بررسی اثر غلظت نانو ذرات اکسید آهن بر شاخص‌های رشد گیاه آبزی علف مویی

سنا ربانی‌فرد[۱]، فاطمه موسی‌خانی[۱]، رضا احمدی[۱]*

[۱] گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

دکتر رضا احمدی، نویسنده مسئول دانشگاه بین الملل امام خمینی

re.ahmadi@eng.ikiu.ac.ir

چکیده: در پژوهش حاضر اثر استفاده از نانوذرات مگنتیت بر رشد طول و افزایش وزن گیاه آبزی علف مویی بررسی شده است. در این پژوهش نانوذرات اکسید آهن به روش همرسویی تولید شدند و برای بررسی مشخصاتشان از آنالیزهای XRD و SEM استفاده شد. برای تولید نانوذرات مگنتیت از کلرید آهن دو ظرفیتی $FeCl_2$ و کلرید آهن سه ظرفیتی FeCl3 به عنوان منبع آهن و محلول سود سوزآور NaOH به عنوان عامل احیایی استفاده شد. نتایج SEM نشان داد میانگین اندازه ذرات به‌دست آمده در شرایط مختلف تولید ۱۸/۴ تا ۲۴/۷ نانومتر است و ریخت‌شناسی ذرات کروی و شبه کروی است. داده‌های XRD تاییدکننده تشکیل نانوذرات Fe_3O_4 با ساختار اسپینل معکوس است. با افزایش pH محلول، میانگین اندازه ذرات تولیدشده کاهش یافت. برای بررسی اثر غلظت نانوذرات اکسید آهن بر رشد گیاه، نانوذرات در غلظت‌های ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ ppm به محیط رشد گیاه اضافه شدند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که افزایش غلظت نانوذرات اکسید آهن تا ۹۰ ppm نه تنها اثر منفی بر رشد گیاه نداشته است، بلکه باعث افزایش رشد طول گیاه و افزایش وزن نمونه گردیده است. نانوذرات اکسید آهن در غلظت‌های بالا در حدود ۱۲۰ ppm اثر منفی بر پارامترهای پیش‌گفته داشته است. با کاهش میانگین اندازه نانوذرات تولید شده افزایش بیشتری در رشد طول گیاه و وزن نمونه‌های گیاه علف مویی مشاهده شد که به دلیل سطح تماس بیشتر نانوذرات اکسید آهن با سلول‌های گیاه و افزایش ریزمغذی های فراهم شده لازم برای رشد گیاه است.

کلمات کلیدی : نانوذرات، مگنتیت، علف مویی، همرسویی، ریزمغذی.

۱- مقدمه

فناوری نانو بر بهبود عملکرد گیاهان برای جذب مواد غذایی، بهبود جوانه زنی، تولید گیاه، دفع آفات و امراض گیاه، ایجاد بستر کاشت گیاه و غیره تاثیر دارد. میزان جذب نانوذرات توسط گیاهان متفاوت بوده و بستگی به نوع گیاه، ترکیب شیمیایی و اندازه این ذرات دارد [۱]. نتایج برخی از پژوهش‌ها حاکی از اثر مثبت استفاده از نانوذرات بر رشد گیاهان بوده و برخی نشانگر کاهش رشد گیاه در حضور نانوذرات است [۲-۴]. نانو ذرات مگنتیت به دلیل داشتن ویژگی‌های منحصر به فردی از جمله خصوصیات مغناطیسی و واکنش پذیری بالا ، دارو رسانی ، سنجش پادتن وگرما درمانی کاربردهای گسترده‌ای دارند [۵-۷]. ذرات اکسید آهن حاصل از فوران آتش‌فشان، آتش سوزی‌ها و فعالیت‌های صنعتی همیشه در طبیعت و در تعادل با اکوسیستم‌های طبیعی وجود داشته اند. سمیت این ذرات در محیط‌های مختلف به ویژه محیط‌های آبی و تاثیرات منفی آن بر عملکرد موجودات زنده ثابت شده است [۸-۱۰]. بیشترین اثر سمی مشاهده شده در این نانوذرات شامل کاهش رشد گیاهچه و ایجاد لکه‌های قهوه‌ای بر روی برگ‌ها می‌باشد [۱۱, ۱۲].

محققان جذب، انتقال و تجمع نانوذرات Fe_3O_4 را در گیاهان مورد مطالعه قرار دادند و متوجه حرکت این نانوذرات در سلول‌های گیاهی شدند، همچنین مشاهده کردند حضور این نانوذره باعث کاهش محتوی کلروفیل می‌گردد [۱۳].

ورود نانوذرات مگنتیت به بافت‌های گیاهی در مطالعات مختلف مشاهده شده است. ژو و همکاران با مطالعه تاثیر نانوذرات مگنتیت بر بافت‌های گیاه کدو متوجه جذب و انتقال وتجمع این نانو ذره

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1399.4.64.2.6]

در بافت‌های گیاه کدو شدند. نتایج تحقیق انجام شده نیز نشان دهنده تاثیر نانو اکسید آهن بر جوانه زنی و رشد اولیه گیاهان می باشد. بیشتر محققان بر این باورند تاثیر سمی قابل ملاحظه ای توسط این نانو ذره ایجاد می شود که شامل ایجاد تنش اکسایشی[1] ، تاثیر بر فتوسنتز و کاهش سرعت فرآیند متابولیکی می‌باشد [۱۴].

سمیت نانوذرات مگنتیت به ویژه در غلظت‌های بالا در مطالعات مختلفی ثابت شده است، از جمله تاثیر نانوذرات مگنتیت با غلظت های صفر ، ۱۲/۵ ، ۲۵ ، ۵۰ ، ۱۰۰ ، ۲۰۰ و ۴۰۰mg/ml بر گیاه آبی Lemnagibba مطالعه و کاهش محتوی کلروفیل ، کاهش فتوسنتز، کاهش وزن تر گیاه (۵۲ تا ۵۹ درصد) و کاهش تعداد ساقه‌های جانبی (۳۲ تا ۴۹ درصد) مشاهده شده است. همچنین کاهش رشد و جوانه زنی گیاه خیار در محیط هیدروپونیک پس از ۶ روز مجاورت با نانوذرات Fe_3O_4 با غلظت ۵۰۰ و ۱۵۰۰gr/mlit گزارش شده است. تیمار نانوذرات مگنتیت به ویژه در غلظت‌های بالا بر گیاهان ایجاد فشار اکسایشی می کند. این فشار اکسایشی بر عمل فتوسنتز تاثیر می گذارد و در نهایت کاهش سرعت فرآیندهای متابولیک را در گیاهان به دنبال دارد [۱۱]. پندی در آزمایشی بر روی نخود گزارش کرد که کاربرد اکسید روی به شکل نانو ذرات تاثیر بیشتری در افزایش رشد گیاه نسبت به شکل معمول آن داشته است که به دلیل سطح ویژه بالای نانوذرات است [۱۵].

اوکاروم و همکاران نشان دادند که نانوذرات نقره با اندازه میانگین حدود ۵۰ نانومتر می‌توانند به طور مستقیم بر روی رشد گیاه جلبک تاثیر گذارند. نانوذرات نقره ۵۰ نانومتری ممکن است نتواند وارد سلول گیاه شوند، اما می توانند به عنوان یک پل ارتباطی به سلول دیگر باشند که در نهایت باعث سرعت بخشیدن در تجمع سلولی و رشد بیشتر گیاه می‌شوند [۱۶, ۱۷].

تجمع نانوذرات اکسید روی و اکسید تیتانیوم باعث محصور شدن دریچه های سلولی گیاه جلبک می شود [۱۷]. همچنین نانوذرات اکسید سلیسیم توسط سطح جلبک جذب شده و این مسئله باعث کاهش رشد می‌شود [۱۸].

محیط زیست آبی مهم‌ترین و شاید آخرین مقصد انتشار نانومواد به محیط زیست است. گیاهان آبزی نیز بخش عمده نخستین تولید کنندگان آبزی را به خود اختصاص می‌دهند و اساس شبکه غذایی محیط‌های آبی هستند [۱۹]. عدسک‌ها در سرتاسر جهان از آب‌های شیرین ، نهرهای آبیاری تا تالاب‌ها و باتلاق‌ها پراکنده شده‌اند و در سطح آب شناور می‌باشند . این گیاه به دلیل کشت آسان در آزمایشگاه مورد توجه می‌باشد [۲۰]. این گیاه در جهت حذف نیترات از محیط آبی که آثار نامطلوب دارد مورد بررسی قرار گرفته است [۲۱].

به عنوان نمونه هی و همکاران نشان دادند که نانوذرات نقره در غلظت ۰/۲ mg/lit برای گیاه chattonella marina سمی می باشند [۲۲]. اوکاروم وهمکاران به بررسی اثر نانوذرات نقره ۵۰nm به یک گونه ریز جلبک آب شیرین (chlorella vulgaris) و یک گونه ریز جلبک آب شور (Dunaliellatertidecta) پرداختند و نشان دادند که این نانوذرات باعث کاهش شدید محتوای کلروفیل و زنده مانی سلول‌ها و افزایش گونه‌های فعال اکسیژن و پرواکسیداسیون چربی‌ها می‌شوند. در مطالعه دیگر هزنی و همکاران به بررسی اثر نانوذرات نقره بر گونه آب شیرین C.Vulgaris و گونه آب شور D.Tertideta پرداختند و نشان دادند که غلظت‌های بالای ۱۰۰ و ۲۰۰ mg/lit نانوذرات نقره باعث مرگ سلولی و ایجاد استرس اکسیداتیو پلانکتون‌های مورد بررسی می شوند [۱۶, ۲۳]. بنابراین نانوذرات نقره حتی در کمترین غلظت مورد آزمون نیز باعث ایجاد سمیت در ریز جلبک دریایی Nanochlolopsis گردیده‌اند و درواقع حضور این نانوذرات در محیط کشت جلبک مذکور مانع تقسیم سلولی و افزایش عادی تعداد سلول‌ها گردیده اند و همچنین با نتایج به‌دست آمده ، با افزایش هرچه بیشتر غلظت نانوذرات نقره در محیط کشت،کاهش رشد جلبک‌ها نیز بیشتر قابل مشاهده بوده است که نشان می دهد تاثیر این نانو ذره بر ریز جلبک مورد مطالعه وابسته به غلظت است [۲۲, ۲۴, ۲۵].

گزارش تاثیر مثبت و منفی نانو ذرات بر گیاهان متداول است و پژوهشگران بررسی‌هایی در مورد تاثیر نانوذرات بر جوانه زنی گیاه و رشد آن با هدف ترویج نانوذرات برای استفاده در کاربردهای کشاورزی انجام داده‌اند. با این حال بررسی‌ها تایید کرده‌اند که نانوذرات می‌توانند در گیاهان سمیت ایجاد کنند و تاثیر منفی بر جوانه زنی بذر و رشد گیاه داشته باشند اما در عین حال ویژگی های انحصاری نانوذرات می توانند موجب بهبود جوانه زنی بذر و عملکرد محصول شوند [۲۶]. برای مثال نانولوله‌های کربنی و نانوذرات اکسید روی، اکسید تیتانیوم، مگنتیت و نانوذرات فلزی منگنز موجب بهبود رشد گیاهانی همچون گوجه فرنگی، تنباکو،

[1] Reactive Oxygen Speices, ROS

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1399.4.64.2.6]

ارزن، لوبیا، نخود، سورگوم، اسفناج و گندم شده است [۲۷].

در مطالعه دیگری تاثیر نانوذرات اکسید آهن (γ-Fe_2O_3) و یون های آهن (Fe^{3+}) بر رشد گیاهان پومیلو یا دارابی (citrus Maxima)بررسی شده است. نتایج این مطالعه نشان می دهد که غلظت ۵۰mgr/lit نانو ذرات اکسید آهن سبب افزایش قابل توجه غلظت کلروفیل (۲۳/۸٪) و فعالیت آنزیم و هیدرژناز (۲۳/۲٪) نسبت به نمونه شاهد شده، اما در غلظت ۱۰۰ mg/lit تولید مالون دی آلدهید (Malondialdehyd =MDA) را افزایش داده که موجب کاهش غلظت کلروفیل و فعالیت آنزیم و هیدروژناز و نهایتا کاهش رشد گیاه شده است. آنان دلیل این اثرهای منفی نانوذرات اکسید آهن را تجمع نانوذرات در سطح ریشه می‌دانند که از انتقال آب به برگ‌ها جلوگیری می‌کند. همچنین آسیب‌های اکسایشی که بر اثر حضور نانوذرات در سلول ایجاد می‌شود می‌تواند موجب تخریب کلروپلاست و کاهش غلظت کلروفیل در برگ‌ها شود [۲۸].

مکانیسم توانایی نانوذرات در جذب آب به درون بذر که منجر به اثرات مثبت پیش‌گفته در رشد گیاه می‌شود، هنوز کاملا شناخته شده نیست. یک فرضیه پیشنهادی به توانایی نانوذرات برای ایجاد منافذ جدیدی بر می‌گردد که نفوذ آب و ریزمغذی‌ها در پوسته بذر را تسهیل می‌کنند و به این ترتیب سرعت جوانه‌زنی را افزایش می‌دهند. احتمال دیگر به توانایی نانوذرات اکسیدی و فلزی و نانولوله‌های کربنی در تنظیم کانال‌های آب موجود در پوسته بذر گیاه مرتبط است. به این ترتیب که نانوذرات با تأثیر بر ژن‌های تنظیم‌کننده کانال‌های پروتئینی یا با ممانعت از باز شدن کانال‌ها، انتقال آب به داخل پوسته بذر را کنترل کنند [۲۹].

یافته‌های محققان نشان می‌دهد که نانوذرات اثرات مثبت و منفی بر رشد و توسعه گیاهان دارند و تاثیرات نانوذرات به ترکیب، غلظت، اندازه و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها و نیز به گونه‌های گیاه بستگی دارد و از گیاهی به گیاه دیگر متفاوت است [۲]. تاکنون در مورد گیاهان آبزی پژوهش‌های کمتری نسبت به گیاهان غیرآبزی انجام شده است، همچنین در بسیاری از پژوهش‌ها غلظت بهینه تعیین نشده و تنها اثر مثبت یا منفی نانوذرات بر پارامترهای رشد گیاه آبزی بررسی شده است [۲–۸، ۱۰، ۱۲، ۱۸–۲۱]. نکته بسیار مهم در این موارد، استفاده از کمترین دوز نانوذرات با بیشترین تاثیر مثبت بر رشد گیاه است تا اثرات سوء جانبی نانوذرات بر استفاده‌کننده محصولات گیاهی به حداقل برسد [۱، ۲]. به بیان دیگر، پارامترهای رشد گیاه با افزایش غلظت بسیاری از نانوذرات افزایش می‌یابد و با رسیدن به غلظت بهینه، روند کاهشی رشد گیاه آغاز می‌شود. بررسی و تعیین این غلظت بهینه، اهمیت بسیاری در سلامت محصولات گیاهی فرآوری شده با نانوذرات دارد. در پژوهش حاضر نانوذرات مگنتیت به روش همرسوبی در شرایط مختلف تولید و با روش‌های XRD و SEM مشخصه‌یابی شده‌اند. در ادامه، با توجه به خلاءهای پیش‌گفته، اثر غلظت و اندازه نانوذرات مگنتیت بر رشد گیاه آبزی علف مویی بررسی و شده است. همچنین تغییرات غلظت با هدف تعیین نقطه تغییر روند افزایشی به روند کاهشی رشد گیاه مورد توجه قرار گرفته تا محدوده غلظت بهینه مشخص شود.

۲- فعالیت‌های تجربی

۲-۱- مواد اولیه و تولید نانوذرات

در این پژوهش نانوذرات اکسید آهن Fe_3O_4 با استفاده از مقادیر به ترتیب ۰/۴۶۴ و ۰/۱۷۰۸ گرم مواد اولیه $FeCl_3.6H_2O$ و $FeCl_2.4H_2O$ و محلول NaOH برای تنظیم pH و آب مقطر به عنوان حلال به روش همرسوبی مطابق واکنش (۱) تولید شد. با توجه به حضور ۲ مول آهن سه ظرفیتی و ۱ مول آهن دوظرفیتی در ۱ مول مگنتیت، در بسیاری از فرآیندهای تولید نانوذرات مگنتیت بر مبنای روش همرسوبی، از نسبت استکیومتری ۲ به ۱ نمک آهن سه ظرفیتی به نمک آهن دو ظرفیتی استفاده شده است [۳۰–۳۲] و در پژوهش حاضر همین نسبت در نظر گرفته شده است:

$$FeCl_2.4H_2O+2FeCl_3.6H_2O+8NaOH \rightarrow Fe_3O_4+8NaCl+20H_2O \quad (۱)$$

ابتدا با استفاده از همزن مغناطیسی محلول $FeCl_3.6H_2O$ و $FeCl_2.4H_2O$ با حلال آب مقطر تهیه و سپس با افزودن قطره قطره محلول NaOH رسوبات سیاه رنگی ظاهر شد و این کار تا جایی ادامه داشت تا به pH=۱۱ رسید (نمونه C1). این مراحل به طور مشابه برای دستیابی به pH=۱۱/۵ نیز صورت گرفت (نمونه C2). سپس پس از چند بار شستشو با آب مقطر و استون رسوبات حاصل توسط آهنربای قوی از آب مقطر حلال جدا شده و برای مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد آون قرار گرفت.

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1399.4.64.2.6]

با استفاده از دستگاه XRD مدل Siemens D5000 مجهز به لامپ اشعه X با طول موج ۱/۵۴۰۶ آنگستروم ساختار کریستالوگرافی نانوذرات تولیدشده مورد بررسی قرار گرفته و به منظور بررسی شکل و اندازه نانوذرات با استفاده از دستگاه SEM مدل Philips XL 30، تصاویر میکروسکوپی از ذرات تهیه شد. بعد از مشخصه یابی به روش های فوق، سوسپانسیون هایی با غلظت ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ppm ۱۲۰ از نانوذرات سنتز شده در pHهای ۱۱ و ۱۱/۵ برای نمونه های مختلف تهیه شد.

۲-۲-پرورش گیاه و تاثیر نانو ذره بر رشد آن

در این پژوهش هدف بررسی تاثیر نانو ذرات Fe3O4 بر برخی پارامترهای رشد گیاه علف مویی است. این گیاه گونه‌ای چند ساله آبزی از جنس Eleocharis در خانواده جنگلیان بوده و به نام های دیگری همچون spikerush، چمن مویی و سوزنی موسوم است و برای رشد نیازمند نور متوسط، دما و pH مطلوب آب بوده و به بستری غنی از مواد مغذی نیازمند است. این گیاه رشد سریع دارد و رشد ساقه آن بیش از ۱۰ سانتی متر است.

در پژوهش حاضر برای بررسی اثر نانوذرات سنتز شده بر پارامترهای رشد گیاه، ابتدا ۲۷ گلدان برای نمونه‌های گیاه آبزی علف مویی آماده و شرایط مناسب دما، نور، رطوبت و آب نیز مهیا شد؛ سپس بذرهای مشابه از این نوع گیاه آبزی از لحاظ وزن و ظاهر انتخاب و برای جوانه زنی در محیطی با دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و نور متوسط قرار گرفت و پس از ۸ روز که جوانه‌های گیاه مشاهده و طول آن ثبت شد، جوانه‌های مشابه از نظر طول ریشه، طول گیاه و وزن جداسازی شده و در هر گلدان حاوی ۱۵۰ cc آب با pH=۷، یک نمونه از گیاه قرار گرفت.

گیاهان پس از قرارگیری در آب به صورت معلق در گلدان قرار گرفته و به تدریج ریشه گیاه با کف گلدان برخورد کرد و در ادامه فرآیند، سوسپانسیون‌ها در چهار غلظت مختلف به گلدان‌های حاوی جوانه گیاه و آب افزوده و تاثیرات آن بر پارامترهای رشد مشاهده شد. همچنین نمونه‌های شاهد بدون افزودن نانوذرات جهت مقایسه با نمونه‌های حاوی سوسپانسیون نیز در نظر گرفته شد.. پس از ۱۰ روز طول ساقه گیاه اندازه گیری شده و میزان رشد نمونه‌ها محاسبه و نسبت به رشد نمونه‌های شاهد ثبت شد (شکل۱).



شکل ۱- نمونه خشک و تر گیاه آبزی ۱۰روز پس از جوانه زنی.

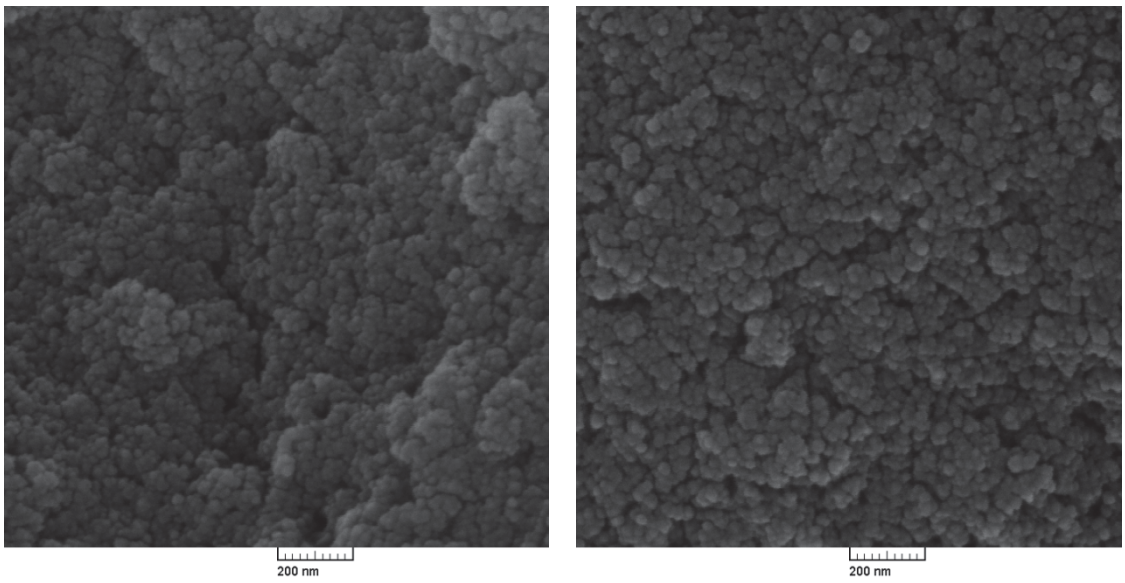
پس از این مرحله با خارج کردن گیاهان از آب رشد گیاه متوقف شده و وزن گیاه نیز اندازه‌گیری شد. میزان ارتفاع گلدان‌ها در این پژوهش پارامتر مهمی در رشد گیاه به شمار می‌رود، چرا که گیاه در صورت خروج از آب و رشد ساقه دچار خشک‌شدگی در قسمت بالایی می‌شود. این پژوهش ۳ مرتبه مشابه مراحل فوق تکرار شد تا میزان خطای حاصل به حداقل برسد.

۳-۳-نتایج وبحث

در شکل ۲ تصویر SEM نمونه‌های C1 و C2 نشان داده شده است. با استفاده از نتایج شکل ۲ و در نظر گرفتن ۵۰ ذره برای هر نمونه، میانگین اندازه ذرات نمونه C1 و C2 به ترتیب برابر ۲۴/۷ و ۱۸/۴ nm به دست آمد. دلیل کاهش اندازه ذرات با افزایش pH به افزایش تجمع آنیون‌های -OH بر سطح جوانه‌ها و ذرات اولیه مگنتیت برمی‌گردد. دافعه الکترواستاتیکی ناشی از بارهای

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1399.4.64.2.6]

سطحی همنام مانع تجمع و به هم پیوستن جوانه‌ها و ذرات ریز اولیه شده و منجر به کاهش میانگین اندازه نانوذرات مگنتیت می‌شود که با مکانیزم جوانه زنی و رشد مطابق واکنش (۱) تولید می‌شوند. نتیجه مشابهی پیش از این توسط این گروه پژوهشی گزارش شده است [۳۰].



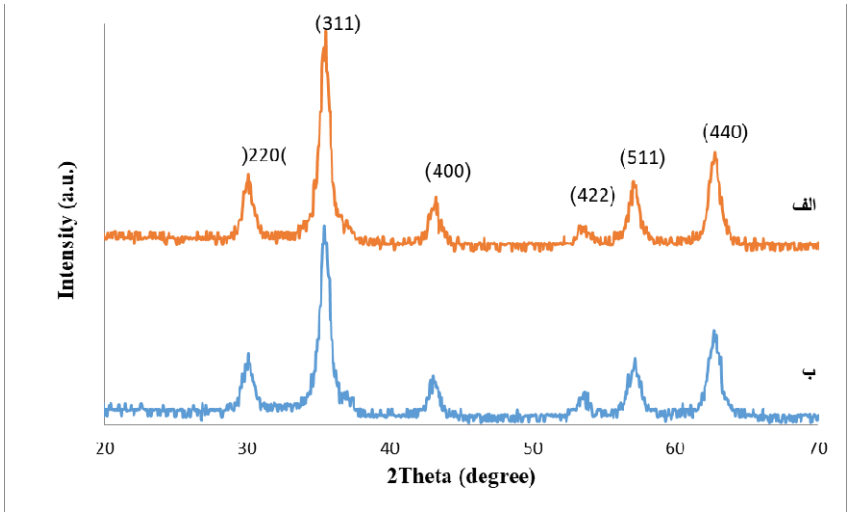
ب الف

شکل ۲- تصویر SEM الف) نمونه C1 و ب) نمونه C2 به ترتیب با میانگین اندازه ذرات ۲۴/۷ و ۱۸/۴ نانومتر.

نمودار XRD نمونه C1 و C2 در شکل ۳ نشان داده شده است. پیک‌ها و اندیس‌های میلر مشخص شده مربوط به صفحات بلوری ساختار اسپینل معکوس مگنتیت منطبق با کارت JCPDS شماره 19-0629 و نشانگر تشکیل نانوذرات Fe_3O_4 مطابق واکنش (۱) است. اندازه بلورک‌های نمونه C1 وC2 با استفاده از رابطه شرر[1] محاسبه شد:

$$t = 0.9\lambda/\beta Cos\theta_B \quad (2)$$

که t اندازه بلورک، λ طول موج اشعه X، β عرض پیک اصلی در نصف شدت بیشینه و θ_B زاویه براگ است. با در نظر گرفتن پیک اصلی (311) و λ = 1.5406 Å، اندازه بلورک محاسبه و در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۳- طرح XRD الف) نمونه C1 و ب) نمونه C2.

[1] Scherrer equation

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1399.4.64.2.6]

جدول ۱- اندازه بلورک و میانگین اندازه ذرات نمونه های C1 و C2

نمونه	β (degree)	2θB (degree) برای صفحه (۳۱۱)	tXRD(nm) اندازه بلورک	dSEM(nm) میانگین اندازه ذرات
C1	0.72	35.52	11.6	24.7
C2	0.96	35.54	8.7	18.4

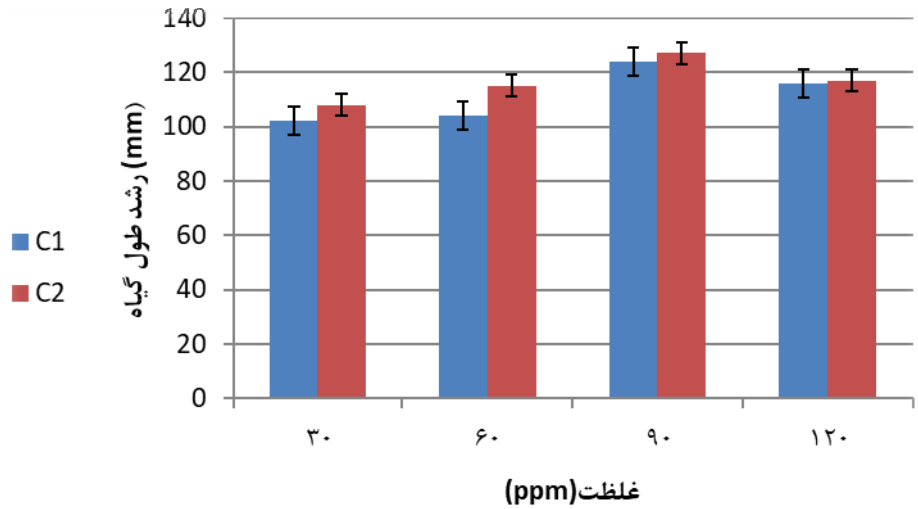
سوسپانسیون نانوذرات نمونه C1 و C2 با pH خنثی و غلظت‌های ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ppm به گلدان‌های حاوی آب و جوانه‌های گیاه آبزی افزوده شد. پس از ۱۰ روز طول ساقه و وزن گیاه اندازه‌گیری و ثبت شد (شکل ۴).



شکل ۴- مقایسه رشد ساقه نمونه در غلظت های ۳۰ تا ۱۲۰ppm نانوذرات نمونه C2.

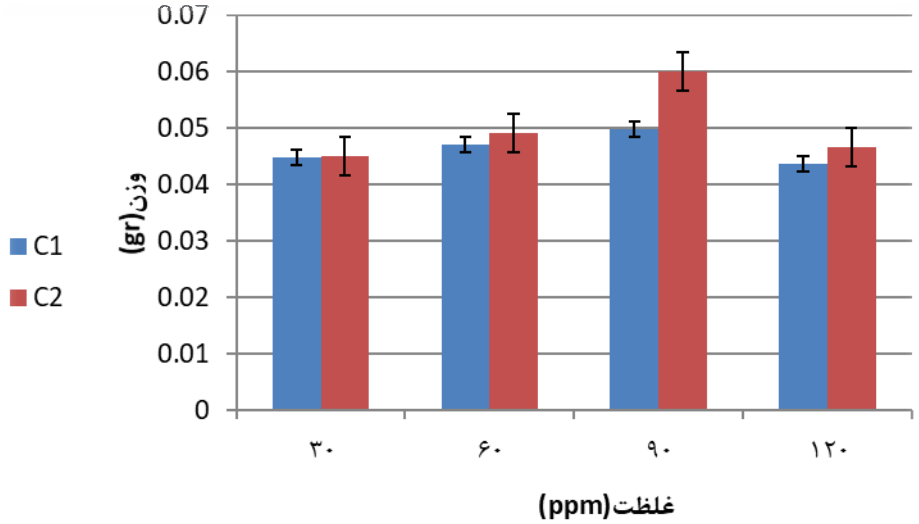
در شکل۴ مشاهده می‌شود که با افزایش غلظت نانوذرات نمونه C2 از ۳۰ تا ۹۰ppm طول گیاه با رشد صعودی روبه رو بوده و در غلظت ppm ۱۲۰ رشد ساقه گیاه کاهش یافته است که احتمالا به دلیل آسیب رسیدن به غشاء پلاسما و دیواره سلول گیاه در غلظت بالا بوده است. در غلظت پایین سطح تماس نانوذرات با خاک و بافت گیاه و دسترسی گیاه به ریزمغذی‌ها افزایش یافته و عبور نانوذرات از دیواره سلول ریشه گیاه آبزی راحت‌تر شده است.

شکل ۵ و ۶ نمودار تغییرات وزن بر حسب غلظت و رشد طول گیاه بر حسب غلظت را در pHهای ۱۱ و ۱۱/۵ نشان می‌دهند.



شکل ۵- تغییرات طول گیاه آبزی با غلظت نانوذرات نمونه C1 و C2.

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1399.4.64.2.6]



شکل ۶-تغییرات وزن گیاه آبزی با غلظت نانوذرات نمونه C1 و C2.

نتایج شکل ۵ و ۶ نشانگر آن است که طول ساقه و وزن گیاه در معرض نانوذرات نمونه C2 رشد بیشتری نسبت نمونه C1 دارد. نانوذرات نمونه C2 میانگین اندازه ذرات کمتری نسبت به نمونه C1 دارند (۱۸/۴ nm نسبت به ۲۴/۷ nm). بنابراین سطح تماس بیشتری با غشاء سلول‌های ساقه و ریشه گیاه و کانال‌های انتقال آب ایجاد می‌کنند. این اثر به نوبه خود باعث فراهم شدن ریزمغذی‌های بیشتر و افزایش اثرات مثبت ROS و نهایتا افزایش نرخ رشد گیاه می‌شود. با افزایش غلظت نانوذرات به دلیل اثرات پیش‌گفته وزن و طول گیاه افزایش بیشتری نشان می‌دهد. این روند افزایشی رشد طول گیاه و وزن با افزایش غلظت تنها تا غلظت ۹۰ppm ادامه داشته و در غلظت ۱۲۰ppm به دلیل احتمالی آسیب رسیدن به غشاء پلاسما و دیواره سلولی، کاهش رشد طول گیاه و وزن مشاهده می‌شود. اثر اخیر به خوبی در هماهنگی با داده‌های پژوهش‌های پیشین است که کاهش جوانه زنی و رشد در غلظت‌های بالای نانوذرات را نشان می‌دهد [۱-۴، ۲۸].

۴- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر نانوذرات مگنتیت به روش همرسوبی تولید شدند. نتایج XRD و SEM نشانگر تشکیل نانوذرات Fe_3O_4 با میانگین اندازه حدود ۱۸ تا ۲۴ نانومتر است. با افزایش pH، میانگین اندازه ذرات به دلیل دافعه الکترواستاتیکی بارهای همنام ناشی از افزایش غلظت آنیون هیدروکسید در سطح جوانه‌ها و نانوذرات اولیه کاهش یافت. افزایش وزن و طول ساقه گیاه علف مویی که نشانگر افزایش رشد گیاه است، با کاهش میانگین اندازه نانوذرات اکسید آهن در محیط آبی بیشتر شده که به دلیل افزایش سطح تماس نانوذرات با سلول‌های ریشه و ساقه گیاه و فراهم آوردن مسیرهای بهتر انتقال آب و ریزمغذی‌های مورد نیاز برای رشد گیاه است. با افزایش غلظت نانوذرات تا ۹۰ ppm به دلیل افزایش اثرات مثبت پیش گفته رشد گیاه افزایش یافت. در غلظت ۱۲۰ ppm به دلیل آسیب رسیدن به سلول‌های گیاهی و اثرات منفی ROS، رشد گیاه علف مویی کاهش یافت. به طور کلی نتایج پژوهش حاضر نشان داد نانوذرات مگنتیت در غلظت‌های پایین باعث افزایش رشد گیاه علف مویی شده‌اند و با کاهش اندازه ذرات این اثر مثبت تشدید می‌شود.

مراجع

[1] V. Ghormade, M.V. Deshpande, K.M. Paknikar, "Perspectives for nano-biotechnology enabled protection and nutrition of plants" Biotechnology advances 29 (2011) 792-803.

[2] A. Rastogi et al., "Impact of metal and metal oxide nanoparticles on plant: a critical review" Frontiers in chemistry 5 (2017) 78-86.

[3] S. Asli, Neumann P.M., "Colloidal suspensions of clay or titanium dioxide nanoparticles can inhibit leaf growth and transpiration via physical effects on root water transport" Plant, cell & environment 32 (2009) 577-584.

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1399.4.64.2.6]

[4] R. Raliya et al., "Mechanistic evaluation of translocation and physiological impact of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles on the tomato (Solanum lycopersicum L.) plant" Metallomics 7 (2015) 1584-1594.

[5] A. Besson-Bard et al., "Nitric oxide contributes to cadmium toxicity in Arabidopsis by promoting cadmium accumulation in roots and by up-regulating genes related to iron uptake" Plant Physiology 149 (2009) 1302-1315.

[6] N. Singh et al., "Potential toxicity of superparamagnetic iron oxide nanoparticles (SPION)" Nano reviews 1 (2010) 5358-5369.

[7] S.M. Kraemer, "Iron oxide dissolution and solubility in the presence of siderophores", Aquatic sciences 66 (2004) 3-18.

[8] I. Bhatt, B.N. Tripathi, "Interaction of engineered nanoparticles with various components of the environment and possible strategies for their risk assessment", Chemosphere 82 (2011) 308-317.

[9] S.J. Klaine et al., "Nanomaterials in the environment: behavior, fate, bioavailability, and effects", Environmental toxicology and chemistry 27 (2008) 1825-1851.

[10] J.R. Peralta-Videa et al., "Nanomaterials and the environment: a review for the biennium 2008–2010", Journal of hazardous materials 186 (2011) 1-15.

[11] F. Aslani et al., "Effects of engineered nanomaterials on plants growth: an overview" The Scientific World Journal 2014 (2014) 1-28.

[12] W. Liu et al., "Arsenic sequestration in iron plaque, its accumulation and speciation in mature riceplants (Oryza sativa L.)" Environmental Science & Technology 40 (2006) 5730-5736.

[13] X. Chen et al., "Photosynthetic toxicity and oxidative damage induced by nano-Fe3O4 on Chlorella vulgaris in aquatic environment" Open Journal of Ecology 2 (2012) 21-28.

[14] Y. Ma et al., "Effects of rare earth oxide nanoparticles on root elongation of plants" Chemosphere 78 (2010) 273-279.

[15] A.C. Pandey, S. S. Sanjay, R. S. Yadav, "Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of Cicer arietinum" Journal of Experimental nanoscience 5 (2010) 488-497.

[16] A. Oukarroum et al., "Inhibitory effects of silver nanoparticles in two green algae, Chlorella vulgaris and Dunaliella tertiolecta", Ecotoxicology and environmental safety 78 (2012) 80-85.

[17] J. Ji, Z. Long, D. Lin, "Toxicity of oxide nanoparticles to the green algae Chlorella sp." Chemical Engineering Journal 170 (2011) 525-530.

[18] C. Wei et al., "Effects of silica nanoparticles on growth and photosynthetic pigment contents of Scenedesmus obliquus" Journal of Environmental Sciences 22 (2010) 155-160.

[19] R. Liang et al., "Enhanced degradation of persistent pharmaceuticals found in wastewater treatment effluents using TiO2 nanobelt photocatalysts" Journal of nanoparticle research 15 (2013) 1990-1998.

[20] T. Perreault, "What kind of governance for what kind of equity? Towards a theorization of justice in water governance" Water International 32 (2014) 233-245.

[21] Y.A. Wali, H.A. Okbi, R.A. Abri, "A comparison of two transfusion regimens in the perioperative management of children with sickle cell disease undergoing adenotonsillectomy" Pediatric hematology and oncology 20 (2003) 7-13.

[22] D. He, J.J. Dorantes-Aranda, T.D. Waite, "Silver Nanoparticle-Algae Interactions: Oxidative Dissolution, Reactive Oxygen Species Generation and Synergistic Toxic Effects" Environmental science & technology 46 (2012) 8731-8738.

[23] A.A. Hazani et al., "Ecotoxicity of Ag-nanoparticles on two microalgae, Chlorella vulgaris and Dunaliella tertiolecta" Archives of Biological Sciences 65 (2013) 1447-1457.

[24] E. Navarroet al., "Toxicity of silver nanoparticles to Chlamydomonas reinhardtii" Environmental science & technology 42 (2008) 8959-8964.

[25] A.J. Miaoet al., "The algal toxicity of silver engineered nanoparticles and detoxification by exopolymeric substances" Environmental pollution 157 (2009) 3034-3041.

[26] L.R. Khot et al., "Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection: a review" Crop protection 35 (2012) 64-70.

[27] A. Servin, et al., "A review of the use of engineered nanomaterials to suppress plant disease and enhance crop yield" Journal of Nanoparticle Research 17 (2015) 92-101.

[28] J. Yang, W. Cao, Y. Rui, "Interactions between nanoparticles and plants: phytotoxicity and defense mechanisms" Journal of plant interactions 12 (2017) 158-169.

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1399.4.64.2.6]

[29] M. Khodakovskayaet al., "Carbon nanotubes are able to penetrate plant seed coat and dramatically affect seed germination and plant growth" ACS nano 3 (2009) 3221-3227.

[30] R. Ahmadiet al., "Ultrasonic-assisted synthesis of magnetite based MRI contrast agent using cysteine as the biocapping coating" Materials Chemistry and Physics 131 (2011) 170-177.

[31] I. Nkurikiymfura, Y. Wang, B. Safari, E. Nshingabigwi, "Temprature-dependent magnetic properties of magnetite nanoparticles synthesized via coprecipitation method" Journal of Alloys and compounds 846 (2020) 156344.

[۳۲] اثنی عشری ح. و عربی ه.، سنتز نانوذرات مغناطیسی اکسید آهن به روش همرسوبی و بررسی تاثیر نسبت غلظت مواد واکنش دهنده بر اندازه و خواص مغناطیسی ذرات، مجله علم و مهندسی سرامیک، سال ۲، شماره ۱ ص ۷۷-۸۴ بهار ۱۳۹۲.

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1399.4.64.2.6]