



بررسی اثر نانوذره فسفات، سنتز شده به روش‌های میکروویو و اولتراسونیک بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ذرت (*Zea mays L.*)

هما سجادی‌نیا^۱، دادخدا غضنفری^{۲*}، کاظم نقوی^۳، هرمزد نقوی^۴، بتول تهامی‌پور^۵

۱-دانشجوی دکتری گروه شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی کرمان، کرمان، ایران

۲- دانشیار گروه شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی کرمان، کرمان، ایران

۳-استادیار گروه فیزیک، دانشگاه آزاد اسلامی کرمان، کرمان، ایران

۴-استادیار بخش تحقیقات آب و خاک، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، کرمان، ایران

۵- استادیار آموزش و پرورش ناحیه ۲ کرمان، کرمان، ایران

ایمیل نویسنده مسئول: dadkhodaghbk@yahoo.com

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۸/۴ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۹/۳۰)

چکیده

به منظور بررسی اثر نانوهیدروکسی‌آپاتیت فسفات سنتز شده به دو روش سنتزی میکروویو و اولتراسونیک بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه ذرت آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمان در تابستان ۱۳۹۷ انجام شد. تیمارها شامل کود سوپر فسفات ساده، سوپرفسفات تریپل، نانوهیدروکسی‌آپاتیت سنتز شده به روش میکروویو و اولتراسونیک، هر کدام در پنج غلظت بودند. نتایج نشان داد که کاربرد نانوهیدروکسی‌آپاتیت به روش اولتراسونیک منجر به افزایش ۱۷/۴۷ درصدی تعداد برگ، وزن ساقه ۱۳/۰۲ درصد، محتوی کلروفیل ۶/۱۹ درصد و محتوی فنل ۲۳/۰۶ درصد نسبت به شرایط شاهد شد و نانو هیدروکسی‌آپاتیت به روش میکروویو باعث افزایش ۲۱/۸۷ درصدی وزن برگ، ۴۳/۴۷ درصدی فسفر و ۵۱/۰۶ درصدی عملکرد بیولوژیکی نسبت به شرایط شاهد شد. کاربرد نانوهیدروکسی‌آپاتیت فسفات موجب بهبود ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاه ذرت نسبت به شرایط شاهد و کودهای سوپرفسفات ساده و تریپل شد. هم‌چنین نتایج نشان داد که استفاده از نانوفسفات‌ها می‌تواند به‌طور مؤثرتری رشد و عملکرد بیوشیمیایی ذرت را بهبود بخشد. بیش‌ترین عملکرد بیوشیمیایی از تیمار نانو هیدروکسی‌آپاتیت با روش میکروویو به دست آمد. با توجه به نتایج بدست آمده، نتیجه‌گیری می‌شود که هر دو روش سنتزی می‌توانند باعث بهبود شرایط رشدی گیاه شده و در نهایت عملکرد گیاه را افزایش دهند، اما با توجه به این که روش سنتز میکروویو منجر به حصول عملکرد بالاتری (وزن تر و خشک) شد لذا به‌عنوان روش برتر معرفی می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: ذرت، فسفات، کود، مورفوفیزیولوژیکی، نانو

مقدمه

با توجه به افزایش روزافزون جمعیت جهان و کمبود مواد غذایی، امروزه تولید گیاهان پر محصول از جمله ذرت در سطح جهان مطرح است (Arias-Pacheco et al., 2020). ذرت (*Zea mays L.*) سومین غله اصلی جهان بعد از گندم و برنج می باشد و تأمین کننده انرژی برای انسان و دام است (Faostat, 2018). از جمله عواملی که بر تولید ذرت بسیار مؤثر می باشد، استفاده از عناصر پرمصرفی هم چون فسفر و نیتروژن می باشد (Rameshaiah & Shabnam, 2015). کودهای معدنی به عنوان ابزاری مؤثر جهت افزایش تولید مواد غذایی در نظر گرفته می شوند. اما علاوه بر این که این منابع به طور فزاینده ای کمیاب هستند، موجب تخریب خاک و مشکلات متعدد زیست محیطی نیز می شوند. استفاده بیش از اندازه، نامتعادل و طولانی مدت از این منابع عنصری، عواقب منفی فراوانی شامل اثرهای زیست محیطی شدید و کاهش شدید بهره وری از منابع مورد استفاده را در پی دارد (Reich, 2017). با بهره گیری از فناوری نانو در طراحی و ساخت نانو کودها، فرصت های جدیدی به منظور افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی و به حداقل رساندن هزینه های حفاظت از محیط زیست، پیش روی انسان گشوده شده و استفاده از فناوری نانو در کلیه عرصه ها، از جمله کشاورزی در حال افزایش می باشد (Liu & Lal, 2014).

کودهای نانوفسفات به دلیل جذب سریع تر نسبت به کودهای فسفوری معمول اثرهای سریع تری را از خود نشان می دهند به طور کلی با به کارگیری فناوری نانو در بهینه کردن فرمولاسیون کودهای شیمیایی می توان به دستاوردهای شگرفی از جمله

کاهش مصرف انرژی، صرفه جویی در هزینه های تولید و جلوگیری از معضلات زیست محیطی دست پیدا کرد. کودهای نانو سطح جذب بالایی دارند و به دلیل رهاسازی تدریجی عناصر موجود، باعث بهبود سیستم تغذیه ای گیاه شده و از طرف دیگر به پایداری سیستم های کشاورزی کمک فراوانی می کند. هم چنین گزارش شده است که استفاده از کودهای نانو باعث بهبود ویژگی فیزیکی خاک شامل pH، رطوبت، EC و هم چنین باعث افزایش در دسترس قرار گرفتن نیتروژن معدنی خاک برای گیاه می گردد (Meena et al., 2017). به طور کلی یکی از اصول مهم کشاورزی پایدار، استفاده کارآمد از کودهای شیمیایی، به ویژه کودهای فسفاتی است. Mohammad Khani & Roozbahani (2015) بیان داشتند کاربرد کودهای نانو به صورت بذرمال و محلول پاشی اثر مثبت و چشم گیری در عملکرد ذرت دانه ای داشت. هم چنین نتایج پژوهش (Najafi Vafa et al., 2015) در کاربرد کودهای نانو بر عملکرد غده سیب زمینی نشان دهنده اثرهای مثبت این کودها در بالا بردن شاخص های رشد و فیزیولوژیکی عملکرد سیب زمینی بود. طی تحقیقی (Bakhtiari et al., 2020) افزایش تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه کتجد را در اثر استفاده از کود نانو در مرحله گلدهی، گزارش کردند. در همین باره، (Tousi, 2014) در مطالعه اثرهای کودهای نانو بر سویا گزارش کردند که این کودها به علت سطح ویژه بالا و حلالیت زیاد، قابلیت زیادی جهت جذب توسط گیاه دارند و با افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه و با تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی به قسمت های زایشی از جمله

کرده‌اند. از ضرورت‌های اجرای این پژوهش می‌توان به اهمیت استفاده از تکنولوژی‌های نوین در کشاورزی (استفاده از نانوکودها) اشاره کرد. لذا آزمایش حاضر با هدف مطالعه دو روش سنتزی نانو ذرات فسفات (نانوهیدروکسی‌آپاتیت به روش میکروویو و نانوهیدروکسی‌آپاتیت به روش اولتراسونیک) و مطالعه مقایسه اثربخشی این دو روش سنتزی و همچنین مقایسه اثرهای این نانوفسفات‌ها با کودهای شیمیایی فسفات (سوپر فسفات ساده و تریپل) در غلظت‌های مختلف، بر برخی ویژگی مورفولوژی و فیزیولوژی گیاه ذرت انجام گرفت تا بهترین نوع و غلظت کود برای محصولی با کیفیت، معرفی گردد.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه شیمیایی مورد استفاده در این پژوهش به منظور سنتز نانوذرات هیدروکسی‌آپاتیت و کودهای مورد استفاده گیاه از شرکت‌های مرک و سیگماآلدريج با خلوص ۹۹ درصد تهیه و بدون هیچ‌گونه عملیات خالص‌سازی و یا فرآیند شیمیایی خاص، مورد استفاده قرار گرفتند.

سنتز ذرات نانو هیدروکسی‌آپاتیت

روش میکروویو: ۵۰ میلی‌لیتر محلول نیترات کلسیم پنج‌صدم مولار تهیه و به ترتیب سه‌و-هفتادوپنج‌صدم گرم گلی‌سین و سه‌وشش‌دهم گرم آکرلیک اسید اضافه و ترکیب حاصل با اضافه کردن هیدروکسید سدیم چهار مولار، قلیایی شد. در ادامه ۵۰ میلی‌لیتر محلول دی‌آمونیم هیدروژن فسفات سه‌صدم مولار به تدریج اضافه گردید. محلول شیری‌رنگ تولیدشده به مدت ۱۰ دقیقه در دستگاه میکروویو (مدل Milestone micro synth ساخت کشور دانمارک) با توان ۲۰۰ وات، دمای

وزن دانه، اثرگذار هستند. (Meena et al., 2017) نیز گزارش کردند که نانو کودها به دلیل افزایش سطح تماس، امکان انجام واکنش‌های متابولیکی در گیاه را که سبب افزایش فتوسنتز، تولید ماده خشک و عملکرد می‌گردد را فراهم می‌کنند و از این طریق در افزایش تعداد دانه و وزن دانه اثرگذار هستند.

با توجه به مشکلات ناشی از کاربرد کودهای شیمیایی و نقش مؤثر کودهای نانو در عملکرد گیاهان، امروزه تمرکز و مطالعه‌های بیشتری در زمینه ارائه روش‌های بی‌خطر، سریع، آسان و مقرون‌به‌صرفه برای سنتز نانومواد مختلف با اندازه و ساختار مشخص و قابل کنترل می‌باشد تا به این وسیله بتوان این کودها را تولید و وارد بازار کرد. لذا مطالعه روش‌های مختلف و نوین ساخت و سنتز نانومواد نه تنها باعث تحولات ارزنده‌ای در بخش تولید کودها می‌گردد بلکه تحول عظیمی نیز در بخش کشاورزی و تولید مواد غذایی سالم به وجود می‌آورد. لذا بسیاری از کشورهای اتحادیه اروپا برای تصویب قوانینی جهت تولید محصولات نانوفناوری و استفاده این محصولات در بخش کشاورزی و مواد غذایی هستند. سوئیس، کشوری است که قوانین و مقررات خاص مربوط به نانوفناوری را در قانون تولید مواد غذایی گنجانده و در تلاش می‌کند تا قانون مشخصی جهت استفاده از نانوکودها برای تثبیت خاک و حفظ پایداری محیط‌زیست، تدوین کند. (Amenta et al., 2015) که نشان از اهمیت بالای این مواد می‌باشد.

نانوفناوری توانسته است تحولی در صنعت کودها ایجاد کند که هنوز در مراحل اولیه و آزمایشگاهی است و پژوهش‌گران زیادی اثرهای مثبت در رشد گیاهان مختلف با استفاده از این کودها را گزارش

ژاپن) برای جداسازی محصول سنتز شده استفاده و محصول نهایی پس از شستشو، خشک و آماده استفاده شد (Gopi et al., 2012).

در این آزمایش تعیین ساختار نانوذرات به وسیله میکروسکوپ الکترونی (SEM مدل EM 3200 ساخت کشور چین)، میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM مدل HT7800 ساخت کشور ژاپن) و دستگاه EDX (مدل XL 30 ساخت کشور آلمان) انجام شد.

آماده‌سازی بذر و بستر کاشت

قبل از کاشت، به منظور سنجش ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و تعیین سطوح غلظت جهت اعمال تیمارهای کودی، نمونه‌ای از خاک قبل از کاشت مورد تجزیه قرار گرفت (جدول ۱) و غلظت‌های اعمال شده بر اساس نتایج این تجزیه، تعیین شدند.

جدول ۱. تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک

بافت خاک	SO ₄ ²⁻ (meq.L-1)	N %	K (ppm)	O.N	P (ppm)	O.C	EC (ms)	pH
Sandy Loam	۷/۸	۰/۰۳	۳۰۵	۰/۰۴	۸	۰/۴	۰/۶۳	۷/۳

نانو هیدروکسی‌آپاتیت به روش اولتراسونیک)، دو نوع کودهای شیمیایی فسفات (سوپر فسفات ساده و سوپر فسفات تریپل) و هم‌چنین پنج سطح غلظت مختلف (دو برابر آزمون خاک، برابر آزمون خاک، یک‌دهم آزمون خاک، یک-پنجم آزمون خاک و یک‌دوم آزمون خاک (جدول ۲) از کودها طبق طرح فاکتوریل به-صورت تصادفی بودند و سطوح کودی که در این آزمایش به عنوان تیمار مورد بررسی قرار

۱۰۰ درجه سلسیوس قرار گرفت (Shen et al., 2016).

روش اولتراسونیک: ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول نیترات کلسیم پنج‌صدم مولار تهیه و در ظرف ریخته روی هم‌زن مغناطیسی (LABINCO مدل L73) قرار داده شد هم‌زمان با این مرحله، هفت-ونیم گرم گلی‌سین و هفت‌ونیم گرم آکرلیک‌اسید اضافه و به وسیله سدیم هیدروکسید چهار مولار، محیط قلیایی گردید سپس ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول دی‌آمونیم‌هیدروژن‌فسفات سه‌صدم مولار اضافه گردید، محلول شیری‌رنگ حاصل به مدت ۲۰ ساعت به وسیله هم‌زن مغناطیسی در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد هم زده شد. سپس محلول به مدت یک ساعت در دستگاه اولتراسوند پروب (مدل Plus.1440 ساخت ایتالیا) قرار گرفت (قدرت ۱۶۰ وات و فرکانس ۲۰ کیلوهرتز) و از دستگاه سانتریفیوژ (مدل Hettich Rotofix 32 ساخت کشور

اجرای آزمایش در گلخانه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمان در تابستان ۱۳۹۷ تحت شرایط دمایی (حداکثر 2 ± 30 و حداقل 2 ± 18 درجه سلسیوس) و رطوبتی (رطوبت نسبی ۴۰ درصد) کنترل شده و استاندارد در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل نانوفسفات سنتز شده به دو روش (نانوهیدروکسی‌آپاتیت به روش مایکروویو و

گرفتند، چهار سطح کودی یاد شده بودند که جهت بررسی بهتر نتایج برای تمامی تیمارها سه گلدان شاهد (عدم کاربرد کود، برای هر تکرار یک گلدان) لحاظ شد تا مقایسه‌ی بهتری از اثرهای مثبت کوددهی انجام شود لذا در جدول

جدول ۲. سطوح غلظت استفاده شده برای کودها بر اساس آزمون خاک.

نوع کود	یک‌دوم آزمون خاک (g)	یک‌پنجم آزمون خاک (g)	یک‌دهم آزمون خاک (g)	برابر آزمون خاک (g)	دو برابر آزمون خاک (g)
سوپرفسفات ساده	۰/۲۵	۰/۱	۰/۰۵۰	۰/۵۰۱	۱/۰۰۲
سوپر فسفات تریپل	۰/۰۸۷	۰/۰۳۴	۰/۰۱۷	۰/۱۷۴	۰/۳۴۸
نانوهیدروکسی- آپاتیت (مایکروویو)	۴۲/۲۸	۱۶/۹۱۲	۸/۴۵۶	۸۴/۵۶	۱۶۹/۱۲
نانوهیدروکسی- آپاتیت (آلتروسونیک)	۴۲/۲۸	۱۶/۹۱۲	۸/۴۵۶	۸۴/۵۶	۱۶۹/۱۲

ندهند) و محیط سرد کلمن یخ (به دلیل این که واکنش‌های متابولیکی در محیط سرد کند انجام می‌شوند) قرار داده و به آزمایشگاه منتقل شد.

روش‌های نمونه‌برداری و اندازه‌گیری صفات مورد بررسی

صفات مورفولوژیکی مورد مطالعه شامل ارتفاع بوته و طول برگ، تعداد برگ در بوته، قطر ساقه، وزن برگ و ساقه بودند. بعد از رسیدن گیاه به ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر، گیاه کفبر و وزن تر آنها با ترازوی دیجیتال ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک نمونه‌ها در آن با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند و با ترازوی دیجیتال وزن خشک آنها توزین شد. اندازه‌گیری صفات بین ساعات نه صبح تا دوازده ظهر انجام شد. نمونه‌گیری در آخرین مرحله رشد رویشی انجام گرفت. و نمونه ها از آخرین برگ کاملاً توسعه‌یافته در یک بوته از هر گلدان تهیه و

قبل از کاشت بذور ذرت، رقم هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ به مدت ۱۰ دقیقه با محلول هیپوکلریت سدیم دو درصد (حجمی - حجمی) ضد عفونی و به منظور کاهش جمعیت باکتری‌ها، حداقل فاصله زمانی بین زمان تلقیح بذر با نانوکودهای مذکور تا کاشت کمتر از پنج ساعت در نظر گرفته شد. برای عملیات کاشت از گلدان‌هایی به قطر دهانه هفت سانتی‌متر استفاده و در هر گلدان پنج بذر ذرت کاشته شد. مقدار کود بر اساس آزمون خاک محاسبه و قبل از کاشت دانه در خاک اضافه شد. هم‌چنین در تمام مراحل اندازه‌گیری صفات، نمونه جدا شده از هر بوته را بلافاصله در نایلون زیپ‌دار (به دلیل اینکه تبادلات گازی برگ با محیط اطراف به حداقل برسد و تعرق کوتیکولی انجام نگیرد) در محیط تاریک پاکت مشکی (برای اینکه روزه‌های برگ بسته شده و تعرق انجام

اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۲ نانومتر و ضریب خاموشی معادل $10^5 \times 10^0 \text{ M}^{-1} \text{cm L}$ اندازه‌گیری شد (Heath & Packer, 1968). نتایج حاصل از اندازه‌گیری برحسب میکرو مول بر گرم وزن تر محاسبه گردید.

سنجش محتوی فنل کل: مقدار دوونیم گرم پودر برگ خشک شده گیاه به همراه ۵۰ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد به مدت ۲۴ ساعت بر روی شیکر قرار گرفت. عصاره حاصل سه مرتبه از کاغذ صافی عبور داده شد تا محلول شفاف‌ی به دست آید. میزان کل ترکیبات فنولیک با معرف فولین سیوکالتو اندازه‌گیری شد. در این روش، نیم میلی‌لیتر از محلول عصاره با دو ونیم میلی‌لیتر معرف فولین سیوکالتو ۱۰ درصد و دو میلی‌لیتر محلول کربنات سدیم (۲۰ درصد) مخلوط شد. لوله‌های آزمایش بعد از تکان دادن درون حمام آب با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و پس از گذشت ۳۰ دقیقه جذب محلول در طول موج ۷۶۰ نانومتر خوانده شد. برای رسم منحنی استاندارد از اسید گالیک استفاده شد (Slinkard & Singleton, 1977).

معادله (۱) $Y = 0.057/91 X + 0.761, R^2 = 0.9999$ در این معادله، X عدد قرائت شده از دستگاه اسپکتروفتومتر و Y عدد به دست آمده از فرمول برای محتوی فنل می‌باشد.

اندازه‌گیری فسفر گیاه (برگ): نمونه‌های برگ‌ی بعد از خشک شدن، خرد و از الک نیم میلی‌متری عبور داده شدند سپس برای هر تیمار نیم گرم از پودر را داخل لوله‌های هضم ریخته و پنج میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ ۶۵ درصد به آن اضافه شد. نمونه شاهد فقط حاوی اسید نیتریک تهیه شد

برگ‌هایی انتخاب شدند که وضعیت مشابهی از هر نظر داشتند.

صفات بیوشیمیایی

آنتوسیانین: یک‌دهم گرم از نمونه تهیه شده (تحت شرایط استاندارد ذکر شده) با ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی کاملاً ساییده و عصاره در لوله‌های آزمایش ریخته شد و به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس به مدت ۱۰ دقیقه در ۴۰۰۰ دور سانتی‌فیوژ و جذب محلول در طول موج ۵۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. از متانول به‌عنوان محلول شاهد برای تنظیم صفر جذب نوری اسپکتروفتومتر (UV/Visible مدل ۷۴۱۵ ساخت کشور انگلستان) و ترسیم منحنی استفاده گردید. محاسبه غلظت با استفاده از ضریب خاموشی $33000 \text{ M}^{-1} \text{cm L}$ انجام و نتایج برحسب میکرومول بر گرم وزن تر ارائه شد (Tavakoli, 2020).

سنجش مالون‌دی‌آلدهید (MDA): ابتدا دودهم گرم از بافت تازه برگ توزین و در هاون چینی حاوی پنج میلی‌لیتر تری‌کلرواستیک اسید (TCA) یک دهم درصد ساییده شد. عصاره حاصل به مدت پنج دقیقه در ۱۰۰۰۰ گرم سانتی‌فیوژ شد. به یک میلی‌لیتر از محلول رویی حاصل از سانتی‌فیوژ، چهار میلی‌لیتر محلول TCA، ۴۰ درصد که حاوی نیم درصد تیوباربی‌توریک اسید (TBA) بود، اضافه و مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد حمام آب گرم حرارت داده شد. سپس بلافاصله در یخ سرد شد و دوباره مخلوط به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰ گرم سانتی‌فیوژ گردید. شدت جذب این محلول با استفاده از

منتقل و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا کاملاً خشک شدند و در نهایت با ترازوی دیجیتال (مدل GR300 ساخت کشور ژاپن) وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل آماری: برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و رسم شکل‌ها از نرم‌افزارهای SAS (نسخه ۱/۹) (SAS Institute, 2004) و Excel استفاده گردید. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد و با MSTAT-C انجام گرفت.

نتایج و بحث

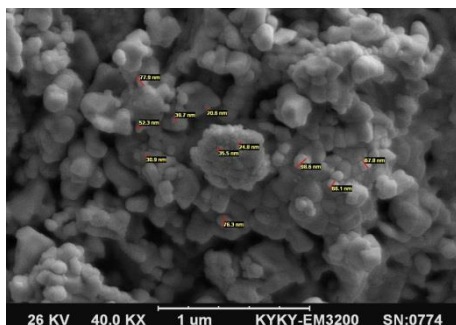
مقایسه روش‌های سنتز نانوهیدروکسی‌آپاتیت

تعیین ساختار نانوذرات هیدروکسی‌آپاتیت که با دو روش اولتراسونیک و میکروویو سنتز شده‌اند توسط مرکز متالورژی رازی انجام و تصاویر SEM و TEM از نانوساختارهای هیدروکسی‌آپاتیت در شکل‌های (۱-الف، ۱-ب و ۱-پ) ارائه شده است. همان‌طور که مشخص است در روش‌های میکروویو و اولتراسونیک، نمونه‌ها دارای توزیع اندازه ذره در محدوده نانو هستند و هیچ‌گونه شواهدی مبنی بر کلوخه شدن ساختارها مشاهده نشده است.

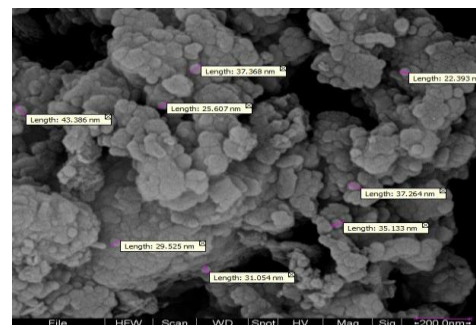
سپس نمونه‌ها بر روی بلوک هضم (مدل Adrin1392B ساخت کشور ایران) به مدت ۲۴ ساعت بدون اعمال هیچ دمایی قرار گرفتند پس از آن به مدت سه ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی-گراد قرار گرفته سپس دما تا ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت. نمونه‌ها به مدت شش ساعت در این دما قرار گرفتند تا عمل هضم کامل شود. بعد از خنک شدن لوله‌ها، مقداری آب مقطر به محتویات درون لوله‌ها اضافه و بعد از صاف شدن به درون استوانه مدرج منتقل شدند این عمل برای چندین بار متوالی انجام و در نهایت غلظت عنصر با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل AA280FS ساخت کشور آمریکا) اندازه‌گیری گردید (Piper, 2017).

صفات فیزیولوژیکی

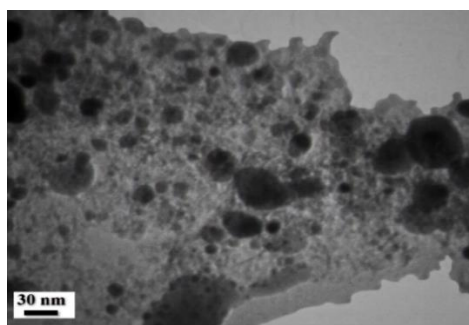
اندازه‌گیری شاخص کلروفیل: شاخص کلروفیل به وسیله کلروفیل‌متر دستی (Minolta-502 ساخت ژاپن) اندازه‌گیری و ثبت شد. اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیکی: بعد از تکمیل رشد رویشی و قبل از وارد شدن گیاه به فاز زایشی و تولید بلال، گیاه کف‌بر شد سپس نمونه‌های حاوی تیمارهای مختلف را داخل پاکت‌های کاغذی مجزا گذاشته و به آن (مدل ON-12G ساخت کشور کره جنوبی)



شکل ۱ (ب) - SEM از نانوهیدروکسی‌آپاتیت با روش اولتراسونیک



شکل ۱ (آ) - SEM از نانو هیدروکسی‌آپاتیت با روش میکروویو



شکل ۱ (پ)۔ TEM از نانو هیدروکسی آپاتیت با روش میکروویو

اساس، روش میکروویو به عنوان روش بهینه تر انتخاب شد. ارتفاع بوته: نتایج تجزیه واریانس از معنی دار بودن اثرهای اصلی کود و غلظت و برهم کنش کود و غلظت در سطح احتمال یک درصد بر ارتفاع بوته حکایت داشت (جدول ۳).

اگرچه نمونه ها در هر دو روش میکروویو و اولتراسونیک دارای توزیع اندازه در محدوده نانو هستند، اما توزیع اندازه ذرات در روش میکروویو کمتر است (۳۵ نانومتر در روش میکروویو در مقایسه با ۴۱ نانومتر در روش اولتراسونیک) بر این

جدول ۳. مقادیر میانگین مربعات نتایج تجزیه واریانس صفات مورفولوژیکی گیاه ذرت در واکنش به چهار نوع کود، سوپر فسفات ساده، سوپر فسفات تریپل، نانو هیدروکسی آپاتیت با روش میکروویو و نانو هیدروکسی آپاتیت با روش اولتراسونیک در پنج سطح غلظت بر

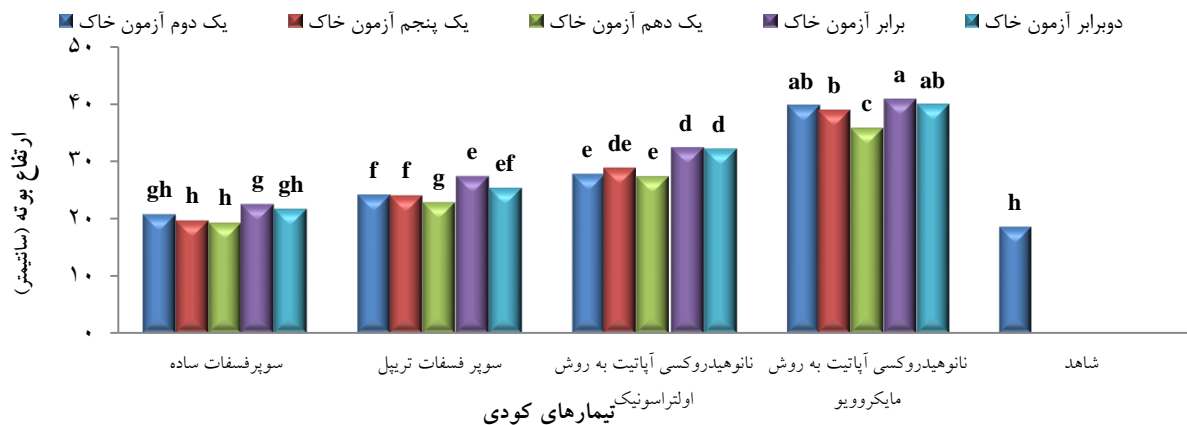
اساس آزمون خاک

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	تعداد برگ	طول برگ	وزن برگ	قطر ساقه	وزن ساقه
کود	۳	۹۳۳/۹۹**	۳۴/۹۱**	۱۶۹/۹۷**	۰/۰۵**	۰/۷۵**	۰/۱۵**
غلظت	۴	۳۵/۴۱**	۱۸/۱۱**	۵۸/۰۴**	۰/۰۰۶۹**	۰/۸۹**	۰/۱۶**
کود * غلظت	۱۲	۲/۱۸**	۰/۲۸ ns	۰/۴۵ ns	۰/۰۰۰۸۵ ns	۰/۰۳۴ ns	۰/۰۰۹۵ ns
خطا	۴۲	۰/۴۵	۰/۸۸	۳/۰۸	۰/۰۰۱۲	۰/۰۴۱	۰/۰۰۶۱
ضریب تغییرات (درصد)		۲/۴۱	۷/۸۶	۲/۸۸	۵/۸۶	۷/۴۷	۴/۳۵

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار، معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد هستند.

(۳۹/۷۴ سانتیمتر) و پنجم (۳۹/۹۱ سانتیمتر) اختلاف آماری معنی داری دارا نبود و کمترین ارتفاع بوته نیز از شرایط شاهد (۱۸/۵۸ سانتیمتر) به دست آمد هرچند که از نظر آماری اختلاف معنی داری با تیمار سطوح غلظت های اول، دوم، سوم و پنجم کود سوپر فسفات ساده نداشت (شکل ۲).

نتایج مقایسه میانگین برهم کنش کود در غلظت نشان داد که بین تیمارهای کودی و سطوح غلظت- های مورد بررسی اختلاف آماری معنی داری وجود دارد (شکل ۲) به گونه ای که بیشترین ارتفاع بوته از تیمار نانو هیدروکسی آپاتیت به روش میکروویو و در سطح چهارم غلظت مورد بررسی (۴۰/۹ سانتیمتر) به دست آمد که با سطوح غلظت های اول



شکل ۲. برهم کنش کود در غلظت بر روی ارتفاع بوته (سانتی‌متر). ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند.

با غشاهایی در مقیاس نانو پوشیده شوند که رهاسازی آهسته و مداوم عناصر غذایی را آسان می‌کنند. پوشاندن و سیمانی کردن با ذرات نانو و کوچک‌تر از نانو، باعث ایجاد قابلیت تنظیم رهاسازی عناصر غذایی از کپسول کودی می‌شود در نتیجه باعث بهبود شرایط رشدی گیاه می‌گردد (Mahdih et al., 2018).

از آنجایی‌که فسفر یکی از عناصر مهم و مؤثر در فرایندهای رشد و نمو گیاه و نیز عنصری غیرمتحرک می‌باشد که اکثر کشاورزان این عنصر را برای تغذیه گیاه به هنگام تهیه زمین و یا در موقع کاشت و از طریق کودپاشی و مخلوط کردن با خاک به کار می‌برند که سبب بروز مشکلاتی نظیر افزایش کود مصرفی و به تبع آن بردن هزینه‌های تولید و در نهایت موجب افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌گردد، بنابراین استفاده از نانوکودهای فسفات‌ه روشی مؤثر برای تأمین نیاز کودی گیاه می‌باشد (Yadav, 2017).

تعداد، طول و وزن برگ: نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اثرهای اصلی کود و غلظت در سطح احتمال یک درصد بر میزان این صفات بود اما برهم‌کنش کود در غلظت بر این

در بین تیمارهای کودی مورد مطالعه بیش‌ترین ارتفاع بوته متعلق به تیمار نانوهیدروکسی آپاتیت به روش مایکروویو بود. به‌طور کلی، کم‌تر بودن ارتفاع گیاه در شرایط عدم کاربرد کود (شرایط شاهد) مؤید این مطلب است که گیاه در شرایط کمبود عناصر غذایی با کاهش مشخصه‌های مورفولوژیکی هم‌چون طول میان‌گره و طول پدانکل زمینه لازم را برای ورود سریع‌تر بوته ذرت به فاز زایشی فراهم می‌کند. در مقابل استفاده از کودها در محیط ریشه گیاه با اثر مثبتی که بر رشد گیاه داشتند باعث افزایش ارتفاع بوته شدند. از آنجا که بین سطوح غلظت برابر آزمون خاک و دو برابر آزمون خاک تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد می‌توان پیشنهاد کرد که اعمال تیمار کودی در سطح برابر آزمون خاک بهینه بوده و باعث ایجاد رشد مطلوب در گیاه می‌شود لذا باید از اعمال میزان بیشتر کود در سطح دو برابر آزمون خاک جلوگیری کرد تا علاوه بر جلوگیری از هدر رفتن کود در هزینه‌های کاربردی نیز صرفه‌جویی کرد. با بهره‌گیری از فناوری نانو در طراحی و ساخت نانوکودها، فرصت‌های جدیدی به‌منظور افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی به وجود آمده و در این شرایط ذرات کودی می‌توانند

روش اولتراسونیک (۱۳/۳۳) به دست آمد هرچند که با تیمار نانوهیدروکسی‌آپاتیت به روش مایکروویو (۱۲/۸) اختلاف آماری معنی‌داری نداشت و کم‌ترین متعلق به شرایط شاهد و استفاده از سوپرفسفات ساده بود (جدول ۴).

صفات معنی‌دار نگرديد (جدول ۳). نتایج اثرهای اصلی هر سه صفت مورد مطالعه نشان داد که بین تیمارهای کودی و سطوح متفاوت غلظت اختلاف آماری معنی‌داری وجود دارد به گونه‌ای که بیش‌ترین تعداد برگ در بوته از تیمار نانوهیدروکسی‌آپاتیت به

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس اثرهای اصلی: تعداد برگ، طول برگ، وزن برگ، قطر ساقه، وزن ساقه، محتوی کلروفیل، آنتوسیانین،

مالون‌دی‌آلدهید و عملکرد بیولوژیک.

تیمارهای کودی	تعداد برگ	طول برگ (cm)	وزن برگ (g)	قطر ساقه (ml)	وزن ساقه (g)	کلروفیل (SPAD)	آنتوسیانین (n)	محتوی فنل (µmol.gD ⁻¹)	مالون‌دی‌آلدهید (µmol.gF ⁻¹)	عملکرد بیولوژیک (g× plant)
سوپرفسفات ساده	۹/۸۷d	۵۷/۲۶b	۰/۵۱b	۲/۵۸b	۱/۷۵bc	۲۲/۰۱c	۰/۴۴d	۳۹/۴۳d	۱/۰۱a	۹/۴۵c
سوپرفسفات تریپل	۱۱/۸۷bc	۶۴/۷۶a	۰/۵۹a	۲/۶۳b	۱/۸۱ab	۲۷/۵۴b	۰/۶۴c	۴۵/۵c	۰/۹۲abc	۹/۳۳c
نانوهیدروکسی-آپاتیت (مایکروویو)	۱۲/۸a	۶۲/۲۷a	۰/۶۴a	۳/۰۷a	۱/۸۲ab	۳۱/۹۷a	۱/۳ab	۵۹/۷a	۰/۸۴bc	۱۶/۹۴a
نانوهیدروکسی-آپاتیت (اولتراسونیک)	۱۳/۳۳a	۵۸/۹b	۰/۶۳a	۲/۶۷b	۱/۹۲a	۳۳/۲۷a	۱/۵۳a	۶۱/۶۷a	۰/۸۳c	۱۲/۱۶b
شاهد	۱۱cd	۵۸/۴b	۰/۵b	۲/۷b	۱/۶۷c	۱۷/۹d	۰/۴d	۵۱/۷۷b	۰/۹۳ab	۸/۲۹d
سطوح غلظت										
۱	۱/۰۵d	۵۸/۱c	۰/۵۶b	۲/۵۸cd	۱/۷۵c	۲۵/۵۸c	۰/۷۹b	۴۳/۷۴d	۱a	۶۱/۶۹b
۲	۱۱/۰۸cd	۵۹/۳۸c	۰/۵۷ab	۲/۷bc	۱/۷۸bc	۲۷/۲۶bc	۰/۸۶ab	۴۸/۰۲c	۰/۹۳ab	۶۰/۱۷c
۳	۱۱/۹۱bc	۶۰/۷bc	۰/۵۹ab	۲/۹۱ab	۱/۸۳abc	۳۰/۰۸ab	۰/۹۷ab	۵۴/۲۸b	۰/۸۲cd	۵۸/۴۲b
۴	۱۲/۸۳ab	۶۲/۱۸ab	۰/۶ab	۳/۰۶a	۱/۸۷ab	۳۱/۷۶a	۱/۰۳a	۸۵/۰۵a	۰/۷۷d	۶۴/۶۲a
۵	۱۳/۵a	۶۳/۶۵a	۰/۶۲a	۲/۷۷abc	۱/۹۳a	۲۸/۸abc	۰/۹ab	۵۳/۸b	۰/۸۸bc	۶۳/۲۶a

ns, * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار، در سطح احتمال پنج و یک درصد هستند.

وزن برگ (۰/۶۲ گرم)، از غلظت دو برابر آزمون خاک به دست آمد که با غلظت برابر آزمون خاک اختلاف آماری معنی‌داری دارا نبود و کم‌ترین میزان مربوط به غلظت‌های یک‌پنجم و یک‌دوم آزمون خاک بود (جدول ۴).

نتایج آزمایش نشان‌دهنده برتری استفاده از کود نسبت به شرایط شاهد و همچنین نشان‌دهنده برتری نانوفسفات‌ها نسبت به کودهای شیمیایی فسفاتی می‌باشد. نتایج این آزمایش با نتایج (, Gerdini 2016) و (Gomaa, 2017) در اثربخشی بیشتر

همچنین در بین تیمارهای کودی مورد مطالعه بیش-ترین طول برگ (۶۴/۷۶ سانتیمتر) از تیمار کودی سوپرفسفات تریپل به دست آمد (جدول ۴). بیش-ترین وزن برگ در بین تیمارهای کودی متعلق به تیمارهای نانو هیدروکسی‌آپاتیت به روش‌های مایکروویو (۰/۶۴ گرم) اولتراسونیک (۰/۶۳ گرم) و استفاده از کود سوپرفسفات تریپل (۰/۵۹ گرم) بود (جدول ۴). همچنین در بین غلظت‌های مورد بررسی بیش‌ترین مقدار هر سه صفت مورد مطالعه (تعداد برگ ۱۳/۵، طول برگ ۶۳/۶۵ سانتیمتر و

بین غلظت‌های مورد بررسی نیز بیش‌ترین میزان قطر ساقه از سطوح غلظت یک‌دهم آزمون خاک (۲/۹۱ میلی‌متر) و برابر آزمون خاک (۳/۰۶ میلی‌متر) به دست آمد (جدول ۴).

نتایج نشان داد که بین تیمارهای کودی از لحاظ وزن ساقه اختلاف آماری معنی‌داری وجود داشت به‌گونه‌ای که بیش‌ترین وزن ساقه از تیمار نانوهیدروکسی‌آپاتیت به روش اولتراسونیک (۱/۹۲ گرم‌بربوته) به دست آمد که با تیمار نانوهیدروکسی‌آپاتیت به روش مایکروویو (۱/۸۲ گرم‌بربوته) اختلاف آماری معنی‌داری نداشت و کم‌ترین میزان متعلق به شرایط شاهد (۱/۶۷ گرم بر بوته) بود (جدول ۴). در بین غلظت‌های مورد بررسی نیز بیش‌ترین میزان وزن ساقه از سطوح غلظت برابر (۱/۸۷ گرم بر بوته) و دو برابر (۱/۹۳ گرم بر بوته) آزمون خاک به دست آمد. به‌طورکلی، امروزه استفاده از کودهای نانو در کشاورزی، به‌دلیل آزادسازی آهسته و کنترل‌شده عناصر در نقطه مناسبی از ریشه، جذب سریع‌تر و جذب کامل کود توسط گیاه تا حدودی سبب رفع محدودیت‌های تکنیکی کاربرد کودهای شیمیایی معمول شده و چشم‌اندازهای جدیدی را در راستای افزایش بازده مصرف کود ایجاد کرده است (Hasanuzzaman, 2018).

کلروفیل SPAD: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثرهای اصلی کود و غلظت در سطح احتمال یک درصد بر میزان کلروفیل معنی‌دار گردید و برهم‌کنش کود در غلظت معنی‌دار نگردید (جدول ۵).

کودهای نانو نسبت به کودهای شیمیایی، مطابقت دارد. با توجه به نتایج آزمایش و اثرهای مثبت کاربرد نانوفسفات‌ها در مقایسه با کود شیمیایی در افزایش تعداد و وزن برگ، می‌توان گفت که ویژگی‌های این نوع کودها باعث بهبود ویژگی فیزیکی خاک شده و از این طریق باعث بهتر سبز شدن و توسعه بهتر سیستم ریشه‌ای گیاه شده و باعث می‌شود گیاه با استقرار و رشد سریع‌تر، شانس بقا و رشد گیاهچه بهتری داشته باشد. همچنین می‌توان بیان کرد که هر چه طول برگ از بالای بوته به سمت پایین کمتر شود باعث توزیع بهتر نور خورشید در گیاه شده و میزان فتوسنتز یکنواخت‌تر و بهتری خواهد داشت که این اتفاق در شرایط استفاده از نانوفسفات‌ها محقق گردید و در این شرایط طول برگ‌ها کمتر از شرایط کودهای شیمیایی فسفاتی بود و در مقابل تعداد و وزن برگ بیشتری را دارا بودند که با نتایج، Farnia & Omidi (2015) و (Najafi Vafa et al., 2015) مطابقت دارد.

قطر و وزن ساقه: در بین تیمارهای مورد بررسی، اثرهای اصلی کود و غلظت در سطح احتمال یک درصد ($P \leq 0/01$) بر میزان این صفات معنی‌دار گردید اما برهم‌کنش کود در غلظت بر میزان این صفات معنی‌دار نبود (جدول ۳). نتایج اثر اصلی تیمار کودی بر صفت قطر ساقه نشان داد که تیمارهای کودی در دو دسته قرار گرفتند به‌گونه‌ای که بیش‌ترین میزان این صفت متعلق به تیمار نانوهیدروکسی‌آپاتیت به روش مایکروویو (۳/۰۷ میلی‌متر) بود و بقیه تیمارها در دسته دوم قرار گرفتند و تفاوت آماری معنی‌داری با هم نداشتند در

جدول ۵. مقادیر میانگین مربعات نتایج تجزیه واریانس صفات ذکر شده در واکنش به چهار نوع کود، سوپر فسفات ساده، سوپر فسفات تریپل، نانو هیدروکسی آپاتیت با روش مایکروویو و نانو هیدروکسی آپاتیت با روش اولتراسونیک در پنج سطح غلظت بر اساس آزمون خاک در گیاه ذرت.

منابع تغییر	درجه آزادی	کلروفیل	آنتوسیانین	محتوی فنل	مالون‌دی‌آلدئید	محتوی فسفر	عملکرد بیولوژیک
کود	۳	۳۸۸/۷۹**	۳/۴۸**	۱۷۶۲/۰۳**	۰/۰۳۷**	۰/۰۰۹**	۱۹۲/۲۴**
غلظت	۴	۶۹/۳۹**	۰/۱۱**	۳۸۵/۰۵**	۰/۰۹۴**	۰/۰۰۰۶**	۳/۶۵**
کود × غلظت	۱۲	۳/۰۷ ns	۰/۰۰۶ ns	۳۴/۶۴**	۰/۰۰۱۴ ns	۰/۰۰۰۵**	۱/۱۷ ns
خطا	۴۲	۴/۸	۰/۰۱۷	۶/۸۷	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۰۱	۰/۷۸
ضریب تغییرات (درصد)	درجه آزادی	۸/۰۱	۱۴/۷۶	۵/۲	۶/۷۴	۶/۳۷	۷/۴۱

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد هستند.

نتایج اثر اصلی کود نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارهای مورد بررسی بود به طوری که بیش‌ترین میزان کلروفیل به ترتیب از تیمارهای کودی نانو هیدروکسی آپاتیت به روش‌های اولتراسونیک (۳۳/۲۷) و مایکروویو (۳۱/۹۷) و کم‌ترین میزان از شرایط شاهد (۱۷/۹) به دست آمد. همچنین در بین غلظت‌های مورد بررسی بیش‌ترین میزان کلروفیل از غلظت برابر آزمون خاک (۳۱/۷۶) به دست آمد که با غلظت‌های دو برابر و یک‌دهم آزمون خاک اختلاف آماری معنی‌داری دارا نبود (جدول ۴). آنچه مسلم است این است که این اختلاف در نتایج، ناشی از تفاوت شرایط حاکم بر این آزمایش همانند سطوح کودی و غلظت‌های مختلف کود می‌باشد که برآیند همه آن‌ها باعث تغییر نتایج می‌شود. یکی از مهم‌ترین کاربردهای فناوری نانو در گرایش‌های مختلف کشاورزی، استفاده از نانو کودها برای تغذیه گیاهان بوده که نانو کودها به دلیل وجود غشاهای عناصر غذایی را آهسته و پیوسته آزاد می‌کنند و نیاز غذایی گیاه را در تمام طول فصل رشد برطرف می‌نمایند و در مقایسه با کودهای شیمیایی مرسوم که نیاز به چند بار استفاده در طول فصل رشد دارند، فقط یک‌بار استفاده می‌شوند که باعث صرفه‌جویی در هزینه‌ها می‌شود. کودهای

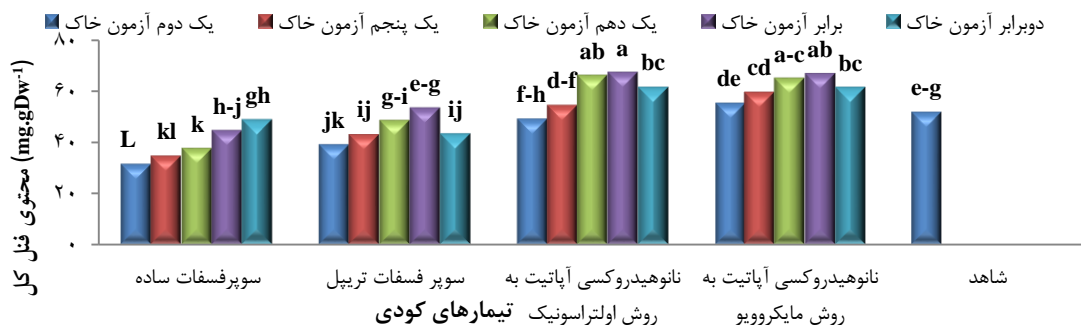
نانوفسفاته به دلیل غنی شدن با عنصر فسفر، باعث رشد بهینه گیاه شده و از این طریق به سبز ماندن و فتوسنتز گیاه کمک شایانی می‌نمایند (Liu et al., 2014). در این آزمایش محتوی کلروفیل در واکنش به کاربرد کودها به خصوص نانوفسفاته‌ها، افزایش پیدا کرد که با نتایج به دست آمده توسط (Vivek et al., 2020) مطابقت دارد. افزایش کلروفیل در واکنش به نانوفسفاته‌ها می‌تواند به دلایل اثرهای مثبت این نانوذرات در فراهمی بیشتر آب و مواد غذایی برای گیاه نسبت به شرایط عدم کاربرد کود باشد که در نتیجه آن میزان سبزیگی گیاه بیشتر از شرایط عدم کاربرد کود (شرایط شاهد) می‌شود. نانو کودها به علت کوچک بودن و حلالیت بالا سریع‌تر توسط گیاهان جذب می‌شوند و بنابراین با کاربرد این مواد شرایط بهینه برای رشد گیاه ایجاد می‌شود و از این طریق باعث بهبود رشد گیاه می‌شوند، بنابراین بهبود شرایط تغذیه‌ای با کاربرد کودهای نانو باعث افزایش میزان کلروفیل و رنگیزه‌های فتوسنتزی و به تبع آن افزایش میزان فتوسنتز در گیاه می‌گردد که همه این عوامل در نهایت منجر به افزایش عملکرد بیولوژیکی و اقتصادی در گیاه می‌گردد که نتایج مشابهی مبنی بر افزایش شاخص کلروفیل برگ با کاربرد کودهای

می‌شوند (Cooney et al., 2018). محققین گزارش کردند ترکیبات فنلی و آنتوسیانین‌ها از عوامل مهم در جهت مقابله با رادیکال‌های آزاد می‌باشند، بنابراین افزایش آنتوسیانین‌ها یک حالت حفاظتی برای از بین بردن رادیکال‌های آزاد و جلوگیری از تخریب مولکول‌های زیستی می‌باشد (Kalinova & Vrchotova, 2011).

محتوی تام فنلی: نتایج نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اثرهای اصلی کود، غلظت و برهم‌کنش کود در غلظت در سطح احتمال یک درصد بر محتوی تام فنلی بود (جدول ۵). نتایج برهم‌کنش کود در غلظت نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار بین تیمارهای کودی و سطوح مختلف غلظت‌های مورد بررسی بود و بیش‌ترین محتوی تام فنلی از تیمار کودی نانوهیدروکسی‌آپاتیت به روش اولتراسونیک در غلظت برابر آزمون خاک (۶۷/۲۹ میلی گرم بر گرم وزن خشک) به دست آمد که با غلظت یک‌دهم آزمون خاک همین تیمار کودی (۶۶/۰۸ میلی گرم بر گرم وزن خشک) و غلظت برابر آزمون خاک نانوهیدروکسی‌آپاتیت به روش مایکروویو (۶۶/۸۸ میلی گرم بر گرم وزن خشک) اختلاف آماری معنی‌داری دارا نبود و کم‌ترین میزان این صفت نیز متعلق به تیمار سوپر فسفات ساده در غلظت یک‌دوم آزمون خاک (۳۱/۴۵ میلی گرم بر گرم وزن خشک بود (شکل ۳).

نانو در گیاه جو (*Hordeum vulgare*) گزارش شده است (Janmohammadi et al., 2016).

آنتوسیانین: اثر تیمارهای کود و غلظت بر میزان این صفت معنی‌دار اما برهم‌کنش کود در غلظت معنی‌دار نگردید (جدول ۵). نتایج نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار بین تیمارهای کودی و سطوح غلظتی می‌باشد به گونه‌ای که بیش‌ترین و کم‌ترین میزان آنتوسیانین به ترتیب از تیمار کودی نانوهیدروکسی‌آپاتیت به روش اولتراسونیک (۶۱/۶۷ میکرومول در گرم وزن تر) و از شرایط شاهد (۰/۴ میکرومول در گرم وزن تر) به دست آمد هر چند تیمار شاهد با کاربرد سوپر فسفات ساده اختلاف آماری معنی‌داری دارا نبود (جدول ۴). در مورد غلظت‌های مورد بررسی می‌توان بیان کرد، هرچند بین غلظت‌های مورد بررسی اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت اما بیش‌ترین مقدار عددی آنتوسیانین از غلظت برابر آزمون خاک (۱/۰۳ میکرومول در گرم وزن تر) به دست آمد (جدول ۴). دلیل افزایش آنتوسیانین می‌تواند نقش محافظتی (محافظت از ساختمان کلروفیل در اثر نور زیاد) این رنگیزه باشد این رنگیزه به دلیل نقش آنتی‌اکسیدان، خاموش‌کننده و یا جاروکننده گونه‌های فعال اکسیژن، در گیاهان نقش بسیار مهمی دارد. به‌طور کلی افزایش آنتوسیانین‌ها در گیاهان به‌واسطه نقش حفاظتی این رنگیزه‌ها است که باعث محافظت کلروفیل در برابر اکسیداسیون نوری



شکل ۳. برهم‌کنش کود در غلظت بر روی محتوی تام فنلی (میلی گرم در گرم وزن خشک)، ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند.

کودی تفاوت معنی‌داری وجود دارد به گونه‌ای که بیش‌ترین میزان مالون‌دی‌آلدهید از تیمار کاربرد سوپر فسفات ساده (۱/۰۱) میکرومول در گرم وزن‌تر) به دست آمد که با تیمار شاهد اختلاف آماری معنی‌داری دارا نبود و کم‌ترین میزان مالون‌دی‌آلدهید متعلق به شرایط کاربرد نانوهیدروکسی-آپاتیت به روش مایکروویو (۰/۸۳) میکرومول در گرم وزن‌تر) بود که با تیمار نانوهیدروکسی‌آپاتیت به روش اولتراسونیک اختلاف آماری معنی‌داری دارا نبود (جدول ۴). به‌طورکلی شرایط کودی مخصوصاً کاربرد کودهای نانو باعث شده که گیاه شرایط رشدی بهینه‌ای داشته باشد و عوامل نامساعد محیطی اثر کمتری بر گیاه داشته باشد و بنابراین گیاه نیاز کمتری به ترشح ترکیباتی مثل مالون‌دی‌آلدهید که نقش محافظتی دارد و همین دلایل باعث می‌شود که تحت شرایط کاربرد کودهای نانو که اثرهای مثبتی بر رشد گیاه داشته‌اند، میزان مالون‌دی‌آلدهید کمتر از شرایط شاهد باشد. در همین رابطه Charchar (2020) گزارش کردند در شرایط نامساعد محیطی (تنش شوری) غلظت مالون‌دی‌آلدهید افزایش یافته و موجب کاهش شاخص پایداری غشاء می‌گردد به‌طورکلی تحت شرایط نامساعد محیطی رادیکال‌های آزاد اکسیژن به وجود می‌آیند که باعث پراکسیداسیون اسیدهای چرب اشباع نشده اطراف غشاء سلولی شده و در اثر پراکسیداسیون چربی‌ها یکسری آلدئیدهایی به وجود می‌آیند که مالون‌دی‌آلدهید فراوان‌ترین آن‌هاست و به‌عنوان یک نشان‌گر برای مشخص کردن مقدار صدمات اکسیداتیو به غشاء و همچنین یک معیار برای سنجش صدمات وارده به غشاء تحت تنش به کار می‌رود (Rizk et al., 2020). میزان مالون‌دی‌آلدهید در گیاه ناشی از پراکسیداسیون چربی‌هاست و نشان‌دهنده میزان خسارات اکسیداتیو ناشی از

به دلیل نقش محافظتی و آنتی‌اکسیدانی و نقش این ترکیبات در حذف و از بین بردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن، می‌توان بیان کرد که تولید این متابولیت‌ها تا حدودی به بالا رفتن مقاومت گیاه در برابر شرایط نامساعد محیطی و افزایش پتانسیل تولیدی گیاه کمک می‌کند (Keshavarz et al., 2021). به نظر می‌رسد کودهای نانو هیدروکسی‌آپاتیت نقش مهمی در افزایش محتوی فنل در گیاه ذرت داشته است. فنل‌ها متابولیت‌های ثانویه‌ای هستند که به دلیل ایجاد مکانیسم دفاعی، گیاهان را در برابر اشعه ماوراءبنفش و عوامل بیماری‌زا محافظت می‌کنند و همچنین به دلیل خواص آنتی‌اکسیدانی باعث افزایش مقاومت گیاه شده که به تبع آن توانایی تولیدی گیاه افزایش می‌یابد (Keshavarz et al., 2021). با توجه به مطالب گفته شده می‌توان نتیجه گرفت که رابطه بین ترکیبات فنلی (به دلیل خاصیت آنتی‌اکسیدانی) و عملکرد گیاه یک رابطه مستقیم و مثبت می‌باشد. به‌طورکلی، استفاده بیش از اندازه، نامتعادل از کودهای شیمیایی، عواقب منفی فراوانی شامل اثرهای مخرب زیست‌محیطی شدید و کاهش شدید بهره‌وری از منابع مورد استفاده را در پی دارد. نسبت بالایی از کودهای کاربردی نه تنها توسط گیاهان جذب نمی‌شود بلکه به اکوسیستم‌های طبیعی وارد شده که پیامدهای مضرمانند تخریب اکوسیستم و از دست رفتن تنوع زیستی را در پی دارد (Reich, 2017).

مالون‌دی‌آلدهید: اثر اصلی کود و غلظت در سطح احتمال یک درصد بر میزان مالون‌دی‌آلدهید معنی‌دار گردید اما برهم‌کنش کود در غلظت بر میزان این صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۵). نتایج اثر اصلی تیمار کودی نشان داد که بین تیمارهای

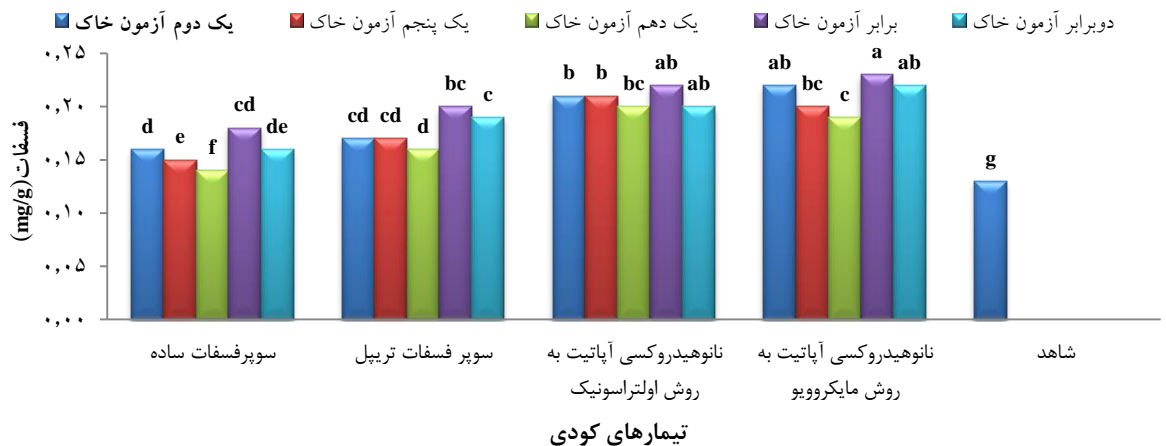
کنش کود در غلظت در سطح احتمال یک درصد بر غلظت فسفر گیاه است (جدول ۵). همه تیمارهای کودی باعث افزایش فسفر گیاه در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد کود) گردید و در بین کودهای تیمار شده، بیش‌ترین میزان فسفر گیاه از تیمار نانو هیدروکسی‌آپاتیت به دست آمد.

به طوری که بیش‌ترین میزان فسفر گیاه از تیمار نانو هیدروکسی‌آپاتیت با روش سنتزی میکروویو و در سطح غلظت برابر آزمون خاک (۰/۲۳ میلی‌گرم بر گرم) به دست آمد هرچند که از نظر آماری با تیمارهای نانو هیدروکسی‌آپاتیت با روش سنتزی میکروویو در سطوح غلظت دو برابر آزمون خاک و یک دوم (۰/۲۲ میلی‌گرم بر گرم) آزمون خاک و تیمار نانو هیدروکسی‌آپاتیت با روش سنتزی اولتراسونیک در سطوح غلظت برابر و آزمون خاک تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. کم‌ترین میزان فسفر گیاه از سطح شاهد (۰/۱۳ میلی‌گرم بر گرم) به دست آمد که نشان‌دهنده اثرهای مثبت کاربرد کود در میزان فسفر گیاه می‌باشد (شکل ۴).

عوامل محیطی (کمبود آب، بالا بودن دما) در گیاهان می‌باشد (Zhao et al., 2019).

با توجه به نتایج آزمایش‌های مختلف و این آزمایش می‌توان بیان کرد که هر چه میزان مالون-دی‌آلدئید در گیاه بیشتر باشد نشان از صرف انرژی بیشتر گیاه برای افزایش مقاومت در برابر شرایط نامساعد هست که باعث می‌شود گیاه انرژی کمتری برای تولید خرج کند و لذا عملکرد بیولوژیک و اقتصادی گیاه تحت چنین شرایطی کاهش پیدا می‌کند. همچنین با توجه به نتایج می‌توان به اثرهای مثبت نانوفسفاتها اشاره کرد که تحت این تیمارها شرایط بهینه گیاه افزایش یافته که در نهایت منجر به عملکرد بیشتر گیاه نسبت به شرایط شاهد می‌گردد. در بین غلظت‌های مورد بررسی بیش‌ترین میزان مالون‌دی‌آلدئید از سطح غلظت یک‌دوم یک‌پنجم آزمون خاک (۱ و ۰/۹۳ میکرومول در گرم) به دست آمد (جدول ۴).

فسفر گیاه (برگ): نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اثر کود، غلظت و برهم-



شکل ۴. برهم‌کنش کود در غلظت بر روی محتوی فسفر گیاه (میلی‌گرم بر گرم). ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند.

و ضخیم‌تر شدن ساقه‌ها و زودرسی محصول شده که در نهایت منجر به پتانسیل تولیدی گیاه می‌گردد

فسفر یکی از مهم‌ترین عناصر مورد نیاز گیاهان می‌باشد که باعث رشد و قوی‌تر شدن ریشه‌ها، رشد

عملکرد بیولوژیک: نتایج تجزیه واریانس داده- های مورد بررسی نشان دهنده معنی دار بودن اثرات اصلی کود و غلظت در سطح احتمال یک درصد بر میزان این صفت می باشد اما اثر متقابل کود در غلظت بر میزان این صفت معنی دار نگردید (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی نشان داد که بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیک (وزن خشک اندام های هوایی) به ترتیب از تیمار نانو هیدروکسی آپاتیت فسفات به روش مایکروویو (۱۶/۹۴ گرم در بوته) و گیاه شاهد (۸/۲۹ گرم در بوته) به دست آمد (جدول ۴). نتایج نشان دهنده تفاوت آماری معنی دار بین سطوح غلظت است و بیشترین میزان این صفت از سطح غلظت به ترتیب برابر و دو برابر آزمون خاک (۶۴/۶۲ و ۶۳/۲۶ گرم در بوته) به دست آمد هر چند که از نظر آماری با سطوح یک دوم و یک پنجم آزمون خاک اختلاف معنی داری نداشتند (جدول ۴). نتایج نشان داد که گیاهان شاهد وزن خشک کمتری نسبت به گیاهان تیمار شده دارا بودند (جدول ۴).

Mikhak et al. (2017) اثر نانو هیدروکسی آپاتیت را به عنوان کود فسفردار بر روی گیاه بابونه آلمانی مورد بررسی قرار دادند که نتایج نشان داد، استفاده از نانو ذرات می تواند رشد گیاه بابونه را افزایش دهد و نتایج کلی نشان می دهد استفاده از این نوع کودهای فسفردار باعث افزایش عملکرد زراعی می شود. به طور کلی استفاده از کودهای آلی از طریق افزایش میزان ماده آلی خاک، ایجاد تعادل مناسب بین عناصر موجود در خاک و نیاز گیاه و نیز بهبود ویژگی فیزیکی و شیمیایی خاک باعث افزایش حاصلخیزی و باروری خاک و در نهایت باعث افزایش تولید و وزن خشک می شوند (Ali et al., 2017). هر چند گزارش های کمتری در خصوص اثر کودهای نانو بر رشد گیاهان زراعی وجود دارد اما

(Mahanta et al., 2014). از سوی دیگر، عنصر فسفر برای گیاهان زراعی به عنوان عنصر غذایی ضروری بوده، به طوری که رشد و عملکرد گیاهان در خاک های چون خاک های آهکی و اسیدی که با کمبود این عنصر مواجه می باشند، کاهش می یابد (Liu et al., 2014). با توجه به نتایج به دست آمده می توان بیان کرد که فرم کوددهی به شکل نانو هیدروکسی آپاتیت موجب جلوگیری از هدر رفت فسفر و قابل دسترس شدن آن برای استفاده گیاه شده است. همچنین نتایج نشان دهنده آن است که کاربرد کود نانو عامل دار شده با فسفات در مقایسه با کودهای سوپر فسفات ساده و سوپر فسفات تریپل که به عنوان پرکاربردترین کودهای فسفردار در بخش کشاورزی در ایران مورد استفاده قرار می گیرند (Sajadinia et al., 2020) کارایی بیشتری دارد که با نتایج به دست آمده توسط (Rajonee et al., 2017) مطابقت دارد. نانو هیدروکسی فسفات ها علاوه بر توانایی جذب بالای فسفر، قادرند این عنصر را به کندی آزاد کرده و در خاک به تدریج رها سازند که همین امر موجب می شود کودهای نانو فسفات قابلیت رقابت با کودهای تجاری سوپر فسفات و سوپر فسفات تریپل را دارا باشند. نتایج مطالعه های گسترده گذشته نشان داد پایین بودن حلالیت فسفر، باعث مصرف بیش از حد این عنصر و موجب هدر رفتن آن و ورود به آب های زیرزمینی و سطحی می شود، کودهای کند رهاکننده ای همچون کودهای نانو در آزمایش حاضر، علاوه بر تأمین نیاز غذایی گیاه در طول دوره رشد، به دلیل آزادسازی تدریجی فسفر، مانع از ورود مقادیر اضافی این ترکیبات به منابع آبی زیرزمینی شده و از اثرهای زیان بار زیست محیطی آن جلوگیری می کنند (Rajonee et al., 2017).

فتوستتز افزایش یافته است که منجر به بهبود رشد گیاه و افزایش عملکرد کمی شده است. با توجه به اثر مثبت کودهای نانو، می‌توان استفاده از این کودها را به دلیل بهبود بخشیدن صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی و همچنین کاهش مصرف کودهای شیمیایی مرسوم که نیاز به چند بار استفاده در طول فصل رشد دارند و در نتیجه کاهش آلودگی-های محیط زیست، در گیاهان زراعی توصیه کرد. همچنین از آنجایی که بین دو روش شیمی سنتزی کودهای نانوفسفات (روش مایکروویو و اولتراسونیک) تفاوت چندانی وجود نداشت می‌توان گفت که هر دو روش سنتزی قابل قبول بوده و باعث افزایش تولید و عملکرد گیاه می‌گردند هرچند روش سنتزی مایکروویو باعث میزان تولید بیشتر (وزن تر و خشک) شده و در بین دو روش شیمی سنتزی، به عنوان روش برتر معرفی می‌گردد.

اثر مثبت عناصر غذایی نانو بر رشد ذرت توسط (Dağhan, 2018) گزارش شده است. در این آزمایش میزان عملکرد بیولوژیک تحت شرایط شاهد همان‌طور که در نتایج مشهود است، پایین‌تر از سطوح کودی می‌باشد و تحت این شرایط گیاه رشد (ارتفاع، تعداد و طول برگ کمتر)، میزان فسفر، وزن خشک کمتری را نسبت به شرایط تیمارهای کودی مخصوصاً کودهای نانوفسفات دارا بود که بیانگر مثبت بودن کاربرد کود بر روی رشد و تولید گیاه می‌باشد. در همین رابطه گزارش شده که کودهای نانو از طریق افزایش توان فتوستتزی گیاه و تأمین مواد فتوستتزی باعث افزایش عملکرد گیاه می‌گردند (Dağhan, 2018).

نتیجه‌گیری

استفاده از نانو فسفات‌ها در مقایسه با کودهای مرسوم باعث افزایش راندمان و کیفیت منابع غذایی به واسطه سرعت جذب بالاتر و جذب کامل کود به وسیله گیاه به دلیل رهاسازی عناصر غذایی کود با سرعت مطلوب در تمام طول فصل رشد، کاهش آلودگی خاک و بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه، می‌شود. تحقیق انجام شده نشان داد که سنتز نانوذرات هیدروکسی‌آپاتیت با استفاده از روش مایکروویو منجر به بازدهی مناسب، کاهش اندازه ذرات، افزایش سرعت واکنش‌ها و متعاقباً کاهش زمان و انرژی می‌شود. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کاربرد کودها به خصوص نانو کودها بر پاسخ‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی اندام هوایی ذرت اثر مثبتی داشته است. نتایج نشان داد که در واکنش به تیمارهای نانوفسفات تعداد برگ در بوته افزایش پیدا کرده و با توجه به اینکه برگ به‌عنوان اصلی‌ترین اندام فتوستتزکننده و تولیدکننده آسمیلات در گیاه، از نقش مهمی برخوردار است، می‌توان بیان کرد با افزایش تعداد برگ گیاه از نور خورشید برای ساخت مواد غذایی بهره بیشتری گرفته و میزان

REFERENCES

- Ali, N., Sarkar, M., Sarkar, S., & Paul, S. 2017. Effect of number of seedlings per hill, rate and time of nitrogen application on the growth and yield of late transplant Aman rice. *Progressive Agriculture*, 28, 174-183.
- Amenta, V., Aschberger, K., Arena, M., Bouwmeester, H., Botelho Moniz, F., Brandhoff, P., Gottardo, S., Marvin, H.J.P., Mech, A., Quiros Pseudo, L., Rauscher, H., Schoonjans, R., Vettori, M.V., Weigel, S., & Peters, R.J. 2015. Regulatory aspects of nanotechnology in the agri/feed/food sector in EU and non-EU countries. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 73(1), 463-476.
- Arias-Pacheco, C., Lucas, J.R., Rodríguez, A., Córdoba, D., & Lux-Hoppe, E.G. 2020. Economic impact of the liver condemnation of cattle infected with *Fasciola hepatica* in the Peruvian Andes. *Tropical Animal Health and Production*, 52(4), 1927-1932.
- Bakhtiari, G., Maleki, M., & Rostami, M. 2020. Effect of Iron, Manganese, and Nitrogen nano-fertilizers on some agronomic and physiological traits of sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars Cavagnaro, T.R. 2015 *Advances in Agronomy*. Sparks, D.L. (ed): 293-321, Academic Press.
- Charchar, N., Elafri, A., Rais, R., & Ismahen, H. 2020. Land Application of Sewage Sludge: Physiological and Biochemical Response of the Rio Grande Tomato. *Journal of Bioresource Management*, 7(2), 1-9.
- Cavagnaro, T.R. 2015. Biologically regulated nutrient supply systems: compost and arbuscular mycorrhizasa review. *Advances in Agronomy*, 129, 293-321.
- Cooney, L.J., Logan, B.A., Walsh, M.J.L., Nnatubeugo, N.B., Reblin, J.S., & Gould, K.S. 2018. Reprint of "Photoprotection from anthocyanins and thermal energy dissipation in senescing red and green *Sambucus canadensis* peduncles". *Environmental and Experimental Botany*, 154, 4-10.
- Dağhan, H. 2018. Effects of TiO₂ nanoparticles on maize (*Zea mays* L.) growth, chlorophyll content and nutrient uptake. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16(5), 6873-6883.
- Farnia, A., & Omid, M. 2015. Effect of nano-zinc chelate and nano-biofertilizer on yield and yield components of maize (*Zea mays* L.), under water stress condition. *Indian Journal Naturtion Science*, 5(29), 4614-46.
- Faostat. 2018. Food and Agricultural commodities production. Available online.
- Gerdini, F.S. 2016. Effect of nano potassium fertilizer on some parchment pumpkin (*Cucurbita pepo*) morphological and physiological characteristics under drought conditions. *International Journal Farm and Allied Science*, 5(5), 367-371

- Gomaa, M.A., Radwan, F.I., Kandil, E.E. and Challabi, D.H.H. 2017. Comparison of some new maize hybrids response to mineral fertilization and some nanofertilizers. *Alexandria Science Exchange Journal*, 38(July-September), 506-514.
- Gopi, D., Indira, J., Kavitha, L., Sekar, M. & Kamachi Mudali, U. 2012. Synthesis of hydroxyapatite nanoparticles by a novel ultrasonic assisted with mixed hollow sphere template method, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 93, 131– 134.
- Heath, R.L., & Packer, L. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplast, kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125: 189-198.
- Hasanuzzaman, M.B., Bhuyan, M.H.M.B., Nahar, K., Hossain, M., Mahmud, J.A., Hossen, M.S., Masud, A.A.C., & Moumita- Fujita, M. 2018. Potassium: A vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. *Agronomy*, 8(3), 31-39.
- Janmohammadi, M., Amanzadeh, T., Sabaghnia, N., & Dashti, S. 2016. Impact of foliar application of nano micronutrient fertilizers and titanium dioxide nanoparticles on the growth and yield components of barley under supplemental irrigation. *Acta Agriculturae Slovenica*, 107, 265-276.
- Kalinova, J., & Vrchotova, N. 2011. The influence of organic and conventional crop management, variety and year on the yield and flavonoid level in common buckwheat groats. *Food Chemistry*, 127(2), 602-608.
- Keshavarz-Mirzamohammadi, H., Modarres-Sanavy, S.A.M., Sefidkon, F., Mokhtassi-Bidgoli, A., & Mirjalili, M.H. 2021. Irrigation and fertilizer treatments affecting rosmarinic acid accumulation, total phenolic content, antioxidant potential and correlation between them in peppermint (*Mentha piperita* L). *Irrigation Science*, 1-13.
- Liu, F.P., Liu, H.Q., Zhou, H.L., Dong, Z.G., Bai, X.H., Bai, P., & Qiao, J.J. 2014. Isolation and characterization of phosphate-solubilizing bacteria from betel nut (*Areca catechu*) and their effects on plant growth and phosphorus mobilization in tropical soils. *Biology and Fertility of Soils*, 50(6), 927-937.
- Liu, R., & Lal, R. 2014. Synthetic apatite nanoparticles as a phosphorus fertilizer for soybean (*Glycine max*). *Scientific Reports*, 4(1), 5686.
- Mahanta, D., Rai, R.K., Mishra, S.D., Raja, A., Purakayastha, T.J., & Varghese, E. 2014. Influence of phosphorus and biofertilizers on soybean and wheat root growth and properties. *Field Crops Research*, 166, 1-9.
- Mahdieh, M., Sangi, M.R., Bamdad, F., & Ghanem, A. 2018. Effect of seed and foliar application of nano-zinc oxide ,zinc chelate, and zinc sulphate rates on yield and growth of pinto bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars. *Journal of Plant Nutrition*, 41(18), 2401-2412.

- Meena, D., Gautam, C., Patidar, O., Meena, H., & Prakash, V. 2017. Nano-fertilizers is a new way to increase nutrients use efficiency in crop production. *International Journal Agriculture Science*, 9, 3831-3833.
- Mikhak, A., Sohrabi, A., Kassaei, M.Z., & Feizian, M. 2017. Synthetic nanozeolite/nanohydroxyapatite as a phosphorus fertilizer for German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Industrial Crops and Products*, 95, 444-452.
- Mohammad Khani, E., & Roozbahani R. 2015. Application of vermicompost and nano iron fertilizer on yield improvement of grain corn (*Zea mays* L.). *Journal of Plant Ecophysiology*, 7(23), 123-131.
- Najafi Vafa, Z., Sirousmehr, A., Ghanbari, A., Khammari, I., & Falahi, N. 2015. Effects of nano zinc and humic acid on quantitative and qualitative characteristics of savory (*Satureja hortensis* L.). *Journal of BioScience and Biotechnology*, 6(3), 124-136.
- Piper, C.S. 2017. Soil and plant analysis. Scientific Publishers.
- Rajonee, A.A., Zaman, S., & Huq, S. 2017. Preparation, characterization and evaluation of efficacy of phosphorus and potassium incorporated Nano fertilizer. *Advances in Nanoparticles*, 06, 62-74.
- Rameshaiah, G.N., & Shabnam, S. 2015. Nano fertilizers and nano sensors-an attempt for developing smart agriculture. *International Journal Engineering Research. & Genetic Science*, 3(1), 2091-2730.
- Reich, M. 2017. The significance of nutrient interactions for crop yield and nutrient use efficiency. In *Plant Macronutrient Use Efficiency*, 65-82 Academic Press.
- Rizk, M.S., Mekawy, A.M.M., Assaha, D.V.M., Chuamnakhong, S., Shalaby, N.E., & Ueda, A. 2020. Regulation of Na⁺ and K⁺ transport and oxidative stress mitigation reveal differential salt tolerance of two egyptian maize (*Zea mays* L.) hybrids at the seedling stage. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1-11.
- Sajadinia, H., Ghazanfari, D., Naghavi, K., Naghavi, H., & Tahamipur, B. 2021. A comparison of microwave and ultrasound routes to prepare nano-hydroxyapatite fertilizer improving morphological and physiological properties of maize (*Zea mays* L.). *Heliyon*, 7(3), e06094.
- Shen, S., Cai, S., Li, Y., Ling, R., Zhang, F., Xu, G. & Wang, F. 2016. Microwave aqueous synthesis of hydroxyapatite bilayer coating on magnesium alloy for orthopedic application, *Chemical Engineering Journal*, 309, 278-279.
- Slinkard, K., & Singleton, V.L. 1977. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture*, 28(1), 49-55.
- Tavakoli, M., & Asadi-Gharneh, H.A, 2020. Assess effect of foliar application of seaweed extract and amino acids on morpho-physiological characteristics of gerbera *Jamesonii* var. stanza cut flowers. *Journal of Crop Nutrition Science*, 6(1), 1-11.

- Tousi, P., Tajbakhsh, M., & Esfahani, M. 2014. Effect of spray application of nano-Fe chelate, amino acid compounds and magnetic water on protein content and fatty acids composition of oil of soybean (*Glycine max* L.) in different harvest time. *Iranian Society of Crops and Plant Breeding Sciences*, 16(2), 125-136.
- Vivek, M.S., Chandravanshi, P., Nataraju, S.P., Salimath, S. & AH, K.N. 2020. Effect of hydrogel on chlorophyll content and chlorophyll stability index of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) under rainfed condition. *International Journal of Conservation Science*, 8(3), 2211-2215.
- Yadav, G.S., Babu, S., Meena, R.S., Debnath, C., Saha, P., Debbarma, C., & Datta, M. 2017. Effects of godawariphosgold and single super phosphate on groundnut (*Arachis hypogaea*) productivity, phosphorus uptake, phosphorus use efficiency and economics. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 87(9), 1165-1169.
- Zhao, J.J., Feng, N.F., Wang, X.X., Cai, G.R., Cao, M.Y., Zheng, D.F., & Zhu, H.D. 2019. Uniconazole confers chilling stress tolerance in soybean (*Glycine max* L.) by modulating photosynthesis, photoinhibition, and activating oxygen metabolism system. *Photosynthetica*, 57(2), 446-457.



Effect of Phosphate Nanoparticles Synthesized by Microwave and Ultrasonic Methods on Morphophysiological and Biochemical Properties of Maize (*Zea mays* L.)

Homa Sajadinia¹, Dadkhoda Ghazanfari^{2*}, Kazemi Naghavi³, Hormozd Naghavi⁴, Batool Tahamipur⁵

¹ Ph.D. Student, Department of Chemistry, Islamic Azad University Kerman, Kerman, Iran

² Associate Professor, Department of Chemistry, Islamic Azad University Kerman, Kerman, Iran

³ Assistant Professor, Department of Physics, Islamic Azad University Kerman, Kerman, Iran

⁴ Assistant Professor, Water and Soil Research, Agricultural and Natural Resources Research and Training Center, Kerman, Kerman, Iran

⁵ Assistant Professor, Ministry of Educational, 2nd Region of Kerman, Kerman, Iran

* Corresponding Author's Email: dadkhodaghbk@yahoo.com

(Received: October. 26, 2021 – Accepted: December. 21, 2021)

ABSTRACT

In order to investigate the effect of nano-hydroxyapatite phosphate synthesized by two synthetic methods of microwave and ultrasonic on some morphological and physiological properties of maize, an experiment was performed in the factorial form in a completely randomized design in the greenhouse of Kerman Agricultural and Natural Resources Research Center, Summer 2018. Treatments included simple superphosphate and triple superphosphate fertilizer, nano-hydroxyapatite synthesized by microwave and ultrasonic methods, each at five levels in three replications. The results showed that application of nano-hydroxyapatite by ultrasonic method compared with normal condition lead to a 17.47% increase leaf number, 13.02% in stem weight, 46.19 chlorophyll content and 23.06% in phenol content. In addition, nano-hydroxyapatite by microwave method increased the leaf weight, phosphorus and biological yield by 21.87%, 43.47% and 51.06% respectively, compared with control condition. The application of nanohydroxyapatite phosphate improved the growth characteristics and physiology of the maize plant compared to control and simple superphosphate fertilizers and triple. The results also showed that nano-phosphates could more effectively improve the growth and biochemical yield of maize. The highest biochemical function was obtained from nano-hydroxyapatite treatment by microwave method. According to the obtained results, it is concluded that both methods can improve plant growth conditions and ultimately increase plant yield and production; However, since the microwave synthesis method resulted in higher yield (wet and dry weight), it was identified as the superior method of introduction.

Keywords: Fertilizer, Maize, Morphophysiology, Nano, Phosphate.