مقاله پژوهشی

نشریه علمی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۹ شماره ۲، صفحه ۱۲۷-۱۱۴، (۱۴۰۰)

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijfpr.2021.354181.1996
شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.17350883.1400.29.2.2.1

تأثیر خاک و آب متأثر از پساب شهری بر عملکرد نهال‌های یک‌ساله سه کلن صنوبر تبریزی (*Populus nigra* L.)

آزاده صالحی [۱*]، محسن کلاگری [۲] و فاطمه احمدلو [۳]

۱*- نویسنده مسئول، استادیار، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
پست الکترونیک: az.salehi@rifr-ac.ir

۲- دانشیار، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳- استادیار، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۹

چکیده

در پژوهش پیش‌رو، تأثیر خاک و آب متأثر از پساب شهری بر عملکرد نهال‌های یک‌ساله سه کلن صنوبر تبریزی (*Populus nigra* L.) در ایستگاه تحقیقاتی البرز بررسی شد. به‌این‌منظور، آزمایشی در قالب فاکتوریل براساس طرح کامل تصادفی با دو متغیر ۱) خاک و آب در دو سطح (شاهد و خاک و آب متأثر از پساب شهری جمع‌آوری‌شده از جنوب تهران) و ۲) سه کلن صنوبر (*P. nigra* 62/154، *P. nigra* 62/127 و *P. nigra* 17/13) انجام شد. پس از یک فصل رویش در نهال‌های هر سه کلن صنوبر که با خاک و آب متأثر از پساب شهری تیمار شده بودند، افزایش معنی‌دار ویژگی‌های رویشی و زی‌توده نسبت به نهال‌های شاهد مشاهده شد. همچنین، تیمار خاک و آب متأثر از پساب شهری باعث افزایش معنی‌دار غلظت عناصر غذایی اصلی، ریزمغذی‌ها و نیز فلزات سنگین (نیکل، کروم و سرب) در ریشه و اندام هوایی هر سه کلن صنوبر شد. بیشترین جذب و تجمع آهن، مس و فلزات سنگین در ریشه مشاهده شد، درحالی‌که جذب و تجمع روی و منگنز در برگ بیشتر بود. بین سه کلن مورد مطالعه از نظر جذب و تجمع عناصر غذایی و فلزات سنگین در اندام‌های گیاهی، تفاوت معنی‌دار وجود نداشت، اما تأثیر کلن بر اغلب ویژگی‌های رویشی و زی‌توده، معنی‌دار بود، به‌طوری‌که بیشترین قطر و طول ساقه و تولید زی‌توده ریشه، ساقه، برگ و کل گیاه در نهال‌های *P. nigra* 62/154 تیمارشده با خاک و آب متأثر از پساب شهری مشاهده شد. نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد که برای زراعت چوب در اراضی متأثر از پساب‌های شهری می‌توان از هر سه کلن صنوبر تبریزی با اولویت کلن *P. nigra* 62/154 استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: آب نامتعارف، زراعت چوب، زی‌توده، عناصر غذایی، فلزات سنگین.

مقدمه

در دهه‌های اخیر، استفاده از پساب شهری و صنعتی برای آبیاری به‌عنوان راهکاری به‌منظور کاهش فشار بر منابع آب شیرین ذکر شده است (Toze, 2006). به‌رغم نقش مثبت پساب‌ها برای تأمین آب و نیز به‌عنوان یک منبع کودی، استفاده از آن‌ها برای آبیاری می‌تواند خاک و محصولات تحت کشت را به آلاینده‌های متعدد آلوده کند (Yadav *et al.*, 2002; Salehi, 2020). به‌دلیل پایداری طولانی‌مدت فلزات سنگین در خاک، آلودگی خاک به این فلزات به یک بحران محیط‌زیستی تبدیل شده است

(Bojarczuk & Kieliszewska-Rokicka, 2010). از آنجایی‌که گونه‌های درختی غیرمثمر وارد چرخه غذایی انسان نمی‌شوند، می‌توانند با اهداف چندمنظوره مانند تولید چوب، توسعه فضای سبز و حفظ و پالایش خاک و با رعایت مسائل محیط‌زیستی برای کشت در خاک‌های متأثر از پساب‌ها مورد توجه قرار گیرند. در بین گونه‌های درختی، گونه‌های متعلق به خانواده بیدیان شامل صنوبرها و بیدها باتوجه‌به تندرشد بودن، تولید زی‌توده زیاد، جذب و تجمع فلزات سنگین در اندام‌های گیاهی و درنتیجه، توانایی پالایش خاک، گزینه‌های مناسبی برای کشت در خاک‌های متأثر از پساب‌ها هستند (Dos Santos Utmazian *et al.*, 2007; Baldantoni *et al.*, 2014; Pilipović *et al.*, 2019).

نتایج پژوهش‌های Aghabarati و همکاران (۲۰۰۸)، Salehi و همکاران (۲۰۰۸) و Tabari و Salehi (۲۰۰۹) به‌ترتیب درمورد گونه‌های زیتون، کاج تهران و اقاقیا نشان داد که درختان آبیاری‌شده با پساب شهری به‌طور معنی‌داری رشد بیشتری نسبت به درختان آبیاری‌شده با آب معمولی داشتند. افزایش رشد صنوبرها و بیدهای آبیاری‌شده با پساب شهری و نیز گونه درختی *Khaya senegalensis* آبیاری‌شده با پساب تصفیه‌شده به‌ترتیب توسط Dimitriou و Aronsson (۲۰۱۱) و Ali و همکاران (۲۰۱۳) گزارش شد. از سوی دیگر، در پژوهش Aryal و Reinhold (۲۰۱۵)، ویژگی‌های رویشی صنوبر هیبرید (*Populus nigra* × *deltoides*) تحت تأثیر آبیاری با پساب قرار نگرفت، درحالی‌که صنوبر مذکور، توانایی جذب و تجمع فلزات سنگین در اندام‌های گیاهی خود را داشت. Shariat و همکاران (۲۰۱۰) نیز با بررسی نهال‌های اکالیپتوس رشدیافته در خاک آلوده به کادمیم گزارش کردند که گونه مذکور، توان انباشته‌سازی فلز سنگین کادمیم بدون اختلال جدی در فرایند رشد را دارد. در مقابل، Alizadeh و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی نهال‌های یک‌ساله کبوده (*P. alba*) رشدیافته در خاک آلوده به غلظت‌های زیاد کادمیم مشاهده کردند که افزایش غلظت این عنصر در خاک باعث کاهش معنی‌دار تولید زی‌توده اندام‌های گیاهی می‌شود.

جمعیت روبه‌رشد تهران و انتقال آب از حوضه‌های مجاور باعث تولید مقدار قابل‌توجهی پساب و رواناب سطحی در این کلان‌شهر شده است (Salehi, 2020). باوجود اهمیت مدیریت پساب‌ها در کلان‌شهرها و استفاده از آن‌ها در مصارف مجاز، پژوهش‌های اندکی درزمینه تأثیر خاک و آب متأثر از پساب شهری بر ویژگی‌های رویشی و جذب فلزات گونه‌های تندرشدی مانند صنوبرها و بیدها در کشور انجام شده‌اند. در پژوهش پیش‌رو، تأثیر خاک آبیاری‌شده با پساب شهری بر رشد و تولید زی‌توده و جذب و تجمع عناصر غذایی و فلزات سنگین در اندام‌های گیاهی نهال‌های یک‌ساله از سه کلن صنوبر تبریزی (*P. nigra* 62/154، *P. nigra* 62/127 و *P. nigra* 17/13) پس از گذشت یک فصل رویش هشت‌ماهه بررسی شد. کلن‌های تبریزی انتخابی جزء کلن‌های پربازده هستند که توان تولید چوب و سازگاری آن‌ها با مناطق نیمه‌خشک کشور در آزمایش‌های سازگاری انجام‌شده توسط پژوهشگران مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور اثبات شده است.

مواد و روش‌ها

پژوهش پیش‌رو در قالب آزمایش فاکتوریل براساس طرح کامل تصادفی (CRD) با دو متغیر و درمجموع، شش تیمار انجام شد. متغیر اول، خاک و آب در دو سطح (شاهد (خاک و آب معمولی) و خاک و آب متأثر از پساب جنوب شهر تهران) و متغیر دوم، کلن صنوبر در سه سطح (*P.n.* 62/154، *P.n.* 62/127 و *P.n.* 17/13) بودند. خاک استفاده شده در این پژوهش در اواخر بهمن‌ماه ۱۳۹۶ از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری اراضی جنوب شهر تهران که سال‌های متمادی با پساب آبیاری شده بودند، جمع‌آوری و به ایستگاه تحقیقاتی البرز وابسته به مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور منتقل شد. خاک معمولی مورد استفاده نیز از ایستگاه مذکور تهیه شد. سپس در اوایل اسفندماه، گلدان‌های پلاستیکی (با ابعاد ۲۵×۲۰ سانتی‌متر مربع و حجم تقریبی ۷/۵ لیتر یا کیلوگرم) با خاک‌های جمع‌آوری‌شده پر شدند.

از خاک معمولی و خاک متأثر از پساب شهری، ، سه نمونه خاک برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی برداشت شد. در اواسط اسفندماه، قلمه‌های همگن (از نظر قطر و ارتفاع قلمه) از کلن‌های صنوبر تبریزی مورد مطالعه انتخاب شدند. به‌ازای هر تیمار، پنج قلمه در سه تکرار در گلدان‌های آماده (درکل ۹۰ گلدان برای شش تیمار) کاشته شد. این گلدان‌ها تا پایان پژوهش به‌مدت یک فصل رویش هشت ماهه از ابتدای فروردین‌ماه تا انتهای آبان‌ماه در فضای باز مسقف نگهداری شدند. آبیاری دوبار در هفته با مقدار آب یکسان برای همه تیمارها و با استفاده از پارچ پلاستیکی مدرج یک‌لیتری تا پایان پروژه انجام شد. گلدان‌های پرشده با خاک معمولی با آب معمولی آبیاری شدند، اما در آبیاری گلدان‌های پرشده با خاک آلوده از پساب شهری استفاده شد. پساب شهری مورد استفاده در این پژوهش، رواناب سطحی جاری در جنوب شهر تهران بود که به‌طور منظم دوبار در ماه در بشکه‌های پلاستیکی ۱۲۰ لیتری جمع‌آوری و به ایستگاه تحقیقاتی البرز منتقل شد. این رواناب سطحی، ترکیبی از آوردهای کوهستانی و شهری و بخشی از فاضلاب های مسکونی و صنعتی است که در رده فاضلاب‌های خام و بدون تصفیه قرار می‌گیرد (Salehi, 2020). چهار بار در فصل رویش (ماه‌های فروردین، خرداد، مرداد و مهر) از پساب شهری مورد استفاده در این پژوهش برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی آب نمونه‌برداری شد.

در آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، pH و هدایت الکتریکی (EC) نمونه‌های آب با استفاده از دستگاه‌های pHمتر و ECسنج و غلظت عناصر غذایی و فلزات سنگین با استفاده از دستگاه ICP-MS اندازه‌گیری شد. همچنین، پس از انتقال نمونه‌های خاک به آزمایشگاه، بافت خاک به‌روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1962)، pH با روش گل اشباع (Mclean, 1982)، EC به‌روش عصاره گل اشباع (Rhoades, 1982)، ماده آلی با استفاده از روش والکلی- بلاک (Nelson & Sommers, 1996)، نیتروژن کل به‌روش کجلدال (Bremner, 1996)، فسفر قابل‌جذب با کاربرد روش اولسن (Olsen *et al.*, 1954) و پتاسیم قابل‌جذب به‌روش استات‌آمونیوم نرمال (Page, 1982) تعیین شدند. غلظت ریزمغذی‌ها (آهن، روی، منگنز و مس) و فلزات سنگین (نیکل، کروم و سرب) نمونه‌های خاک پس از هضم اسیدی نمونه‌ها در دستگاه هضم مایکروویو در آزمایشگاه پژوهشکده سامانه‌های حمل و نقل فضایی ایران، با استفاده از دستگاه ICP-MS اندازه‌گیری شد. در این پژوهش، به‌منظور کنترل کیفیت آزمایش و ارزیابی صحت داده‌های عناصر و فلزات سنگین اندازه‌گیری‌شده در نمونه های خاک از ماده مرجع استاندارد خاک با کد CRM059 استفاده شد.

پس از گذشت یک فصل رویش، ویژگی‌های رویشی (قطر و طول ساقه)، زی‌توده (ریشه، ساقه و برگ) و سطح برگ با انتخاب تصادفی چهار نهال از هر تیمار اندازه‌گیری شد. پس از شستشوی نهال‌ها برای تعیین زی‌توده، اندام‌های مختلف (ریشه، ساقه و برگ) از هم جدا شدند. وزن خشک اندام‌های گیاهی پس از خشک شدن آن‌ها در آون به‌مدت ۴۸ ساعت و در دمای ۷۲ درجه سانتیگراد تعیین شد. همچنین، نمونه‌های گیاهی (ریشه، ساقه و برگ) از نظر عناصر غذایی و فلزات سنگین بررسی شدند. در نمونه‌های گیاهی، نیتروژن به‌روش کجلدال (Bremner, 1996)، فسفر به‌روش اولسن (Olsen *et al.*, 1954) و پتاسیم به‌روش استات‌آمونیوم نرمال (Page, 1982) اندازه‌گیری شدند. غلظت ریزمغذی‌ها (آهن، روی، منگنز و مس) و فلزات سنگین (نیکل، کروم و سرب) در اندام‌های گیاه پس از هضم اسیدی نمونه‌ها در دستگاه هضم مایکروویو با استفاده از دستگاه ICP-MS تعیین شد. در این پژوهش، برای کنترل کیفیت آزمایش و ارزیابی صحت داده‌های عناصر و فلزات سنگین اندازه‌گیری‌شده در نمونه‌های گیاهی از دو ماده مرجع استاندارد گیاهی با کدهای GSB-11 و ERM-CD281 استفاده شد.

برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، ابتدا با استفاده از آزمون‌های Shapiro–Wilk و Levene به‌ترتیب نرمال بودن و همگنی واریانس داده‌ها ارزیابی شد. سپس، برای بررسی تأثیر تیمارهای خاک و آب و کلن و نیز اثر متقابل این دو تیمار

بر ویژگی‌های رویشی، تولید زی‌توده و جذب و تجمع عناصر غذایی و فلزات سنگین در اندام‌های گیاهی از آزمون تجزیه واریانس دوطرفه (ANOVA) و برای گروه‌بندی و مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی استفاده شد.

نتایج

ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی پساب شهری

مقایسه ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی پساب شهری مورد استفاده در این پژوهش با استانداردهای سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO)، سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده (US EPA) و سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران نشان داد که به‌طور کلی، این پساب از نظر pH، EC، غلظت عناصر غذایی و فلزات سنگین در محدوده مجاز آب آبیاری قرار دارد (جدول ۱).

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی پساب شهری مورد استفاده

ویژگی آب	پساب مورد استفاده	سازمان حفاظت محیط زیست	FAO	US EPA
pH	۷/۱۳	۵/۶-۴/۸	۶/۸-۵	۵/۶-۴/۸
(ds/m) EC	۱/۱۲	۳	۳-۰	۰/۷-۳
(mg/l) N	۲۴/۹۲	۳۰	۱۵-۰	۳۰-۵
(mg/l) P	۱/۹۶	-	۲-۰	۴-۰/۴
(mg/l) K	۱۲/۴	-	-	۲۰-۱۰
(mg/l) Ca	۶۴/۶	-	-	۷۰-۴۰
(mg/l) Mg	۹/۲۲	-	-	۲۰-۵
(mg/l) Na	۸۲/۷	-	-	۲۰۰-۹۰
(µg/l) Fe	۸۰	۵	۵	۵
(µg/l) Zn	۸۸	۲	۲	۲
(µg/l) Cu	۲۶	۰/۲	۰/۲	۰/۲
(µg/l) Mn	۳۰	۰/۲	۰/۲	۰/۲
(µg/l) Ni	۳۰	۰/۲	۰/۲	۰/۲
(µg/l) Cr	۱۵/۹۶	۰/۱	۰/۱	۰/۱
(µg/l) Pb	۹۳	۵	۵	۵

داده‌های جدول براساس میانگین اعداد به‌دست‌آمده از چهار بار اندازه‌گیری در فصل‌های مختلف می‌باشد؛ واحد اندازه‌گیری عناصر غذایی و فلزات سنگین برای پساب مورد استفاده در پژوهش پیش‌رو در ستون اول آمده است. واحد اندازه‌گیری عناصر غذایی و فلزات سنگین مربوط به استانداردهای مورداستفاده (سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران، FAO و US EPA) میلی‌گرم بر لیتر (mg/l) است.

ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک

بررسی ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه نشان داد که سطح فلزات سنگین موجود در خاک متأثر از پساب شهری از مقادیر متوسط جهانی فلزات در خاک بیشتر است (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک‌های مورد استفاده با میانگین جهانی

ویژگی خاک	خاک معمولی	خاک متأثر از پساب شهری	مقدار متوسط جهانی*
بافت	لومی- رسی	لومی- رسی	-
pH	۷/۹	۸	-
EC (ds/m)	۱/۴	۱/۶۱	-
ماده آلی (٪)	۰/۹۵	۱/۲۳	-
N (٪)	۰/۰۷	۰/۱۱	-
P (mg/kg)	۳۲	۵۰	-
K (mg/kg)	۲۰۲	۲۵۶	-
Fe (g/kg)	۱۷/۹۳	۲۸/۴۲	-
Zn (mg/kg)	۷۸/۱	۱۸۳/۳۲	۷۰
Cu (mg/kg)	۳۶/۳	۱۴۶/۷۲	۳۸/۹
Mn (mg/kg)	۳۲۲/۱۳	۹۸۱/۴	۴۸۸
Ni (mg/kg)	۲۲/۱	۴۱/۸۱	۲۹
Cr (mg/kg)	۳۳/۱۳	۸۸/۱	۵۹/۵
Pb (mg/kg)	۲۰/۷۸	۴۸/۰۱	۲۷

* Kabata-Pendias (۲۰۱۱)

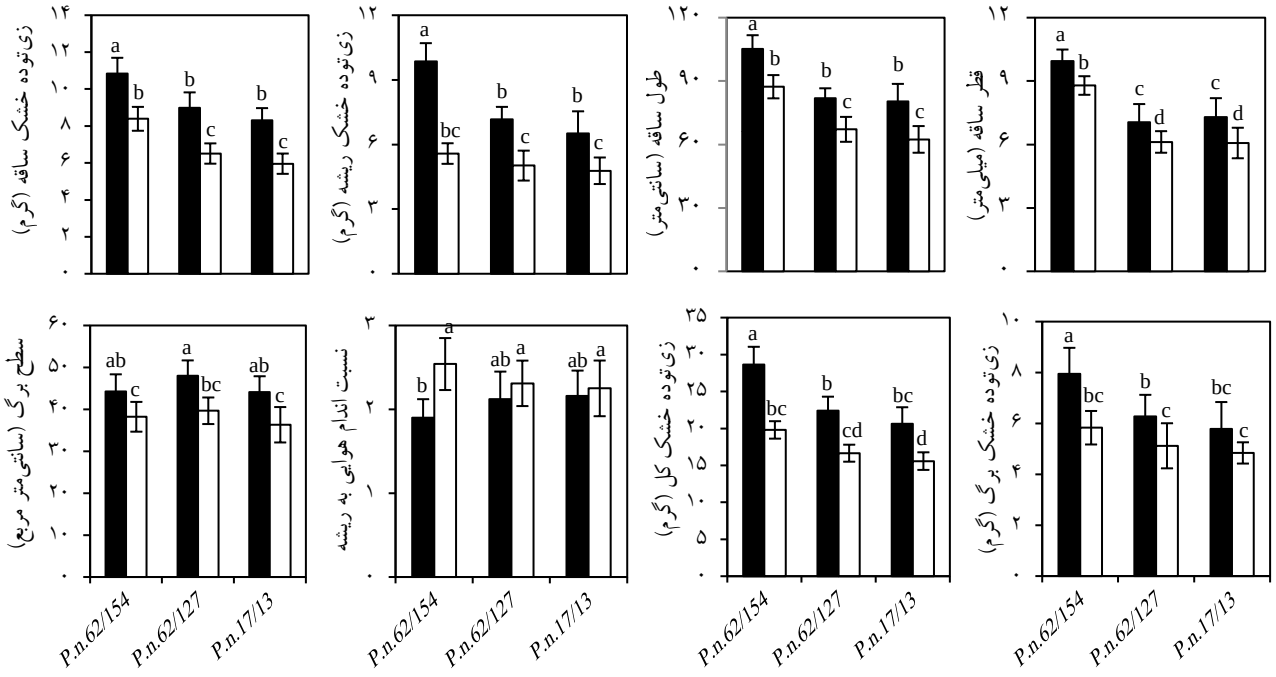
جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) تیمارهای خاک و آب و کلن و اثرات متقابل آن‌ها بر ویژگی‌های رویشی و زی‌توده

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		قطر ساقه (میلی‌متر)	طول ساقه (سانتی‌متر)	زی‌توده خشک ریشه (گرم)	زی‌توده خشک ساقه (گرم)	زی‌توده خشک برگ (گرم)	زی‌توده خشک کل (گرم)	نسبت اندام هوایی به ریشه	سطح برگ (سانتی‌متر مربع)
خاک و آب (A)	۱	۵/۵۵**	۱۲۲۵/۱۲**	۳۳/۴**	۲۲/۴۶**	۷/۳۳**	۱۷۴/۹۷**	۰/۰۲۵*	۲۲۳/۸۷**
کلن (B)	۲	۱۴/۹۵**	۱۱۲۹/۷۴**	۷/۱**	۹/۲۸**	۵/۱۶*	۶۱/۵۷**	۰/۰۰۱	۱۹/۷۵
A × B	۲	۰/۰۳۲	۳/۷	۲/۷۶	۰/۱۳۴	۰/۲۴۶	۵/۵۵	۰/۰۰۶	۴/۵۸
خطا	۱۲	۰/۴۰۱	۲۸/۵۸	۰/۸۵۴	۰/۴۸۴	۰/۷۵۴	۳/۸۴	۰/۰۰۴	۴/۷

** معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد؛ * معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد

ویژگی‌های رویشی و زی‌توده

بررسی ویژگی‌های رویشی و زی‌توده نهال‌ها پس از یک فصل رویش نشان داد که اثر متغیر خاک و آب بر همه ویژگی های مورد بررسی در سطح اطمینان حداقل ۹۵ درصد، معنی‌دار بود (جدول ۳)، به‌طوری‌که در هر سه کلن مورد مطالعه، افزایش معنی‌دار ویژگی‌های رویشی و زی‌توده نهال‌های تیمارشده با خاک و آب متأثر از پساب شهری نسبت به نهال‌های شاهد مشاهده شد. تأثیر کلن نیز بر همه ویژگی‌های رویشی و زی‌توده مورد بررسی به‌جز نسبت زی توده اندام هوایی به ریشه و سطح برگ در سطح اطمینان حداقل ۹۵ درصد، معنی‌دار بود. پس از یک فصل رویش، بیشینه ویژگی‌های قطر و طول ساقه و تولید زی‌توده ریشه، ساقه، برگ و کل گیاه در نهال‌های کلن *P. nigra* 62/154 در تیمار خاک و آب متأثر از پساب شهری مشاهده شد (شکل ۱). تأثیر متقابل تیمارهای خاک و آب و کلن بر هیچ‌یک از ویژگی‌های مورد بررسی، معنی‌دار نبود (جدول ۳).



شکل ۱- ویژگی‌های رویشی و زی‌توده در نهال‌های سه کلن صنوبر تبریزی رشدیافته در خاک و آب متأثر از پساب شهری و شاهد (میانگین ± SE)

(ستون‌های مشکی نشان‌دهنده تیمار خاک و آب متاثر از پساب شهری و ستون‌های سفید بیانگر تیمار خاک و آب شاهد هستند. همچنین، حروف انگلیسی متفاوت در هر نمودار نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین میانگین گروه‌های مورد بررسی است.)

غلظت عناصر غذایی اصلی (NPK) در اندام‌های گیاهی

بررسی غلظت عناصر نیتروژن (N)، فسفر (P) و پتاسیم (K) در ریشه و اندام هوایی نهال‌های مورد مطالعه پس از یک فصل رویش نشان داد که غلظت عناصر مذکور در ریشه و اندام هوایی نهال‌های تیمارشده با خاک و آب متأثر از پساب شهری در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری بیشتر است. از نظر غلظت عناصر NPK در اندام‌های گیاهی، اختلاف معنی‌داری بین سه کلن صنوبر تبریزی مشاهده نشد. همچنین، تأثیر متقابل تیمارهای خاک و آب و کلن بر غلظت این عناصر در اندام‌های گیاهی، معنی‌دار نبود (جدول ۴).

غلظت ریزمغذی‌ها در اندام‌های گیاهی

پس از یک فصل رویش، اختلاف بین سه کلن صنوبر تبریزی از نظر جذب و تجمع عناصر ریزمغذی در اندام‌های گیاهی، معنی‌دار نبود (جدول ۵). در هر سه کلن صنوبر تبریزی، بیشترین جذب و تجمع آهن (Fe) و مس (Cu) به‌ترتیب در ریشه، برگ و ساقه و بیشترین جذب و تجمع روی (Zn) و منگنز (Mn) به‌ترتیب در برگ، ریشه و ساقه مشاهده شد (شکل ۲). به‌طور کلی، غلظت همه عناصر مذکور در ریشه و اندام هوایی نهال‌های تیمارشده با خاک و آب متأثر از پساب شهری در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. تأثیر متقابل تیمارهای خاک و آب و کلن بر جذب و تجمع ریزمغذی‌ها در ریشه و اندام هوایی، معنی‌دار نبود.

جدول ۴- غلظت عناصر غذایی اصلی (NPK) در اندام‌های گیاهی سه کلن صنوبر رشدیافته در خاک و آب متأثر از پساب شهری و شاهد

	کلن	*P. nigra* 62/154		*P. nigra* 62/127		*P. nigra* 17/13		*P* values		
	تیمار	خاک و آب متأثر از پساب شهری	شاهد	خاک و آب متأثر از پساب شهری	شاهد	خاک و آب متأثر از پساب شهری	شاهد	خاک و آب (A)	کلن (B)	A × B
N (٪)	ریشه	a ۱/۱۳	b ۰/۷۹	a ۱/۳۲	b ۰/۸	a ۱/۲۸	b ۰/۸۲	۰/۰۰۰**	۰/۷۵۸	۰/۹۲۸
	ساقه	a ۰/۸۶	b ۰/۷	a ۰/۸۷	b ۰/۶۱	a ۰/۹۳	b ۰/۶۳	۰/۰۰۰**	۰/۰۷۶	۰/۰۹۲
	برگ	a ۲/۲۴	b ۱/۷۲	a ۲/۱	b ۱/۷۷	a ۲/۲	b ۱/۶۸	۰/۰۰۰**	۰/۷۵۹	۰/۲۴
P (٪)	ریشه	a ۰/۲۷	b ۰/۱۸	a ۰/۲۹	b ۰/۲	a ۰/۲۸	b ۰/۲۱	۰/۰۰۰**	۰/۴۹۵	۰/۷۳۸
	ساقه	a ۰/۲۸	b ۰/۱۷	a ۰/۲۹	b ۰/۱۹	a ۰/۲۵	b ۰/۲	۰/۰۰۰**	۰/۷۲۶	۰/۶۱
	برگ	a ۰/۳۱	b ۰/۱۸	a ۰/۲۹	b ۰/۲۱	a ۰/۲۸	b ۰/۲	۰/۰۰۰**	۰/۷۹۴	۰/۱۳۵
K (٪)	ریشه	a ۱/۱۱	b ۰/۸۵	a ۱/۲۲	b ۰/۷۹	a ۱/۲۳	b ۰/۸۳	۰/۰۰۰**	۰/۲۸۳	۰/۶۵۳
	ساقه	a ۰/۹۶	b ۰/۷۸	a ۰/۹۲	b ۰/۷۷	a ۰/۹۷	b ۰/۷۹	۰/۰۰۰**	۰/۴۴۶	۰/۷۳
	برگ	a ۱/۲۴	b ۰/۸۲	a ۱/۲	b ۰/۸۸	a ۱/۱۹	b ۰/۸۹	۰/۰۰۰**	۰/۵۶۳	۰/۵۳۷

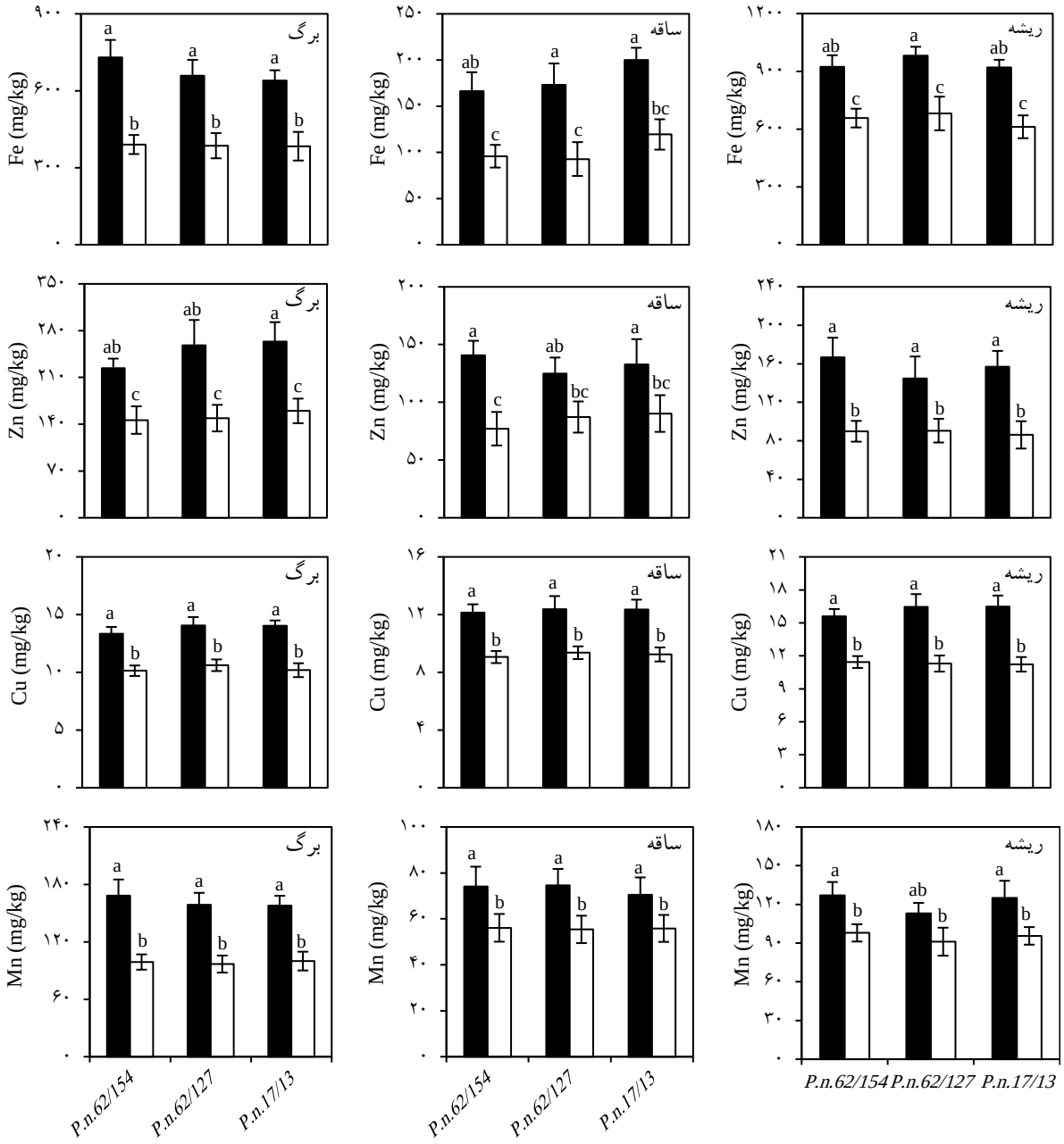
** معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد

حروف انگلیسی متفاوت در هر سطر نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد بین میانگین گروه‌های مورد بررسی است.

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) تیمارهای خاک و آب و کلن و اثرات متقابل آن‌ها بر غلظت ریزمغذی‌ها در اندام‌های گیاهی

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		Fe (mg/kg)			Zn (mg/kg)		
		ریشه	ساقه	برگ	ریشه	ساقه	برگ
خاک و آب (A)	۱	۳۰۱۲۵۰/۹۸**	۲۸۴۱۲/۵۱**	۴۲۰۹۵۵/۱۱**	۲۰۴۱۰/۰۸**	۱۰۳۳۱/۵۵**	۳۳۸۷۰/۳۲**
کلن (B)	۲	۲۰۰۷۴/۶۴	۱۹۴۶/۶۲	۶۳۵۵/۱۸	۱۷۵/۸۹	۴۴/۳۸	۲۹۴۴/۳۸
A × B	۲	۳۱۰۵/۵۵	۱۱۱/۰۴	۲۸۷۷/۲	۲۰۴/۹۷	۲۸۷/۵۷	۱۷۳۳/۱۱
خطا	۱۲	۲۹۸۶/۳۴	۳۱۳/۷	۳۶۵۵/۴۲	۲۷۷/۵۲	۲۹۶/۶۱	۶۰۹/۳۶
		میانگین مربعات					
منبع تغییرات	درجه آزادی	Cu (mg/kg)			Mn (mg/kg)		
		ریشه	ساقه	برگ	ریشه	ساقه	برگ
خاک و آب (A)	۱	۱۵۳/۸۲**	۴۲/۳۸**	۵۵/۰۹**	۲۳۴۱/۳۳**	۱۳۴۰/۷۵**	۱۷۸۶۱/۷۶**
کلن (B)	۲	۰/۱۹	۰/۱۱۲	۰/۵۵	۲۶/۷۹	۷/۰۵	۵۸/۴۷
A × B	۲	۰/۶۳۱	۰/۰۰۴	۰/۱۶۹	۱۸۷/۹۴	۸/۱۷	۵۱/۰۴
خطا	۱۲	۰/۶۰۷	۰/۳۴۸	۰/۲۵۳	۱۸۹/۱۹	۷۱/۶۲	۱۱۰/۱۳

** معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد



شکل ۲- غلظت ریزمغذی‌ها در ریشه و اندام هوایی نهال‌های سه کلن صنوبر تبریزی رشدیافته در خاک و آب متأثر از پساب شهری و شاهد (میانگین ± SE)

(ستون‌های مشکی نشان‌دهنده تیمار خاک و آب متأثر از پساب شهری و ستون‌های سفید بیانگر تیمار خاک و آب شاهد هستند. همچنین، حروف انگلیسی متفاوت در هر نمودار نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد بین میانگین گروه‌های مورد بررسی است.)

غلظت فلزات سنگین در اندام‌های گیاهی

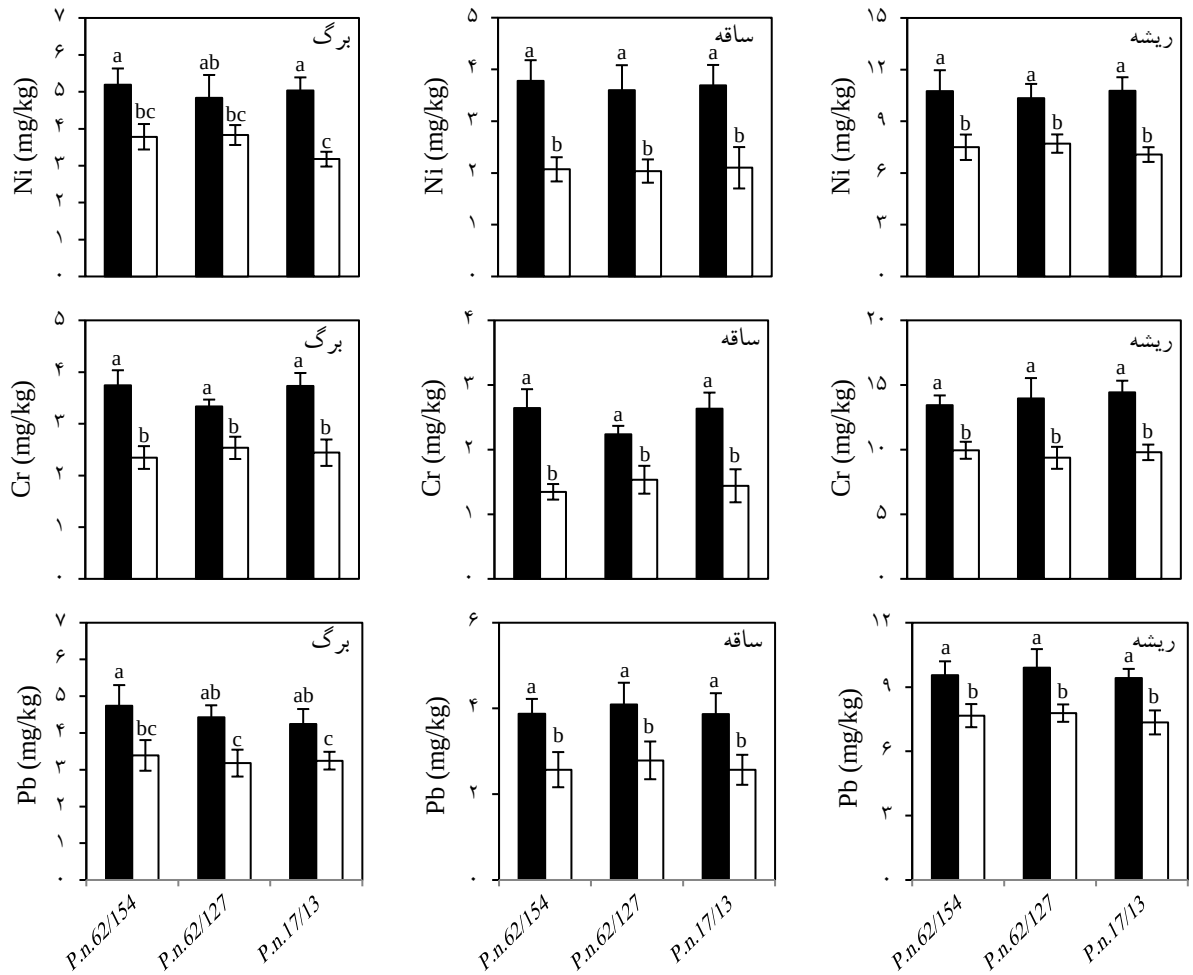
پس از یک فصل رویش، اختلاف معنی‌داری بین سه کلن صنوبر تبریزی از نظر جذب و تجمع فلزات سنگین نیکل (Ni)، کروم (Cr) و سرب (Pb) در اندام‌های گیاهی مشاهده نشد (جدول ۶). در هر سه کلن، تجمع فلزات سنگین در ریشه، بیشتر از اندام هوایی بود (شکل ۳). درکل،

جذب و تجمع فلزات سنگین در اندام‌های گیاهی نهال‌های کاشته‌شده در خاک و آب متأثر از پساب شهری به‌طور معنی‌داری بیشتر از نهال‌های شاهد به‌دست آمد. تأثیر متقابل تیمارهای خاک و آب و کلن بر جذب و تجمع فلزات سنگین در ریشه و اندام هوایی، معنی‌دار نبود.

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) تیمارهای خاک و آب و کلن و اثرات متقابل آن‌ها بر غلظت فلزات سنگین در اندام‌های گیاهی

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		Ni (mg/kg)			Cr (mg/kg)			Pb (mg/kg)		
		ریشه	ساقه	برگ	ریشه	ساقه	برگ	ریشه	ساقه	برگ
خاک و آب (**A**)	۱	۴۵/۹۸**	۱۱/۷۹**	۹/۱۵**	۷۵/۵۶**	۵/۰۹**	۶/۱**	۱۸/۴۶**	۷/۶**	۵/۴۴**
کلن (**B**)	۲	۰/۰۵۹	۰/۰۱۸	۰/۲۱۸	۰/۶۳۸	۰/۰۳۷	۰/۰۳۸	۰/۳۱۵	۰/۰۹۵	۰/۱۵۷
A × B	۲	۰/۴۴۱	۰/۰۰۹	۰/۲۷۴	۱/۲۲	۰/۱۵۱	۰/۱۵۱	۰/۰۲۳	۰/۰۱	۰/۰۷۳
خطا	۱۲	۰/۶۳۲	۰/۱۳۷	۰/۱۵۵	۰/۸۶۲	۰/۰۴۸	۰/۰۴۹	۰/۳۲۴	۰/۳۰۳	۰/۱۶۲

**معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد



شکل ۳- غلظت فلزات سنگین در ریشه و اندام هوایی نهال‌های سه کلن صنوبر تبریزی رشدیافته در خاک و آب متأثر از پساب شهری و شاهد (میانگین ± SE)

(ستون‌های مشکی نشان‌دهنده تیمار خاک و آب متاثر از پساب شهری و ستون‌های سفید بیانگر تیمار خاک و آب شاهد هستند. همچنین، حروف انگلیسی متفاوت در هر نمودار نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد بین میانگین گروه‌های مورد بررسی است.)

بحث

بررسی ویژگی‌های رویشی و زی‌توده در نهال‌های یک ساله سه کلن صنوبر تبریزی پس از یک فصل رویش نشان داد که تیمار خاک و آب متأثر از پساب شهری نه‌تنها تأثیر منفی بر رشد و زی‌توده کلن‌های مورد مطالعه نداشت، بلکه سبب افزایش معنی‌دار رشد و زی‌توده آن‌ها نسبت به نهال های رشدیافته در خاک و آب معمولی شد. در راستای این نتایج، در پژوهش‌های پیشین نیز به افزایش رشد و تولید زی‌توده گونه‌های درختی آبیاری‌شده با پساب اشاره شده است (Tsakou *et al.*, 2003; Egiarte *et al.*, 2005; Singh & Bhati, 2005; Guo *et al.*, 2006; Ali *et al.*, 2013). بررسی غلظت عناصر غذایی NPK در ریشه و اندام هوایی سه کلن مورد بررسی نیز نشان داد که پس از یک فصل رویش، غلظت عناصر مذکور در ریشه و اندام هوایی (ساقه و برگ) نهال‌های تیمارشده با خاک و آب متأثر از پساب شهری به‌طور معنی‌داری بیشتر از نهال‌های شاهد بود. اغلب پساب‌ها، سرشار از عناصر غذایی اصلی و ریزمغذی های مورد نیاز گیاه هستند (Toze, 2006; Yadav *et al.*, 2002). عناصر غذایی، نقش مهمی در افزایش تولید زی‌توده گیاهی دارند (Guo & Sims, 2003)، بنابراین آبیاری با پساب‌ها می‌تواند باعث بهبود ویژگی‌های خاک و درنتیجه، افزایش تولید زی‌توده و بهبود سازوکارهای فیزیولوژیکی گیاه شود (Egiarte *et al.*, 2005; Ali *et al.*, 2013). از آنجایی‌که جذب عناصر غذایی توسط گیاهان علاوه‌بر مقدار عناصر در آب نامتعارف و ویژگی‌های خاک به نوع گیاه نیز بستگی دارد (Bozkurt & Yarilga, 2003)، بنابراین افزایش رشد و تولید زی‌توده در گونه‌های مختلف، متفاوت خواهد بود.

نتایج دیگر پژوهش پیش‌رو نشان داد که نسبت زی‌توده اندام هوایی به ریشه در نهال‌های هر سه کلن صنوبر تبریزی رشدیافته در خاک و آب متأثر از پساب شهری، کمتر از نهال‌های شاهد بود، البته این نسبت فقط در کلن *P. nigra* 62/154 اختلاف معنی‌داری نشان داد. تخصیص زی‌توده گیاهی، صفتی مهم است که تحت تأثیر تغییرات محیط‌زیست قرار می‌گیرد (Berendse & Möller, 2009). اگرچه تأثیر آلاینده‌ها بر تخصیص زی‌توده گیاهی تاحد زیادی ناشناخته باقی مانده است، اما پژوهش‌های بسیاری گزارش کرده‌اند که گیاهان با کاهش تخصیص زی‌توده به بخش‌های روی زمینی خود می‌توانند به تنش‌های زیرزمینی پاسخ دهند. این پاسخ به‌منظور بهینه‌سازی جذب عناصر غذایی از خاک و به حداکثر رساندن رشد گیاه به‌کار می‌رود (Bonifas *et al.*, 2005; Mahoney & Swanton, 2008).

باتوجه‌به مقدار بیشتر رشد و تولید زی‌توده در نهال‌های رشدیافته در خاک و آب متأثر از پساب شهری، همان‌طور که انتظار می‌رفت، جذب و تجمع ریزمغذی‌ها (آهن، روی، منگنز و مس) در ریشه و اندام هوایی این نهال‌ها نسبت به نهال‌های رشدیافته در خاک و آب معمولی بیشتر بود. بررسی غلظت فلزات سنگین نیکل، کروم و سرب در ریشه و اندام هوایی نیز نشان داد که در هر سه کلن صنوبر تبریزی، افزایش معنی‌دار جذب و تجمع فلزات سنگین در ریشه و اندام هوایی نهال‌های رشدیافته در خاک و آب متأثر از پساب شهری در مقایسه با نهال‌های شاهد وجود داشت. پژوهش‌های پیشین نیز نشان داده‌اند که گیاهان رشدیافته در خاک آلوده به فلزات سنگین و یا آبیاری‌شده با پساب نسبت به گیاهان شاهد، مقادیر بیشتری از فلزات سنگین را در اندام‌های خود دارند (Karatas *et al.*, 2006; Ali *et al.*, 2013; Baldantoni *et al.*, 2014; Chandra & Kang, 2016).

در هر سه کلن صنوبر تبریزی، بیشترین جذب و تجمع آهن و مس به‌ترتیب در ریشه، برگ و ساقه و بیشترین جذب و تجمع روی و منگنز به‌ترتیب در برگ، ریشه و ساقه بود. همچنین، فلزات سنگین نیکل، کروم و سرب، بیشتر در ریشه نهال‌ها تجمع داشتند. درمجموع، کمترین غلظت عناصر غذایی و فلزات سنگین برای هر سه کلن در اندام ساقه مشاهده شد. هم‌راستا با نتایج پژوهش پیش‌رو، Baldantoni و همکاران (۲۰۱۴) نیز با بررسی عملکرد دو کلن مقاوم به فلزات سنگین از دو گونه صنوبر تبریزی و کبوده گزارش کردند که رشد نهال‌های این کلن‌ها در یک خاک آلوده به فلزات سنگین باعث تجمع آهن، سرب و مس

در ریشه و تجمع روی و کادمیم در برگ آن‌ها شد. همچنین، کمترین غلظت فلزات سنگین برای هر دو کلن مذکور در ساقه مشاهده شد. به‌طور کلی، توزیع فلزات در بین اندام‌های گونه‌های درختی اغلب به‌شکل ریشه > برگ > ساقه است (Shi *et al*., 2011). تجمع بیشتر فلزات سنگین در ریشه و ممانعت از انتقال آن به اندام هوایی ازجمله سازوکارهایی است که برخی از گیاهان برای مقابله با سمیت این فلزات به‌کار می‌برند تا اندام‌هایی را که در متابولیسم نقش دارند از آسیب فلز سنگین حفظ کنند (Sankar Ganesh *et al*., 2006).

درمجموع، می‌توان گفت اگرچه اعتقاد بر این است که مقدار زیاد فلزات سنگین در پساب‌های شهری و صنعتی ممکن است مشکلاتی را برای برخی از گیاهان تحت کشت ایجاد کند، اما همان‌طور که در پژوهش‌های متعدد گزارش شده است، گونه‌های متعلق به خانواده بیدیان به‌عنوان انباشته‌گر فلزات سنگین، مقاومت زیادی نسبت به آن‌ها دارند. نتایج پژوهش پیش‌رو نیز نشان داد که فلزات سنگین موجود در خاک و آب، محدودیتی برای رشد کلن‌های صنوبر تبریزی مورد مطالعه در سال اول ایجاد نکردند. باتوجه‌به نقش مثبت آب‌های نامتعارف نه‌تنها به‌عنوان یک منبع تأمین آب بلکه به‌عنوان یک منبع مغذی از عناصر غذایی، خاک و آب متأثر از پساب توانست باعث افزایش رشد و تولید زی‌توده در هر سه کلن موردمطالعه شود. از سوی دیگر، باتوجه‌به افزایش جذب و تجمع عناصر غذایی و فلزات سنگین در اندام‌های گیاهی نهال‌های رشدیافته در خاک و آب متأثر از پساب شهری نسبت به نهال‌های شاهد می‌توان با کاشت درختان صنوبر در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین به پالایش خاک و حذف آلاینده‌ها از آن نیز کمک کرد. نتایج بررسی عملکرد نهال‌های سه کلن صنوبر پس از یک فصل رویش نشان داد که هر سه کلن صنوبر تبریزی برای کاشت در خاک و آب متأثر از پساب شهری مناسب هستند، اما باتوجه‌به رشد و تولید زی‌توده بیشتر *P. nigra* 62/154 در مقایسه با دو کلن دیگر، این کلن در اولویت است. گفتنی است که در هر حالتی آب‌های نامتعارف باید در چهارچوب برنامه‌های پایش و نظارت مستمر و با رعایت مسائل محیط‌زیستی و براساس ویژگی های آب و خاک هر منطقه و گیاه مورد کشت استفاده شوند.

منابع مورد استفاده

- Aghabarati, A., Hosseni, S.M., Esmaeili, A. and Maralian, H., 2008. Growth and mineral accumulation in *Olea europaea* L. trees irrigated with municipal effluent. Research Journal of Environmental Science, 2(4): 281-290.
- Ali, H.M., Siddiqui, M.H., Khamis, M.H., Hassan, F.A., Salem, M.Z.M. and El-Mahroukd, E.S.M., 2013. Performance of forest tree *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. under sewage effluent irrigation. Ecological Engineering, 61(A): 117-126.
- Alizadeh, S.M., Zahedi Amiri, G., Savaghebi-Firoozabadi, G., Etemad, V., Shirvany, A. and Shirmardi, M., 2012. Influence of soil amendment on cadmium accumulation responses in one-year old *Populus alba* L. seedling. Iranian Journal of Forest, 3(4): 355-366 (In Persian).
- Aryal, N. and Reinhold, D.M., 2015. Reduction of metal leaching by poplars during soil treatment of wastewaters: Small-scale proof of concept studies. Ecological Engineering, 78: 53-61.
- Baldantoni, D., Cicatelli, A., Bellino, A. and Castiglione, S., 2014. Different behaviours in phytoremediation capacity of two heavy metal tolerant poplar clones in relation to iron and other trace elements. Journal of Environmental Management, 146: 94-99.
- Berendse, F. and Möller, F., 2009. Effects of competition on root–shoot allocation in *Plantago lanceolata* L.: adaptive plasticity or ontogenetic drift? Plant Ecology, 201: 567-573.
- Bojarczuk, K. and Kieliszewska-Rokicka, B., 2010. Effect of ectomycorrhiza on Cu and Pb accumulation in leaves and roots of silver birch (*Betula pendula* Roth.) seedlings grown in metal-contaminated soil. Water, Air, and Soil Pollution, 207: 227-240.
- Bonifas, K.D., Walters, D.T., Cassman, K.G. and Lindquist, J.L., 2005. Nitrogen supply affects root: shoot ratio in corn and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). Weed Science, 53(5): 670-675.
- Bouyoucos, G.J., 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. Agronomy Journal, 54(5): 464-465.
- Bozkurt, M.A. and Yarilga, T., 2003. The effects of sewage sludge applications on the yield, growth,

organic carbon, and organic matter: 961-1010. In: Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., … and Sumner, M.E. (Eds.). Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods. Soil Science Society of America, Inc., American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin, 1390p.
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. and Deen, L.A., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Circular Vol. 939, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C., 19p.
- Page, A.L., 1982. Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties, Second Edition. American Society of Agronomy, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, 1159p.
- Pilipović, A., Zalesny, R.S., Rončević, S., Nikolić, N., Orlović, S., Beljinc, J. and Katanić, M., 2019. Growth, physiology, and phytoextraction potential of poplar and willow established in soils amended with heavy-metal contaminated, dredged river sediments. Journal of Environmental Management, 239: 352-365.
- Rhoades, J.D., 1982. Soluble salts: 167-179. In: Page, A.L. (Ed.). Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties, Second Edition. American Society of Agronomy, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, 1159p.
- Salehi, A., 2020. Strategic approach to the use of unconventional waters in agricultural lands south of Tehran. Journal of Iran Nature, 5(5): 23-29 (In Persian).
- Salehi, A., Tabari, M., Mohammadi, J. and Aliarab, A., 2008. Effect of irrigation with municipal effluent on soil and growth of *Pinus eldarica* Medw. trees. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 16(2): 186-196 (In Persian).
- Sankar Ganesh, K., Sundaramoorthy, P. and Chidambaram, A.L.A., 2006. Chromium toxicity effect on blackgram, soybean and paddy. Pollution Research, 25(4): 257-261.
- Shariat, A., Assareh, M.H. and Ghamari-Zare, A., 2010. Effects of cadmium on some physiological characteristics of *Eucalyptus occidentalis*. Journal of Water and Soil Science, 14(53):145-154 (In Persian).
- Shi, X., Zhang, X., Chen, G., Chen, Y., Wang, L. and Shan, X., 2011. Seedling growth and metal accumulation of selected woody species in copper and lead/zinc mine tailings. Journal of Environmental Sciences, 23(2): 266-274.
- Singh, G. and Bhati, M., 2005. Growth of *Dalbergia* nutrition and heavy metal accumulation in apple trees growing in dry conditions. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 27(5): 285-292.
- Bremner, J.M., 1996. Nitrogen-total: 1085-1121. In: Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., … and Sumner, M.E. (Eds.). Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods. Soil Science Society of America, Inc., American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin, 1390p.
- Chandra, R. and Kang, H., 2016. Mixed heavy metal stress on photosynthesis, transpiration rate, and chlorophyll content in poplar hybrids. Forest Science and Technology, 12(2): 55-61.
- Dimitriou, I. and Aronsson, P., 2011. Wastewater and sewage sludge application to willows and poplars grown in lysimeterse–Plant response and treatment efficiency. Biomass and Bioenergy, 35(1): 161-170.
- Dos Santos Utmazian, M.N., Wieshammer, G., Vega, R. and Wenzel, W.W., 2007. Hydroponic screening for metal resistance and accumulation of cadmium and zinc in twenty clones of willows and poplars. Environmental Pollution, 148(1): 155-165.
- Egiarte, G., Camps Arbestain, M., Alonso, A., Ruíz-Romera, E. and Pinto, M., 2005. Effect of repeated applications of sewage sludge on the fate of N in soils under monterey pine stands. Forest Ecology and Management, 216(1-3): 257-269.
- Guo, L.B. and Sims, R.E.H., 2003. Soil response to eucalypt tree planting and meatworks effluent irrigation in a short rotation forest regime in New Zealand. Bioresource Technology, 87(3): 341-347.
- Guo, L.B., Sims, R.E.H. and Horne, D.J., 2006. Biomass production and nutrient cycling in *Eucalyptus* short rotation energy forests in New Zealand: II. Litter fall and nutrient return. Biomass and Bioenergy, 30(5): 393-404.
- Kabata-Pendias, A., 2011. Trace Elements in Soils and Plants, 4th edition. CRC Press, Boca Raton.
- Karatas, M., Dursun, S., Guler, E., Ozdemir, C. and Argun, M.E., 2006. Heavy metal accumulation in wheat plants irrigated by waste water. Cellulose Chemistry and Technology, 40(7): 575-579.
- Mahoney, K.J. and Swanton, C.J., 2008. Nitrogen and light affect the adaptive traits of common lambsquarters (*Chenopodium album*). Weed Science, 56: 81-90.
- Mclean, E.O., 1982. Soil pH and lime requirement: 199-224. In: Page, A.L. (Ed.). Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties, Second Edition. American Society of Agronomy, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, 1159p.
- Nelson, D.W. and Sommers, L.E., 1996. Total carbon,

- Tsakou, A., Rouli, M. and Christodoulaki, N.S., 2003. Growth parameters and heavy metal accumulation in poplar tree cultures (*Populus euramericana*) utilizing water and sludge from a sewage treatment plant. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 71: 330-337.
- Yadav, R.K., Goyal, B., Sharma, R.K., Dubey, S.K. and Minhas, P.S., 2002. Post-irrigation impact of domestic sewage effluent on composition of soils, crops and ground water—a case study. Environment International, 28(6): 481-486.
sissoo in desert regions of western India using municipal effluent and the subsequent changes in soil and plant chemistry. Bioresource Technology, 96(9): 1019-1028.
- Tabari, M. and Salehi, A., 2009. Long-term impact of municipal sewage irrigation on treated soil and black locust trees in a semi-arid suburban area of Iran. Journal of Environmental Sciences, 21(10): 1438-1445.
- Toze, S., 2006. Reuse of effluent water—benefits and risks. Agricultural Water Management, 80(1-3): 147-159.

Effect of soil and water affected by municipal effluent on performance one-year-old plants of three black poplar (*Populus nigra* L.) clones

A. Salehi [1*], M. Calagari [2] and F. Ahmadloo [3]

1*- Corresponding author, Assistant Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail: az.salehi@rifr-ac.ir
2- Associate Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
3- Assistant Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 12.04.2021 Accepted: 19.06.2021

Abstract

In this study, the effect of soil and water affected by municipal effluent on the performance of three poplar clones of *Populus nigra* L. after one year was investigated in a factorial experiment with two factors (1- soil and water in two levels and 2- poplar clones in three levels) based on the completely randomized design with five replications. After one year, in three poplar clones, significant increase in growth and biomass parameters of plants treated by soil and water affected by municipal effluent was observed. In three poplar clones, the significant increase of nutrients and heavy metals in organs of plants treated by soil and water affected by municipal effluent was observed. In three clones, Fe, Cu, Ni, Cr and Pb were mainly accumulated in roots, whereas Zn and Mn showed the highest concentrations in leaves. The three poplar clones did not show statistically significant differences in terms of uptake and accumulation of nutrients and heavy metals in plant organs. The effect of clone on most growth and biomass parameters was significant ($p \leq 0.01$). The highest growth and biomass rates were seen in plants of *P. nigra* 62/154 treated by soil and water affected by municipal effluent. The results of the present study showed that for wood farming in lands affected by municipal effluent, all three poplar clones can be used by prioritizing the *P. nigra* 62/154 clone.

Keywords: Biomass, heavy metal, nutrients, wastewater, wood farming.