مجله بوم شناسی آبزیان

Journal homepage: http://jae.hormozgan.ac.ir

بررسی سنجه‌های رشد و رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاه چنگال‌آبی (*Ceratophyllum demersum*) در رویارویی با نانوذرات نقره

محمّد بهزادی طایمه[۱]، مونا تبرّک[۱]، حمید سالاری‌جو[۱]، طیّبه نعمتی[۲]، سیّد علی جوهری[۲*]

[۱] گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس

[۲] گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۹۸/۰۷/۰۲
اصلاح: ۹۸/۰۸/۰۹
پذیرش: ۹۸/۰۹/۰۲

کلمات کلیدی:
سنجه‌های رشد
کلروفیل
گیاه چنگال‌آبی
نانوسم‌شناسی
نانونقره

چکیده

هدف از این مطالعه بررسی تأثیر نانوذرات نقره بر سنجه‌های رشد و محتوای رنگدانه‌های گیاه چنگال‌آبی بود. از این رو آزمون سم‌شناسی در غلظت‌های مختلف نانوذرات نقره (۰، ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۵، ۰/۰۲۵، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۵) طی یک دوره ۱۴ روزه در محیط کشت نیم هوگلند انجام شد. نتایج حاصل بیانگر این بود که با افزایش غلظت نانو ذرات نقره، سنجه‌های رشد گیاه چنگال‌آبی به طور معنی‌داری کاهش می‌یابند. همچنین محتوای کلروفیل‌های a و b و کلروفیل کل در گیاه چنگال‌آبی در رویارویی با غلظت‌های مختلف نانوذرات نقره پاسخی زنگوله‌ای نشان داد؛ به بیان دیگر، محتوای کلروفیل به طور معنی‌داری در غلظت‌های بالا و پایین به ترتیب کاهش و افزایش یافت ($p<0/05$). نتایج این آزمایش بیانگر اثرات سمی نانوذرات نقره بر سنجه‌های رشد و محتوای کلروفیل گیاه چنگال‌آبی است. بنابراین، با توجه به این که رهایش نانوذرات نقره در بوم‌سازگان‌های آبی می‌تواند وضعیت سلامتی و حیات آبزیان را با خطر روبه‌رو کند، احتیاط بیشتر در زمینه مدیریت پسماندهای محتوی نانو ذرات نقره ضروری می‌باشد.

مقدمــه

فناوری نانو به مطالعه و به کارگیری مواد در ابعاد نانومتری اطلاق می‌گردد و معمولاً منظور از نانو مواد در این فناوری، مـوادی است که حداقل دارای یک بعد در مقیاس کمتر از ۱۰۰ تا ۱ نانومتر می‌باشند. نانو مواد به دلیل نسبت بالای سطح بـه حجـم و دارا بودن ۴۰ تا ۵۰ درصد اتم‌ها در سطح خود، واکنش‌پذیری بالایی دارند و در مقایسه با ذرات بـزرگ‌تـر از خـود و همچنـین مواد شیمیایی مشابه، دارای ویژگی‌های متفاوت فیزیکی، شیمیایی و زیسـتی مـی‌باشـند (Pacheco-Torgal *et al*., 2012). در سال‌های اخیر نانوفناوری در ایران و کشورهای مختلف جهان وارد زمینه‌های گوناگون علمی و صنعتی شده است که هر یک از این زمینه‌ها به سرعت رو به رشد می‌باشند. حوزه‌های ورود و کاربرد نانو مواد در صنعت شامل خودروسازی، مصالح ساختمانی، الکترونیک، مهندسی مواد، صنایع غذایی، پزشکی، منسوجات، وسایل آرایشی، انرژی، وسایل خانگی و ورزشی می‌باشد (Chan, 2009). بیشترین نانو موادی که در صنعت تولید و به مصرف می‌رسند شامل نـانو ذرات نقـره، نـانو لولـه‌هـای کربنـی، اکسـید تیتانیوم، سیلیکا، روی و طلا می‌باشند (Xing *et al*., 2016). با توسعه روزافزون بـه کـارگیری فنـاوری نـانو در علـوم مختلـف،

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: a.johari@uok.ac.ir

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1398.9.3.8.1]

نگرانی‌های زیادی در رابطه با پتانسیل خطرات نانو مواد برای سلامتی انسان و محیط‌زیست به وجود آمده است و به تازگی توجه زیادی به مباحث ایمنی در فرآیندهای تولید، مصرف و رهایش نانو مواد معطوف گشته است (Johari *et al*., 2020).
نانو ذرات نقره به دلیل دارا بودن ویژگی‌های ضد میکروبی بالا، در سالیان اخیر به میزان قابل توجهی تولید شده‌اند؛ به طوری که Keller و همکاران (۲۰۱۳) رهایش سالیانه نانو ذرات نقره به بوم‌سازگان‌های آبی را ۶۳ تن در سال برآورده کرده‌اند. در مطالعات متعدد نشان داده شده است که ترکیبات نقره به‌ویژه یون نقره، به دلیل ویژگی‌های شیمیایی خاص خود و سادگی ورود از طریق کانال‌ها و انتقال‌دهنده‌های یونی موجود در دیواره سلولی، تمایل بالایی جهت انباشت زیستی و ایجاد سمیت در موجودات زنده از خود نشان می‌دهند (Poulose and Prabhu, 2012). بنابراین با توجه به تولید و مصرف بالای نانو ذرات نقره و رهایش آن‌ها به بوم‌سازگان آبی، این احتمال وجود دارد که مخاطراتی برای آبزیان ایجاد نمایند (Levard *et al*., 2012).
گیاه *Ceratophyllum* یا چنگال‌آبی با نام رایج دُم‌راکونی متعلق به خانواده Ceratophyllaceae از گیاهان آبزی غوطه‌ور رایج و فرصت‌طلب در آب‌های راکد غنی از مواد غذایی محسوب می‌گردد (Xu *et al*., 2019). این گیاه در مناطق کم‌عمق، گل‌آلود و در شدت نورهای کم می‌روید و همچنین از گیاهان آبزی مهم و غالب در رودخانه‌ها و کانال‌های ایران است (Asadi *et al*., 2018).
با وجود توسعه روزافزون استفاده از نانو ذرات نقره در صنایع مختلف و رهایش قابل توجه این نانو ماده به بوم‌سازگان‌های آبی، مطالعات کمی در رابطه با تأثیر این ماده‌ی نانو ساختار، بر گیاهان آبزی انجام شده است. اما با وجود مطالعات کم انجام شده در این خصوص، احتمال ایجاد سمیت توسط نانو ذرات در گیاهان آبزی تا حدودی ثابت شده است. به عنوان مثال Ostroumov و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی تأثیر نانو ذرات طلا بر گیاه چنگال‌آبی پرداختند و سمیت بالای نانو ذرات طلا در این گیاه را نشان دادند. در مطالعه دیگری Aravind و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که رویارویی گیاه چنگال‌آبی با کادمیوم از طریق ایجاد تداخل در تولید رنگدانه‌ها موجب ایجاد سمیت در این گیاه می‌شود. در مطالعه حاضر نیز به منظور تکمیل مطالعات انجام شده و همچنین با توجه به عدم بررسی تأثیر نانو ذرات نقره بر گیاه چنگال‌آبی، به بررسی اثر این نانو ماده‌ی پرمصرف بر سنجه‌های رشد و میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی این گیاه پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های نانو ذرات نقره

کلوئید نانو ذرات نقره با نام تجاری Nanocid L2000 از شرکت نانو نصب پارس خریداری شد. بر اساس اطلاعات شرکت تولیدکننده، این سوسپانسیون حاوی غلظت اسمی ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات نقره می‌باشد که به منظور پایداری بیشتر، از پوشش سیترات در اطراف نانو ذرات استفاده شده است. غلظت حقیقی نقره در سوسپانسیون خریداری شده با استفاده از دستگاه ICP-OES (3410 ARL, Switzerland) به میزان ۳۹۸۰ میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری شده است (Joo *et al*., 2013). علاوه بر این، به منظور اندازه‌گیری سهم نقره یونی در سوسپانسیون نانو ذرات نقره، ۱۵ میلی‌لیتر از این سوسپانسیون با استفاده از لوله‌های سانتریفیوژ فیلتردار (Amicon® Ultra centrifugal filters) ساخت شرکت مرک آلمان به مدت یک ساعت با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد و نهایتاً غلظت نقره در مایع جداسازی شده با استفاده از دستگاه جذب اتمی (PerkinElmer Analyst Model AA800) بررسی گردید. بررسی پتانسیل زتا و قطر هیدرودینامیکی نانو ذرات نقره به روش پراکندگی نور دینامیکی (DLS) و با استفاده از دستگاه Malvern Zetasizer انجام شد. همچنین به منظور بررسی شکل و اندازه نانو ذرات، از میکروسکوپ الکترونی عبوری TEM (Carl Zeiss AG - Zeiss EM900) استفاده شد. جذب نوری نانو ذرات نقره نیز با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Perkin Elmer Lambda 25 UV/VIS) اندازه‌گیری شد.

آزمون سم‌شناسی

در این مطالعه آزمون‌های سم‌شناسی بر روی گیاه چنگال‌آبی با استفاده از استاندارد شماره ۲۳۸ سازمان همکاری و توسعه‌ی اقتصادی انجام گردید (OECD, 2014). گیاهان مورد استفاده در این آزمایش از شاخه‌های اصلی رودخانه‌ی سیروان در

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]
[DOR: 20.1001.1.23222751.1398.9.3.8.1]

محدوده بالادست روستای پالنگان در استان کردستان جمع‌آوری گردیده بود و به مدت بیش از دو سال در آزمایشگاه نانوزیست‌فناوری آبزیان دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کردستان، نگهداری شده بود. برای شروع آزمون‌های سم‌شناسی با استفاده از این گیاه، از بخش‌های قدامی آن قطعاتی با طول اولیه ۵ سانتی‌متر جدا گردید و در حضور غلظت‌های مختلف نانو ذرات نقره شامل ۰، ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۵، ۰/۰۲۵، ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر طی یک دوره ۱۴ روزه در بشرهای یک لیتری حاوی محیط کشت نیم هوگلند (Hoagland and Arnon, 1950) و تحت ۱۶ ساعت تابش نور فلورسنت (ترکیب ۳ لامپ آفتابی و ۳ لامپ؛ ۷۰۰۰ لوکس) در قفسه‌های نوری کشت داده شد. هر غلظت در سه تکرار بررسی شد و در طی دوره رویارویی دمای محیط کشت ۱±۲۴ درجه سانتی‌گراد بود و بر مبنای استاندارد OECD، هر سه روز یک‌بار تعویض محیط کشت انجام می‌شد. مقدار pH محیط کشت توسط محلول ۰/۰۲ مولار NaOH و HCl روی ۶/۵ تنظیم شد.

بررسی سنجه‌های رشد

نمونه‌برداری از گیاهان رویارویی داده شده با غلظت‌های مختلف نانو ذرات نقـره در انتهـای دوره ۱۴ روزه آزمـایش انجـام شـد. سپس سنجه‌های رشد طولی (رابطه ۱)، رشد وزنی (رابطه ۲)، درصد نرخ رشد ویـژه (رابطـه ۳) و نـرخ بازدارنـدگی (رابطـه ۴) برای غلظت‌های مختلف مطابق با استاندارد شماره OECD ۲۳۸ محاسبه گردید.

طول اولیه – طول ثانویه = رشد طولی **رابطه ۱**

وزن اولیه – وزن ثانویه = رشد وزنی **رابطه ۲**

رابطه ۳

۱۰۰×(دوره پرورش به روز / (وزن ثانویه Ln × وزن اولیهLn)) = درصد نرخ رشد ویژه

رابطه ۴

میانگین رشد در تیمار شاهد / (میانگین رشد در تیمار نانو نقره- میانگین رشد در تیمار شاهد) = نرخ بازدارندگی

بررسی غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی

جهت سنجش غلظت کلروفیل‌های a، b و کلروفیل کل از روش آرنون استفاده گردید (Mishra *et al*., 2008؛ Arnon, 1949). بدین منظور حدود ۵۰۰ میلی‌گرم از نمونه گیاه به کمک نیتروژن مایع کاملاً خرد شد، سپس ۲۰ میلی‌لیتر استون به نمونه اضافه شد و با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه و به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. میزان جذب محلول حاصل از سانتریفیوژ با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر قرائت گردید. در نهایت غلظت رنگدانه‌ها با استفاده از رابطه‌های ۵، ۶ و ۷ محاسبه گردید.

رابطه ۵

کلروفیل a = [(۱۱/۶۴ × ۶۴۵ میزان جذب در) – (۲/۱۶ × ۶۴۵ میزان جذب در)] × V / ۱۰۰ W

رابطه ۶

کلروفیل b = [(۲۰/۹۷ × ۶۴۵ میزان جذب در) – (۳/۹۴ × ۶۶۳ میزان جذب در)] × V / ۱۰۰ W

رابطه ۷

کلروفیل کل = کلروفیل a + کلروفیلb

منظور از V و W در این روابط به ترتیب حجم محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ و وزن تر نمونه بر حسب گرم می‌باشد.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1398.9.3.8.1]

آزمون آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. برای سنجش نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و برای تعیین سطح معنی‌داری اختلاف تیمارها از آزمون واریانس یک طرفه (One-way ANOVA) و آزمون Duncan در سطح معناداری ۵ درصد ($p<۰/۰۵$) استفاده شد.

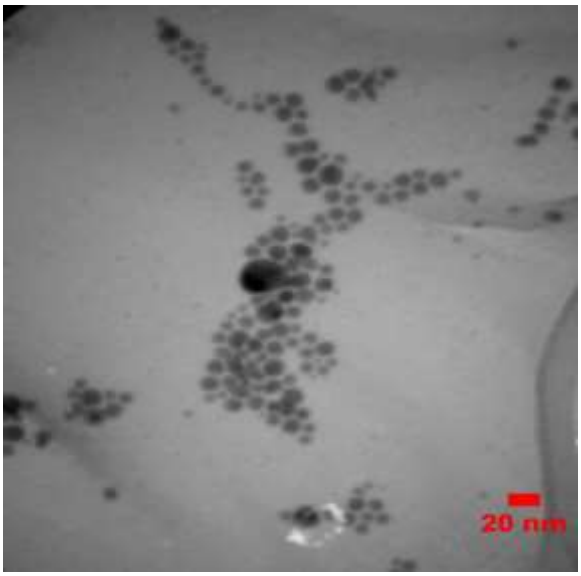
نتایج

ویژگی‌های نانوذرات نقره

تصاویر به دست آمده از میکروسکوپ الکترونی عبوری نشان داد که نانو ذرات نقره استفاده شده در پژوهش حاضر دارای شکل کروی (شکل ۱) بوده و بیش از ۹۷ درصد آن‌ها اندازه‌ای کمتر از ۱۰۰ نانومتر دارند. همچنین نتایج آزمون DLS نشان داد که این نانو ذرات دارای میانگین قطر هیدرودینامیکی ۳۳/۶۷ نانومتر (شکل ۲) و پتانسیل زتای ۷/۸۶ ± ۵۳/۳۳- میلی‌ولت می‌باشند. از طرفی ۶/۰۳ درصد نقره‌ی موجود در استوک استفاده شده به صورت نقره‌ی یونی بود (۲۴۰ میلی‌گرم در لیتر یون نقره + ۳۷۴۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات نقره). علاوه بر این حداکثر جذب نوری نانو ذرات نقره در طول موج ۴۱۵ نانومتر (شکل ۳) مشاهده گردید.

تأثیر نانوذرات نقره بر سنجه‌های رشد

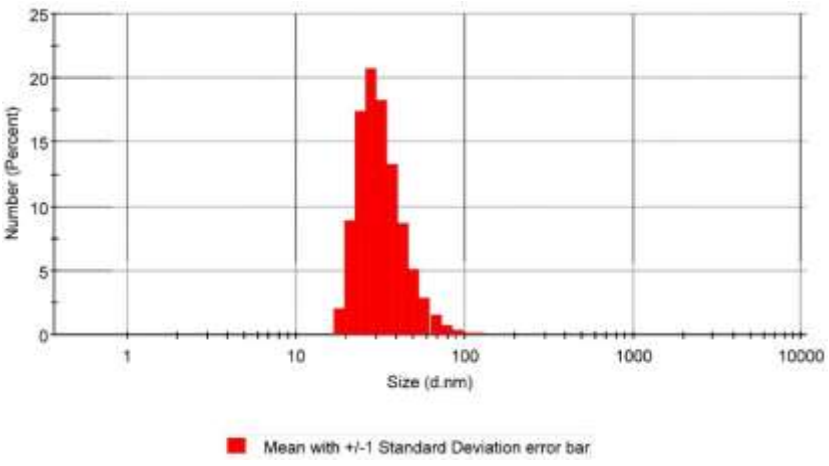
نتایج حاصل از اثر غلظت‌های مختلف نانو ذرات نقره بر میزان رشد طولی و وزنی گیاه چنگال‌آبی به ترتیب در شکل‌های شماره ۴ و ۵ نشان داده شده است. یافته‌ها نشان داد که این گیاه در رویارویی با غلظت‌های مختلف نانو ذرات نقره، کاهش رشد طولی وابسته به غلظت داشته است؛ به‌طوری‌که نانو ذرات نقره در غلظت‌های ۰/۰۵ و ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب منجر به کاهش رشدی معادل ۷۰ و ۹۴ درصد در مقایسه با گروه شاهد در گیاه مذکور شد. همچنین رشد وزنی گیاه چنگال‌آبی در غلظت‌های ۰/۰۲۵ و ۰/۰۵ میلی‌گرم به ترتیب کاهشی معادل ۴۵ و ۶۵ درصد در مقایسه با گیاه شاهد نشان داد. این در حالی است که در رویارویی با غلظت ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات نقره، به دلیل ریزش شدید برگ‌های گیاه، رشد وزنی منفی در مقایسه با گیاه شاهد مشاهده شد.



شکل ۱. تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) نانو ذرات نقره مورد استفاده.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1398.9.3.8.1]

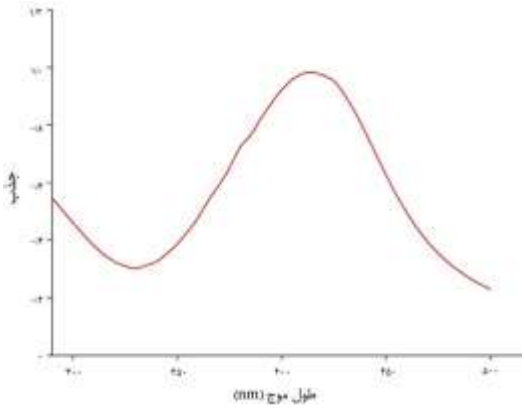


شکل ۲. توزیع میانگین قطر هیدرودینامیک نانو ذرات نقره مورد استفاده بر اساس آزمون DLS.

درصد نرخ رشد ویژه طولی و وزنی گیاه چنگال‌آبی در پاسخ به غلظت‌های مختلف نانو ذرات نقره در شکل ۶ نشان داده شده است. به‌طور کلی افزایش غلظت نانو ذرات نقره باعث کاهش درصد نرخ رشد ویژه طولی و وزنی این گیاه شده و در غلظت‌های بالا نرخ رشد ویژه به صفر رسیده است. با این تفاوت که نانو ذرات نقره نرخ رشد ویژه طول را در غلظت ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر و نرخ رشد ویژه وزن را در غلظت ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر به صفر رساندند. علاوه بر این، نانو ذرات نقره با افزایش غلظت باعث افزایش درصد کاهش محصول و نرخ بازدارندگی در تولید محصول شدند (شکل ۷)؛ به بیان دیگر نانو ذرات نقره در غلظت ۰/۰۵ درصد کاهش محصول و نرخ بازدارندگی را به ترتیب حدود ۷۰ درصد و ۶۵ درصد افزایش دادند و همچنین در غلظت‌های ۰/۱ و ۰/۵ به میزان ۱۰۰ درصد در مقایسه با گروه شاهد باعث بازدارندگی در تولید محصول شدند ($p<۰/۰۵$).

تأثیر نانوذرات نقره بر رنگدانه‌های فتوسنتزی

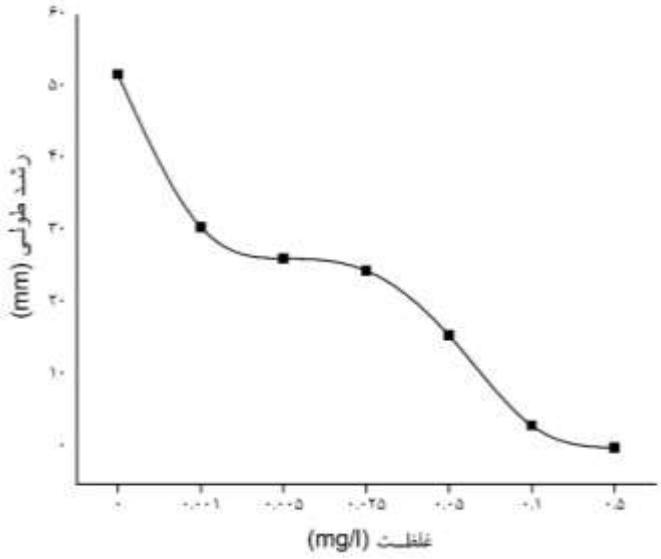
به‌طورکلی رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاه چنگال‌آبی در رویارویی با غلظت‌های مختلف نانو ذرات نقره پاسخی زنگوله‌ای نشان دادند. میزان کلروفیل a در پاسخ به غلظت ۰/۰۰۱ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات نقره در مقایسه با گروه شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۸؛ $p<۰/۰۵$). این در حالی است که در این غلظت میزان کلروفیل b (شکل ۹) و کلروفیل کل (شکل ۱۰) تغییر معنی‌داری نسبت به گروه شاهد از خود نشان ندادند ($p>۰/۰۵$). از طرفی میزان کلروفیل‌های a و b و کلروفیل کل گیاه چنگال‌آبی در پاسخ به غلظت‌های ۰/۰۰۵ و ۰/۰۲۵ نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($p<۰/۰۵$). علاوه بر این در غلظت‌های ۰/۰۵ و ۰/۱ هر سه رنگدانه کلروفیل‌های a و b و کلروفیل کل بار دیگر به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند ($p<۰/۰۵$).



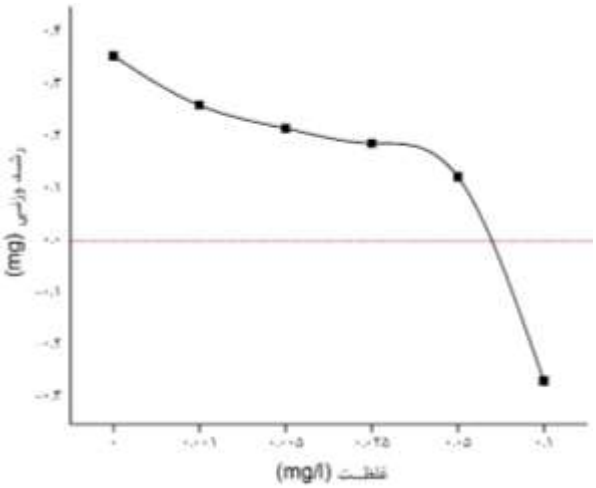
شکل ۳. جذب نوری نانو ذرات نقره مورد استفاده در محدوده ۳۰۰ تا ۵۰۰ نانومتر.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

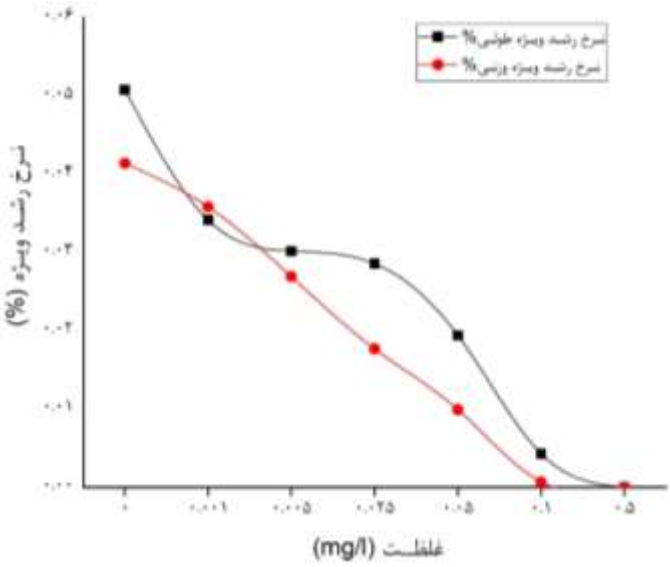
[DOR: 20.1001.1.23222751.1398.9.3.8.1]



شکل ۴. اثر غلظت‌های مختلف نانوذرات نقره بر رشد طولی گیاه چنگال‌آبی (*Ceratophyllum demersum*).

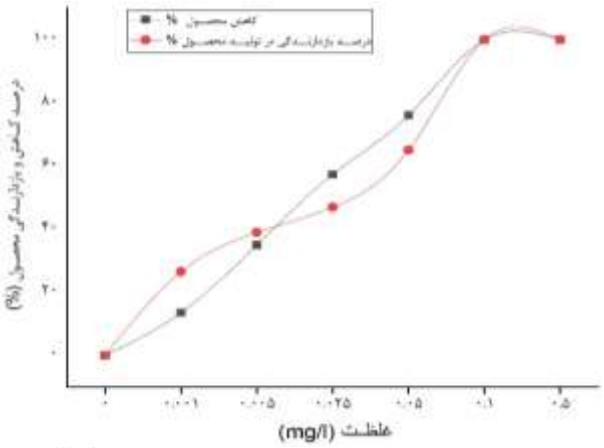


شکل ۵. اثر غلظت‌های مختلف نانو ذرات نقره بر رشد وزنی گیاه چنگال‌آبی (*Ceratophyllum demersum*).

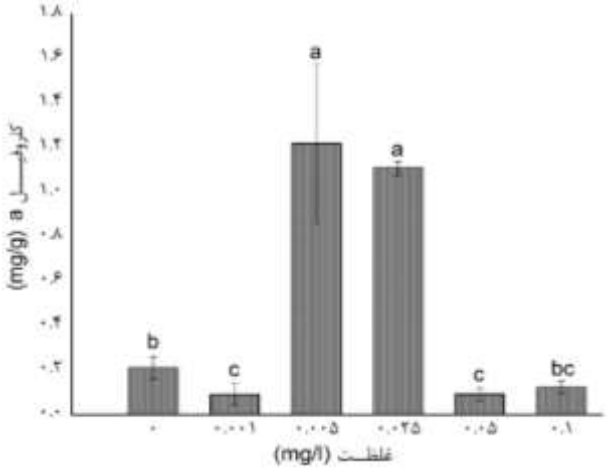


شکل ۶. درصد نرخ رشد ویژه طولی و وزنی گیاه چنگال‌آبی (*Ceratophyllum demersum*) در رویارویی با غلظت‌های مختلف نانوذرات نقره.

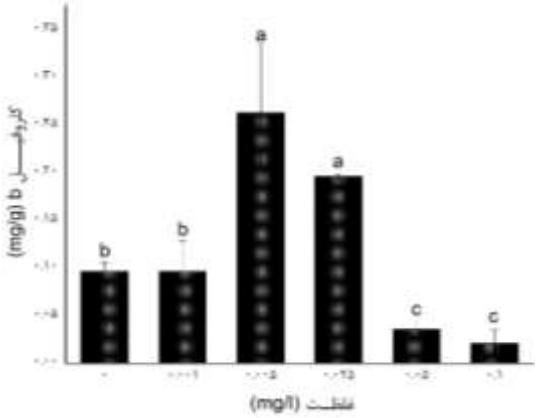
[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]
[DOR: 20.1001.1.23222751.1398.9.3.8.1]



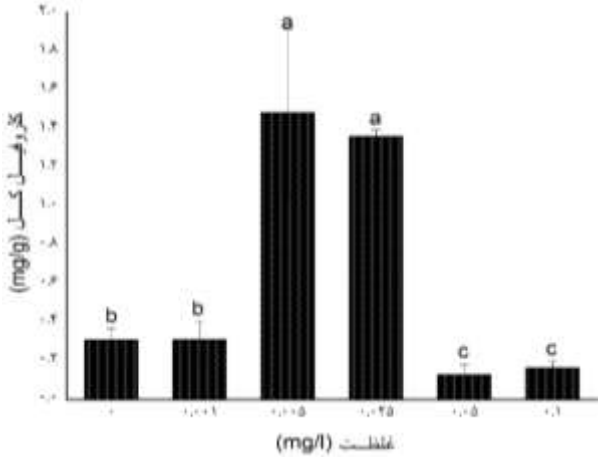
شکل ۷. درصد کاهش و بازدارندگی رشد وزنی گیاه چنگال‌آبی (*Ceratophyllum demersum*) پس از چهارده روز رویارویی با نانو ذرات نقره.



شکل ۸. تغییرات کلروفیل a در گیاه چنگال‌آبی (*Ceratophyllum demersum*) پس از چهارده روز رویارویی با غلظت‌های مختلف نانوذرات نقره.



شکل ۹. تغییرات کلروفیل b در گیاه چنگال‌آبی (*Ceratophyllum demersum*) پس از چهارده روز رویارویی با غلظت‌های مختلف نانوذرات نقره.



شکل ۱۰. تغییرات کلروفیل کل در گیاه چنگال‌آبی (*Ceratophyllum demersum*) پس از چهارده روز رویارویی با غلظت‌های مختلف نانو ذرات نقره.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1398.9.3.8.1]

بحث

در مطالعه حاضر تأثیر نانو ذرات نقره در یک دوره چهارده روزه بر سنجه‌های رشد و رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاه چنگال‌آبی بررسی شد. به‌طور کلی با افزایش غلظت نانو ذرات نقره، سنجه‌های رشد در گیاه چنگال‌آبی کاهش یافتند. این یافته‌ها با مطالعات زیادی در خصوص تأثیر آلاینده‌های مختلف بر گیاهان آبزی هم‌خوانی داشته و تأثیر سمی فلزات سنگین بر گیاهان آبزی را تصدیق می‌کند (Markich *et al*., 2006؛ Intrchom *et al*., 2018). در این راستا Lam و همکاران (۱۹۹۹) در مطالعه‌ای سمیت مس و کادمیوم (به صورت تلفیقی و جداگانه) بر ریزجلبک *Chlorella vulgaris* را بررسی کردند. نتایج پژوهش مذکور نشان داد که در غلظت‌های پایین، اثر سمیت تلفیقی مس و کادمیوم بر سنجه‌های رشد این ریزجلبک بیشتر از سمیت جداگانه آن‌ها بوده است. این در حالی است که در غلظت‌های بالا، مس و کادمیوم به تنهایی سمیت بیشتری بر این ریزجلبک داشتند. در مطالعه‌ای دیگر Umebese و Motajo (۲۰۰۸) نشان دادند که فلزات سنگین آلومینیوم، روی و مس طی یک دوره ۱۵ روزه باعث کاهش معنی‌دار سنجه‌های رشد و زی‌توده گیاه چنگال‌آبی می‌شوند. همچنین Xia و همکاران (۲۰۰۴) نیز کاهش سنجه‌های رشد ماکروجلبک *Gracilaria lemaneiformis* را در رویارویی با فلزات سنگین کادمیوم و مس گزارش کردند. به‌طور کلی مطالعه حاضر و مطالعات پیشین بیانگر این هستند که فلزات سنگین اثر بازدارنده بر رشد گیاهان آبزی مختلف دارند.

تغییرات میزان رنگدانه‌ها می‌تواند از مهم‌ترین سنجه‌ها در بررسی وضعیت سلامت گیاهان در رویارویی با آلاینده‌های فلزی باشد (Gupta *et al*., 2013). از این رو مطالعات زیادی در خصوص تأثیر انواع آلاینده بر رنگدانه‌های گیاهان صورت گرفته است (Farago, 2008). در مطالعه حاضر به بررسی تأثیر نانوذرات نقره بر محتوی رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاه چنگال‌آبی پرداخته شد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که نانو ذرات نقره در غلظت‌های بالا باعث کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاه چنگال‌آبی می‌شوند که این یافته‌ها با مطالعات زیادی هم‌خوانی دارند (Umebese and Motajo, 2008؛ Mishra *et al*., 2014 ؛ Ha and Pflugmacher, 2013). در همین رابطه Xu و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی تأثیر فلز نقره بر محتوای کلروفیل گیاه آبزی *Potamogeton crispus* پرداختند که نتایج این مطالعه نشان داد محتوای کلروفیل گیاه مذکور در رویارویی با نقره به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا می‌کند. در مطالعه دیگری Andresen و همکاران (۲۰۱۳) به تأثیر سمیت نیکل و کادمیوم (به صورت تلفیقی و جداگانه) بر محتوای کلروفیل گیاه چنگال‌آبی پرداختند که نتایج این مطالعه نیز نشان داد که سمیت تلفیقی نیکل و کادمیوم نسبت به حالت جداگانه بیشتر بوده و به میزان زیادی باعث کاهش محتوای کلروفیل در گیاه چنگال‌آبی می‌شوند. همچنین Hou و همکاران (۲۰۰۷) در مطالعه‌ای سمیت کادمیوم و مس را بر میزان رنگدانه‌های گیاه عدسک آبی (*Lemna minor*) مقایسه کردند و نشان دادند که به طور کلی هر دو فلز کادمیوم و مس باعث کاهش محتوای کلروفیل در گیاه عدسک آبی می‌شوند؛ این در حالی است که کادمیوم در مقایسه با مس به میزان بیشتری محتوای کلروفیل گیاه مذکور را کاهش داده است. به‌طور کلی کاهش میزان کلروفیل می‌تواند یک پاسخ سلولی در برابر شرایط نامناسب محیطی باشد یا به عبارت دیگر گیاه برای سازگاری با شرایط نامناسب این پاسخ را از خود نشان می‌دهد. در این راستا مطالعات نشان داده‌اند که سلول‌های گیاهی در پاسخ به رویارویی با نانو ذرات نقره با تجزیه رنگدانه‌های خود میزان دسترسی به نیتروژن مورد نیاز خود را جهت سازگاری با تنش ایجاد شده افزایش می‌دهند (Tayemeh *et al*., 2020). همچنین نویسندگان این مطالعه بیان کردند که نانو ذرات نقره می‌توانند باعث آسیب به کلروپلاست سلول و همچنین تداخل در زنجیره انتقال الکترون آن شوند.

به‌طور کلی در مطالعات پیشین نشان داده شده است که محتوای کلروفیل گیاهان، بسته به نوع آلاینده پاسخ‌های متفاوتی نشان می‌دهد. به عنوان مثال نتایج مطالعه Xia و همکاران (۲۰۰۴) نشان داد که محتوای کلروفیل ماکروجلبک *Gracilaria lemaneiformis* در رویارویی با کادمیوم به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد، اما محتوای کلروفیل این ماکروجلبک در رویارویی با مس تغییری نشان نمی‌دهد. علاوه بر این، نتایج مطالعه Umebese و Motajo (۲۰۰۸) نشان داد که محتوای کلروفیل گیاه چنگال‌آبی پس از رویارویی شش روزه با آلومینیوم به طور معنی‌داری در مقایسه با گروه شاهد افزایش یافته است که یافته‌های به دست آمده در پژوهش حاضر نیز با توجه به افزایش محتوای کلروفیل در رویارویی با غلظت‌های ۰/۰۰۵ و ۰/۰۲۵ نانو ذرات نقره، با یافته‌های آن مطالعه همخوانی دارد. البته در خصوص افزایش محتوای کلروفیل گیاه چنگال‌آبی در رویارویی با نانوذرات

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1398.9.3.8.1]

نقره، به دلیل کمبود اطلاعات در مورد سمیت نانوذرات نقره بر میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی در گیاهان آبزی، نمی‌توان با قطعیت نظر داد و نیاز به مطالعات بیشتر در این رابطه احساس می‌شود.

در مجموع با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش در خصوص اثرات سمی نانوذرات نقره بر سنجه‌های رشد و محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاه چنگال‌آبی و همچنین یافته‌های مطالعات پیشین، می‌توان نتیجه گرفت که نانو ذرات نقره از آلاینده‌های دارای پتانسیل خطر برای آبزیان محسوب می‌شوند. از طرفی به منظور تکمیل اطلاعات در این رابطه، مطالعات بیشتر در مورد سمیت نانوذرات نقره بر دیگر گیاهان آبزی، به‌ویژه تأثیرات آن بر محتوای رنگدانه‌های گیاهان آبزی ضروری به نظر می‌رسد. به طور کلی جمع‌بندی مطالعه حاضر حاکی از آن است که با توجه به پتانسیل سمیت نانوذرات نقره در آبزیان، باید به منظور حفظ سلامت بوم‌سازگان‌های آبی، میزان رهایش این نانوذرات بیشتر کنترل گردد.

تشکر و قدردانی

هزینه انجام این تحقیق از محل پژوهانه شماره GRC97-06503-1، واگذار شده توسط معاونت محترم پژوهشی دانشگاه کردستان به نویسنده مسئول مقاله تأمین گردیده است.

منابـع

Asadi, S.E., Imanpoure Namin, J., Ramezanpoure, Z. 2018. Purification potential of aquatic plant *Ceratophyllum demersum* as a biofilter in recirculating aquaculture system and its effect on growth parameters and survival rate of Cichlid fishes. Journal of Aquaculture Development. 12: 1-9.

Aravind, P., Prasad, M.N.V. 2004. Zinc protects chloroplasts and associated photochemical functions in cadmium exposed *Ceratophyllum demersum* L., a freshwater macrophyte. Plant Science. 166: 1321-1327.

Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in beta vulgaris. Plant Physiology. 24: 1-16.

Andresen, E., Opitz, J., Thomas, G., Stärk, H.J., Dienemann, H., Jenemann, K., Dickinson, B.C., Küpper, H. 2013. Effects of Cd & Ni toxicity to *Ceratophyllum demersum* under environmentally relevant conditions in soft & hard water including a German lake. Aquatic Toxicology. 142: 387-402.

Chan, W.C.W. 2009. Bio-applications of nanoparticles. Springer Science & Business Media. 620 p.

Farago, M.E. 2008. Plants and the chemical elements: biochemistry, uptake, tolerance and toxicity. John Wiley & Sons.

Gupta, D.K., Francisco, J.C., José, M.P. 2013. Heavy metal stress in plants. Springer. 242 p.

Ha, M.H., Pflugmacher, S. 2013. Time-dependent alterations in growth, photosynthetic pigments and enzymatic defense systems of submerged *Ceratophyllum demersum* during exposure to the cyanobacterial neurotoxin anatoxin-A. Aquatic Toxicology. 138: 26-34.

Hoagland, D.R., Arnon, I.D. 1950. The water-culture method for growing plants without soil. Circular. California Agricultural Experiment Station. 347 p.

Hou, W., Chen, X., Song, G., Wang, Q., Chang, C.C. 2007. Effects of copper and cadmium on heavy metal polluted waterbody restoration by duckweed (*Lemna minor*). Plant Physiology and Biochemistry. 45: 62-69.

Intrchom, W., Thakkar, M., Hamilton, R.F., Holian, A., Mitra, S. 2018. Effect of carbon nanotube-metal hybrid particle exposure to freshwater algae *Chlamydomonas reinhardtii*." Scientific Reports. 8: 15301.

Johari, S.A., Sarkheil, M., Asghari, S., Haghighat, F., Dekani, L., Keyvanshokooh, S. 2020. Comparative toxicity of nanoparticulate and ionic copper following dietary exposure to common carp (*Cyprinus carpio*). Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology. 229: 108680. https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2019.108680 .

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1398.9.3.8.1]

Joo, H.S., Kalbassi, M.R., Yu, I.J., Lee, J.H., Johari, S.A. 2013. Bioaccumulation of silver nanoparticles in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): influence of concentration and salinity. Aquatic Toxicology. 140-141: 398-406.

Keller, A.A., McFerran, S., Lazareva, A., Suh, S. 2013. Global life cycle releases of engineered nanomaterials. Journal of Nanoparticle Research. 15: 1692. https://doi.org/10.1007/s11051-013-1692-4

Lam, P.K.S., Wut, P.F., Chan, A.C.W., Wu, R.S.S. 1999. Individual and combined effects of cadmium and copper on the growth response of *Chlorella vulgaris*. Environmental Toxicology. 14: 347-353.

Levard, C., Hotze, E.M., Lowry, G.V., Brown, Jr, G.E. 2012. Environmental transformations of silver nanoparticles: impact on stability and toxicity. Environmental Science & Technology. 46: 6900-6914.

Markich, S.J., King, A.R., Wilson, S.P. 2006. Non-effect of water hardness on the accumulation and toxicity of copper in a freshwater macrophyte (*Ceratophyllum demersum*): how useful are hardness-modified copper guidelines for protecting freshwater biota?. Chemosphere. 65: 1791-1800.

Mishra, S., Srivastava, S., Tripathi, R.D., Dwivedi, S., Shukla, M.K. 2008. Response of antioxidant enzymes in coontail *(Ceratophyllum demersum* l.) plants under cadmium stress. Environmental Toxicology. 23: 294-301.

Mishra, S., Stärk, H.J., Küpper, H. 2014. A different sequence of events than previously reported leads to arsenic-induced damage in *Ceratophyllum demersum L*. Metallomics. 6: 444-454.

Ostroumov, S.A., Poklonov, V.A., Kotelevtsev, S.V., Orlov, S.N. 2014. Toxicity of gold nanoparticles for plants in experimental aquatic system. Moscow University Biological Sciences Bulletin. 69: 108-112.

Pacheco-Torgal, F., Jalali, S., Fucic, A. 2012. Toxicity of Building Materials. 1st edition. Elsevier. 512 p.

Prabhu, S., Poulose, E.K. 2012. Silver nanoparticles: mechanism of antimicrobial action, synthesis, medical applications, and toxicity effects. International Nano Letters. 2: 32. https://doi.org/10.1007/ s11051-013-1692-4.

Tayemeh, M.B., Esmailbeigi, M., Shirdel, I., Joo, H.S., Johari, S.A., Banan, A., Nourani, H., Mashhadi, H., Jami, M.J., Tabarrok, M. 2020. Perturbation of fatty acid composition, pigments, and growth indices of Chlorella vulgaris in response to silver ions and nanoparticles: A new holistic understanding of hidden ecotoxicological aspect of pollutants. Chemosphere. 238: 124576. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere. 2019.124576.

Umebese, C.E., Motajo, A.F. 2008. Accumulation, tolerance and impact of aluminium, copper and zinc on growth and nitrate reductase activity of *Ceratophyllum demersum* (Hornwort). Journal of Environmental Biology. 29: 197-200.

Xing, B., Vecitis, C.D., Senesi, N. 2016. Engineered nanoparticles and the environment: biophysicochemical processes and toxicity. John Wiley & Sons. 484 p.

Xia, J.R., Li, Y.J., Lu, J., Chen, B. 2004. Effects of copper and cadmium on growth, photosynthesis, and pigment content in *Gracilaria lemaneiformis*. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 73: 979-986.

Xu, P., Xiao, E., Wu, J., He, F., Zhang, Y., Wu, Z. 2019. Enhanced nitrate reduction in water by a combined bio-electrochemical system of microbial fuel cells and submerged aquatic plant *Ceratophyllum demersum*. Journal of Environmental Sciences. 78: 338-351.

Xu, Q.S., Hu, J.Z., Xie, K.B., Yang, H.Y., Du, K.H., Shi, G.X. 2010. Accumulation and Acute Toxicity of Silver in *Potamogeton crispus L*. Journal of Hazardous Materials. 173: 186-193.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1398.9.3.8.1]