

سازگاری گونه‌ها و جمعیت‌های مختلف اکالیپتوس در شرایط آبیاری با پساب تصفیه‌خانه فاضلاب یزد

سید وحید غلمانی^۱

مهدی سلطانی^۲

حسین سردابی^۲

محمدهادی راد^۱

پذیرش ۹۱/۱۲/۱۶

آخرین اصلاحات دریافتی ۹۱/۱۰/۱۳

(دریافت ۹۰/۴/۷)

چکیده

گونه‌های متنوع گیاه اکالیپتوس استفاده‌های متعددی دارد. بنابراین لازم است میزان سازگاری آنها در شرایط مختلف اکولوژیکی مورد ارزیابی قرار گیرد. به این دلیل سازگاری گونه و جمعیت‌های مختلف اکالیپتوس با استفاده از پساب شهری و صنعتی در شرایط تصفیه‌خانه فاضلاب یزد، مورد بررسی قرار گرفت. طرح در قالب بلوک‌های کامل تصادفی و در چهار تکرار با کاشت هشت گونه و جمعیت، به تعداد ۳۶ اصله در هر تکرار، به فاصله ۳×۳ متر اجرا گردید. گونه‌های مورد استفاده عبارت بودند از: اکالیپتوس سالینگا، اکالیپتوس روبیدا (166-sh)، اکالیپتوس سارجنتی، اکالیپتوس ویمینالیس، اکالیپتوس ماکارتوری (169-sh)، اکالیپتوس سالینگنا (171-sh)، اکالیپتوس بوتریودیس (20762)، اکالیپتوس میکروتکا و اکالیپتوس کامالدولنسیس. نتایج بررسی‌های به عمل آمده در پایان سال اول و دوم پس از کاشت نشان داد که بین گونه و جمعیت‌های مختلف، اختلاف معنی‌داری ($P < 0.01$) از نظر درصد استقرار، میزان رشد ارتفاعی و قطری، حجم تاج پوشش و قطر تنه وجود داشت. بیشترین درصد استقرار در پایان سال اول مربوط به گونه‌های اکالیپتوس کامالدولنسیس (41-zh)، اکالیپتوس سارجنتی و اکالیپتوس میکروتکا به ترتیب با ۹۸/۶، ۹۵/۸ و ۹۴/۴ درصد و در پایان سال دوم نیز مربوط به همین گونه‌ها به ترتیب ۹۸/۶، ۹۵/۱ و ۹۲/۴ درصد بود. از نظر میزان رشد نیز اکالیپتوس کامالدولنسیس در پایان سال اول و دوم نسبت به سایر گونه و جمعیت‌ها برتر بود، هر چند در برخی از صفات با سایر گونه‌ها اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. در مجموع به نظر می‌رسد استفاده از این گونه برای جنگل‌کاری و تولید چوب در شرایط محیطی مشابه محل اجرای طرح مناسب باشد. گونه‌هایی چون اکالیپتوس روبیدا (166-sh)، اکالیپتوس سالینگنا و ویمینالیس (15211) نیز به دلیل رشد سریع می‌توانند به عنوان گونه‌های برتر در جنگل‌کاری و آبیاری آنها با پساب معرفی شوند، هر چند ممکن است تلفات اولیه آنها زیاد باشد. گونه اکالیپتوس سارجنتی به دلیل مقاومت در برابر شوری آب و خاک و تا حدودی در مقابل سرما و همچنین به دلیل رشد سریع آن به ویژه رشد قطری، می‌تواند در زمره گیاهان مناسب برای بیابان‌زدایی از طریق آبیاری با فاضلاب و یا پساب مطرح گردد.

واژه‌های کلیدی: اکالیپتوس، استقرار، ارتفاع، قطر، تاج پوشش، چوب، پساب، یزد

Compatibility of Different Eucalyptus Species and Provenances Under Sewage Irrigation Using Yazd City Wastewater Treatment Plant Effluent

M.Hadi Rad¹
M. Soltani³

H. Sardabi²
S. V. Ghelmani⁴

(Received June 28, 2011 Revised Jan. 2, 2013 Accepted March 6, 2013)

Abstract

Different eucalypt species have various utilizations, therefore eucalypt species trials is essential for different ecological conditions. For this reason an eucalypt species and provenances trial was conducted at Yazd City Wastewater Treatment Plant, using industrial and domestic sewage under the randomized complete blocks statistical design with four replicates and eight treatments at 3 x 3 m. spacing and 36 seedlings in each plot. The treatments consisted of: *E. rubida* (166-sh), *E. saligna* ig. *botryoides* (20762), *E. saligna* (171-sh), *E. macarthurii* (169-sh), *E. viminalis* (15211), *E. sargentii*, *E. camaldulensis* (41-zh), and *E. microtheca*. The results showed that after the first year of planting there were significant differences between the treatments ($P < 0.01$) in respect to survival, height, diameter and crown parameters. The greatest survival after the first and second years of planting belonged to *E. camaldulensis* (41-zh), *E. sargentii* and *E. microtheca* (98.6%, 95.1%,

1. Assist. Prof., Agricultural and Natural Resources Research Center of Yazd Province, Yazd, Iran (Corresponding Author) (+98 351) 7212414 mohammadhadirad@gmail.com

2. Assoc. Prof., Research Institute of Forests and Rangelands of Iran

3. Member of Scientific Board, Agricultural and Natural Resource Research Center of Yazd Province, Yazd, Iran

4. Senior Expert, Wastewater Treatment Plant, Yazd, Iran

۱- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد (نویسنده مسئول) ۷۲۱۲۴۱۴ (۰۳۵۱) mohammadhadirad@gmail.com

۲- دانشیار مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور

۳- کارشناس مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد

۴- کارشناس و مسئول تصفیه‌خانه فاضلاب یزد

92.4% and 98.6%, 95.1%, 94.4%, respectively). The species *E. camaldulensis* (41-zh) had the best performance after the first and the second years of planting, although there was not significant difference between some of the eucalypt characteristics. Overall, the species *E. camaldulensis* (41-zh) can be recommended for forest plantation and wood production at sites similar to the trial condition, ecologically. The species *E. rubida*, *E. saligna* and *E. viminalis* are also recommended for plantation and wood production, using sewage irrigation, due to their fast growing performance, although they might have high mortality at their first stage of establishment. *E. sargentii* is a suitable species for desertification control due to its high resistance to soil and water salinity and somewhat coldness and its fast diameter and crown growth.

Keywords: Eucalyptus, Survival, Height, Diameter, Crown, Wood, Sewage, Yazd.

۱- مقدمه

آبیاری اراضی با فاضلاب و یا پساب می‌تواند در دراز مدت باعث بروز برخی مشکل‌های محیط‌زیستی مانند شیوع بیماری‌ها، انگل‌ها، شوری و تخریب خاک، تجمع فسفر در خاک و آب، تغییرات نیتروژن موجود در منابع آبی، خاکی و هوا، تجمع عناصر سنگین، مخاطرات بهداشتی و تغییر کیفیت گیاهان شود. برای رفع موانع ذکر شده، راهکارهای مختلفی وجود دارد. از جمله این راهکارها تصفیه فیزیکی و شیمیایی فاضلاب، رعایت اصول بهداشتی هنگام استفاده، تثبیت عناصر سنگین در خاک، کنترل تجمع نمک، استفاده از گیاهان مقاوم در فضای سبز اطراف شهرها و راههای مواصلاتی و همچنین جهت اجرای طرح‌های بیابان‌زدایی و یا تولید گیاهان صنعتی یا روغنی که به صورت مستقیم توسط انسان استفاده نمی‌شوند [۱].

در مناطق خشک و نیمه خشک از مهم‌ترین محدودیتهای ممکن بر سر راه انتخاب گونه‌های گیاهی برای کاشت در اراضی تحت آبیاری با فاضلاب و یا پساب، شوری خاک، کمی بارش، سرماهای زمستانه و گرمای شدید تابستان است که دامنه انتخاب گونه‌ها را بسیار محدود می‌کند. مقاومت به تغییرات رطوبت خاک، میزان املاح موجود در خاک به‌ویژه نمک، مقاومت به میزان شوری آب، همچنین مقاومت در برابر نوسانات دمایی و کمی رطوبت موجود در هوا و مقاومت در برابر وزش بادهای شدید از جمله عواملی هستند که در انتخاب گونه‌های گیاهی برای استفاده از آنها باید توجه نمود [۲]. هرچند راهکارهای متعددی برای بهبود مقاومت در گونه‌های بومی از جمله انتخاب، اصلاح ژنتیکی و غیره ارائه شده است، لیکن استفاده از برخی از گونه‌های غیر بومی سازگار به شرایط اکولوژیکی کشور، می‌تواند راهکار مؤثری برای بهره‌برداری از اراضی نامناسب همراه با آبیاری با آبهای نامتعارف باشد.

اکالیپتوس به‌عنوان یک جنس گیاهی مهم که قسمت اعظم جنگلهای استرالیا را تشکیل داده است، بیش از درختان دیگر در نقاط مختلف دنیا مورد توجه و توسعه قرار گرفته است. تاریخ انتشار آن در خارج از استرالیا به حدود ۱۵۰ سال قبل بر می‌گردد. در طول این مدت بسیاری از کشورهای دنیا، جنگلهای در دست

کاشت وسیعی را از آن ایجاد نموده‌اند. آنچه موجب جلب توجه و توسعه کاشت آن شده است عبارت‌اند از: رشد سریع، مصارف متنوع چوب، قابلیت کاشت در اراضی فقیر، نرمش اکولوژیک زیاد، ارزش تزئینی آن، سهولت تکثیر، نیاز کم به هرس مصنوعی، همیشه سبز بودن برگها، مقاومت در مقابل خاکهای شور، تنوع گونه‌ها، مقاومت در برابر آتش سوزی، مصارف دارویی، تولید روغنهای فرار، تولید نوش و گرده فراوان و تولید عسل [۳]. استفاده از گونه‌های مختلف اکالیپتوس برای بهره‌برداری اقتصادی از پساب‌های شهری و صنعتی از مزیت‌های دیگر آنها است. مقاومت بسیار خوب برخی از گونه‌های اکالیپتوس به مواد موجود در پساب از جمله عناصر سنگین باعث شده است تا سطح زیر کشت آنها به‌وسیله آبیاری با پساب‌های شهری و صنعتی افزایش یابد [۴]. استفاده گسترده از گونه‌های مختلف اکالیپتوس، برای بیابان‌زدایی و تولید چوب در شرایط آبیاری با فاضلاب، در بسیاری از کشورهای خاورمیانه از جمله مصر، اردن، کویت و یمن گزارش شده است [۵]. گزارشهای متعددی مبنی بر سازگاری گونه‌های مختلف اکالیپتوس در شرایط آبیاری با فاضلاب و پساب و همچنین کاهش میزان انباشت عناصر سنگین در خاک در اثر برداشت توسط آنها موجود است [۴ و ۶].

اگرچه در زمینه سازگاری گونه‌های مختلف اکالیپتوس تحقیقات گسترده‌ای در داخل کشور صورت گرفته است [۷-۹]، ولی به سازگاری و همچنین عملکرد گونه و جمعیت‌های مختلف اکالیپتوس در شرایط آبیاری با فاضلاب و یا پساب‌های شهری و صنعتی چندان توجه‌ای نشده است. آبیاری در مراحل اولیه استقرار و رهاسازی درختان با هدف بهره‌گیری از نزولات جوی و یا آبهای زیرزمینی، شاخص اصلی در اجرای طرح‌های سازگاری بوده است. اولین حرکت جدی در وارد کردن گونه‌های اکالیپتوس به ایران در سال ۱۳۴۷ توسط مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع صورت گرفت. نهال‌های حاصله از بذور در استان‌های فارس، لرستان، گیلان، مازندران، گلستان، خوزستان و کرمانشاه در قالب طرحهای تحقیقاتی سازگاری گونه‌های درختی و درختچه‌ای کاشته شدند. در سالهای ۱۳۴۸ و ۱۳۴۹ بذر ۹۳ گونه و جمعیت اکالیپتوس از

گرم‌ترین ماه با دمای متوسط ۳۳/۲ درجه سلسیوس گزارش شده است. کمینه مطلق دما در طول دوره آماری ذکر شده ۱۰/۸- درجه سلسیوس و بیشینه مطلق نیز ۴۵/۶ درجه سلسیوس به ثبت رسیده است [۱۱].

۲-۲- بارش

با محاسبه متوسط میزان بارندگی پانزده ساله ایستگاه یزد، مشخص شد که این دوره آماری از بارندگی کمتری نسبت به دوره‌های بلند مدت برخوردار بوده است. مقدار متوسط محاسبه شده، ۴۱/۸ میلی‌متر بود در حالی که مقدار متوسط دوره‌های قبل ۶۲/۱ میلی‌متر گزارش شده است [۱۱].

۲-۳- رطوبت

بیشینه مقدار متوسط رطوبت نسبی با ۶۵ درصد در ماه بهمن واقع شده است. متوسط رطوبت نسبی در طی دوره پانزده ساله تغییراتی بین ۹ تا ۶۵ درصد در ماه‌های مختلف سال دارد که به تدریج از بهمن کم شده تا در شهریور به حداقل خود رسیده است [۱۱].

۲-۴- باد

در طی دوره مورد بررسی، جهت باد غالب در ایستگاه یزد ۳۶۰ درجه (شمال غربی) و سرعت باد غالب ۱۷ متر بر ثانیه بوده است [۱۱].

۳- مواد و روشها

۳-۱- انتخاب گونه‌ها و تولید نهال

با توجه به شرایط اقلیمی و سایر محدودیت‌های اکولوژیکی از قبیل شوری آب و خاک، سرما و یخبندان، گرما و همچنین وزش بادهای شدید در منطقه، سعی شد تا در میان گونه‌های متعدد اکالیپتوس، تعداد هشت‌گونه و جمعیت انتخاب و نسبت به تولید نهال آنها در محل اجرای طرح اقدام شود. گونه و جمعیت‌های مورد استفاده عبارت بودند از: اکالیپتوس روبیدا^۳، اکالیپتوس سالیگنا^۴، بوتریودیس^۵ (20762)، اکالیپتوس سالیگنا (171-sh)^۶، اکالیپتوس ماکارتوری^۷، اکالیپتوس ویمینالیس^۸، اکالیپتوس سارجنتی^۹، اکالیپتوس کامالدولنسیس (41-Zh)^{۱۰} و اکالیپتوس میکروتکا.

کشورهای استرالیا و مراکش وارد و در برخی از ایستگاهها کشت شد. در سال ۱۳۵۰ نیز بذر ۱۱۷ گونه و جمعیت از استرالیا و مراکش وارد و در ۲۰ ایستگاه تحقیقاتی کشور کاشت شد [۷]. کاشت اکالیپتوس در ایران همزمان با ورود انگلیس‌ها به خوزستان صورت گرفت، اما به‌طور رسمی از سال ۱۳۱۰ کشت آن در منطقه شمال آغاز شد و اکنون سطح قابل توجهی از اراضی شمال، مرکز و جنوب کشور را به‌خود اختصاص داده است [۸]. در فارس از حدود ۸۵ سال قبل، پایه‌هایی از اکالیپتوس کامالدولنسیس^۱ در جهرم و داراب کاشته شده است [۹]. در میان گونه‌های کاشت شده، گونه اکالیپتوس کامالدولنسیس به دلیل مقاومت بیشتر نسبت به شرایط نامساعد محیطی و رشد سریع بیشتر مورد توجه بوده و سطح بیشتری را به خود اختصاص داده است.

اگرچه کاشت اکالیپتوس در یزد دارای سابقه چندانی طولانی نیست، با این وجود، استفاده از برخی گونه‌ها مثل اکالیپتوس کامالدولنسیس و اکالیپتوس میکروتکا^۲ که از مقاومت زیادی نسبت به تنش‌های محیطی برخوردار هستند، در فضای سبز و جنگل‌کاری از موفقیت نسبتاً خوبی برخوردار بوده‌اند. نیاز آبی زیاد برای رشد مطلوب و عدم برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری از آنها از عوامل محدودکننده توسعه کاشت آنها بوده است [۱۰]. استفاده از فاضلاب و پساب برای آبیاری گونه‌های مختلف اکالیپتوس و بهره‌برداری اقتصادی از آنها در شرایط اقلیمی یزد و مناطق مشابه، از اهداف اصلی این پژوهش بود که در چند مرحله اجرا شد. در مرحله اول نسبت به انجام آزمایش سازگاری گونه‌های مهم تجاری اقدام گردید. در مرحله دوم و سوم همراه با بررسی میزان عملکرد گونه‌های سازگار از جهت رشد و نمو و تولید چوب، کیفیت چوب و همچنین تأثیر هریک از گونه‌ها بر تغییر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد توجه قرار گرفت.

۲- ویژگی‌های اقلیمی شهر یزد (محل انجام آزمایش)

۲-۱- دما

بررسی میانگین دوره‌های آماری ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۰ (ایستگاه سینوپتیک یزد) نشان می‌دهد که متوسط دمای سالانه ایستگاه ۲۰/۳ درجه سلسیوس بوده است. در طی این دوره، گرم‌ترین سال با دمای متوسط ۲۱/۱ و سردترین سال با دمای متوسط ۱۹/۲ درجه سلسیوس به‌وقوع پیوسته است. متوسط بیشینه دمای سالانه ۲۷/۳ و متوسط کمینه آن ۱۳/۲ درجه سلسیوس است. سردترین ماه در طی این دوره آماری با دمای متوسط ۷/۱ درجه سلسیوس و

¹ *E. Camaldulensis*

² *E. Microtheca*

³ *E. rubida*

⁴ *E. saligna ig*

⁵ *Botryoides* (20762)

⁶ *E. saligna* (171-sh)

⁷ *E. macarthurii*

⁸ *E. viminalis*

⁹ *E. sargentii*

¹⁰ *E. camaldulensis* (41-Zh)

مکعب پساب در هکتار استفاده شد که با این شرایط ارتفاع آب آبیاری در هر نوبت حدود ۵/۲ سانتی متر بود. جدول ۳ وضعیت پساب مورد استفاده در آبیاری و جدول ۴ وضعیت عناصر سنگین موجود در پساب و حد استاندارد آن را نشان می‌دهد [۱۲].

۳-۵- تجزیه میکربی پساب

وضعیت بار میکربی پساب در جدول ۵ نشان داده شده است. اطلاعات به دست آمده از آزمایش میکربی پساب نشان داد که خوشبختانه پساب مورد استفاده در زمان آبیاری فاقد هرگونه پارازیت بود.

۳-۶- ویژگی‌های مورد بررسی

هرچند در طول اجرای طرح میزان زنده‌مانی درختان مورد توجه قرار گرفت، با این وجود در پایان سال اول و دوم پس از کاشت، درصد استقرار، رشد طولی (ارتفاع) و رشد قطری اندازه‌گیری شد. با اندازه‌گیری ارتفاع و قطر متوسط با استفاده از روابط زیر حجم تاج پوشش محاسبه شد [۱۳]

$$v = \frac{4}{3} \pi a^2 b \quad (1) \quad \text{(زمانی که ارتفاع کمتر از قطر باشد)}$$

$$v = \frac{4}{3} \pi a b^2 \quad (2) \quad \text{(زمانی که قطر کمتر از ارتفاع باشد)}$$

که در این روابط

$a = 1:2$ ارتفاع درخت و $b = 1:2$ قطر متوسط درخت بود.

با توجه به اهمیت تولید چوب در پرورش گونه‌های مختلف اکالیپتوس، این موضوع از طریق اندازه‌گیری قطر تنه درختان در فاصله ده سانتی متری سطح خاک پیگیری شد. در درختانی که

پس از کاشت بذر در گلدان‌های توربی و طی مراحل اولیه رشد، نهال‌ها به داخل گلدان‌های پلاستیکی انتقال یافتند. نهال‌ها مدت شش ماه در شرایط گلخانه پرورش داده شدند، به طوری که ارتفاع متوسط آنها به ۴۰ سانتی متر رسید. با فراهم شدن شرایط محیطی، اوایل بهار سال ۱۳۸۸، نسبت به کاشت نهال‌ها در محل اصلی آزمایش اقدام گردید.

۳-۲- آماده‌سازی زمین، نقشه طرح و کاشت نهال

طرح در زمینی به مساحت تقریبی ۱/۵ هکتار در محل ورودی تصفیه‌خانه فاضلاب یزد انجام شد. پس از نقشه‌برداری، محل کاشت نهال‌ها بر اساس نقشه طرح مشخص گردید و با استفاده از نهرکن نسبت به حفر کانال‌های آبیاری اقدام شد. با توجه به اینکه خاک از وضعیت خوبی برخوردار بود، پس از آبیاری اولیه، شرایط برای حفر گودال مهیا شد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار طراحی شد که در هر کرت تعداد ۳۶ نهال (۴ ردیف و در هر ردیف ۹ نهال) کاشت گردید. فاصله نهال‌ها از یکدیگر در روی ردیف و بین ردیف‌ها ۳ متر (۳ × ۳) در نظر گرفته شد. آبیاری نهال‌ها به صورت غرقابی و از روش جوی و پشته انجام شد. این روش آبیاری تا انتهای آزمایش ادامه یافت.

۳-۳- تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک

جدولهای ۱ و ۲ نتایج آزمایش فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای طرح را نشان می‌دهند.

۳-۴- تجزیه شیمیایی پساب

آبیاری نهال‌ها بلافاصله پس از کاشت به وسیله پساب انجام گرفت. این امر در ابتدا به فاصله ۱۵ روز یکبار انجام شد و در ادامه به ۲۰ روز یکبار افزایش یافت. در هر بار آبیاری درختان، مقدار ۵۲۰ متر

جدول ۱- وضعیت شیمیایی خاک محل اجرای طرح سازگاری گونه و جمعیت‌های مختلف اکالیپتوس در شرایط تصفیه خانه فاضلاب یزد

عمق	هدایت الکتریکی (E_c^{25})	واکنش گل اشباع (pH)	درصد مواد خنثی شونده	بیکربنات HCO_3	K قابل جذب (ppm)	Cl (meq/L)	Ca (meq/L)	Mg (meq/L)	Na (meq/L)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)
۰-۳۰	۱۷/۸۱	۸	۲۱/۵۶	۲/۵	۹۲/۶۵	۱۴۸	۳۲/۴	۹/۶	۱۸۵	۶/۱۴	۲/۷۳	۰/۹۶	۰/۳۲
۳۰-۶۰	۲۸/۸۲	۷/۹	۲۰/۸۱	۲/۵	۱۰۵/۶۸	۲۸۵	۴۰	۱۷/۶	۳۵۰	۶/۲۴	۲/۵۷	۰/۴۵	۰/۲۸
۶۰-۹۰	۳۴/۲۷	۷/۸۷	۲۱/۵۶	۲/۲۵	۹۲/۶۵	۳۶۰	۵۹/۲	۱۹/۶	۴۱۰	۵/۱۲	۱/۶۲	۰/۴۶	۰/۳۴
۹۰-۱۲۰	۲۴/۱۷	۷/۸	۲۰/۸۱	۲/۰	۸۶/۳	۲۳۱	۳۲	۱۷/۲	۲۹۰	۲/۰۴	۲/۰۴	۰/۵۷	۰/۳۸

جدول ۲- وضعیت فیزیکی خاک محل اجرای طرح سازگاری گونه و جمعیت‌های مختلف اکالیپتوس

عمق	Sand%	Silt%	Clay%	بافت خاک (Texture)
۰-۳۰	۷۳/۶	۷/۶	۱۸/۸	S.C.L
۳۰-۶۰	۶۹/۶	۱۰/۶	۱۹/۸	S.C.L
۶۰-۹۰	۷۱/۶	۱۰/۶	۱۷/۸	S.L
۹۰-۱۲۰	۶۹/۶	۱۳/۶	۱۶/۸	S.L

جدول ۳- میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده در پساب مورد استفاده در آبیاری

پارامتر	واحد	میانگین	پارامتر	واحد	میانگین
PO ₂ ⁴⁻	mg/L	۳/۳۹	MPN	100ml	۶۲۲۸۲/۱۹
NO ₂ ⁻	mg/L	۰/۱۴	T.S	mg/L	۲۶۴۸/۵
NH ₄	mg/L	۵۵/۹۰	T.D.S	mg/L	۱۹۰۵/۵۸
NO ₄	mg/L	۵/۷۲	T.S.S	mg/L	۸۷/۳۰
SAR	-----	۹/۹۹	Fe	meq/L	۰/۱۳
SAR _{adj}	-----	۲۵/۲۷	Mn	meq/L	۰/۰۴
EC	S/cm μ	۲۳۵۰/۰۰	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	۱۶/۰۰
SO ₃	meq/l	۰/۲۸	K	meq/L	۰/۶۱
BOD ₅	(mg/L)O ₂	۵۰/۶۸	Cl	meq/L	۱۰/۹۷
COD	(mg/L)O ₂	۲۲۹/۰۱	B	mg/L	۰/۳۶

جدول ۴- میانگین غلظت فلزات سنگین پساب مورد استفاده در آبیاری

شماره	نام عنصر	مقدار اندازه‌گیری شده (mg/L)	مقدار استاندارد (mg/L)
۱	Zn	۰/۰۴	۲
۲	Cu	۰/۰۲	۱
۳	Co	۰/۰۰	۱
۴	As	۰/۱۷	۰/۱
۵	Cd	۰/۰۱۷	۰/۱

جدول ۵- نتایج آزمایش میکروبی و انگلی پساب مورد استفاده در آبیاری

نوع و تعداد پارازیت در نمونه مورد آزمایش	نوع و تعداد کلنی در نمونه مورد آزمایش
	<i>Salmoella typhi</i> <10000 Col./10 gr water
	<i>Salmonella paratyphiA</i> <1000 Col./10 gr water
مشاهده نگردید	<i>Salmonella paratyphiB</i> <1000 Col./10 gr water
	<i>Shigella</i> <1000 Col./10 gr water
	<i>Coliform</i> 50000 Col./lit

آبیاری گونه‌های متمر و غیر متمر گیاهی است. چنانچه کاربرد این مواد با رعایت استانداردها و ملاحظات مربوطه نباشد، جذب فلزات سنگین موجود در آنها توسط گیاه و ورودشان به زنجیره غذایی حیوان و انسان و نیز حرکتشان به سمت آبهای زیرزمینی، پیامدهای سوئی به دنبال خواهد داشت [۱۴]. استفاده از گونه‌های گیاهی که

از محل طوقه دارای چند انشعاب بودند، جمع قطر شاخه‌های منشعب شده ملاک عمل قرار گرفت.

۴- نتایج و بحث

یکی از عوامل اصلی افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک، مصرف روز افزون فاضلاب‌ها و پساب‌های شهری و صنعتی در

۵۸/۳ درصد در سال اول و در سال دوم مربوط به اکالیپتوس ماکارتوری با ۴۱/۶۶ درصد بود (شکل ۱).

۲-۴- وضعیت رشد

۱- ارتفاع: بررسی‌های به عمل آمده در پایان سال اول و دوم پس از کاشت نشان داد که میزان رشد طولی گونه و جمعیت‌های مختلف دارای اختلاف معنی‌داری در سطح آماری ۱ درصد بود؛ به عبارتی بین گونه‌های مختلف از نظر ارتفاع، تفاوت قابل توجهی هم در پایان سال اول و هم در پایان سال دوم مشاهده شد (جدول ۷). اگرچه اعداد ارائه شده میانگینی از درختان در هر بلوک می‌باشد، با این وجود پایه‌هایی با ارتفاع بیش از هشت متر نیز در برخی از گونه‌ها مثل اکالیپتوس کامالدولنسیس و اکالیپتوس سالیگنا مشاهده شد که بیانگر وجود شرایط بسیار مناسب برای رشد آنها بوده است. با انجام مقایسه میانگین بین گونه و جمعیت‌های مختلف مشاهده شد که در پایان سال اول و دوم پس از کاشت، بیشترین رشد ارتفاعی را گونه کامالدولنسیس داشته به نحوی که با سایرگونه‌ها اختلاف معنی‌داری نشان داد. کمترین رشد ارتفاعی در پایان سال اول و دوم مربوط به گونه اکالیپتوس ماکارتوری بود (شکل ۲).

توانایی برداشت و ذخیره‌سازی فلزات سنگین را در اندام‌های خود داشته باشند و در صنایع مختلف از جمله صنعت چوب و کاغذ به‌کار برده شوند، راهکار مناسبی برای حل مشکل ذکر شده است. گونه‌های تندرشد اکالیپتوس، ضمن توانایی بالا در تولید چوب، می‌توانند بخش عمده‌ای از عناصر سنگین را از خاک دریافت و در بخش‌های سلولزی خود ذخیره نمایند [۱۵ و ۱۶]. موضوع سازگاری گونه‌های تجاری اکالیپتوس برای کاربردهای مختلف از جمله بهره‌برداری اقتصادی از فاضلاب و پساب‌های خانگی و صنعتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

۱-۴- میزان استقرار

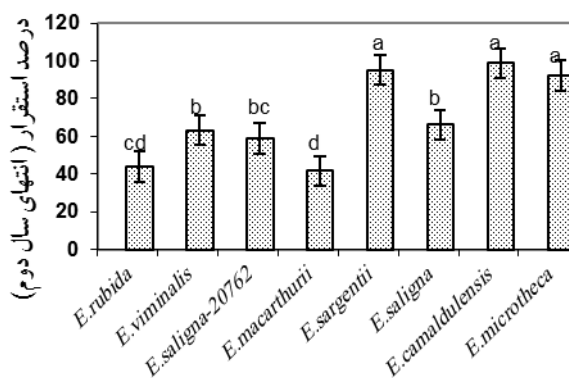
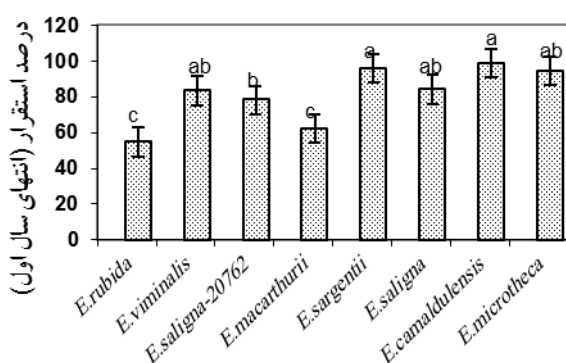
عوامل متعددی از جمله گرمای شدید تابستان، سرما و یخبندان و حساسیت به میزان املاح موجود در آب آبیاری، بر میزان استقرار نهال‌ها در سالهای اولیه دخالت دارند. نتایج بررسی‌های به عمل آمده نشان داد که اختلاف معنی‌داری در سطح آماری ۱ درصد در میزان استقرار گونه‌ها و یا جمعیت‌های مختلف در پایان سال اول و دوم پس از کاشت وجود داشت (جدول ۶). بیشترین درصد استقرار در هر دو سال مربوط به گونه‌های اکالیپتوس کامالدولنسیس و اکالیپتوس سارجنتی و کمترین آن مربوط به اکالیپتوس روییدا با

جدول ۶- تجزیه واریانس درصد استقرار گونه‌ها و جمعیت‌های مختلف در پایان سال اول و دوم

سال اول				سال دوم				منابع تغییرات
درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	
۳	۳۶۷/۹۱۱	۱۲۲/۶۳	۱/۰۶۲ ^{ns}	۳	۱۱۶/۷۷	۳۸/۹۲	۰/۰۳۳ ^{ns}	بلوک
۷	۷۰۷۷/۵۶۹	۱۰۱۱/۰۸	۸/۷۶۲ ^{**}	۷	۱۴۵۰۳/۴۷	۲۰۷۱/۹۲	۱۷/۷۱۲۳ ^{**}	گونه و جمعیت
۲۱	۲۴۲۳/۰۹۵	۱۱۵/۳۸		۲۱	۲۴۵۶/۵۰	۱۱۶/۹۷		خطا
۳۱	۹۸۶۸/۵۷			۳۱	۱۷۰۷۶/۷۵			کل
	٪۱۳/۱۹				٪۱۵/۴۹			CV

CV: ٪۱۳/۱۹

** معنی دار در سطح ٪۱ ns اختلاف معنی داری مشاهده نگردید

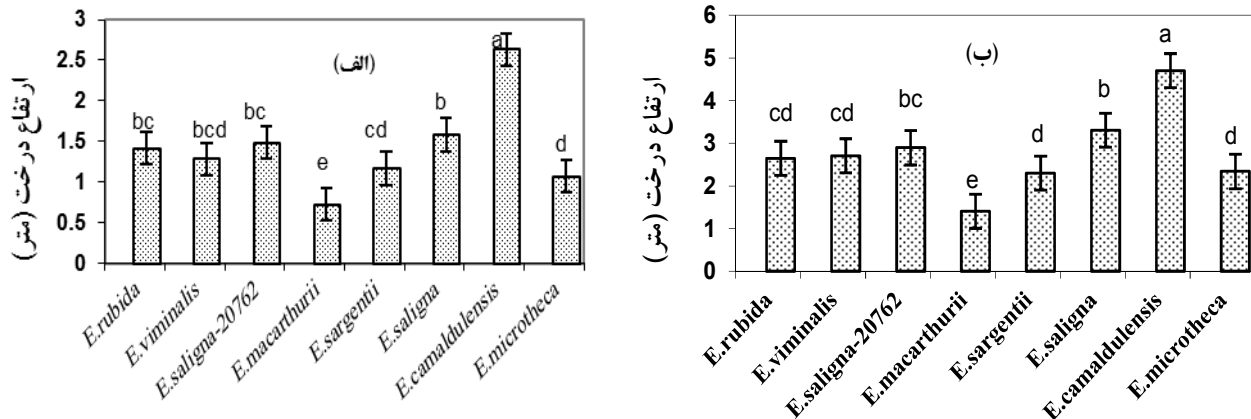


شکل ۱- درصد استقرار گونه و جمعیت‌های مختلف اکالیپتوس در پایان سال اول و دوم پس از کاشت

جدول ۷- تجزیه واریانس ارتفاع گونه‌ها و جمعیت‌های مختلف در پایان سال اول و دوم

سال اول				سال دوم			
منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات
بلوک	۳	۰/۰۷۳	۰/۰۲۴	۰/۷۵۲ ^{ns}	۳	۲/۶۲۷	۰/۸۷۶
گونه و جمعیت	۷	۸/۷۷۸	۱/۲۵۲	۳۸/۵۴ ^{**}	۷	۲۵/۱۹۴	۳/۵۹۹
خطا	۲۱	۰/۶۸۳	۰/۰۳۳		۲۱	۲/۱۲۷	۰/۱۰۱
کل	۳۱	۹/۵۳۴			۳۱	۲۹/۹۴۸	
CV		٪۱۲/۶۷				٪۱۱/۴۲	

**معنی دار در سطح ۱٪ ns اختلاف معنی داری مشاهده نگردید



شکل ۲- وضعیت رشد ارتفاعی گونه و جمعیت‌های مختلف اکالیپتوس در پایان سال اول (الف) و پایان سال دوم (ب) پس از کاشت

جدول ۸- تجزیه واریانس قطر گونه‌ها و جمعیت‌های مختلف در پایان سال اول و دوم

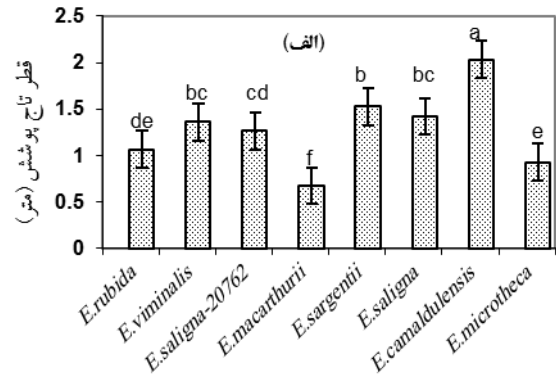
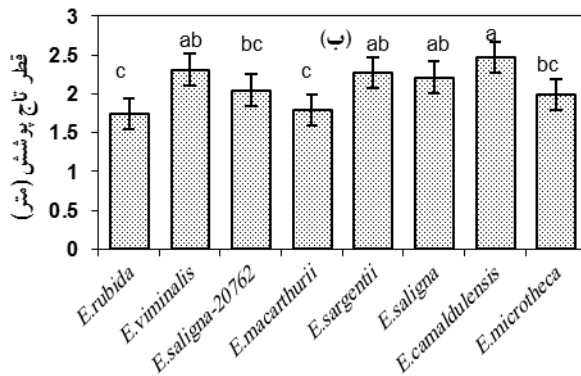
سال اول				سال دوم			
منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات
بلوک	۳	۰/۱۰۶	۰/۰۳۵	۱/۷۰۶ ^{ns}	۳	۰/۹۳۷	۰/۳۱۲
گونه و جمعیت	۷	۴/۷۸۳	۰/۶۸۳	۳۲/۸۷۵ ^{**}	۷	۱/۸۳۳	۰/۲۶۲
خطا	۲۱	۰/۴۳۷	۰/۰۲۱		۲۱	۰/۹۱۴	۰/۰۴۴
کل	۳۱	۵/۳۲۶			۳۱	۳/۶۸۴	
CV		٪۱۱/۲۴				٪۹/۹۲	

**معنی دار در سطح ۱٪ ns اختلاف معنی داری مشاهده نگردید

معنی داری را بین گونه و جمعیت‌های مختلف در سطح آماری ۱ درصد نشان داد (جدول ۹). بیشترین حجم تاج پوشش در پایان سال اول و دوم پس از کاشت، مربوط به گونه اکالیپتوس کامالدولنسیس بود. اختلاف فاحش بین حجم تاج پوشش در پایان سال اول و پایان سال دوم، بیانگر رشد بسیار خوب این گونه در طول یکسال و در شرایط آزمایش بود. رشد قابل توجه گونه اکالیپتوس سالیگنا و عدم وجود اختلاف معنی دار با گونه‌هایی چون اکالیپتوس سارجنتی، اکالیپتوس بوتریودیس (20762)، اکالیپتوس سالیگنا و اکالیپتوس ویمینالیس نیز مساعد بودن شرایط برای پرورش گونه‌های مختلف اکالیپتوس در شرایط آزمایش را نشان می‌دهد (شکل ۴).

۲- قطر: تجزیه واریانس داده‌های مربوط به قطر درختان در پایان سال اول و دوم پس از کاشت نشان داد که بین گونه و جمعیت‌های مختلف از این نظر نیز اختلاف معنی داری وجود دارد (جدول ۸). بیشترین قطر تاج پوشش در پایان سال اول مربوط به اکالیپتوس کامالدولنسیس با ۲/۰۳ متر و کمترین آن مربوط به اکالیپتوس ماکارثوری با ۰/۶۷ متر بود. در پایان سال دوم بیشترین قطر اندازه‌گیری شده مربوط به اکالیپتوس کامالدولنسیس با ۲/۴۶ متر بود. هر چند اختلاف معنی داری با گونه‌های اکالیپتوس سارجنتی و اکالیپتوس ویمینالیس مشاهده نشد (شکل ۳).

۳- حجم تاج پوشش: حجم تاج پوشش در پایان سال اول و دوم پس از کاشت که متأثر از ارتفاع و قطر تاج پوشش بود، تفاوت



شکل ۳- وضعیت رشد قطری گونه و جمعیت‌های مختلف اکالیپتوس در پایان سال اول (الف) و پایان سال دوم (ب) پس از کاشت

جدول ۹- تجزیه واریانس حجم تاج پوشش گونه‌ها و جمعیت‌های مختلف در پایان سال اول

سال اول				سال دوم			
منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات
بلوک	۳	۱/۲۶۸	۰/۴۲۳	۲/۹۳۸ ^{ns}	۳	۱۲۰/۳۰۹	۴۰/۱۰۳
گونه و جمعیت	۷	۸۳/۵۴۰	۱۱/۹۳۴	۸۲/۹۸۶ ^{**}	۷	۴۱۱/۴۹۷	۵۸/۷۸۵
خطا	۲۱	۳/۰۲۰	۰/۱۴۴		۲۱	۸۵/۷۵۰	۴/۰۸۳
کل	۳۱	۸۷/۸۲۸			۳۱	۶۱۷/۵۵۶	
CV		٪۲۳/۲۶				٪۲۸/۴۴	

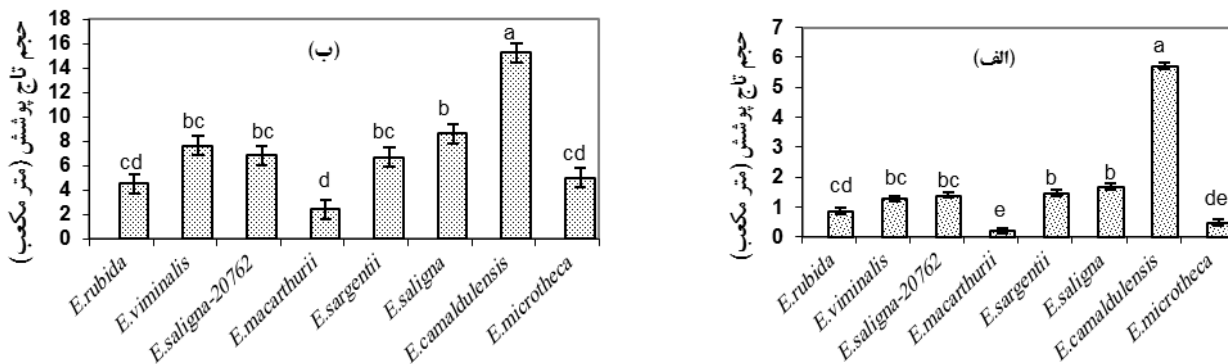
** معنی دار در سطح ٪۱ ns اختلاف معنی داری مشاهده نگردید

۴- قطر تنه

نتایج تجزیه واریانس داده‌های به دست آمده در پایان سال دوم پس از کاشت نشان داد که تفاوت معنی داری در سطح آماری ۱ درصد میان قطر تنه درختان مربوط به گونه و جمعیت‌های مختلف در فاصله ده سانتی متری سطح خاک وجود دارد (جدول ۱۰). مقایسه میانگین اعداد نشان داد که بالاترین قطر تنه مربوط به گونه اکالیپتوس کامالدولنسیس، ۶/۷ سانتی متر است و پس از آن گونه‌های اکالیپتوس سارجنتی و اکالیپتوس سالیگنا به ترتیب با قطر تنه ۵/۶ و ۵/۲ قرار دارند. نکته قابل ذکر در این خصوص، چند شاخه بودن اکالیپتوس سارجنتی از محل طوقه است که کاربرد آن را در تولید چوب مناسب، محدود کرده است (شکل ۵).

نتایج به دست آمده نشان داد که اکالیپتوس کامالدولنسیس نسبت به سایر گونه‌ها ضمن داشتن قدرت تحمل بیشتر در برابر شرایط نامساعد محیطی، از رشد بیشتری نیز برخوردار بوده است. این موضوع توسط سردابی، همتی و مرتضوی جهرمی در طرح‌های سازگاری که در نقاط مختلف کشور انجام داده‌اند، گزارش شده است [۶-۸]؛ اما همتی گزارش کرده است که در طرح سازگاری گونه‌های مختلف اکالیپتوس در منطقه قصر شیرین، گونه اکالیپتوس کامالدولنسیس پس از هشت سال فقط با ارتفاع ۳/۷ متر رشد و

۳۳ درصد استقرار، نسبت به بسیاری دیگر از گونه‌های مورد استفاده شرایط مطلوبی نداشته است [۷]. نجفی فر بر سازگاری این گونه به همراه برخی دیگر از گونه‌های اکالیپتوس در مناطق ممسنی، گچساران و تنگ ملاوی تأکید نموده است [۱۷]. میزان رشد این گونه به دسترسی آن به آب بستگی داشته و برای تولید چوب باید به این موضوع توجه نمود. از نکات قابل ذکر در کاهش میزان استقرار برخی از گونه‌ها مثل اکالیپتوس ویمینالیس و اکالیپتوس ماکارٹوری، تحمل پایین آنها نسبت به گرمای شدید تابستان بود. افزایش دما تا ۴۴ درجه سلسیوس در تیرماه، شرایط را برای خشک شدن برخی از پایه‌ها فراهم نمود. هرچند تنوع بسیار زیادی بین پایه‌ها از نظر تحمل به این عامل محیطی و یا سایر عوامل نامساعد محیطی مشاهده شد. احتمال اثرات متقابل مواد مسموم کننده موجود در پساب با گرما در خشک کردن پایه‌هایی از این دو گونه نیز وجود دارد. از دیگر گونه‌های موفق اکالیپتوس سارجنتی و اکالیپتوس میکروتنکا بود که علی‌رغم داشتن انشعاب‌های متعدد در محل یقه و بودند، به گونه‌ای که در پایان سال دوم به ترتیب ۹۵ و ۹۲ درصد استقرار یافتند.



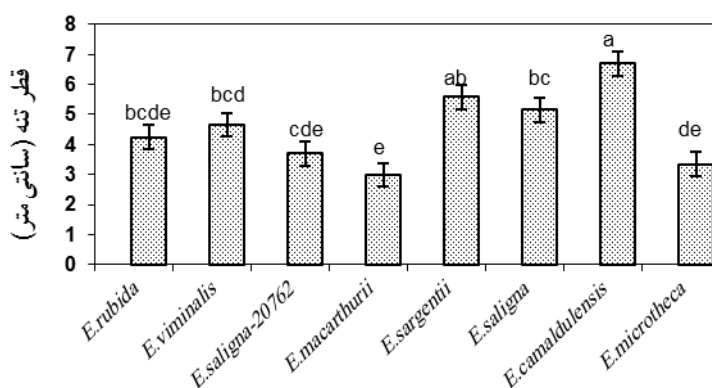
شکل ۴- وضعیت حجم تاج پوشش گونه و جمعیت‌های مختلف اکالیپتوس در پایان سال اول (الف) و پایان سال دوم (ب) پس از کاشت

جدول ۱۰- تجزیه واریانس قطر تنه گونه‌ها و جمعیت‌های مختلف در پایان سال دوم

F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
۳/۷۸۰۷*	۳/۶۳۲	۱۰/۸۹۵	۳	بلوک
۶/۳۹۴۲**	۶/۱۴۲	۴۲/۹۹۶	۷	گونه و جمعیت
	۰/۹۶۱	۲۰/۱۷۳	۲۱	خطا
		۷۴/۰۶۴	۳۱	کل

cv: ۲۱/۵۵

** معنی دار در سطح ۱٪، * معنی دار در سطح ۵٪



شکل ۵- وضعیت قطر تنه گونه و جمعیت‌های مختلف اکالیپتوس در فاصله ده سانتی متری سطح خاک در پایان سال دوم پس از کاشت

۵- نتیجه‌گیری

برخوردار بوده و امکان به‌کارگیری آنها در شرایط اقلیمی یزد و آبیاری به‌وسیله فاضلاب و یا پساب برای جنگل‌کاری با هدف تولید چوب وجود دارد. گونه‌های اکالیپتوس سارجنتی، اکالیپتوس ماکارتوری و اکالیپتوس میکروتکا مناسب برای فضای سبز و استفاده در برنامه‌های تثبیت شن و بیابان‌زدایی می‌باشند. این گونه‌ها با دارا بودن رشد قطری مناسب و حجم تاج پوشش قابل توجه و فرم مناسب شاخ و برگ، دارای جنبه‌های زینتی خاصی بوده و می‌توانند در فضای سبز مناطق مستعد مورد استفاده قرار گیرند. در میان گونه‌های مورد استفاده در آزمایش، گونه کامالدولنسیس (41-zh) از نظر درصد استقرار، رشد ارتفاعی، رشد قطری، حجم تاج پوشش و قطر تنه در پایان سال دوم نسبت به سایر گونه‌ها

نتایج آزمایش‌های سازگاری با گونه و جمعیت‌های مختلف اکالیپتوس، شامل گونه و جمعیت‌های اکالیپتوس سالیگنا، اکالیپتوس ویمینالیس، اکالیپتوس روبیدا، اکالیپتوس سارجنتی، اکالیپتوس ماکارتوری، اکالیپتوس بوتریودیس (20762)، اکالیپتوس کامالدولنسیس، سالیگنا و میکروتکا نشان داد که گونه‌های ذکر شده در چنین شرایطی می‌توانند رفتارهای متفاوتی را از نظر درصد استقرار، میزان رشد ارتفاعی، میزان رشد قطری، حجم تاج پوشش و قطر تنه از خود نشان دهند. از گونه‌های ذکر شده گونه‌های اکالیپتوس سالیگنا، اکالیپتوس ویمینالیس، اکالیپتوس روبیدا و اکالیپتوس کامالدولنسیس (41-zh) از رشد ارتفاعی خوبی

۶- قدردانی

نویسندگان مقاله به این وسیله از مسئولان شرکت آب و فاضلاب یزد، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد و همچنین مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور که شرایط و امکانات لازم را برای این پژوهش فراهم کرده‌اند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

برتری داشت.

با توجه به این که در مرحله اول انجام پژوهش، هدف، سازگاری گونه و جمعیت‌های مختلف اکالیپتوس در شرایط آبیاری با پساب بود، آزمایشی در خصوص توانایی گونه‌ها در برداشت عناصر سنگین در خاک انجام نشد و این مهم به مراحل بعد واگذار شد.

۷- مراجع

- 1- Eizedi Moghadam, S., Sohrabi, M., Javedan, A., and Ahmadian, A. (2009). "The importance of optimizing use of domestic wastewater in agriculture to reduce water and soil pollution." *National Conference of Sustainable Development Patterns in Water Management*, Mashhad, 1545-1534.
- 2- 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 afforest degraded landscapes in the Aral Sea Basin of Uzbekistan." *Forest Ecology and Management*, 221, 249- 259.
- 3- Javanshir, K., and Mossadegh, A. (1973). *Eucalyptus*, Tehran University Pub., Tehran. (In Persian)
- 4- Al-Jamal, M.S., Sammis, T.W., Mexal, J.G., Picchioni, G.A., and Zachritz, W.H. (2002). "A growth-irrigation scheduling model for waste water use in forest production." *Agricultural Water Management*, 56, 27-79.
- 5- FAO. (2000). "Treated wastewater use in forest plantation development in the near east region, A Paper presented at the Near East Forestry Commission." <www.fao.org> (May 2009)
- 6- 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." *J. of the Indian Society of Soil Science*, 45(2), 358-362.
- 7- Sardabi, H. (1998). *Compatibility of different species of Eucalyptus and pine in low-lying coastal areas in East of Mazandaran province*, Forests and Rangelands Research Institute of Iran. (In Persian)
- 8- Hemmati, A. (1996). *The final results of the Eucalyptus and Acacia compatibility species in Kermanshah province (Qsrshyryn)*, Forests and Rangelands Research Institute of Iran. (In Persian)
- 9- Mortazavi Jahromi, S. (1994). *Introduced of Eucalyptus species compatibility in the western of Fars province*, Forest and Rangeland Research Institute of Iran. (In Persian)
- 10- Iran-Nejad, M. H., Rad, M.H., Mostafaienejad, A., Abarghoii, H., and Dashti, A. A. (2008). "Determination and identification of Eucalyptus species planting and suitable for planting in yazd city to salinity, drought and cold resistant." Yazd University. (In Persian)
- 11- Meteorological Organization of Iran. (1996-2011). *Yearbook Meteorological*, Tehran. (In Persian)
- 12- Gholami Touran, H., and Cheraghi, S.A.M. (2010). "Use of effluent from wastewater treatment plant in Yazd in the agricultural sector." *Proceedings of the Second National Seminar Role of Water Recycling and Wastewater in Water Resources Management*, - Used in Agriculture and Landscaping, Sarv Ab Engineering Consulting firm, Mashhad. (In Persian)
- 13- Westwood, H. (1978). *Pomology*, Translate by Rasulzadegan, Y. (1989). Isfahan University of Technology, Isfahan. (In Persian)
- 14- Panapoor, A., Afuni, M., Homaii, M., and Hoodaji, M. (2008). "Cadmium, chromium and cobalt moving in soils treated with sewage sludge and salt this metal and uptake by vegetables in the east region of Isfahan." *J. of Water and Wastewater*, 67, 9-17. (In Persian)
- 15- Assareh, M. H., Shariat, A., and Ghamari-zare, A. (2008). "Seeding response of three Eucalyptus sepecies to copper and zinc toxic concentrations." *Caspian J. Env. Sci.*, 6(2), 97-103.
- 16- Shariat, A., Assareh, M.H., and Ghamari-Zare, A. (2010). "Effects of cadmium on some physiological characteristics of eucalyptus occidentalis." *J. of Agriculture and Natural Resources Science and Technology, Soil and Water Science*, 14(53) 154-154. (In Persian)
- 17- Najafifar, A. (2005). "Selected forest species based on ecological units can work in forest vegetation Zagros area (case study, Sarab Darashahr, Ilam province watershed." *Research and Development in Natural Resources*, 75, 28-36.