نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، سال یازدهم، شماره ۴۴، زمستان ۱۳۹۵ / صفحات: ۷۵-۶۶

تأثیر آلودگی‌های ناشی از صنایع پتروشیمی کرمانشاه بر برخی صفات رویشی و فیزیولوژیکی کاج الدار (*Pinus eldarica* Medw.) و سرو ناز (*Cupressus sempervirens* L.)

علی رستمی[1*] و میخک عسگری[1]

[1]گروه منابع طبیعی، واحد ایلام، دانشگاه آزاد اسلامی، ایلام، ایران

تاریخ دریافت:۹۵/۸/۲۶ تاریخ پذیرش:۹۵/۱۲/۱۵

چکیده

جنگل‌های طبیعی و مصنوعی علاوه بر تولید چوب در جذب آلاینده‌های هوا و کاهش بار آلودگی نقش مهمی دارند. در این مطالعه نقش جنگل کاری‌های منطقه پل چهر استان کرمانشاه در کاهش آلودگی‌های ناشی از صنایع پتروشیمی منطقه بررسی گردید و اثر عناصر روی و کروم بر خصوصیات فیزیولوژیکی و رشدی نهال‌های کاج الدار و سرو ناز مورد مطالعه قرار گرفت. برای این منظور منطقه جنگل‌کاری شده در داخل پتروشیمی (منطقه آلوده) و یک منطقه جنگل‌کاری در اطراف پتروشیمی (منطقه شاهد) انتخاب شدند. نتایج نشان داد غلظت این دو عنصر در اندام‌های رویشی ریشه و ساقه هر دو گونه بطور معنی‌داری در منطقه دارای آلودگی بیشتر از منطقه شاهد بود. همچنین در منطقه دارای آلودگی به دو عنصر، دو فاکتور طول ساقه و طول ریشه در نهال‌های کاج الدار به‌طور معنی‌داری نسبت به منطقه فاقد آلودگی کاهش نشان داد و برای گونه سرو ناز تنها طول ریشه در منطقه آلوده اختلاف معنی‌داری با منطقه شاهد داشت. نتایج برای گونه کاج الدار نشان داد که در منطقه دارای آلودگی میزان سه فاکتور کلروفیل کل، پرولین و قندهای محلول برگ دارای اختلاف معنی‌داری نسبت به منطقه فاقد آلودگی بود و برای گونه سرو ناز سه فاکتور پرولین برگ و قندهای محلول برگ و ریشه اختلاف معنی‌داری نسبت به منطقه فاقد آلودگی نشان داد. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت کاهش مقدار آلایندگی عناصر روی و کروم توسط درختان کاج الدار نسبت به سروناز بیشتر بود.

واژه‌های کلیدی: آلاینده‌ها، روی، سرو ناز، صنایع پتروشیمی، کاج الدار، کرمانشاه، کروم.

مقدمه

امروزه به‌دلیل استفاده زیاد از ترکیبات نفتی در سراسر جهان، آلودگی ناشی از این ترکیبات، گسترده و در سطح جهانی است (Chris, 2006). در اثر فعالیت صنایع نفت و گاز و پتروشیمی‌ها توده‌های عظیمی از دوده وارد فضای منطقه شده که ضمن کاهش کیفیت هوا، مقادیر زیادی گازهای سمی و خطرناک از جمله دی‌اکسید گوگرد، منواکسید کربن، سولفید هیدروژن، اکسیدهای آهن و مقادیر زیادی مواد معلق وارد جو می‌شود که هیدروکربن‌های سوخته شده و فلزات زیادی مانند نیکل، آهن، روی، سرب، کادمیم، کلسیم، کروم، وانادیوم، آرسنیک و سیلیکون را آزاد می‌سازند که اکثر آن‌ها به‌عنوان عناصر مضر و سمی شناخته شده‌اند. فعالیت‌های انسانی از قبیل استخراج منابع، دفع زباله‌های شهری و آبکاری مهم‌ترین منابع آلودگی فلزات سنگین در محیط زیست هستند (Bacon and Dinev, 2005). آلاینده‌ها به‌طور مداوم مواد آلوده‌کننده

*نویسنده مسئول: ali_rostami1974@yahoo.com

را به آب وخاک منتشر می‌کنند و به سلامت موجودات زنـده آسـیب می‌رسـانند (Boradley et al., 2007). همچنین فلزات از هوا به سمت خاک ته نشست گشته و سبب آلودگی خاک می‌گردند، که ایـن از مهم‌تـرین نگرانی‌ها در محیط‌زیست است (Ferguson and Kim, 1991).

عناصر سنگین از قبیل روی و کـروم بـرای طیـف وسیعی از فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان لازم‌انـد. از طرفی این عناصـر در غلظت‌هـای بـالا جـزو عناصـر سنگین طبقـه‌بنـدی می‌شـوند. عنصـر روی دومـین و فراوان‌ترین فلز انتقالی بعد از آهن است و در بسـیاری از فرآیندهای زیسـتی در موجـودات زنـده نقـش دارد. علاوه بر این عنصر روی در سیستم دفاعی سلول‌ها در برابر خطر اکسیداتیو گونه‌های فعـال اکسـیژن (ROS) نقش حیاتی را ایفا می‌کند، بنابراین نشـان دهنـدۀ یـک عامل محافظ عالی در برابر اکسیداسـیون اجـزای مهـم سلولی مانند لیپیدهای غشـایی، کلروفیـل و گروه‌هـای SHپروتئینـی اسـت (Cakmak, 2001; Zhou and Oteiza, 2001). ارزش حیاتی عنصـر روی در حـدود ۱۵mg/kg برای اکثر محصولات گیـاهی هسـت، هـر چند در بعضی از شرایط مقدار ۱۰ mg/kg نیز می‌تواند کافی باشد (Pourkhabbaz et al., 2010). غلظت روی در گیاهان اگر از ۳۰۰ mg/kg بیشتر شود، سمی اسـت (Marschner, 1995). کروم هفتمین عنصر فـراوان در پوسته زمین است که به‌طور، طبیعـی در همـه فازهـای محیطی خاک، آب و هوا یافت می‌شود، اما منبع عمـده آن خاک است که به‌صورت باند شـده بـا ذرات خـاک تجمع می‌یابـد، همچنـین دارای حـالات اکسیداسـیون مختلفی است که فرم‌های سه‌ظرفیتی (Cr3+) و شـش ظرفیتی (Cr6+) آن در محیط رایج‌تر و پایدارتر هستند (Shanker et al., 2005).

تحقیقات نشان داده اسـت تـنش فلـزات سـنگین باعث کاهش طول ساقه، طـول ریشـه و وزن خشـک گیاهان می‌شود (Vassilev and Yordanov, 1997) که اساس آن بر پایه همبند شدن فلز و کـده‌بنـدی[1] آن در سلول است. جـذب فلـزات سـنگین از طریـق ریشـه مهم‌ترین قسمت ورودی این عناصر به گیاهـان اسـت. Askary و همکاران (۲۰۱۲) در ارزیابی گیـاه پـالایی اقاقیا در خاک‌های آلوده به نفت خام با تاکید بر برخـی فلزات سنگین (سرب، کادمیم، روی) نشـان دادنـد کـه مقدار پرولین با افزایش آلودگی، افزایش‌یافتـه اسـت و بیشترین مقدار پرولین نیـز در گیاهـان تحـت تیمـار ۴ درصد مشاهده شد. Maddah و همکاران (۲۰۱۵) نیز در پژوهشـی میـزان تغییـرات کلروفیـل، ترکیبـات کاروتنوئیدی، آنتوسیانین‌ها، فعالیت آنزیم پراکسیداز و غلظـت عناصـر سـنگین سـرب، کـادمیم و عناصـر ضروری کلسیم و منیزیوم را در گونـه اقاقیـا بررسـی کردند. در این تحقیـق سـه منطقـه از شـهر تهـران بـا مقادیر متفاوت از آلودگی هوا مقایسه گردید. مقایسـه میانگین رنگیزه‌های فتوسنتزی اخـتلاف معنـی‌داری را بین سه منطقه نشان نداد. بیشترین مقدار آنتوسـیانین و فعالیت آنزیم پراکسیداز در اقاقیا مربوط به نمونـه‌های واقع در مناطق آلوده شـهر و کمتـرین آن مربـوط بـه نمونه‌های حاشیه شهر در پارک صدرا بـود. بـرعکس بیشترین غلظت سرب و کادمیوم به پارک صدرا تعلق داشت.

کاج تهران گونه‌ای همیشه سبز از جـنس *Pinus* و خانواده Pinaceae بوده و بومی‌الدار گرجستان اسـت. ایـن درخـت سـریع‌الرشـد بـوده و بـه ارتفـاع قابـل ملاحظه‌ای می‌رسد. برگ‌های آن سوزنی و گل‌های آن نامشخص بوده و میوه‌های مخروطی شکل دارد. سرو ناز نیز گونه‌ای همیشـه سـبز از جـنس *Cupressus* و خانواده Cupressaceae (سروها) بوده و بومی منـاطق مدیترانه شرقی می‌باشد. این درخـت بلنـد قامـت کـه می‌تواند تا ۳۵ متـر بلنـدی داشـته باشـد، دارای تـاج مخروطی و پر شاخ و برگ است و عمر بسیار طولانی دارد به‌طوری‌که درختانی با بیش از ۱۰۰۰ سـال از آن

1- Compartmentalization

گزارش شده است(Chris, 2006). با توجه به مطالب فوق هدف این تحقیق بررسی تأثیر آلودگی‌های ناشی از صنایع پتروشیمی کرمانشاه بر برخی صفات رویشی و فیزیولوژیکی کاج الدار .*Pinus eldarica* Medw و سروناز .*Cupressus sempervirens* L در منطقه مورد مطالعه بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه شده: این مطالعه در ایستگاه تحقیقاتی جنگل‌کاری دست کاشت اطراف پتروشیمی پل چهر کرمانشاه در کیلومتر ۴ جاده کرمانشاه به هرسین در موقعیت جغرافیایی ۳۲ عرض شمالی و ۴۸ طول شرقی انجام گرفت (شکل ۱). مساحت محدوده این منطقه به ۶۴ هکتار بوده که در سال ۱۳۸۴ ساخت آن آغاز شده و از سال ۱۳۸۵ تاکنون نسبت به نهال‌کاری و ایجاد فضای سبز به‌صورت مستمر اقدام شده است به‌صورتی که تا به امروز ۱۱ هکتار از مساحت کل مجتمع به جنگل کاری اختصاص داده شده و عمدتاً شامل کاج الدار و سرو ناز می‌باشد.

شکل ۱: محدوده منطقه مورد مطالعه بر روی تصاویر ماهواره‌ای Google earth.

با توجه به اهداف تحقیق و تعیین نقش درختان در کاهش آلودگی، گیاه‌پالایی و جذب عناصر سنگین (روی و کروم) تولید شده در این پالایشگاه گونه‌های جنگل‌کاری شده در محدوده آلوده نزدیک پالایشگاه (منطقه خروجی و چاهک) و خارج از منطقه آلوده به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد. سپس در قالب طرح آماری بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار و شاهد برای هر گونه ۱۵ پایه از نهال‌های تحت شرایط یکسان از محدوده جنگل‌کاری شده (در داخل و خارج از منطقه آلوده) انتخاب و به منظور اندازه‌گیری پارامترهای مورد نظر از چهار جهت تاج آنها نمونه برگ برداشت شد. به‌منظور محاسبه پارامتر بیوماس و اندازه‌گیری طول اندام هوایی و ریشه از پایه‌های انتخابی با شرایط تقریباً یکسان در دو عرصه نمونه برداری گردید. در ضمن کارهای آزمایشگاهی برای اندازه‌گیری میزان انواع آلاینده‌ها (فلزات سنگین) در نمونه‌های برگ و ریشه و ساقه نهال‌های کاشته شده صورت گرفت.

سنجش پارامترهای رشد و صفات بیوشیمیایی: طول ساقه و ریشه با استفاده از خط کش تا دقت میلی‌متر اندازه‌گیری گردید. میزان بیوماس با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شد. محاسبه غلظت کلروفیل کل برگ با استفاده از روش Lichtenthaler (۱۹۸۷) انجام شد. مقدار پرولین با استفاده از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) محاسبه شد. سنجش قندهای محلول پس از ۳۰ دقیقه جذب

آن با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۸۵ نانومتر قرائت شد و با استفاده از منحنی استاندارد گلوکز، میزان تغییرات قندها برای دو گونه مورد مطالعه بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک و به روش Kochert (۱۹۷۸) ارزیابی گردید. میزان روی و کروم نیز با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل (NOVAA300) مورد سنجش قرار گرفتند.

آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری Spss نسخه ۱۹ انجام شده و رسم نمودار در نرم‌افزار Excel صورت گرفت. برای این کار ابتدا نرمالیته داده‌ها توسط آزمون کلموگروف اسمیرنوف بررسی شد، سپس آنالیز واریانس یک‌طرفه انجام و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن صورت گرفت.

نتایج

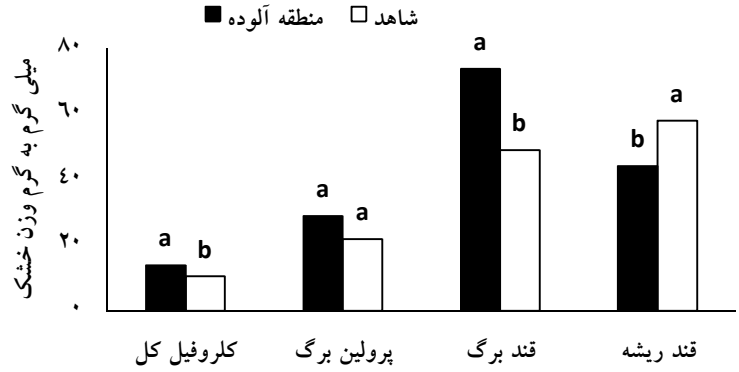
نتایج بررسی صفات رویشی کاج الدار: نتایج حاصل از مقایسه میانگین برخی خصوصیات رویشی نهال های کاج الدار نشان داد در منطقه دارای آلودگی به دو عنصر روی و کروم، دو فاکتور طول ساقه و طول ریشه بطور معنی‌داری نسبت به منطقه فاقد آلودگی کاهش دارد. از نظر دو فاکتور رویشی نسبت وزن خشک به تر و نسبت بیوماس هوایی به زمینی هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد در بین دو منطقه مشاهده نشد (جدول ۱).

جدول ۱: نتایج حاصل از مقایسه میانگین برخی صفات رویشی کاج الدار در منطقه دارای آلودگی و شاهد

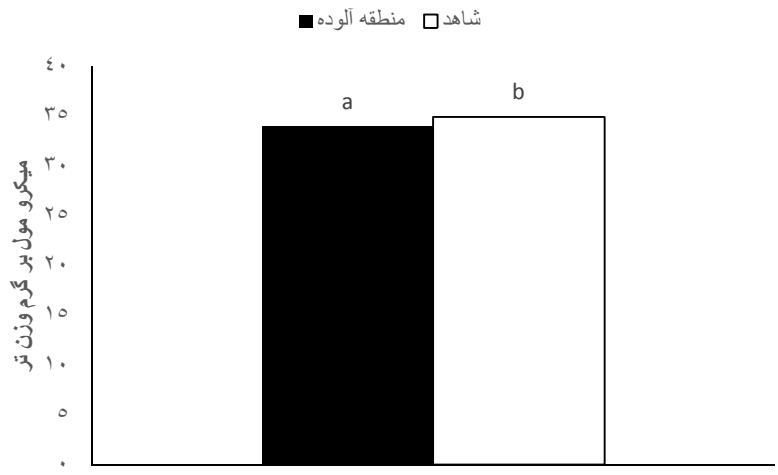
فاکتورهای مورد اندازه‌گیری	شاهد	منطقه آلوده به روی و کروم	سطح معنی‌داری
طول ساقه (cm)	۲۵/۰۴^{a}	۲۰/۱۶^{b}	۰/۰۰۰*
طول ریشه (cm)	۶۶/۴۶^{a}	۴۶/۳۳^{b}	۰/۰۰۰*
نسبت وزن خشک به تر (g)	۱/۵۹^{a}	۱/۲۶^{a}	۰/۰۸۲^{ns}
نسبت بیوماس هوایی به زمینی	۰/۳۸^{a}	۰/۳۵^{a}	۰/۱۹۹^{ns}

* و ns : به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ درصد و عدم معنی‌دار

نتایج بررسی صفات فیزیولوژیکی کاج الدار: نتایج نشان داد که در منطقه دارای آلودگی به دو عنصر روی و کروم سه فاکتور کلروفیل کل، پرولین برگ و قند برگ اختلاف معنی‌داری نسبت به منطقه فاقد آلودگی دارد. در مورد دو فاکتور مالون دی آلدئید برگ و قندهای ریشه هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد در بین دو منطقه مشاهده نشد (شکل های ۲و ۳).



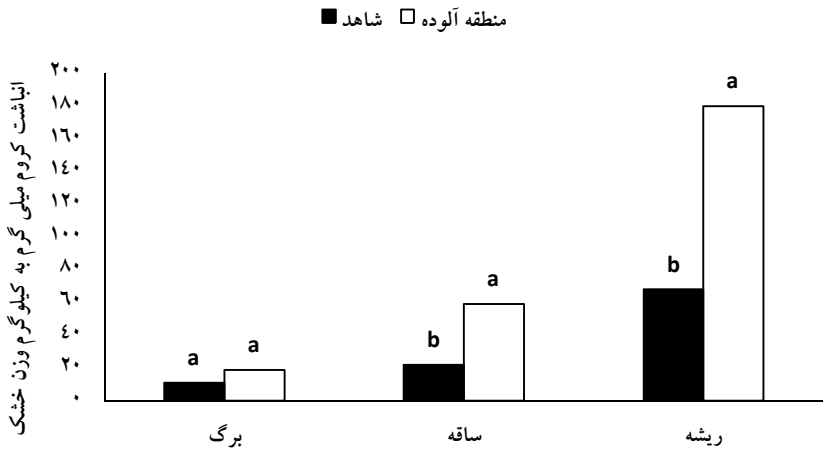
شکل ۲: مقایسه میانگین میزان کلروفیل کل، پرولین و قندهای محلول برگ و ریشه کاج در منطقه آلوده و شاهد. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.



شکل ۳: مقایسه میانگین فاکتور مالون دی‌آلدئید برگ کاج در منطقه آلوده و شاهد.
حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

نتایج بررسی میزان انباشت عناصر روی و کروم در کاج الدار: نتایج نشان داد که غلظت دو عنصر روی و کروم در اندام‌های ریشه و ساقه به‌طور معنی‌داری در منطقه دارای آلودگی بیشتر از منطقه شاهد بود. همچنین نتایج نشان داد که علی‌رغم بیشتر بودن میزان عناصر روی و کروم در برگ نهال کاج منطقه آلوده نسبت به منطقه شاهد، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل‌های ۴ و ۵).

شکل ٤: نتایج مقایسه میزان انباشت فلز روی در اندام‌های ریشه، ساقه و برگ کاج در منطقه آلوده و شاهد
حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است اندام‌های ریشه، ساقه، برگ کاج در منطقه آلوده و شاهد



شکل ۵: نتایج مقایسه میزان انباشت فلز کروم در اندام‌های ریشه، ساقه و برگ کاج در منطقه آلوده و شاهد

نتایج بررسی صفات رویشی سرو ناز: نتایج نشان داد که در منطقه دارای آلودگی به دو عنصر روی و کروم، تنها فاکتور طول ریشه به‌طور معنی‌داری نسبت به منطقه فاقد آلودگی کاهش نشان داده است. در مورد سایر فاکتورهای رویشی ازجمله طول ساقه، نسبت وزن خشک به تر و نسبت بیوماس هوایی به زمینی هیچگونه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد در بین دو منطقه مشاهده نشد (جدول ۲).

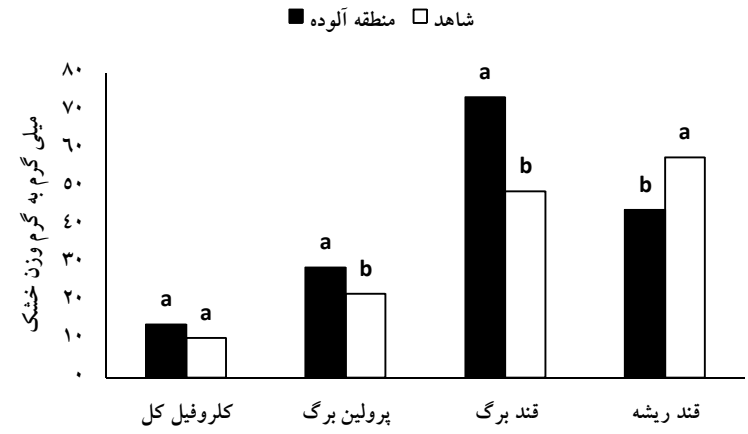
جدول ۲: تایج مقایسه میانگین برخی از صفات رویشی سرو ناز در منطقه دارای آلودگی و شاهد

فاکتورهای مورد اندازه‌گیری	شاهد	منطقه آلوده به روی و کروم	سطح معنی‌داری
طول ساقه (cm)	۲۱/۳۴^{a}	۱۹/۶۳^{a}	۰/۰۰۰^{ns}
طول ریشه (cm)	۳۷/۱۶^{a}	۲۶/۰۸^{b}	۰/۰۰۰*
نسبت وزن خشک به تر	۲/۴۰^{a}	۱/۹۵^{a}	۰/۱۷۵^{ns}
نسبت بیوماس هوایی به زمینی (g)	۳/۶۴^{a}	۳/۱۴^{a}	۰/۰۸۳^{ns}

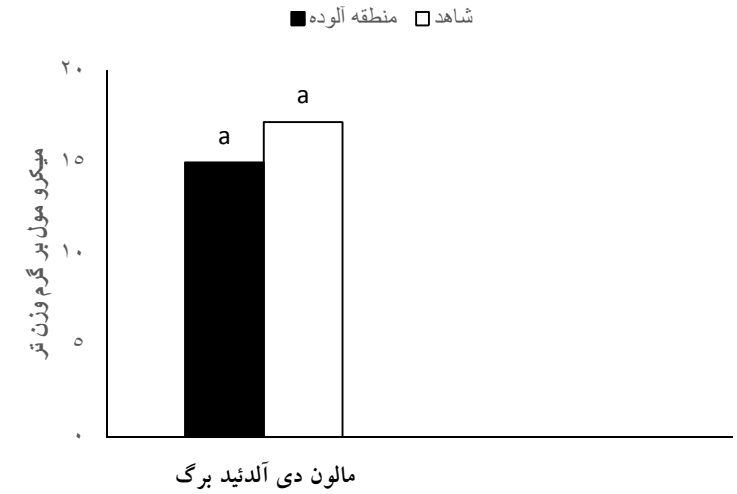
* و ns به ترتیب معنی دار در سطح ۵ درصد و عدم معنی دار

نتایج بررسی صفات فیزیولوژیکی سرو ناز: نتایج نشان داد در منطقه دارای آلودگی به دو عنصر روی و کروم سه فاکتور پرولین برگ و قندهای محلول برگ و ریشه اختلاف معنی‌داری نسبت به منطقه فاقد آلودگی نشان داده است. در مورد دو فاکتور فیزیولوژیکی، مالون دی‌آلدئید برگ و کلروفیل کل اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۹۵ درصد در بین دو منطقه مشاهده نشد (شکل‌های ۶ و ۷).

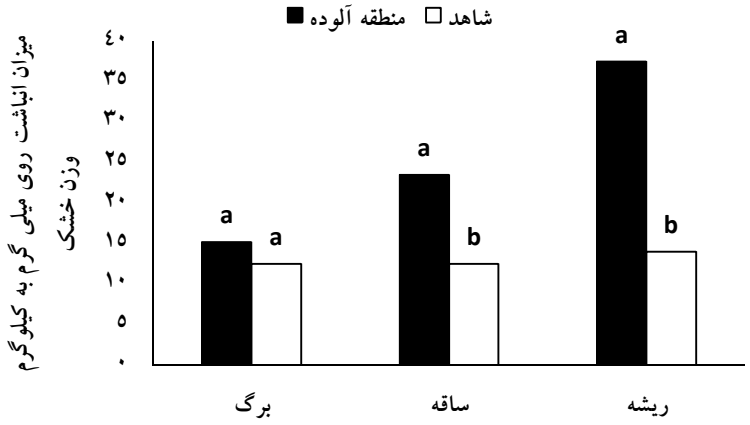
نتایج بررسی میزان انباشت عناصر روی و کروم در سرو ناز: نتایج مربوط به سنجش میزان عنصر روی نشان داد که غلظت این عنصر در اندام‌های رویشی ریشه و ساقه گونه سرو ناز به‌طور معنی‌داری در منطقه آلوده بیشتر از منطقه شاهد بوده و در اندام برگ میزان عنصرروی اختلاف معنی‌داری را بین منطقه شاهد و آلوده نشان نداد (شکل‌های ۸ و ۹). در مورد عنصر کروم نتایج نشان داد که میزان این عنصر در هر سه اندام رویشی ریشه، ساقه و برگ به‌طور معنی‌داری در منطقه آلوده بیشتر از منطقه فاقد آلودگی بود.



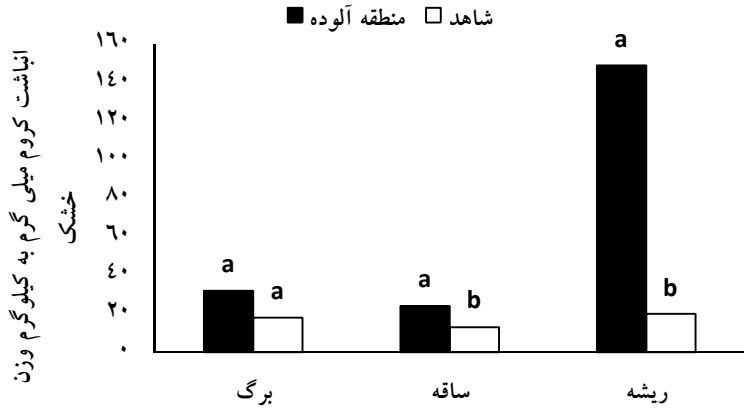
شکل ٦: مقایسه میانگین مقدار کلروفیل کل، پرولین برگ و قندهای محلول برگ و ریشه سرو ناز در منطقه آلوده و شاهد



شکل ۷: نتایج مقایسه میانگین فاکتور مالون دی‌آلدئید برگ سرو ناز در منطقه آلوده و شاهد



شکل ۸: نتایج مقایسه میزان انباشت فلز روی در اندام‌های ریشه، ساقه و برگ سرو ناز در منطقه آلوده و شاهد.



شکل ۹: نتایج مقایسه میزان انباشت فلز کروم در اندام‌های ریشه، ساقه و برگ سرو ناز در منطقه آلوده و شاهد.

بحث

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که آلاینده‌های صنایع پتروشیمی منطقه پل چهر استان کرمانشاه از جمله عناصر روی و کروم بر روی برخی صفات رویشی و فیزیولوژیکی گونه‌های کاشته شده کاج الدار و سروناز تأثیر معنی‌داری دارند. در منطقه دارای آلودگی (جنگل‌کاری محدوده داخل پتروشیمی) که دارای دو آلاینده روی و کروم بوده، دو فاکتور طول ساقه و طول ریشه در کاج الدار و سرو ناز به‌طور معنی‌داری نسبت به منطقه فاقد آلودگی (جنگل‌کاری محدوده خارج از پتروشیمی) از میزان کمتری برخوردار بودند که در این رابطه می‌توان گفت گونه‌های کاشته شده در منطقه آلوده ضمن جذب آلاینده‌ها که همراه با کاهش خصوصیات رویشی آنهاست به کاهش غلظت آلاینده‌ها در منطقه کمک می‌کنند. همچنین در منطقه آلوده به دو عنصر روی و کروم، میزان سه فاکتور کلروفیل کل (میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی)، پرولین و قندهای محلول برگ درختان کاشته شده اختلاف معنی‌داری را نسبت به منطقه فاقد آلودگی نشان دادند. در منطقه آلوده به عنصر روی و کروم میزان کلروفیل در برگ درختان کاج و سرو بیشتر از مقدار آن در منطقه شاهد بود. گزارش شده است عنصر روی مانع انتقال الکترون در مسیر احیاء واکنش مرکزی فتوسیستم II (PSII)، تحریک مهار فعالیت PSII و جانشینی Zn^{2+} در فتوسیستم II به جای Fe^{2+} می‌شود (Marschner et al., 1995). از طرفی حضور Zn قطعاً توسط رقابت مکانی در جایگاه‌های مختلف کاتیون‌های دو ظرفیتی (Mg, Mn, Fe) تعادل فیزیولوژیکی را به هم زده و در نتیجه باعث افزایش میزان کلروفیل می‌گردد. البته در مطالعه Olumi و همکاران (۲۰۱۶) در ارتباط با کاج الدار در خاک‌های اطراف مجتمع مس کرمان مقدار کلروفیل کل در گیاهان منطقه آلوده به‌طور معنی‌داری پایین‌تر از منطقه شاهد بود که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی ندارد. در مطالعه Maddah و همکاران (۲۰۱۵) بر روی پاسخ‌های فیزیولوژیک و علل مقاومت اقاقیا تحت تأثیر آلودگی هوای شهر تهران نیز مقدار کلروفیل کل در مناطق مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری نداشت. نتایج بررسی صفات فیزیولوژیکی کاج الدار نشان داد که عناصر روی و کروم بر میزان آنزیم مالون دی‌آلدئید تأثیر داشته اما در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبوده است، برعکس میزان پرولین و قندهای محلول در برگ

درختان منطقه آلوده نسبت به شاهد به‌صورت معنی‌داری افزایش یافت که با نتایج مطالعه Askary و همکاران (۲۰۱۲) همخوانی دارد، اما Schat و Vooijs (۱۹۹۷) در مطالعات مشابه به‌طور واضح نشان دادند که عنصر روی هیچ تأثیر معنی‌داری بر میزان تجمع پرولین برگ در یک اکوتیپ مقاوم از گونه *Silene vulgaris* و یک اکوتیپ حساس به عناصر سنگین از همین‌گونه نداشت. نتایج تحقیق حاضر نشان داد میزان انباشت فلز روی در گونه کاج الدار و سرو ناز به‌ترتیب در ریشه و ساقه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و بیشترین انباشت برای ریشه مشاهده شد. در برگ درختان کاج منطقه آلوده نیز میزان این عنصر بیشتر از منطقه شاهد ولی اختلاف فاحش و معنی‌دار نبود. همچنین نتایج برای میزان انباشت روی در گونه سرو ناز نشان‌دهنده بیشتر بودن میزان این عنصر در ریشه‌ها بود. خاک اطراف ریشه اولین منبع برای ورود عناصر سنگین به بافت گیاهان است و هر چه غلظت این عناصر در خاک بیشتر شود مقدار قابل دسترس آن‌ها نیز در خاک افزایش می‌یابد. گیاهان عنصر روی مورد نیاز خود را عمدتاً از طریق سیستم ریشه‌ای (ریزوسفر) به‌صورت Zn^{2+} از خاک دریافت می‌کنند، سپس آن را به‌صورت ترکیبات آلی درآورده و در نهایت از طریق آوند چوبی به ساقه انتقال می‌دهند (Odjegba and Fasidi, 2004). مقایسهٔ میانگین انباشت فلزات سنگین در گونه‌های درختی مورد مطالعه Shabanian و Cheraghi (۲۰۱۳) نشان داد که انباشت سرب، روی و کادمیوم در بیشتر گونه‌های مورد بررسی در منطقهٔ آلوده (مرکز شهر سنندج) با اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد بیشتر از منطقه شاهد بود که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد . نتایج میزان انباشت کروم برای گونه کاج الدار نیز نشان داد با افزایش غلظت کروم در خاک تجمع آن در ریشه و ساقه به‌طور معنی‌داری افزایش‌یافته ولی برروی برگ تأثیر معنی‌داری نداشته است. همچنین نتایج برای گونه سرو ناز نشان داد بیشترین انباشت کروم به‌ترتیب در ریشه، برگ و ساقه مشاهده شد. به نظر می‌رسد مقدار انباشت بالاتر در ریشه نسبت به ساقه و برگ به‌دلیل کلات شدن و کده بندی یون‌های کروم است. تحقیقات متعدد نشان داده است که گیاهان مختلف در توانایی انباشت کروم در بافت‌های خود تفاوت دارند و با افزایش غلظت کروم در محیط، غلظت آن در بافت‌های گیاهی نیز افزایش می‌یابد (Connell and Al-Hamidan, 2001).

نتیجه‌گیری نهایی

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت گونه‌های کاشته شده در محدوده پتروشیمی منطقه پل چهر استان کرمانشاه، در کاهش آلاینده‌های حاصل از این صنایع (روی و کروم) نقش بسزایی داشته‌اند و در اغلب موارد غلظت این آلاینده‌ها در اندام‌های رویشی این درختان به‌طور معنی‌داری بیشتر از مناطق شاهد بود. از جمله نتایج قابل‌توجه این پژوهش کاهش بیشتر مقدار آلایندگی عناصر روی و کروم توسط درختان کاج الدار نسبت به درختان سروناز بود.

References

Askary M., Noori, M., Biegi, F., and Amini, F. (2012). Evaluation of the phytoremediation of *Robinia pseudoacacia* L. in petroleum-contaminated soils with emphasis on the some heavy metals. Journal of Cell and Tissue (JCT). 2(4): 437-442.

Bacon, J.R. and Dinev, N.S. (2005). Isotopic characterization of lead in contaminated soils rom the vicinity of a non-ferrous metal smelter near Plovdiv. Bulgaria. Environment Pollution. 134:247–255.

Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare. I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil. 39(1):205-207.

Broadley, M.R., White, P.J., Hammond, J.P., Zelko, I. and Lux, A. (2007). Zinc in plants. New Phytology. 173: 677–702.

Cakmak, I. (2000). Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. New Phytology. 146: 185–205.

Chris DC. (2006). Implementing phytoremediation of petroleum hydrocarbons. methods in biotechnology. In: Willey N, Editor. Phytoremediation: Methods and Reviews. London, UK: Springer. 99-100.

Connell, S.L. and Al-Hamdani, S.H. (2001). Selected physiological responses of kudzu to different chromium concentrations. Canadian Journal of Plant Science. 81:33-58.

Fergusson, J.E., and Kim, N.D., (1991). Trace elements in stress and house dust: sources and speciation. Science of the Total Environment 100: 125-150.

Kochert, G. (1978). Carbohydrate determination by the phenolsulfuric acid method. In: Hellebust, J.A., Craigie, J.S., (eds). Handbook of Phycological Methods-Physiological and Biochemical Methods. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 95–97.

Lichtenthaler, H.K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. Plant Cell Membranes. 148:350-382.

Maddah, S.M., Moraghebi, F., Kashani, Q., Farhangiyan, S. and Afdideh, F. (2015). Physical, physiological responses and resistance of acacia tree (*Robinia pseudoacacia* L.) under the influence of air pollution in Tehran. Environmental Plant Physiology Journal. 38: 56-48.

Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of higher plants, 2nd edn. Academic Press, London.

Odjegba, J.V. and fasidi, I.O. (2004). Accumulation of trace elements by Pistia steatites: Implications for phytoremediation. Ecotoxicology. 13(7): 637-46

Olumi, H., Rezanejad, F. and Keramat, B. (2016). Comparative study of biochemical parameters of *Pinus nigra* and *P. elderica* cultivated in the area around Sarcheshmeh copper complex and Kantuyeh. Environmental Plant Physiology Journal. 10(40): 1-12.

Pourkhabbaz, A.R., Rastin, N., Olbrich, A., Heyser, R.L. and Andrea, P. (2010). Influence of environmental pollution on leaf Properties of Urban Plane Trees, *Platanus orientalis* L. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 86: 251-255.

Schat, H. and Vooijs, R. (1997). Multiple tolerance and co-tolerance to heavy metals in *Silene vulgaris*: a co-segregation analysis. New Phytologist. 136: 489–496.

Shabanian N. and Cheraghi, CH. (2013). Comparison of phytoremediation of heavy metals by woody species used in urban forestry of Sanandaj city. Iranian Journal of Forest and Poplar Research. 1(51):154 - 165.

Shanker, A.K., Cervantes, C., Herminia, L. and Tavera, S.A. (2005). Chromium toxicity in plants. Environment International. 31: 739-753.

Vassilev, A. and Yordanov, I. (1997). Reductive analysis of factors limiting growth of cadmium treated plants: a review. Bulgarian Jornal of Plant Physiology. 23: 114- 113.

Zhou, M.P. and Oteiza, P.I. (2001). The antioxidant properties of zinc: interactions with iron and antioxidants. Free Radicals in Biology and Medicine. 31: 266–274.