جنگل و فرآورده‌های چوب، مجلهٔ منابع طبیعی ایران
دورهٔ ۷۴، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۴۰۰
ص ۴۴۵-۴۵۶ (پژوهشی)

دانشکده منابع طبیعی
دانشگاه تهران

DOI: 10.22059/jfwp.2021.326271.1173

ویژگی‌های رویشی و جذب عناصر غذایی و فلزات سنگین نهال‌های دوسالهٔ سه کلن صنوبر تبریزی در خاک متأثر از آب نامتعارف

آزاده صالحی*، فاطمه احمدلو

استادیار پژوهشی، مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۰۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۴

چکیده

با هدف بررسی تأثیر آبیاری با آب‌های نامتعارف بر عملکرد نهال‌های دوسالهٔ سه کلن صنوبر تبریزی، آزمایشی گلدانی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور ۱. خاک متأثر از نوع آب آبیاری در دو سطح؛ و ۲. کلن صنوبر در سه سطح انجام گرفت. پس از دو فصل رویش، تیمار خاک متأثر از آب نامتعارف، افزایش معنی‌دار ($P \leq ۰/۰۱$) ویژگی‌های رویشی (قطر و طول ساقه، سطح برگ و زی‌تودهٔ خشک ریشه، ساقه، برگ و کل گیاه)، جذب و تجمع عناصر غذایی اصلی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و کم‌مصرف (آهن، روی، مس و منگنز) و همچنین فلزات سنگین (نیکل، کروم و سرب) در اندام‌های گیاهی نهال‌های دوسالهٔ سه کلن صنوبر تبریزی را نسبت به نهال‌های شاهد (خاک متأثر از آب معمولی) به‌همراه داشت. در هر سه کلن صنوبر، بیشترین جذب و تجمع عناصر آهن، مس، نیکل، کروم و سرب در ریشه و عناصر روی و منگنز در برگ اتفاق افتاد. الگوی رفتاری سه کلن صنوبر در جذب و تجمع عناصر غذایی و فلزات سنگین در اندام‌های گیاهی تفاوت معنی‌داری نشان نداد، اما تأثیر کلن بر تولید زی‌تودهٔ خشک معنی‌دار بود، به‌طوری که بیشترین تولید زی‌تودهٔ خشک ساقه، برگ و کل گیاه در نهال‌های کلن *P. nigra* 62/154 تیمارشده با خاک متأثر از آب نامتعارف مشاهده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که در جنگلکاری‌ها و زراعت چوب برای تولید زی‌تودهٔ چوبی، می‌توان آب نامتعارف را منبع مهمی از آب آبیاری و عناصر غذایی در نظر گرفت. از سوی دیگر، صنوبرها به‌منزلهٔ گیاهان پالاینده در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین می‌توانند برای اصلاح ویژگی‌های خاک مفید واقع شوند.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، خاک آلوده، زراعت چوب، زی‌توده، گیاه‌پالایی، *Populus nigra*.

مقدمه

استفاده از آب‌های نامتعارف در آبیاری با توجه به روند فزایندهٔ کمبود منابع آبی، افزایش نیاز جمعیت‌های شهری به آب شرب و شناسایی ارزش عناصر غذایی موجود در آب‌های نامتعارف در تولید محصولات، در مناطق زیادی به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک رو به افزایش است. آب‌های نامتعارف تولیدی ممکن است حاوی انواع آلودگی میکروبی، فیزیکی و شیمیایی باشند؛ از این‌رو جمع‌آوری، تصفیه و استفادهٔ مجدد از آنها در موارد مجاز و با رعایت مسائل محیط زیستی از اهمیت زیادی برخوردار است. استفادهٔ برنامه‌ریزی شده و صحیح از منابع آب نامتعارف، گذشته از کاستن مشکلات مربوط به آلودگی آب‌های سطحی و حفظ منابع آبی ارز شمند، به‌دلیل وجود عناصر غذایی در این آب‌ها، برای رشد محصولات نیز سودمند

*نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۸۳۵۵۶۶۲، Email: az.salehi@rifr-ac.ir

است [۱]. رشد و نمو محصولات کشاورزی در خاک‌های متأثر از آب‌های نامتعارف، زمینهٔ ورود آلاینده‌های متعدد به زنجیرهٔ غذایی انسان را فراهم می‌سازد. در مقابل، کاشت گونه‌های درختی غیرمثمر با اهداف چندمنظوره در این خاک‌ها، گزینهٔ مناسب و مهمی است که با هدف کاهش خطرهای بهداشتی آب‌های نامتعارف در آبیاری می‌توان به آن توجه داشت [۲].

مرور پژوهش‌های پیشین نشان داده است که تأثیر آبیاری با آب‌های نامتعارف به نوع گونهٔ درختی وابسته است [۳]. از این‌رو باید گیاهانی برای آبیاری با آب‌های نامتعارف در نظر گرفته شوند که قادر به جذب سطوح بالای عناصر غذایی و فلزات از خاک باشند، رشد سریعی داشته باشند و در برابر رطوبت نیز مقاوم باشند [۴]. در بین گونه‌های درختی، گونه‌های متعلق به خانوادهٔ بیدیان به‌ویژه صنوبرها به عنوان درختانی تندرشد، عناصر غذایی را بیشتر و سریع‌تر از گیاهان علفی دائمی جذب می‌کنند [۵]. افزون‌بر این، پژوهش‌های گیاه‌پالایی نشان داده است که صنوبرها می‌توانند بسیاری از فلزات مانند آرسنیک، سرب، کادمیم، مس، روی و غیره را از راه ریشه جذب و به اندام‌های هوایی منتقل کنند [۶، ۷]، از این‌رو صنوبرها گزینهٔ مناسبی برای کشت در اراضی متأثر از آب‌های نامتعارف هستند [۸، ۹].

در همین زمینه، بررسی تأثیر آبیاری با آب نامتعارف بر گونه‌های درختی *Pinus eldarica* در پژوهش صالحی و همکاران (۲۰۰۸) [۱۰]، *Olea europaea* در پژوهش آقابراتی و همکاران (۲۰۰۸) [۱۱]، *Robiniapseudoacacia* در پژوهش طبری و صالحی (۲۰۰۹) [۱۲] و *Khaya senegalensis* در پژوهش علی و همکاران (۲۰۱۳) [۱۳] نشان داد که آبیاری با آب نامتعارف نه‌تنها خللی در رشد درختان وارد نکرد، بلکه درختان آبیاری‌شده با آب نامتعارف در مقایسه با آب معمولی از افزایش رشد معنی‌داری برخوردار بودند. آریال و رینهولد (۲۰۱۵) نیز گزارش کردند که آبیاری خاک تحت کشت صنوبر هیبرید (*Populus deltoides×nigra*) با آب نامتعارف نه‌تنها تأثیر منفی بر پارامترهای رشد صنوبر نداشت، بلکه صنوبر تحت بررسی، توانایی جذب و تجمع فلزات سنگین در اندام‌های گیاهی را نشان داد [۴]. دیمیتریو و آرونسون (۲۰۱۱) نیز با بررسی چند گونه صنوبر و بید به افزایش رشد گونه‌های درختی آبیاری‌شده با آب نامتعارف اشاره کرده‌اند [۱۴].

با توجه به اهمیت جمع‌آوری و مدیریت آب‌های نامتعارف و استفاده از آنها در موارد مجاز محیط زیستی و پژوهش‌های اندک داخل کشور در زمینهٔ تأثیر آبیاری با آب‌های نامتعارف بر گونه‌های درختی تندرشد، یک آزمایش گلدانی با هدف بررسی تأثیر آبیاری با آب‌های نامتعارف بر ویژگی‌های رویشی و جذب عناصر غذایی و فلزات سنگین نهال‌های دو سالهٔ سه کلن صنوبر تبریزی شامل *Populus nigra* 62/154، *P. nigra* 62/127 و *P. nigra* 17/13 انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

خاک و آب

خاک متأثر از آب نامتعارف استفاده‌شده در این پژوهش، در اواخر بهمن‌ماه از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری اراضی کشاورزی جنوب شهر تهران که سالیان متمادی متأثر از آب‌های نامتعارف بوده است، جمع‌آوری و به ایستگاه تحقیقاتی البرز مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور منتقل شد. خاک معمولی به‌کاررفته نیز از ایستگاه تحقیقاتی البرز تهیه شد. در ابتدا از هر دو نوع خاک، سه نمونه برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی برداشت شد. آب نامتعارف استفاده‌شده در این پژوهش، رواناب سطحی جاری در جنوب شهر تهران است. آب نامتعارف استفاده شده به‌طور منظم دو بار در ماه در بشکه‌های پلاستیکی ۱۲۰ لیتری جمع‌آوری و به ایستگاه تحقیقاتی البرز منتقل شد. از آب نامتعارف در

زمان‌های مختلف (چهار بار در فصل رویش)، برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی نمونه‌برداری شد.

مواد گیاهی

در این پژوهش سه کلن صنوبر تبریزی (*P. nigra* 62/154، *P. nigra* 62/127 و *P. nigra* 17/13) که از کلن‌های پربازده‌اند و طی آزمایش‌های سازگاری متعدد توسط محققان مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، توان تولید چوب زیاد و سازگاری آنها با مناطق نیمه‌خشک کشور به اثبات رسیده است، بررسی شد. در اواسط اسفندماه، قلمه‌های همگن (از نظر قطر و ارتفاع قلمه) سه کلن صنوبر تبریزی از خزانه تحقیقاتی ایستگاه تحقیقاتی البرز تهیه شد.

روش تحقیق

اوایل اسفندماه گلدان‌های پلاستیکی با خاک معمولی و خاک متأثر از آب نامتعارف پر شدند و در اواسط اسفندماه، قلمه‌های سه کلن صنوبر در گلدان‌های آماده کاشته شدند. گلدان‌ها تا پایان پژوهش (به‌مدت دو فصل رویش) در فضای باز مسقف نگهداری شدند. آبیاری گلدان‌های پرشده با خاک معمولی با آب معمولی و آبیاری گلدان‌های پرشده با خاک متأثر از آب نامتعارف با آب نامتعارف جمع‌آوری‌شده از جنوب شهر تهران دو بار در هفته و به‌صورت کاملاً یکسان از نظر مقدار آب برای همهٔ تیمارها با استفاده از پارچ پلاستیکی مدرج یک لیتری تا پایان پروژه انجام گرفت. به‌طور کلی، پژوهش حاضر به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور انجام گرفت: ۱. خاک متأثر از نوع آب آبیاری در دو سطح (خاک آبیاری‌شده با آب نامتعارف و خاک آبیاری‌شده با آب معمولی)؛ ۲. کلن صنوبر در سه سطح (*P.n.* 62/154، *P.n.* 62/127 و *P.n.* 17/13) در کل با شش تیمار در سه تکرار و چهار قلمه در هر تکرار.

اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی آب و خاک

در آزمایشگاه، pH و EC نمونه‌های آب با استفاده از دستگاه‌های pH متر و EC سنج (PL-700PC) و غلظت عناصر غذایی و فلزات سنگین با استفاده از دستگاه ICP-MS (PerkinElmer ICP-MS: Elan 9000 DRC-E) اندازه‌گیری شد. بافت خاک به روش هیدرومتری [۱۵]، اسیدیته (pH) به روش گل اشباع [۱۶]، هدایت الکتریکی (EC) به روش عصارهٔ گل اشباع [۱۷]، مادهٔ آلی به روش والکلی- بلاک [۱۸]، نیتروژن کل به روش کجلدال [۱۹]، فسفر قابل جذب به روش اولسن [۲۰] و پتاسیم قابل جذب به روش استات آمونیوم نرمال [۲۱] تعیین شد. غلظت عناصر غذایی کم‌مصرف (آهن، روی، منگنز و مس) و فلزات سنگین (نیکل، کروم و سرب) نمونه‌های خاک پس از هضم اسیدی نمونه‌ها در دستگاه هضم مایکروویو، با استفاده از دستگاه ICP-MS اندازه‌گیری شد. در این پژوهش، به‌منظور کنترل کیفیت آزمایش و ارزیابی صحت داده‌های عناصر و فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در نمونه‌های خاک از مادهٔ مرجع استاندارد خاک با کد CRM059 استفاده شد.

اندازه‌گیری ویژگی‌های رویشی و غلظت عناصر غذایی و فلزات سنگین اندام‌های گیاهی

پس از دو فصل رویش، پارامترهای رشد (قطر و طول ساقه) و تولید زی‌توده (ریشه، ساقه و برگ) با انتخاب تصادفی چهار نهال به‌ازای هر تیمار اندازه‌گیری شد. در هر نهال انتخابی، سطح برگ سه برگ کاملاً توسعه‌یافته از بالاترین قسمت هر نهال، با استفاده از دستگاه Leaf Area Meter تعیین شد. برای تعیین زی‌تودهٔ خشک، پس از شست‌وشوی نهال، اندام‌های مختلف (ریشه، ساقه و برگ) از هم جدا شدند و پس از خشک شدن اندام‌های گیاهی در دستگاه آون به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجهٔ سانتی‌گراد وزن خشک اندام‌ها تعیین شد. شاخص مقاومت که معیاری برای سنجش بردباری گیاه در محیط آلوده

ا ست، برا ساس وزن خ شک گیاه طبق رابطهٔ ۱ تعیین شد [۲۲، ۲۳].

$$\text{شاخص مقاومت} = \frac{\text{وزن خشک گیاه رشدیافته در خاک آلوده}}{\text{وزن خشک گیاه شاهد}} \times ۱۰۰ \quad (۱)$$

همچنین در نمونه‌های گیاهی (ریشه، ساقه و برگ)، غلظت عناصر غذایی اصلی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم)، عناصر غذایی کم‌مصرف (آهن، روی، منگنز و مس) و فلزات سنگین (نیکل، کروم و سرب) به روش ذکرشده در مورد نمونه‌های خاک اندازه‌گیری شد. در این پژوهش، به‌منظور کنترل کیفیت آزمایش و ارزیابی صحت داده‌های عناصر و فلزات سنگین اندازه‌گیری‌شده در نمونه‌های گیاهی از دو مادهٔ مرجع استاندارد گیاهی با کدهای GSB-11 و ERM-CD281 استفاده شد.

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

داده‌های پژوهش حاضر با نرم‌افزار آماری SPSS تجزیه‌وتحلیل شد. در ابتدا نرمالیته و همگنی واریانس میانگین داده‌ها با آزمون‌های شاپیرو- ویلک و لون بررسی شد. سپس با توجه به نرمال و همگن بودن میانگین داده‌ها، برای بررسی تأثیر تیمارهای خاک و کلن و همچنین تأثیر متقابل این دو تیمار بر ویژگی‌های رویشی و جذب و تجمع عناصر غذایی و فلزات سنگین در اندام‌های گیاهی از آزمون تجزیهٔ واریانس دوطرفه (ANOVA) و برای گروه‌بندی و مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد ($P \leq ۰/۰۵$) استفاده شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی آب و خاک

در جدول ۱ ویژگی های فیزیکی- شیمیایی آب های استفاده‌شده در این پژوهش ذکر شده است. آب نامتعارف استفاده‌شده که رواناب سطحی جاری در جنوب شهر تهران است، ترکیبی از آوردهای کوهستانی و شهری و بخشی از فاضلاب‌های مسکونی و صنعتی است و در ردهٔ فاضلاب‌های خام و بدون تصفیه قرار می‌گیرد [۲]. مقایسهٔ خصوصیات این آب نامتعارف با استانداردهای سازمان محیط زیست ایران، FAO و EPA نشان می‌دهد که این آب از نظر pH، EC، سطح عناصر غذایی و فلزات سنگین در محدودهٔ مجاز آب آبیاری است (جدول ۱). در جدول ۲ ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک‌های استفاده‌شده آورده شده است. خاک آبیاری‌شده با آب نامتعارف، خاک اراضی کشاورزی جنوب شهر تهران است که سالیان متمادی متأثر از آب‌های نامتعارف بوده است. براساس مقادیر ذکرشده در جدول ۲، سطح فلزات سنگین موجود در خاک متأثر از آب نامتعارف، از مقادیر متوسط جهانی فلزات سنگین در خاک بیشتر است.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی آب‌های استفاده‌شده

پارامتر		pH	EC (ds/m)	N	P	K	Ca	Mg
آب نامتعارف		۷/۱۳	۱/۱۲	۲۴/۹۲	۱/۹۶	۱۲/۴	۶۴/۶	۹/۲۲
آب معمولی		۷/۳۲	۰/۶۳	۱۰/۱۲	۰/۷۷	۵/۰۶	۳۳/۴	۳/۱۳
سازمان محیط‌زیست	(mg/l)	۶/۸–۵/۴	۳	۳۰	-	-	-	-
FAO		۸–۶/۵	۳–۰	۱۵–۰	۲–۰	-	-	-
US EPA		۶/۸–۵/۴	۰/۳–۷	۳۰–۵	۰/۰–۰۴/۴	۲۰–۱۰	۷۰–۴۰	۲۰–۵
پارامتر		**Fe**	**Zn**	**Cu**	**Mn**	**Ni**	**Cr**	**Pb**
آب نامتعارف	(µg/l)	۸۰	۸۸	۲۶	۳۰	۳۰	۱۵/۹۶	۹۳
آب معمولی		۲۴	۳۲	۹/۵	۷	۵/۵	۳/۴	۱۳/۵
سازمان محیط‌زیست		۵	۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۱	۵
FAO	(mg/l)	۵	۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۱	۵
US EPA		۵	۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۱	۵

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک‌های استفاده‌شده

پارامتر	بافت خاک	pH	EC (ds/m)	ماده آلی (٪)	N (٪)	P (mg/kg)	K
خاک شاهد	لومی- رسی	۷/۹	۱/۴	۰/۹۵	۰/۰۷	۳۲	۲۰۲
خاک متأثر از آب نامتعارف	لومی- رسی	۸	۱/۶۱	۱/۲۳	۰/۱۱	۵۰	۲۵۶
مقدار متوسط جهانی[1]	–	–	–	–	–	–	–

پارامتر	Fe (g/kg)	Zn	Cu	Mn	Ni	Cr	Pb
		(mg/kg)					
خاک شاهد	۱۷/۹۳	۷۸/۱۰	۳۶/۳۰	۳۲۲/۱۳	۲۲/۱۰	۳۳/۱۳	۲۰/۷۸
خاک متأثر از آب نامتعارف	۲۸/۴۲	۱۸۳/۳۲	۱۴۶/۷۲	۹۸۱/۴۰	۴۱/۸۱	۸۸/۱۰	۴۸/۰۱
مقدار متوسط جهانی[1]	-	۷۰	۳۸/۹	۴۸۸	۲۹	۵۹/۵	۲۷

1. Kabata-Pendias (2011): [۲۴]

ویژگی‌های رویشی

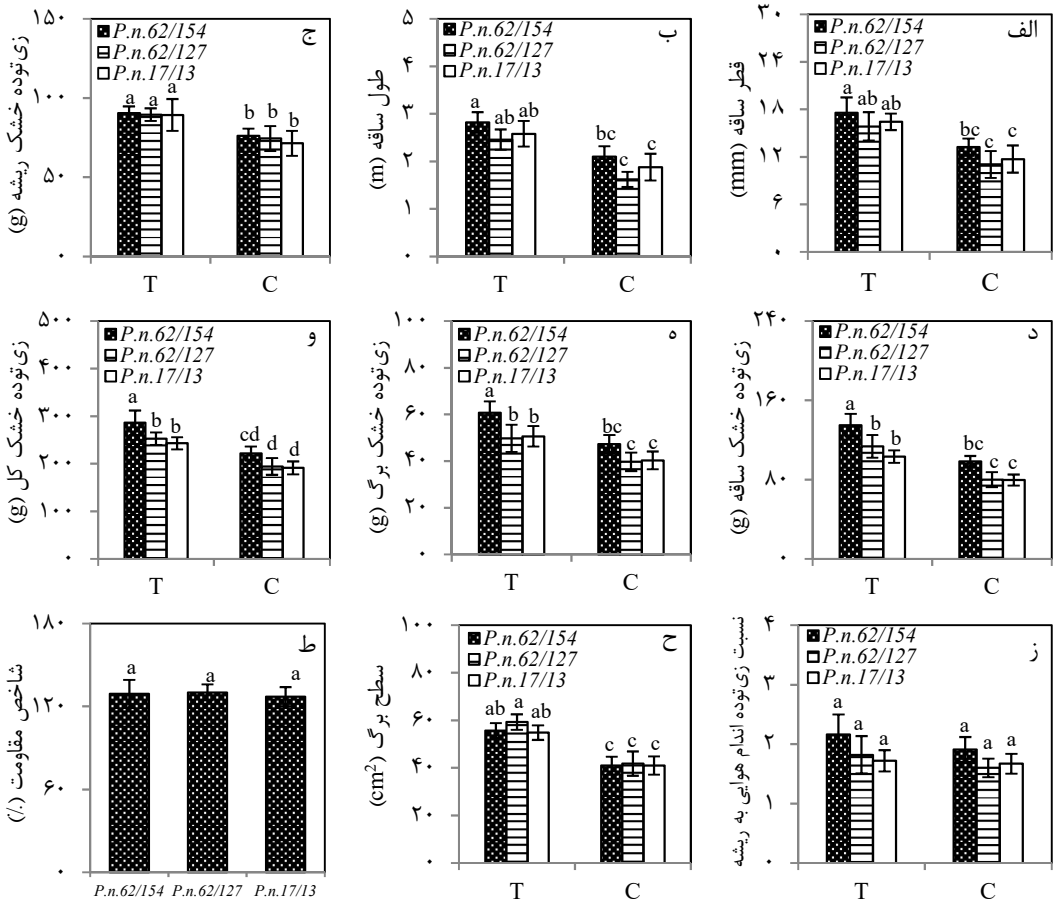
پس از گذشت دو فصل رویش، در هر سه کلن صنوبر افزایش معنی‌دار ($P \leq ۰/۰۱$) پارامترهای رشد و زی‌تودهٔ نهال‌های تیمارشده با خاک متأثر از آبیاری با آب نامتعارف نسبت به نهال‌های تیمار شاهد (خاک آبیاری‌شده با آب معمولی) مشاهده شد. تأثیر کلن نیز بر تولید زی‌تودهٔ خشک (ساقه، برگ و کل گیاه) معنی‌دار بود، به‌طوری که پس از دو فصل رویش، بیشترین مقادیر زی‌توده در کلن *P. nigra* 62/154 در تیمار خاک متأثر از آب نامتعارف مشاهده شد. تأثیر متقابل تیمارهای خاک و کلن بر هیچ یک از ویژگی‌های رویشی معنی‌دار نبود (جدول ۳ و شکل ۱، الف تا ح). پژوهش‌های متعددی تأثیرات مثبت آبیاری با آب‌های نامتعارف بر رشد گونه‌های درختی را گزارش کرده‌اند که این موضوع، نشان‌دهندهٔ غنی بودن آب‌های نامتعارف از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و درواقع پتانسیل کوددهی این آب هاست [۲۵، ۲۶]. بهبود ویژگی های رویشی گو نه های درختی *Khaya senegalensis* [۱۳]، *Populus euramericana* [۲۷] و *Eucalyptus sp.* [۲۸] آبیاری‌شده با آب‌های نامتعارف در پژوهش‌ها نیز این موضوع را به‌خوبی نشان می‌دهد که آبیاری با آب‌های نامتعارف، سبب بهبود خصوصیات خاک و سازوکارهای فیزیولوژیکی گیاه و در نتیجه افزایش رشد گیاه خواهد شد [۱۳]. البته با توجه به اینکه جذب عناصر غذایی توسط گیاهان، افزون‌بر مقدار آنها در آب و خاک به نوع گیاه نیز وابسته است [۲۹]، افزایش رشد گیاه در گونه‌های مختلف متفاوت خواهد بود.

هر سه کلن صنوبر تبریزی دارای شاخص مقاومت بیشتر از ۱۰۰ در صد بودند و از نظر این شاخص، تفاوت معنی‌دار آماری را نشان ندادند (جدول ۳ و شکل ۱، ط). شاخص مقاومت گیاه یکی از عوامل مهم برر سی گیاه در بستر آلوده به فلزات سنگین است [۳۰]. شاخص مقاومت بیشتر از ۷۰ درصد در صنوبرها و بیدها نشان‌دهندهٔ مقاومت خوب گیاه در بستر آلوده است [۲۳، ۳۱]، ازاین‌رو می‌توان گفت سه کلن صنوبر تبریزی تحت مطالعه جزء کلن‌های صنوبر مقاوم در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین هستند.

جدول ۳. نتایج تجزیهٔ واریانس (ANOVA) تیمارهای خاک و کلن و اثرات متقابل آنها بر ویژگی‌های رویشی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		قطر ساقه (mm)	طول ساقه (cm)	زی‌تودهٔ خشک ریشه (g)	زی‌تودهٔ خشک ساقه (g)	زی‌تودهٔ خشک برگ (g)	زی‌تودهٔ خشک کل (g)	نسبت زی‌تودهٔ اندام هوایی به ریشه	سطح برگ (cm^2)
خاک (A)	۱	۲۴/۳۸*	۲۵۶۱۳/۳۸**	۱۱۱۹/۵۹**	۳۹۱۴/۰۶**	۵۱۷/۹۹**	۱۴۱۰۹/۲۰**	۰/۰۰۴ ns	۷۲۱/۲۴**
کلن (B)	۲	۹/۱۰ ns	۱۲۱۴/۰۱ ns	۱۲/۸۴ ns	۱۱۵۳/۶۹**	۱۱۸/۶۳*	۲۳۱۵/۸۳**	۰/۰۱۳ ns	۶۵/۸۹ ns
A×B	۲	۶/۳۱ ns	۸۹/۵۵ ns	۵/۲۵ ns	۳۹۱/۰۵ ns	۱۰/۰۳ ns	۴۰۸/۹۲ ns	۰/۰۰۴ ns	۰/۰۴۵ ns
خطا	۱۲	۳/۳۳	۳۲۳/۵۰	۴۶/۹۱	۱۱۹/۴۰	۲۳/۰۵	۱۴۴/۷۸	۰/۰۰۴	۱۴/۱۲
ضریب تغییرات	–	۱۶/۴۲	۱۸/۸۸	۱۲/۲۷	۲۱/۰۴	۱۶/۰۳	۱۴/۹۵	۱۳/۲۲	۱۵/۷۴

ns نبود اختلاف معنی‌دار آماری؛ *معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵؛ **معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱



شکل ۱. ویژگی‌های رویشی سه کلن صنوبر تبریزی رشدیافته در خاک متأثر از آب نامتعارف (T) و آب معمولی (C) (میانگین ± SE)؛ حروف انگلیسی متفاوت اختلاف معنی‌دار آماری بین شش تیمار تحت بررسی را براساس آزمون توکی نشان می‌دهد.

غلظت عناصر غذایی اصلی و کم‌مصرف در اندام‌های گیاهی

پس از دو فصل رویش، در هر سه کلن صنوبر تبریزی، افزایش معنی‌دار ($P \leq ۰/۰۱$) جذب و تجمع عناصر غذایی اصلی شامل نیتروژن (N)، فسفر (P) و پتاسیم (K) و عناصر غذایی کم‌مصرف شامل آهن (Fe)، روی (Zn)، مس (Cu) و منگنز (Mn) در ریشه و اندام هوایی نهال‌های تیمارشده با خاک آبیاری‌شده با آب نامتعارف در مقایسه با نهال‌های تیمار شاهد (خاک آبیاری‌شده با آب معمولی) مشاهده شد. از نظر غلظت عناصر غذایی اصلی و کم‌مصرف در اندام‌های گیاهی، سه کلن صنوبر تبریزی اختلاف معنی‌دار آماری نشان ندادند و تأثیر متقابل تیمارهای خاک و کلن نیز بر غلظت عناصر غذایی اندام‌های گیاهی معنی‌دار نبود (جدول‌های ۴ و ۵). با توجه به مطرح بودن آب‌های نامتعارف به‌عنوان منبع غنی از عناصر غذایی از یک‌سو و افزایش رشد و زی‌توده نهال‌های سه کلن صنوبر در تیمار خاک متأثر از آب نامتعارف از سوی دیگر، افزایش جذب و تجمع عناصر غذایی اصلی و کم‌مصرف در اندام‌های گیاهی نهال‌های رشدیافته در خاک آبیاری‌شده با آب نامتعارف دور از انتظار نیست. مطابق با نتایج پژوهش حاضر، در پژوهش‌های دیگر نیز به افزایش جذب و تجمع عناصر غذایی در گونه‌های درختی رشدیافته در خاک متأثر از آب‌های نامتعارف اشاره شده است [۱۳، ۳۲].

الگوی رفتاری سه کلن صنوبر در تجمع عناصر غذایی کم‌مصـرف در اندام‌های گیاهی مشـابه بود، به‌طوری‌که در هر سه کلن صنوبر تبریزی، بیشترین جذب و تجمع عناصر آهن و مس به‌ترتیب در ریشه، برگ و ساقه و عناصر روی و منگنز به‌ترتیب در برگ، ریشه و ساقه اتفاق افتاد (جدول ۵). در همین زمینه، نتایج برخی پژوهش‌ها نیز نشـان داده است که در گونه‌های مختلف صنوبر عناصر روی و منگنز اغلب در اندام هوایی به‌ویژه برگ تجمع پیدا می‌کنند [۳۳] و در مقابل تجمع عناصر آهن و مس در اندام ریشه بیشتر است [۳۴].

جدول ۴. غلظت عناصر غذایی اصلی در اندام‌های گیاهی سه کلن صنوبر تبریزی رشدیافته در خاک متأثر از آب نامتعارف (T) و آب معمولی (C) (میانگین ± SE)

کلن		*P. nigra* 62/154		*P. nigra* 62/127		*P. nigra* 17/13		خاک (A)	کلن (B)	A × B
خاک		T	C	T	C	T	C		*P* values	
N (%)	ریشه	۱/۰۱ ۰±/۰۴[a]	۰/۷۴ ۰±/۰۶[b]	۱/۰۵ ۰±/۱۰[a]	۰/۷۶ ۰±/۰۵[b]	۱/۱۱ ۰±/۱۶[a]	۰/۷۹ ۰±/۰۶[b]	۰/۰۰۰**	۰/۵۸۴ ns	۰/۹۲۸ ns
	ساقه	۰/۸۲ ۰±/۰۴[a]	۰/۶۶ ۰±/۰۳[b]	۰/۸۳ ۰±/۰۴[a]	۰/۵۸ ۰±/۰۳[b]	۰/۸۸ ۰±/۰۵[a]	۰/۶۱ ۰±/۰۱[b]	۰/۰۰۰**	۰/۱۳۵ ns	۰/۳۳۳ ns
	برگ	۲/۱۱ ۰±/۰۴[a]	۱/۶۴ ۰±/۰۶[c]	۲/۰۲ ۰±/۰۳[ab]	۱/۶۷ ۰±/۰۶[c]	۲/۱۰ ۰±/۰۵[a]	۱/۶۰ ۰±/۰۴[c]	۰/۰۰۰**	۰/۷۱۵ ns	۰/۳۴۰ ns
P (%)	ریشه	۰/۲۵ ۰±/۰۴[a]	۰/۱۶ ۰±/۰۳[b]	۰/۲۷ ۰±/۰۲[a]	۰/۱۹ ۰±/۰۴[b]	۰/۲۵ ۰±/۰۵[a]	۰/۱۸ ۰±/۰۱[b]	۰/۰۰۰**	۰/۴۵۶ ns	۰/۳۳۳ ns
	ساقه	۰/۳۴ ۰±/۰۱[a]	۰/۱۵ ۰±/۰۲[b]	۰/۲۶ ۰±/۰۰۸[a]	۰/۱۷ ۰±/۰۲[b]	۰/۲۲ ۰±/۰۱[a]	۰/۱۷ ۰±/۰۰۷[b]	۰/۰۰۰**	۰/۷۳۶ ns	۰/۶۴۰ ns
	برگ	۰/۲۸ ۰±/۰۰۷[a]	۰/۱۷ ۰±/۰۱[b]	۰/۲۶ ۰±/۰۰۹[a]	۰/۱۹ ۰±/۰۱[b]	۰/۲۶ ۰±/۰۲[a]	۰/۱۸ ۰±/۰۲[b]	۰/۰۰۰**	۰/۷۴۴ ns	۰/۲۲۳ ns
K (%)	ریشه	۱/۰۷ ۰±/۰۴[a]	۰/۷۵ ۰±/۰۶[b]	۱/۱۳ ۰±/۱۰[a]	۰/۷۲ ۰±/۰۵[b]	۱/۱۰ ۰±/۱۶[a]	۰/۸۲ ۰±/۰۶[b]	۰/۰۰۰**	۰/۲۳۸ ns	۰/۶۳۴ ns
	ساقه	۰/۹۱ ۰±/۰۸[a]	۰/۶۷ ۰±/۰۳[b]	۰/۸۹ ۰±/۰۶[a]	۰/۷۱ ۰±/۰۱[b]	۰/۹۱ ۰±/۰۴[a]	۰/۷۴ ۰±/۰۴[b]	۰/۰۰۰**	۰/۴۱۶ ns	۰/۷۰۳ ns
	برگ	۱/۱۳ ۰±/۰۴[a]	۰/۷۹ ۰±/۰۶[b]	۱/۱۱ ۰±/۱۰[a]	۰/۸۴ ۰±/۰۵[b]	۱/۰۸ ۰±/۱۶[a]	۰/۸۴ ۰±/۰۶[b]	۰/۰۰۰**	۰/۵۵۳ ns	۰/۵۶۳ ns

ns نبود اختلاف معنی‌دار؛ **معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱؛ در هر ردیف، حروف انگلیسی متفاوت، تفاوت معنی‌دار آماری بین شش تیمار را نشان می‌دهد.

جدول ۵. غلظت عناصر غذایی کم‌مصرف در اندام‌های گیاهی سه کلن صنوبر تبریزی رشدیافته در خاک متأثر از آب نامتعارف (T) و آب معمولی (C) (میانگین ± SE)

کلن	خاک	Fe (mg/kg)			Zn (mg/kg)		
		ریشه	ساقه	برگ	ریشه	ساقه	برگ
P. nigra 62/154	T	۷۲۷/۸۵ ± ۳۹/۵۹[a]	۱۵۹/۷۰ ± ۱۲/۵۴[a]	۵۲۹/۵۰ ± ۵۷/۰۱[a]	۱۸۰/۸۴ ± ۲۰/۱۳[a]	۱۵۴/۸۰ ± ۱۸/۵۲[a]	۲۳۷/۷۷ ± ۱۴/۳۲[a]
	C	۵۰۶/۴۴ ± ۴۶/۳۵[b]	۷۹/۰۳ ± ۱۵/۱۰[b]	۲۷۴/۷۹ ± ۵۶/۰۰[b]	۱۰۳/۸۸ ± ۱۲/۲۳[b]	۹۱/۱۴ ± ۱۶/۲۰[b]	۱۶۰/۱۶ ± ۲۰/۶۳[b]
P. nigra 62/127	T	۷۹۶/۰۸ ± ۴۵/۲[a]	۱۶۷/۲۶ ± ۷/۵۰[a]	۵۱۰/۴۷ ± ۵۰/۲[a]	۱۶۶/۸۶ ± ۱۶/۵۸[a]	۱۴۲/۷۱ ± ۱۹/۰۲[a]	۲۷۳/۷۱ ± ۲۹/۰۱[a]
	C	۵۱۲/۸۸ ± ۴۴/۲۵[b]	۸۴/۰۰ ± ۹/۳۶[b]	۳۱۶/۴۹ ± ۳۲/۰۰[b]	۹۶/۱۳ ± ۱۰/۲۲[b]	۱۰۰/۲۷ ± ۸/۹۰[b]	۱۶۹/۸۹ ± ۱۸/۴۴[b]
P. nigra 17/13	T	۷۱۴/۵۶ ± ۵۵/۱۲[a]	۱۵۳/۳۷ ± ۱۱/۶۴[a]	۵۵۹/۲۵ ± ۴۲/۰۰[a]	۱۵۷/۸۴ ± ۲۲/۷۹[a]	۱۳۷/۸۷ ± ۱۳/۸۹[a]	۲۷۰/۹۳ ± ۲۶/۵۰[a]
	C	۵۰۰/۷۷ ± ۳۹/۸[b]	۷۸/۷۹ ± ۸/۵۳[b]	۲۷۰/۲۷ ± ۴۰/۱۲[b]	۱۰۳/۵۱ ± ۱۰/۱۱[b]	۱۰۰/۲۳ ± ۱۰/۲۵[b]	۱۶۲/۰۹ ± ۱۹/۸۶[b]
خاک (A)		۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**
کلن (B)	*P* values	۰/۱۵۶ ns	۰/۰۵۹ ns	۰/۹۴۸ ns	۰/۴۲۵ ns	۰/۹۲۴ ns	۰/۰۶۳ ns
A × B		۰/۳۱۱ ns	۰/۲۵۸ ns	۰/۵۴۱ ns	۰/۴۹۸ ns	۰/۴۰۷ ns	۰/۱۹۷ ns

کلن	خاک	Cu (mg/kg)			Mn (mg/kg)		
		ریشه	ساقه	برگ	ریشه	ساقه	برگ
P. nigra 62/154	T	۱۳/۰۱ ± ۰/۴۲[a]	۱۰/۸۶ ± ۰/۶۳[a]	۱۲/۱۵ ± ۰/۴۳[a]	۱۰۹/۹۲ ± ۱۱/۶۸[a]	۷۱/۵۶ ± ۷/۵۵[a]	۱۵۴/۸۶ ± ۱۶/۸۴[a]
	C	۹/۱۹ ± ۰/۶۵[b]	۸/۱۶ ± ۱/۰۱[b]	۹/۳۱ ± ۰/۵۵[b]	۸۴/۵۰ ± ۵/۸۸[b]	۵۶/۵۹ ± ۶/۳۷[b]	۹۳/۴۰ ± ۶/۱۰[b]
P. nigra 62/127	T	۱۳/۶۴ ± ۰/۵۲[a]	۱۱/۸۸ ± ۰/۶۸[a]	۱۲/۶۹ ± ۰/۹۸[a]	۱۰۴/۰۹ ± ۸/۵۰[a]	۷۴/۳۸ ± ۶/۶۰[a]	۱۴۴/۳۹ ± ۱۰/۳۴[a]
	C	۹/۱۹ ± ۰/۵۵[b]	۸/۵۴ ± ۰/۶۴[b]	۹/۲۲ ± ۰/۷۰[b]	۸۳/۲۵ ± ۶/۸۱[b]	۵۸/۳۹ ± ۴/۶۸[b]	۹۴/۴۰ ± ۶/۱۰[b]
P. nigra 17/13	T	۱۳/۷۶ ± ۰/۵۰[a]	۱۱/۵۷ ± ۰/۶۷[a]	۱۲/۸۲ ± ۰/۶۲[a]	۱۰۷/۹۴ ± ۸/۰۰[a]	۷۲/۵۷ ± ۶/۵۷[a]	۱۴۵/۱۷ ± ۱۲/۵۹[a]
	C	۹/۰۰ ± ۰/۷۳[b]	۸/۲۷ ± ۰/۸۲[b]	۹/۲۹ ± ۰/۷۷[b]	۸۵/۵۴ ± ۷/۸۵[b]	۵۴/۸۸ ± ۵/۱۰[b]	۹۱/۳۰ ± ۶/۱۰[b]
خاک (A)		۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**
کلن (B)	*P* values	۰/۴۶۳ ns	۰/۲۳۸ ns	۰/۶۹۴ ns	۰/۶۹۰ ns	۰/۶۴۸ ns	۰/۶۰۱ ns
A × B		۰/۲۴۲ ns	۰/۶۶۴ ns	۰/۶۲۷ ns	۰/۸۷۰ ns	۰/۹۰۴ ns	۰/۶۴۰ ns

ns نبود اختلاف معنی‌دار؛ **معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱؛ در هر ستون، حروف انگلیسی متفاوت، تفاوت معنی‌دار آماری بین شش تیمار را نشان می‌دهد.

غلظت فلزات سنگین در اندام‌های گیاهی

بررسی غلظت فلزات سنگین نیکل (Ni)، کروم (Cr) و سرب (Pb) در اندام‌های گیاهی سه کلن صنوبر پس از دو فصل رویش نشان داد که تیمار خاک متأثر از آب نامتعارف در هر سه کلن، افزایش معنی‌دار ($P \leq ۰/۰۱$) جذب و تجمع فلزات سنگین را در اندام‌های گیاهی در مقایسه با تیمار شاهد در پی داشت (جدول ۶). سازگار با نتایج حاضر، افزایش جذب و تجمع فلزات سنگین در اندام‌های گیاهی گونه‌های درختی رشدیافته در بسترهای آلوده به فلزات سنگین یا آبیاری‌شده با آب‌های نامتعارف در مقایسه با گیاهان شاهد توسط محققان دیگر گزارش شده است [۹، ۱۳]. سه کلن صنوبر تبریزی، تفاوت‌های معنی‌داری را از نظر مقدار جذب و تجمع فلزات سنگین در اندام‌های گیاهی نشان ندادند و در هر سه کلن، تجمع فلزات سنگین در ریشه بیشتر از اندام هوایی بود. تأثیر متقابل تیمارهای خاک و کلن بر تجمع فلزات سنگین در اندام‌های گیاهی نیز معنی‌دار نبود (جدول ۶). در همین زمینه، تجمع بیشتر فلزات سنگین در اندام ریشه در پژوهش‌های دیگر نیز ذکر شده است [۸، ۹، ۳۴]. تجمع بیشتر فلزات سنگین در ریشه و انتقال کمتر آن به اندام‌های هوایی از جمله سازوکارهایی است که گیاهان برای مقابله با سمیت فلزات سنگین در بسترهای رشد اتخاذ می‌کنند تا اندام‌های متابولیسمی گیاه از آسیب فلزات سنگین حفظ شود [۳۵].

جدول ۶. غلظت فلزات سنگین اندام‌های گیاهی سه کلن صنوبر تبریزی رشدیافته در خاک متأثر از آب نامتعارف (T) و آب معمولی (C) (میانگین ± SE)

کلن / خاک		*P. nigra* 62/154		*P. nigra* 62/127		*P. nigra* 17/13		خاک (A)	کلن (B)	A × B
		T	C	T	C	T	C		*P* values	
Ni (mg/kg)	ریشه	۹/۱۵ ۱±/۲۱^{a}	۶/۲۰ ۰±/۷۴^{b}	۹/۰۰ ۰±/۵۴^{a}	۶/۴۱ ۰±/۵۲^{b}	۹/۱۸ ۰±/۷۸^{a}	۶/۰۰ ۰±/۵۲^{b}	۰/۰۰۰**	۰/۹۶۲ ns	۰/۷۹۸ ns
	ساقه	۲/۶۱ ۰±/۳۸^{a}	۱/۷۱ ۰±/۲۱^{b}	۲/۷۶ ۰±/۲۳^{a}	۱/۵۰ ۰±/۴۰^{b}	۲/۴۴ ۰±/۴۴^{a}	۱/۴۹ ۰±/۲۹^{b}	۰/۰۰۰**	۰/۶۹۴ ns	۰/۷۲۴ ns
	برگ	۳/۵۹ ۰±/۴۴^{a}	۲/۴۸ ۰±/۳۵^{c}	۳/۲۴ ۰±/۵۳^{ab}	۲/۵۳ ۰±/۲۷^{c}	۳/۴۴ ۰±/۳۵^{a}	۲/۲۱ ۰±/۳۸^{c}	۰/۰۰۰**	۰/۶۷۰ ns	۰/۵۴۴ ns
Cr (mg/kg)	ریشه	۱۵/۱۲ ۱±/۱۲^{a}	۱۱/۲۵ ۰±/۶۶^{b}	۱۵/۱۶ ۱±/۵۷^{a}	۱۰/۶۶ ۰±/۸۵^{b}	۱۵/۶۳ ۰±/۹۰^{a}	۱۱/۰۹ ۰±/۵۹^{b}	۰/۰۰۰**	۰/۷۳۹ ns	۰/۸۱۲ ns
	ساقه	۲/۹۴ ۰±/۲۹^{a}	۱/۶۸ ۰±/۱۲^{b}	۲/۵۴ ۰±/۱۳^{a}	۱/۸۶ ۰±/۲۲^{b}	۲/۹۳ ۰±/۲۵^{a}	۱/۷۷ ۰±/۲۶^{b}	۰/۰۰۰**	۰/۴۸۸ ns	۰/۰۸۱ ns
	برگ	۴/۲۴ ۰±/۲۹^{a}	۲/۷۶ ۰±/۱۲^{b}	۳/۸۴ ۰±/۱۳^{a}	۲/۹۴ ۰±/۲۲^{b}	۴/۲۳ ۰±/۲۵^{a}	۲/۸۵ ۰±/۲۶^{b}	۰/۰۰۰**	۰/۴۲۸ ns	۰/۱۸۴ ns
Pb (mg/kg)	ریشه	۸/۳۵ ۰±/۶۵^{a}	۶/۳۷ ۰±/۳۴^{b}	۸/۶۵ ۰±/۸۷^{a}	۶/۴۸ ۰±/۴۱^{b}	۸/۴۰ ۰±/۴۳^{a}	۶/۰۵ ۰±/۵۶^{b}	۰/۰۰۰**	۰/۴۰۶ ns	۰/۹۳۳ ns
	ساقه	۳/۲۶ ۰±/۳۰^{a}	۲/۱۱ ۰±/۲۵^{b}	۳/۴۸ ۰±/۳۵^{a}	۲/۳۳ ۰±/۳۱^{b}	۳/۱۶ ۰±/۳۳^{a}	۲/۰۱ ۰±/۳۳^{b}	۰/۰۰۱**	۰/۷۳۶ ns	۰/۹۹۴ ns
	برگ	۳/۶۴ ۰±/۵۰^{a}	۲/۶۸ ۰±/۴۲^{b}	۳/۶۶ ۰±/۳۳^{a}	۲/۴۸ ۰±/۳۷^{b}	۳/۸۰ ۰±/۴۱^{a}	۲/۵۴ ۰±/۳۴^{b}	۰/۰۰۲**	۰/۴۰۷ ns	۰/۶۴۷ ns

ns نبود اختلاف معنی‌دار؛ **معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱؛ در هر ردیف، حروف انگلیسی متفاوت تفاوت معنی‌دار آماری بین شش تیمار را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج این پژوهش، براساس بررسی ویژگی‌های رویشی، شاخص مقاومت و جذب عناصر غذایی و فلزات سنگین نهال‌های دو سالهٔ سه کلن صنوبر تبریزی، می‌توان گفت که کاشت در خاک متأثر از آب نامتعارف نه‌تنها در سه کلن صنوبر بررسی‌شده اختلال رشد ایجاد نکرد، بلکه آبیاری خاک با آب نامتعارف تأثیر مثبتی بر ویژگی‌های رویشی نهال‌های سه کلن صنوبر در نتیجه غنی شدن خاک با عناصر غذایی مورد نیاز گیاه به‌همراه داشت. از این‌رو سه کلن صنوبر تحت بررسی را می‌توان برای کاشت و زراعت چوب در خاک‌های متأثر از آب‌های نامتعارف در نظر گرفت. البته نظر به تولید زی‌تودهٔ بیشتر نهال‌های *P. nigra* 62/154، می‌توان گفت این کلن در اولویت بیشتری است. اگرچه نظر کلی بر این است که آلایندگی خاک با فلزات سنگین می‌تواند مشکلاتی را برای گیاهان تحت کشت فراهم آورد، همان‌طور که در گزارش‌های متعدد نیز اشاره شده است، گونه‌های متعلق به خانوادهٔ بیدیان از مقاومت و انباشت زیاد فلزی برخوردارند. نتایج این پژوهش نیز نشان داد که فلزات سنگین موجود در خاک و جذب و تجمع آنها در اندام‌های گیاهی محدودیتی را برای رشد سه کلن صنوبر

تبریزی به وجود نیاورد. از سوی دیگر، با توجه به جذب و تجمع عناصر غذایی و فلزات سنگین در اندام‌های گیاهی، با کاشت درختان غیرمثمر چوب‌ده، به‌ویژه گونه‌های درختی متعلق به خانوادهٔ بید یان در اراضی متأثر از آب های نامتعارف، می‌توان به پالایش گیاهی خاک در دراز مدت دست یافت. شایان ذکر است که در اراضی متأثر از آب‌های نامتعارف، پایش مستمر خاک قبل و بعد از کاشت و بررسی غلظت عناصر و فلزات در اندام‌های گیاهی به‌منظور ارزیابی تأثیر بالقوهٔ گونه‌های درختی در کاهش آلاینده‌هایی که به خاک وارد می‌شوند ضروری است.

References

[1]. Toze, S. (2006). Reuse of effluent water-benefits and risks. Agricultural Water Management, 80: 147-159.

[2]. 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.

[3]. Vandecasteele, B., Samyn, J., and Bruno De Vos Muys, B. (2008). Effect of tree species choice and mineral capping in a woodland phytostabilization system: a case study for calcareous dredged sediment landfills with an oxidised topsoil. Ecological Engineering, 32: 263-273.

[4]. 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.

[5]. Adler, A., Karacic, A., and Weih, M. (2008). Biomass allocation and nutrient use in fast-growing woody and herbaceous perennials used for phytoremediation. Plant and Soil, 305: 189-206.

[6]. Migeon, A., Richaud, P., Guinet, F., Chalot, M., and Blaudez, D. (2009). Metal accumulation by woody species on contaminated sites in the north of France. Water, Air, & Soil Pollution. 204: 89-101.

[7]. Wang, Q., Xiong, D., Zhao, P., Yu, X., Tu, B., and Wang, G. (2011). Effect of applying an arsenic-resistant and plant growth-promoting rhizobacterium to enhance soil arsenic phytoremediation by *Populus deltoides* LH05-17. Journal of Applied Microbiology, 111: 1065-1074.

[8]. Pilipović, A., Zalesny, Jr. 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.

[9]. 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.

[10]. 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.

[11]. 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.

[12]. 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: 1438-1445.

[13]. Ali, H.M., Siddiqui, M.H., Khamis, M.H., Hassan, F.A., Salem, M.Z.M., and El-Mahroukd, El-S.M. (2013). Performance of forest tree *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. under sewage effluent irrigation. Ecological Engineering, 61: 117-126.

[14]. 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: 161-170.

[15]. Bouyoucos, G.J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analyses of soil. Journal of Agronomy, 54: 464-465.

[16]. McLean, E. (1982). Soil pH and lime requirement Methods of soil analysis. Part. A. L. Page. Madison, is. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, (1): 199-224.

[17]. Rhoades, J. (1982). Soluble salts. Methods of soil analysis. A. L. Page. Madison, Wis, American Society of Agronomy. Soil Science Society of America, 2(1): 167-179.

[18]. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter: 961-1010. In: Sparks DL, Page AL, Helmke PA, Loeppert RH, Soltanpour PN, Tabatabai MA, Johnston GT, Sumner ME (Eds.). Methods of Soil Analysis Part 3-Chemical Methods, SSSA Book Series 5.3. Soil Science Society of America, Inc., American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin, U.S.A., 1390p.

[19]. Bremner, J.M. (1966). Nitrogen-total:1085-1121. In: Sparks DL, Page AL, Helmke PA, Loeppert RH, Soltanpour PN, Tabatabai MA, Johnston GT, Sumner ME (Eds.). Methods of Soil Analysis Part 3– Chemical Methods, SSSA Book Series 5.3. Soil Science Society of America, Inc., American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin, U.S.A., 1390p.

[20]. Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., and Deen, L.A. (1954). Estimation of available phosphorus in soil by extracting with sodium bicarbonate (USDA Circular no. 939). U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C., U.S.A, 19p.

[21]. Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. (1982). Methods of soil analysis, Part 2, Second Edition. American Society of Agronomy, Inc., Soil Science Society of America, , Inc., Madison, U.S.A., 1159p.

[22]. Wilkins, D.A. (1978). The measurement of tolerance to edaphic factors by means of root growth. New Phytologist, 80: 623-633.

[23]. Landberg, T., and Greger, M. (2002). Differences in oxidative stress in heavy metal resistant and sensitive clones of *Salix viminalis*. Journal of Plant Physiology, 159: 69-75.

[24]. Kabata-Pendias, A. (2011). Trace Elements in Soils and Plants, 4th edition. CRC Press, Boca Raton.

[25]. Zalesny Jr., R.S., Wiese, A.H., Bauer, E.O., and Riemenschneider, D.E. (2009). Ex situ growth and biomass of *Populus* bioenergy crops irrigated and fertilized with landfill leachate. Biomass and Bioenergy 33(1): 62-69.

[26]. Zalesny Jr., R.S., and Bauer, E.O. (2007). Evaluation of *Populus* and *Salix* continuously irrigated with landfill leachate I. Genotype-specific elemental phytoremediation. International Journal of Phytoremediation 9: 281-306.

[27]. Tsako, A., Rouli, M., and Christodoulaki, N.S. (2003). Growth parameters and heavy metal accumulation in poplar tree cultures (*Populus euramericana*) utilising water and sludge from a sewage treatment plant. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 71: 330-337.

[28]. 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: 393-404.

[29]. Bozkurt, M.A., and Yarilga, T. (2003). The effects of sewage sludge applications on the yield, growth, nutrition and heavy metal accumulation in Apple trees growing in dry conditions. Turkish Journal of Agriculture, 27: 285-292.

[30]. Umebese C.E., and 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.

[31]. Borghi, M., Tognetti, R., Monteforti, G., and Sebastiani, L. (2008). Responses of two poplar species (*Populus alba and Populus* × *canadensis*) to high copper concentrations. Environmental and Experimental Botany, 62: 290-299.

[32]. Patterson, S.J., Chanasyk, D.S., Naeth, M.A., and Mapfumo, E. (2008). Effect of municipal and pulp mill effluents on the chemical properties and nutrient status of a coarse-textured Brunisol in a growth chamber. Canadian Journal of Soil Science, 88: 429-441.

[33]. Laureysens, I., Blust, R., Temmerman, L., Lemmens, C., and Ceulemans, R. (2004). Clonal variation in heavy metal accumulation and biomass production in a poplar coppice culture: I. Seasonal variation in leaf, wood and bark concentrations. Environmental Pollution, 131: 485-494.

[34]. Kamalpour, S., Motesharezadeh, B., Alikhani, H.A., and Zarei, M. (2014). Effects of some biotic factors in lead phytoremediation and phosphorous uptake by Eucalyptus (*Eucalyptus Camaldulensis*). Iranian Journal of Forest, 5: 457-470.

[35]. Sankar Ganesh, K., Sundaramoorthy, P., and Chidambaram, A.L.A. (2006). Chromium toxicity effect on blackgram, soybean and paddy. Pollution Research, 25: 257-261.

Growth properties and nutrients and heavy metals uptake of two-year old seedlings of three black poplar clones in soil with wastewater irrigation

Azadeh Salehi*; Assist., Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I. R. Iran.

Fatemeh Ahmadloo; Assist., Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I. R. Iran.

(Received: 27 June 2021, Accepted: 05 September 2021)

ABSTRACT

This investigation was carried out to study the effect of wastewater on performance of three clones of *Populus nigra*. A pot experiment was done in a completely randomized design (CRD) with two factors 1) soil in two levels (soil under wastewater irrigation and soil under well water irrigation) and 2) poplar clones in three levels (*P. nigra* 62/154, *P. nigra* 62/127, *P. nigra* 17/13). After two growing seasons, in three poplar clones, the effect of the treatment of soil affected by wastewater was significant ($P \leq 0.01$) on growth properties (plant height, stem diameter, leaf area, biomass of roots, shoots, leaves and total) and uptake and accumulation of micro and macro (NPK) nutrients and also heavy metals in plant tissues compared with control treatment. In three poplar clones, the highest uptake and accumulation of Fe, Cu, Ni, Cr, and Pb took place in the roots and Zn and Mn in the leaves. The three poplar clones did not show significant differences in terms of uptake and accumulation of nutrients and heavy metals in plant tissues; however, the effect of clones on biomass was significant ($P \leq 0.01$). The highest values of biomass of leaves, shoots and total were observed in *P. nigra* 62/154 plants experiencing wastewater. The results of this study demonstrated that wastewater could be used as an important alternative source of water and nutrients for afforestation and wood farming. On the other hand, poplars as a phytoremediator in soil polluted with heavy metals could be useful for the improvement of soil properties.

Keywords: Biomass, Irrigation, Phytoremediation, Polluted soil, *Populus nigra*, Wood farming.

* Corresponding Author; Email: az.salehi@rifr-ac.ir, Tel: +989128355662