد به ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه موجب کاهش ارتفاع بوته، تعداد پانیکول در گیاه، تعداد دانه در پانیکول، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک شد اما تأثیری بر وزن هزار دانه و شاخص برداشت نداشت (Adavi and Baghbani- Arani, 2020). همچنین نتایج تحقیقی دیگر نشان داد که تأمین ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه ارزن دانه‌ای موجب کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته، تعداد پانیکول در گیاه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و شاخص برداشت شد (Mokari and Abedinpour, 2020).

یکی از اثرات تنش کم‌آبی بر هم زدن تعادل تغذیه‌ای در گیاه است و در این شرایط مصرف عناصر ریزمغذی از طریق محلول‌پاشی، می‌تواند وضعیت رشد گیاه را در شرایط تنش بهبود بخشد (Paygzar et al., 2009). یکی از عناصر کم‌مصرف که وجود آن برای فعالیت‌های متابولیکی در گیاهان ضروری است عنصر روی می‌باشد (Hassegawa, 2008). اگرچه نیاز گیاهان به روی کم است اما اگر مقدار کافی از این عنصر در دسترس نباشد، گیاهان از تنش‌های فیزیولوژیکی حاصل از ناکارایی سیستم‌های متعدد آنزیمی و دیگر اعمال متابولیکی مرتبط آسیب خواهند دید (Baybordi, 2006). عنصر روی نقش مهمی در تنظیم میزان باز بودن روزنه‌ها دارد، به این دلیل که این عنصر در نگهداری عنصر پتاسیم در سلول‌های محافظ روزنه نقش دارد (Welch, 1995). کمبود روی می‌تواند باعث عدم توازن عناصر غذایی در گیاه شده و کاهش راندمان مصرف آب و درنهایت کاهش کیفیت و کمیت محصول را در پی داشته باشد (Davodi et al., 2013). نتایج تحقیقی نشان داد که محلول‌پاشی با عنصر روی نسبت شاهد (عدم محلول‌پاشی) موجب افزایش ۳۵ درصدی عملکرد دانه ماش (*Vigna radiate* L.) شد (Jalilian et al., 2014). در تحقیقی دیگر محلول‌پاشی اکسید روی عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) را به ترتیب به میزان ۵۹/۷ و ۲۸/۷ درصد نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی افزایش داد (Asadzadeh et al., 2017).

سیلیسیم دومین عنصر فراوان پوسته زمین است که با وجود فراوانی اکثر فرم‌های آن قابل‌جذب برای گیاه نیست. این عنصر در افزایش کارایی مصرف آب و همچنین بر رشد و عملکرد گیاه اثر مثبتی دارد و باعث افزایش تولید و کیفیت محصول، کاهش تبخیر و تعرق، افزایش مقاومت به تنش‌هایی مانند خشکی و سمیت فلزات سنگین، افزایش تحریک تولید برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و کاهش حساسیت به بعضی بیماری‌های قارچی در گیاه می‌شود (Ma, 2004; Gao et al., 2006). همچنین وجود سیلیسیم جهت تولید آنزیم روبیسکو (Rubisco) در برگ لازم است. این آنزیم کارایی تثبیت دی‌اکسید کربن توسط گیاهان را افزایش داده و درنهایت منجر به بهبود فتوسنتز در گیاه می‌شود (Mohaghegh et al., 2010). جذب سیلیس به‌وسیله گیاه اثرات مفیدی مانند افزایش مقاومت به آفات و بیماری‌ها (Hossain et al., 2007)، تحمل به تنش‌های غیرزنده (Liang et al., 2005) و بهبود کیفیت و عملکرد محصول (Kamenidou et al., 2010) را به همراه دارد. نتایج تحقیقی در خصوص ارزن دانه‌ای نشان داد که تأثیر سیلیسیم بر عملکرد دانه و وزن هزار دانه معنی‌دار بوده و موجب افزایش این صفات شد اما تأثیری بر تعداد سنبله در بوته و تعداد دانه در سنبله گیاه نداشت (Khodabandehloo et al., 2014). در بررسی

دیگر گزارش شد که کاربرد سیلیس موجب افزایش تعداد خوشه در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه برنج (*Oryza sativa* L.) شد (Agarie et al., 1993).

به دلیل اثرات مضری که کودهای شیمیایی در محیطزیست و کیفیت غذا ایجاد می‌کنند، استفاده از نانو کودها جهت حاصل‌خیزی خاک و تأمین عناصر غذایی گیاهان مورد توجه قرار گرفته است. در نانو کودها به‌عنوان جایگزین کودهای مرسوم، عناصر غذایی کود به‌تدریج و به‌صورت کنترل‌شده در خاک آزاد می‌شوند و درنتیجه از بروز پدیده مردابی شدن آب‌های ساکن و همچنین آلودگی آب آشامیدنی جلوگیری به عمل خواهد آمد. درواقع بهره‌گیری از فناوری نانو در طراحی و ساخت نانو کودها، فرصت‌های جدیدی به منظور افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی و به حداقل رساندن هزینه‌های حفاظت از محیطزیست، فراهم نموده است (Naderi and Abedi, 2012). تبدیل مواد به مقیاس نانو، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، بیولوژیکی و فعالیت‌های کاتالیزوری آن‌ها را تغییر می‌دهد. علاوه بر انحلال‌پذیری بیشتر، فعالیت‌های شیمیایی و قابلیت نفوذ در غشای سلولی در این نانو ذرات پدیدار می‌گردد (Mazaherinia et al., 2010). نتایج تحقیقی حاکی از افزایش عملکرد دانه گیاه تریتیکاله (*Triticosecale* Witt.) در اثر محلول‌پاشی با نانو اکسید روی بود (Kheirizadeh et al., 2018). در تحقیقی، محلول‌پاشی با نانو ذرات سیلیس موجب افزایش ارتفاع بوته، تعداد پانیکول در گیاه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در گیاه ارزن دانه‌ای شد (Mokari and Abedinpour, 2020). در پژوهشی مشخص گردید که محلول‌پاشی با نانو ذرات سیلیس عملکرد دانه را به میزان ۳۷ درصد نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی (تیمار شاهد) در شرایط تنش خشکی افزایش داد (Abdul Qados and Moftah, 2015). در تحقیقی دیگر کاربرد نانو ذرات سیلسیم نسبت به کاربرد سیلیکات سدیم و عدم مصرف سیلیسیم (شاهد) موجب افزایش تعداد خوشه در مترمربع، عملکرد دانه و عملکرد کاه و کلش در ارزن دانه‌ای شد اما تأثیری بر ارتفاع بوته نداشت (Ahmadi et al., 2021). نتایج مطالعه‌ای در خصوص ذرت دانه‌ای نشان داد که کاربرد کودهای نانو و معمولی روی و سیلیس بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای معنی‌دار بود و بیشترین عملکرد دانه از محلول‌پاشی توأم نانو اکسید روی و نانو اکسید سیلیس حاصل شد (Akbari et al., 2017).

با توجه به مدیریت نامناسب منابع آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک و رویارویی کشاورزان این مناطق با پدیده بحران آب، این ضرورت احساس می‌شود که بتوان با ارائه راهکارهای مدیریتی مناسب، آسیب‌های ناشی از کمبود آب و تنش خشکی در تولید محصولات کشاورزی را به حداقل رساند. یکی از راهکارهایی که می‌تواند به افزایش مقاومت گیاه به خشکی و بالا بردن کارایی مصرف آب کمک نماید استفاده از نانو ذرات در کشاورزی است؛ اما نکته‌ای که باید به آن توجه نمود این است که نوع نانو ذرات و روش استفاده از آن‌ها باید در هر منطقه و برای هر نوع گیاه به طور جداگانه مورد مطالعه قرار گیرد. متأسفانه در زمینه استفاده از نانو ذرات و نقش آن‌ها به‌عنوان مکمل در افزایش مقاومت گیاهان زراعی در برابر تنش‌های محیطی و به‌خصوص تنش خشکی مطالعات بسیار کمی در کشور انجام شده است؛ بنابراین این پژوهش با هدف تأثیر محلول‌پاشی کودهای نانو و معمولی روی و سیلیس بر عملکرد و اجزای عملکرد ارزن دانه‌ای در شرایط تنش کم‌آبی در منطقه بیرجند به اجرا در آمد.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی بیرجند با مختصات جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۹ درجه و ۱۳ دقیقه طول شرقی و با ارتفاع ۱۴۸۰ متر از سطح دریا اجرا شد. محل آزمایش از نظر اقلیمی بر اساس سیستم طبقه‌بندی آمبرژه جزء مناطق خشک می‌باشد. نتایج تجزیه خاک منطقه مورد آزمایش در جدول ۱ آمده است:

**جدول ۱- نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش**

| روی (میلی‌گرم در کیلوگرم) | پتاسیم (پی‌پی‌ام) | فسفر (پی‌پی‌ام) | نیتروژن (پی‌پی‌ام) | اسیدیته | هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) | بافت خاک |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۰/۵۱ | ۱۳۳ | ۶/۸ | ۰/۰۳۳ | ۸/۲ | ۱/۵۷ | لوم رسی |

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تنش کم‌آبی به‌عنوان فاکتور اصلی در دو سطح (آبیاری بر اساس ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی به روش FAO) و تیمار محلول‌پاشی کودی در هفت سطح (شاهد یا عدم محلول‌پاشی ریزمغذی، محلول‌پاشی اکسید روی، محلول‌پاشی اکسید سیلیس، محلول‌پاشی با نانو اکسید روی، محلول‌پاشی با نانو اکسید

سیلیس، محلول‌پاشی اکسید روی + اکسید سیلیس، محلول‌پاشی نانو اکسید روی + نانو اکسید سیلیس) به‌عنوان فاکتور فرعی بودند.

نیاز آبی به روش FAO با استفاده از تشتک تبخیر کلاس A و ضریب گیاهی (kc) محاسبه (Davodi et al., 2013) و اعمال آن از مرحله استقرار کامل بوته‌ها و ۴ برگی شدن ارزن انجام شد. محلول‌پاشی در دو نوبت (دو هفته قبل از گلدهی در تاریخ ۱۳۹۶/۵/۱ و دو هفته بعد از گلدهی در تاریخ ۱۳۹۶/۵/۲۹) صورت گرفت. نانو اکسید روی و نانو اکسید سیلیس هر کدام با غلظت ۰/۵ در هزار و اکسیدهای معمولی روی و سیلیس هر کدام با غلظت ۵ در هزار محلول‌پاشی شدند (Davodi et al., 2013; Mokari and Abedinpour, 2020). در این آزمایش هر کرت شامل ۴ خط کاشت به طول ۵ متر بود و فاصله بین ردیف‌های کاشت ۲۵ سانتی‌متر و بین بوته‌ها ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

پس از آماده‌سازی زمین، بذور ارزن دانه‌ای رقم پیشاهنگ با قارچ‌کش بنومیل با غلظت ۲ در هزار ضدعفونی شده و در اول تیرماه ۱۳۹۶ در دو طرف پشته‌های ۲۵ سانتی‌متری و در عمق ۲ تا ۳ سانتی‌متری کشت شدند. قبل از کاشت بر اساس نتایج تجزیه خاک، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل، ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم و ۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره به زمین داده شد.

بلافاصله بعد از کاشت، زمین آبیاری شد و تا مرحله ۴ برگی شدن بوته‌های ارزن در همه کرت‌ها آب به طور یکسان داده شد و سپس آبیاری به‌صورت هفتگی و بر اساس تیمارهای آبیاری انجام گرفت. آبیاری توسط کنتور و بر اساس نیاز آبی گیاه با استفاده روش FAO و با استفاده از داده‌های تشتک تبخیر، تعیین و آبیاری در هر نوبت انجام گرفت. برای این منظور آمار تبخیر روزانه از اداره هواشناسی اخذ و با استفاده از ضریب تشتک (۰/۷) و ضریب گیاهی ارزن، تبخیر و تعرق گیاه مرجع و تبخیر و تعرق ارزن در مراحل مختلف به دست آمد و با حاصل‌ضرب تبخیر و تعرق گیاه ارزن در مساحت کرت، میزان آب مصرفی (آبیاری مطلوب یا تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی) و نصف آن (آبیاری با تنش یا تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی) در هر بازه زمانی به دست آمد. در طی دوره رشد دو نوبت و در هر مرحله مقدار ۷۵ کیلوگرم اوره در هکتار به‌صورت سرک و پس از انجام آبیاری در مزرعه آزمایشی استفاده شد.

جهت اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک شامل ارتفاع بوته و طول پانیکول، تعداد ۵ بوته از هر کرت به‌صورت تصادفی انتخاب و میانگین آن‌ها ثبت شد. همچنین، جهت اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک شامل عدد کلروفیل متر و هدایت روزنه‌ای، بین ساعات ۱۱ تا ۱۴ روز قبل از اعمال تیمارهای آبیاری، تعداد ۵ بوته از هر کرت به‌صورت تصادفی انتخاب و اندازه‌گیری‌های مورد نظر انجام شد. جهت اندازه‌گیری عدد کلروفیل‌متر از دستگاه کلروفیل‌متر SPAD-502(Minolta) در آخرین برگ توسعه‌یافته و هدایت روزنه‌ای از دستگاه پرومتر (*SC-1* Porometer, *Decagon Devices*) استفاده شد.

برداشت در تاریخ ۱۳۹۶/۶/۲۲ و پس از رسیدگی فیزیولوژیکی و قبل از ریزش بذور ارزن انجام گرفت. برای تعیین عملکرد دانه در واحد سطح در هر واحد آزمایشی، بوته‌های ۲ ردیف وسط هر کرت با رعایت اثر حاشیه‌ای از مساحت یک مترمربع به‌صورت دستی برداشت و بذور بوجاری گردید و عملکرد دانه در واحد سطح بر اساس گرم در مترمربع محاسبه شد. برای اندازه‌گیری تعداد پانیکول در مترمربع، خوشه‌های موجود در یک مترمربع میانی (قسمت برداشت شده قبل از بوجاری) هر کرت شمارش شد و تعداد دانه در هر پانیکول نیز با بوجاری دانه‌های ۱۰ پانیکول برداشت شده از قسمت میانی هر کرت و شمارش آن‌ها با دستگاه بذرشمار (CHOPIN Technologies, Cedex, France) تعیین گردید. جهت به دست آوردن وزن هزار دانه ارزن در هر کرت، از توده بذر خالص هر کرت یک نمونه ۱۰۰۰ تایی بذر توسط دستگاه بذرشمار به طور تصادفی مجزا شد و توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شد. عملکرد بیولوژیک ارزن در واحد سطح نیز از حاصل جمع برگ و ساقه خشک شده (پس از قرار گرفتن در آون ۷۲ درجه سانتی‌گراد برای مدت ۴۸ ساعت) و عملکرد دانه هر کرت محاسبه گردید. شاخص برداشت دانه در بوته، از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک و ضرب آن در عدد ۱۰۰ محاسبه گردید.

پس از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام پذیرفت. جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

## نتایج و بحث

### صفات مرفولوژیک

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح آبیاری بر ارتفاع بوته و طول پانیکول در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود اما اثر منابع کودی و اثرمتقابل آبیاری و منابع کودی بر این صفات معنی‌دار نبود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته و طول پانیکول از تیمار آبیاری کامل (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) حاصل شد و با کاهش میزان آبیاری به ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه

ارتفاع بوته و طول پانیکول به ترتیب ۳۶/۲ و ۲۱/۲ درصد کاهش یافت (جدول ۳). نتایج تحقیقی نشان داد که کاهش میزان آبیاری از ۱۰۰ درصد به ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه موجب کاهش ارتفاع بوته در ارزن پروسو شد ((Tadaton and Karimzadeh Soureshjani, 2017. همچنین نتایج تحقیقی در خصوص ارقام ارزن معمولی و ارزن دم‌روباهی حاکی از آن بود که کاهش میزان آبیاری از تأمین ۱۰۰ درصد به ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه موجب کاهش ارتفاع بوته شد (Adavi and Baghbani- Arani, 2020). نتایج تحقیقی دیگر نشان داد که تأمین ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه ارزن دانه‌ای موجب کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته شد (Mokari and Abedinpour, 2020). نتایج به دست آمده توسط سایر محققان در خصوص تأثیر کم‌آبیاری بر ارتفاع بوته بیانگر کاهش معنی‌دار آن در گیاه ارزن می‌باشد ( Ghanbari et al., 2020; Erfani et al., 2013). تنش کم‌آبی از طریق کاهش فشار آماس و متعاقب آن کاهش تقسیم و بزرگ شدن سلول‌ها موجب کاهش ارتفاع بوته می‌شود (Baghalian et al., 2011). همچنین تنش خشکی از طریق کندی رشد، کاهش توسعه و دوام سطح برگ و کاهش منابع ذخیره و تولید مواد فتوسنتزی موجب کاهش ارتفاع بوته می‌شود (Sharief and Keshta, 2006). به نظر می‌رسد علت کاهش طول پانیکول در شرایط تنش کم‌آبی، کوتاه شدن دوره رویشی گیاه و عدم فرصت کافی برای جذب آب و مواد غذایی باشد. فراهمی آب بر بسیاری از جنبه های متابولیسمی گیاه از جمله جذب و آسیمیلاسیون عناصر غذایی مؤثر است. کاهش در جذب عناصر غذایی در اثر کمبود آب ممکن است در این زمینه مؤثر باشد (Farhadi et al., 2013; Souri, 2016).

**جدول ۲. تجزیه واریانس (مربعات میانگین) تاثیر کودهای نانو و معمولی روی و سیلیس بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد ارزن دانه‌ای رقم پیشاهنگ در شرایط تنش کم‌آبی**

| منابع تغییر | درجه آزادی | ارتفاع بوته | طول پانیکول | عدد کلروفیل‌متر | هدایت روزنه‌ای | تعداد پانیکول در مترمربع | تعداد دانه در پانیکول | وزن هزار دانه | عملکرد دانه | عملکرد بیولوژیک | شاخص برداشت |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تکرار | ۲ | ۱۰۷/۸$^{ns}$ | ۸/۵$^{ns}$ | ۸۰۶/۷$^{ns}$ | ۴/۲$^{ns}$ | ۳۱۹۹/۵$^{ns}$ | ۱۷۴۲/۹$^{ns}$ | ۰/۴۷$^{ns}$ | ۹۸۸/۱$^{ns}$ | ۱۹۷۳۱/۵$^{ns}$ | ۷۴/۴$^{ns}$ |
| تنش کم آبی (A) | ۱ | ۵۳۷۲/۰* | ۱۴۴/۴* | ۵۱۰/۳* | ۳۶/۸* | ۶۹۲۹۶/۰* | ۲۰۰۹۷/۹* | ۰/۷۸$^{ns}$ | ۱۰۳۵۷۱/۱* | ۳۶۴۱۸۸/۵* | ۱۹۱۰/۲* |
| خطای a | ۲ | ۶۸/۲ | ۷/۳ | ۲۰/۱ | ۱/۸ | ۳۲۶۰/۳ | ۸۲۹/۶۷ | ۰/۱۵ | ۳۰۶۶/۶ | ۶۳۳۴/۰ | ۸۳/۸ |
| منابع کودی (B) | ۶ | ۸/۱$^{ns}$ | ۴/۵$^{ns}$ | ۱۲۰/۳* | ۱۹/۵* | ۹۸۳/۹* | ۴۹۶/۹$^{ns}$ | ۰/۳۱$^{ns}$ | ۹۹۹/۵* | ۱۱۵۷۸/۴* | ۵۵/۹$^{ns}$ |
| A × B | ۶ | ۱۵/۳$^{ns}$ | ۲/۱$^{ns}$ | ۱۱۰/۲* | ۵/۰$^{ns}$ | ۴۹۵/۵$^{ns}$ | ۸۷۵/۷$^{ns}$ | ۰/۴$^{ns}$ | ۵۹۷/۴$^{ns}$ | ۲۱۷۸/۶$^{ns}$ | ۶۹/۷$^{ns}$ |
| خطای b | ۲۴ | ۱۹/۳ | ۳/۲ | ۳۸/۱ | ۷/۱ | ۲۷۷/۵ | ۱۰۲۱/۴ | ۰/۳۹ | ۳۶۹/۵ | ۴۰۷۳/۹ | ۵۵/۵ |
| ضریب تغییرات (درصد) | | ۸/۶ | ۱۱/۵ | ۲۲/۸ | ۲۳/۷ | ۲۳/۱ | ۲۱/۳ | ۴/۱ | ۲۵/۷ | ۱۶/۳ | ۲۵/۶ |

**$^{ns}$، * و ** به ترتیب به مفهوم غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد می‌باشند.**

**جدول ۳. مقایسه میانگین برخی صفات مورفوفیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد ارزن دانه‌ای رقم پیشاهنگ در شرایط تنش کم‌آبی**

| تنش کم‌آبی (درصد تأمین نیاز آبی) | ارتفاع بوته (سانتی‌متر) | طول پانیکول (سانتی‌متر) | هدایت روزنه‌ای (میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه) | تعداد پانیکول در مترمربع | تعداد دانه در پانیکول | وزن هزار دانه (گرم) | عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) | عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) | شاخص برداشت (درصد) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱۰۰ | ۶۲/۴۶ $^{a}$ | ۱۷/۵۰ $^{a}$ | ۱۱/۲۶ $^{a}$ | ۲۰۴/۷۶ $^{a}$ | ۱۷۲/۵۷ $^{a}$ | ۴/۷۶ $^{a}$ | ۱۵۷۷/۸ $^{a}$ | ۴۸۴/۴۳ $^{a}$ | ۲۹/۴۷ $^{a}$ |
| ۵۰ | ۳۹/۸۴ $^{b}$ | ۱۳/۷۹ $^{b}$ | ۹/۶۶ $^{b}$ | ۱۲۳/۵۲ $^{b}$ | ۱۱۵/۵۹ $^{b}$ | ۴/۱۴ $^{a}$ | ۵۸۴/۶ $^{b}$ | ۲۹۸/۱۹ $^{b}$ | ۱۵/۹۸ $^{b}$ |

**میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد فاقد تفاوت آماری معنی‌دار می‌باشند.**

### صفات فیزیولوژیک

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر آبیاری و اثر منابع کودی بر عدد کلروفیل‌متر و هدایت روزنه‌ای در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. همچنین اثرمتقابل آبیاری و منابع کودی بر عدد کلروفیل‌متر در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار اما بر هدایت روزنه‌ای معنی‌دار نبود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با کاهش میزان آبیاری از ۱۰۰ درصد به ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه هدایت روزنه‌ای ۱۴/۲ درصد کاهش یافت (جدول ۳). نتایج تحقیقی نشان داد که کاهش میزان آبیاری از ۱۰۰ درصد به ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه موجب کاهش کلروفیل برگ در ارزن پروسو شد (Tadaton and Karimzadeh Soureshjani, 2017). نتایج تحقیقی در خصوص تأثیر رژیم‌های آبیاری بر عملکرد ارزن مرواریدی حاکی از آن بود که تنش کم‌آبی موجب کاهش میزان کلروفیل برگ شد (Ghanbari et al., 2020). کاهش در محتوای کلروفیل در اثر تنش خشکی به دلیل افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول است که موجب پراکسیداسیون

و تجزیه این رنگدانه‌ها می‌شوند (Simova- Stoilova *et al.*, 2008). در تحقیقی مشخص شد که تنش خشکی موجب کاهش هدایت روزنه‌ای در سویا (*Glycine max* L.) شد (Esazadeh Panjali Kharabasi *et al*., 2017). کاهش هدایت روزنه‌ای در اثر تنش کم‌آبی، احتمالاً به دلیل کاهش ورود یون پتاسیم به داخل سلول‌های محافظ روزنه و کاهش فشار آماس سلولی می‌باشد. از طرف دیگر مطالعات گسترده نشان داده است که در شرایط تنش کم‌آبی به دلیل افزایش سطح آبسزیک اسید در آوند چوبی و کم شدن محتوای نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای برگ کاهش می‌یابد (Tardieu et al., 1992; Steiner et al., 2014).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین عدد کلروفیل متر به طور مشترک از کاربرد روی معمولی، نانو روی و تیمار نانو روی + نانو سیلیس حاصل شد که به ترتیب از افزایش ۱۵/۸، ۱۱ و ۵/۷ درصدی نسبت به شاهد برخوردار بودند (جدول ۴). در تحقیقی افزایش غلظت نانواکسید روی بر میزان جذب آهن مؤثر بود (Ebrahimian et al., 2008). نتایج تحقیقی نشان داد که کاربرد ذرات نانو اکسید سیلیس موجب افزایش توانایی جذب آب و عناصر غذایی می‌شود (Lu et al., 2002). نتایج تحقیقی بر ارزن دانه‌ای نشان داد که محلول‌پاشی با نانو سیلیس موجب افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی و کلروفیل سطح برگ می‌شود (Sadak, 2019). عنصر روی بر محتوای عناصر غذایی مؤثر در تشکیل کلروفیل نظیر آهن و منیزیم تأثیر دارد (Kaya and Higs, 2002). همچنین این عنصر در متابولیسم پروتئین‌ها، آنزیم‌ها و رنگدانه‌های فتوسنتزی نقش دارد (Rosen et al., 1977). از طرفی سیلیسیم نیز باعث افزایش محتوی کلروفیل می‌شود (Epstein, 1999).

**جدول ٤. مقایسه میانگین برخی صفات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد ارزن دانه‌ای رقم پیشاهنگ تحت تأثیر منابع کودی**

| منابع کودی | عدد کلروفیل‌متر | هدایت روزنه‌ای (میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه) | تعداد پانیکول در مترمربع | عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) | عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) |
|---|---|---|---|---|---|
| شاهد | ۳۶/۳۳ ab | ۹/۵۴ ab | ۱۷۰/۰۰ ab | ۹۸۰/۲ b | ۳۷۶۳/۳ b |
| نانو روی | ۴۰/۳۵ a | ۸/۷۸ b | ۱۴۹/۱۷ b | ۹۳۹/۶ b | ۳۵۵۶/۷ b |
| نانو سیلیس | ۳۰/۳۵ b | ۹/۹۵ ab | ۱۶۷/۱۷ ab | ۱۲۴۳/۱ a | ۴۰۱۳/۳ ab |
| روی معمولی | ۴۲/۰۷ a | ۱۳/۳۶ a | ۱۸۷/۳۳ a | ۱۲۵۱/۹ a | ۴۰۹۶/۷ a |
| سیلیس معمولی | ۳۵/۰۷ ab | ۸/۹۸ b | ۱۵۱/۵۰ b | ۹۸۹/۲ b | ۳۸۸۸/۳ b |
| نانو روی + نانو سیلیس | ۳۸/۴۲ a | ۱۲/۶۵ a | ۱۵۹/۸۳ b | ۱۰۲۷/۹ b | ۳۶۹۵/۰ b |
| روی معمولی + سیلیس معمولی | ۳۰/۸۸ b | ۹/۹۹ ab | ۱۶۴/۰۰ ab | ۱۱۳۶/۶ a | ۴۳۷۸/۳ a |

**میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد فاقد تفاوت آماری معنی‌دار می‌باشند.**

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین هدایت روزنه‌ای به طور مشترک از کاربرد روی معمولی و تیمار نانو روی + نانو سیلیس حاصل شد که به ترتیب از افزایش ۴۰ و ۳۲/۶ درصدی نسبت به شاهد برخوردار بودند (جدول ۴). در تحقیقی افزایش غلظت نانواکسید روی بر میزان جذب پتاسیم و فسفر مؤثر بود (Ebrahimian et al., 2008). نتایج تحقیقی نشان داد که کاربرد ذرات نانو اکسید سیلیس موجب افزایش توانایی جذب آب می‌شود (Lu et al., 2002). بر اساس نتایج حاصل از برخی تحقیقات، عنصر روی با نگهداری عنصر پتاسیم در سلول‌های محافظ روزنه، نقش مهمی در تنظیم میزان باز بودن روزنه‌ها دارد (Welch, 1995). از طرفی سیلیسیم نیز باعث بهبود تعادل آبی، تغییرات ساختاری برگ و مقاومت به تنش‌های محیطی می‌شود (Epstein, 1999). به نظر می‌رسد هدایت روزنه‌ای بیشتر در تیمارهای کودی فوق، احتمالاً به دلیل افزایش ورود یون پتاسیم به داخل سلول‌های محافظ روزنه، فشار آماس سلولی و باز شدن روزنه‌ها باشد.

**عملکرد و اجزای عملکرد دانه**

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح آبیاری بر تعداد پانیکول در مترمربع، تعداد پانیکول در بوته و عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر منابع کودی بر تعداد پانیکول در مترمربع و عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار اما اثرمتقابل سطوح آبیاری و منابع کودی بر این صفات معنی‌دار نبود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که کم‌آبیاری موجب کاهش تعداد پانیکول در مترمربع، تعداد دانه در پانیکول و عملکرد دانه به ترتیب به میزان ۳۹/۶، ۳۳ و ۶۲/۸ درصدی نسبت به آبیاری کامل شد (جدول ۳). در تحقیقی مشخص شد که تنش رطوبتی در ارزن منجر به کاهش ۱۴/۲ درصدی تعداد پانیکول در مترمربع و ۲۶/۳ درصدی تعداد دانه در پانیکول نسبت به تیمار آبیاری کامل گردید (Nakhaei et al., 2014). نتایج تحقیقی نشان داد که کاهش میزان آبیاری از ۱۰۰ درصد به ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه موجب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد دانه در ارزن پروسو شد ( Tadaton and Karimzadeh

Soureshjani, 2017). نتایج تحقیقی دیگر در خصوص ارقام ارزن معمولی و ارزن دم‌روباهی حاکی از آن بود که کاهش میزان آبیاری از تأمین ۱۰۰ درصد به ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه موجب کاهش تعداد پانیکول در گیاه، تعداد دانه در پانیکول، عملکرد دانه شد، اما تأثیری بر وزن هزار دانه نداشت (Adavi and Baghbani- Arani, 2020). همچنین نتایج تحقیقی دیگر نشان داد که تأمین ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه ارزن دانه‌ای موجب کاهش معنی‌دار تعداد پانیکول در گیاه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه شد (Mokari and Abedinpour, 2020). نتایج تحقیقی در خصوص تأثیر رژیم‌های آبیاری بر عملکرد ارزن مرواریدی حاکی از آن بود که کاهش آبیاری تا ۳۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش متوسط) تأثیری معنی‌داری بر عملکرد دانه نداشت، اما در شرایط تنش شدید آبیاری (۴۵ درصد ظرفیت زراعی) عملکرد دانه کاهش یافت (Ghanbari et al., 2020). کاهش تعداد پانیکول در گیاه تحت تأثیر تنش کم‌آبی در جهت تنظیم تعداد مقصدهای فیزیولوژیکی با تولید مواد پرورده رخ می‌دهد (Seghatoleslami et al., 2008). کاهش معنی‌دار تعداد پانیکول در مترمربع ارزن با افزایش دور آبیاری از ۵ به ۹ روز توسط آل سوهایبانی (Al- Suhaibani, 2011) گزارش شده است. کاهش تعداد دانه در پانیکول در ارزن می‌تواند ناشی از عقیمی گلچه‌ها، مرگ و میر گلچه‌ها و اختلال در گرده‌افشانی و پر شدن دانه‌ها باشد (Nakhaei et al., 2014). در بررسی سازوکارهای تحمل به خشکی در ارزن مرواریدی مشخص شد که کم‌آبی از طریق کاهش سطح برگ و تعداد برگ‌های فعال، سطح جذب دی‌اکسید کربن را کم می‌کند و در نتیجه توان فتوسنتزی و زایشی گیاه کاهش یافته و منجر به کاهش تعداد پانیکول در مترمربع، وزن هزار دانه و در نهایت عملکرد ارزن می‌شود (Golombek and Al-Ramamneh, 2002). در تحقیق حاضر با توجه به اینکه تنش کم‌آبی موجب کاهش هدایت روزنه‌ای و از طرفی ارتفاع گیاه شد (جدول ۳) لذا سطح جذب دی‌اکسید کربن و سطح سبز گیاه کم شده و به تبع آن توان فتوسنتزی و تولید مواد پرورده کاهش می‌یابد. از طرفی کاهش طول پانیکول نیز موجب کاهش تعداد دانه در پانیکول شده و در اثر تنش کم‌آبی تعداد پانیکول در مترمربع نیز کاهش یافته است (جدول ۳). لذا مجموع عوامل ذکر شده موجب کاهش عملکرد دانه در شرایط کم‌آبی شده است.

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین تعداد پانیکول در مترمربع از کاربرد روی معمولی حاصل شد که از افزایش ۱۰/۱ درصدی نسبت به شاهد برخوردار بودند. همچنین بین کاربرد نانو سیلیس و کاربرد روی معمولی + سیلیس معمولی در مقایسه با شاهد تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). نتایج تحقیقی نشان داد که محلول‌پاشی با روی معمولی موجب افزایش تعداد پانیکول در مترمربع در ارزن دم‌روباهی شد (Davodi et al., 2013). به نظر می‌رسد که تیمار روی معمولی از طریق افزایش جذب مواد غذایی و افزایش میزان فتوسنتز موجب افزایش مواد فتوسنتزی و تعداد پانیکول در مترمربع شده است.

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین عملکرد دانه به طور مشترک از کاربرد روی معمولی، نانو سیلیس و کاربرد روی معمولی + سیلیس معمولی حاصل شد که از افزایش به ترتیب ۲۷/۷، ۲۶/۸ و ۱۵/۹ درصدی نسبت به شاهد برخوردار بودند (جدول ۴). نتایج تحقیقی نشان داد که محلول‌پاشی با روی معمولی و نانو موجب افزایش عملکرد دانه در ارزن دم‌روباهی شد (Davodi et al., 2013). نتایج تحقیقی نشان داد که محلول‌پاشی با عنصر روی نسبت شاهد (عدم محلول‌پاشی) موجب افزایش ۳۵ درصدی عملکرد دانه ماش شد (Jalilian et al., 2014). در تحقیقی دیگر محلول‌پاشی اکسید روی عملکرد دانه آفتابگردان را به میزان ۵۹/۷ درصد نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی افزایش داد (Asadzadeh et al., 2017). نتایج تحقیقی در خصوص ارزن دانه‌ای نشان داد که تأثیر سیلیسیم بر عملکرد دانه معنی‌دار بوده و موجب افزایش این صفت نسبت به شاهد گردیده است (Khodabandehloo et al., 2014). در بررسی دیگر گزارش شد که کاربرد سیلیس موجب افزایش عملکرد دانه برنج نسبت به شاهد شد (Agarie et al., 1993). نتایج تحقیقی نشان داد که کاربرد سیلیسیم موجب افزایش عملکرد دانه ارزن نسبت به شاهد گردید (Khodabandehloo et al., 2014). در تحقیقی بیشترین عملکرد دانه ذرت دانه‌ای از محلول‌پاشی نانو اکسید سیلیس نسبت به شاهد حاصل شد (Akbari et al., 2017). پژوهشگران در آزمایش دیگری گزارش کردند که کاربرد ذرات نانو اکسید سیلیس فعالیت نیترات رودوکتاز را در سویا افزایش داد و توانایی جذب و استفاده از آب و کود را تشدید نمود (Lu et al., 2002). نتایج تحقیقی نشان داد که کاربرد نانو ذرات سیلیسیم موجب افزایش عملکرد دانه ارزن دانه‌ای نسبت به شاهد شد (Ahmadi et al., 2021). کمبود روی می‌تواند باعث عدم توازن عناصر غذایی در گیاه شده و کاهش راندمان مصرف آب و درنهایت کاهش کیفیت و کمیت محصول را در پی داشته باشد (Davodi et al., 2013). عنصر روی برای فعالیت آنزیم‌های مختلف مانند دهیدروژنازها، آلدولازها و پلی مرازها نیاز بوده و در سنتز تریپتوفان، تقسیم سلولی، ساختمان غشاء سلولی و پروتئین دخالت دارد (Marschner, 2012). همچنین عنصر روی از طریق شرکت در متابولیسم و فعالیت سوپر اکسید دسماتاز، پراکسیداز و کاتالاز نقش مهمی در کم کردن سطح تولید اکسیژن فعال ناشی از تنش و حمایت سلول‌های گیاهی در برابر حمله آن ایفا می‌کند (Hong and Jj- yun, 2007). کمبود روی مانع از سنتز پروتئین و متابولیسم کربوهیدرات‌ها می‌شود. همچنین تراوایی غشاء پلاسمایی در گیاهان مبتلا به کمبود روی، افزایش یافته و منجر به خروج پتاسیم،

نیترات و ترکیبات آلی از سلول ریشه می‌گردد (Malakoti and Lotfolahi, 2004). با توجه به مطالب فوق و نقش کود روی بر کارکرد فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه به نظر می‌رسد که تیمار اکسید روی از طریق افزایش میزان فتوسنتز و بهبود دوام سطح برگ (Ebrahimian et al., 2008) باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود. در یک مطالعه، افزایش عملکرد دانه در اثر مصرف روی به نقش آن در افزایش تولید تنظیم‌کننده‌های رشد مثل ایندول استیک اسید، کربوهیدرات‌ها و متابولیسم نیتروژن که سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد می‌شود نسبت داده شد (Fageria and Baligar, 2005).

سیلیسیم باعث کاهش تبخیر و تعرق در گیاه شده (Ma, 2004; Gao et al., 2006) و از طریق تولید آنزیم روبیسکو (Rubisco) در برگ و افزایش کارایی تثبیت دی‌اکسید کربن توسط گیاهان منجر به بهبود فتوسنتز می‌شود (Mohaghegh et al., 2010). در گزارش‌های متعدد به افزایش معنی‌دار عملکرد گیاهان مختلف در اثر مصرف نانو ذرات نسبت به کاربرد کودهای معمولی اشاره شده است (Feizi et al., 2010; Moaveni and Kheiri, 2011; Abdul Qados and Moftah, 2015). نانو کودها به دلیل آزادسازی آرام و کنترل شده عناصر موجود در کودها، راندمان مصرف کودها را افزایش داده و می‌توانند به‌صورت مطلوب عناصر غذایی خود را آزاد کنند (Lai, 2007) و از طریق افزایش طول دوره فتوسنتزی گیاه و تداوم سطح برگ باعث بهبود تولید کربوهیدرات و انتقال آن برای رشد دانه‌ها (Rejaie and Ziaeyan, 2009) و درنهایت افزایش عملکرد می‌شوند. برخی محققان معتقدند به دلیل آن که با به‌کارگیری کودهای نانو زمان و سرعت رهاسازی عناصر با نیاز غذایی گیاه منطبق و هماهنگ می‌شود لذا گیاه قادر به جذب بیشترین مقدار مواد غذایی بوده و در نتیجه ضمن کاهش آب‌شویی عناصر، عملکرد محصول افزایش می‌یابد (Naderi and Danesh Shahraki, 2013). در این پژوهش افزایش هدایت روزنه‌ای و تعداد پانیکول در مترمربع در تیمارهای روی معمولی، نانو سیلیس و روی معمولی + سیلیس معمولی (جدول ۴) موجب افزایش عملکرد دانه نسبت به شاهد در این تیمارها شد.

**عملکرد بیولوژیک**

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح آبیاری و اثر منابع کودی بر عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار، اما اثرمتقابل سطوح آبیاری و منابع کودی بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تنش کم‌آبی موجب کاهش ۳۸/۴ درصدی عملکرد بیولوژیک نسبت به آبیاری کامل شد (جدول ۳). نتایج تحقیقی در خصوص ارقام ارزن معمولی و ارزن دم‌روباهی حاکی از آن بود که کاهش میزان آبیاری از تأمین ۱۰۰ درصد به ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه موجب کاهش عملکرد بیولوژیک شد (Adavi and Baghbani- Arani, 2020). کاهش عملکرد بیولوژیک ارزن دانه‌ای در اثر تنش کم‌آبی با نتایج ثقه‌الاسلامی و همکاران (Seghatoleslami et al., 2008)، کشاورز و همکاران (Keshavarz et al., 2013) و تدین و همکاران (Tadaton and Karimzadeh Soureshjani, 2017) مطابقت داشت. اثرات بازدارنده تنش خشکی بر برخی از فعالیت‌های متابولیکی در اندام‌های گیاهی از جمله سیتوپلاسم را که منجر به از دست دادن آب سلول و کوچک ماندن اندام‌های گیاهی و همچنین ایجاد اختلال در تشکیل کلروپلاست و فرآیند فتوسنتز گیاه می‌گردد را می‌توان دلیلی بر کاهش عملکرد بیولوژیک در اثر تنش خشکی عنوان نمود (Ghassemi Golezani et al., 2012). از طرف دیگر، با افزایش شدت تنش کم‌آبی، به علت بسته شدن روزنه‌ها هدایت روزنه‌ای (جدول ۳) و میزان گازکربنیک ورودی به گیاه کم شده و از طریق کاهش سطح برگ و میزان فتوسنتز، عملکرد دانه (جدول ۳) و ماده خشک گیاه و در نهایت عملکرد بیولوژیک کاهش یافت.

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک به طور مشترک از کاربرد روی معمولی + سیلیس معمولی، کاربرد روی معمولی و نانو سیلیس حاصل شد که از افزایش به ترتیب ۱۶/۳، ۸/۸ و ۶/۶ درصدی نسبت به شاهد برخوردار بودند (جدول ۴). در تحقیقی محلول‌پاشی اکسید روی عملکرد بیولوژیک آفتابگردان را به میزان ۲۸/۷ درصد نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی افزایش داد (Asadzadeh et al., 2017). نتایج تحقیقی نشان داد که محلول‌پاشی نانو ذرات سیلیس موجب افزایش عملکرد بیولوژیک ارزن شد (Mokari and Abedinpour, 2020). در پژوهش دیگری نانو ذرات سیلیسیم موجب افزایش عملکرد بیولوژیک ارزن دانه‌ای شد (Ahmadi et al., 2021). کودهای سیلیکاته سبب کاهش تعرق شده و با اثر بر رشد رویشی گیاه موجب افزایش ماده خشک و عملکرد می‌شود (Agarie et al., 1993). در ارتباط با کودهای نانو نیز برخی محققان معتقدند به دلیل آن که با به‌کارگیری کودهای نانو زمان و سرعت رهاسازی عناصر با نیاز غذایی گیاه منطبق و هماهنگ می‌شود لذا گیاه قادر به جذب بیشترین مقدار مواد غذایی بوده و در نتیجه ضمن کاهش آبشویی عناصر، عملکرد محصول افزایش می‌یابد (Naderi and Danesh Shahraki, 2012). به نظر می‌رسد کود روی از طریق افزایش تولید تنظیم‌کننده‌های رشد مثل ایندول استیک اسید، کربوهیدرات‌ها و متابولیسم نیتروژن (Fageria and Baligar, 2005)، میزان کلروفیل (جدول ۴) و سطح برگ، موجب افزایش فعالیت فتوسنتزی می‌شود. همچنین محلول‌پاشی با سیلیسیم با افزایش جذب پتاسیم و کاهش جذب سدیم

(Mohaghegh et al., 2010) موجب افزایش هدایت روزنه‌ای (جدول ۴) و بهبود تبادلات گازی می‌گردد. لذا تیمارهای فوق با افزایش جذب آب و مواد غذایی باعث افزایش تولید مواد فتوسنتزی شده و از طریق افزایش رشد رویشی و انتقال کربوهیدرات‌ها برای رشد دانه موجب افزایش عملکرد دانه (جدول ۴) به عنوان بخشی از عملکرد بیولوژیک شده و درنهایت زمینه افزایش عملکرد بیولوژیک را فراهم می‌کنند.

**شاخص برداشت**

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح آبیاری بر شاخص برداشت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، اما اثر منابع کودی و اثرمتقابل سطوح آبیاری و منابع کودی بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تنش کم‌آبی موجب کاهش ۴۵/۷ درصدی شاخص برداشت نسبت به آبیاری کامل شد (جدول ۳). نتایج تحقیقی نشان داد که تأمین ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه ارزن دانه‌ای موجب کاهش معنی‌دار شاخص برداشت شد (Mokari and Abedinpour, 2020). نتایج تحقیقی دیگر حاکی از کاهش شاخص برداشت در ارزن دم‌روباهی در اثر تنش کم‌آبی بود (Davoody et al., 2013). کاهش شاخص برداشت ارزن دانه‌ای در اثر تنش کم‌آبی با نتایج ثقه‌الاسلامی و همکاران (Seghatoleslami et al., 2008) و تدین و همکاران (Tadaton and Karimzadeh Soureshjani, 2017) مطابقت داشت. نتایج تحقیقی حاکی از آن بود که کمبود آب از عوامل محدودکننده رشد و نمو گیاه می‌باشد که علاوه بر کاهش ماده خشک تولیدی، موجب اختلال در تسهیم کربوهیدرات‌ها به دانه و در نتیجه کاهش شاخص برداشت می‌شود (Rezaye Soukht Abbadani and Ramezani, 2010). در تحقیقی دیگر نیز دلیل کاهش شاخص برداشت در شرایط تنش شدید خشکی را حساسیت بیشتر رشد زایشی نسبت به شرایط نامطلوب در مقایسه با رشد رویشی تشخیص دادند (Davoody et al., 2013). شاخص برداشت بیانگر چگونگی تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام اقتصادی گیاه (دانه) نسبت به کل تولیدی ذخیره شده در گیاه است. از آنجایی‌که یکی از اجزای محاسبه شاخص برداشت عملکرد دانه است، تغییرات آن به تغییرات عملکرد دانه وابستگی زیادی دارد (Alizadeh et al., 2007). در این تحقیق، تنش کم‌آبی عملکرد دانه را به میزان بیشتری نسبت به عملکرد بیولوژیک کاهش داد (جدول ۳) که در نتیجه آن شاخص برداشت کاهش یافت.

## نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این پژوهش، بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک ارزن دانه‌ای رقم پیشاهنگ در شرایط آبیاری مطلوب حاصل شد و کاهش ۵۰ درصدی میزان آب، عملکرد دانه را به‌شدت کاهش داد. همچنین، تیمارهای محلول‌پاشی با روی معمولی، نانو سیلیس و روی معمولی+ سیلیس موجب افزایش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک شد، اما به دلیل اثرات مضری که کودهای شیمیایی بر محیط‌زیست دارند و مزیت کودهای نانو از نظر آزادسازی تدریجی عناصر غذایی و افزایش راندمان مصرف کود، تیمار محلول‌پاشی با نانو سیلیس جهت حفظ محیط‌زیست و دستیابی به کشاورزی پایدار در منطقه بیرجند پیشنهاد می‌شود.

**"هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد"**

**REFERENCES**


Abdul Qados, A.M.S. and Moftah, A.E. (2015). Influence of silicon and nano-silicon on germination, growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.) under salt stress conditions. *American Journal of Experimental Agriculture*, 5(6), 509-524.

Adavi, Z. and Baghbani-Arani, A. (2020). 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 stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 50(4), 13-25. (In Persian).

Agarie, S., Uchida, H., Agata, W., Kuubota, F. and Kufman, B. (1993). Effect of silicon on growth, dry matter production and photosynthesis in rice (*Oryza sativa* L.). *Crop Production and Improvement Technology*, 34, 225-234.

Ahmadi, M., Astaraei, A., Lakzian, A. and Emami, H. (2021). Study of millet (*Panicum miliaceum*) response to humic acid, silicon and mycorrhiza application under saline-sodic irrigation water stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 14(3), 823-836. (In Persian).

Akbari, F., Mousavi, S.G. and Seghatoleslami, M.J. (2017). The effect of nano and conventional zinc and silica fertilizers spraying on yield and yield components of maize. *Crop Production Research*, 10(2), 153-167. (In Persian).

Alizadeh, O., Majidi, I., Nadian, H., Nour- Mohammadi, G. and Amerian, M. (2007). Effect of water stress and nitrogen rates on yield and components of Maize (*Zea mays* L.). *Journal of Agricultural Sciences,* 13(2), 427-434. (In Persian).

Al-Suhaibani, N.A. (2011). Better forage and grain yield quality of pearl millet (*Penisetum glaucum* L.) under different irrigation water supplies and plant densities. *World Applied Sciences Journal,* 15(8), 1136-1143.

Asadzadeh, N., Moosavi, S.Gh. and Seghatoleslami, M.J. (2017). Effect of irrigation regimes and application of nano and conventional ZnO and $SiO_2$ fertilizers on yield, yield components and water use efficiency of sunflower (*Helianthus annus* L.). *Applied Research in Field Crops,* 30 (1), 1-17. (In Persian).

Baghalian, K., Abdoshah, Sh., Khalighi-Sigaroudi, F. and Paknejad, F. (2011). Physiological and phytochemical response to drought stress of German chamomile (*Matricaria recutita* L.). *Plant Physiology* and *Biochemistry*, 49, 201-207.

Baybordi, A. (2006). *Zinc in soils and crop nutrition* (1th Ed.). Iran: Parivar.

Davoody, N., Seghatoleslami, M., Mousavi, S. and Azari Nasrabad, A. (2013). The effect of foliar application of nano-zinc oxide on yield and water use efficiency of foxtail millet in drought stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 6(1), 37-46. (In Persian).

Ebrahimian, A., Roshdi, M., Paseban Eslam, B., Khalili Mahaleh, J. and Baibordi, A. (2008). Evaluation of Fe and Zn application methods on yield and yield components of oil sunflowers. *Journal of Research in Agricultural Sciences,* 2(7), 15-27. (In Persian).

Epstein, E. 1999. Silicon. Annuals Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology. 50: 641-664.

Erfani, M., Alizadeh, O. and Miri, H.R. (2013). Physiological aspects of (*Panicum miliaceum* L.) under different water supply, weeding, herbicide and growth regulators combination for competitive ability against weed. *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 2(S), 1241-1254.

Esazadeh Panjali Kharabasi, J., Galavi, M. and Ramroudi, M. (2017). Effects of methanol spraying on qualitative traits, yield and yield components of soybean (*Glycine max* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research,* 15(3), 511-521. (In Farsi).

Fageria, N.K. and Baligar, V.C. (2005). Growth components and zinc recovery efficiency of upland rice genotypes. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira,* 40, 1211-1215.

Farhadi, N., Souri, M.K. and Alirezalu, A. (2013). Effect of sowing dates on quantity and quality of castor bean (*Ricinus communis* L.) under semi-arid condition in Iran. *Zeitschrift fur Arznei-und Gewurzpflanzen,* 18.

Feizi, H., Berahmand, A., Rezvani Moghaddam, P., fotovvat, A. and Tahmasbi, N. (2010). Aplication Magnetic Field and Silver Nano Particles in growth and yield of maize. *National Conference on Nano Science & Nano Technology,* Payam noor University of Yazd. P, 1694-1697. (In Persian).

GAO, X., Zou, C., Wang, L. and Zhang, F. (2006). Silicon decreases transpiration rate and conductance from stomata of maize plants. *Journal of Plant Nutrition*, 29, 1637-1647.

Ghanbari, M., Mkhtassi-Bidgoli, A., Mansour Ghanaei-Pashaki, K., Talebi-Siah Saran, P. (2021). The Study of Yield and Physiological Characteristics of Pearl Millet (*Pennisetum glaucum*) in Response to Bio-Fertilizers and Different Irrigation Regimes. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 31(1),* 23-37. (In Persian).

Ghassemi-Golezani, K., Nikpour-Rashidabad, N. and Zehtab-Salmasi, S. (2012). Physiological performance of pinto bean cultivars under salinity. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Science*, 2, 223-228.

Golombek, S. and Al-Ramamneh, E.A.D. (2002). *Drought tolerance mechanisms of pearl millet.* University of Kassel, Institute of Crop Science, Germany.

Hassegawa, R.H., Fonseca, H., Fancelli, A.L., Dasilva, V.N., Schammass. E.A., Reis, T.A. and Correa, B. (2008). Influence of macro-and micro nutrient fertilization on fungal contamination and fumonisin production in corn grains. *Food Control*, 19, 36-43.

Hong, W. and Jj-yun, J. (2007). Effects of zinc deficiency and drought on plant growth and metabolism of reactive oxygen species in maize (*Zea mays* L.). *Agricultural Sciences in China*, 6(8), 988-995.

Hossain, M.T., Soga, K., Wakabayashi, K., Kamisaka, S., Fujii, S., Yamamoto, R. and Takayuki, H. (2007). Modification of chemical properties of cell walls by silicon and its role in regulation of the cell wall extensibility in oat leaves. *Journal Plant Physiology*, 164, 385-393. (In Persian).

Howell, T. A., Evett, S.R., Tolk, J.A. and Schneider, A.D. (2004). Evaporation of full and deficit-irrigated, and dry land cotton on the Northern Texas High Plains. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering,* 130(4), 277-285.

Imam, Y. (2007). *Cereal produltion*. Shiraz University Press. 194 pages.

Jalilian, J., Khade, A. and Pirzad, A. (2014). Effect of Fe and Zn spraying on some characteristics of mungbean using chemical and organic fertilization. *Journal of Crop Improvement*, 16(3), 725-732. (In Persian).

Kamenidou, S., Cavins, T.J. and Marek, S. (2010). Silicon supplements affect floricultural quality traits and elemental nutrient concentrations of greenhouse produced gerbera. *Science Horticulture*, 123, 390–394.

Kaya, C. and D. Higgs. (2002). Response of tomato (*Lycopersicom esculentum* L.) cultivars to foliar application of zinc when grown in sand culture at low zinc. *Scientia Horticulturae*, 93, 53-64.

Keshavarz, L., Farahbakhsh, H. and Golkar, P. (2013). Effects of different irrigation and superabsorbent levels on physio-morphological traits and forage yield of millet (*Pennisetum americanum* L.). *American-Eurasian Journal Agricultural and Environmental Sciences*, 13(8), 1043-1049.

Kheirizadeh, Y., Seyed Sharifi, R. and Khalilzadeh, R. (2018). Study of biofertilizers and nano zinc oxide application on remobilization and leaf area index of triticale (*Triticosecale* Witt.) under soil salinity. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 11(4), 993-1004. (In Persian).

Khodabandloo, Sh., Sepehri, A., Ahmadvand, G. and Keshtkar, A.H. (2014). Effect of silicon on millet grain yield and water use efficiency under drought stress. *Crops Improvement*, 16 (2), 416-399. (In Persian).

Lai, R. (2007). Soil science in the era of hydrogen economy and 10 billion people. The Ohio State University. USA. Pp: 1-9.

Liang, Y. C., Wong, J. W. and Long, W. (2005). Silicon- mediated enhancement of cadmium tolerance in maize (*Zea mays* L.) grown in cadmium contaminated soil. *Chmosphere*, 58, 475-483.

Lu, C. M., Zhang, C. Y., Wen, J. Q., Wu, G. R. and Tao, M. Z. (2002). Research of the effect of nanometer materials on germination and growth enhancement of glycine max and its mechanism. *Soybean Science*, 21(3), 168-171.

Ma, J. F. (2004). Role of silicon in enhancing the resistance of plant to biotic and abiotic stresses. *Soil Science & Plant Nutrition*, 50(1), 11-18.

Malakoti, M.J. and Lotfolahi, M.A. (2004). *Role of Zn in increasing the quantity and quality of agricultural products and public health*. Publication of agricultural education, 212 P. (In Persian).

Marschner, H. (2012). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press Limited Harcourt Brace and Company, Publishers, London, pp. 347–364.

Mazaherinia, S., Astaraei, A.R., Fotovat, A. and Monshi, A. (2010). Nano iron oxide particles efficiency on Fe, Mn, Zn and Cu concentrations in wheat plant. *World Applied Sciences Journal*, 7(1), 36- 40.

Mehrpooyan M. and Faramarzi, A. (2011). Effect of different level of deficit irrigation on quantitative yield and water use efficiency of millet and sorghum. *Journal of plants and ecosystems*, 7(26), 60-71. (In Farsi).

Moaveni, P. and T. Kheiri. (2011). TiO2 Nano Particles Affected on Maize (Zea mays L.). 2nd International Conference on Agricultural and Animal Science in Singapore by International Proceeding of Chemical, Biological & Environmental Engineering. International Association of Computer Science and Information Technology Press, 22, 160- 163.

Mohaghegh, P., Shirvani, M. and Ghasemi, S. (2010). Silicon application effects on yield and growth of two cucumber genotypes in hydroponics system. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 1(1), 35-40. (In Farsi).

Mokari, M. and Abedinpour, M. (2020). Investigating the Effect of Spraying Silica Nanoparticles in Increasing the Drought Resistance of Millet Seedlings in Kashmar Weather Conditions. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(9), 2307-2322. (In Persian).

Naderi, M.R. and Abedi, A. (2012). Application of nanotechnology in agriculture and refinement of environmental pollutants. *Journal of Nanotechnology*, 11 (1), 18-26. (In Persian).

Nakhaei, A., Abbasi, M. R., Arazmjoo, E. and 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).

Paygzar, Y., Ghanbari, A., Heidari, M. and Tavassoli, A. (2009). Effect foliar of micronutrients on the quantitative and qualitative characteristics of millet under drought stress (*Pennisetum glacum*) species notrifed. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 3(10), 67-78. (In Persian).

Rajaie, M. and Ziaeyan, A.H. (2009). Combined effect of zinc and boron on yield and nutrients accumulation in corn. *International Journal of Plant Production*, 3(3), 35-440.

Rezaye soukht abbandani, R. and Ramezani, R. (2010). Study effect away irrigation and nitrogen fertilizer on index physiological growth and yield corn forage (hybrid s. c 704) the weather conditions province Mazandaran. *Journal of Crop Physiology*, 2(3), 19- 44. (In Persian).

Rosen, J.A., Pike, C.S. and Golden, M.L. (1977). Zinc, Iron, and chlorophyll metabolism in Zinc-toxic corn. *Plant Physiol*, 59(6), 1085-1087.

Sadak, M.S. (2019). Impact of silver nanoparticles on plant growth, some biochemical aspects, and yield of fenugreek plant (*Trigonella foenumgraecum*). *Bulletin of the National Research center*, 38-43.

Seghatoleslami, M.J., Majidi, E. and Kafi, M. (2008). Effect of deficit irrigation on yield, WUE and some morphological and phenological traits of three millet species. *Pakistan Journal of Botany*, 40(4), 1555-1560.

Sharief, A.E. and Keshta, M.M. (2006). Influence of sowing date and plant density on growth and yield of canola (*Brassica napus,* L.) under salt affected soils in Egypt's. *Scientific Journal of King Faisal University (Basic and Applied Sciences)*, 3(1): 65-78.

Simova- Stoilova, L., Demirevska, K., Petrova, T., Tsenov, N. and Feller, U. (2008). Antioxidative protection in wheat varieties under severe recoverable drought at seedling stage. *Plant Soil and Environment*, 54, 529- 536.

Souri, M.K. (2016). Aminochelate fertilizers: the new approach to the old problem; a review. *Open Agriculture*, 1: 118-123.

Steiner, M., Toth, E.G., Juhasz, A., Dioszegi, M.S. and Hrotko, K. (2014). Stomatal responses of drought and heat stressed linden (*Tilia* sp.) leaves. *Horticulture and Landscape Engineering*, 6, 7-10.

Tadayon, M. and Karimzadeh Soureshjani, H. (2017). Effect of zeolite on physiological and biochemical attributes of Proso millet (*Panicum miliaceum*) in deficit irrigation conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science,* 48(2), 443-452. (In Persian).

Tardieu, F., Zhang, J., Katerji, N., Bethenod, O., Palmer, S. and Davies, J. (1992). Xylem ABA controls the stomatal conductance of field grown maize subjected to soil compaction or soil drying. *Plant Cell Environ*, 15, 193-197.

Welch, R.M. (1995). *Micronutrient Nutrition of Plants*. Critical Reviews in Plant Sciences. 14, 49-82.