Archive of SID

محیط زیست طبیعی، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۷۰، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶
صفحات: ۶۷۲-۶۵۹

مقایسهٔ برخی خصوصیات فیزیولوژیکی دو گونهٔ اکالیپتوس و لیلکی تحت تنش نانوذرات سولفید کادمیم

سیما عبدی [۱]، بهمن کیانی [۲*]، اصغر مصلح آرانی [۳]، علی‌بمان جبالی [۴]

۱. دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه یزد
۲. استادیار گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه یزد
۳. دانشیار گروه محیط زیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه یزد
۴. استادیار گروه نانوفناوری پزشکی، دانشکدهٔ پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی یزد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۴/۰۶؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۰۸/۰۳)

چکیده

در این پژوهش پاسخ فیزیولوژیک دو گونهٔ درختی لیلکی و اکالیپتوس تحت تأثیر نانوذرات سولفید کادمیم مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا نهال‌های یک‌ساله از دو گونه در شرایط یکسان تولید شد. طرحی در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه اجرا و نانوذرات سولفید کادمیم با دو غلظت ۲۰ و ۸۰ میلی‌گرم در کنار تیمار شاهد مورد استفاده قرار گرفت. پس از ۳۰ روز نمونه‌های لازم از هردو گیاه برای انجام آزمایشات برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. در آزمایشگاه مقدار پرولین، قندهای محلول، کلروفیل و مالون دی-آلدهید و همچنین مقدار کادمیم جذب شده در ریشه و اندام هوایی برای تمام نهال‌ها مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. برای بررسی اختلافات از آزمون تجزیهٔ واریانس و برای مقایسهٔ میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد. نتایج نشان داد که تجمع نانوذرات در ریشه‌ها به طور کلی بیشتر از اندام هوایی است. همچنین گونهٔ اکالیپتوس مقادیر بیشتری از نانوذرات را جذب نمود. با افزایش مقدار نانوذرات سولفید کادمیم، در مقدار پرولین و قند هر دو گیاه تغییرات معنی‌داری دیده شد اما افزایش مقدار نانوذره اثر معنی‌داری در مقدار مالون دی‌آلدئید نداشت. مقدار کلروفیل با افزایش غلظت نانوذره در گونهٔ لیلکی افزایش و در گونهٔ اکالیپتوس کاهش نشان داد. به‌طورکلی نانوذره سولفید کادمیم در غلظت‌های مورد مطالعه و تحت شرایط آزمایش حاضر، تأثیر منفی زیادی بر گیاه لیلکی نداشته و کاهش مقدار قند و پرولین نیز در این گونه، به احتمال زیاد به دلیل اثر نانوذره در ایجاد تنش خشکی بوده است. در واقع نانوذرات به طور غیرمستقیم باعث کاهش قند و پرولین گیاه شده‌اند. این درحالی است که در گیاه اکالیپتوس افزایش تولید قند و پرولین توسط گیاه به منظور تنظیم اسمزی بوده اگرچه ممکن است در حفاظت گیاه و میزان آنتی اکسیدان نیز نقش داشته باشد.

کلید واژگان: اکالیپتوس، پرولین، قندهای محلول، لیلکی، نانوذرات سولفیدکادمیم

* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۹۸۹۱۳۹۱۴۴۲۵۶+ ایمیل: bnkiani@yazd.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

تخریب و آلودگی محیط زیست توسط جوامع صنعتی یکی از ره‌آوردهای صنعتی شدن اجتماعات بشری است. به طور کلی هر نوع تغییر در ویژگی‌های اجزای تشکیل دهندهٔ محیط به طوری که عملکرد طبیعی و تعادل زیستی آن مختل گردد و به طور مستقیم یا غیرمستقیم منافع و حیات موجودات زنده را به مخاطره بیندازد آلودگی محیط زیست نام دارد (Dabiri, 1996). فعالیت‌های انسانی از قبیل استخراج، خالص‌سازی فلزات، دفع زباله‌های شهری و صنعتی، مهم‌ترین منابع آلودگی فلزات سنگین در محیط زیست هستند (Bacon & Dinev, 2005). در طی این فرایندها، آلاینده‌ها به طور مداوم آلوده‌کننده‌ها را به آب و خاک وارد می‌کنند و به سلامت موجودات زنده آسیب می‌رسانند (Reiwerts & Farago, 1996).

نانوتکنولوژی فناوری نوظهوری است که هم‌زمان با افزایش سهم آن در زندگی و اقتصاد، احتمال دارد مانند هر تکنولوژی دیگری خطراتی را برای محیط زیست و انسان با خود به ارمغان بیاورد. آلودگی نانو یا نانوآلودگی[1]، نامی کلی برای تمامی ضایعات ناشی از نانوابزار و یا فرایندهای ناشی از نانو مواد است. این نوع ضایعات به خاطر اندازه‌شان بسیار خطرناک هستند. آن‌ها می‌توانند وارد هوا شده، به راحتی جذب بدن جانوران و سلول‌های گیاهان شوند و اثرات نامعلومی را به جا گذارند (Moor, 2006). اصولاً به ترکیبی نانو گفته می‌شود که حداقل یک بعد کمتر از ۱۰۰ نانومتر داشته باشد. مواد نانو خواصی مانند هدایت، پایداری و فعالیت فوق‌العاده زیاد دارند که آن‌ها را برای کاربردهای بسیاری مفید می سازد. به طور کلی دو عاملی که نانوذرات را مفید می‌سازد عبارت‌اند از اندازهٔ بسیار ریز که به آن‌ها توانایی عبور از غشاء پوستی و تحرک را می‌دهد و دیگری سطح بسیار بالا که می‌تواند سایر ترکیبات سمی را بر روی خود جذب کند (Rachel's environment health News, 2003).

سولفید کادمیم یک ترکیب شیمیایی با فرمول CdS با فاصلهٔ باند ۲/۴ EV[2] یکی از بیشترین نانوذرات مورد استفاده در صنایع است. این ماده زردرنگ بوده و یک نیمه رسانای برق محسوب می‌شود. سولفید کادمیم از دو پلی‌مورف گرینوکیت[3] شش ضلعی و هاوولیت[4] مکعب تشکیل شده است. این ماده در درجهٔ اول در مقیاس نانو، در ساخت سلول‌های خورشیدی به عنوان یک لایهٔ بافر در ساخت CIGS (مس-ایندیم-گالیم-سلنید) سلول‌های خورشیدی و انواع دستگاه‌های الکترونیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Kardigan, 2008). نانو سولفید کادمیم در دیگر برنامه‌های کاربردی مانند تجزیهٔ فتوشیمیایی، نور ساطع دیودها، مقاومت عکس و اخیراً در حسگرهای زیستی به منظور افزایش حساسیت برای تشخیص DNA هیبریداسیون مورد استفاده قرار می‌گیرد (Majid. 2012).

با توجه به کاربردهای این عنصر در تکنولوژی‌های جدید باید جوانب زیست‌محیطی و خطرات این ماده نیز در نظر گرفته شود؛ زیرا به طور بالقوه یکی از آلاینده‌های مهم زیست‌محیطی بوده که بر تمامی اکوسیستم‌ها اعم از آب، هوا، غذا و گیاهان اثر می‌گذارد. سولفید کادمیم دارای توانایی‌هایی است که باعث ایجاد اثرات سمی فراوانی به صورت آشکار می‌شود. با این وجود روشن است که نانوسولفید کادمیم اثرات بهداشتی جدی را در ایجاد سرطان به دنبال دارد. از عوارض جانبی آن بر انسان می‌توان به تأثیر روی بافت‌هایی مانند کلیه و استخوان اشاره کرد (ECHA, 2015). از اثرات کادمیم و ترکیبات آن بر گیاهان می‌توان به اختلال در تقسیم و رشد سلول‌ها، رشد کلی گیاه، تقسیم سلولی منطقه مریستمی و اختلال در رشد و نمو آن‌ها اشاره کرد (Das *et al*., 1997).

لیلکی (*Gleditsia caspica* Desf.) که از گونه‌های

[1] Nano Pollution
[2] Electronvolt
[3] Greenockite
[4] Hawleyite

www.SID.ir

Archive of SID

مـورد مطالعـه در ایـن تحقیـق اسـت، درختـی از تیـرهٔ Legominosae بـــوده و از مشخصـــات اکولـــوژیکی و جنگل‌شناسی آن می‌توان به نورپسند بودن، رطوبت‌پسـند بودن، طالب خاک‌های سبک و قابل نفوذ، رشد بـه‌صـورت انفرادی یا اجتماعی، تولید پاجوش زیاد، تکثیـر از طریـق بذر و پاجوش و دیرزیستی متوسط آن، اشاره کرد. از ایـن گونه بـرای حفاظـت خـاک و ایجـاد بادشـکن در اراضـی ساحلی، ارزش علوفـه‌ای سرشـاخه‌هـای بـرگ‌دار، گیـاه و میوه و همچنین حصارکشـی بـه دلیـل مقاومـت در برابـر رطوبت استفاده می‌شود. پـراکنش جهـانی ایـن گونـه در ایران و ترکمنستان بوده و در ایران نیز به نواحی دشـتی و دامنه‌ای سواحل دریای خزر از گیلان تـا گرگـان محـدود می‌شود (Mozaffarian, 2005).

گونهٔ *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. نیز یکـی از مهم‌ترین گونـه‌هـای جـنس اکـالیپتوس اسـت کـه در شرایط آب و هوایی مختلف و در نواحی گرمسیری و نیمه گرمسیری رشد مـی‌کنـد (Assareh & Sardabi, 2008). گسترده‌ترین جایگاه طبیعی این گونه در طول سـواحل و جلگـــه‌هـــای ســـیلابی گســـترش یافتـــه رودخانـــهٔ Murray darling در جنـوب غربـی اسـترالیا اسـت و در اغلب نقاط ایران به جز مناطق سردسیر کاشته شده است. این گونه یکی از پرگستره‌ترین گونه‌های درختی است کـه برای کشت و کـار در زمـین‌هـای بیابـانی و نیمـه‌بیابـانی استفاده می‌شود. کشت موفقیت‌آمیز این گونـه بـه عنـوان یک گونهٔ وارداتی و به منظور تولید چـوب در زمـین‌هـای خشک غیر حاصلخیز، به خاطر تحمل به خشکی و دمـای بالا همـراه بـا رشـد سـریع در هنگـام دسترسـی بـه آب، ریشه‌های جذب‌کنندهٔ عمیق، مقاومت به شـرایط غرقـابی دوره‌ای و شـــوری خـــاک و نیـــز توانـــایی تولیـــد شـــاخه‌هـــای جوانـــه‌زاد و چـــوب مناســـب اســـت (Assareh & Sardabi, 2008).

از جمله تحقیقات انجام شده در خصوص اثر نـانوذرات بـر رشـد و فیزیولـوژی گونـه‌هـای چـوبی مـی تـوان بـه تحقیق Ghadiri و همکاران (۲۰۱۴) اشاره کرد که تـأثیر نانو ذرهٔ نقره را روی گونهٔ کاج جنگلی بررسی کردند و بـه این نتیجه رسیدند کـه نـانوذرات نقـره باعـث ایجـاد آثـار منفی حتی در غلظت‌های پـایین بـر روی کیفیـت جوانـه زنی بذور کاج جنگلی در دو محیط آبی و خاکی می‌شـود. همچنـــین در پژوهشـــی توســـط Takallo و همکـــاران (۲۰۱۳) اثـرات نـانوذره دی اکسـید تیتـانیوم بـر صـفات جوانه‌زنی و شاخص‌های سیتوژنتیکی سلول‌هـای درحـال تقسیم گونهٔ جو رقم والفجر بررسی شد و مشخص گردیـد که غلظت‌های مختلـف نـانوذره دی اکسـید تیتـانیوم بـه نسبت شاهد سبب افزایش شاخص انحرافات کروموزومی جو شد. تحقیقات متعدد دیگری نیز در این زمینـه انجـام شده که ازجملـه مـی‌تـوان بـه تحقیـق Gao و همکـاران (۲۰۱۳) در رابطه با تـأثیر دی اکسـید تیتـانیوم در گیـاه نارون و Wang و همکاران (۲۰۱۰) در مورد اثر نانولوله‌ها بر رشد ذرت اشاره نمود.

هدف اصلی این تحقیق، بررسی تأثیر نانوذرات سولفید کادمیم بر برخـی خصوصـیات فیزیولـوژیکی در دو گونـهٔ لیلکی و اکالیپتوس به منظور تعیـین مکانیسـم جـذب یـا پالایش نانوذره در آن‌ها و همچنـین تعیـین گونـهٔ مقـاوم برای کشت در مناطق آلوده به این آلودگی بوده است.

۲. مواد و روش‌ها

۲. ۱.تهیهٔ نهال وآماده‌سازی شرایط آزمایش

پس از تهیهٔ بذور دو گونهٔ لیلکی و اکـالیپتوس، خـاک یکنواخت با بافت یکسان (یک چهـارم قسـمت رس، یـک چهارم قسمت خاک برگ, یک چهارم کود و یـک چهـارم ماسه) تهیه و در گلدان‌ها ریخته شد. بذرها کاشته شده و جهت سبز شدن و تولید نهال در محیط گلخانـهٔ دانشـگاه یزد قرار گرفتند. لازم به ذکر است که بذور لیلکی قبـل از کاشت به مدت دو دقیقـه توسـط اسیدسـولفوریک تیمـار شدند.

www.SID.ir

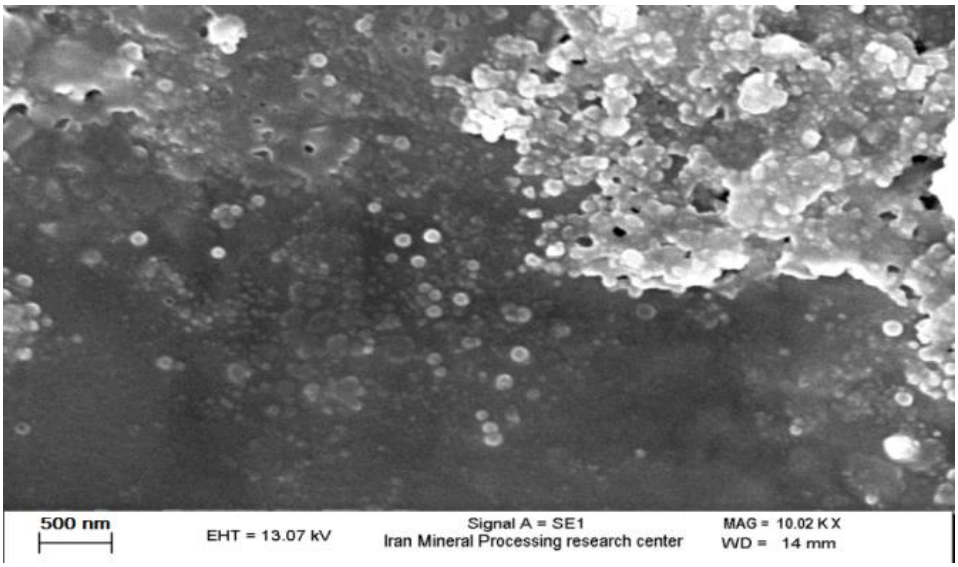
Archive of SID

۲. ۲. سنتز نانو ذرات سولفید کادمیوم

برای سنتز نانو ذرات سولفید کادمیوم، ابتدا نیترات کادمیوم و سولفید سدیم در آب دیونیزه حل گردید و محلول شفافی به‌دست آمد که با استفاده از قیف محلول به درون بالون انتقال یافت. در ادامه محلول نیترات کادمیم به‌صورت قطره قطره با فاصلهٔ زمانی مشخص به آرامی بر روی محلول سولفید سدیم اضافه شد. رسوب‌های به‌دست آمده دو مرتبه با آب دیونیزه شستشو داده شد. در نهایت رسوب به‌دست آمده به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۱۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد خشک و سپس به مدت ۴ ساعت در کوره در دمای ۴۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد خشک گردید. بعد از سنتز نانوذرات، ۱ گرم از آن درون ۱۰ میلی‌لیتر محلول سیترات سدیم یک مولار قرار گرفته و به مدت نیم ساعت در ۳۷ درجهٔ سانتی گراد انکوبه شد. بعد از انکوباسیون، نانوذرات با کمک سانتریفوژ جدا و سپس با آب مقطر شستشو داده شد (Oughton *et al*., 2008).

۲. ۳. آماده‌سازی محلول نانوذرات سولفید کادمیوم

به منظور جلوگیری از کلوخه شدن نانوذرات و ایجاد پایداری آن‌ها روش‌های مختلفی وجود دارد که از جملهٔ آن‌ها استفاده از سورفاکتانت‌ها و قرار دادن محلول در دستگاه اولتراسونیک قابل ذکر است. در این تحقیق از سیترات به عنوان سورفاکتانت استفاده شد. بعد از اعمال سورفاکتانت محلول به مدت بیش از نیم ساعت در دستگاه اولتراسونیک برای تثبیت پایداری و جلوگیری از کلوخه شدن قرار گرفت. جهت اطمینان از تولی نانوذره از تصاویر میکروسکوپ الکترونی استفاده شد. شکل ۱ تصویری از نانوذرات سولفید کادمیوم که با میکروسکوپ الکترونی رویشی گرفته شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود شکل این نانوذرات بیشتر کروی بوده و سایز آن‌ها حدوداً بین ۵۰ تا ۱۰۰ نانومتر است.



شکل۱. تصویر میکروسکوپ الکترونی از نانوذرات سولفید کادمیم

۲. ۴. اعمال تیمار

پس از تهیهٔ تعداد کافی نهال از دو گونه، تعداد ۳۶ اصله نهال همگن از نظر ابعاد برای هر گونه انتخاب و به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار کاشته شدند. در این پژوهش غلظت‌های صفر (شاهد)، ۲۰ و ۸۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسولفید کادمیم از

www.SID.ir

Archive of SID

طریق آبیاری سه روز یک بار به مدت یک ماه اعمال گردید. پس از گذشت این مدت نمونه‌های برگ، اندام هوایی و ریشهٔ هر دو گونه در تیمارهای مختلف برداشت و جهت انجام اندازه‌گیری مشخصات فیزیولوژیکی به آزمایشگاه منتقل شدند.

۲. ۵. اندازه گیری مقدار جذب کادمیم توسط گیاهان

با توجه به تیمارهای مورد نظر، نمونه‌های از دو گیاه مورد مطالعه به آزمایشگاه منتقل گردید و پس از شستشوی آن‌ها توسط آب مقطر نمونه‌ها خشک گردیدند. سپس نمونه‌های خشک شده توسط آسیاب برقی به پودر تبدیل شد. از هر نمونهٔ مورد مطالعه به مقدار یک گرم برداشت شد و در بالن‌های ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته شد. سپس با اضافه کردن اسید نیتریک، به منظور حذف بخارات اسیدی نمونه‌ها تحت حرارت قرار داده شدند. سپس محلول حاصل را از کاغذ صافی عبور داده و محلول را به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. در پایان مقدار کادمیم با استفاده از دستگاه جذب اتمی مورد بررسی قرار گرفت.

۲. ۶. اندازه‌گیری پرولین

به منظور اندازه‌گیری مقدار پرولین، ۰/۵گرم بافت تر برگ هر یک از گونه‌ها در ۱۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک ۳٪ ساییده و مخلوط یکنواختی به‌دست‌آمد. پس از عبور دادن عصاره از کاغذ صافی، دو میلی‌لیتر از محلول حاصله با دو میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین و دو میلی‌لیتر اسید استیک مخلوط و به مدت یک ساعت در دمای ۹۷ درجهٔ سانتی‌گراد داخل دستگاه بن ماری قرار داده شد. پس از این مدت، به منظور اتمام کلیهٔ واکنش‌ها، لوله‌های محتوی محلول به مدت نیم ساعت در حمام یخ قرار داده شدند. پس از بازگشت دمای لوله‌ها به دمای اتاق، چهار میلی‌لیتر تولوئن اضافه و لوله‌ها به خوبی تکان داده شد. با ثابت نگه داشتن لوله‌ها پس از مدتی دو لایهٔ کاملاً مجزا تشکیل شد. از لایهٔ فوقانی که حاوی تولوئن و پرولین بود به منظور اندازه‌گیری غلظت پرولین استفاده گردید. برای این منظور از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ استفاده و مقدار آن محاسبه شد (Bates *et al*., 1973).

۲. ۷ اندازه‌گیری قندهای محلول

به منظور بررسی قندهای محلول، ۱۰ میلی لیتر اتانول ۷۰ درصد به ۰/۱ گرم مادهٔ خشک برگ هر دو گونه اضافه و به مدت یک هفته در یخچال نگهداری شد. پس از گذشت این مدت، یک میلی‌لیتر از محلول رویین برداشته و یک میلی لیتر فنل ۵٪ اضافه کرده و کاملاً به هم زده شد. سپس پنج میلی‌لیتر سولفوریک اسید غلیظ اضافه شد. محلول فوق تا ۱۰ برابر رقیق گردید. پس از گذشت مدت زمان اندک و بازگشت محلول به دمای اتاق، با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر غلظت قندهای محلول در طول موج ۴۸۵ نانومتر قرائت شده و سپس با کمک منحنی استاندارد گلوکز، میزان تغییرات قندها ارزیابی گردید (Kochert, 1975)

۲. ۸. اندازه گیری مالون دی آلدیید

برای اندازه‌گیری میزان مالون دی آلدئید ابتدا ۵۰ سی‌سی آب مقطر به ۰/۵گرم بلور تری‌کلرواستیک اسید اضافه شد. سپس پنج میلی‌لیتر از مادهٔ فوق با ۰/۲۵گرم برگ گیاه ساییده شده مخلوط گردید. مخلوط فوق به مدت پنج دقیقه در دستگاه سانتریفیوژ با دور ۱۰۰۰۰ قرار داده شد. در این مرحله ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر به چهار گرم بلور تری‌کلرواستیک‌اسید اضافه و با ۰/۱ گرم تیوباربیوتیک اسید کاملاً حل شد. در مرحلهٔ بعد ۲/ میلی‌لیتر از محلول فوق با یک میلی‌لیتر از محلول حاوی عصارهٔ برگ سانتریفیوژ شده مخلوط و ۱۵ دقیقه در حمام آب گرم قرار داده و پس از گذشت ۱۵ دقیقه بلافاصله به حمام یخ منتقل گردید. پس از ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ مجدد، مقدار مالون در دو طول ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید (Heath & Packer, 1968).

www.SID.ir

Archive of SID

۲. ۹. اندازه‌گیری کلروفیل

به منظور اندازه‌گیری غلظت کلروفیل و کارتنوئید برگ گونه‌های مورد نظر از روش lichtenthaler (1987) استفاده شد. با تبعیت از این روش، ۰/۲گرم از بافت تر برگ از هر گونه وزن و رنگیزه‌های آن توسط استون ۸۰ درصد استخراج گردید. سپس مخلوط به مدت ۱۵ دقیقه در سانترفیوژ دور ۳۵۰۰ قرار داده شد. سپس در طول موج‌های ۴۷۰،۶۴۶ و ۶۶۳ مقدار کارتنوئید، کلروفیل b و کلروفیل a (برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) به ترتیب قرائت و مقدار کلروفیل کل محاسبه شد.

۲. ۱۰. تجزیه و تحلیل داده‌ها

ابتدا به منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون شاپیرو-ویلک استفاده و در صورت لزوم تبدیل‌های لازم انجام شد. همچنین همگنی واریانس‌ها با آزمون لیون بررسی گردید. برای بررسی معنی‌دار بودن اختلافات از آزمون تجزیهٔ واریانس استفاده شد. جهت مقایسهٔ میانگین‌ها نیز از آزمون‌های دانکن (برای دسته‌بندی) و دانت (برای مقایسه با شاهد) استفاده شد. آنالیزهای آماری با نرم‌افزار SPSS 21 انجام شد. لازم به ذکر است که نهال‌های دو گونهٔ مورد بررسی در تیمارهای شاهد اختلاف زیادی از نظر صفات مورد مطالعه داشتند. به همین خاطر و برای این که امکان مقایسهٔ دو گونه به صورت صحیح فراهم شود، برای هر صفت مقادیر به‌دست آمده در تیمارهای ۲۰ و ۸۰ میلی‌گرم به مقدار تیمار شاهد در همان تکرار تقسیم شده و این کار برای هر گونه جداگانه انجام شد. به این ترتیب اختلافات اولیه خنثی و اعداد به مبنای یکسان برای تجزیه‌وتحلیل بکار برده شد. در واقع در این تحقیق نسبت مقادیر صفات در تیمارها به شاهد همان گونه مورد آنالیز قرار گرفته و تفسیر نتایج نیز بر همین اساس انجام شده است.

۳. نتایج

در بررسی مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داده شد که مقدار جذب کادمیم در گونه‌های اکالیپتوس (۱۵۲/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) دارای اختلاف معنی‌داری با لیلکی (۵۰/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) است. همچنین بخش‌های ریشه و اندام هوایی نیز در این بررسی دارای اختلاف معنی‌داری بودند. مقایسهٔ میانگین مقدار جذب در تیمارهای مختلف نشان داد که تیمارهای ۲۰ و ۸۰ میلی‌گرم دارای اختلاف معنی‌داری با شاهد هستند (جدول ۱).

جدول ۱. نتایج تجزیهٔ واریانس صفات جذب نانوذره

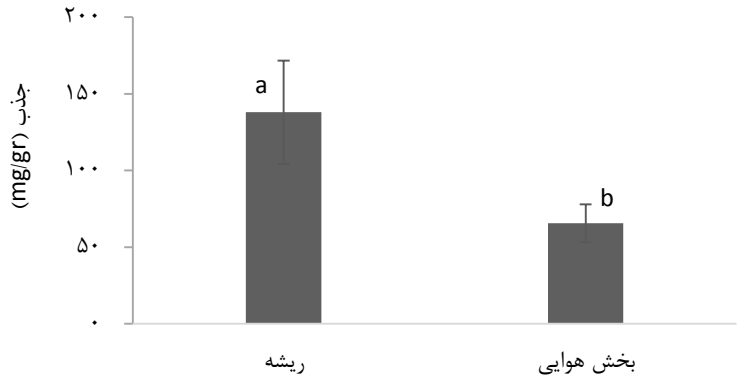
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
گونه	۱	۹۳۳۱۵/۴۸۵**
نانوذره	۲	۶۵۴۴۰/۳۵۶**
بخش	۱	۴۷۱۷۹/۸۲۲**
گونه×نانوذره	۲	۶۸۸۰/۲۳۰Ns
بخش×نانوذره	۲	۱۸۳۲۴/۱۷۸*
بخش×گونه	۱	۱۳۹۶۱/۹۸۳Ns
بخش×گونه×نانوذره	۲	۳۷۱۰/۴۷۷Ns
خطا	۲۴	۴۱۱۳/۴۷۷

*و**: به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد ns: غیر معنی‌دار

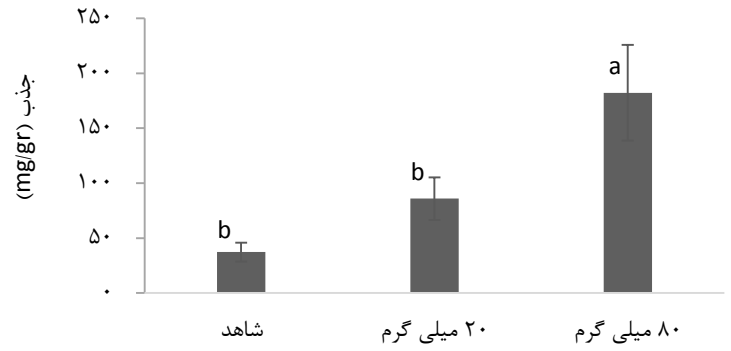
www.SID.ir

Archive of SID

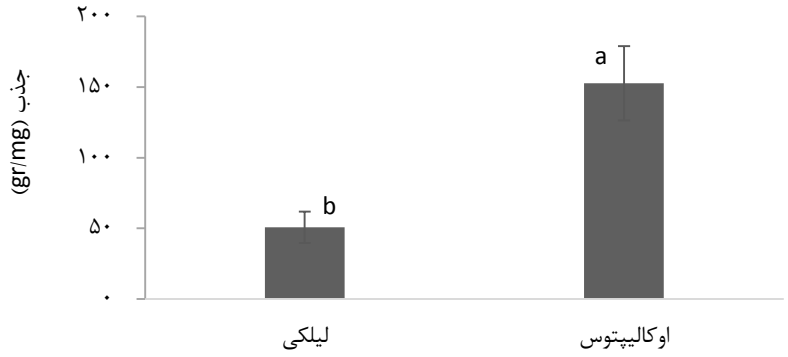
نتایج مقایسهٔ میانگین‌ها برای مقدار جذب نـانوذره در شکل‌های ۲ الی ۴ ارائه شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، تجمع نانوذرات در ریشه بـیش از بخـش هـوایی (ساقه و برگ) بوده است. بیشترین جذب مطابق انتظار در تیمار ۸۰ میلی‌گرم و کمتـرین آن در گـروه شـاهد دیـده شد. همچنین اکالیپتوس در مجمـوع مقـادیر بیشـتری از نانوذرات را نسبت به لیلکی جذب کرد.



شکل۲. مقایسهٔ میانگین مقدار جذب کادمیم در ریشه و بخش هوایی



شکل ۳. مقایسهٔ میانگین مقدار جذب کادمیم در تیمارهای اعمال شده

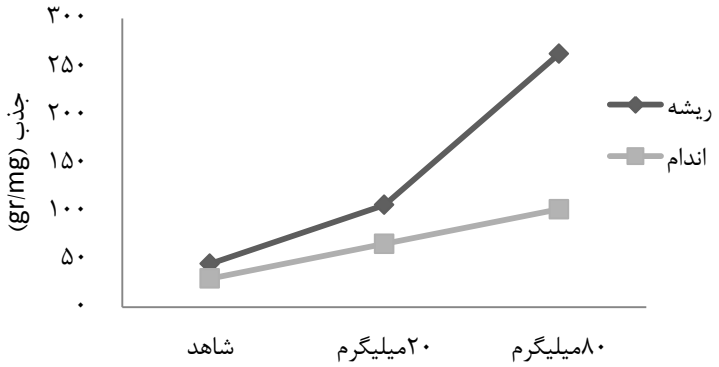


شکل ۴. مقایسهٔ میانگین مقدار جذب کادمیم درگونه‌های مورد مطالعه

www.SID.ir

Archive of SID

نمودار اثرات متقابل انـدام و تیمـار (شـکل ۵) نشـان می‌دهد که اخـتلاف در واکـنش دو بخـش وجـود داشـته به‌طوری‌که با وجود روند مشـابه افـزایش جـذب، واکـنش ریشه در غلظت ۸۰ شدیدتر بوده است.



شکل ۵. نمودار اثر متقابل بخش و تیمار در مقدار جذب

نتایج تجزیهٔ واریانس همچنین نشـان داد کـه از نظـر کلروفیـل کـل دو گونـهٔ مـورد مطالعـه دارای اخـتلاف معنی‌داری هستند اما تیمارهای اعمال شدهٔ نانوذره دارای اختلاف معنی داری با شاهد نیستند. اثر متقابل نیز دارای اختلاف معنی‌داری بود (جدول ۲).

نتایج نشـان داد کـه از نظـر مقـدار پـرولین، اخـتلاف معنی‌داری بین دو گونهٔ اکـالیپتوس و لیلکـی وجـود دارد. همچنـین بـین تیمارهـای نـانوذره و شـاهد اختلافـات معنی‌دار بوده است. اثر متقابل گونه و تیمار نیـز معنـی‌دار بود که نشان می‌دهد دوگونه بـه نحـو متفـاوتی در تولیـد پرولین تحت تنش نانوذره عمل می‌کننـد. از نظـر میـزان قندهای محلول اختلاف معنی‌داری بین دوگونـهٔ لیلکـی و اکالیپتوس و غلظت‌های مختلف نانوذره وجود داشته و اثر متقابل نیز معنی‌دار بود. اما از نظر تولید مـالون‌دی‌آلدئیـد اختلاف معنی‌داری بین دو گونه وجود نداشـت. همچنـین اثر نانوذره و اثر متقابل گونه و نانوذره در سطح پنج درصد معنی‌دار نبود (جدول ۲).

جدول ۲. نتایج تجزیهٔ واریانس صفات پرولین، قند محلول و مالون-دی‌آلدهید

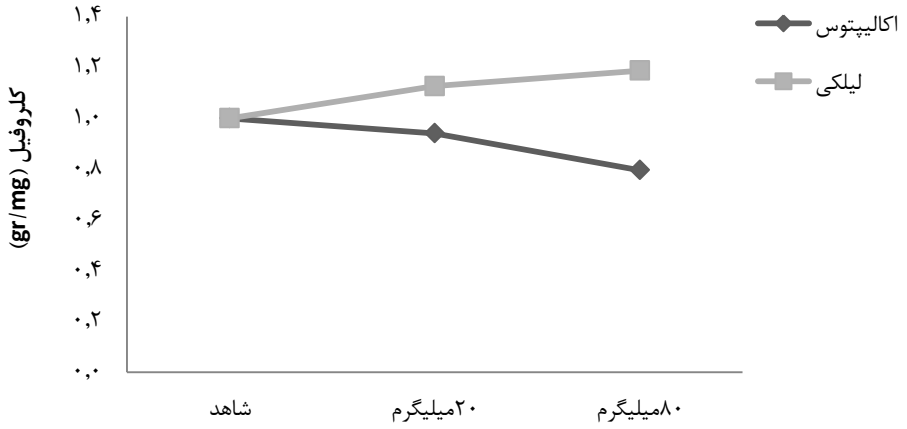
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		کلروفیل	پرولین	قند محلول	مالون دی-آلدهید
بلوک	۲	۰/۰۱۹*	۰/۰۳۱	۰/۰۲۵	۰/۷۲۵
گونه	۱	۰/۱۶۷**	۱/۳۷۳**	۰/۰۰۱ns	۱/۰۵۶ns
نانوذره	۲	۰/۰۰۳ns	۲/۴۱۶**	۰/۱۶۱*	۰/۷۸۱ns
گونه×نانوذره	۲	۰/۰۵۸**	۰/۵۷۵*	۰/۱۹۸**	۰/۲۸۱ns
خطا	۱۰	۰/۰۰۳	۰/۰۸۵	۰/۰۲۵	۰/۲۸۴

*و**: به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد ns: عدم وجود اثر معنی‌دار

www.SID.ir

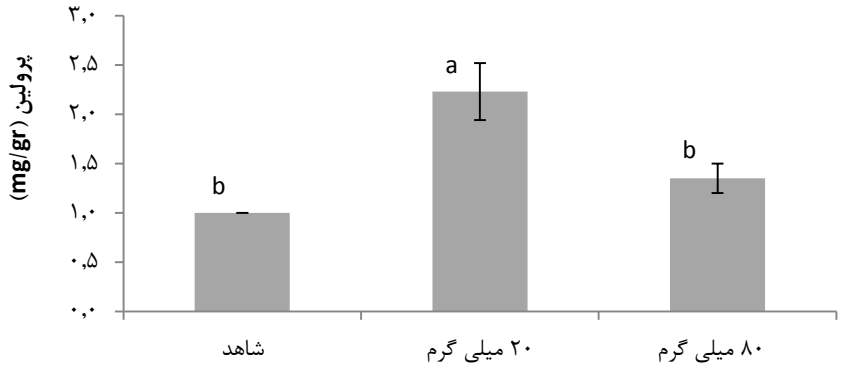
Archive of SID

مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد که کلروفیل کل گونهٔ لیلکی دارای اختلاف معنی‌داری با اکالیپتوس است و لیلکی از اکالیپتوس بالاتر بود. در مقایسهٔ تیمارهای مورد مطالعه با شاهد هیچ یک از تیمارها از نظر کلروفیل کل دارای اختلاف معنی‌داری با شاهد نبودند. در شکل ۶ مشاهده می‌شود که با افزایش غلظت نانوذره در گیاه لیلکی میزان کلروفیل کل افزایش می‌یابد در صورتی‌که این روند در گیاه اکالیپتوس متفاوت است. به‌گونه‌ای که میزان کلروفیل کل در غلظت‌های ۲۰ و ۸۰ میلی‌گرم روند کاهشی را دنبال می‌کند.



شکل ۶. اثر متقابل نانوذره و گونه در کلروفیل کل

مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد که میزان پرولین در گونهٔ لیلکی اختلاف معنی‌داری با اکالیپتوس داشته و از آن بالاتر است. مقایسهٔ تیمارهای نانوذره با شاهد نشان داد که تیمار ۲۰ میلی‌گرم از نظر پرولین اختلاف معنی‌داری با شاهد دارد درحالی‌که اختلاف تیمار ۸۰ میلی‌گرم با شاهد معنی‌دار نبود. همچنین تیمارهای ۲۰ و ۸۰ اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند (شکل ۷).

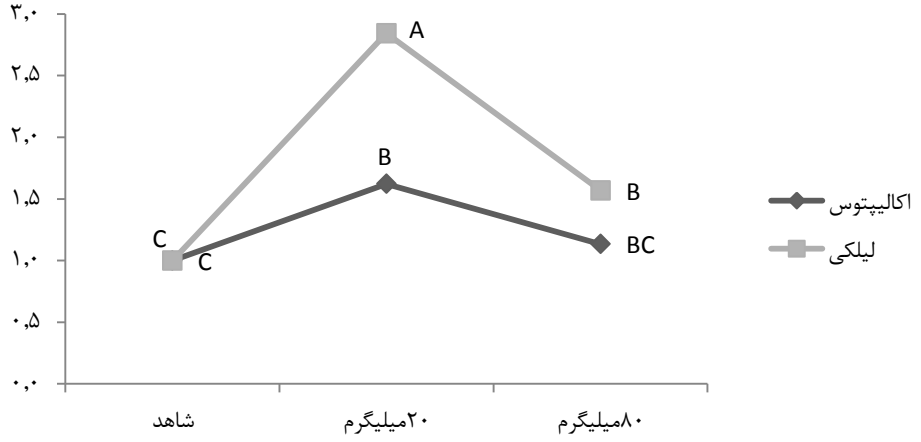


شکل ۷. مقایسهٔ میانگین پرولین تیمارهای مورد مطالعه

www.SID.ir

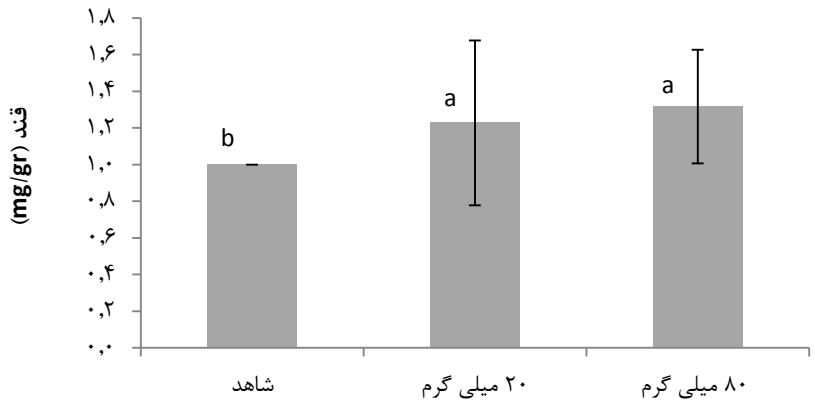
Archive of SID

نمودار اثرات متقابل گونه و نانوذره برای میزان پرولین در شکل ۸ مشاهده می‌شود. آن‌چنان که مشخص است عملکرد دو گونه نسبت به تنش در سطوح مختلف غلظت نانوسولفید کادمیم متفاوت است. لیلکی با افزایش غلظت کادمیم، پرولین را افزایش داده اما در غلظت بالا این افزایش کمتر بوده است. اکالیپتوس در غلظت ۲۰ میلی‌گرم پرولین خیلی کمتری تولید کرده است.



شکل ۸. نمودار اثرات متقابل گونه و نانوذره در تولید پرولین

نتایج نشان داد که میزان قند در گونهٔ اکالیپتوس اختلاف معنی‌داری با لیلکی داشته و کمتر از آن است. در مقایسهٔ تیمارهای نانوذره مشخص شد که تیمار ۲۰ میلی‌گرم اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد دارد. تیمار ۸۰ میلی‌گرم نیز در مقایسه با شاهد دارای اختلاف معنی داری بوده اما دو تیمار ۲۰ و ۸۰ میلی‌گرم اختلافی نداشتند (شکل ۹).

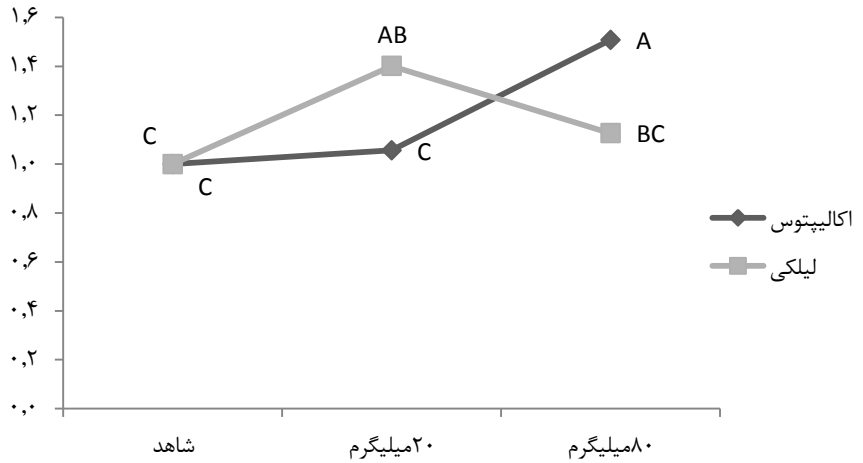


شکل ۹. نمودار مقایسهٔ میانگین قند بین تیمارهای نانوذره

www.SID.ir

Archive of SID

همان‌گونه که در شکل ۱۰ ملاحظه می‌شود واکنش دو گونه در سطح ۸۰ میلی‌گرم کاملاً متفاوت بوده و گونهٔ لیلکی روند کاهشی داشته در صورتی که اکالیپتوس روند افزایشی را دنبال کرده است. همچنین در غلظت ۲۰ میلی‌گرم گونهٔ لیلکی افزایش زیادی نسبت به شاهد داشته درحالی که در اکالیپتوس این افزایش خیلی محسوس نبوده است.



شکل ۱۰. نمودار اثر متقابل گونه و نانوذره در تولید قند محلول (میلی‌گرم بر گرم مادهٔ خشک)

مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد که میزان مالون دی-آلدئید در گونهٔ لیلکی اختلاف معنی‌داری با اکالیپتوس ندارد اگرچه مقدار آن در اکالیپتوس بیشتر بود. مقایسهٔ تیمارهای نانوذره با شاهد نشان داد که هیچ یک از تیمارهای ۲۰ و ۸۰ میلی‌گرم از نظر مالون دی آلدئید دارای اختلاف معنی‌داری نیستند.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش نشان داد که با افزایش غلظت مقدار نانوذرات مقدار انباشتگی این ماده در بخش‌های مختلف هردو گیاه به طور معنی‌داری افزایش یافت. در این بررسی مقدار جذب ریشه در هر دو گونه با وجود تفاوت در روند تغییرات، بیشتر از اندام هوایی بود. همچنین میزان جذب در گونهٔ اکالیپتوس بیشتر از لیلکی بوده است. در تحقیق دیگر که توسط شریعت و همکاران (۱۳۸۹) انجام شد مشخص شد که گیاه اکالیپتوس گیاه مناسبی برای جمع‌کنندگی کادمیم تا مقیاس حداقل ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر است.

در این پژوهش مقدار کلروفیل کل در گیاه اکالیپتوس در غلظت‌های مختلف نانو سولفید کادمیم کاهش یافت. در پژوهشی مشابه که توسط سلطانی و همکاران (۱۳۸۵) بر روی اثر کادمیم در مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی انجام شد، غلظت ۲۰۰ میکرومولار کادمیم اثر چندانی در کلروفیل دیده نشد، اما با افزایش غلظت مقدار کلروفیل نیز کاهش چشم‌گیری را نشان دادند. در پژوهش John و همکاران (۲۰۰۹) نیز در شرایط تحت تنش کادمیم و سرب مقدار کلروفیل به نسبت کاهش یافت که این کاهش کلروفیل به مهار برخی آنزیم‌ها از جمله دهیدراتاز ربط داده شد. ایجاد اختلال در مراحل مختلف سنتز کلروفیل به‌وسیلهٔ فلزات سنگین از دلایل اصلی کاهش محتوای کلروفیل در گیاهان تحت تیمار عناصر سنگین است (Manio *et al*,. 2003).

www.SID.ir

Archive of SID

در این پژوهش میزان کلروفیل در گیاه لیلکی نسبت به شاهد افزایش یافت. نتایج آزمایش Nikolic و همکاران (۲۰۰۸) بر روی هیبریدهای تبریزی نیز نشان داد که افزایش کادیم موجب افزایش کلروفیل b می‌شود. محققین علت این امر را اثر تحریک جذب آهن توسط کادمیم می‌دانند. کادمیم در برخی گونه‌ها و بسته به غلظتی که دارد، ممکن است باعث افزایش میزان جذب آهن در گیاه شده و به سنتز کلروفیل کمک کند.

نتایج تحقیق حاضر بیانگر این بود که در هر دو گونهٔ اکالیپتوس و لیلکی، غلظت‌های ۲۰ و ۸۰ میلی‌گرم نانوذره سولفید کادمیم باعث افزایش تجمع پرولین نسبت به شاهد می‌شوند. البته در غلظت ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر تفاوت با شاهد معنی‌دار نبود. ممکن است دلیل این رفتار را به این صورت توضیح داد که نانوذرهٔ سولفید کادمیم به طور غیر مستقیم تنش خشکی در گیاه ایجاد کرده و گیاه برای تنظیم اسمزی اقدام به تولید پرولین نموده اگرچه ممکن است این ماده در حفاظت گیاه و میزان آنتی اکسیدان نیز نقش داشته باشد. در پژوهشی که توسط John و همکاران (۲۰۰۹) بر روی *Brassica junceae* و به منظور بررسی اثرات کادمیوم انجام شد، مقدار پرولین ابتدا افزایش و سپس در غلظت‌های بالا کاهش یافت که با نتایج تحقیق حاضر شباهت دارد. در تحقیق (Nedjimi and Daud, 2009) نیز مشخص شد که کادمیم باعث افزایش میزان پرولین در گیاه *Atriplex halimus* می‌شود. میزان پرولین در ریشه و ساقهٔ این گیاه با افزایش میزان کادمیم در مواد غذایی به طور معنی‌داری افزایش نشان داد. به طور کلی چهار دلیل برای افزایش تجمع پرولین در حین تنش پیشنهاد شده است که عبارتند از تحریک سنتز آن از اسید گلوتامیک، کاهش صادرات آن از طریق آوند آبکش، جلوگیری از اکسیداسیون آن در طول تنش و تخریب و اختلاف در فرایند پروتئین (Shariat *et al*,. 2010).

در این تحقیق با افزایش غلظت نانوذرهٔ سولفید کادمیم، میزان قندهای محلول در دو گونهٔ لیلکی و اکالیپتوس افزایش یافت. در گونهٔ لیلکی تفاوت معنی‌داری بین غلظت ۲۰ میلی‌گرم و شاهد دیده شد اما در غلظت ۸۰ میلی‌گرم در لیتر با وجود افزایش قندهای محلول به نسبت شاهد، تفاوت معنی‌داری دیده نشد. در پژوهش John و همکاران (۲۰۰۹) که تیمارهای مختلف کادمیم مورد بررسی قرار گرفتند نیز مشخص شد که در غلظت‌های زیر ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر، میزان قندهای محلول ابتدا افزایش یافته ولی در غلظت‌های بالاتر مقدار آن کاهش پیدا می‌کند. علت کاهش در غلظت‌های بالاتر احتمالاً کاهش فتوسنتز و یا تحریک سرعت تنفس باشد (Ahmad *et al*,. 2006). همچنین در گیاه اکالیپتوس با افزایش مقدار غلظت به میزان ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر افزایش معنی‌داری دیده نشد اما با افزایش به غلظت ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر افزایش معنی‌داری در مقدار قندهای محلول دیده شد.

وجود یون کادمیم در سیتوسول سلول‌های برگ باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه کنندهٔ قندهای غیرمحلول و اسید اینورتاز و سوکروز می‌شود (Sanita & Gabbrielli., 1999). گیاه با افزایش قندهای محلول در شرایط تنش علاوه بر حفظ پتانسیل اسمزی قادر خواهد بود تا ذخیرهٔ کربوهیدراتی خود را برای متابولیسم پایهٔ سلولی در حد مطلوب نگه دارد (Dubey & Singh, 1999). افزایش کربوهیدرات به عنوان یک پیام متابولیکی عمل می‌کند و موجب افزایش بیان ژن‌های مربوط به دفاع و کاهش فتوسنتز می‌شود. به عنوان مثال قند هگزوز در خاموش کردن ژن‌های فتوسنتز نقش دارد.

در این پژوهش دو گونهٔ اکالیپتوس و لیلکی اختلاف معنی‌داری از نظر تولید مالون دی-آلدئید نداشتند و هر دو روند یکسانی را در سطوح مختلف نانوذره دنبال کردند. البته نانوذره سولفید کادمیم با دو غلظت ۲۰ و ۸۰ میلی‌گرم باعث افزایش مقدار مالون‌دی‌آلدئید گردید اما اختلافات از نظر آماری معنی‌دار نبودند. در اغلب تحقیقات با افزایش غلظت فلز، میزان مالون زیادتر شده

www.SID.ir

Archive of SID

که از جمله می‌توان به تحقیق Gosh و همکاران (۲۰۱۰) در مورد *Alilium capa* و *Nicotiana tabaccum* با اعمال دراکسید تیتانیوم و همچنین تحقیق Qinghua و Zhujum (۲۰۰۸) روی گیاه چای با استفاده از منگنز اشاره کرد. مالون دی-آلدهید یکی از محصولات پراکسیداسیون لیپیدی است که به عنوان شاخص آسیب‌های اکسیداتیو در نظر گرفته می‌شود (Monni *et al*.,2000). پراکسیداسیون لیپیدها تأثیرات مخربی بر روی غشاء سلول و ساختار غشاء دارد. اکسیژن های فعال می‌توانند با اسیدهای چرب غیر اشباع واکنش نشان دهند که باعث پراکسیداسیون لیپیدهای ضروری در غشاء سلول و اندامک‌ها می‌گردند. پراکسیداسیون لیپیدی با استرس‌های اکسیداتیو مرتبط بوده و شامل شکسته شدن تمامیت غشاهای بیولوژیکی، عملکردی و ساختاری است که باعث افزایش نفوذپذیری غشای پلاسمایی می‌شود که نشت یون K^+ و سایر محلول‌ها مثل قندهای محلول را در پی داشته و نهایتاً منجر به مرگ سلولی می‌گردد (Poorakbar, 2012).

به‌طورکلی با افزایش میزان نانوذرات سولفید کادمیم تا ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر، مقدار پرولین و قندهای محلول در هر دو گونهٔ لیلکی و اکالیپتوس به طور معنی‌داری افزایش یافت. نظر به اهمیت آلودگی‌های نانوتکنولوژی و عوارض آن بر روی انسان و محیط زیست بررسی گونه‌های مقاوم به آلودگی‌های ناشی از این تکنولوژی ضروری است. طبق شرایط این آزمایش، گیاه لیلکی در مناطق آلوده به نانوذرهٔ سولفیدکادمیم برای فضای سبز مناسب‌تر است اما تحقیقات بیشتر بر روی گیاهان بالغ از این گونه لازم است. از طرفی گیاه اکالیپتوس مناسب کاشت در خاک‌های آلوده به نانوذرهٔ سولفید کادمیم نیست. بنابراین پیشنهاد می‌شود از این گونه برای ایجاد فضای سبز در این مناطق استفاده نشود. همچنین بررسی سایر فاکتورها از جمله نشاسته و آنزیم‌ها می‌تواند به تکمیل نتایج این پژوهش کمک کند.

References

Ahmad, P., Sharma, S., Srivastava, P.S., 2006. Differential physio-biochemical responses of high yielding varieties of Mulberry (*Morus alba*) under alkalinity (Na_2CO_3) stress in vitro. Physiology and Molecular Biology of Plants 12, 59–66.

Assareh, M.H., Sardabi, H., 2008. River red gum. Research Institute of Forests and Rangelands Press, 704 p (In Persian).

Bacon, J.R., Dinev, N.S., 2005. Isotopic characterization of lead in contaminated soils from the vicinity of a non-ferrous metal smelter near Plovdiv, Bulgaria. Environmental Pollution 134, 247-255.

Dabiri, M., 1996. Environmental pollution. Etihad Press, 399 p (In Persian).

Das, P .Samantaray, S., Rout, G.R., 1997. Studies on Cadmium toxicity in plants: a review. Environmental Pollution 98, 29-36.

Dubey, R.S., Singh, A.k., 1999. Salinity induces accumulation of soluble sugars and alters the activity of sugar metabolizing enzyme in rice plants. Plant Biology 42, 233-239.

European Chemicals Agency (ECHA), 2015. Assessment weather the use of cadmium and its compounds in plastic materials not covered by entry 23 of reach annex XVII should be restricted, Report number: XV, 93 p.

Gao, J., Xo, G., Qian, H., Liu, P., Zhao, P., Hu, Y., 2013. Effects of nano-TiO2 on photosynthetic characteristics of *Ulmus elongata* seedlings. Environmental Pollution 176, 63-70.

Ghadirie kharzoghi, M. Bayramzadeh, B., Davoudi, M.H., 2014. The Effect of Argent nanoparticles on seed germination of *Pinus sylvestris* in soil and aqueous suspension. Forest and wood products 4, 375-367 (In Persian).

www.SID.ir

Archive of SID

Ghosh, M., Bandyopadhyay, M., Mukherjee, A., 2010. Genotoxicity of Titanium dioxide (TiO2) nanoparticles at two trophic levels: Plant and human lymphocytes. Chemosphere 81, 1253-1262.

John, R., Ahmad, P., Gadgil, K., Sharma, S., 2009. Heavy metal toxicity: Effect on plant growth, biochemical parameters and metal accumulation by *Brassica juncea* L. International Journal of Plant Production 3, 1735-8043.

Kardigan, F., 2008. Synthesis & characterization of CdO and CdS NPs. Indian Journal of Pure and applied physics. 46, 561-564.

Majid, A., Ahmad, R., Nabi, A., Shakoor, A., Hassan, N., 2012. A Density Functional Theory Study of Raman Modes of Hydrogenated Cadmium Sulphide Nanoparticles. Nanomaterials and Nanotechnology 2(7), 1-8.

Manio, T., Stentiford, E.I., Millner, P.A., 2003. The effect of heavy metals accumulation on the chlorophyll concentration of *Typha latifolia* plants, growing in substrate containing sewage sludge compost and watered with metalliferous water. Ecological Engineering 20, 65-74.

Monni, S., Salemaa, M., Millar, N., 2000. The tolerance of *Empetrum nigrum* to Copper and Nickel. Environmental Pollution 109, 221-229.

Moor, M.N., 2006. Do nanoparticles present eco-toxicological risk for the health of the aquatic environment? Environment International 32, 967-976.

Mozaffarian, V., 2005. Trees and shrubs of Iran. Farhang Moaser Press, Tehran, 990 p (In Persian).

Nedjimi, B., Daoud, Y., 2009. Cadmium accumulation in *Atriplex halimus* subsp. *Schweinfurthii* and its influence on growth, Proline, root hydraulic conductivity and nutrient uptake. Flora 204, 316-324.

Nikolic, N., Kojic, D., Pilipovic, A., Pajevic, S., Krstic, B., Borisev, M., Orlovic, S., 2008. Responses of hybrid poplar cadmium stress: Photosynthetic characteristics, cadmium and proline accumulation, and antioxidant enzymeactivity, Acta Biological Cracoviensia Series. Botanica 50(2), 95-103.

Qinghua, S.H., Zhujun, Z., 2008. Effect of exogenous Salicylic acid on Manganese toxicity, element contents and anti-oxidative system in Cucumber. Environmental and Experimental Botany 63, 317-326.

Oughton, D.H., Hertel-Aas, T., Pellicer, E., Mondoza, E., Joner, E.J., 2008. Neutron activation of engineered nanoparticles as a tool for tracing their environmental fate and uptake in organisms. Environmental Toxicology and Chemistry 27, 1883-1887.

Poorakbar, L., Ebrahimzadeh, N., 2012. Growth and physiological responses of *Zea mays* L. to Cu and Ni stress. Pajouhesh and Sazandegi 103, 147-159 (In Persian).

Rachel's environment health news. 2003. The revolution. Report number: 772(1), 15 p.

Reiwerts, J., Farago, M., 1996. Heavy metal pollution in the vicinity of a secondary lead smelter in the Czech Reublic. Applied Geochemistry 11, 17-23.

Sanita di Toppi, L., Gabbrielli, R., 1999. Response to Cadmium in higher plants- review. Environmental and Experimental Botany 41, 105-130.

Shariat, A., Assareh, M.H., Ghamari-Zare, A., 2010. Effects of Cadmium on some physiological characteristics of *Eucalyptus occidentalis*. Journal of water and Soil Sciences 14 (53), 145-154 (In Persian).

Soltani, F., Ghorbanli, M., Manoucheri-Kalantari, KH., 2006. Effect of cadmium on photosynthetic pigments, sugars and malondealdehyde content in (*Brassica napus*L.). Iranian Journal of Biology 19(2), 136-145 (In Persian).

Takallo, S., Davodi, D., Omidi, M., Ebrahimi, M.A., Ruzbeh, F., Rasoulnia, A.R, 2013. The effect of titanium dioxide nanoparticles on barley cytogenetical index. Journal of Biotechnology of Agriculture 5(1), 13-26 (In Persian).

Wang, Z.Y., Yu, X.L., Gao, D.M., Feng, W.Q., Xing, B.S., Li, F.M., 2010. Effect of Nano- rutile TiO2 and multi-walled carbon nanotubes on the growth of Maize (*Zea mays* L.) seedlings and the relevant antioxidant response. Environmental Science 31, 480-487.

www.SID.ir