

## تأثیر نانو اکسیدروی و سولفاتروی بر جوانه‌زنی بذر برنج

احمد رضانی<sup>\*۱</sup>

<sup>۱</sup>استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۴/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۰۲

### چکیده

این پژوهش به منظور بررسی، تأثیر تیمارکردن بذر با کود روی بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر برنج در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار، در آزمایشگاه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان انجام شد. تیمارها شامل تیمارکردن بذر با سولفاتروی به میزان ۲/۵ و ۵ گرم در کیلوگرم بذر، نانو اکسیدروی به میزان ۰/۵ و ۱ گرم در کیلوگرم بذر، تیمارکردن بذر با آب مقطر به‌عنوان شاهد اول و عدم تیمارکردن بذر به‌عنوان شاهد دوم بودند. نتایج نشان داد که تیمارکردن بذر با نانو اکسیدروی و سولفاتروی باعث کاهش سرعت جوانه‌زنی و طول ریشه‌چه و افزایش طول و وزن خشک ساقه‌چه و مقدار روی در گیاه‌چه شد. حداقل سرعت جوانه‌زنی در تیمار ۱ گرم نانو اکسیدروی به دست آمد که ۱۲/۹ درصد نسبت به شاهد اول کمتر بود. همچنین حداکثر مقدار روی گیاه‌چه (۳۶/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مربوط به تیمار ۱ گرم نانو اکسیدروی بود که نسبت به شاهد اول ۴۴/۴ درصد افزایش داشت. بر اساس نتایج این تحقیق، تیمارکردن بذر برنج با کود روی یک روش اقتصادی مناسب برای دستیابی به حداکثر محصول، افزایش غلظت روی دانه و تأمین عنصر روی مورد نیاز در جیره غذای مردم، با توجه به سرانه بالای مصرف برنج در کشور است.

**واژه‌های کلیدی:** تیمارکردن بذر، سولفاتروی، نانو اکسیدروی

### مقدمه

موادی که حداقل در یک بعد به اندازه ذرات کمتر از ۱۰۰ نانومتر باشند به عنوان نانو مواد طبقه‌بندی و شناخته می‌شوند. به‌طور کلی از مواد نانو در تصفیه آب، تصفیه فاضلاب، پالایش محیط زیست، فرآوری و بسته‌بندی مواد غذایی، مصارف صنعتی و خانگی، داروسازی و توسعه حسگرهای هوشمند استفاده می‌شود. در حال حاضر بیشترین کاربرد مواد نانو در این زمینه‌ها بر بهبود و کارایی تولید متمرکز شده است. همچنین این مواد در تولیدات کشاورزی و حفاظت گیاهان نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند (Bouwmeester et al., 2009; Nair et al., 2010; Sharon et al., 2010; Emamifar et al., 2010). از جمله مباحثی که در کشاورزی در ارتباط با نانو مواد مطالعه شده شامل کاربرد آن‌ها در جوانه‌زنی و رشد گیاهان، تولید محصولات و حفاظت گیاهان، ردیابی پاتوژن‌ها و باقیمانده سموم شیمیایی و علف‌کش‌ها است. با این حال کاربرد نانو مواد در زمینه کشاورزی، نسبتاً جدید و نیازمند تحقیقات بیشتری است (Khot et al., 2012).

در سال‌های اخیر، محققان بسیاری اثرات نانو مواد را بر جوانه‌زنی و رشد گیاهان با هدف توسعه کاربرد آنها در کشاورزی مطالعه کرده‌اند (Zhang et al., 2005). در آزمایشی تاثیر غلظت‌های ۱۰، ۱۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات اکسیدروی بر جوانه‌زنی برنج مورد بررسی قرار گرفت، گزارش شد که درصد جوانه‌زنی کاهش نداشت که نشان دهنده عدم تاثیر منفی نانو اکسیدروی بر درصد جوانه‌زنی بود (Boonyanitipong et al., 2011) ولی اثر غلظت‌های بالاتر از ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو اکسیدروی بر رشد ریشه‌چه منفی بود، به طوری که هم طول ریشه‌چه و هم تعداد ریشه‌ها کاهش یافت. در مطالعه‌ای که اثر تیمارکردن بذر با غلظت‌های مختلف نانو اکسیدروی و سولفات روی بر جوانه‌زنی بذر، بنیه بذر، رشد گیاه، گلدهی، مقدار کلروفیل، عملکرد غلاف و رشد ریشه بادام زمینی مورد بررسی قرار گرفت، نتایج نشان داد تیمار نانو اکسیدروی با غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر موجب بهبود جوانه‌زنی بذر و افزایش بنیه گیاه‌چه شد و باعث استقرار سریعتر و گلدهی زودتر و افزایش مقدار کلروفیل برگ شد. تاثیر این ذرات در افزایش رشد ساقه و ریشه موثر بود. همچنین عملکرد غلاف در بوته در تیمار نانو اکسیدروی نسبت به سولفات روی ۳۴ درصد بالاتر بود (Prasad et al., 2012).

در آزمایشی که تاثیر نانو اکسیدروی با غلظت‌های (۰/۵، ۱/۵ و ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر) بر جوانه‌زنی چهار رقم جو مورکو، نصرت و لاین شماره ۴ در شرایط آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفت، نتایج نشان داد تیمار شاهد (عدم مصرف کود) با سایر تیمارهای کودی از نظر آماری در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی‌داری داشت، اما تیمارهای نانو روی و کلات روی تفاوت قابل توجهی از نظر آماری نشان ندادند. حضور یون‌های فلزی روی هر چند که برای مراحل ثانویه رشد گیاه ضروری بود اما در مراحل اولیه رشد مخصوصاً در شرایط آزمایشگاهی به میزان کم نیز باعث کاهش قابل توجه قدرت جوانه‌زنی گیاه شد (Kazemi, 2014). در مطالعه‌ای که اثر تیمارکردن بذر با نانو اکسیدروی بر جوانه‌زنی برنج (رقم Nongda3) در پنج غلظت (صفر، ۰/۵، ۲، ۳ و ۵ میلی‌گرم در لیتر) مورد بررسی قرار گرفت، نتایج نشان داد وقتی غلظت محلول ۳ میلی‌گرم در لیتر بود سرعت جوانه‌زنی بطور قابل توجهی افزایش یافت (۳۸٪) و اثر مثبتی بر رشد ساقه‌چه و بویژه ریشه‌چه داشت و فعالیت بذر ۱۲۲/۳٪ افزایش داشت. این در حالی بود که در اوایل جوانه‌زنی نفوذ پذیری غشا بذر بیشتر شد و فعالیت آنزیم SOD (Super Oxide Dismutase) تا ۵۶٪ افزایش داشت ولی در انتهای جوانه‌زنی فعالیت این آنزیم کاهش داشت اما در تیمارهای با غلظت بالاتر از ۳ میلی‌گرم در لیتر سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت (Wang and Song, 2004). نتایج مشابهی نیز در سایر گیاهان گزارش شده‌است. به عنوان مثال، تیمارکردن بذر با روی، مس، کبالت، جیوه و سرب در خیار و گندم باعث کاهش سرعت جوانه‌زنی شد (Munzuroglu and Geckil, 2002).

در مطالعه‌ای که اثرات نانو اکسیدتیتانیوم و اکسید تیتانیوم (غیرنانو) بر جوانه‌زنی اسفناج مورد بررسی قرار گرفت، گزارش شد که تیمار بذر با نانو اکسیدتیتانیوم در مقایسه با شاهد در طی یک دوره ۳۰ روزه جوانه‌زنی موجب تولید گیاهانی با ۷۳٪ بیوماس بیشتر، سه برابر سرعت فتوسنتز بیشتر و ۴۵ درصد افزایش در تشکیل کلروفیل نوع a شد. سرعت رشد گیاه‌چه اسفناج رابطه معکوسی با اندازه نانو مواد داشت که نشان می‌دهد تاثیر نانو مواد در ابعاد کوچکتر بر جوانه‌زنی بهتر است (Zhang et al., 2005). نکته اساسی در مورد افزایش سرعت جوانه‌زنی، نفوذ مواد نانو در بذر است. گزارش شده نانوتیوب‌های کربنی تک جداره می‌تواند در بذر گوجه‌فرنگی نفوذ کرده و سرعت جوانه‌زنی را از طریق جذب آب افزایش دهند. این مواد موجب افزایش جوانه‌زنی بالای ۹۰ درصد (در مقایسه با ۷۱ درصد شاهد) و

بیوماس در طی ۲۰ روز شدند (Khodakovskaya, 2009). بررسی تاثیر نانو ذرات فلزی پالادیم، سیلیسیم، طلا و مس بر جوانه‌زنی بذر کاهو نشان داد که نانو ذرات پالادیم و طلا در غلظت‌های کم، سیلیسیم و مس در غلظت‌های بالاتر و ترکیب دو نانو ذره طلا و مس باهم تاثیر مثبتی بر جوانه‌زنی بذر کاهو از نظر نسبت ساقه به ریشه و رشد گیاهچه داشتند (Shah and Belozeroval, 2009). در مطالعه‌ای گزارش شده نانو اکسید آلومینیوم در غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر باعث کاهش طول ریشه‌چه در گیاهان مختلف گردید (Yang and Watts, 2005). با توجه به اهمیت کاربرد مواد نانو در کشاورزی بویژه در زمینه جوانه‌زنی بذر، این پژوهش به منظور بررسی، تأثیر تیمار کردن بذر با نانو اکسیدروی و سولفات روی بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه برنج رقم سازندگی انجام شد.

## مواد و روش‌ها

در این آزمایش تأثیر تیمار کردن بذر با سولفات روی و نانو اکسیدروی بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه برنج رقم سازندگی در شرایط آزمایشگاه، در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار مورد بررسی قرار گرفت. تیمارهای آزمایش شامل ۰/۵ و ۱/۵ گرم در کیلوگرم بذر نانو اکسیدروی (Nano-ZnO) (Prasad et al., 2012)، ۲/۵ و ۵ گرم در کیلوگرم بذر سولفات روی تر (Slaton et al., 2001) آب مقطر به عنوان شاهد اول و عدم تیمار کردن به عنوان شاهد دوم بود. رقم مورد استفاده در این آزمایش رقم برنج سازندگی بود، که رقم تجاری مورد کشت در استان اصفهان است. نانو اکسیدروی مورد استفاده تولید شرکت تحقیقاتی نانو مواد آمریکا<sup>۱</sup> با خلوص ۹۹ درصد و متوسط قطر ذرات ۳۰-۱۰ نانومتر و ویژه مخصوص آن بیشتر از ۳۰ مترمربع بر گرم بود. همچنین سولفات روی بکار رفته از نوع آبدار با خلوص ۹۹ درصد تولید شرکت فولکا (Fulka) سوئیس بود. بدلیل حلال نبودن نانو اکسیدروی در آب، ابتدا نانو اکسیدروی در آب دی یونیزه بصورت معلق در آمده و با استفاده از لرزش و ارتعاشات دستگاه اولتراسونیک (۱۰۰ وات و ۴۰ کیلوهرتز به مدت ۳۰ دقیقه) این مواد پخش شده و محلول گردید (Prasad et al., 2012) و برای تیمار کردن بذر استفاده شد.

به منظور آماده سازی بذر، ابتدا دانه‌های پوک و شکسته برنج با استفاده از محلول ۱۰ درصد نمک طعام (سدیم کلرید) از دانه های سالم جدا گردید و با حذف بذرهای خیلی درشت و خیلی ریز، بذرهای یک اندازه، یکدست و همشکل به منظور کاهش خطای جوانه‌زنی (Slaton et al., 2001) انتخاب شدند. سپس بذرهای سالم با آب مقطر شسته شد، به طوری که هیچ اثری از سدیم کلرید بر روی بذرهای باقی نماند و به مدت یک دقیقه با الکل اتیلیک ۷۰ درصد ضد عفونی گردید. پس از آن بذرهای در آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت، در دمای ۳۰-۲۵ درجه سانتی‌گراد خیسانده شد و با سولفات روی و نانو اکسیدروی به مدت ۲۴ ساعت در داخل انکوباتور با درجه حرارت، ۳۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۰ درصد در شرایط تاریکی تیمار گردید (Boonyanitipong et al., 2011) و سپس بذرهای شمارش و برای اجرای آزمون جوانه‌زنی استاندارد آماده گردید بطوریکه ۱۰۰ عدد بذر از هر تیمار در ۲ پتری‌دیش شیشه‌ای (با قطر ۹۰ میلی‌متر) بین دو لایه کاغذ واتمن شماره یک در هر تکرار قرار گرفت و ۵ میلی‌لیتر آب مقطر به هر ظرف افزوده شد و در دمای ۲۵±۲ درجه سانتی‌گراد در انکوباتور جهت جوانه‌زنی قرار داده شد. کلیه مراحل آزمایش بر اساس آزمون جوانه‌زنی استاندارد (ISTA, 2010) انجام شد. بذرهای جوانه‌زده به صورت روزانه در یکساعت معین از روز پنجم تا روز چهاردهم شمارش و ثبت گردید. هنگام شمارش، بذرهایی جوانه‌زده محسوب

1. US Research Nanomaterials, Inc.

شدند که طول ریشه‌چه آن‌ها ۲ میلی‌متر یا بیشتر بود. همچنین در روز چهاردهم تعداد گیاه‌چه‌های طبیعی به عنوان درصد جوانه‌زنی نهایی منظور گردید. در پایان جوانه زنی درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه، وزن تر و خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه و غلظت روی گیاهچه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه از کاغذ میلی‌متری استفاده شد. وزن تر و خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه (پس از قرار دادن نمونه‌ها در آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد) با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری گردید. برای تعیین مقدار روی گیاهچه، ابتدا نمونه‌های خشک شده در آون آسیاب شده و پس از هضم نمونه در بالن ژوژه با اسید سولفوریک، اسید سالیسیلیک و آب اکسیژنه، مقدار روی گیاهچه با استفاده از دستگاه جذب اتمی تعیین شد (Emami, 1996). برای محاسبه شاخص‌های جوانه‌زنی از روابط زیر استفاده شد:

الف- درصد جوانه‌زنی:

$$\%G = n/N \times 100 \quad (1)$$

که در آن  $n$  = تعداد بذره‌های جوانه‌زده در هر پتری دیش و  $N$  = تعداد کل بذره‌های موجود در هر پتری دیش  
ب- میانگین سرعت جوانه‌زنی:

برای محاسبه میانگین سرعت جوانه‌زنی از روش ماگویی (Maguire, 1962) از رابطه زیر استفاده شد:

$$GR = \sum(N_i/T_i) = (\sum N_i) / (\sum N_i \times T_i) \quad (2)$$

که در آن،  $GR$  = سرعت جوانه‌زنی،  $N_i$  = تعداد بذره‌های جوانه زده در روز  $i$  ام و  $T_i$  = طول مدت جوانه‌زنی (تعداد روز پس از شروع آزمایش) و  $\sum$  = مجموع  
تجزیه‌های آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS و مقایه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD و رسم نمودارها با نرم افزار Excel انجام شد.

## نتایج و بحث

**تأثیر تیمارکردن بذر با کود روی بر سرعت جوانه‌زنی:** نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، تأثیر تیمارکردن بذر بر سرعت جوانه‌زنی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌داری بود ولی بر درصد جوانه زنی معنی‌داری نبود (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد حداکثر سرعت نسبی جوانه‌زنی (۷/۲۸) در تیمار شاهد اول و حداقل آن (۶/۳۴) در تیمار ۱ گرم نانو اکسیدروی بدست آمد و تفاوت معنی‌داری بین دو تیمار شاهد وجود نداشت (شکل ۱). به عبارت دیگر تیمارکردن بذر با کود روی (بجز در تیمار ۲/۵ گرم بر کیلوگرم سولفات روی) باعث کاهش سرعت جوانه‌زنی شد. به نظر می‌رسد استفاده از غلظت‌های بالای ترکیبات روی در این آزمایش باعث کاهش سرعت جوانه‌زنی شده‌است. در بررسی تأثیر غلظت‌های متفاوت سولفات روی بر جوانه‌زنی برنج گزارش کردند، در غلظت‌های ۰/۵ تا ۳ میلی‌گرم در لیتر، سرعت جوانه‌زنی افزایش یافت و حداکثر افزایش (۳۸٪) در غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر بدست آمد ولی با افزایش غلظت از ۳ به ۵ میلی‌گرم در لیتر سرعت جوانه‌زنی کاهش نشان داد (Wang et al., 2005). کاهش سرعت جوانه‌زنی بذر ناشی از مصرف غلظت‌های بالای (> ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) نانو ذرات روی (با ابعاد ۳۵ نانومتر) و اکسید روی (با ابعاد تقریبی ۲۰ نانومتر) در تربچه (*Raphanus sativus*)، کانولا (*Brassica napus* L.)، شلغم روغنی (*Brassica rapa*)، چچم (*Lolium temulentum*)، کاهو (*Lactuca sativa*)، ذرت (*Zea mays*) و خیار (*Cucumis sativus*) نیز گزارش شده‌است (Lin and Xing, 2007).

جدول ۱: نتایج تجزیه واریانس جوانه‌زنی برنج و مقدار روی گیاهچه تحت تأثیر تیمارکردن بذر با نانوآکسیدروی و سولفات روی

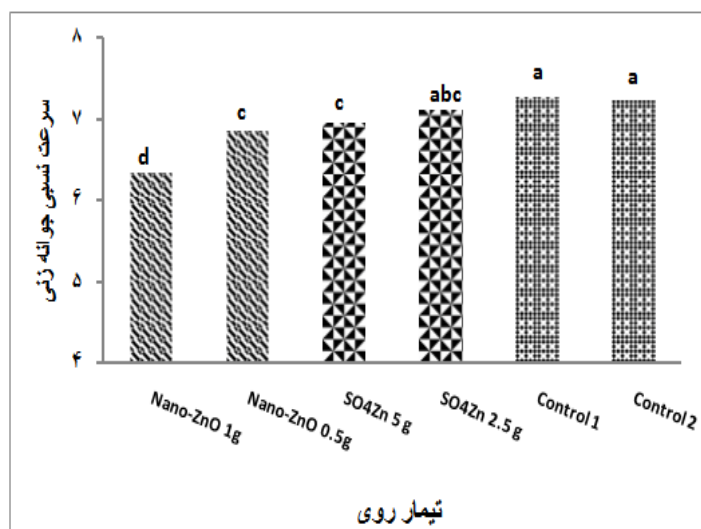
منابع تغییرات	درجه آزادی	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	مقدارروی گیاهچه
تیمار	۵	۴۷/۷۸ ns	۰/۴۲۸**	۱۵۷/۲۸**
خطا	۱۸	۱۴/۷۶	۰/۰۱۳	۲۳/۷۶
ریشه‌چه				
منابع تغییرات	درجه آزادی	طول	وزن‌تر	وزن‌خشک
تیمار	۵	۳/۰۶۹*	۰/۰۰۱۶ ns	۰/۰۰۰۰۷۴ ns
خطا	۱۸	۰/۸۶۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۰۳۵
ساقه‌چه				
منابع تغییرات	درجه آزادی	طول	وزن‌تر	وزن‌خشک
تیمار	۵	۱/۱۴۷**	۰/۰۰۳۱۱**	۰/۰۰۰۰۸۷۵**
خطا	۱۸	۰/۱۹۷	۰/۰۰۰۰۶۷	۰/۰۰۰۰۱۸۱
گیاهچه				
منابع تغییرات	درجه آزادی	طول	وزن‌تر	وزن‌خشک
تیمار	۵	۱/۳۶۴ ns	۰/۰۰۴۱۹۷ ns	۰/۰۰۰۰۳۶۱ ns
خطا	۱۸	۰/۷۶۹۹۱	۰/۰۰۲۲۶	۰/۰۰۰۰۲۶۷

\*, \*\*, ns به ترتیب دارای تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیرمعنی‌دار

کاظمی (Kazemi, 2014) نشان داد حضور یون‌های فلزی عنصر روی هرچند که برای مراحل ثانویه رشد گیاه ضروری است اما در مراحل اولیه رشد مخصوصاً در شرایط آزمایشگاهی به میزان کم نیز باعث کاهش قابل توجه قدرت جوانه‌زنی گیاه جو شد و تفاوت قابل توجهی از نظر آماری بین تیمارهای نانوآکسیدروی و کلات روی وجود نداشت. این در حالی است که، گزارش شده کاهش سرعت جوانه‌زنی باعث کاهش درصد استقرار گیاه در خاک و به تعویق افتادن رشد می‌شود (Copeland and McDonald, 2012). در خصوص تأثیر تیمارکردن بذر با عنصر روی بر سرعت جوانه‌زنی نتایج متفاوتی گزارش شده‌است. برخی از محققین گزارش کرده‌اند که تیمارکردن بذر با عنصر روی باعث کاهش سرعت جوانه‌زنی (Lin and Xing, 2007; Munzuroglu and Geckil, 2002) می‌گردد، در حالی که نتایج برخی دیگر (Zhang et al., 2005) حاکی از افزایش سرعت جوانه‌زنی است. به نظر می‌رسد گزارش‌های متفاوت عمدتاً مربوط به استفاده از غلظت‌های مختلف و واکنش متفاوت گونه‌های مختلف گیاهان مورد استفاده در آزمایش است. به عنوان نمونه در آزمایشی که تأثیر کاربرد روی و کادمیوم بر جوانه‌زنی یونجه مطالعه شد نتایج نشان داد که غلظت‌های پائین این دو عنصر باعث افزایش و غلظت‌های بالا باعث کاهش درصد جوانه‌زنی و رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه یونجه شد (Zhang et al., 2005).

تأثیر تیمارکردن بذر با کود روی بر غلظت روی گیاهچه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، تیمارکردن بذر بر غلظت عنصر روی گیاهچه برنج تأثیر مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ داشت (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد حداکثر غلظت روی گیاهچه (۳۶/۹۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار ۱ گرم نانوآکسیدروی و حداقل آن (۲۰/۵۲) در تیمار شاهد اول بدست آمد و تفاوت معنی‌داری بین دو نوع کود مصرفی و همچنین بین دو تیمار شاهد

وجود نداشت (شکل ۲). به عبارت دیگر کاربرد نانو اکسیدروی (۱ و ۰/۵ گرم بر کیلوگرم) و سولفات روی (۵ و ۲/۵- گرم بر کیلوگرم) باعث افزایش غلظت عنصر روی در گیاهچه شد. در همین رابطه اسلیتون و همکاران ( Slaton et al., 2001) با مقایسه مصرف حاکی روی و پرایمینگ بذر برنج نشان دادند که پرایمینگ بذر با عنصر روی باعث افزایش غلظت روی در بافت‌های گیاه، تولید ماده خشک بیشتر و در نهایت منجر به عملکرد بیشتر شد. این محققین پیشنهاد کردند که از پرایمینگ بذر به عنوان یک جایگزین اقتصادی و مناسب‌تر نسبت به مصرف روی در خاک استفاده شود.

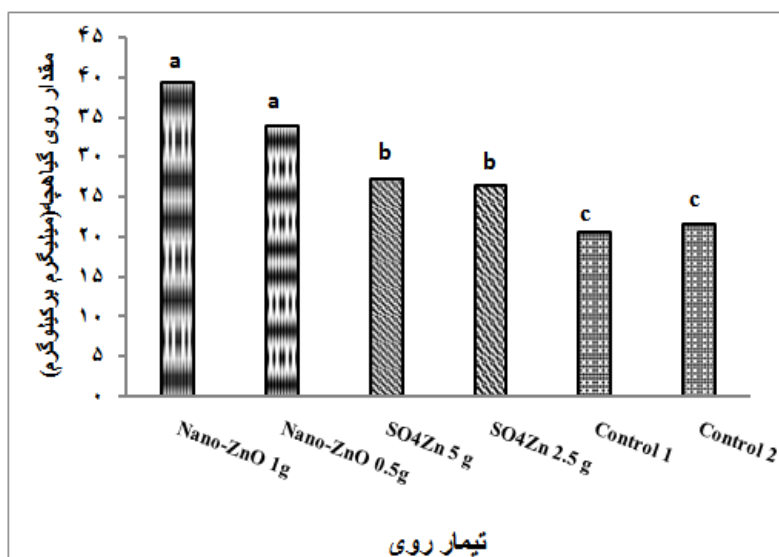


شکل ۱: تأثیر تیمار کردن بذر با کود روی بر سرعت نسبی جوانه‌زنی

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۰.۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند. Nano-ZnO 1g = نانو اکسیدروی به میزان ۱ گرم بر کیلوگرم بذر، Nano-ZnO 0.5g = نانو اکسیدروی به میزان ۰/۵ گرم بر کیلوگرم بذر، SO<sub>4</sub>Zn 5g = سولفات روی به میزان ۵ گرم بر کیلوگرم بذر، SO<sub>4</sub>Zn 2.5g = سولفات روی به میزان ۲/۵ گرم بر کیلوگرم بذر، Control 1 = شاهد اول و Control 2 = شاهد دوم

**تأثیر تیمار کردن بذر با کود روی بر رشد ریشه‌چه:** نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، تأثیر نانو اکسیدروی و سولفات روی بر طول ریشه‌چه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود ولی بر وزن تر و خشک آن معنی‌دار نبود (جدول ۱). مقایسه میانگین نشان داد حداکثر طول ریشه‌چه (۹/۷۱ سانتی‌متر) در تیمار شاهد اول و حداقل آن (۷/۴۸ سانتی‌متر) در تیمار ۵ گرم سولفات روی بدست آمد (جدول ۲). به عبارت دیگر تیمار کردن بذر با کود روی طول ریشه‌چه کاهش داد، به‌طوریکه اثر غلظت‌های بالای نانو اکسیدروی و سولفات روی بر طول ریشه‌چه منفی بود. گزارش شده تأثیر نانو ذرات اکسید روی با غلظت‌های بالاتر از ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر بر رشد ریشه برنج منفی بود و باعث کاهش طول ریشه‌چه گردید (Boonyanitipong et al., 2011). همچنین گزارش شده نانو اکسید آلومینیوم در غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر باعث کاهش طول ریشه‌چه در گیاهان مختلف گردید (Wang and Sang, 2005). کاهش طول ریشه‌چه با تیمار کردن بذر با غلظت‌های بالای (بیش از ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) نانو ذرات روی و اکسید روی در سایر گیاهان نیز گزارش شده‌است (Lin and Xing, 2007). گزارش شده پرایمینگ بذر در محلول‌های حاوی مواد مغذی با غلظت بالا ممکن است منجر به آسیب بذر و سرکوب فرایند جوانه‌زنی بذر شود (Kang and Okoro, 1976). این

پژوهشگران دریافته‌اند که پرایمینگ بذر با محلول روی، مانند کلات روی با غلظت بالا موجب تاخیر در جوانه‌زنی و ممانعت از رشد اولیه بذر برنج می‌شود، با این حال، گیاهان ممکن است بتوانند بر این مشکل فائق آیند.



شکل ۲: تاثیر تیمارکردن بذر با کود روی بر مقدار روی گیاهچه

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند. Nano-ZnO 1g = نانو اکسیدروی به میزان ۱ گرم بر کیلوگرم بذر، Nano-ZnO 0.5g = نانو اکسیدروی به میزان ۰/۵ گرم بر کیلوگرم بذر، SO<sub>4</sub>Zn 5g = سولفات روی به میزان ۵ گرم بر کیلوگرم بذر، SO<sub>4</sub>Zn 2.5g = سولفات روی به میزان ۲/۵ گرم بر کیلوگرم بذر، Control 1 = شاهد اول و Control 2 = شاهد دوم

از خسارت اولیه بذر ناشی از پرایمینگ می‌توان با استفاده از کود نامحلول مانند خمیر روی جلوگیری کرد زیرا این کود بیشتر به سطح بذر می‌چسبد و کمتر به داخل بافت‌های بذر نفوذ کرده و جذب می‌شود (Kang and Okoro, 1976).

**تأثیر تیمارکردن بذر با کود روی بر رشد ساقه‌چه:** نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، تاثیر نانو اکسیدروی و سولفات روی بر طول، وزن تر و خشک ساقه‌چه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد حداکثر طول ساقه‌چه (۱۰/۳۵ سانتی‌متر) در تیمار ۱ گرم نانو اکسیدروی و حداقل آن (۸/۹۴ سانتی‌متر) در تیمار شاهد دوم بدست آمد (جدول ۲) که حاکی از اثر مثبت تیمارکردن بذر با کود روی بر طول ساقه‌چه است. به عبارت دیگر تیمارکردن بذر با کود روی باعث افزایش طول ساقه‌چه شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد حداکثر وزن تر و خشک ساقه‌چه (به ترتیب ۰/۳۲۰ و ۰/۰۵۳ گرم) در تیمار ۱ گرم نانو اکسیدروی و حداقل آن (به ترتیب ۰/۲۴۸ و ۰/۰۳۶ گرم) در تیمار شاهد اول و دوم بدست آمد (جدول ۲) که حاکی از اثر مثبت تیمارکردن بذر با کود روی بر وزن ساقه‌چه است. وانگ و سانگ (Wang and Song, 2005) گزارش کردند استفاده از غلظت محلول ۳ میلی‌گرم در لیتر سولفات روی اثر مثبتی بر رشد ساقه‌چه و بویژه ریشه‌چه برنج داشت. به اعتقاد این محققین ممکن است دلیل اصلی افزایش سرعت رشد گیاهچه، استریلیزاسیون و تحریکات نوری حاصل از اکسیژن‌های فعال مانند سوپراکسید و آنیون‌های هیدروکسید باشد که توسط نانوتیتانیوم ایجاد شده و می‌تواند مقاومت بذر در برابر استرس را افزایش و

نفوذپذیری غلاف جهت مصرف آب و اکسیژن مورد نیاز برای افزایش جوانه زنی سریع را فراهم نماید. این محققین معتقدند که اندازه کوچک نانو ذرات اکسید تیتانیوم ممکن است موجب افزایش جذب مواد مغذی معدنی، تسریع تجزیه مواد آلی و همچنین باعث خنثی کردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن تشکیل شده در طول فرایند فتوسنتز در مدت جوانه زنی شده و نهایتاً موجب افزایش سرعت فتوسنتز گردند (Khot et al., 2012).

نتایج آزمایش حاکی از تاثیر مثبت و منفی تیمارکردن بذر برنج با نانو اکسید و سولفات روی بر فرایند جوانه زنی و شاخص‌های آن بود. به طوری که تاثیر کود روی بر طول و وزن تر و خشک ساقه‌چه مثبت، بر سرعت جوانه زنی و طول ریشه چه منفی و بر درصد جوانه زنی، وزن تر و خشک ریشه چه و گیاه چه و طول گیاه چه خنثی بود. عدم تاثیر ترکیبات روی بر درصد جوانه زنی بیانگر این است که می‌توان بدون کاهش جوانه زنی نانو اکسیدروی را برای افزایش سطح عنصر روی در گیاه بکار برد (Boonyanitipong et al., 2011).

جدول ۲: میانگین صفات جوانه زنی برنج تحت تاثیر تیمارکردن بذر با نانو اکسیدروی و سولفات روی

تیمار	طول ریشه چه (سانتی متر)	طول ساقه چه (سانتی متر)	وزن تر (ساقه چه گرم)	وزن خشک (ساقه چه گرم)
Nano-ZnO-1 g.Kg-1	۷/۵۳c	۱۰/۳۵a	۰/۳۲۰a	۰/۰۵۳a
Nano-ZnO-0.5 g.Kg-1	۸/۵۱abc	۹/۷۴ab	۰/۲۷۳ab	۰/۰۴۸ab
SO <sub>4</sub> Zn-5 g.Kg-1	۷/۴۸c	۹/۹۳ab	۰/۳۱۸a	۰/۰۵۴a
SO <sub>4</sub> Zn-2.5 g.Kg-1	۸/۱۷bc	۹/۸۱ab	۰/۲۶۸ab	۰/۰۴۶ab
شاهد اول	۹/۷۱a	۹/۰۷c	۰/۲۴۸c	۰/۰۳۸c
شاهد دوم	۹/۰۹ab	۸/۹۴c	۰/۲۵۵c	۰/۰۳۶c

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند.

گزارش شده کاربرد نانو اکسید تیتانیوم بر جوانه زنی گیاه چه اسفنج در مقایسه با شاهد باعث افزایش بیوماس، سرعت فتوسنتز و افزایش کلروفیل نوع a شد (Khot et al., 2012). نتایج مشابهی نیز در بذر گوجه فرنگی گزارش شده است (Khodakovskaya, 2009). بررسی‌ها نشان می‌دهد نانو تیتانیوم می‌تواند مقاومت بذر در برابر استرس را افزایش داده و باعث افزایش نفوذپذیری غلاف برای جذب آب و اکسیژن مورد نیاز برای جوانه زنی شود (Khot et al., 2012). همچنین نوع ترکیب نانو مواد مورد استفاده برای تیمارکردن بذر و غلظت آن برای گیاهان مختلف متفاوت است (Wang and Song, 2005). به طوری که تاثیر یک ماده ممکن است در یک غلظت مثبت و در غلظت دیگر منفی یا خنثی باشد، همچنین ماده‌ای در یک سطح بر یک گونه گیاهی مثبت و در همان غلظت بر گونه گیاهی دیگر منفی یا خنثی باشد (Boonyanitipong et al., 2011). به اعتقاد برخی پژوهشگران تیمارکردن بذر با کود به علت آسان بودن و هزینه بسیار ناچیز این روش در مقایسه با سایر روش‌های کوددهی؛ بویژه با ترکیبات نانو، به دلیل ویژگی‌های ذرات نانو و مصرف آن در غلظت‌های پایین، یک روش اقتصادی مناسب برای مصرف عنصر روی و فائق آمد بر مشکلات ناشی از کمبود آن در خاک، اندام‌هوایی؛ دانه برنج و بدن انسان است (Slaton et al., 2001). البته در این زمینه مطالعات زیادی انجام نشده و نیاز به تحقیقات بیشتری در آینده است.



## References

- Boonyanitpong, P., Kumar, P., Kositsup, B., Baruah, S., and Dutta, J. 2011.** Effects of zinc oxide nanoparticles on roots of rice (*Oryza sativa* L.). In International Conference on Environment and Bioscience, 21: 172-176.
- Bouwmeester, H., Dekkers, S., Noordam, M.Y., Hagens, W.I., Bulder, A.S., De Heer, C., Ten Voorde, S.E., Wijnhoven, S.W., Marvin, H.J., and Sips, A.J. 2009.** Review of health safety aspects of nanotechnologies in food production. Regulatory toxicology and pharmacology, 53(1), pp.52-62.
- Copeland, L.O., and McDonald, M.F. 2012.** Principles of seed science and technology. Springer Science & Business Media.
- Emami, A. 1996.** Plant analysis methods. first volume. Technical Journal No. 982. Iranian Institute of Soil and Water Research. 128 p.
- Emamifar, A., Kadivar, M., Shahedi, M. and Soleimanian-Zad, S., 2010.** Evaluation of nanocomposite packaging containing Ag and ZnO on shelf life of fresh orange juice. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 11(4), pp.742-748.
- ISTA., 2008.** International rules for seed testing: edition 2010. International Seed Testing Association, ISTA.
- Kang, B.T., and Okoro, E.G. 1976.** Response of flooded rice grown on a vertisol from northern Nigeria to zinc sources and methods of application. Plant and Soil, 44(1), pp.15-25.
- Kazemi A. 2014.** Effects of zinc on germination of Barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes under salinity stress. Master's Thesis. Islamic Azad University of Shahrekord, Iran, 117 p.
- Khodakovskaya, M., Dervishi, E., Mahmood, M., Xu, Y., Li, Z., Watanabe, F., and Biris, A.S. 2009.** Carbon nanotubes are able to penetrate plant seed coat and dramatically affect seed germination and plant growth. ACS Nano, 3(10): 3221-3227.
- Khot, L.R., Sankaran, S., Maja, J.M., Ehsani, R., and Schuster, E.W. 2012.** Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection: a review. Crop Protection, 35, pp.64-70.
- Lin, D., and Xing, B. 2007.** Phytotoxicity of nanoparticles: inhibition of seed germination and root growth. Environmental Pollution, 150(2):243-250.
- Maguire, J.D. 1962.** Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop science, 2(2): 176-177.
- Munzuroglu, O., and Geckil, H. 2002.** Effects of metals on seed germination, root elongation, and coleoptile and hypocotyl growth in *Triticum aestivum* and *Cucumis sativus*. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 43(2): 203-213.
- Nair, R., Varghese, S.H., Nair, B.G., Maekawa, T., Yoshida, Y., and Kumar, D.S. 2010.** Nanoparticulate material delivery to plants. Plant Sci.,179(3): 154-163.
- Prasad, T.N.V.K.V., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Reddy, K.R., Sreeprasad, T.S., Sajanalal, P.R., and Pradeep, T. 2012.** Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. Journal of Plant Nutrition, 35(6): 905-927.
- Shah, V., and Belozerovala, I. 2009.** Influence of metal nanoparticles on the soil microbial community and germination of lettuce seeds. Water, air, and soil pollution, 197(1-4): 143-148.
- Sharon, M., Choudhary, A., and Kumar, R. 2010.** Nanotechnology in agricultural diseases and food safety. J. Phytol. 2(4): 83-92.
- Slaton, N.A., Wilson, C.E., Ntamungiro, S., Norman, R.J. and Boothe, D.L., 2001.** Evaluation of zinc seed treatments for rice. Agronomy Journal, 93(1): 152-157.
- Wang, X., and Song, F. 2005.** A study on the effects of zinc on germination of rice. Journal of Jilin Agriculture University, 27(2): 119-122.
- Yang, L., and Watts, D.J. 2005.** Particle surface characteristics may play an important role in phytotoxicity of alumina nanoparticles. Toxicology Letters, 158(2): 122-132.
- Zhang, C.R., Li, H., Xia, L.J., Ren, L.P., and Rao, Z.H. 2005.** Effect of zinc cadmium on Germination of *Medicago sativa* seeds and growth of seeding. Journal. Acta Agricultural Boreali-Sinica, 1: 25.