



DOI: 10.22092/irj.2019.119475



نامه علمی

تاریخ دریافت ۱۳۹۸/۲/۱۰
تاریخ پذیرش ۱۳۹۸/۴/۱۴

گونه‌های موفق اکالیپتوس برای جنگل کاری و توسعه فضای سبز در شرایط آبیاری با پساب (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه فاضلاب یزد)

محمدهادی راد^{۱*}، حسین سردابی^۲، مهدی سلطانی^۳ و سیدوحید قلمانی^۴

چکیده

به دلیل تنوع گسترده گونه‌های اکالیپتوس و نیز گوناگونی نیازمندی‌های اکولوژیکی آنها، ضرورت دارد تا با هدف بهره‌گیری از توان آنها در جنگل کاری و توسعه فضای سبز، گزینش گونه‌های مناسب از طریق آزمایش‌های سازگاری، مورد توجه قرار گیرد. بر این اساس، طی سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۷ و در دو فاز ۵ ساله، طرح سازگاری گونه و پرووانانس‌های مختلف اکالیپتوس در شرایط اقلیمی یزد و از طریق آبیاری با پساب اجرا شد. این طرح در شرایط تصفیه‌خانه فاضلاب شهر یزد و در قالب بلوک‌های کامل تصادفی، در چهار تکرار با کاشت هشت گونه، به تعداد ۳۶ اصله در هر تکرار و به فاصله ۳×۳ متر به اجرا درآمد. گونه و پرووانانس‌های مورد بررسی شامل: *Eucalyptus rubida*, *E. saligna*, *E. saligna20762*, *E. macarthurii*, *E. viminalis*, *E. sargentii*, *E. camaldulensis* و *E. microtheca* بودند. نتایج بررسی‌ها در فاز نخست طرح نشان داد که گونه‌های *E. camaldulensis*, *E. sargentii* و *E. microtheca* نسبت به سایر گونه‌ها از میزان استقرار بالاتر و معنی‌دارتری (به ترتیب ۹۸/۶، ۹۵/۱ و ۹۲/۴ درصد) برخوردار بودند. همچنین بررسی عملکرد رویشی این سه گونه، نشان داد که در مجموع *E. camaldulensis* نسبت به دو گونه دیگر دارای پرتزی بود. کف‌بردن گونه‌ها با هدف تجدیدکننده و تولید جست‌گروه انجام شد و نشان داد در صورت سالم بودن ریشه، هر سه گونه توانمندی بالایی در این خصوص دارند.

واژه‌های کلیدی: سازگاری، پساب، تجدیدکننده، *E. camaldulensis*، *E. sargentii* و *E. microtheca*

Successful eucalyptus species for afforestation and development of green spaces under irrigation with sewage (Case Study: Yazd Wastewater Treatment Plant)

M.H. Rad^{1*}, H. Sardabi², M. Soltani³ and S.W. Ghelmani⁴

Abstract

Due to the wide variety of eucalyptus species and their various ecological requirements, it is necessary to select the appropriate species for afforestation and development of green spaces through compatibility testing. Accordingly, the compatibility of various species and provenances was considered. This research was carried out in the climatic conditions of Yazd and through irrigation with wastewater during 2009 to 2018. The experiment was carried out in Yazd Wastewater Treatment Plant with a randomized complete block design and four replications, with eight species and provenances, at 36 plants in each block at a distance of 3 × 3 m. Species and provenances were *E. rubida*, *E. saligna*, *E. saligna20762*, *E. macarthurii*, *E. viminalis*, *E. sargentii*, *E. camaldulensis* and *E. microtheca*. The results of the study in the first phase of the experiment showed that *E. camaldulensis*, *E. sargentii* and *E. microtheca* had higher and significant establishment rates (98.6, 95.1 and 42.9%). According to the results, the yield of *E. camaldulensis* was superior to the other two species. Our results clearly showed that in case of healthy roots, all three species showed a high potential in coppice production.

Keywords: Compatibility, coppicing, *E. camaldulensis*, *E. sargentii*, *E. microtheca*, sewage

*- نویسنده مسئول، استادیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران
پست الکترونیک: mohammadhadirad@gmail.com

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

۲- پژوهشگر، بخش تحقیقات جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

۳- کارشناس و مسئول تصفیه‌خانه فاضلاب یزد

1- Assistant Prof., Research Division of forest and rangeland, Yazd Agricultural and Natural Resource Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran, E-mail: mohammadhadirad@gmail.com

2- Associate Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, AREEO, Tehran, Iran

3- Research Expert., Research Division of Natural Resources, Yazd Agricultural and Natural Resource Research and Education Center, Agriculture Research Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran

4- Expert., Wastewater Treatment Plants, Yazd, Iran



● مقدمه

اکالیپتوس به عنوان یک جنس گیاهی مهم، بیش از درختان دیگر در نقاط مختلف دنیا مورد توجه و توسعه است.

جنس اکالیپتوس به عنوان یکی از جنس‌های پرتنوع از نظر تعداد گونه

مطرح است. تاکنون بیش از ۸۰۰ گونه از

جنس اکالیپتوس شناسایی شده‌اند و در سطح گسترده‌ای از مناطق جنگلی استرالیا پراکنش دارند (Brooker & Kleinig, 2001). عصاره

و سردابی (۱۳۸۶) گونه‌های جنس اکالیپتوس را بیش از ۵۸۰ گونه و تعداد هیبریدهای طبیعی را

در این جنس همین تعداد اعلام کرده‌اند. قلمرو انتشار گونه‌های جنس اکالیپتوس در نواحی

مختلف با بارندگی کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر تا بیش از ۳۰۰۰ میلی‌متر است. تنوع گونه‌ای

سبب تغییرات زیاد در اندازه درختان اکالیپتوس شده است که این مورد در دنیای گیاهان کم‌نظیر

است. همچنین این جنس شامل تعداد زیادی زیرگونه، واریته و پرووانانس (مبدأ جغرافیایی

بذر) است که تعداد چشمگیری از آنها نسبت به تنش‌های محیطی و محدودیت‌های اکولوژیکی

از جمله گرما و سرمای هوا، شوری، قلیائیت و خشکی خاک، متحمل و مقاوم هستند (عصاره

و سردابی، ۱۳۸۶). تاریخ انتشار این جنس در خارج از استرالیا به بیش از ۱۵۰ سال پیش

بازمی‌گردد. در طول این مدت بسیاری از کشورهای دنیا، جنگل‌های دست‌کاشت وسیعی

از آن را ایجاد کرده‌اند.

محدودیت‌های اساسی در مناطق خشکی مانند یزد از جمله شوری آب و خاک، کمی بارش

و سرماهای زمستانه و داغی هوا در تابستان‌ها، دامنه انتخاب گونه‌ها را بسیار محدود کرده است.

براین اساس انتخاب گونه یا گونه‌هایی که بتوانند شرایط سخت ذکر شده را تحمل و از منابع آبی

محدود و نامتعارف برای رشد مناسب استفاده کنند، بسیار سخت است.

در انتخاب گونه‌ها عواملی چون مقاومت به تغییرات رطوبت خاک، میزان املاح خاک به‌ویژه

کلرور سدیم، میزان شوری آب، نوسانات دمایی و کمی رطوبت موجود در هوا، همچنین وزش

بادهای شدید از جمله عواملی هستند که باید مورد توجه قرار گیرند (Lamers et al., 2006).

هرچند راهکارهای متعددی برای بهبود مقاومت گونه‌های

بومی از جمله انتخاب، اصلاح ژنتیکی و... ارائه شده است، ولی استفاده از برخی گونه‌های غیربومی سازگار

به شرایط اکولوژیکی مناطق خشک و نیمه‌خشک نیز می‌تواند راهکار مؤثری در جهت توسعه سطح

پوشش گیاهی باشد.

تولید چوب و وجود برخی ویژگی‌های دارویی در گونه‌هایی از اکالیپتوس که توان

تحمل شرایط سخت محیطی را نیز دارند امکان تولید فراورده‌های چوبی، همچنین دارویی را در

مناطق خشک و کم‌آب فراهم می‌سازد. در زمینه سازگاری گونه‌های مختلف اکالیپتوس تحقیقات

گسترده‌ای در داخل کشور انجام و گونه‌های موفق برای مناطق آب‌وهوایی مختلف معرفی

شده است (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶؛ رستمی‌کیا و سردابی، ۱۳۹۵؛ سردابی، ۱۳۷۷؛

ثاقب‌طالبی و دستمالچی، ۱۳۷۶؛ همتی، ۱۳۷۶؛ همتی، ۱۳۷۵ و مرتضوی‌جهرمی، ۱۳۷۳).

برخلاف معرفی گونه‌های سازگار با شرایط اقلیمی متنوع کشور، تحقیقات مدونی

در خصوص سازگاری آنها به شرایط آبیاری با فاضلاب و پساب به‌عنوان منابع آبی ارزشمند

نامتعارف، در کشور و معرفی گونه یا گونه‌های مناسب برای این امر انجام نشده است.

از مهم‌ترین مشکلات مدیریت شهرها و به‌ویژه شهرهای بزرگ، استفاده روزافزون

منابع آبی در بخش خانگی و صنعت و تبدیل آن به فاضلاب و رهاسازی آنها

در سطح زمین یا نفوذ به اعماق زمین و به‌دنبال آن آلودگی خاک و آب‌های

زیرزمینی، آلودگی محیط‌زیست و تخریب منابع طبیعی است (Qadir et al., 2010).

براساس گزارش بهرامی و همکاران (۱۳۹۴) به ازای هر نفر شهروند یزدی ۲۲۲ لیتر

فاضلاب در روز تولید شده که برای تصفیه به محل تصفیه‌خانه فاضلاب یزد وارد می‌شود

(۱۶۶۵۰ مترمکعب در روز برای جمعیتی در حدود ۷۵۰۰۰ نفر). تصفیه‌خانه فاضلاب

شهر یزد برای تولید ۸۰۰ لیتر در ثانیه پساب و برای جمعیتی حدود ۳۱۰ هزار نفر طراحی

شده است. به‌عبارتی سالانه بالغ بر ۲۵ میلیون مترمکعب پساب ناشی از تصفیه فاضلاب

در تصفیه‌خانه شهر یزد تولید خواهد شد که امکان بالقوه‌ای را برای بهره‌برداری از آن در

جنگل‌کاری و توسعه فضای سبز در داخل و اطراف شهر یزد فراهم می‌کند. برآوردها

نشان می‌دهد که در مناطق شهری روزانه بین ۲۰۰ تا ۲۵۰ لیتر فاضلاب به ازای هر

شهروند تولید می‌شود. شرکت آب و فاضلاب تهران (۱۳۹۸) میزان فاضلاب تولیدی به

ازای هر نفر را روزانه ۲۱۴ لیتر گزارش کرده است. نتایج بررسی امکان‌سنجی و ارزیابی

ریسک استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده شهر یزد توسط بهرامی و همکاران (۱۳۹۴) نشان

داد که با مدیریت بخش‌های اصلی همچون کنترل کیفیت فرایند، تأمین منابع مالی و

تدوین سیستم مدیریتی، می‌توان ریسک‌های مربوط به استفاده از پساب تولیدی را در

کشاورزی کاهش و حتی برطرف کرد. آنها معتقدند در حال حاضر از بین ۱۵ ریسک

ایمنی، بهداشتی و محیط‌زیستی، ۵ ریسک در محدوده غیرقابل قبول، چهار ریسک در

محدوده لزوم اقدام برای کاهش ریسک و شش ریسک در محدوده بهبود مستمر قرار دارند.

استفاده از گونه‌های مختلف اکالیپتوس جهت بهره‌برداری اقتصادی از پساب‌های

بهداشتی و صنعتی از سال‌ها پیش مورد توجه بوده است (Al-Jamal et al., 2001).

مقاومت بسیار خوب برخی از گونه‌های اکالیپتوس به مواد موجود در پساب از جمله

عناصر سنگین، سبب افزایش سطح زیرکشت آنها به‌وسیله آبیاری با پساب‌های بهداشتی و

صنعتی شده است، همچنین از طریق برداشت مکرر اندام هوایی آنها، برای تصفیه فاضلاب

استفاده می‌شود (Al-Jamal et al., 2001; Baddesha, 1997).

استفاده گسترده از گونه‌های اکالیپتوس برای بیابان‌زدایی و تولید

چوب در شرایط آبیاری با پساب، در بسیاری از کشورهای خاورمیانه از جمله مصر، اردن، کویت و یمن گزارش شده است (FAO, 2009).

Magalhaes و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی رشد و نمو نهال اکالیپتوس آبیاری شده با

پساب‌های مختلف (کارخانجات لبنیات، پساب شهری و کشتارگاه) بیشترین کاهش

رشد را به پساب حاصل از کشتارگاه‌های دام مربوط دانستند. آنها بر استفاده از پساب شهری

به‌دلیل وجود عناصر مغذی برای رشد سریع گیاهان مقاوم، تأکید کرده‌اند. نتایج مطالعات

Guo و همکاران (۲۰۰۲) نشان داد که به دلیل سازگاری برخی گونه‌های چوبی و از جمله برخی گونه‌های اکالیپتوس با شرایط آبیاری با فاضلاب، می‌توان از آنها به عنوان فیلترهای سبز در تصفیه فاضلاب استفاده کرد. بررسی‌های جامع Minhas و همکاران (۲۰۱۵) در خصوص آبیاری بلندمدت درختان اکالیپتوس با پساب، به امکان تولید بالایی از زیست‌توده و به‌ویژه چوب توسط این گیاه اشاره دارد. دسترسی به این مهم با در نظر گرفتن برخی مسائل مدیریتی از جمله تراکم مطلوب و آبیاری کنترل‌شده، به خوبی میسر است. Din Ahmad و همکاران (۲۰۱۸) نیز گونه *E. camaldulensis* را به عنوان گونه شاخص در میان گونه‌های مورد آزمایش در جذب آرسنیک انباشته شده در خاک، گزارش کردند. بالاترین میزان تجمع آرسنیک در ریشه این گیاه بود. از مزیت‌های مهم بسیاری از گونه‌های اکالیپتوس، هرس پذیری و امکان کف‌بردن آنها، برای برداشت مکرر چوب و بهره‌برداری‌های اقتصادی است. کاهش دما در برخی از سال‌ها، موجب وارد شدن آسیب جدی به اندام هوایی بسیاری از گونه‌های کشت شده اکالیپتوس می‌شود. درختانی که در اثر سرما و یخ‌زدگی دچار آسیب می‌شوند، معمولاً دارای ریشه‌های سالمی هستند و می‌توان آنها را از طریق کف‌بردن و تولید جست‌گروه و با کنترل رشد، مورد بهره‌برداری مجدد قرار داد (Coleman & Douglas, 2008). با کف‌بردن، جوانه‌های خفته فعال شده و با رشد سریع، پوشش تاجی جدیدی تولید می‌شود. بهره‌برداری از جست‌گروه‌ها با اهداف مختلف در گونه‌هایی از اکالیپتوس مورد توجه قرار گرفته است (صالحه‌شوستری و همکاران، ۱۳۸۹; Blake, 1980; pinkard & Beadle, 1998; Pinkard, 2002; Alcorn et al., 2008; Al Jamal et al., 2002). Duncan و همکاران (۱۹۹۸) نیز به مهم‌ترین راهکار تولید چوب و بهره‌برداری اقتصادی از برخی گونه‌های مستعد اکالیپتوس، از طریق کف‌بردن و تولید جست‌گروه روی کنده اشاره کرده‌اند. با توجه به موارد فوق، در این پژوهش، ضمن بررسی سازگاری گونه و پرووانانس‌های مختلف اکالیپتوس به شرایط

اقلیمی یزد و در شرایط آبیاری با پساب، واکنش گونه‌های سازگار و موفق به هرس و به‌ویژه تجدیدکننده نیز مورد توجه قرار گرفت.

● اقدام‌ها و یافته‌ها

فاز نخست پژوهش از سال ۱۳۸۸ با کاشت نهال یک ساله در محل تصفیه‌خانه فاضلاب شهر یزد، آغاز شد و مدت ۵ سال با هدف بررسی میزان استقرار و عملکرد رویشی گونه‌های مختلف، به طول انجامید. با توجه به شرایط اقلیمی و سایر محدودیت‌های اکولوژیکی از قبیل شوری آب و خاک، سرما و یخ‌بندان، گرما، همچنین وزش بادهای شدید در منطقه، سعی شد تا در میان گونه‌های متعدد اکالیپتوس، تعداد هشت گونه و پرووانانس به شرح ذیل انتخاب شود: *Eucalyptus rubida*, *E. saligna* 20762, *E. saligna*, *E. macarthurii*, *E. viminalis*, *E. sargentii*, *E. camaldulensis*, *E. microtheca* گونه‌های موردنظر به تعداد ۳۶ اصله در هر تکرار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی

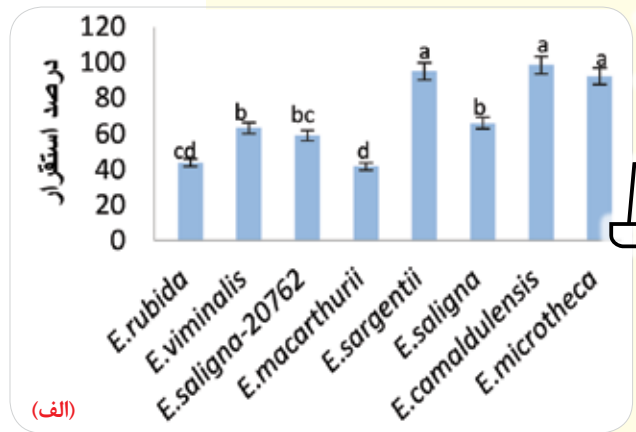
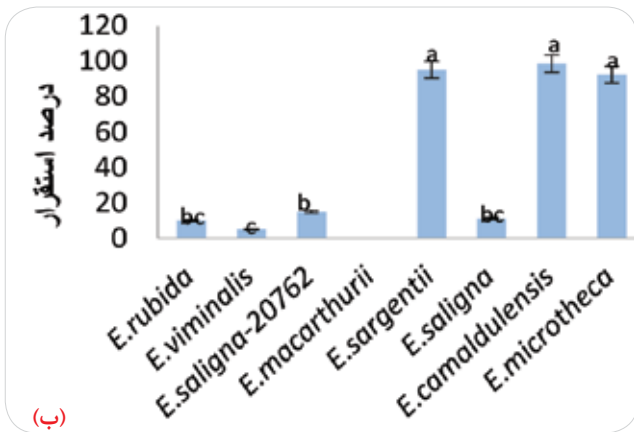
با چهار تکرار و به فاصله ۳×۳ متر کشت و با پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهر یزد آبیاری شدند. جدول ۱ برخی ویژگی‌های پساب مورد استفاده در آبیاری را نشان می‌دهد.

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها در محیط نرم‌افزار SPSS و مقایسه میانگین داده‌ها به روش دانکن و در سطح اطمینان پنج درصد انجام شد.

مقاومت
بسیار خوب برخی از گونه‌های اکالیپتوس به مواد موجود در پساب از جمله عناصر سنگین، سبب افزایش سطح زیرکشت آنها به وسیله آبیاری با پساب‌های بهداشتی و صنعتی شده است، همچنین از طریق برداشت مکرر اندام هوایی آنها، برای تصفیه فاضلاب استفاده می‌شود.

جدول ۱- شاخص‌های اندازه‌گیری شده پساب مورد استفاده در آبیاری گونه و پرووانانس‌های مختلف اکالیپتوس (تصفیه‌خانه فاضلاب شهر یزد)

پارامتر	واحد	میانگین	پارامتر	واحد	میانگین
PO24 -	mg/l	۳/۳۹	MPN	100ml	۶۲۲۸۲/۱۹
NO2-	mg/l	۰/۱۴	T.S	mg/l	۲۶۴۸/۵
NH4	mg/l	۵۵/۹۰	T.D.S	mg/l	۱۹۰۵/۵۸
NO4	mg/l	۵/۷۲	T.S.S	mg/l	۸۷/۳۰
SAR	-----	۹/۹۹	Fe	meq/l	۰/۱۳
SARadj	-----	۲۵/۲۷	Mn	meq/l	۰/۰۴
EC	میکروموس بر سانتی‌متر	۲۳۵۰/۰۰	Ca	meq/l	۴/۰۱
pH	-----	۸/۲۴	Mg	meq/l	۱/۲۵
CO3	meq/l	۲/۰۵	RSC	-----	۷/۹۳
HCO3	meq/l	۱۱/۱۴	Na	meq/l	۱۶/۰۰
SO3	meq/l	۰/۲۸	K	meq/l	۰/۶۱
BOD5	(mg/l)O2	۵۰/۶۸	Cl	meq/l	۱۰/۹۷
COD	(mg/l)O2	۲۲۹/۰۱	B	mg/l	۰/۳۶
Zn	mg/l	۰/۰۴	Cu	mg/l	۰/۰۲
Co	mg/l	۰/۰۰	As	mg/l	۰/۱۷
Cd	mg/l	۰/۰۱۷			



شکل ۱ - وضعیت استقرار گونه و پرووانانس‌های مختلف اکالیپتوس در پایان سال ۱۳۸۹ (الف) و پایان سال ۱۳۹۲ (ب) در شرایط اقلیمی یزد و تحت شرایط آبیاری با پساب



شکل ۲ - کیفیت استقرار گونه و پرووانانس‌های مختلف اکالیپتوس در پایان سال اول اجرای طرح (تصفیه‌خانه فاضلاب شهر یزد)



شکل ۳ - میزان رشد پایه‌های دو ساله *E.camaldulensis* (راست) و *E.viminalis* (چپ) (تصفیه‌خانه فاضلاب شهر یزد)

نتایج بررسی ها در پایان سال دوم پس از کاشت نشان داد که گونه های *E. camaldulensis*، *E. sargentii* و *E. microtheca* نسبت به سایر گونه ها از زنده ماندن و به عبارتی استقرار بالاتری (به ترتیب ۹۸/۶، ۹۵/۱ و ۹۲/۴ درصد) برخوردار و دارای اختلاف معنی داری بودند. با گذشت زمان، تعداد بیشتری از درختان مربوط به گونه و پرووانانس های مختلف از بین رفته و درصد زنده ماندن آنها کاهش یافت. با این شرایط در پایان فاز اول طرح (سال ۱۳۹۲) گونه های *E. camaldulensis* نسبت به *E. sargentii* و *E. microtheca* به سایر گونه ها وضعیت به مراتب بهتری (به ترتیب ۸۳/۱، ۸۹/۷ و ۶۴/۷ درصد) داشتند و دارای اختلاف معنی داری بودند. شکل ۱ درصد استقرار گونه و پرووانانس های مختلف را در پایان سال دوم پس از کاشت و پایان فاز اول پژوهش (پایان سال ۱۳۹۲) نشان می دهند. شکل های ۲، ۳ و ۴ نمایی از وضعیت استقرار و رشد گونه و پرووانانس های مختلف اکالیپتوس را در سال اول و دوم پس از کاشت در شرایط اقلیمی یزد و تحت آبیاری با سبب، نشان می دهد. همچنین شکل ۵ کیفیت رشد و عدم سازگاری برخی از گونه های کشت شده را در پایان فاز اول طرح نشان می دهد. نتایج حاصل از بررسی ها در پایان فاز اول طرح (پایان سال ۱۳۹۲) نشان داد، اگرچه سه گونه ذکر شده از نظر میزان استقرار دارای اختلاف زیادی نبودند، اما در شاخص هایی چون رشد ارتفاعی، حجم پوشش تاجی، قطر تنه و قطر برابر سینه (مجموع قطر انشعاب ها) دارای اختلاف معنی دار بودند.

بیشترین میزان رشد ارتفاعی مربوط به گونه *E. camaldulensis* و کمترین آن مربوط به *E. microtheca* بود. مقایسه میانگین داده ها نشان داد که *E. microtheca* با *E. sargentii* اختلاف معنی داری در میزان رشد ارتفاعی نداشتند. از نظر قطر پوشش تاجی، اختلاف معنی داری بین سه گونه *E. camaldulensis*، *E. microtheca* و *E. sargentii* مشاهده نشد، هرچند بیشترین رویش قطری تاج مربوط به گونه *E. sargentii* و کمترین آن مربوط به گونه *E. camaldulensis* بود. داده های مربوط



شکل ۴- وضعیت رشد تنه برخی از پایه های سه ساله، *E. saligna* (راست) و *E. camaldulensis* (چپ) (تصفیه خانه فاضلاب یزد)



(الف)



(ب)

شکل ۵- عدم سازگاری برخی از گونه های اکالیپتوس کشت شده در محل تصفیه خانه فاضلاب یزد. *E. viminalis* (الف) و *E. rubida* (ب)



جدول ۲- مقایسه میانگین شاخص‌های عملکردی مورد ارزیابی بین سه گونه *E. microtheca*، *E. camaldulensis* و *E. sargentii* در پایان فاز اول

<i>E. sargentii</i>	<i>E. microtheca</i>	<i>E. camaldulensis</i>	شاخص مورد ارزیابی
۵/۴۴ ^b	۴/۵۸ ^b	۷/۹۵ ^a	ارتفاع (متر)
۳/۹۳ ^a	۳/۶۹ ^a	۳/۴۳ ^a	قطر تاج پوشش (متر)
۲۳/۵۱ ^a	۱۳/۷۳ ^c	۱۹/۰۴ ^b	قطر تنه (سانتی‌متر)
۱۵/۶۵ ^a	۶/۹۵ ^c	۱۰/۴۷ ^b	قطر برابر سینه (سانتی‌متر)



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۶- وضعیت پایه‌های استقرار یافته *E. camaldulensis* (الف)، *E. microtheca* (ب)، *E. sargentii* (ج)

به حجم پوشش تاجی *E. camaldulensis* و *E. microtheca* نشان داد که بین سه گونه اختلاف معنی‌داری وجود دارد. بیشترین حجم پوشش تاجی مربوط به گونه *E. camaldulensis* و کمترین آن مربوط به گونه *E. microtheca* بود.

تجزیه واریانس داده‌های مربوط به قطر تنه درختان در ارتفاع ۱۰ سانتی‌متری سطح خاک نشان داد که بین گونه‌های *E. camaldulensis*، *E. Sargentii* و *E. microtheca* اختلاف معنی‌داری وجود دارد. بیشترین قطر تنه مربوط به گونه *E. sargentii* با ۲۳/۵۱ سانتی‌متر بود، ضمن اینکه بیشترین قطر برابر سینه نیز مربوط به همین گونه بود. جدول ۲ مقایسه میانگین برخی شاخص‌های عملکردی را در پایان فاز اول طرح و مربوط به سه گونه مورد اشاره نشان می‌دهد.

با توجه به اهمیت کیفیت تنه درختان، تعداد انشعاب به‌عنوان شاخص مهم در ارزیابی، مورد توجه قرار گرفت. بررسی‌های انجام‌شده در این خصوص نشان داد در بین گونه‌های مورد بررسی، *E. sargentii* با متوسط تعداد ۲/۷۸ انشعاب به ازای هر پایه دارای بیشترین تعداد انشعاب است، هرچند از نظر آماری با *E. microtheca* اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. *E. camaldulensis* با متوسط ۱/۱ شاخه در هر پایه، کمترین میزان را به خود اختصاص داد که نشان از برتری کیفیت تنه در این گونه است.

در مورد شاخص قطر برابر سینه، به‌دلیل تعدد انشعاب‌های *E. sargentii*، مجموع قطر برابر سینه انشعاب‌ها در این گونه افزایش معنی‌داری را نشان داد، با این وجود به‌دلیل پایین آمدن کیفیت تنه، اولویت با *E. camaldulensis* بود که متوسط تعداد انشعاب در هر



شکل ۷- وضعیت رشد پایه‌های *E. camaldulensis* (الف) و *E. sargentii* (ب) در پایان سال چهارم پس از کاشت (بازدید گروه محترم ارزیاب طرح‌های تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور)

و رشد خوب در شرایط اکولوژیکی محل اجرای طرح، وارد فاز دوم شدند. عدم سازگاری سایر گونه‌ها را می‌توان به تنش‌های غیرزیستی متنوع حاکم بر محل اجرای طرح از جمله گرما، سرما، شوری خاک و وجود عناصر ترکیب‌های مسموم‌کننده در پساب مربوط دانست که تفکیک سهم هر یک نیاز به تحقیقات بیشتر دارد. نتایج آزمایش در فاز دوم نشان داد که *E. camaldulensis* همراه با درصد زنده‌مانی بالا، از نظر سایر شاخص‌های مورد اندازه‌گیری نیز دارای برتری بود. اگرچه *E. microtheca* و *E. sargentii* نیز با دارا بودن درصد استقرار بسیار خوب، همچنین رشد مطلوب (قطر و ارتفاع مناسب)، امکان کاشت در شرایط اقلیمی یزد و آبیاری با پساب را دارد. با توجه به سازگاری بسیار بالای *E. camaldulensis* با شرایط نامساعد محیطی، از جمله آبیاری با پساب‌های صنعتی و خانگی، رشد بالا و کیفیت تنه، همچنین واکنش مثبت به تجدیدکننده و تولید جست‌های حاصل از کنده، می‌توان آن را به‌عنوان گونه برتر برای کاشت و بهره‌برداری اقتصادی در شرایط مشابه محل آزمایش پیشنهاد کرد. به‌دلیل شاخص‌های ریخت‌شناسی و زیباشناختی مناسب دو گونه *E. microtheca* و *E. sargentii* می‌توان از آنها در جنگل‌کاری حاشیه شهرها و توسعه فضای سبز با استفاده از پساب‌های خانگی و صنعتی در شرایط مشابه محل اجرای آزمایش استفاده کرد. این دو گونه تحمل بالایی نسبت به خشکی و شوری دارند و استفاده از آنها در شرایط سخت بیابان نیز میسر است. ظرفیت بالا در تولید جست‌گروه ناشی از هرس و به‌ویژه هرس تجدیدکننده، این امکان را فراهم می‌کند تا

درصد پوشش تاجی *E. camaldulensis* از دو گونه دیگر بیشتر و از اختلاف معنی‌داری برخوردار بود، هر چند در برخی شاخص‌های ذکر شده با *E. sargentii* اختلاف معنی‌داری نداشت. در تمامی شاخص‌های ذکر شده *E. microtheca* پایین‌ترین مقادیر را به خود اختصاص داد. در خصوص ارتفاع جست‌گروه‌های ناشی از کف‌بردن پایه‌های سه گونه، مشخص شد که *E. camaldulensis* وضعیت مناسب‌تری نسبت به دو گونه دیگر داشت و دارای اختلاف معنی‌داری بود. بیشترین تعداد پایه‌هایی که پس از کف‌بردن، جست‌گروه روی کنده آنها تشکیل شد، مربوط به *E. microtheca* بود که با دو گونه دیگر از اختلاف معنی‌داری برخوردار بود.

● نتیجه‌گیری نهایی و پیشنهادها

نتایج آزمایش سازگاری با گونه و پرووانانس‌های مختلف اکالیپتوس در فاز اول طرح نشان داد که گونه‌های مورد بررسی، رفتارهای متفاوتی را از نظر درصد زنده‌مانی یا استقرار، میزان رشد ارتفاعی، میزان رشد قطری، سطح و حجم پوشش تاجی و قطر تنه از خود نشان دادند. از گونه‌های ذکر شده گونه‌های *E. viminalis*، *E. saligna*، *E. rubida* و *E. camaldulensis* به‌ویژه در سال‌های اولیه دارای رشد ارتفاعی خوبی بودند، هر چند با گذشت زمان، میزان استقرار گونه‌هایی چون *E. viminalis*، *E. saligna* و *E. rubida* به شدت کاهش یافت و سازگاری مناسبی را از خود نشان ندادند. گونه‌هایی چون *E. microtheca*، *E. sargentii* و *E. camaldulensis* با توجه به سازگاری

پایه ۱/۱ اندازه‌گیری شد که به تبع آن از کیفیت بهتری برخوردار بود. شکل ۶ و ۷ کیفیت رشد را در گونه‌های موفق در پایان فاز اول طرح نشان می‌دهند. بارش برف در انتهای زمستان ۱۳۹۲ و سرمای شدید و طولانی‌مدت، موجب یخ‌زدگی اندام هوایی تمام گونه و پرووانانس‌های مستقر شد. بنابراین با هدف برداشت چوب، همچنین احیای مجدد پایه‌ها از طریق واکنش آنها به هرس، در ابتدای سال ۱۳۹۳ در اقدامی همه پایه‌ها در ارتفاع ۱۵ سانتی‌متری از سطح خاک کف‌بردند (صالحه‌شوشتری و همکاران، ۱۳۸۹). پس از سه ماه، تعداد جست به سه عدد در هر پایه کاهش یافت. پس از گذشت سه سال، نتایج کف‌بردن روی تعداد شش پایه در هر بلوک با انتخاب تصادفی ارزیابی شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که هر سه گونه مورد آزمایش با وجود ریشه سالم و در شرایط آبیاری با پساب، توانایی بالایی در تولید جست‌گروه پس از کف‌بردن داشتند. به‌طورمتوسط روی هر کنده پس از کف‌بردن تعداد ۶/۵ جست تشکیل شد که بیشترین و کمترین آن با ۷ و ۶/۱۷ جست به ترتیب مربوط به *E. camaldulensis* و *E. sargentii* بود. مقایسه میانگین داده‌های مربوط به میزان تأثیر کف‌بردن بر شاخص‌های رویشی و عملکرد در گونه‌های مورد بررسی نشان داد که بیشترین قطر برابر سینه مربوط به *E. camaldulensis* بوده که اختلاف معنی‌داری با دو گونه دیگر داشت. کمترین قطر برابر سینه مربوط به *E. sargentii* بود، این گونه نیز با دو گونه دیگر اختلاف معنی‌داری داشت. قطر، سطح، حجم و



شکل ۸- وضعیت تجدید کننده و چست‌های حاصل از کنده در *E. sargentii* (الف)، *E. microtheca* (ب) و *E. camaldulensis* (ج)
 استقرار یافته در شرایط آبیاری با پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهر یزد

سرشاخه‌های

پربرگ و زیبای

E. sargentii می‌تواند

دلیل خوبی برای استفاده از آن در گل‌آرایی باشد. واکنش مثبت به تولید سرشاخه بیشتر، بهره‌برداری اقتصادی را در این خصوص توجیه می‌کند.

در صورت بروز یخبندان یا سایر محدودیت‌های رشد در صورتی که به ریشه آسیب جدی وارد نشود، نسبت به ترمیم آسیب‌های وارد شده اقدام کرد. سرشاخه‌های پربرگ و زیبای *E. sargentii* می‌تواند دلیل خوبی برای استفاده از آن در گل‌آرایی باشد. واکنش مثبت به تولید سرشاخه بیشتر، بهره‌برداری اقتصادی را در این خصوص توجیه می‌کند.

منابع

بهرامی، س.، سودایی‌زاده، ح.، ایران‌نژاد پاریزی، م.ح.، و ستوده، ا.، ۱۳۹۴. امکان‌سنجی و ارزیابی ریسک استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده در کشاورزی (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه فاضلاب یزد)، علوم و مهندسی محیط‌زیست، ۴ (۷): ۲۴-۲۵.

حسین‌زاده، ح.، سردابی، ح.، و زرین‌کاوایی، ه.، ۱۳۹۶. بررسی و مقایسه رشد برخی گونه‌ها و ارقام صنعتی اکالیپتوس در منطقه گرمسیری مهران. مجله جنگل و فرآورده‌های چوب، ۱۷۰ (۱): ۹۱-۸۳.

ناقص طالبی، خ. و دستمالچی، م.، ۱۳۷۶. نتایج آزمایش‌های سازگاری گونه‌های درختی (پهن‌برگان)، تحقیقات سازگاری درختان غیربومی در استان گیلان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، تهران، ۱۳۶ صفحه.

سردابی، ح.، ۱۳۷۷. بررسی سازگاری گونه‌های مختلف اکالیپتوس و کاج در مناطق ساحلی و کم ارتفاع شرق استان مازندران. مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، تهران، ۱۳۳ صفحه.

شرکت آب و فاضلاب استان تهران، ۱۳۹۸. مشخصات کلی و اهداف کمی طرح فاضلاب تهران، دسترسی در: <https://ts.ptww.ir/fa/p12/p13>

رستمی‌کیا، ی. و سردابی، ح.، ۱۳۹۵. بررسی مقدماتی سازگاری شش گونه اکالیپتوس به منظور جنگل‌کاری در شرایط دیم. مجله تحقیقات منابع طبیعی تجدید شونده، ۷ (۲): ۱۳-۱.

عصاره، م.ح. و سردابی، ح.، ۱۳۸۶. اکالیپتوس، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، تهران، ۶۷۲ صفحه.

صالحه‌شوشتری، م.ح.، بهنام‌فر، ک. و غدیری‌پور،

ب.، ۱۳۸۹. تأثیر روش‌های برش بر رشد و عملکرد جست‌های *Eucalyptus camaldulensis* ۹۶۱۶ در خوزستان. تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۸ (۳): ۴۸۴-۴۶۹.

مرتضوی جهرمی، س.م.، ۱۳۷۳. معرفی گونه‌های سازگار اکالیپتوس در مناطق غربی استان فارس، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، تهران، ۷۱ صفحه.

همتی، ا.، ۱۳۷۶. نتایج نهایی سازگاری گونه‌های درختی و درختچه‌ای در شرایط دیم استان لرستان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، تهران، ۸۸ صفحه.

همتی، ا.، ۱۳۷۵. نتایج نهایی سازگاری گونه‌های اکالیپتوس و آکاسیا در استان کرمانشاه (قصرشیرین)، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، تهران، ۶۴ صفحه.

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 *Eucalyptus 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(1):27-79.

Baddesha A. H., Chhabra S. and Ghuman B.S., 1997. Changes in soil chemical properties and plant nutrient content under *eucalyptus* irrigated with sewage water. Journal of the Indian Society of Soil Science, 45(2): 358-362.

Brooker, M.I.H. and Kleinig, A.D., 2001. Field guide to *Eucalyptus*. Bloomings Books, Hawthorn. Victoria, 428 p.

Coleman, M. and Douglas, A., 2008. Coppice culture for biomass production in southeastern United States, In: Zalesny, Ronald S., Jr.; Mitchell, Rob; Richardson, Jim, eds. Biofuels, bioenergy, and bioproducts from sustainable agricultural and forest crops: proceedings of the short rotation crops international conference; 2008 August 19-20; Bloomington, MN. Gen. Tech. Rep. NRS-P-31. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station: 9.

Din Ahmad, F., 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.

Duncan, M.J., Baker G. and Wall, G.C., 1998. Wastewater irrigated tree plantations: productivity and sustainability. Proceedings of the 61st Annual Water Industry Engineers and Operators' Conference, Shepparton, pp. 18-20.

FAO., 2009. Treated wastewater use in forest plantation development in the near east region, A Paper presented at the Near East Forestry Commission. Available at www.fao.org.

Guo, L.B., Sims, R.E.H. and Home, D.J., 2002. Biomass production and nutrient cycling in *Eucalyptus* short rotation energy forests in New Zealand. I: biomass and nutrient accumulation. Bioresource Technology, 85(3): 273-283.

Magalhães, J.L., Simon G., Menezes, J.F.S., Rodrigues, A.A., Azambuja, U.S., Rodrigues, D.A. and Carlos Saraiva da Costa, A., 2016. Growth of *eucalyptus* seedlings irrigated with different wastewaters, African Journal of Agricultural Research, 11(46): 4779-4785.

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)* planted at variable stocking density. Agricultural Water Management, 152: 151-160.

Lamers, J.P.A., Khamzina, A and Worbes, M., 2006. The analyses of physiological and morphological attributes of 10 tree species for early determination of their suitability to afford degraded landscapes in the Aral Sea Basin of Uzbekistan. Forest Ecology and Management, 221: 249- 259.

Pinkard, E.A., 2002. Effects of pattern and severity of pruning on growth and branch development of pre-canopy closure *Eucalyptus nitens*. Forest Ecology and Management, 157(1):217-230.

Pinkard, E.A. and Beadle, C.L. 1998. Aboveground biomass partitioning and crown architecture of *Eucalyptus nitens* following green pruning, Canadian Journal of Forest Research, 28(9):1419-1428.

Qadir, M., Wichelns, D., Sally, L.R., McCormick, P.G., Drechsel, P., Bahri, A. and Minhas, P.S., 2010. The challenges of wastewater irrigation in developing countries. Agricultural Water Management. 97, 561-568.