ژنتیک نوین
دوره شانزدهم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰
صفحه ٥٤ - ٤٣

مطالعه رفتار میوزی و باروری دانه گرده در زیره سبز (*Cuminum cyminum*) تحت شرایط تنش خشکی و نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم

Study of meiotic behavior and fertility of pollen seed in Cumin (*Cuminum cyminum*) under drought stress and titanium dioxide nanoparticles

سیدمحمدمهدی مرتضویان*[۱]، سمیرا بکان[۱]، سیداحمدسادات نوری[۱]، مریم نوروزی[۲]

۱- به‌ترتیب دانشیار، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، استاد، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

۲- استادیار، گروه باغبانی پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

Mortazavian SMM*[1], Bakan S[1], Sadat Noori SA[1], Norouzi M[2]

1- Assistant Professor, Graduated MSc Student, Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding Science, College of Aburaihan University of Tehran, Tehran-Pakdasht, Iran
2- Assistant Professor, Department of Horticulture, College of Aburaihan, University of Tehran, Pakdasht Iran

* نویسنده مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mortazavian@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۹۹/۰۱/۱٤ - تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۹/۱۸)

چکیده

زیره سبز با نام علمی *Cuminum cyminum* و متعلق به خانوادهٔ Apiaceae به‌دلیل خواص دارویی فراوانی که دارد، در طب سنتی از اهمیت بالایی برخوردار است. تنش خشکی می‌تواند سبب کاهش عملکرد دانه در زیره سبز به‌خصوص در کشت بهاره شود. در مطالعات گذشته نقش مثبت نانوذره دی‌اکسیدتیتانیوم بر عملکرد دانه زیره سبز نشان داده شده است. در این تحقیق برای اولین‌بار رفتار میوزی و نیز قدرت‌باروری دانهٔ گردهٔ این گیاه تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل (مرحلهٔ زایشی) و اعمال نانوذرهٔ دی‌اکسیدتیتانیوم برای بررسی بیشتر از دیدگاه ژنتیکی مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی مراحل مختلف میوزی و تعیین ناهنجاری‌های میوزی، گل‌آذین نارس گیاه زیره که تحت تنش خشکی و سطوح مختلف نانوذره قرارگرفته بود، جمع‌آوری و مورد مطالعه قرار گرفت. انواع ناهنجاری‌ها شامل چسبندگی، توده‌ای شدن کروموزوم‌ها، کروموزوم سازمان‌نیافته، پل آنافازی، کروموزوم تأخیردار، کروموزوم پیشرو، تاخیرآنافازی، میکرونوکلئوس، سه‌قطبی، سین‌سایت و عدم تفرق صحیح کروموزومی در تمامی سطوح مورد بررسی قرار گرفت. قدرت باروری دانهٔ گرده نیز با توجه به اندازهٔ آن ارزیابی شد. دانه‌های گردهٔ رنگ شده با اندازهٔ طبیعی، به‌طور بالقوه بارور و طبیعی در نظر گرفته شد. بیشترین کاهش درصد باروری به میزان ۱۳/۳۳ درصد در شرایط غلظت ۰/۰۳ درصد نانوذره به‌همراه تنش‌خشکی و کمترین آن به میزان ۰/٦۹ درصد در نمونه تحت غلظت ۰/۰۱۵ درصد نانوذره به‌همراه تنش‌خشکی مشاهده شد. نتایج مطالعه حاضر نشان دهنده اثرمتقابل تنش خشکی و نانوذره بر صفات میوزی بوده و به‌طور کلی تاثیر مثبت نانوذره بر افزایش عملکرد بیشتر به‌صورت غیرمستقیم بوده و به‌طور مستقیم باروری دانه گرده را کاهش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی

تقسیم کاهشی
تنش غیرزنده
گیاه دارویی
ناهنجاری کروموزومی

[Downloaded from mail.mg.genetics.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.20084439.1400.16.1.5.3]

مقدمه

تیرهٔ بزرگ چتریان که به تیرهٔ جعفری نیز معروف است، شامل ۱۵۰ جنس و در حدود ۳۰۰۰ گونهٔ گیاهی است که عموماً در مناطق معتدله دو نیمکره، به‌ویژه نیمکرهٔ شمالی رویش دارند (Kafi et al. 2006). وجود گل‌آذین چتری و برگ‌های اغلب مرکب از بریدگی‌های باریک و نازک، آن‌ها را از سایر گیاهان به خوبی متمایز می‌سازد. این خانواده، گیاهان دارویی متعدد و مهمی را شامل می‌شود که زیره سبز یکی از مهم‌ترین آن‌هاست. گیاه زیره سبز که به‌عنوان یکی از سردمداران گیاهان ادویه‌ای نیز شناخته می‌شود بعد از فلفل دومین گیاه ادویه‌ای مهم در دنیاست (Mortazavian et al. 2018). اسانس موجود در بذور این گیاه دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی، ضدنفخ، ضدباکتری و ضدعفونی کننده می‌باشد (Kafi et al. 2006). هرچند بیشتر مناطق کشت زیره سبز ایران مربوط به مناطق خشک و نیمه خشک است؛ تحقیقات مختلف نشان‌دهندهٔ کاهش عملکرد دانه این گیاه درصورت مواجهه با تنش کم‌آبی بخصوص در مراحل گلدهی است (Safari et al. 2017). امروزه به‌کارگیری روش‌های نوین در کاهش اثرات مخرب تنش خشکی در دست تحقیق و بررسی اولیه است. نانوذرات دی اکسید تیتانیونیم ازجمله موادی است که در مطالعات مختلف اثر التیام بخش آن بر تنش خشکی از طریق تقویت زنجیره انتقال الکترون، افزایش فعالیت آنزیم نیترات ردکتاز، کاهش رادیکال‌های آزاد اکسیژن و افزایش آنزیم‌های آنتی اکسیدان گزارش شده و در زیره سبز مورد بررسی قرار گرفته است (Zheng et al. 2007; Mansouri et a. 2017). علی‌رغم خواص دارویی فراوانِ گونه‌های متعلق به خانواده Apiaceae مطالعات سیتوژنتیکی انجام شده در این خانواده محدود بوده و اغلب به شمارش کروموزومی گیاهان شناخته شده مربوط است (Ioven et al. 2008). در مطالعه‌ای که بر روی زیره سیاه تحت تأثیر نانوذره سولفیدمس و کادمیوم صورت گرفت، ضمن مشاهدهٔ تغییرات سیتوژنتیک، مشخص شد که نانوذرات دارای اثرات جهش‌زایی مشابه با جهش‌زاهای متعارف مانند تابش گاما و متیل‌سولفونات می‌باشند. در برخی مطالعات گزارش شده تیمارهای نانوذرات، میزان تشکیل بذر را به‌دلیل اختلال در فرایندهای نموی بذر کاهش می‌دهد (Kumbhakar et al. 2016). Obeidi et al. (2013) در بررسی مراحل مختلف تقسیم میوزی گیاه مشگک (*Ducrosia anethifolia*)، ناهنجاری‌های میوزی شامل چسبندگی کروموزومی، کروموزوم تأخیردار، مهاجرت زودهنگام کروموزوم‌ها، توده‌ی کروماتینی و میکرونوکلئوس را با فراوانی کم مشاهده کردند. با توجه به شکل‌گیری بی‌والانت طبیعی در بیشتر سلول‌های مطالعه شده و بالا بودن شاخص میوزی، رفتار میوزی گونهٔ طبیعی و رنگ‌پذیری دانهٔ گرده ۹۷ درصد ارزیابی شد (Obeidi et al. 2013). در مطالعه‌ای که بر روی ۱۳ جمعیت رازیانه صورت گرفت، ضمن اعلام تعداد کروموزوم پایه (x=۱۱) در تمامی جمعیت‌ها، حالت‌های بی‌والانت و کوادری‌والانت نیز مشاهده شد. طبق این گزارش، تشکیل هر دو نوع بی‌والانت حلقوی و میله‌ای در مرحلهٔ دیاکینز در جمعیت‌ها مشاهده شد (Sheidai et al. 2007). بنابرمطالعات انجام شده بر روی دو جنس *Oenanthe* و *Seseli* از خانوادهٔ چتریان همبستگی بالایی میان فراوانی پایین کیاسما و ناهنجاری‌های میوزی و ناباروری دانهٔ گرده مشاهده شد (Hore 1981). اثر مثبت نانوذرهٔ‌دی‌اکسیدتیتانیوم مبنی بر کاهش اثر منفی تنش خشکی در گیاه زیره سبز به اثبات رسیده است (Mansouri et al. 2017). باتوجه به اثر تنش خشکی و نانوذرهٔ دی‌اکسید تیتانیوم بر خصوصیات مورفولوژی و عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز، لازم است تا اثر آن‌ها از منظر ژنتیکی بر تفکیک کروموزوم‌ها و نحوهٔ برهمکنش آن‌ها طی مراحل تقسیم سلولی مشخص شود تا در برنامه‌ریزی‌های به‌نژادی و توصیه‌های بعدی دقت بیشتری لحاظ شود. لذا این پژوهش برای نخستین بار به‌منظور بررسی نحوهٔ تاثیر تنش‌خشکی و نانوذرهٔ دی‌اکسیدتیتانیوم در سطح کروموزومی بر مراحل تقسیم میوز زیره سبز و باروری دانهٔ گرده صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش فاکتوریل با دو فاکتور محلول‌پاشی نانوذرات دی-اکسیدتیتانیوم (۰/۰۳، ۰/۰۱۵ درصد و شاهد) و تیمار آبی (آبیاری نرمال در حد FC و تنش FC ۴۰ درصد در مرحله آغاز رشد زایشی) بر روی اکوتیپ منتخب درمیان خراسان جنوبی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و در مزرعه پژوهشی

[Downloaded from mail.mg.genetics.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.20084439.1400.16.1.5.3]

پردیس ابوریحان دانشگاه تهران واقع در پاکدشت اجرا شد. اکوتیپ مورد آزمایش براساس مطالعات قبلی (Mansouri et al. 2017) از میان اکوتیپ‌های موجود در بانک ژن پردیس ابوریحان دانشگاه تهران تهیه شد. باتوجه به نیاز آبی زیره سبز، آبیاری تا زمان اعمال تنش آبی با فاصله‌ی ۱۲ روز یک بار انجام گرفت. تنش گیاه همزمان با شروع دوره‌ی گلدهی گیاه اعمال گردید. زمان محلول‌پاشی نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم نیز دو روز قبل از اعمال تنش خشکی انجام شد. در کرت‌های شاهد محلول‌پاشی با آب عاری از نانوذره صورت گرفت. باتوجه به نتایج مطالعات گذشته محلول‌پاشی نانوذرات فقط در یک مرحله صورت گرفت. از هر کرت آزمایشی حدود ۵۰ گل آذین نارس گیاه زیره سبز در سه مرحلهٔ مختلف رشدی شامل اندازه گل کوچک، متوسط و بزرگ (به‌ترتیب صفر تا ۰/۵، ۰/۵ تا ۰/۹ و ۰/۹ تا ۱/۳ سانتی‌متر)، از اوایل اردیبهشت ماه تا اواخر اردیبهشت ماه، جمع‌آوری و بلافاصله به داخل محلول تثبیت کنندهٔ کارنوی (اتانول: اسید استیک به نسبت ۳:۱) انتقال داده شد. نمونه‌ها به مدت ۲٤ ساعت در دمای اتاق تثبیت و پس ازخارج کردن گل‌آذین و شستشو با آب مقطر، در الکل۷۰ درصد در دمای ٤ درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری شدند (Obeidi et al. 2013). به‌منظور رنگ‌آمیزی، از محلول رنگی استواورسئین ۱ درصد استفاده شد. به‌دلیل کوچک بودن چترها و عدم دسترسی آسان به بساک گیاه زیره، ابتدا تعدادی از چترها با پنس درون پتری‌دیش قرار گرفته و مقداری الکل ۷۰ درصد روی آن ریخته شد. سپس زیر دستگاه استریومیکروسکوپ قرار گرفته و با استفاده از سوزن تشریح و اسکالپل بساک‌ها جدا شده و روی لام قرار داده شد. سپس یک قطره رنگ استواورسئین اضافه شد و پوستهٔ بساک و قسمت‌های اضافی حذف شدند. در مرحلهٔ بعد لامل روی نمونه قرار داده شد و بین دولایه‌ی کاغذ صافی با فشار جزئی عمل اسکواش انجام شد تا رنگ اضافی جذب کاغذ شود. در نهایت اسلاید آماده شده برای مدت چند ثانیه روی حرارت چراغ الکلی قرارگرفت تا رنگ استواورسئین بهتر جذب سلول‌های میوزی شود. تصویربرداری لام‌ها به‌وسیله سیستم مانیتورینگ متصل به فتومیکروسکوپ (Olympus BX51) انجام گرفت. در مجموع، تعداد ۲۰۰ سلول میوزی (میوسیت) جهت تعیین مطالعهٔ رفتار میوزی و تعیین میزان ناهنجاری‌های کروموزومی (شامل چسبندگی، توده‌ای شدن، کروموزوم سازمان‌نیافته، پل آنافازی، کروموزوم تاخیردار، کروموزوم پیشرو، تاخیرآنافازی، میکرونوکلئوس، سه قطبی، سین سایت و عدم تفرق صحیح کروموزومی) و نحوهٔ تشکیل اتصالات کروموزومی در مرحلهٔ دیاکینز میوز مورد مطالعه قرار گرفت. میانگین وقایع سلولی نظیر فراوانی تشکیل کیاسمای انتهایی، کیاسمای کل و میانگین توزیع انواع کیاسما در پروفاز میوز یک مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه میانگین تیمارها با استفاده آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطوح احتمال پنج درصد و یک درصد به‌کمک نرم‌افزار (Minitab (ver.18 مورد بررسی قرار گرفت.

در این مرحله گل‌آذین‌های رسیدهٔ گیاه زیره سبز (۰/۹ تا ۱/۳ سانتی‌متر) در اواخر اردیبهشت‌ماه، جمع‌آوری و مراحل تثبیت و نگهداری طبق روش فوق دنبال شد. به‌منظور تعیین قدرت باروری دانهٔ گرده به روش کلاسیک، ۵۰۰-۳۰۰ دانهٔ گرده به مدت یک ساعت در محلول رنگی استواورسئین یک درصد و روغن گلیسرول به نسبت ۱:۳، رنگ آمیزی و فراوانی دانه‌های گردهٔ رنگ شده با اندازهٔ طبیعی ثبت شد (Obeidi et al. 2013). اندازه‌گیری قطر دانه گرده به‌کمک نرم‌افزار image tools version 2.0 برروی ۱۰۰ دانه گرده به‌صورت تصادفی انجام شد و باروری دانهٔ گرده مورد مطالعه قرار گرفت.

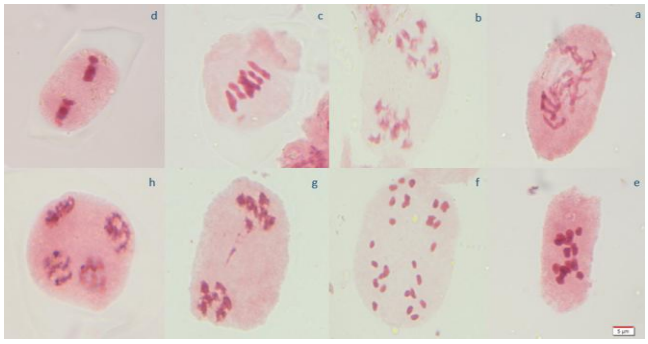
نتایج و بحث

بررسی رفتار کروموزومی و ناهنجاری‌های میوزی

در گیاهان شاهد (آبیاری نرمال، بدون اعمال نانوذره) تمامی مراحل میوز به‌صورت نرمال مشاهده و ثبت شد (شکل ۱). در این مطالعه عدد پایهٔ کروموزومی در گیاه زیره سبز مانند اکثر گیاهان متعلق به خانوادهٔ چتریان n=x=۷ مشاهده شد؛ هرچند در خانواده چتریان تعداد کروموزوم‌های پایه ۱۱، ۱۰، ۹، ۷ = x مشاهده شده است. در کلیه سلول‌های مورد بررسی اعم از سلول‌های شاهد و تحت تیمار، در مرحله‌ی دیاکینز، انواع بی‌والنت (حلقوی و میله‌ای)، یونی‌والنت و کوادری‌والنت با فراوانی‌های مختلف مشاهده شد. تجزیه واریانس منابع تغییر حاکی از عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد بین منابع تغییر به‌جز متغیرهای هگزاوالنت، کیاسمای میانی و فراوانی

[Downloaded from mail.mg.genetics.ir on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.20084439.1400.16.1.5.3]

کیاسمای کل بود (جدول ۱). بین تیمارهای مختلف نانوذره هگزاوالنت‌ها فقط در نمونه‌های سطح ۰/۰۳ درصد نانوذره و تنش‌خشکی، سطح ۰/۰۱۵ درصد نانوذره و عدم تنش‌خشکی و تیمار شاهد (آبیاری نرمال و بدون اعمال نانوذره) مشاهده شد (جدول ۲). فراوانی کیاسمای میانی و کیاسمای کل تحت تاثیر نانوذره قرار گرفته و تنها برهمکنش معنی‌دار بین نانوذره و تیمارآبی در مورد فراوانی وقوع هگزاوالنت‌ها مشاهده شد (جدول ۱).



شکل ۱- مراحل میوز نرمال در نمونه شاهد در زیره سبز:
a- پروفاز b- پروفاز I c- متافاز I d- متافاز II e- آنافاز I f- آنافاز II g- تلوفاز I h- تلوفاز II

میزان کیاسمای میانی با اعمال نانوذره افزایش یافت. با افزایش غلظت نانوذره فراوانی کیاسمای میانی و کیاسمای کل افزایش یافت به‌نحوی‌که بیشترین درصد افزایش میزان کیاسمای میانی و کیاسمای کل نسبت به شاهد (به‌ترتیب ۵۷ درصد و ۱۱ درصد) در سطح ۰/۰۳ درصد نانوذره مشاهده شد (جدول۲). در مجموع تاثیر نانوذره بر تغییر فراوانی کیاسماها بیشتر از تاثیر تنش خشکی بود. گاندهی در سال ۱۹۹٤ اعلام داشت دما تاثیر مستقیمی بر کاهش میزان تشکیل کیاسما در دو جنس *Clataria* دارد. Shabrangi et al. (2010) نیز به کاهش قابل توجه در میزان کیاسمای انتهایی در کلزا و ذرت تحت تاثیر میدان‌های مغناطیسی اشاره کردند. فراوانی کیاسما به‌صورت ژنتیکی کنترل می‌شود. وقوع کیاسمای میانی می‌تواند نوترکیبی ژن‌های میانی را افزایش داده و بر افزایش تنوع ژنتیکی موثر باشد (Fadaei et al. 2010). براساس مطالعهٔ منصوری و همکاران با تیمارهای مشابه، سطح ۰/۰۱۵ درصد از نانوذره به همراه تنش خشکی منجربه افزایش ۱٦ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد شده است (Mansouri et al. 2017). با توجه به اینکه در مطالعهٔ حاضر این سطح از تنش منجربه افزایش کیاسمای میانی به میزان ٦۰ درصد نسبت به شاهد (آبیاری نرمال بدون اعمال نانوذره) شده است، شاید بتوان به این نتیجه رسید که اعمال تنش مذکور بر نوترکیبی ژن‌های واقع در این ناحیه مؤثر بوده و سبب افزایش عملکرد شده است.

چسبندگی کروموزوم[1]ها به یکدیگر با ماهیت ناشناخته ممکن است از ایجاد انتهاهای چسبناک بین دو یا چند کروموزوم و تشکیل پل‌های چسبناک در آنافاز ناشی شود (Shabrangi et al. 2010). هر چه تراکم کروموزوم‌ها بیشتر باشد تشخیص چسبندگی آن‌ها آسان‌تر است؛ لذا در متافاز I و II بیشتر چسبندگی‌ها قابل تشخیص‌اند. بسته به شدت چسبندگی، انواع چسبندگی از چسبندگی ساده دو کروموزوم به یکدیگر تا توده‌ای شدن و درهم رفتگی همگی کروموزوم‌ها و یا کشیدگی و بدریختی قابل بررسی است (Shabrangi et al. 2010). براساس نتایج تجزیه واریانس، برهمکنش متقابل تنش آبی در نانوذره برای کلیهٔ صفات به‌جز کروموزوم سازمان نیافته، کروموزوم تاخیردار و کروموزوم پیشرو در آنافاز I به‌شدت معنی‌دار بود (جدول ۳). کمترین و بیشترین فراوانی ناهنجاری چسبندگی کروموزوم به ترتیب در مرحلهٔ متافاز I و II در شرایط تنش خشکی و اعمال نانوذره با غلظت ۰/۰۱۵ مشاهده شد (جدول ٤). به همین ترتیب بیشترین و کمترین فراوانی ناهنجاری چسبندگی کروموزوم به ترتیب در مرحلهٔ متافاز I و II در شرایط آبیاری نرمال و اعمال نانوذره با غلظت ۰/۰۱۵ مشاهده شد. به‌عبارت دیگر در سطح ثابت غلظت ۰/۰۱۵ نانوذره فراوانی این ناهنجاری در شرایط تنش خشکی در متافاز II افزایشی (۱۲ درصد بیشتر نسبت به شاهد) و در متافاز I کاهشی (۵/۵ درصد کمتر نسبت به شاهد) است (شکل ۲ و جدول ٤).

[1] Stickiness

[Downloaded from mail.mg.genetics.ir on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.20084439.1400.16.1.5.3]

جدول ۱- تجزیه واریانس (مقادیر p) جفت شدگی کروموزوم‌ها در مرحله دیاکینز در زیره سبز

Source منابع تغییر	DF درجهٔ آزادی	Ring Bivalant بی‌والنت حلقوی	Rod Bivalant بی‌والنت میله‌ای	Univalant یونی‌والنت	Quadrivalant کوادری‌والنت	Hexavalant هگزاوالنت	Intercalary Chiasma کیاسمای میانی	Terminal Chiasma کیاسمای انتهایی	Total Chiasma کیاسمای کل
rep تکرار	29	0.236	0.545	0.747	0.578	0.000	0.497	0.622	0.125
Water تیمار آبی	1	0.159	0.186	0.498	0.526	0.584	0.105	0.966	0.344
Nanoparticle تیمار نانوذره	2	0.420	0.640	0.500	0.364	0.720	0.018	0.223	0.023
Water*Nano برهمکنش	2	0.204	0.962	0.547	0.787	0.035	0.081	0.734	0.501

موارد معنی‌دار در سطح پنج درصد و یک درصد در داخل جدول با اعداد زیرخط‌دار مشخص شده‌اند.

جدول ۲- جفت‌شدگی کروموزوم‌ها در مرحله دیاکینز در زیره سبز

تیمار آبی	نوع جفت شدن تیمارهای نانوذره (درصد)	بی‌والنت حلقوی	بی‌والنت میله‌ای	یونی‌والنت	کوادری‌والنت	هگزاوالنت	کیاسمای میانی	کیاسمای انتهایی	کیاسمای کل
نرمال	0.03	2.06±0.25	3.41±0.32	0.96±0.25	0.51±0.10	0	1.68±0.11	8.24±0.24	9.51±0.40
تنش	0.03	2.00±0.32	3.10±0.28	1.24±0.37	0.55±0.12	0.06±0.04	1.69±0.21	8.48±0.39	10.17±0.49
نرمال	0.015	1.56±0.20	3.60±0.25	1.33±0.24	0.57±0.13	0.06±0.02	1.00±0.07	8.46±0.29	9.46±0.32
تنش	0.015	2.33±0.23	3.23±0.23	1.13±0.26	0.43±0.09	0	1.70±0.21	8.23±0.21	9.93±0.31
تنش	بدون نانوذره	1.92±0.23	3.48±0.30	1.72±0.35	0.36±0.12	0	0.88±0.16	7.88±0.24	8.76±0.30
نرمال	بدون نانوذره	1.65±0.23	3.65±0.29	1.24±0.28	0.41±0.09	0.03±0.01	1.06±0.22	7.89±0.31	8.96±0.40

[Downloaded from mail.mg.genetics.ir on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.20084439.1400.16.1.5.3]

جدول ۳- تجزیه واریانس (مقادیر p) ناهنجاری‌های کروموزومی در مرحله دیاکینز در زیره سبز.

Source منابع تغییر	DF درجهٔ آزادی	Stickiness % چسبندگی	Stickiness % چسبندگی	Clumping % توده‌ای شدن	Clumping % توده‌ای شدن	Disorganized % chromosome کروموزوم سازمان نیافته	Stickiness % چسبندگی	Laggard chromosome % کروموزوم تاخیردار	Laggard chromosome % کروموزوم تاخیردار
		متافاز I	متافاز II	متافاز I	متافاز II	متافاز I	آنافاز I	آنافاز I	آنافاز II
rep تکرار	4	0.433	0.893	0.265	0.370	0.772	0.265	0.955	0.766
Water تیمار آبی	1	0.001	0.459	0.095	0.000	0.425	0.000	0.759	0.000
Nanoparticle تیمار نانوذره	2	0.000	0.000	0.023	0.000	0.300	0.000	0.886	0.000
Water*Nano برهمکنش	2	0.000	0.000	0.001	0.000	0.214	0.000	0.204	0.000

ادامه جدول ۳- تجزیه واریانس (مقادیر p) ناهنجاری‌های کروموزومی در مرحله دیاکینز در زیره سبز.

Source منابع تغییر	DF درجهٔ آزادی	Leader chromosome% کروموزوم پیشرو	Leader chromosome% کروموزوم پیشرو	Delays anaphase% فاز تاخیری	Micronucleus% میکرونوکلئوس	Tripolar% سه‌قطبی	Syncyte% سین سایت	Nondisjunction chromosome% عدم تفرق صحیح کروموزوم	% Pollen fertility دانه گرده بارور
		آنافاز I	آنافاز II	آنافاز II	تلوفاز II				
rep تکرار	4	0.854	0.86	0.937	0.698	0.514	0.227	0.430	0.714
Water تیمار آبی	1	0.557	0.04	0.000	0.000	0.000	0.249	0.001	0.173
Nanoparticle تیمار نانوذره	2	0.970	0.00	0.000	0.000	0.000	0.014	0.000	0.000
Water*Nano برهمکنش	2	0.102	0.04	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001

موارد معنی‌دار در سطح پنج درصد و یک درصد در داخل جدول با اعداد زیرخط‌دار مشخص شده‌اند.

[Downloaded from mail.mg.genetics.ir on 2026-11-20]

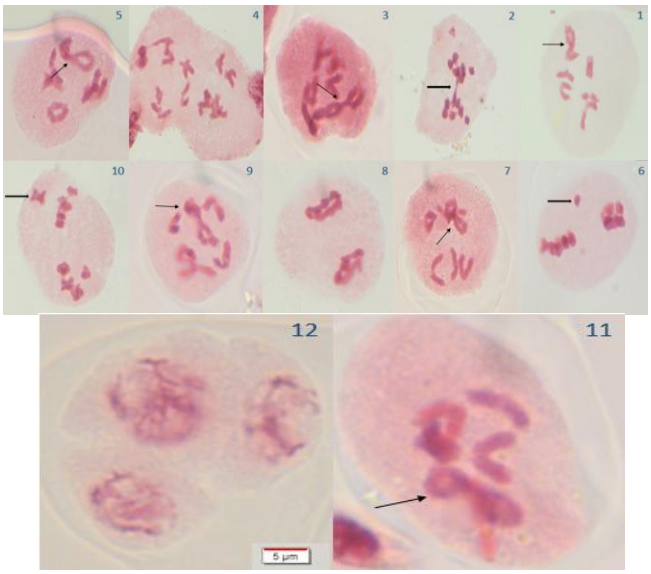
[DOR: 20.1001.1.20084439.1400.16.1.5.3]

جدول ٤- ناهنجاری کروموزوم‌ها در مراحل تقسیم میوز در زیره سبز

Water treatment تیمار آبی	Nanoparticle treatment (percentage) تیمارهای نانوذره (درصد)	Pairing type نوع جفت شدن	Stickiness % چسبندگی متافاز I	Stickiness % چسبندگی متافازII	Laggard chromosome % کروموزوم تاخیردار آنافاز II	Leader chromosome % کروموزوم پیشرو آنافاز II	Micronucleus % میکرونوکلئوس تلوفاز II	Delays anaphase % فاز تاخیری آنافاز II	Nondisjunction chromosome % عدم تفرق صحیح کروموزوم	Tripolar % سه‌قطبی	Syncyte % سین سایت	Pollen % fertility دانه گرده بارور
Normal نرمال	0.03 ۰/۰۳		2.71 bc	10.06 b	2.17 b	1.81 a	5.23 bc	8.33 a	0.35 b	9.86 a	17.54 a	90.23 bc
Stress تنش	0.03 ۰/۰۳		2.86 bc	0 c	0.20 b	0.53 ab	22.28 a	0.00 b	0.40 b	10.97 a	6.40 c	84.60 c
Normal نرمال	0.015 ۰/۰۱۵		13.83 a	0 c	0.18 b	0.00 b	0.00 c	0.00 b	0.15 b	0.28 b	7.52 c	86.74 c
Stress تنش	0.015 ۰/۰۱۵		0.36 c	17.07 a	0.18 b	0.00 b	4.28 bc	0.00 b	0.15 b	0.28 b	14.04 ab	96.93 a
Stress تنش	No nanoparticle بدون نانوذره		11.44 a	0 c	0.15 b	0.00 b	6.19 b	0.62 b	0.36 b	0.89 b	9.49 bc	95.72 ab
Normal نرمال	No nanoparticle بدون نانوذره		5.69 b	5.01 bc	7.88 a	0.00 b	0.00 c	0.00 b	6.03 a	11.38 a	7.71 c	97.61 a

حروف یکسان نشان‌دهندهٔ عدم اختلاف معنی‌دار است.

[Downloaded from mail.mg.genetics.ir on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.20084439.1400.16.1.5.3]



شکل ۲- دیاکینز و ناهنجاری‌های میوزی در زیره سبز

۱ و ۲- کوادری والنت (پیکان نازک)، پل کروماتیدی (پیکان توپر) در تیمار آبیاری نرمال و ۰/۰۳ درصد نانوذره ۳ و ٤ - کوادری والنت (پیکان نازک)، سین سایت در شرایط اعمال تنش خشکی و ۰/۰۳ درصد نانوذره ۵ و ٦- کوادری والنت (پیکان نازک)، کروموزوم تاخیری در مرحله متافاز II (پیکان توپر) در شرایط آبیاری نرمال و ۰۱۵/۰ درصد نانوذره ۷ و ۸- کوادری والنت (پیکان نازک)، توده‌ای شدن در تیمار تنش خشکی و اعمال ۰/۰۱۵ درصد نانوذره ۹ و ۱۰ - کوادری والنت (پیکان نازک)، کروموزوم پیشرو (پیکان توپر) در نمونه شاهد. ۱۱ و ۱۲ - کوادری والنت (پیکان نازک)، سه قطبی در شرایط تنش خشکی.

وجود پل‌های کروموزومی که ناشی از چسبندگی کروماتیدی می‌باشد، سبب خواهد شد که در نسل آینده، برخی از نتاج، فاقد یک کروموزوم یا قطعه‌ای از کروموزوم شوند و با جستجوی دقیق‌تر در این نتاج، به پایه‌های ژنتیکی متنوعی خواهیم رسید. احتمال بقای سلول‌های دارای کروموزوم‌های چسبنده کم است زیرا به‌طور عمده تفکیک این کروموزوم‌ها در آنافاز با تاخیر چند مرحله‌ای در میوز مواجه می شود. این ناهنجاری منجربه دو برابر شدن ژن(ها) در یک قطب و حذف ژن(ها) در قطب دیگر می‌شود (Shabrangi et al. 2010). چسبندگی کروموزومی می‌تواند در اثر عوامل ژنتیکی یا محیطی مانند اشعه ایکس، اشعه گاما، حشره‌کش‌ها و عناصر شیمیایی موجود در خاک (Bione et al. 2000) و یا برهمکنش عوامل ژنومی و محیطی (Ruediger 2009) نیز ایجاد شود.

کروموزوم‌های چسبنده می‌توانند نتیجهٔ عملکرد ناقص یک یا دو نوع از پروتئین‌های غیرهیستونی اختصاصی درگیر در سازمان‌دهی کروموزومی باشند که برای تفکیک کروماتید ضروری هستند. تغییر عملکرد این پروتئین‌ها می‌تواند به دلیل جهش در ژن‌های ساختاری رمزکنندهٔ آن‌ها در نتیجهٔ عامل جهش‌زا باشد (Gaulden 1987).

کروموزوم‌های تاخیردار یا سرگردان[1] به یک یا چند کروموزوم اطلاق می‌شود که از تفکیک صحیح آنافازی عقب افتاده باشند. در مقابل، اصطلاح کروموزوم پیشرو[2] به یک یا چند کروموزوم اطلاق می شود که حرکت زودهنگام در آنافاز را نشان بدهند و زودتر از سایر کروموزوم‌ها به قطبین برسند (Sheidai et al. 1999). برهمکنش تنش آبی و نانوذره در کروموزوم‌های تاخیردار در مرحلهٔ آنافاز II از نوع تغییر در مقدار بوده و در همهٔ سطوح مورد بررسی تنش آبی، با افزایش غلظت نانوذره از فراوانی این نوع کروموزوم‌ها کاسته می‌شود. تاثیر نانوذره بر فراوانی این نوع ناهنجاری در شرایط نرمال بیشتر از شرایط تنش خشکی است و به‌طور کلی تنش خشکی سبب کاهش چشمگیر این نوع ناهنجاری شده است. هرگونه نقص در تشکیل کیاسما و وقوع کراسینگ‌اور می‌تواند باعث تشکیل کروموزوم تاخیردار شود. این کروموزوم‌ها طی مراحل بعدی میوز یا ازبین می‌روند و یا به‌طور تصادفی به قطبین مهاجرت می‌کنند (Pagliarini 2000). کروموزوم‌های پیشرو و تاخیری می‌توانند نتیجه ظهور یونی‌والنت‌ها در انتهای مرحله آنافاز یا فعال شدن ژن دسیناپس و پیدایش یونی والنت‌ها در مرحله متافاز میوز I باشند. با توجه به نفوذ ناقص این ژن‌ها عوامل محیطی از جمله تنش خشکی می‌تواند بر شدت بیان آن‌ها اثرگذار باشد (Bione et al. 2000). برهمکنش متقابل تنش آبی و نانوذره درخصوص متغیرهای کروموزوم‌های پیشرو در آنافاز II و کروموزوم تأخیردار در آنافاز II نیز از نوع تغییر در مقدار بوده و غلظت ۰/۰۳ درصد نانوذره و عدم تنش خشکی باعث افزایش معنی‌دار این نوع ناهنجاری کروموزومی (۱۰۰ درصد) و از سوی دیگر کاهش معنی‌دار ناهنجاری کروموزوم تاخیردار (۷۰/٤۳ درصد) شد (شکل ۲ و

[1] Laggard chromosome
[2] Leader chromosome

[Downloaded from mail.mg.genetics.ir on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.20084439.1400.16.1.5.3]

جدول ٤). مطالعات در گیاهان متفاوت نشان داده است که کاهش تولید دانه با اختلالات میوزی همبستگی مستقیم دارد و تمامی اختلالات رفتاری کروموزوم‌ها، تقسیم میوزی طبیعی و در نتیجه باروری دانهٔ گرده را تحت تأثیر قرارمی‌دهد (Pagliarini 2000). کروموزوم‌های تاخیردار و پیشرو در بسیاری از گیاهان از جمله *Asparagus* (Sheidai 1991)، *Avena* (Koobaz 2000)، *Bromus Aegilops* (Fadai 2005)، *Aloe* (Mirzaei 2004)، *Ducrosia*، *Onobrychis* (Ranjbar 2012) و زیره سیاه (Kumbhakar 2016) گزارش شده است. کروموزوم‌های تاخیردار در صورتی که نتوانند در زمانی‌که باید درتلوفاز به قطب‌ها برسند، می‌توانند میکرونوکلئوس تولید کنند که به تشکیل دانه‌های گرده کوچک و شاید گامت‌هایی با تعداد کروموزوم‌های نامتعادل منجر شوند. این حالت را می‌توان در گامت‌های آنیوپلوئید مشاهده کرد (Souza et al. 2006).

جدا شدن زودهنگام یونی‌والان‌ها یا عملکرد آن‌ها به عنوان کروموزوم سرگردان در آنافاز باعث ایجاد میکرونوکلئوس[1] در تلوفاز می‌شود که معمولاً تا مرحله تتراد باقی می‌ماند (Kodura and Rao 1981). در این مطالعه هر کدام از غلظت‌های ۰/۰۳ نانوذره و تنش خشکی باعث افزایش معنی‌دار میکرونوکلئوس نسبت به شاهد شد. درهمین‌حال، غلظت ۰/۰۳ درصد از نانوذره و تنش خشکی سبب بیشترین افزایش این نوع ناهنجاری شد (جدول ٤). سولفیدکادمیوم و مس را در افزایش ناهنجاری میکرونوکلئوس در زیره سیاه موثر دانستند (Kumbhakar et al. 2016). کروموزوم‌هایی که میکرونوکلئوس را طی میوز ایجاد می‌کنند، از میکروسپورهای میکروسیت جدا می‌شوند. میکرونوکلئوس ممکن است واجد دیواره میکروسپوری شده، نوعی برآمدگی را ایجاد کند. این میکروسیت‌های جدا شده منشأ ایجاد دانه گرده‌های نازا و کوچک خواهند بود (Pagliarini 2000). میکرونوکلئوس عاملی است که موجب حذف کروموزوم درون گونه‌ای می‌شود (Tjio and Levan 1950) و لذا از طریق تشکیل میکروسلول‌ها فراوانی دانه‌های گرده عقیم را افزایش می‌دهد (Techio et al. 2006).

وقفه در جدا شدن کروموزوم‌ها در آنافاز II یا جدا نشدن کروموزومی در یک قطب آنافازی منجربه پدیده تاخیر آنافازی[2] می‌شود؛ به‌طوری که در یکی از دو سلول مجاور در مرحله آنافاز II کروموزوم‌ها کاملاً تفکیک شده‌اند اما کروموزوم‌های سلول دیگر هنوز در استوای سلول قرار دارند. از بین کلیهٔ تیمارهای مورد بررسی عدم تفرق صحیح کروموزوم‌ها[3] تنها در نمونهٔ شاهد مشاهده شد. به‌عبارت دیگر کلیهٔ تیمارهای اعمال شده اعم از تنش خشکی یا تیمار نانوذره بصورت جداگانه یا همراه با هم سبب کاهش فراوانی این ناهنجاری شده است. مشاهدهٔ عدم تفرق صحیح کروموزوم‌ها در نمونهٔ شاهد می‌تواند نشانهٔ احتمال حضور کروموزوم‌های B در این گونه باشد. همچنین ناهنجاری تاخیر آنافازی تنها در نمونه تحت تنش خشکی و غلظت ۰/۰۳ درصد از نانوذره رویت شد. نقش کینه‌توکور را در تفکیک کروموزوم‌ها و اتصال رشتهٔ دوک به سانترومر مورد بررسی قرار داد و عامل اصلی در این دو ناهنجاری را غیرفعال شدن یکی از کینه‌توکورها در یکی از رشته‌های خواهری وعدم اتصال رشته دوک به سانترومر دانست (Sybenga 2014). با توجه به بررسی‌های انجام شده شاید بتوان این‌طور نتیجه گرفت که نانوذره و تنش‌خشکی برروی کینه‌توکور اثر گذاشته و آن را غیرفعال کرده است. در نتیجه، اتصال رشته دوک به سانترومر ممکن نبوده و باعث تاخیر در آنافاز شده است.

ناهنجاری سه‌قطبی[4] شامل تشکیل تریاد به جای تتراد در مرحلهٔ تلوفاز II است که به‌جای وجود چهار قطب کروموزومی در تلوفاز II، سه قطب در تشکیلات میکروسپوری دیده می‌شود. هرگونه اختلال در فعالیت رشته‌های دوک منجر به ایجاد پدیده تریپولار یا سه‌قطبی می‌شود. این پدیده عامل مهمی در ایجاد گامت‌های نابارور و پلی‌پلوئیدی شناخته می‌شود (Veilleux 1985; Bretagnolle and Thompson 1995). در این مطالعه تمام سطوح تنش اعم از تنش خشکی و نانوذره منجربه کاهش این ناهنجاری گردیده است؛ با نگاهی به روند تغییرات، به‌طور کلی تنش خشکی سبب کاهش این ناهجاری شده است. با کاهش فراوانی این ناهنجاری باروری دانه‌گرده با مشکل کمتری مواجه

[1] Micronucleus

[2] Delays anaphase
[3] Nondisjunction chromosome
[4] Tripolar

[Downloaded from mail.mg.genetics.ir on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.20084439.1400.16.1.5.3]

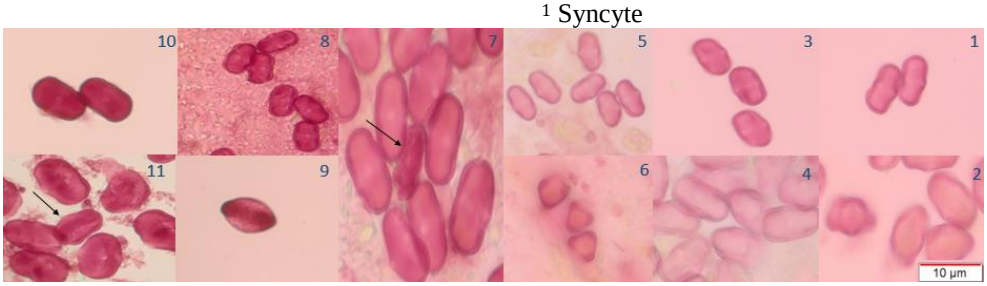
خواهد بود. کمترین میزان سه‌قطبی در نمونه شاهد و تنش خشکی بدون نانوذره و تنش خشکی تحت تاثیر غلظت ۰/۰۱۵ درصد نانوذره مشاهده شد (شکل ۲ و جدول ٤). این ناهنجاری تاثیر مستقیم بر باروری دانه گرده دارد. Ahirwar در سال ۲۰۱۵ این نتیجه را برای *Allium* تحت تیمار با کلشی سین اعلام داشته‌اند. این پدیده در *Vicia faba* (Sjodin 1970) و *Ducrosia anethifolia* (Obeidi et al. 2013) نیز مشاهده شده است.

در نوع خاصی از سیتومیکسی همهٔ کروموزوم‌های یک سلول به سلول مجاور منتقل می شود به این صورت که دیوارهٔ سلولی دو میوسیت در یکدیگر ادغام می‌شود و سلولی با دو برابر ماده ژنتیکی تشکیل می‌شود که این پدیده سین سایت[1] نام دارد. در مطالعهٔ حاضر تیمارهای شاهد، تنش خشکی بدون اعمال نانوذره، آبیاری نرمال به‌همراه غلظت ۰/۰۱۵ درصد نانوذره و تنش خشکی به‌همراه ۰/۰۳۰ درصد نانوذره کمترین میزان سین‌سایت را نشان دادند. در تیمارهای شاهد و تنش خشکی بدون اعمال نانوذره بیشترین دانه گرده بارور مشاهده شد (جدول ٤). بیشترین میزان ناهنجاری سین‌سایت در تیمارهای آبیاری نرمال به‌همراه اعمال ۰/۰۳ درصد نانوذره و تنش خشکی به‌همراه اعمال ۰/۰۱۵ درصد نانوذره مشاهده شد. سین‌سایت در تعدادی از گونه‌های علوفه مرتعی از قبیل *Pennisetum americanum* (Rao and Koduru1978)، *Dactylis glomerata* (Falistocco et al. 1994) و ذرت (Caetano-Pereira et al. 1999) به‌عنوان عامل اصلی نر عقیمی و در *Aegilop* (Sheidai et al. 1999) و *Chrysanthemum* (Kim et al. 2009) به‌عنوان عامل مهم در پلی-پلوئیدی گزارش شده است.

بررسی دانه گرده

با درنظر گرفتن کلیه ترکیبات تیماری، بیشترین درصد کاهش باروری دانه گرده در ترکیب با بالاترین غلظت تیمار نانوذره مشاهده شد. بیشترین درصد باروری دانه گرده نیز در تیمارهای شاهد، تنش خشکی به‌همراه غلظت ۰/۰۱۵ درصد نانوذره و تنش خشکی بدون اعمال نانوذره مشاهده شد (شکل ۳ و جدول ٤). منصوری نیز در سطح ۰/۰۱۵ درصد از نانوذره به همراه تنش خشکی، افزایش ١٦ درصدی عملکرد دانه را نسبت به تیمار شاهد (آبیاری نرمال بدون اعمال نانوذره) اعلام داشت (Mansouri et al. 2016). با توجه به اینکه در سطح ۰/۰۱۵ درصد از نانوذره به‌همراه تنش خشکی میزان تشکیل کیاسمای میانی نسبت به شاهد افزایش یافته لذا فراوانی کیاسمای میانی نمی‌تواند دلیلی بر ناباروری دانه گرده باشد. باروری دانهٔ گرده در شرایط تنش خشکی، نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ٤) که آن را می‌توان با مقاوم بودن گیاه زیره به تنش خشکی مرتبط دانست و یا علت آن می‌تواند کاهش وقوع ناهنجاری سین‌سایت و سایر ناهنجاری‌های کروموزومی اشاره شده در مطالعه حاضر باشد. یکی از وقایع مهم طی تقسیم میوز، تشکیل کیاسما بین کروموزوم‌های همولگ است که دو اثر مهم دارد. نخست سبب نگهداری کروموزوم‌های همولگ در کنار هم تا آغاز مرحله آنافاز I می‌شود و دوم، باعث رفتار منظم و حرکت صحیح همولگ‌ها به سمت قطبین سلول خواهد شد.

[1] Syncyte



شکل۳- دانه گرده در زیره سبز

۱ و ۲- به‌ترتیب دانه گرده نرمال و نابالغ در نمونه تحت تیمار آبیاری نرمال و ۰/۰۳ درصد نانوذره ۳ و ٤ – به‌ترتیب دانه گرده نرمال و نابالغ در نمونه تحت تیمار تنش خشکی و ۰/۰۳ درصد نانوذره ۵ و ٦- به‌ترتیب دانه گرده نرمال و نابالغ در نمونه تحت تیمار ۰/۰۱۵ درصد نانوذره و آبیاری نرمال ۷ – دانه گرده نابالغ (پیکان) در کنار دانه گرده نرمال تحت شرایط تیمار با نانوذره در غلظت ۰/۰۱۵ درصد و تنش خشکی ۸ و ۹ – به‌ترتیب دانه گرده بالغ و نابالغ در نمونه شاهد ۱۰ و ۱۱- به‌ترتیب دانه گرده نرمال و نابالغ در نمونه تحت تنش خشکی.

[Downloaded from mail.mg.genetics.ir on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.20084439.1400.16.1.5.3]

لذا عدم تشکیل کیاسما به‌عنوان یکی از دلایل مهم کاهش باروری و ناهنجاری‌های کروموزومی محسوب می‌شود (Hore 1981). منصوری اعلام داشت که اعمال تنش خشکی منجر به کاهش عملکرد دانه به میزان ٤٥ درصد و استفاده از نانوذره منجربه جبران ۱۷ درصدی افت عملکرد دانه می‌شود (Mansouri et al. 2017). شاید بتوان علت تغییرات فیزیولوژیک در تمامی سطوح تنش خشکی و نانوذره را با تغییر درصد کیاسمای میانی و کل مرتبط دانست.

نتیجه‌گیری کلی

از مجموع نتایج حاصل از بررسی ناهنجاری‌های کروموزومی در مراحل گوناگون تقسیم میوز و میزان باروری دانه‌گرده می‌توان نتیجه گرفت که در یک سطح پلوئیدی برابر هر چقدر میزان وقوع ناهنجاری‌های کروموزومی چسبندگی کروموزمی، سه قطبی، سین سایت و میکرونوکلئوس بالاتر رود میزان باروری دانه گرده کاهش می‌یابد. اعمال نانوذره تأثیر به‌سزایی در افزایش این ناهنجاری‌ها داشته است به‌صورتی که سطح ۰/۰۳ درصد از نانوذره منجر به افزایش ناهنجاری میکرونوکلئوس شده است. با توجه به این موضوع می‌توان نتیجه گرفت که اعمال نانوذره اگرچه منجر به بهبود خصوصیات مورفولوژی گیاه زیره سبز گردیده (Mansori et al. 2017) اما منجربه کاهش باروری دانه گرده می‌شود.

منابع

Ahirwar R and Verma RC (2015) Colchicine induced asynaptic chromosomal behavior at meiosis in Allium cepa L. The Nucleus 58:47-51.

Bione NCP, Pagliarini MS and Ferraz de Toledo JF (2000) Meiotic behavior of several soybean varieties.

Bretagnolle FA and Thompson JD (1995) Gametes with the somatic chromosome number: mechanisms of their formation and role in the evolution of autopolyploid plants. New Phytologist 129:1-22.

Caetano-Pereira CM, Pagliarini MS and Brasil EM (1999) Cell fusion and chromatin degeneration in an inbred line of maize. Genetics and molecular biology 22:69-72.

Fadaei F, Sheidai M, Asadi M (2010) Cytological study the genus *Arenaria* L. (Caryophyllaceae). Caryologia 63:149156.

Falistocco E, Tosti T, Falcinelli M (1995).Cytomixis in pollen mother cells of diploid Dactylis, one of the origin of 2n gametes. J Hered 89:448–53.

Gaulden ME (1987) Hypothesis: Some mutagensdirectly alter specific chromosomal proteins thusproduce chromosome stickiness. Mutagenisis 2:357365.

Hore A (1981) Cytotypes within the familyUmbelliferae with special reference to the genera *Seseli* L. and *Oenanthe* L. (subtribe Seselinae). Genetica 56:205 211.

Iovene M, Grzebelus E, Carputo D, Jiang J and Simon PW (2008) Major cytogenetic landmarks and karyotype analysis in *Daucus carota* and other Apiaceae. American Journal of Botany 95:793-804.

Kafi M, Mohassel MR, Koocheki A, and Nassiri M (2006) Cumin (*Cuminum Cyminum*): production and processing, Science Publishers, Ferdowsi University of Mashhad.

Kim JS, Oginuma K and Tobe H (2009) Syncyte formation in the microsporangium of *Chrysanthemum* (Asteraceae): a pathway to infraspecific polyploidy. Journal of Plant Research 122:439-444.

Kodura PRK, Rao MK (1981) Cytogenetics of synaptic mutants in higher plants. Theoretical and Applied Genetics 59:197-214.

Koobaz P (2000) Biosystematic study of species and populations of *Avena* L. in Iran, MsC thesis. Shahid Beheshti University.

Kumbhakar DV, Datta AK, Mandal A, Das D, Gupta S, Ghosh B, Halder S and Dey S (2016) Effectivity of copper and cadmium sulphide nanoparticles in mitotic and meiotic cells of *Nigella sativa* L.(black cumin)–can nanoparticles act as mutagenic agents?. Journal of Experimental Nanoscience 11:823-839.

Mansouri M, Akbari GA, Mortazavian SMM (2017) The effect of nanoparticles of titanium dioxide on yield and yield components of different ecotypes of cumin in drought stress conditions, Journal of Crops Improvement 19:461473.

Mortazavian SMM, Safari B, Sadat Noori SA, Foghi B (2018) Evaluation of Diverse Cumin (*Cuminum cyminum* L.) Ecotypes for Seed Yield under Normal and Water Stress Condition. JAST. 20:359372.

Obeidi L, Mehrabi AA, Omidi M and Oladzad A (2013) Meiotic behavior and pollen viability of *Ducrosia anethifolia* (DC). Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research 20(1).

Pagliarini MS (2000) Meiotic behavior of economically important plant species: the relationship between fertility and male sterility. Genetics and Molecular Biology 23:997-1002.

Rao MK and Koduru PRK (1978) Cytogenetics of a factor for syncyte formation and male sterility in Pennisetum americanum. Theoretical and Applied Genetics 53:1-7.

Ruediger HWR (2009) Genotoxic effects of radiofrequency electromagnetic fields. Pathophysiology 16:89-102.

[Downloaded from mail.mg.genetics.ir on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.20084439.1400.16.1.5.3]

Safari B Mortazavian SMM, Sadat Noori SA, Foghi B, (2017) Evaluation of drought tolerance in endemic ecotypes of cumin using tolerance indices. Journal of Plant Production Research 23:185-204.

Shabrangi A, Sheidai M, Majd A, Nabiuni M, Dorranian D (2010) Cytogenetic abnormalities caused by extremely low frequency electromagnetic fields in canola. Science Asia 36:292-296.

Sheidai M (1991). Variations in meiotic chromosomes in *Asparagus* L. Biovigyanum 17:45-47.

Sheidai M, Saeed AM, Zehzad B (1999) Meiotic studies of some *Aegilops* (Poaceae) species and populations in Iran. Edinburgh Journal of Botany 56:405-419.

Sheidai M, Kalhor-Home N and Poorneydanei A (2007) Cytogenetic study of some populations of *Foeniculum vulgare* (Umbelliferae) in Iran. *Caryologia*, 3: 257-261.

Sjodin, J., 1970. Induced asynaptic mutants in *Vicia faba* L. Hereditas 66:215-32.

Souza MM, Martins ER, Pereira TNS and Olivera LO (2006) Reproductive studies onIpecac (*Cephalis ipecacuanha* (Brot.) A. Rich, Rubiaceae): Meiotic behavior and pollen viability. Brazilian Journal of Biology 66:151159.

Sybenga J (2014) Incomplete pole orientation of kinetochores in complex meiotic metaphase I configurations delays metaphase anaphase transition in *Secale*. Journal of Genome 57: 233238.

Techio VH, Davide LC and Pereira AV (2006) Meiosis in elephant grass (*Pennisetum purpureum*), pearl millet (*Pennisetum glaucum*) (Poaceae, Poales) and their interspecific hybrids. Genetics and Molecular Biology 29:353362.

Tjio JH and Levan A (1950) The use of oxyquinoline in chromosome analysis. *Anales Estacion Exper Aula Dei* (Spain) 2:2146.

Veilleux RE (1985) Diploid and polyploidy gametes in crop plants: mechanism of formation and utilization in plant breeding. Plant Breed. Rev 3:253-288.

Zheng L, Su M, Liu Ch, Chen Li, Huang H, Wu X, Liu X, Yang Gao F, Hong F (2007) Effects of Nanoanatase TiO2 on Photosynthesis of Spinach Chloroplasts Under Different Light Illumination. Biological Trace Element Research 119:68–76

[Downloaded from mail.mg.genetics.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.20084439.1400.16.1.5.3]