



## به‌زراعی کشاورزی

دوره ۱۹ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۳۹۶  
صفحه‌های ۴۶۱-۴۷۳

# اثر محلول‌پاشی نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم بر عملکرد و اجزای عملکرد اکوتیپ‌های مختلف زیره سبز تحت تنش خشکی

مریم منصوری<sup>۱</sup>؛ غلامعباس اکبری<sup>۲\*</sup>؛ سیدمحمد مهدی مرتضویان<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران  
۲. دانشیار، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران  
۳. استادیار، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۷/۰۱

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۳/۰۱

### چکیده

به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم بر عملکرد و اجزای عملکرد تعدادی از اکوتیپ‌های زیره سبز تحت شرایط تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های دوبارخردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ی پژوهشی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران واقع در شهرستان پاکدشت در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایشی شامل تنش آبی در سه سطح (آبیاری کامل درحد ظرفیت زراعی مزرعه در تمام فصل رشد، تنش درحد ۴۰ درصد ظرفیت زراعی در مرحله‌ی رشد رویشی و تنش درحد ۴۰ درصد ظرفیت زراعی در مرحله‌ی رشد زایشی گیاه)، محلول‌پاشی نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم در سه سطح (صفر، ۰/۰۱۵، ۰/۰۳ و ۰/۰۳ درصد) و اکوتیپ‌های منتخب زیره سبز از نه منطقه بودند. بر اساس این نتایج بیشترین عملکرد دانه را اکوتیپ اردکان یزد در شرایط آبیاری کامل و محلول‌پاشی نانوذرات با غلظت ۰/۰۳ درصد با میانگین ۱۹۴/۰۵ گرم در مترمربع به‌دست آورد. در تنش مرحله زایشی بالاترین عملکرد دانه مربوط به اکوتیپ مانه خراسان شمالی در تیمار محلول‌پاشی ۰/۰۱۵ درصد با میانگین ۸۹/۴۵ گرم در مترمربع بود که نسبت به تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی) در همین شرایط ۱۶ درصد افزایش داشت. بین اکوتیپ‌ها نیز از نظر نوع واکنش به شرایط تنش خشکی اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد مشاهده گردید. بر اساس نتایج به‌دست آمده استفاده از محلول‌پاشی نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم با غلظت ۰/۰۳ درصد توانست از آثار منفی تنش خشکی بکاهد و از افت شدید عملکرد دانه جلوگیری کند.

**کلیدواژه‌ها:** اثر متقابل، افت عملکرد، اکوتیپ، عملکرد بیولوژیک، وزن هزاردانه

## ۱. مقدمه

امروزه بکارگیری روش‌های نوین در کاهش اثرات مخرب تنش خشکی در دست تحقیق و بررسی اولیه می‌باشند. نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم<sup>۱</sup> (TiO<sub>2</sub>) از جمله موادی می‌باشد که امروزه خواص آن مبنی بر کاهش اثرات مخرب تنش خشکی گزارش شده است. این ماده باعث افزایش تقویت زنجیره انتقال‌الکترون، فعالیت احیایی نوری فتوسیستم دو، آزادسازی اکسیژن، فعالیت فسفورلاسیون نوری کلروپلاست، افزایش آنزیم رویسکو و افزایش فعالیت آنزیم نیترات‌رداکتاز می‌شود، همچنین با کاهش رادیکال آزاد اکسیژن و مالون‌دی‌آلدهید و افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی باعث کاهش اثرات منفی تنش می‌شود [۲۲].

در بررسی اثر محلول‌پاشی نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم بر برخی ویژگی‌های زراعی در گندم گزارش شده است که محلول‌پاشی نانوذرات در سطح یک درصد اختلاف معنی‌داری در ارتفاع، وزن سنبله، عملکرد دانه و شاخص برداشت در شرایط نرمال و تنش خشکی ایجاد می‌کند، همچنین نتایج نشان داد که عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی با محلول‌پاشی نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم ۰/۰۲ درصد، ۲۳ درصد نسبت به عدم محلول‌پاشی در شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد [۳]. در بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم (۰/۰۱، ۰/۰۲ و ۰/۰۳ درصد) و دی‌اکسیدتیتانیوم غیر نانویی بر روی گیاه جو، نتایج نشان داد که تمام صفات عملکرد دانه، تعداد خوشه و شاخص برداشت در همه تیمارهای کاربرد نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم بیشتر از شاهد بود به طوری که عملکرد دانه در تیمار ۰/۰۳ درصد نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم به میزان ۳۲/۲۱ درصد بیشتر از شاهد بود [۱۷].

اگرچه تحقیقات پیشین، پتانسیل نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم در بهبود صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک گیاهان را تایید کرده است [۱۴]، ولی اثر این

رشد روزافزون جمعیت و کمبود مواد غذایی از یکسو و نبودن بخش مهمی از منابع زیست‌محیطی کره زمین به دلیل استفاده بی‌رویه از سوی دیگر، لزوم تغییر نگرش جدی نسبت به مدیریت بخش کشاورزی در سطح جهانی را نمایان می‌سازد. فناوری نانو از جمله فناوری‌های نوینی است که امیدهای زیادی را برای رفع کمبودها و توسعه بخش کشاورزی ایجاد نموده است. نانوذرات، ذراتی با ابعاد کمتر از ۱۰۰ نانومتر هستند که به دلیل سطح مخصوص زیاد، واکنش‌پذیری زیادی دارند و همین ویژگی موجب تسهیل جذب آن‌ها در مقیاس نانو است. با توجه به وسعت نگران‌کننده مناطق خشک و نیمه‌خشک در ایران و همچنین کاهش دسترسی به منابع آب بایستی تمهیدات مناسبی برای استفاده بهینه از آب در کشاورزی اندیشیده شود. تنش خشکی مهم‌ترین تنش غیرزنده‌ای است که بر رشد، توسعه و عملکرد گیاهان به شدت تأثیر مہار کننده دارد [۲۱]. بیشترین سهم کاهش عملکرد و تولیدات متعلق به تنش خشکی می‌باشد که با بکارگیری راهکارها و تحقیقات مناسب می‌توان تا حدود امیدوار کننده‌ای این کاهش عملکرد را مرتفع نمود [۱۵].

استفاده از گیاهان دارویی متحمل به تنش خشکی می‌تواند امکان استفاده بهینه از منابع را فراهم سازد. زیره سبز گیاهی یکساله، با نام علمی (*Cuminum cyminum*) از خانواده چتریان (Apiaceae) است و بیشترین سطح زیر کشت گیاهان دارویی در ایران را به خود اختصاص داده است. میوه آن خاصیت دارویی داشته اشتهاآور بوده و برای معالجه‌ی دل درد و نفخ شکم استفاده می‌شود. بزرگترین اهمیت این محصول در ایران صادراتی بودن آن است که باعث ارزآوری برای کشور شده و در صورت مدیریت صحیح می‌تواند اشتغال‌زایی قابل توجهی را ایجاد کند. ارزش صادرات این محصول در سال ۱۳۹۲ برابر ۴،۷۲۸،۸۴۲ دلار بود [۱].

1. Dioxide Titanium

مترمربع و مساحت هر کرت فرعی فرعی ۲/۲۵ متر بود. قبل از آماده‌سازی زمین آنالیز خاک انجام گرفت. فواصل کاشت بذور بر روی خط کاشت پنج سانتی‌متر و عمق کاشت بذور یک تا دو سانتی‌متر در نظر گرفته شد، کشت در دو طرف پشته انجام گردید و با توجه به حساسیت زیره به رقابت با علف‌های هرز، و جین دستی به‌طور منظم به‌ویژه در چند مرتبه که مهم‌ترین این عمل در اوایل فروردین همزمان با رشد علف‌های هرز و قبل از گلدهی تا تشکیل چتر زیره سبز است، صورت گرفت.

صفات مورد بررسی شامل تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر و تعداد دانه در چتر، تعداد دانه در چترک، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه بوده که پس از برداشت محصول در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزارهای آماری Minitab (ver 16.2) و SAS (ver 9.0) انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد و نمودارها با نرم افزار Excel رسم گردید.

### ۳. نتایج و بحث

تعداد چتر در بوته: بر اساس نتایج حاصل از جدول تجزیه‌ی واریانس رژیم‌های مختلف آبیاری، از نظر آماری تاثیر معنی‌داری را بر تعداد چتر در بوته نشان دادند (جدول ۱)، به‌طوریکه تنش خشکی در مرحله‌ی زایشی گیاه باعث کاهش ۲۷/۴ درصدی تعداد چتر در بوته نسبت به تیمار آبیاری کامل شد. همچنین، اکوتیپ‌های مختلف و غلظت‌های مختلف نانوذرات تعداد چتر در بوته را تحت تاثیر قرار دادند. از بین اثرات متقابل نیز، اثر متقابل آبیاری در نانوذرات در سطح پنج درصد و اثر متقابل اکوتیپ در نانوذرات در سطح یک درصد معنی‌دار شد. بیشترین تعداد چتر در بوته در شرایط آبیاری نرمال و محلول‌پاشی نانوذرات با غلظت ۰/۰۳ درصد با میانگین ۶/۹ عدد

نانوذرات در بهبود عملکرد گیاهان در شرایط تنش‌های زنده و غیرزنده کمتر مورد توجه قرار گرفته است [۱۸]. بنابراین، هدف از انجام پژوهش حاضر، سنجش اثر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه زیره سبز تحت شرایطی است که گیاه تنش کمبود آب را در پیشرو دارد تا مشخص شود که آیا استفاده از این نانوذرات در شرایط کمبود آب می‌تواند از افت عملکرد ناشی از تنش بکاهد، همچنین غلظت مناسب برای استفاده از این نانوذره در بهبود عملکرد تعیین شود.

### ۲. مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در مزرعه‌ی تحقیقاتی پردیس ابوریحان واقع در شهرستان پاکدشت در بهمن ماه ۱۳۹۳ اجرا شد. محل اجرای آزمایش در ۲۵ کیلومتری جنوب شرقی تهران، در عرض جغرافیایی ۳۳ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه شرقی، با ارتفاع ۱۱۸۰ متری از سطح دریا می‌باشد. آزمایش به‌صورت کرت‌های دو بارخرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. عامل اصلی شامل سه سطح آبیاری (آبیاری کامل در حد ظرفیت زراعی در تمام فصل رشد، تنش در حد ۴۰ درصد ظرفیت زراعی در مرحله‌ی رشد رویشی و تنش در حد ۴۰ درصد ظرفیت زراعی در مرحله‌ی رشد زایشی گیاه)، عامل فرعی محلول‌پاشی نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم در سه سطح (صفر، ۰/۰۱۵ و ۰/۰۳ درصد)، و نه اکوتیپ زیره سبز (اردکان یزد، بافت یزد، جت گلستان، درمیان خراسان جنوبی، خوانسار اصفهان، نطنز اصفهان، مانه خراسان شمالی، بردسکن خراسان رضوی و ایوانکی سمنان) به عنوان عامل فرعی فرعی منظور گردید.

در این آزمایش هر بلوک از سه کرت اصلی و هر کرت اصلی از سه کرت فرعی تشکیل شد. مساحت هر کرت اصلی ۶۰/۷۵ مترمربع، مساحت هر کرت فرعی ۲۰/۴۵

مریم منصوری و همکاران

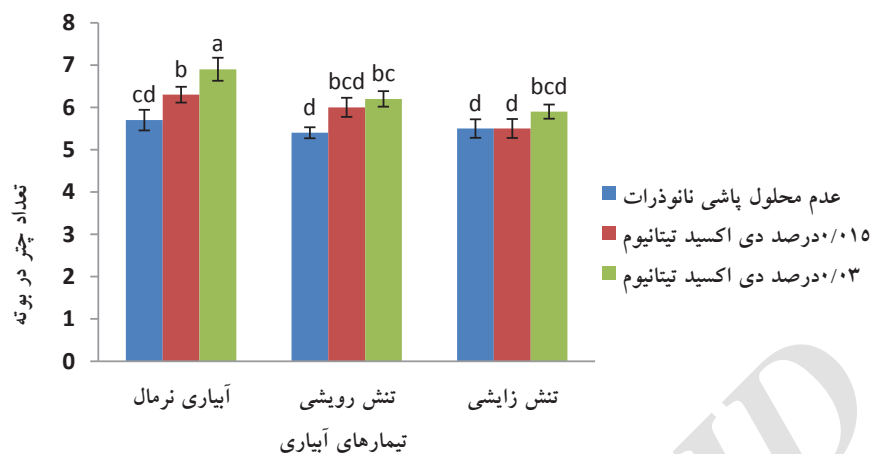
به دست آمد که نسبت به شاهد (عدم محلول پاشی) در همین شرایط ۲۱ درصد افزایش مشاهده شد (شکل ۱). در تنش زایشی نیز بیشترین تعداد چتر در بوته در غلظت ۰/۰۳ درصد نانوذرات با میانگین ۵/۹ عدد به دست آمد که نسبت به شاهد هفت درصد افزایش یافت. اکوتیپ اردکان یزد در آبیاری نرمال با میانگین ۷/۰۵ بیشترین، و اکوتیپ نظنز اصفهان در تنش زایشی با میانگین ۵/۱ کمترین تعداد چتر در بوته را داشتند.

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات ارزیابی شده اکوتیپ‌های زیره سبز تحت تأثیر تنش خشکی و محلول پاشی

نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم

منابع تغییرات	درجه آزادی	چتر در بوته	چتر در چتر	دانه در چتر	دانه	عملکرد بیولوژیک	وزن هزار دانه	عملکرد دانه
تکرار (R)	۲	۱۶/۸۰**	۴/۴۰**	۲۶۰/۳۶**	۶/۰۰**	۷۲۶۴/۵۹**	۰/۰۴	۱۱۸۵/۰۶
آبیاری (A)	۲	۷/۵۹**	۱/۵۰**	۱۹۵/۲**	۵/۱۸**	۱۹۸۱۳۱/۱۶**	۳/۱۰**	۵۷۷۳۸/۸۴**
R×A	۴	۱/۵۹	۰/۴۲	۸/۷۴	۰/۳۲	۲۲۸۸/۰۱	۰/۱۳	۵۶۱/۴۴
غلظت نانو ذرات (B)	۲	۱۲/۸۵**	۱/۶۵**	۲۳/۳۲	۱/۳۵**	۲۵۵۰/۱۴	۰/۲۸	۳۹/۶۵
R×B(A)	۱۲	۱/۱۱	۰/۲۵	۳۰/۱**	۰/۵۳**	۸۳۸/۹۳	۰/۰۴	۲۵۳/۳۵
اکوتیپ (C)	۸	۲/۲۰**	۰/۴۸*	۱۶/۳۲	۰/۲۵	۱۴۷۳۲/۸۵**	۰/۷۲**	۶۲۶۷/۲۳**
A×B	۴	۱/۹۱*	۰/۳۵	۱۶/۳۶	۰/۲۷	۱۵۹۲/۸۰	۰/۰۳	۱۰۱۰/۸۴
A×C	۱۶	۱/۱۷	۰/۳۱	۱۰/۵۴	۰/۰۸	۷۲۷۰/۳۴**	۰/۳۶**	۲۷۹۶/۴۳**
B×C	۱۶	۲/۰۳**	۰/۳۳	۱۵/۵۰*	۰/۳۳	۲۸۱۰/۸۶	۰/۳۳**	۸۳۱/۵۱*
A×B×C	۳۲	۱/۵۱	۰/۳۸*	۱۳/۳۱*	۰/۲۱	۲۷۴۱/۴۱	۰/۵۱**	۷۷۸/۷۲**
خطای آزمایشی	۱۴۴	۰/۷۷	۰/۲۳	۸/۳۴	۰/۲۰	۱۷۸۷/۵۶	۰/۰۹	۴۳۵/۴۳
%CV	-	۱۴/۴	۱۰/۳	۱۲/۹	۹/۷	۲۳/۱۷	۱۰/۳	۲۵/۳

اثر محلول پاشی نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بر عملکرد و اجزای عملکرد اکوتیپ‌های مختلف زیره سبز تحت تنش خشکی



شکل ۱. مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری در نانوذرات بر روی تعداد چتر در بوته تحت تاثیر تنش خشکی و محلول پاشی نانوذرات دی اکسید تیتانیوم در زیره سبز. حروف مشابه نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار بین تیمارها می باشد. خطوط بالای ستونها اشتباه معیار است.

اکسید تیتانیوم با غلظت ۰/۰۲ درصد باعث افزایش تعداد سنبله بارور در گیاه گندم شد [۳]. محلول پاشی ۱۰ گرم بر لیتر نانوذرات اکسیدروی باعث افزایش تعداد غلاف در بوته گیاه ماش در شرایط تنش در مرحله گلدهی گردید [۸].

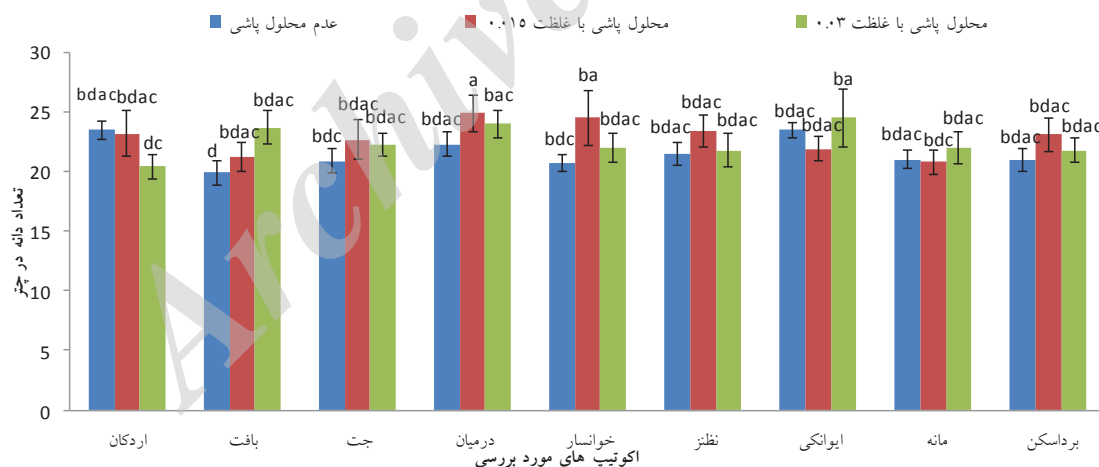
تعداد چترک در چتر: جدول تجزیه ی واریانس نشان داد که اثرات ساده ی آبیاری و محلول پاشی نانوذرات در صفت تعداد چترک در چتر در سطح یک درصد و اثر ساده ی اکوتیپ ها در سطح پنج درصد معنی دار شد. از بین اثرات متقابل فقط اثر متقابل سه گانه آبیاری در نانوذرات در اکوتیپ در سطح پنج درصد معنی دار شد (جدول ۱). بیشترین و کمترین تعداد چترک در چتر را به ترتیب اکوتیپ مانه (خراسان شمالی) در شرایط نرمال آبیاری و محلول پاشی ۰/۰۳ درصد با میانگین ۵/۶۳ و اکوتیپ درمیان (خراسان جنوبی) در شرایط تنش در مرحله رویشی گیاه و عدم محلول پاشی نانوذرات با میانگین ۴/۱۶ عدد داشتند. کاهش تعداد چترک در چتر در اثر تنش خشکی در گیاه رازیانه و همچنین در زیره سیاه گزارش

تعداد چتر در تیره ی چتریان یکی از اجزای اصلی و تعیین کننده عملکرد نهایی این گیاهان است که تعیین کننده پتانسیل عملکرد می باشد، زیرا چتر در برگیرنده ی تعداد چترک و دانه ها می باشد. همچنین، گزارش شده است که تعداد چتر در بوته به عنوان مهم ترین جز در ترکیب عملکرد زیره سبز است به طوری که ۹۶ درصد از تغییرات عملکرد دانه را در تیمارهای آبیاری می شود [۲]. در مطالعه عملکرد و اجزای عملکرد توده های مختلف زیره سبز در تنش خشکی گزارش شده است که بین تیمارهای مختلف آبی و همچنین توده های مختلف زیره سبز اختلاف در تنش خشکی باعث کاهش تعداد چتر در بوته شد. همچنین، بین توده های مختلف زیره سبز مختلف ۵۷ درصد اختلاف در تعداد چتر در بوته مشاهده شد [۱۰]. نتایج این بررسی با نتایج دیگر محققین در زیره سبز [۱۹] مطابقت داشت. در بررسی اثر نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بر اجزای عملکرد گندم گزارش شده است که محلول پاشی نانوذرات دی-

۰/۰۱۵ با میانگین ۲۴/۹ بیشترین تعداد دانه در چتر را داشت (شکل ۲). در آبیاری نرمال بیشترین تعداد دانه در چتر مربوط به اکوتیپ بافت (یزد) در شرایط محلول پاشی غلظت ۰/۰۳ با میانگین ۲۸/۳ عدد بود که نسبت به شاهد (عدم محلول پاشی) در همین شرایط ۲۷ درصد افزایش مشاهده گردید. در تنش مرحله‌ی رویشی بیشترین تعداد دانه در چتر مربوط به اکوتیپ درمیان (خراسان جنوبی) در شرایط محلول پاشی ۰/۰۱۵ درصد با میانگین ۲۷/۱ عدد بود که نسبت به شاهد در همین شرایط ۱۸ درصد افزایش مشاهده گردید. در تیمار تنش مرحله‌ی زایشی نیز بیشترین تعداد دانه در چتر مربوط به اکوتیپ جت (گلستان) در شرایط محلول پاشی ۰/۰۳ درصد با میانگین ۲۴/۸ عدد که نسبت به شاهد در همین شرایط ۹ درصد افزایش مشاهده گردید.

شده است [۱۳ و ۱۶]. تعداد چترک در چتر به مقدار زیادی تابع عوامل محیطی نظیر وجود عناصر غذایی و رطوبت است، که تنش خشکی باعث می‌شود رطوبت قابل دسترس خاک در محیط ریشه‌ها کاهش یابد و به تبع آن جذب آب و عناصر غذایی دچار مشکل می‌شود و در نهایت کاهش چترک در چترها باعث می‌شود [۱۳].

**تعداد دانه در چتر:** نتیجه‌ی تجزیه‌ی واریانس برای صفت تعداد دانه در چتر نشان داد که، سطوح مختلف آبیاری اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر تعداد دانه در چتر داشت، در حالی که این صفت تحت تأثیر اثرات ساده‌ی غلظت‌های نانو ذرات و تنوع اکوتیپ‌ها قرار نگرفت (جدول ۱). از بین اثرات متقابل نیز فقط اثر متقابل نانو ذرات در اکوتیپ‌ها و همچنین اثر متقابل سه‌گانه آبیاری در نانو ذرات در اکوتیپ در سطح پنج درصد معنی‌دار شدند. اکوتیپ درمیان (خراسان جنوبی) در غلظت نانو

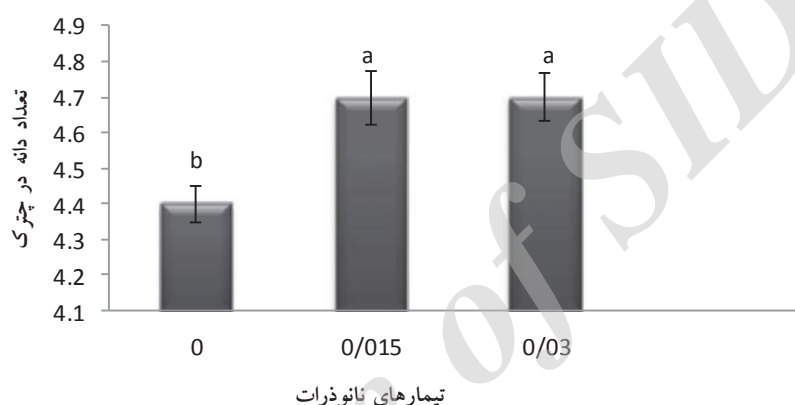


شکل ۲. مقایسه میانگین اثرات متقابل نانو ذرات در اکوتیپ‌ها بر روی دانه در چتر تحت تاثیر تنش خشکی و محلول پاشی نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم در زیره سبز. حروف مشابه نشان‌دهنده‌ی عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد. خطوط بالای ستونها اشتباه معیاری است.

اثر محلول پاشی نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بر عملکرد و اجزای عملکرد اکوتیپ‌های مختلف زیره سبز تحت تنش خشکی

افزایش تعداد دانه در سنبله گندم در تیمار محلول پاشی نانوذرات دی اکسید تیتانیوم گزارش شده است [۳]. در بررسی محلول پاشی نانوذرات اکسید روی بر گیاه ماش نتایج نشان داد که محلول پاشی این نانوذرات باعث افزایش تعداد دانه در غلاف گیاه ماش شد [۸].

کاهش تعداد دانه در چتر در اثر تنش خشکی در زیره سبز و همچنین در گیاه رازیانه گزارش شده است [۱۰ و ۱۸]. تعداد دانه در چتر ظرفیت مخزن را تعیین می‌کند، هر چه تعداد دانه بیشتر باشد، گیاه دارای مخزن بزرگتری برای دریافت مواد فتوسنتزی تولید شده است و افزایش این صفت منجر به افزایش عملکرد گیاه خواهد شد [۵].



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر ساده نانوذرات بر تعداد دانه در چترک تحت تاثیر تنش خشکی و محلول پاشی نانوذرات دی اکسید تیتانیوم در زیره سبز

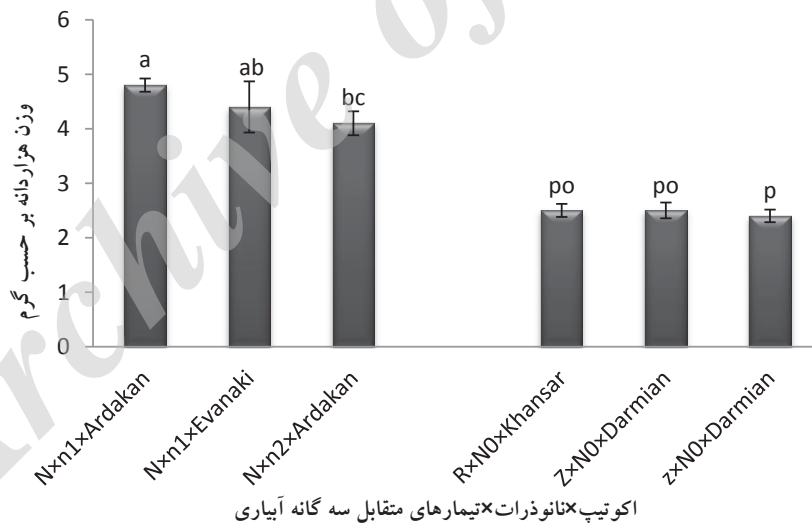


شکل ۴. مقایسه میانگین اثر ساده آبیاری بر تعداد دانه در چترک تحت تاثیر تنش خشکی و محلول پاشی نانوذرات دی اکسید تیتانیوم در زیره سبز. حروف مشابه نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار بین تیمارها می‌باشد. خطوط بالای ستون‌ها اشتباه معیار است

درصد و ۰/۰۱۵ درصد باعث افزایش ۶ درصدی این صفت نسبت به شاهد شد (شکل ۴). نتیجه‌ی آزمایش‌های سایر محققین بر روی توده‌های رازیانه مبنی بر کاهش تعداد دانه در چترک در اثر تنش خشکی با نتیجه این آزمایش مطابقت داشت [۵]. کاهش تعداد دانه در چترک در اثر تنش خشکی در گیاه آنیسون نیز گزارش شده است [۴].

**وزن هزاردانه:** براساس نتایج جدول تجزیه‌ی واریانس اثرساده‌ی آبیاری و همچنین اثرساده‌ی اکوتیپ‌ها بر وزن هزاردانه زیره سبز در سطح یک درصد معنی‌دار شد، درحالی‌که اثر ساده‌ی نانوذرات تأثیری بر وزن هزار دانه گیاه نداشت. همه‌ی اثرات متقابل به غیر از اثر متقابل آبیاری در نانوذرات در سطح یک درصد معنی‌دار شدند (جدول ۱).

**تعداد دانه در چترک:** جدول تجزیه‌ی واریانس نشان داد که فقط اثر ساده‌ی آبیاری و اثر ساده‌ی نانوذرات بر تعداد دانه در چترک معنی‌دار شد (جدول یک)، که در آبیاری بیشترین تعداد دانه در چترک مربوط به آبیاری نرمال با میانگین ۴/۹۰ عدد و کمترین آن مربوط به تنش آبی در مرحله رشد زایشی گیاه با میانگین ۴/۳۷ عدد بود، که تعداد دانه در چترک در تنش زایشی ۱۳ درصد و در تنش رویشی ۶ درصد نسبت به شرایط نرمال آبیاری کاهش یافت (شکل ۳). در غلظت‌های نانوذرات نیز بیشترین تعداد دانه در چترک مربوط به محلول پاشی نانوذرات دی-اکسیدتیتانیوم با غلظت ۰/۰۳ درصد با میانگین ۴/۷۴ و کمترین میزان آن مربوط به عدم محلول پاشی نانوذرات با میانگین ۴/۴۸ عدد بود، که محلول پاشی با غلظت‌های ۰/۰۳



شکل ۵. نمودار کرانه‌ای مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای سه‌گانه بر وزن هزاردانه: N آبیاری نرمال، Z تنش خشکی در مرحله‌ی زایشی گیاه و R تنش خشکی در مرحله‌ی رشد رویشی گیاه؛ n0 عدم محلول پاشی نانوذرات، n1 محلول پاشی نانوذرات با غلظت ۰/۰۱۵ درصد و n2 محلول پاشی نانوذرات با غلظت ۰/۰۳ درصد. حروف مشابه نشان‌دهنده‌ی عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد. خطوط بالای ستونها اشتباه معیار است. نمودار کرانه‌ای: با توجه به زیاد بودن تیمارهای آزمایش سه میانگین بیشتر (کرانه بالا) و سه میانگین کمتر (کرانه پایین) در نمودار نمایش داده شده است.

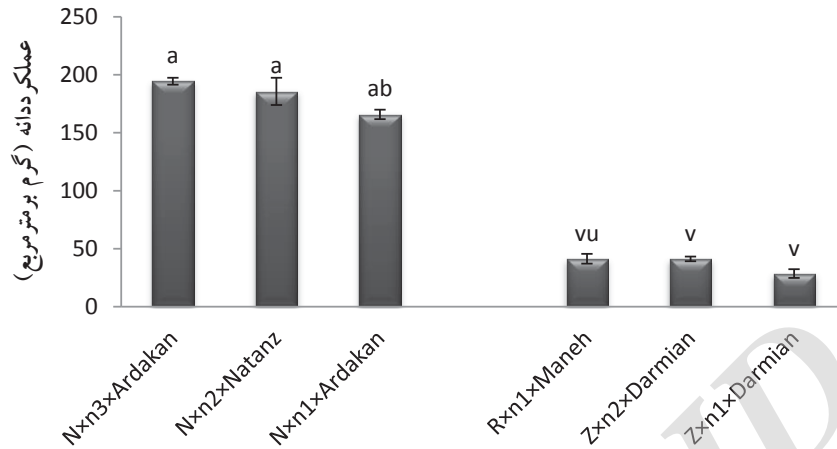


**عملکرد بیولوژیک:** بررسی نتایج حاصل از تجزیه‌ی واریانس نشان داد با افزایش سطوح تنش خشکی از میزان عملکرد بیولوژیکی به‌طور معنی‌داری کاسته شد، همچنین اکوتیپ‌های مختلف عملکرد بیولوژیکی متفاوتی داشتند که این اختلاف در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). کاهش عملکرد بیولوژیک و ماده خشک گیاه در اثر تنش خشکی در نتیجه کاهش فشار تورژانس سلولی و به دنبال آن کاهش نمو سلولی و رشد اندام‌های گیاه می‌باشد [۱۲]. از بین اثرات متقابل اثر متقابل آبیاری در اکوتیپ در در سطح یک درصد معنی‌دار شد، در آبیاری نرمال اکوتیپ اردکان یزد در محلول پاشی ۰/۰۳ درصد بیشترین وزن عملکرد بیولوژیک را با میانگین ۳۲۹/۴۳ گرم بر مترمربع به خود اختصاص داد که نسبت به شاهد در همین شرایط ۱۱ درصد افزایش داشت. در تنش رویشی اکوتیپ بردسکن (خراسان رضوی) بیشترین وزن عملکرد بیولوژیک را با میانگین ۱۸۷/۶۹ گرم بر متر مربع را در محلول پاشی ۰/۰۳ درصد داشت که نسبت به شاهد در همین شرایط ۳۱ درصد افزایش داشت، و در نهایت در تنش زایشی اکوتیپ مانه خراسان شمالی بیشترین وزن عملکرد بیولوژیک را در شرایط محلول پاشی ۰/۰۱۵ درصد با میانگین ۲۱۴/۷ گرم بر مترمربع را داشت که نسبت به شاهد در همین شرایط ۴ درصد افزایش داشت. کاهش عملکرد بیولوژیک در اثر تنش خشکی در گیاهان زیره سبز و رازیانه گزارش شده است [۱۰، ۵]. افزایش عملکرد بیولوژیک در گیاه عدس توسط نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و همچنین محلول پاشی نانوذرات اکسیدروی در گیاه ماش گزارش شده است [۷].

**عملکرد دانه:** براساس نتایج به‌دست‌آمده عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری در سطح یک درصد تحت تأثیر تنش خشکی و تنوع اکوتیپ‌های مورد مطالعه قرار گرفت. در حالی که غلظت‌های مختلف نانوذرات به تنهایی عملکرد را تغییر نداد (جدول ۱).

در آبیاری نرمال اکوتیپ اردکان (یزد) در محلول پاشی ۰/۰۱۵ درصد بیشترین وزن هزاردانه را با میانگین ۴/۶ گرم داشت (شکل ۵)، که نسبت به شاهد در همین شرایط ۲۷ درصد افزایش داشت. در شرایط تنش رویشی اکوتیپ ایوانکی (سمنان) در عدم محلول پاشی بیشترین وزن هزاردانه را با میانگین ۳/۷ گرم داشت که نانوذرات نقشی در افزایش آن نداشتند. در تنش زایشی اکوتیپ بردسکن (خراسان رضوی) در محلول پاشی ۰/۰۳ درصد بیشترین وزن هزاردانه ۳/۱ گرم را داشت که نسبت به شاهد در همین شرایط ۸ درصد افزایش داشت.

تنش خشکی باعث کاهش وزن هزاردانه زیره سبز می‌شود چرا که در تنش خشکی سهم مواد فتوسنتزی اختصاص داده شده به هر چتر کاهش یافته که این موضوع موجب کاهش وزن هزاردانه می‌شود [۱۰]. وزن هزاردانه نشان‌دهنده‌ی وضعیت و طول دوره زایشی هر گیاه است و از آنجا که با آغاز گلدهی و مشخص شدن تعداد دانه در بوته، دانه‌ها شروع به دریافت و ذخیره مقادیری از مواد فتوسنتزی می‌نمایند، باید بین وزن هزاردانه هنگامی که گیاه در حال تنش رطوبتی قرار می‌گیرد، با حالت‌های نرمال تفاوت وجود داشته باشد. با محدود شدن آبیاری در مرحله‌ی زایشی به دلیل اینکه طول دوره‌ی پر شدن دانه کاهش می‌یابد گیاه با محدودیت منبع مواجه شده و مواد کمتری به دانه‌ها منتقل می‌شود. بنابراین، هرگونه تنش کم‌آبی در طی این مراحل می‌تواند بر روابط منبع و مخزن تأثیر منفی بگذارد، بنابراین کاهش تامین مواد پرورده در طول این دوره سبب محدود شدن گنجایش ذخیره دانه و کاهش وزن دانه خواهد شد [۵]. کاهش وزن هزاردانه اثر تنش خشکی در نتایج تحقیق سایر همکاران در گیاه زیره سبز و رازیانه گزارش شده است [۱۳، ۹، ۲]. افزایش وزن هزاردانه در گیاه ماش با نانوذرات اکسیدروی نیز گزارش شده است [۸].



تیمارهای متقابل سه گانه آبیاری×نانوذرات×اکوتیپ

شکل ۶. نمودار کرانه‌ای مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای سه گانه بر عملکرد دانه: N آبیاری نرمال، Z تنش خشکی در مرحله زایشی گیاه و R تنش خشکی در مرحله رشد رویشی گیاه؛ n0 عدم محلول پاشی نانوذرات، n1 محلول پاشی نانوذرات با غلظت ۰/۰۱۵ درصد و n2 محلول پاشی نانوذرات با غلظت ۰/۰۳ درصد. حروف مشابه نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار بین تیمارها می باشد. خطوط بالای ستونها اشتباه معیار است. نمودار کرانه‌ای: با توجه به زیاد بودن تیمارهای آزمایش سه میانگین بیشتر (کرانه بالا) و سه میانگین کمتر (کرانه پایین) در نمودار نمایش داده شده است.

بنابر گزارش محققین کاهش عملکرد دانه در تنش خشکی می تواند ناشی از کوتاه شدن طول دوره پر شدن دانه و رسیدگی زودتر تیمارهای تحت تنش خشکی [۱۱]، بروز کاهش طول دوره فتوسنتزی، کاهش انتقال مواد حاصل از فتوسنتز جاری به دانه، کاهش سهم انتقال مجدد مواد ذخیره شده ساقه به دانه و در نهایت کاهش عملکرد دانه باشد [۲۰]، و همچنین تنش آب با تأثیر بر منبع (فتوسنتز) و مخزن (اجزاء عملکرد) سبب افت معنی دار عملکرد دانه می شود [۱۰]. کاهش عملکرد دانه در اثر تنش خشکی در نتایج تحقیق سایر محققین در گیاهان زیره سبز [۱۹ و ۱۰] و رازیانه [۵] گزارش شده است. در بررسی اثر نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بر گیاه گندم تحت تنش خشکی گزارش شده است که تیمار محلول پاشی با نانوذرات باعث افزایش ۲۳/۳ درصدی عملکرد گندم نسبت به شاهد شد [۳].

از بین اثرات متقابل به جز اثر متقابل آبیاری و نانوذرات همگی در سطح یک درصد معنی دار شد (شکل ۶)، به طوری که در آبیاری نرمال اکوتیپ اردکان یزد در محلول پاشی ۰/۰۳ درصد بیشترین وزن عملکرد دانه را با میانگین ۱۹۴/۵ گرم بر مترمربع به خود اختصاص داد که نسبت به شاهد (عدم محلول پاشی) در همین شرایط ۱۷ درصد افزایش داشت. همین اکوتیپ در تنش رویشی در محلول پاشی ۰/۰۳ درصد بیشترین وزن دانه را با میانگین ۱۰۳/۴ گرم بر مترمربع را داشت که نسبت به شاهد در همین شرایط ۹ درصد افزایش نشان داد و در تنش زایشی اکوتیپ مانه (خراسان شمالی) در محلول پاشی ۰/۰۱۵ درصد بیشترین عملکرد را با میانگین ۸۹/۴۵ گرم بر مترمربع را داشت که نسبت به شاهد در همین شرایط ۷ درصد افزایش داشت.

افزایش عملکرد عدس با محلول پاشی نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم نیز گزارش شده است [7].

#### ۴. نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج نشان داد که تنش خشکی به‌طور معنی‌داری باعث کاهش تمامی صفات مورد بررسی در این تحقیق شد، با توجه به اینکه صفات چتر در بوته، چترک در چتر، دانه در چتر و دانه در چترک از اجزای مهم عملکرد دانه هستند می‌تواند به‌طور چشمگیری باعث کاهش عملکرد دانه شوند. در این آزمایش تنش خشکی در مرحله‌ی زایشی و در مرحله‌ی رویشی به ترتیب عملکرد دانه را به میزان ۴۵ و ۳۸ درصد کاهش دادند. میزان تأثیرگذاری تنش بر عملکرد زیره سبز به زمان وقوع تنش نیز بستگی داشت، به‌طوری‌که تنش در مرحله‌ی زایشی نسبت به مرحله‌ی رویشی به میزان بیشتری باعث کاهش عملکرد دانه شد. استفاده از محلول پاشی با نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم توانست تا حدودی آثار منفی تنش را در عملکرد دانه کاهش دهد. به‌طوری‌که در تنش مرحله‌ی زایشی ۱۷ درصد و در تنش مرحله‌ی رویشی ۹ درصد جبران افت عملکرد مشاهده شد. از بین تیمارهای نانوذرات به‌کار رفته تیمار غلظت ۰/۰۳ درصد نسبت به تیمار ۰/۱۵ درصد تأثیر بیشتری در جبران اثرات منفی تنش داشت. از بین اکوتیپ‌های مورد بررسی در این تحقیق اکوتیپ‌های اردکان و درمیان نسبت به سایر اکوتیپ‌ها پاسخ بیشتری به تیمارهای نانوذرات به‌کار برده شده در این طرح را دادند و همچنین به خشکی متحمل‌تر بودند. با توجه به پایین بودن عملکرد زیره سبز در ایران به دلیل کمبود آب نیاز به راهکارهای جدید به‌منظور جلوگیری از افت عملکرد ضروری می‌باشد. با گذشت زمان و افزایش شدت تنش خشکی میزان فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق کاهش یافته، که نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم با حضور بر روی سلول‌های

اپیدرم و روزنه‌ها به عنوان سد فیزیکی از اثرات منفی و فزاینده‌ی خشکی جلوگیری می‌کند [۶]. به‌طور کلی نتایج حاصل از این تحقیق اثرات مثبت نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم را مبنی بر کاهش اثرات منفی تنش خشکی در گیاه زیره سبز را اثبات می‌کند.

#### منابع

۱. اتاق بازرگانی صنایع و معادن و کشاورزی کشور (۱۳۹۲) گزارش سالانه واردات و صادرات محصولات کشاورزی. ۱۵۸ صفحه.
۲. امین پور ر و موسوی ف (۱۳۷۴) اثرات تعداد دفعات آبیاری بر مراحل نمو، عملکرد و اجزای عملکرد دانه زیره سبز. علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). ۱(۱): ۸-۱.
۳. جابرزاده الف، معاونی پ، توحیدی مقدم، مرادی الف (۱۳۸۹) بررسی اثر محلول پاشی نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر روی برخی خصوصیات زراعی در گندم. فصلنامه علمی-پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. ۲(۴): ۳۰۱-۲۹۵.
۴. حیدری ن، پوریوسف م، توکلی الف، صبا ج (۱۳۹۱) تأثیر تنش خشکی و زمان برداشت بر عملکرد دانه و تولید اسانس انیسون (*Pimpinella anisum* L). فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۲۸(۱): ۱۳۰-۱۲۱.
۵. رضائی چپانه الف، زهتاب سلماسی س، قاسمی گلعدانی ک، دلاذرع (۱۳۹۱) اثر تیمارهای آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد سه توده بومی رازیانه. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار ۲۲(۴): ۷۱-۵۷.
۶. زرافشار م، اکبری نیام، عسکری ح، حسینی س م و

- زراعی ایران ۲۰(۲): ۱۲-۱.
۱۳. نوروزی شهری ف، پوریوسف م، توکلی الف، صبا ج و یزدی نژاد ع (۱۳۹۴) ارزیابی کارکرد برخی از توده های رازیانه (*Foeniculum vulgare Mill.*) بومی ایران تحت شرایط تنش خشکی. علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۶(۱): ۴۹-۵۶.
14. Berahmand AA, Ghafarian Panahi A.H, Sahabi H, Feizi P, Rezvani Moghaddam N, Shahtahmassebi, Fotovat A, Karimpour H and Gallehgir O (2012) Effects of silver nanoparticles and magnetic field on growth of fodder maize (*Zea mays L.*). Biological Trace Element Research. 149: 419 – 424.
15. ICRISAT. (1996). ICRISAT Asia Region Annual Report 1995. Pp. 17-20, Patancheru
16. Laribi B, Bettaieb I, Kouki K, Sahli A, Mougou A and Brahim M, (2009) Water deficit effects on caraway (*Carum carvi L.*) growth, essential oils and fatty acids composition. Industrial Crops and Products. 30: 372-379.
17. Moaveni, P, Talebi A, Aliabadi Farahani H and Maroufi K (2011) Study of Nano Particles TiO<sub>2</sub> Spraying on Some Yield Components in Barley (*Hordem Vulgare L.*). International Conference on Environmental and Agriculture Engineering. 15(1): 115- 119.
18. Mohammadi R, Maali-Amiri R and Abbasi A 2013. Effect of TiO<sub>2</sub> Nanoparticles on Chickpea Response to Cold Stress, Biological Trace Element Research. 152: 403-410.
- رهایی م (۱۳۹۴) اثر محلول پاشی نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بر تعدیل اثرات مخرب خشکی در گیاه گلابی وحشی (*Pyrus biosseriana buhse*). نشریه حفاظت زیست بوم گیاهان. ۳(۶): ۸۱-۹۴.
۷. سلطانی م، معاونی پ و نوری ح (۱۳۹۳) بررسی اثر محلول پاشی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم بر عملکرد و اجزای عملکرد و فعالیت آنزیمهای آنتی اکسیدانی در گیاه عدس (*Lens culinaris Medik*). نشریه پژوهش های اکوفیزیولوژی گیاهی ایران، شماره ویژه: پژوهش های فیزیولوژی گیاهی. ۹(۱): ۷۷-۸۸.
۸. شجاعی ح و مکاریان ح (۱۳۹۳) تاثیر محلول پاشی اکسید روی نانو و غیر نانو بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش (*Vigna radiata L.*) در شرایط تنش خشکی. نشریه پژوهش های زراعی ایران. ۱۲(۴): ۷۲۷-۷۳۷.
۹. قنبری الف، احمدیان الف، گلوی م (۱۳۸۴) بررسی اثر دفعات آبیاری و کود دامی بر عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز. پژوهش های زراعی ایران. ۳(۲): ۲۵۵-۲۶۲.
۱۰. کافی م و کشمیری الف (۱۳۹۰) مطالعه عملکرد و اجزای عملکرد توده بومی و رقم هندی زیره سبز در شرایط خشکی و شوری. نشریه علوم باغبانی. ۲۵(۳): ۳۲۴-۳۳۷.
۱۱. کوچکی ع، مختاری و، طاهرآبادی ش و کلانتری س (۱۳۹۰) ارزیابی عملکرد، اجزای عملکرد و ویژگی های کیفی اسفرزه و پسیلیوم در شرایط تنش رطوبتی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۵(۳): ۶۶۴-۶۵۶.
۱۲. گلدانی م و رضوانی مقدم پ (۱۳۸۴) اثر سطوح خشکی و تاریخ کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام دیم و آبی نخود در مشهد. مجله پژوهش های

19. Motamedi-Mirhosseini L, Mohammadi-Nejad GH, Bahraminejad A, Golkar P and Mohammadinejad Z(2011) Evaluation of cumin (*Cuminum Cyminum* L.) landraces under drought stress based on some agronomic traits. African Journal of Plant Science. 5(14): 819-822.
20. Pouryousef M, Tavakoli A, Maleki M and Barkhordari K (2012) Effects of drought stress and harvesting time on grain yield and its components of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). In: National Congress on Medicinal Plants. 315: 16- 17.
21. Shao HB, Chu LY, Jaleel CA, Manivannan P, Panneerselvam R and Shao, MA (2009) Understanding water deficit stress-induced changes in the basic metabolism of higher plants-biotechnologically and sustainably improving agriculture and the Eco environment in arid regions of the globe. Critical Reviews in Biotechnology. 29: 131-151.
22. Zheng L, Su M, Liu Ch, Chen Li, Huang H , Wu X, Liu X, Yang , Gao F and Hong F(2007) Effects of Nanoanatase TiO<sub>2</sub> on Photosynthesis of Spinach Chloroplasts Under Different Light Illumination. Biological Trace Element Research. 119:68-76