فصلنامه علمی – پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۶ شماره ۲، صفحه ۲۵۱– ۲۴۰، (۱۳۹۷)
شناسه دیجیتال (DOI): 10022092/ijfpr.2018.116752

ویژگی‌های رویشی گونه‌های چوبی آبیاری‌شده با پساب در شرایط اقلیمی خشک (مطالعه موردی: شهر یزد)

محمدهادی راد [۱*]، هاشم کنشلو [۲] و مهدی سلطانی [۳]

۱*– نویسنده مسئول، استادیار، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران. پست الکترونیک: mohammadhadirad@gmail.com

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

۳– پژوهشگر، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۱۸

چکیده

در این پژوهش، سازگاری و عملکرد رویشی گونه‌های چوبی در شرایط آبیاری با پساب شهری (پساب تصفیه‌خانه فاضلاب) شهر یزد ارزیابی شد. آزمایش در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار با کاشت گونه‌های درختی *Eleagnus angustifolia*، *Eucalyptus microtheca*، *E. camaldulensis*، *Tamarix aphylla*، *Melia azedarach*، *Pinus eldarica*، *Morus alba*، *Cupressus sempervirens*، *Ailanthus altissima*، *Populus euphratica* و *P. euohratica* × *P. alba* اجرا شد. نهال‌های کاشته‌شده با پساب، آبیاری شدند. پس از استقرار اولیه نیز آبیاری با دور ۲۰ تا ۳۰ روز یک‌بار انجام شد. برای ارزیابی تأثیر استفاده از پساب بر استقرار و رشد کمی گونه‌های کشت‌شده در پایان سال چهارم پس از کاشت، صفاتی مانند زنده‌مانی، ارتفاع، میانگین قطر تاج، حجم تاج، قطر یقه، قطر برابر سینه و ضریب قدکشیدگی اندازه‌گیری یا محاسبه شد. نتایج نشان داد که در بین گونه‌های کشت‌شده، *P. eldarica* با صددرصد زنده‌مانی، بیشترین استقرار را داشت. با این وجود، گونه مذکور از این نظر اختلاف معنی‌داری با *E. microtheca*، *M. azedarach*، *E. camaldulensis* و *M. alba* نشان نداد. در مقابل، برای همه شاخص‌های رشد و عملکرد، مناسب‌ترین وضعیت متعلق به *T. aphylla* بود. هرچند برای بسیاری از شاخص‌ها با برخی از گونه‌ها، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که با توجه به استقرار، رشد و ضریب قدکشیدگی مناسب در *E. camaldulensis*، *E. angustifolia*، *M. azedarach*، *P. eldarica*، *P. euphratica* و *E. microtheca* نسبت به گونه‌های مورد آزمایش دیگر، می‌توان از این گونه‌ها در شرایط اقلیمی خشک و به‌وسیله آبیاری با پساب شهری استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: جنگل‌کاری، درصد زنده‌مانی، سازگاری، ضریب قدکشیدگی.

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

یکی از اساسی‌ترین چالش‌های پیش‌روی افراد ساکن در بیشتر کشورهای خاورمیانه، محدودیت نزولات جوی و خشک بودن شرایط اقلیمی است. کمبود آب و تنش‌های خشکی کوتاه و بلندمدت، اثرات مخربی بر عملکرد گیاهان در این مناطق گذاشته است و پوشش گیاهی را با مشکل جدی مواجه کرده است. از سویی، استفاده روزافزون منابع آبی در بخش خانگی و صنعت و تبدیل آن به فاضلاب، یکی از مهم‌ترین مشکلات مدیریت شهرها به‌ویژه شهرهای بزرگ است. رهاسازی فاضلاب‌ها در سطح زمین و یا نفوذ به اعماق زمین و به‌دنبال آن آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی، باعث آلودگی محیط زیست شده و تخریب منابع طبیعی را به‌همراه خواهد داشت. یکی از مناسب‌ترین روش‌های کاهش آلودگی ناشی از وجود فاضلاب، تصفیه و استفاده دوباره از آن در بخش‌های کشاورزی، منابع طبیعی و ایجاد فضای سبز در حاشیه شهرها است (Pedrero *et al*., 2012). آبیاری اراضی با فاضلاب و یا پساب می‌تواند در درازمدت باعث بروز برخی مشکلات محیط زیستی مانند شیوع بیماری‌ها، انگل‌ها، شوری و تخریب خاک، تجمع فسفر در خاک و آب، تغییر نیتروژن موجود در منابع آبی، خاکی و هوا، تجمع عناصر سنگین در آب و خاک، خطرات بهداشتی و تغییر کیفیت گیاهان شود (Klay *et al*., 2010; Belaid *et al*., 2012; Pedrero *et al*., 2012). به‌منظور رفع موانع ذکرشده، راه‌کارهایی مانند تصفیه فیزیکی و شیمیایی فاضلاب، رعایت اصول بهداشتی هنگام استفاده، تثبیت عناصر سنگین در خاک، کنترل تجمع نمک، استفاده از گیاهان مقاوم، استفاده از فاضلاب در فضای سبز اطراف شهرها و تولید گیاهان صنعتی یا روغنی که به‌صورت مستقیم توسط انسان استفاده نمی‌شوند، وجود دارد (Coleman & Aubrey, 2008).

وجود عناصر غذایی میکرو و ماکرو و همچنین مواد آلی در فاضلاب‌های خانگی، مزیتی بزرگ برای تولید بیشتر توسط گیاهان کشت‌شده در این شرایط است، اگرچه بیان شده که ترکیباتی چون فنل‌ها، تنگستن‌ها، کشنده‌های زیستی (آفت‌کش‌ها، علف‌کش‌ها و غیره) و عناصر سنگین موجود در فاضلاب، عامل‌های اصلی ایجاد سمیت و مسمومیت گیاهان هستند (Stottmeister *et al*., 2003). استفاده از فاضلاب‌های شور نیز می‌تواند ضمن کاهش عملکرد در گیاهان، موجب افزایش نسبت سدیم قابل جذب (SAR) و تخریب فیزیکی خاک شود (Batarseh *et al*., 2011).

در ارتباط با تأثیر آبیاری با پساب بر گونه‌های درختی، Laouali و همکاران (۱۹۹۵) پژوهشی در مورد بازیابی آب فاضلاب برای آبیاری خزانه گونه‌های جنگلی در نیجریه انجام دادند. در این مطالعه، نهال‌های *Delonix regia*، *Cassia siamea*، *Azadirachhta indica*، *Prosopis juliflora* و *Acacia nilotica* تحت آبیاری با پساب و آب چاه به‌منظور تعیین مقدار رشد در یک دوره آزمایشی شش ماهه بررسی شدند. نتایج نشان داد که نهال‌های آبیاری‌شده با پساب، ۱۵ تا ۴۰ درصد رشد بیشتری داشتند. Salehi و همکاران (۲۰۰۸) تأثیر آبیاری با فاضلاب شهری را بر خاک و رشد درختان ۱۵ ساله کاج تهران (*Pinus eldarica*) بررسی و گزارش کردند که در بسیاری از شاخص‌های رشد، درختان آبیاری‌شده با فاضلاب از شرایط مطلوب‌تری برخوردار بودند. همچنین، افزایش قابل توجهی در مقدار عناصری مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم و کلسیم در خاک عرصه آبیاری‌شده با فاضلاب مشاهده شد.

در بین درختان، گونه‌های تندرشد می‌توانند به‌عنوان گونه‌های مؤثر در حذف آلودگی خاک ناشی از وجود عناصر سنگین استفاده شوند (Adler *et al*., 2008). این گیاهان توان قابل ملاحظه‌ای در تولید چوب دارند که قابلیت کاربرد آن‌ها را در صنایع چوب افزایش می‌دهد. در این زمینه، Al-Taisan (۲۰۰۹) گزارش کرد که گونه‌های تندرشد مانند گز می‌توانند در کاهش آلودگی فلزات سنگین خاک (آهن، مس، منگنز، سرب، روی، کادمیوم و نیکل) که با آبیاری با پساب‌های صنعتی

Archive of SID

www.SID.ir

به‌وجود می‌آیند، مؤثر باشند. نتایج پژوهش Ahmad و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که اکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis*) نسبت به سایر گونه‌های مورد آزمایش، در جذب آرسنیک انباشته‌شده در خاک مؤثرتر بود و بیشترین تجمع آرسنیک در ریشه این درخت گزارش شد. با این شرایط به‌نظر می‌رسد که بیشترین تجمع عناصر سنگین در ریشه گیاه و پس از آن در شاخه‌ها اتفاق می‌افتد، بنابراین با برداشت مکرر از چوب می‌توان از آن‌ها به‌عنوان تصفیه‌کننده طبیعی استفاده کرد.

با وجود برتری برخی از گونه‌های چوبی و از جمله گونه‌های تندرشد برای جنگل‌کاری در شرایط آبیاری با پساب و یا فاضلاب، عامل‌های محدودکننده‌ای چون شوری آب و خاک و نوسان‌های شدید روزانه و فصلی دما، انتخاب آن‌ها را برای کاشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک محدود می‌کند. مقاومت به تغییرات رطوبت خاک، املاح موجود در خاک به‌ویژه نمک، شوری آب، نوسان‌های دمایی، رطوبت اندک موجود در هوا و وزش بادهای شدید ازجمله عامل‌هایی هستند که در انتخاب گونه‌های گیاهی در شرایط اقلیمی خشک باید مورد توجه قرار گیرند (Alcorn *et al.*, 2008). هرچند راه‌کارهای متعددی برای بهبود مقاومت گونه‌های مختلف ارائه شده است، اما در مراحل اولیه کاشت باید نتایج مربوط به آزمایش‌های سازگاری را مورد توجه قرار داد. انتخاب گونه مناسب که ضمن مقاومت به شرایط اقلیمی منطقه، واکنشی مثبت به آبیاری با فاضلاب و یا پساب را نشان دهد و از سرعت رشد زیادی برای تثبیت کربن بیشتر، برخوردار باشد، اهمیت زیادی دارد. گونه‌های سازگار باید ضمن دارا بودن کارایی زیاد در جذب عناصر سنگین و تصفیه خاک، امکان بهره‌برداری اقتصادی از فاضلاب و یا پساب‌ها را نیز فراهم کنند.

با توجه به اهداف مذکور و وجود مقدار قابل توجهی فاضلاب و پساب در تصفیه‌خانه فاضلاب یزد، معرفی گونه یا گونه‌های چوبی سازگار برای شرایط اقلیمی خشک که بتوانند از این منبع آبی استفاده کنند، ضرورت داشت. بنابراین، در پژوهش پیش‌رو، درصد زنده‌مانی و رشد گونه‌های چوبی کاشت‌شده در شرایط آبیاری با پساب تصفیه‌خانه شهر یزد بررسی شد.

مواد و روش‌ها

محل اجرای آزمایش

این پژوهش در محل تصفیه‌خانه فاضلاب شهر یزد با عرض جغرافیایی ′۵۴ °۳۱ شمالی، طول جغرافیایی ′۲۴ °۵۴ شرقی و ارتفاع از سطح دریای ۱۲۳۰ متر اجرا شد. متوسط دمای سالانه نزدیک‌ترین ایستگاه (ایستگاه کلیماتولوژی یزد)، ۲۰/۳ درجه سانتیگراد با کمینه مطلق دمای ۱۰/۸- و بیشینه مطلق دمای ۴۵/۶ درجه سانتیگراد گزارش شد. مقدار متوسط بارندگی سالانه ایستگاه مذکور ۴۱/۸ میلی‌متر (در دوره آماری ۱۳۸۹-۱۳۷۵) گزارش شده که نسبت به دوره‌های پیشین (۱۳۷۹-۱۳۳۱) که متوسط آن ۶۲/۱ میلی‌متر بود، کمتر است. بیشترین درصد رطوبت نسبی هوا مربوط به بهمن با متوسط ۶۵ درصد است که به‌تدریج از اسفند کاهش یافته و در شهریور به کمترین مقدار خود می‌رسد (Rad *et al.*, 2014).

جدول ۱ نتایج تجزیه شیمیایی خاک محل اجرای پژوهش را نشان می‌دهد. بافت خاک در سطح (عمق صفر تا ۶۰ سانتی‌متری)، شنی- لومی- رسی و در عمق (۶۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متری)، لومی- رسی است. نتایج تجزیه شیمیایی آب مورد استفاده در آبیاری نیز در جدول ۲ ارائه شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱– ویژگی‌های خاک محل اجرای آزمایش (**Rad *et al.*, 2014**)

عمق (سانتی‌متر)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	واکنش گل اشباع (pH)	درصد مواد خنثی شونده	بی‌کربنات (HCO_3^-)	N (ppm)	P(ppm)	K (ppm)	Cl (meq/lit)	Ca (meq/lit)	Mg (meq/lit)	Na (meq/lit)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)
۰–۳۰	۱۷/۸	۸	۲۱/۵	۲/۵	۶۸/۵	۱۱/۵	۹۲/۶	۱۴۸	۳۲/۴	۹/۶	۱۸۵	۶/۱	۲/۷	۰/۹	۰/۳
۳۰–۶۰	۲۸/۸	۷/۹	۲۰/۸	۲/۵	۶۸	۱۲/۱	۱۰/۶	۲۸۵	۴۰	۱۷/۶	۳۵۰	۶/۲	۲/۵	۰/۴	۰/۳
۶۰–۹۰	۳۴/۲	۷/۸	۲۱/۵	۲/۲	۶۷	۱۱	۹۲/۶	۳۶۰	۵۹/۲	۱۹/۶	۴۱۰	۵/۱	۱/۶	۰/۴	۰/۳
۹۰–۱۲۰	۲۴/۸	۷/۸	۲۰/۸	۲	۶۷/۵	۱۲/۸	۸۶/۳	۲۳۱	۳۲	۱۷/۲	۲۹۰	۲	۲	۰/۵	۰/۴

جدول ۲– ویژگی‌های شیمیایی اندازه‌گیری‌شده در پساب مورد استفاده در آبیاری (**Rad *et al.*, 2014**)

پارامتر	واحد	میانگین	پارامتر	واحد	میانگین
PO_2^{4-}	mg/l	۳/۳۹	MPN[3]	100ml	۶۲۲۸۲/۱۹
NO_2^-	mg/l	۰/۱۴	TS[4]	mg/l	۲۶۴۸/۵
NH_4	mg/l	۵۵/۹	TDS[5]	mg/l	۱۹۰۵/۵۸
NO_4	mg/l	۵/۷۲	T.S.S[6]	mg/l	۸۷/۳
SAR	------	۹/۹۹	Fe	meq/l	۰/۱۳
SAR_{adj}	------	۲۵/۲۵	Mn	meq/l	۰/۰۴
EC	میکروموس بر سانتی‌متر	۲۳۵۰	Ca	meq/l	۴/۰۱
pH	------	۸/۲۴	Mg	meq/l	۱/۲۵
CO_3	meq/l	۲/۰۵	RSC	------	۷/۹۳
HCO_3	meq/l	۱۱/۱۴	Na	meq/l	۱۶
SO_3	meq/l	۰/۲۸	K	meq/l	۰/۶۱
BOD5[1]	$(mg/l)O_2$	۵۰/۶۸	Cl	meq/l	۱۰/۹۷
COD[2]	$(mg/l)O_2$	۲۲۹/۰۱	B	mg/l	۰/۳۶

[۱] اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی؛ [۲] اکسیژن مورد نیاز شیمیایی؛ [۳] حداکثر شمارش محتمل (باکتری‌های کلیفرم مدفوعی)؛ [۴] کل جامدات؛ [۵] کل جامدات محلول؛ [۶] مواد جامد معلق

Archive of SID

www.SID.ir

روش پژوهش

با توجه به شرایط اقلیمی و محدودیت‌های اکولوژیکی دیگر مانند شوری آب و خاک، سرما و یخبندان، گرما و وزش بادهای شدید در منطقه و همچنین یافته‌های علمی مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور و تجربه توسعه فضای سبز به‌وسیله گونه‌های چوبی در مناطق خشک کشور، سعی شد تا از میان گونه‌های متعدد چوبی، ۱۱ گونه که احتمال موفقیت استقرار آن‌ها بیشتر بود، انتخاب و نهال آن‌ها تولید شود. گونه‌های درختی انتخاب‌شده شامل دو گونه اکالیپتوس (*E. camaldulensis* Dehns.) و (*E. microtheca* F. Muell.)، سنجد (*Elaeagnus angustifolia* L.)، گز شاهی (*Tamarix aphylla* L.)، سنجدتلخ (*Melia azedarach* L.)، کاج تهران (*Pinus eldarica* Medw.)، پده (*Populus euphratica* Oliv.)، هیبرید صنوبر (*P. euphratica* Oliv. × *P. alba* L.)، توت (*Morus alba* L.)، سرو (*Cupressus sempervirens* L.) و عرعر (*Ailanthus altissima* Mill.) بود.

نهال‌های یک‌ساله تولیدشده در بهار سال ۱۳۹۲ در یکی از قطعه‌های تسطیح‌شده در محل تصفیه‌خانه فاضلاب یزد به مساحت تقریبی دو هکتار کاشته شدند. آزمایش در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طراحی شد که در هر یک از بلوک‌ها، برای هر گونه یک کرت درنظر گرفته شد. در هر کرت، ۴۸ نهال (چهار ردیف و در هر ردیف ۱۲ نهال) کاشته شد. فاصله نهال‌ها از یکدیگر روی ردیف و بین ردیف‌ها سه متر بود. آبیاری نهال‌ها به‌صورت غرقابی و از روش جوی‌وپشته انجام شد. این روش آبیاری تا انتهای آزمایش ادامه یافت.

پس از چهار سال، زنده‌مانی درختان، ارتفاع، قطر متوسط تاج، قطر تنه درختان در فاصله ۱۰ سانتی‌متری سطح خاک و همچنین قطر برابر سینه به‌عنوان مهم‌ترین ویژگی‌های استقرار و رشد رویشی اندازه‌گیری شدند. متغیرهای حجم تاج و ضریب قدکشیدگی نیز محاسبه شدند. برای اندازه‌گیری قطر تاج،ابتدا دو قطر کوچک و بزرگ تاج اندازه‌گیری شد و میانگین آن‌ها به‌عنوان قطر تاج ثبت شد. برای اندازه‌گیری زنده‌مانی، از تمام نهال‌های کشت‌شده در هر کرت استفاده شد، اما برای اندازه‌گیری شاخص‌های دیگر از ۱۲ درخت استقراریافته در دو ردیف میانی هر کرت استفاده شد. در هر ردیف، دو درخت ابتدا و انتها نیز در اندازه‌گیری‌ها حذف شدند تا اثر حاشیه‌ای کاهش یابد.

حجم تاج هر یک از درختان با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (Ponce-Hernandez *et al*., 2004).

$$V = Ab \times H \times Kc \qquad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه فوق: V متوسط حجم تاج (متر مکعب)، Ab سطح مقطع درخت یا سطح تاج (متر مربع)، H متوسط ارتفاع (متر) و Kc معادل ۰/۵۴۶۳ است.

ضریب قدکشیدگی یا لاغری با تقسیم ارتفاع درخت به قطر برابر سینه (h/d) محاسبه شد. از این ویژگی با هدف تعیین پایداری توده‌های جنگلی در برابر باد، طوفان و برف و همچنین به‌عنوان شاخص رقابت می‌توان استفاده کرد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

آزمون شاپیرو- ویلک برای سنجش نرمال بودن داده‌ها استفاده شد. برای انجام مقایسه‌های کلی از آزمون تجزیه واریانس و برای مقایسه میانگین داده‌ها از روش دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد. آزمون‌های مذکور در محیط نرم‌افزار SPSS انجام شدند.

نتایج

درصد زنده‌مانی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که از نظر زنده‌مانی بین گونه‌های مختلف اختلاف معنی‌داری ($p < ۰/۰۰۱$) وجود داشت (جدول ۳). بیشترین درصد زنده‌مانی (۱۰۰ درصد) مربوط به کاج تهران و کمترین آن (۱۱/۱۱ درصد) مربوط به هیبرید صنوبر بود. پس از کاج تهران، رتبه‌های بعدی به‌ترتیب مربوط به سنجدتلخ، توت، *E. microtheca* و *E. camaldulensis* بود (شکل ۱).

Archive of SID

www.SID.ir

ارتفاع درخت

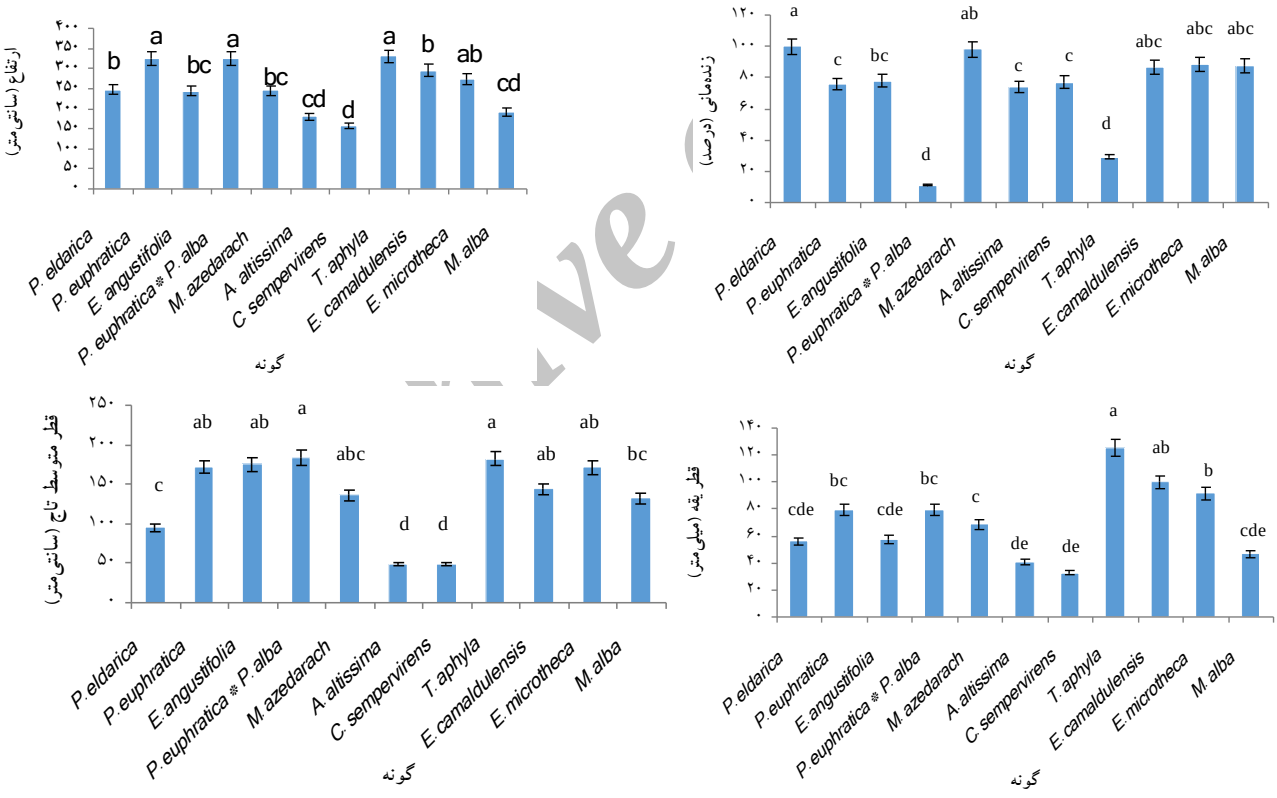
بر اساس نتایج، تفاوت معنی‌داری ($p < ۰/۰۰۱$) بین ارتفاع درختان مشاهده شد (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌های ارتفاعی درختان نشان داد که بیشترین ارتفاع (۳۳۰/۳۳ سانتی‌متر) مربوط به گز شاهی و کمترین آن (۱۵۷/۸۳ سانتی‌متر) مربوط به سرو بود (شکل ۱).

قطر تاج

تجزیه واریانس داده‌های مربوط به قطر تاج بیانگر اختلاف معنی‌دار ($p < ۰/۰۰۱$) بین گونه‌های مختلف بود (جدول ۳). با مقایسه میانگین داده‌های مربوط به متوسط قطر تاج مشخص شد که بیشترین آن (۱۸۱/۹ سانتی‌متر) مربوط به گز شاهی و کمترین آن (۴۸/۹ سانتی‌متر) متعلق به سرو و عرعر بود (شکل ۱).

قطر یقه

قطر یقه گونه‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری ($p < ۰/۰۰۱$) داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین قطر یقه (۱۲۵/۷۵ میلی‌متر) مربوط به گز شاهی و کمترین آن (۳۲/۴۶ میلی‌متر) مربوط به سرو بود (شکل ۱).



شکل ۱- زنده‌مانی، ارتفاع، قطر متوسط تاج و قطر یقه درختان آبیاری‌شده با پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهر یزد

www.SID.ir

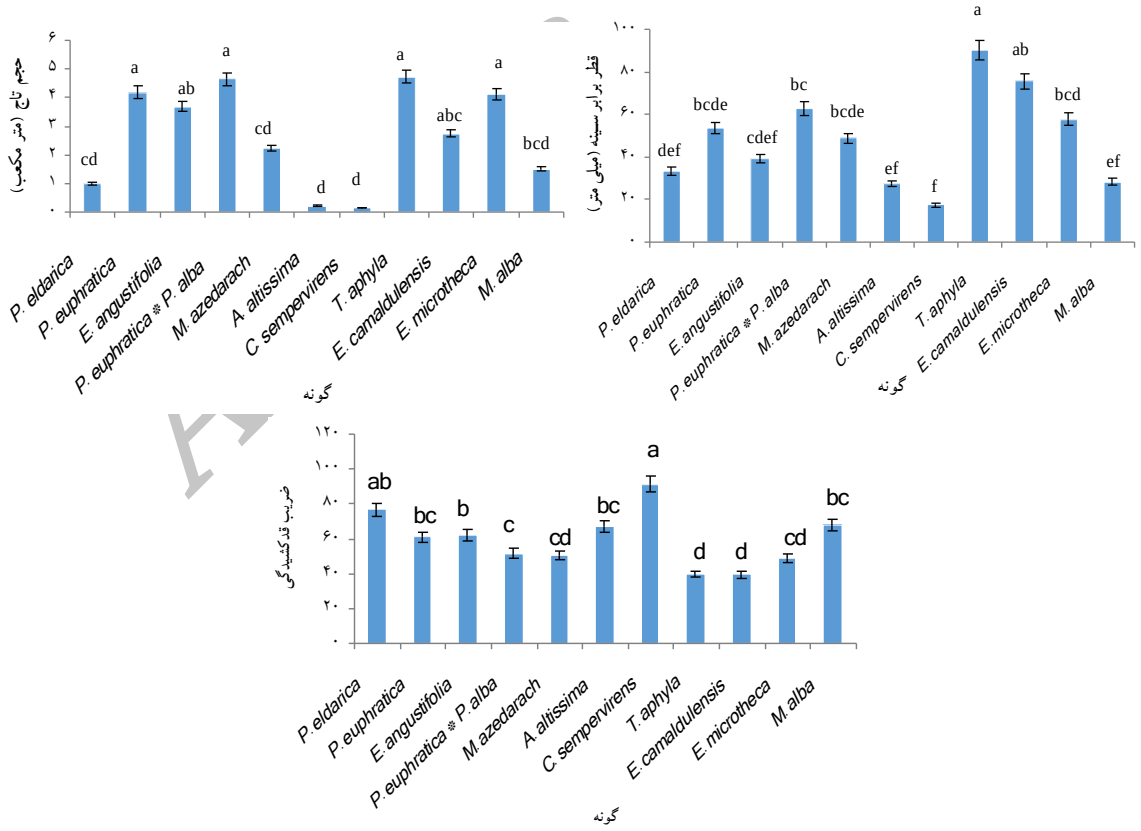
جدول ۳- نتایج آزمون تجزیه واریانس پارامترهای اندازه‌گیری‌شده گونه‌های مختلف در شرایط آبیاری با پساب تصفیه‌خانه فاضلاب یزد

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		زنده‌مانی	ارتفاع	قطر تاج	قطر یقه	قطر برابر سینه	حجم تاج	ضریب قدکشیدگی
بلوک	۲	۳۱۰/۲۶ ns	۲۹۹۰/۰۶ *	۲۵۱۶/۰۱ ns	۵۸۵/۰۱ ns	۲۹۸/۴۳ ns	۶/۴۳ ns	۲۶۷/۵۲ ns
گونه	۱۰	۲۳۳۴/۳۱ **	۱۰۹۵۵/۰۹ **	۷۵۹۳/۵۳ **	۲۳۴۴/۰۱ **	۱۴۸۱/۴۱ **	۹/۱۲ **	۷۴۳/۷۶ **
خطا	۲۰	۱۱۸/۷۱	۱۳۴۳/۸۵	۶۴۸/۳۳	۳۲۶/۳۴	۲۱۲/۶	۱/۸۲	۹۵/۹۵
کل	۳۳							

** اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد؛ * اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد؛ ns غیرمعنی‌دار

قطر برابر سینه

نتایج آزمون تجزیه واریانس داده‌ها، اختلاف معنی‌داری را ($p < ۰/۰۰۱$) بین میانگین قطر برابر سینه گونه‌های مورد مطالعه نشان داد (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها حاکی از آن بود که بیشترین قطر برابر سینه (۹۰/۱ میلی‌متر) مربوط به گز شاهی و کمترین آن (۱۷ میلی‌متر) مربوط به سرو بود (شکل ۲).



شکل ۲- مقایسه میانگین حجم تاج، قطر برابرسینه و ضریب قدکشیدگی درختان آبیاری‌شده با پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهر یزد

Archive of SID

www.SID.ir

حجم تاج

بر اساس نتایج، بین گونه‌های مورد مطالعه از نظر حجم تاج اختلاف معنی‌داری ($p < ۰/۰۰۱$) وجود داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین حجم تاج (۴/۷۳ متر مکعب) پس از چهار سال متعلق به گز شاهی بود، هرچند که این گونه با گونه‌هایی مانند پده، دورگ صنوبر و *E. microtheca* اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. کمترین حجم تاج (۰/۱۶۲ متر مکعب) نیز همچون پارامترهای دیگر مربوط به سرو بود که با عرعر اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۲).

ضریب قدکشیدگی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در خصوص این ضریب نشان داد که بین گونه‌های مختلف اختلاف معنی‌داری ($p < ۰/۰۰۱$) وجود داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها حاکی از آن بود که بیشترین ضریب قدکشیدگی مربوط به سرو و کاج تهران (به‌ترتیب ۹۱/۳۱ و ۷۶/۰۷) و کمترین آن متعلق به گز و *E. camaldulensis* (به‌ترتیب ۳۹/۴۷ و ۳۹/۷۷) بود (شکل ۲).

بحث

در این پژوهش، نتایج مربوط به درصد زنده‌مانی و عملکرد رشد گونه‌های چوبی کشت‌شده در شرایط آبیاری با پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهر یزد بررسی شد. از نظر استقرار، برتری با کاج تهران بود که کلیه نهال‌های آن مستقر شدند. به‌رغم استقرار بسیار مناسب کاج تهران، تفاوت معنی‌داری بین این گیاه با سنجدتلخ (۹۷/۹۲ درصد)، *E. camaldulensis* (۸۶/۸۱ درصد)، *E. microtheca* (۸۸/۱۹ درصد) و توت (۸۷/۵ درصد) مشاهده نشد. Tabari و Salehi (۲۰۰۹) کاج تهران را به‌عنوان یک گونه مناسب برای تثبیت عناصر سنگین خاک ذکر کردند. با این شرایط می‌توان کاج تهران را به‌عنوان یک گونه مناسب برای کاشت در شرایط آبیاری با فاضلاب و پساب‌های صنعتی و خانگی و همچنین در اقلیم خشک معرفی کرد. هرچند ممکن است این گونه از رشد زیادی نسبت به گونه‌های پهن‌برگ برخوردار نباشد، اما زنده‌مانی زیاد این گونه در پایان سال چهارم پس از کاشت به‌همراه شاخص‌های مثبت دیگر در تثبیت عناصر سنگین موجود خاک که توسط پژوهشگران دیگر گزارش شده است، عامل‌هایی هستند که این گونه را جزء گونه‌های برتر برای جنگل‌کاری در شرایط آبیاری با فاضلاب و یا پساب‌ها قرار می‌دهد.

دورگ صنوبر از گونه‌هایی بود که زنده‌مانی کمی داشت. به‌رغم استقرار بسیار خوب این گونه (در حدود صددرصد) در سال‌های اول و دوم و همچنین رشد فوق‌العاده آن، به‌دلیل حمله لارو سوسک چوب‌خوار صنوبر (*Melanophila picta* Pall.) بسیاری از پایه‌های این گونه آسیب دیدند. کمبود آب و بروز تنش خشکی در تابستان به‌دلیل کاهش دسترسی گیاهان کشت‌شده به پساب، عامل اصلی حمله این آفت بود. به‌نظر می‌رسد که این دورگ نیاز آبی زیادی دارد و تحمل آن در برابر خشکی خاک، اندک است. هرچند تحمل زیاد آن نسبت به تنش شوری گزارش شد و به همین دلیل، آن را مناسب کاشت در عرصه‌های شور دانستند (Calagari *et al*., 2017).

با وجود کم بودن درصد زنده‌مانی نهال‌های گز شاهی در مقایسه با گونه‌های دیگر (به‌جز دورگ صنوبر)، این گونه در تمام شاخص‌های رشد از برتری نسبی برخوردار بود. عدم وجود اختلاف معنی‌دار برخی دیگر از گونه‌ها با گز شاهی در ارتباط با متغیرهای اندازه‌گیری‌شده می‌تواند سازگاری این گونه‌ها را تحت آبیاری با پساب شهری نشان دهد. کم بودن مقدار استقرار نهال‌های مربوط به گز شاهی را می‌توان به نحوه کاشت آن‌ها مربوط دانست. در این پژوهش به‌جای کاشت مستقیم قلمه، از نهال‌های به‌دست آمده از قلمه‌های ریشه‌دارشده استفاده شد.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، *E. camaldulensis* از گونه‌های تندرشدی است که می‌تواند در شرایط آبیاری با فاضلاب و به‌منظور توسعه فضای سبز، ترسیب کربن و تولید

Archive of SID

www.SID.ir

چوب استفاده شود. نتایج مطالعات پیشین در زمینه سازگاری این گونه و پروونانس‌های دیگر اکالیپتوس در شرایط آبیاری با پساب تصفیه‌خانه فاضلاب یزد، این موضوع را تأیید می‌کند (Rad *et al*., 2014). مقاومت بسیار زیاد گونه‌هایی از اکالیپتوس به‌ویژه *E. camaldulensis* به مواد موجود در پساب از جمله عناصر سنگین باعث شده است که سطح زیر کشت آن‌ها به‌وسیله آبیاری با پساب‌های شهری و صنعتی افزایش یابد (Al-Jamal *et al*., 2002). Stottmeister و همکاران (۲۰۰۳) ذکر کردند که برخی از ترکیبات مضر در فاضلاب می‌توانند عامل توقف رشد و حتی مسمومیت گیاهان باشند. در این مورد، گونه‌های تند رشد درختی مثل گز و *E. camaldulensis* مقاومت زیادی داشته و مناسب کشت در شرایط آبیاری با فاضلاب هستند. Ahmad و همکاران (۲۰۱۸) بر جذب عناصر سنگین موجود در خاک مانند آرسنیک توسط گونه تندرشد *E. camaldulensis* تأکید کرده‌اند. وجود عناصر سنگین در هوا و خاک از عامل‌های مؤثر بر کاهش رشد و عملکرد گیاهان است و به‌عنوان یک تنش جدی در مناطق آلوده، مطرح است. گونه‌های گیاهی که توانایی تحمل این شرایط را داشته و بتوانند عناصر سنگین را از خاک جذب کنند، برای جنگل‌کاری در مناطق آلوده در اولویت هستند. از گونه‌های پهن‌برگ دیگری که در این پژوهش ضمن برخورداری از زنده‌مانی زیاد، دارای رشد و عملکرد مطلوبی بودند، می‌توان به سنجدتلخ، پده، سنجد، توت و *E. microtheca* اشاره کرد. نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش با نتایج سایر پژوهشگران در مورد گونه‌های ذکرشده مطابقت دارد. چنانچه پژوهشگران دیگر از پده، توت، سنجدتلخ و گونه‌های مختلف اکالیپتوس به‌عنوان گونه‌های مورد آزمایش در شرایط آبیاری با فاضلاب و پساب یاد کرده‌اند (Adler *et al*., 2008; Ashfaq *et al*., 2009; Pandey *et al*., 2011; Minhas *et al*., 2015; Sarwar *et al*., 2015). آن‌ها رشد بهتر گونه‌های ذکرشده را در شرایط آبیاری با فاضلاب و پساب نسبت به شرایط آبیاری با آب معمولی گزارش کردند.

یکی از عامل‌هایی که ممکن است باعث کاهش زنده‌مانی و همچنین کند شدن رشد گیاهان در شرایط آبیاری با فاضلاب شود، شور شدن تدریجی خاک در اثر مصرف فاضلاب است (Batarseh *et al*., 2011). هرچند شوری پساب مصرف‌شده در پژوهش پیش‌رو، ۲۳۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر بود (جدول ۲)، با این وجود به‌دلیل شور بودن خاک محل اجرای پژوهش به‌ویژه در عمق ۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متری (جدول ۱)، این عامل بدون تردید بر زنده‌مانی و رشد برخی از گونه‌ها بی‌تأثیر نبود.

با بررسی ضریب قدکشیدگی گونه‌های مختلف در شرایط آبیاری با پساب مشخص شد که با وجود کم بودن سن درختان و کم بودن ضریب قدکشیدگی برای تمام آن‌ها، گونه‌های مختلف از شرایط بسیار متنوعی برخوردار بودند. سرو و کاج تهران به‌عنوان دو گونه سوزنی‌برگ نسبت به گونه‌های مورد آزمایش دیگر، ضریب قدکشیدگی زیادی داشتند، اما مقدار محاسبه‌شده برای این ضریب حتی در گونه‌های مذکور از عدد ۸۰ که نشان‌دهنده پایداری درختان است، کمتر بود. از عامل‌های مؤثری که موجب تفاوت در ضریب قدکشیدگی گونه‌های پهن‌برگ با سوزنی‌برگ می‌شود، تفاوت در الگوی رشد آن‌ها است. درختان پهن‌برگ، تاج گسترده‌تر و شاخه‌های قطورتری دارند که همگی در ضریب قدکشیدگی مؤثر هستند. کمترین ضریب قدکشیدگی مربوط به *E. camaldulensis* و گز شاهی بود. البته، ذکر این نکته ضروریست که گونه‌های تندرشد در مراحل اولیه رشد از ضریب قدکشیدگی زیادی برخوردار هستند که با افزایش سن و ابعاد درخت کاهش می‌یابد. سایر گونه‌های مورد مطالعه از شرایط به‌نسبت یکسانی برخوردار بودند و تفاوت قابل توجهی با یکدیگر نداشتند.

بر اساس نتایج پژوهش پیش‌رو می‌توان بیان کرد که گرچه تمامی گونه‌های کشت‌شده در شرایط آبیاری با پساب در ابتدا از زنده‌مانی زیاد و رشد مناسبی برخوردار بودند، با این وجود پس از چهار سال مشخص شد که تعدادی از آن‌ها به دلایلی که ذکر شد، نتوانستند به حیات خود ادامه دهند. در این خصوص، کاج تهران با درصد زندمانی زیاد

Archive of SID

www.SID.ir

(صددرصد) نسبت به گونه‌های دیگر در اولویت بود. این گونه، تندرشد نیست و ضریب قدکشیدگی زیادی دارد، بنابراین ممکن است در سنین بیشتر نیز از وضعیت مشابهی برخوردار باشد. با توجه به سرعت رشد زیاد، عملکرد رویشی خوب و همچنین درصد زنده‌مانی به‌نسبت مناسب *E. camaldulensis*، *E. microtheca* پده، سنجدتلخ و سنجد، امکان بهره‌گیری از آن‌ها در جنگل‌کاری و ایجاد فضای سبز به‌وسیله آبیاری با پساب در شرایط اقلیمی خشک وجود دارد. فراهم کردن شرایط برای زنده‌مانی بیشتر گز در مراحل اولیه استقرار، می‌تواند این گونه را به‌دلیل دارا بودن ویژگی‌های رشد مناسب، به‌عنوان گونه برتر در شرایط آبیاری با فاضلاب و پساب‌ها مطرح کند. با توجه به نیاز آبی زیاد دورگ صنوبر و تحمل کم آن در برابر تنش خشکی، این گونه برای جنگل‌کاری در مناطق خشک که احتمال وقوع تنش خشکی وجود دارد، مناسب به‌نظر نمی‌رسد، هرچند که ممکن است بتواند شرایط تنش شوری را که یک عامل محدودکننده رشد گیاهان در مناطق خشک است، را به‌خوبی تحمل کند (Calagari *et al*., 2017).

References

- 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(1-2): 189-206.
- Ahmad, F.D., Ahmad, N., Rass Masood, K., Hussain, M., Faheem Malik, M. and Qayyum, A., 2018. Phytoremediation of arsenic-contaminated soils by *Eucalyptus camaldulensis*, *Terminalia arjuna* and *Salix tetrasperma*. Journal of Applied Botany and Food Quality, 91: 8-13.
- Alcorn, P.J., Bauhus, J., Smith R.G.B., Thomas, D., James, R. and Nicotra, A., 2008. Growth response following green crown pruning in plantation-grown *Eucalyptus pilularis* and *E. cloeziana*. Canadian Journal of Forest Research, 38(4): 770-781.
- Al-Jamal, M.S., Sammis, T.W., Mexal, J.G., Picchioni, G.A. and Zachritz, W.H., 2002. A growth-irrigation scheduling model for wastewater use in forest production. Agricultural Water Management, 56: 57-79.
- Al-Taisan, W.A., 2009. Suitability of using *Phragmites australis* and *Tamarix aphylla* as vegetation filters in industrial areas. American Journal of Environmental Sciences, 5(6): 740-747.
- Ashfaq, M., Ali, S. and Hanif, M.A., 2009. Bioaccumulation of cobalt in silkworm (*Bombyx mori* L.) in relation to mulberry, soil and wastewater metal concentrations. Process Biochemistry, 44(10): 1179-1184.
- Batarseh, M.I., Rawajfeh, A., Ioannis, K.K. and Prodromos, K.H., 2011. Treated municipal wastewater irrigation impact on olive trees (*Olea europaea* L.) at Al-Tafilah, Jordan. Water, Air, and Soil Pollution, 217(1-4): 185-196.
- Belaid, N., Neel, C., Lenain, J.F., Buzier, R., Kallel, M., Ayoub, T., Ayadi, A. and Baudu, M., 2012. Assessment of metal accumulation in calcareous soil and forage crops subjected to long-term irrigation using treated wastewater: Case of El Hajeb-Sfax, Tunisia. Agriculture, Ecosystems and Environment, 158: 83-93.
- Calagari, M., Salehi Shanjani, P. and Banj Shafiei, Sh., 2017. Growth comparison of two poplar species (*Populus alba* and *P. euphratica*) and their hybrid in the saline and non-saline soils. Journal of Plant Researches, 30(1): 173-185 (In Persian).
- Coleman, M. and Aubrey, D., 2008. Coppice culture for biomass production in southeastern United States. Proceedings of the Short Rotation Crops International Conference: Biofuels, Bioenergy, and Bioproducts from Sustainable Agricultural and Forest Crops. Bloomington, Minnesota, USA, 19-21 Aug. 2008: 9.
- Klay, S., Charef, A., Ayed, L., Houman, B. and Rezgui, F., 2010. Effect of irrigation with treated wastewater on geochemical properties (saltiness, C, N and heavy metals) of isohumic soils (Zaouit Sousse perimeter, Oriental Tunisia). Desalination, 253(1): 180-187.
- Laouali, G., Delisle, C.E. and Vincent, G., 1995. Preliminary investigation of wastewater recycling in Nigerian nurseries. Sécheresse, 6(2): 201-205.
- Minhas, P.S., Yadav, R.K., Lal, K. and Chaturvedi, R.K., 2015. Effect of long-term irrigation with wastewater on growth, biomass production and water use by Eucalyptus (*Eucalyptus tereticornis* Sm.) planted at variable stocking density. Agricultural Water Management, 152: 151-160.
- Pandey, A., Singh, M., Srivasatava, R.K. and Vasudevan, P., 2011. Pollutant removal potential, growth and nutritional characteristics of short rotation woody crops in grey water vegetation filter system. Journal of Scientific and Industrial Research, 70: 610-615.

Archive of SID

www.SID.ir

- Pedrero, F., Allende, A., Gil, M.I. and Alarcón, J.J., 2012. Soil chemical properties, leaf mineral status and crop production in a lemon tree orchard irrigated with two types of wastewater. Agricultural Water Management, 109: 54-60.
- Ponce-Hernandez, R., Koohafkan, P. and Antoine, J., 2004. Assessing carbon stocks and modelling win-win scenarios of carbon sequestration through land-use changes, FAO, 156p.
- Rad, M.H., Sardabi, H., Soltani, M. and Ghelmani, S.V., 2014. Compatibility of different Eucalyptus species and provenances under sewage irrigation using Yazd city wastewater treatment plant effluent. Journal of Water and Wastewater, 25(1): 85-94 (In Persian).
- Salehi, A., Tabari, M., Mohammadi, J. and Aliarb, 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).

Archive of SID

www.SID.ir

The effects of wastewater irrigation on vegetative performance of various woody species under arid condition (Case study: Yazd city)

M.H. Rad [1*], H. Keneshloo [2] and M. Soltani [3]

1*- Corresponding author, Assistant Prof., Forest and Rangeland Division, Yazd Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Yazd, Iran. E-mail: mohammadhadirad@gmail.com
2- Assistant Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricuture Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
3- Research Expert, Forests and Rangelands Research Department, Yazd Agricultural and Natural Resource Research and Education Center, AREEO, Yazd, Iran

Received: 18.01.2018 Accepted: 08.05.2018

Abstract

This experiment was conducted to evaluate the establishment and adaptability of woody species under wastewater irrigation condition in arid climate. This experiment carried out in Yazd city wastewater treatment station with 11 tree species under randomized complete block design with three replications. The species included *Eucalyptus camaldulensis E. microtheca*, *Elaeagnus angustifolia*, *Tamarix aphylla*, *Melia azedarach*, *Pinus eldarica*, *Populus euphratica*, *P. alba× P. euphratica*, *Morus alba*, *Cupresus simperverence* and *Ailanthus altissima*. In each plot, trees were planted with 48 seedlings for each species. Immediately after planting, the seedlings were irrigated with wastewater for 15 days, followed by further irrigations in 20-30 days intervals after the establishment. After 4 years, the effects of wastewater on establishment and growth, including survival percentage, height growth, the average diameter of the crown, crown volume, collar diameter and diameter at breast height (DBH) were measured. The results showed that the *P. eldarica* had highest rates of deployment with 100% of establishment. However, no significant differences were observed with other species including *M. azedarach*, *E. camaldulensis* and, *E. microtheca*. For all growth indicators and yield traits, the *T. aphylla* tree showed better performance, although it did not significantly differ with many others species. The results of this study showed that woody species such as *E. camaldulensis, E. microtheca, M. azedarach, E. angustifolia, P. euphratica* and *P. eldarica* can be irrigated with wastewater under arid condition due to their better establishment, growth and slenderness coefficient compared to other species.

Keywords: Adaptation, afforestation, slenderness coefficient, survival percentage.

Archive of SID

www.SID.ir