

## مقایسه رشد گونه یوکا (گیاه خنجر) با آبیاری توسط پساب بهداشتی و آب شرب

هادی خلیفه<sup>۱</sup> ، فاضل امیری<sup>۲\*</sup>

۱- گروه محیط زیست، دانشکده فنی و مهندسی، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران

۲- گروه منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده فنی و مهندسی، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران

ایمیل نویسنده مسئول: famiri@iaubushehr.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۸/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۹/۱۵

### چکیده

با توجه به شرایط اقلیمی ایران و کمبود منابع آبی بخصوص در منطقه جنوب، در این تحقیق تفاوت رشد فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه یوکا *Yucca Elephantipes* با آبیاری توسط پساب بهداشتی و آب شرب بررسی گردید. در این مطالعه، متغیرهای مورفولوژیکی گیاه شامل ارتفاع از محل طوقه گیاه تا انتهای بوته، تعداد برگ، تعداد ساقه، طول برگ، وزن خشک کل برگ، وزن خشک ساقه، تعداد ریشه و اندازه ریشه و متغیرهای فیزیولوژیکی گیاه شامل فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT)، آنزیم اسکوبات پراکسیداز (APX)، گلوکوتاتیون پراکسیداز (GPX) بررسی گردید. تیمارهای آبیاری شامل آب شرب و پساب بهداشتی است. نتایج نشان دهنده اختلاف معنی دار در متغیرهای مورد بررسی در بین دو تیمار در سطح ۵٪ است. بیشترین تعداد برگ و ریشه به ترتیب ۶۴ و ۶ در تیمار آبیاری با پساب بود. تعداد ساقه در هر دو تیمار برابر ۱ به دست آمد. آنزیم اسکوبات پراکسیداز APX در آبیاری با پساب بهداشتی و آب شرب به ترتیب ۰/۶۲ و ۰/۷۱ بود. بهترین عملکرد آنزیم گایاکول پراکسیداز GPX مربوط به آبیاری با آب شرب به میزان ۰/۱۷ بود. همچنین نتایج نشان داد آبیاری با پساب بهداشتی گیاه یوکا، پارامترهای مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه به ترتیب ۸٪ و ۲٪ عملکرد بهتری را در متغیرهای مورد مطالعه نسبت به نمونه‌های مشابه آبیاری شده با آب شرب داشت.

### کلمات کلیدی

"پساب بهداشتی"، "آنزیم کاتالاز (CAT)"، "آنزیم اسکوبات پراکسیداز (APX)"، "گلوکوتاتیون پراکسیداز (GPX)"، "یوکا"

## Comparison of the growth of *Yucca* (Dagger plant) with irrigation by sanitary sewage and drinking water

Hadi Khalifeh<sup>1</sup>, Fazel Amiri<sup>2,\*</sup>

1. Department of Environment, College of Engineering, Branch Bushehr, Islamic Azad University, Bushehr, Iran

2\*. Department of Natural Resources and Environment, College of Engineering, Branch Bushehr, Islamic Azad University, Bushehr, Iran.

\*Email Address: famiri@iaubushehr.ac.ir

### Abstract

Due to the climatic conditions of Iran and the lack of water resources, especially in the southern region, in this study, the difference between physiological and morphological growth of *Yucca Elephantipes* with irrigation by sanitary wastewater and drinking water was investigated. In this study, morphological variables such as height from the crown to the tail end of the plant, number of leaves, number of stems, leaf length, total leaf dry weight, stem dry weight, number of roots and root size and physiological variables of the plant including Catalase enzyme activity (CAT), Ascorbate peroxidase enzyme activity (APX), Glutathione peroxidase enzyme (GPX) have examined. Irrigation treatments include drinking water and sanitary wastewater. The results show a significant difference in the studied variables between the two treatments at the level of 5%. The highest number of leaves and roots were 64 and 6, respectively, in the treatment of irrigation with wastewater. The number of stems in both treatments was equal to 1. APX in sanitary irrigation and drinking water was 0.62 and 0.71, respectively. The best performance of GPX was related to drinking water irrigation at 0.17. The results also showed that irrigation with sanitary wastewater of *Y. Elephantipes*, morphological and physiological parameters of the plant had 8% and 2% better performance in the studied variables than similar samples irrigated with drinking water, respectively.

### Keywords

"Sanitary wastewater", "Catalase enzyme", "Ascorbate peroxidase enzyme", "Glutathione peroxidase enzyme", "Yucca Elephantipes"

## ۱- مقدمه

بیش تر رویش یافته است. از خصوصیات مورفولوژیک گیاه می‌تواند به اشاره کرد که؛ برگ‌های کشیده و خنجری نوک‌تیز و به رنگ سبز، این گیاه دو گونه دارد یکی که فاصله برگ‌ها در آن زیادتر است و گل نمی‌دهد و نوع دیگر که فاصله برگ‌های آن کم‌تر است و گل‌هایی به شکل زنگوله واژگون و سفید و کرم‌رنگ می‌دهد و برای کشت در باغچه مناسب‌تر است. در کاشت گروهی استفاده فراوان دارد و ممکن است یک یا چند گیاه داخل یک گلدان کاشت گردد. با حذف جوانه انتهایی گیاه دو یا سه شاخه می‌شود. این گیاه به آبیاری کمی نیاز دارد و همچنین به کود دهی نیاز چندانی ندارد. برای تکثیر گیاه یوکا با جدا کردن پاجوش‌ها (پا گیاه) در بهار از گیاه مادر و کاشتن آن‌ها در شن و ریشه‌دار کردن آن‌ها در اوایل بهار می‌تواند انجام داد. نیازهای اکولوژیکی یوکا، نور کافی نیاز دارد و ۴ تا ۵ هفته در سایه می‌تواند مقاومت می‌کند. درجه حرارت مطلوب برای این گیاه در فصل زمستان ۱۰ تا ۱۶ درجه سانتی‌گراد است و در فصل تابستان باید در خارج از اتاق (مانند بالکن نیمه سایه) نگهداری شود. در تابستان هفته‌ای ۲ تا ۳ بار و در زمستان هر ده روز یک‌بار به آبیاری نیاز دارد. خاک لوم بهترین نوع خاک برای رشد این گیاه می‌باشد.

## ۲- روش انجام تحقیق

## محل و زمان انجام تحقیق

برای آماده‌سازی بستر کاشت در ۱۵ اسفندماه سال ۱۳۹۷ به‌صورت دستی و توسط کارگران زمین آماده و شخم زده شد. عملیات کاشت بعد از تهیه بوته‌های گیاه خنجری (یوکا) یک‌ساله از نهالستان عسلویه در بلوک تحقیقاتی، نهالستان اداره منابع طبیعی انجام شد. در مجموع در دو تیمار (آب شرب و پساب بهداشتی) در سه تکرار (بلوک) و در هر بلوک ده بوته گیاه خنجری و در مجموع ۶۰ بوته استفاده شد. در هر بلوک فاصله بین بوته‌ها به‌صورت ۲ ردیف ۲/۵ متری بافاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها ۵۰ سانتی‌متر از هم کاشته شدند. فاصله بین تکرارها ۲ متر لحاظ شد. آبیاری اول در نیمه اسفندماه سال ۱۳۹۷ بلافاصله بعد از کاشت انجام شد. و از این مرحله به بعد هر ۲ الی ۳ روز یک‌بار تیمارهای آبیاری به‌صورت غرقابی اعمال شد (شکل ۱).



بحران کمبود آب یکی از چالش‌هایی است که امروزه جهان با آن مواجه است. کمبود آب مهم‌ترین تهدید برای بقای بشر، اکوسیستم طبیعی و تکوین تمدن‌ها است. امنیت غذایی، بهداشت و اقتصاد کلان تحت تأثیر کمبود آب به‌شدت صدمه می‌بینند (Bennett et al. 2013). عواملی نظیر افزایش جمعیت، توسعه شهرنشینی، رشد درآمد و تغییر الگوی مصرف غذایی نیز سبب افزایش مصرف سرانه آب و تشدید بحران کم‌آبی گردیده است (Rijsberman 2006). اقلیم خشک و نیمه‌خشک و توزیع نامتناسب بارندگی از نظر مکانی و زمانی نیز سبب افزایش دو چندان اثر منفی کمبود منابع آب در کشور ایران شده است. از این‌رو، استفاده از منابع آبی غیرمتعارف از جمله پساب تصفیه‌خانه‌ها، روزبه‌روز از اهمیت بیشتری برخوردار می‌گردد (Morote et al. 2019). محدودیت منابع آب توجه محققین را به استفاده اصولی از آب‌های غیرمتعارف پساب‌های شهری و صنعتی به خود معطوف نموده است. به دلیل توسعه شهرها و افزایش مصرف آب، مقدار زیادی فاضلاب تولید می‌شود که پساب این فاضلاب‌ها می‌تواند به‌عنوان یک منبع بالارزش در افزایش سطح پوشش گیاهی محسوب شود به شرط آنکه استفاده اصولی از آن با تصفیه مناسب پساب همراه باشد (Fatta-Kassinos et al. 2011). بنابراین استفاده از آب‌های نامتعارف، در مناطقی که آب باکیفیت مناسب در دسترس نیست، رو به فزونی است (Jodar-Abellan et al. 2019). یکی از این منابع، پساب بهداشتی شهری است که می‌تواند نیاز غذایی گیاه را نیز تأمین کند، همچنین می‌تواند در آبیاری توأم گیاهان استفاده شود. به‌کارگیری فاضلاب شهری در کشاورزی و فضای سبز بسته به خصوصیات آن می‌تواند سودمند یا زیان‌بار باشد. کیفیت فاضلاب باید با توجه به اثرات آن بر محیط‌زیست و گیاهان ارزیابی شود (Hussain et al. 2019; Nouri et al. 2019). اخیراً استفاده از فاضلاب در چندین کشور کم‌آب به‌عنوان یکی از منابع آب کشاورزی و فضای سبز بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Hussain et al. 2019; Nouri et al. 2019; Skardi et al. 2020). آبیاری گیاهان با استفاده از فاضلاب شهری باعث رشد و عملکرد گونه‌های علفی و درختی می‌شود. علاوه بر این، به دلیل کاهش استفاده از کود، فاضلاب شهری ممکن است با کاهش هزینه‌ها مزایای اقتصادی برای کشاورزان داشته باشد (Bedbabis et al. 2010; Bauer et al. 2020). استفاده مجدد از فاضلاب خانگی تصفیه‌شده برای آبیاری گونه‌های گیاهی مقاوم در فضای سبز شهری و یک روش جدید در احیای فضاهای سبز در محیط‌های شهری و نواحی حاشیه‌ای است (Kalavrouziotis and Apostolopoulos, 2007). استقرار گونه‌های درختی جهت ایجاد فضای سبز در محیط‌های شهری نیاز به مدیریت ویژه ای دارد که با کارهای معمول کشاورزی متمرکز بر تولید مواد غذایی و خوراکی متفاوت است (Oleszek et al. 2003). بنابراین، استفاده از پساب جهت آبیاری درختان فضای سبز نه تنها کارآمد، مقرون به صرفه بلکه سازگار با محیط زیست است (Vithanage et al. 2012; Li et al. 2014). بنابراین با توجه به نقش پساب در کاهش میزان آب آبیاری و باهدف بررسی امکان استفاده از پساب تصفیه‌شده، در این پژوهش مقایسه عملکرد و رشد گیاه یوکا با آبیاری با آب شرب و پساب بهداشتی مورد بررسی قرار گرفت. یوکا *Yucca Elephantipes* گیاهی از خانواده اسپاراگاسه و زیر خانواده آگاوئیده با برگ‌ها کشیده و خنجری و نوک‌تیز به رنگ سبز است. این گیاه در مناطق مکزیکی، بلیز، گواتمالا، کاستاریکا و هندوراس

### پارامترهای فیزیولوژیک

بررسی میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) با بررسی کاهش مقدار پراکسید هیدروژن در طول موج ۲۴۰ نانومتر انجام شد. مخلوط واکنش شامل بافر فسفات ۵۰ میلی مولار (pH ۷) و پراکسید هیدروژن ۱۵ میلی مولار بود. واکنش با افزودن ۱۰۰ میکرولیتر عصاره‌ی آنزیمی در حجم نهایی ۳ میلی لیتر آغاز گردید. تغییرات جذب در ۲۴۰ نانومتر به مدت ۳ دقیقه ثبت شد. سپس فعالیت آنزیم به صورت تغییرات جذب در دقیقه به ازای وزن تر بیان گردید (Dazy et al., 2008). برای سنجش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز، مخلوط واکنش شامل بافر فسفات ۲۵۰ میلی مولار (pH ۷) ، آب اکسیژنه ۱/۲ میلی مولار، اسید آسکوربیک ۰/۵ میلی مولار و EDTA ۰/۱ میلی مولار بود. با اضافه کردن آب اکسیژنه به مخلوط واکنش فعالیت آنزیمی شروع شد. کاهش جذب نور به علت پراکسیداسیون اسید آسکوربیک در طول موج ۲۹۰ نانومتر به مدت ۲ دقیقه با دستگاه اسپکتروفوتومتر خوانده شد. برای محاسبه فعالیت آنزیم از تغییرات جذب در یک دقیقه استفاده شد. فعالیت آنزیم گلوکاتین پراکسیداز (GPX)، در محیط واکنش شامل بافر پتاسیم فسفات ۲۵ میلی مولار (pH ۶/۸) و پراکسید هیدروژن ۴۰ میلی مولار و گایاکول ۲۰ میلی مولار ارزیابی قرار گرفت. واکنش با افزودن ۱۰۰ میکرولیتر عصاره‌ی آنزیمی در حجم نهایی ۳ میلی لیتر آغاز گردید. افزایش جذب به وسیله تشکیل تتراگایاکول در طول موج ۴۷۰ نانومتر به مدت ۳ دقیقه ثبت شد. سپس فعالیت آنزیم به صورت تغییرات جذب در دقیقه به ازای هر گرم وزن تر در دقیقه بیان گردید (Dazy et al., 2008).

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های پارامترهای فیزیولوژیکی آب شهری و پساب با مقادیر استاندارد با آزمون t یک نمونه‌ای، داده‌های پارامترهای مرفولوژیک و فیزیولوژیک براساس آزمون مقایسه زوجی Paired-Samples T Test و تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) توسط نرم افزار SPSS ویرایش ۲۴ در سطح احتمال  $P < 0.05$  انجام شد.

### ۳- نتایج

#### کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب شهری و پساب

شاخص‌های کیفی آب شهری و پساب تصفیه‌خانه استفاده شده برای آبیاری *Y. Elephantipes* و مقایسه آن با استانداردهای تعیین شده پساب برای استفاده در آبیاری فضای سبز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آنالیز t یک نمونه‌ای نشان داد که تفاوت بین پارامترهای اندازه‌گیری شده در آب شهری و پساب تصفیه‌خانه، با میزان استاندارد مصرف برای آبیاری فضای سبز شهری معنی‌دار نیست و کلیه پارامترهای اندازه‌گیری پساب کمتر از حدود استاندارد مصرف برای فضای سبز است ( $P < 0.05$ ; جدول ۲).

#### پارامترهای مرفولوژیک و فیزیولوژیک

نتایج مقایسه زوجی داده‌های پارامترهای مرفولوژیک و فیزیولوژیک نشان داد که ارتفاع از محل طوقه گیاه تا انتهای بوته، تعداد برگ، وزن خشک کل برگ، اندازه ریشه، طول برگ، وزن خشک ساقه، تعداد ریشه، فعالیت آنزیم CAT، فعالیت آنزیم APX و فعالیت آنزیم GPX تیمار آبیاری با پساب بهداشتی میانگین مقادیر پارامترها اختلاف معنی‌داری با تیمار آبیاری با آب شرب در سطح ۵ درصد دارد. لذا فرضیه مبنی بر برابری میانگین بلوک‌های آبیاری شده با پساب بهداشتی و آب شرب رد می‌شود. همچنین نتایج ارائه شده در جدول ۳ نشان داد که مقادیر متغیرهای مرفولوژیک، به‌جز ساقه گیاه، در بلوک‌هایی که با پساب بهداشتی آبیاری شده‌اند بیش‌تر از



شکل ۱- نمونه‌ها در مرحله کاشت در ابتدای طرح و آبیاری

### تیمارهای آزمایش

این آزمایش در قالب بلوک‌های با تیمارهای آبیاری با آب شرب  $W_1$  و آبیاری با پساب بهداشتی  $W_2$ ، انجام شد. خاک پایلوت محل آزمایش خاک سبک شنی در کلاس بافت لوم شنی قرار دارد. خصوصیات خاک از جمله بافت و pH در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- خواص فیزیکی شیمیایی خاک

مقدار	واحد	پارامتر
۵/۸	-	pH
۲/۴	(dSm <sup>-1</sup> )	هدایت الکتریکی
۱۳/۸		کل مواد جامد معلق
۱/۳	%	مواد آلی
۳۸	%	اشباع
۷۵	%	شن
۱۵	%	سیلت
۱۰	%	رس
	لومی شنی	بافت خاک

### پارامترهای مرفولوژیک

در اواخر مهرماه بعد از پایان رشد با رعایت اثرات حاشیه‌ای از وسط هر بلوک، شاخص‌های مرفولوژیک شامل رویشی گیاه، ارتفاع بوته با استفاده از متر از محل طوقه گیاه تا انتهای ساقه اندازه‌گیری و تعداد برگ و تعداد ساقه شمارش شد. برای اندازه‌گیری سطح برگ (طول برگ) در هر بوته به‌طور تصادفی ۵ برگ انتخاب و طول برگ با استفاده از متر اندازه‌گیری شد. پس از خشک‌کردن بوته‌ها، سایر صفات از جمله: وزن خشک برگ، و ساقه در بوته اندازه‌گیری شد. انتخاب صفات برای ارزیابی اثر استفاده از فاضلاب بر مؤلفه‌های رشدی گیاهان مطالعه شده با توجه به نوع آن‌ها و همچنین براساس کارهای تحقیقاتی مشابه (چوپان و همکاران، ۱۳۹۷؛ توکلی‌نکو و پورمیدانی، ۱۳۹۸) صورت گرفت. جهت خشک کردن نمونه‌ها، برگ‌ها و ساقه از یکدیگر جدا شدند و به تفکیک در پاکت‌های کاغذی قرار گرفته و اتیکت‌گذاری شدند. پاکت‌های حاوی نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در آون ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس نمونه‌های خشک‌شده با ترازوی حساس توزین شدند و وزن خشک برگ و وزن ساقه‌ی کل نمونه‌ها اندازه‌گیری شدند.

بلوک‌هایی است که با آب شرب آبیاری شده‌اند. و مقادیر متغیرهای فیزیولوژیکی (میزان فعالیت آنزیم‌های گیاه) در بلوک‌هایی که با پساب بهداشتی آبیاری شده‌اند کم‌تر از بلوک‌هایی است که با آب شرب آبیاری شده‌اند (جدول ۳).

جدول ۲- کیفیت آب شهری و پساب استفاده شده برای آبیاری

پارامترها	آب شهری	پساب	استاندارد برای مصرف در فضای سبز (Ayers and Westcot, 1985)	انحراف معیار	Sig.(2-tailed)
pH	۷/۴۳	۸/۱	۶-۸/۵	۰/۰۵	۰/۰۰۰
هدایت الکتریکی (dSm <sup>-1</sup> )	۰/۱۹	۰/۲۵	۲/۹۷	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰
کل جامدات محلول (mg L <sup>-1</sup> )	۱۸۰/۵	۴۵۵	۲۰۰	۴/۸	۰/۰۰۴
نیترژن (mg L <sup>-1</sup> )	۰/۳	۳/۱	۵	۰/۰۱۱	۰/۰۳

Sig. کم‌تر از ۰/۰۵ نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

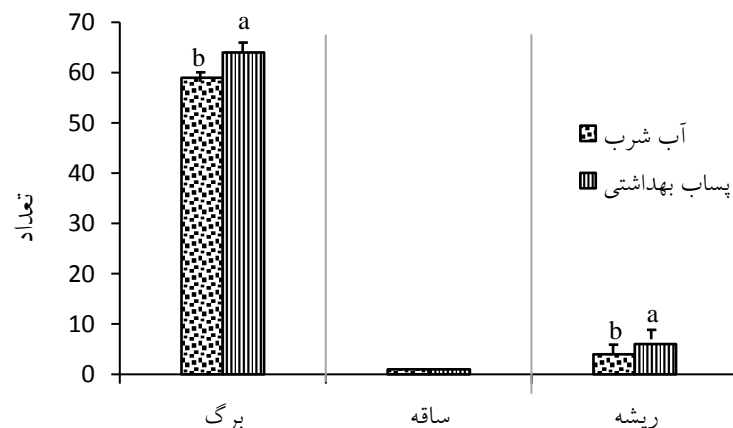
جدول ۳- میانگین پارامترهای مرفولوژیک و فیزیولوژیک دو تیمار آب شرب و پساب بهداشتی

تیمار آب آبیاری	پساب بهداشتی						سطح معنی‌داری Sig.(2-tailed)
	بلوک ۱	بلوک ۲	بلوک ۳	بلوک ۴	بلوک ۵	بلوک ۶	
ارتفاع از محل طوقه تا انتهای بوته (میلی‌متر)	۶۰۵	۶۱۱	۶۱۸	۵۷۸	۵۷۵	۵۷۰	۰/۰۲۶
تعداد برگ	۶۳	۶۴	۶۴	۵۹	۵۸	۵۹	۰/۰۱۳
تعداد ساقه	۱	۱	۱	۱	۱	۱	NS
طول برگ (میلی‌متر)	۵۱۰	۵۴۲	۵۶۰	۵۰۴	۴۹۰	۴۸۰	۰/۰۱۷۲
وزن خشک کل برگ (گرم)	۱۳۲/۵	۱۳۶/۵	۱۳۴/۵	۱۲۴	۱۲۲	۱۲۴	۰/۰۲۴
وزن خشک ساقه (گرم)	۱۶۲	۱۶۳	۱۶۶	۱۵۷	۱۵۵	۱۵۳	۰/۰۶۵
تعداد ریشه	۵	۶	۶	۵	۴	۴	۰/۰۱۸
اندازه ریشه (میلی‌متر)	۵۵۰	۵۶۰	۵۶۵	۵۱۰	۴۸۵	۴۸۰	۰/۰۳۹
فعالیت آنزیم CAT	۰/۰۳۶	۰/۰۳۱۷	۰/۰۴۱	۰/۰۴۸	۰/۰۵۲	۰/۰۵۵	۰/۰۴۸
فعالیت آنزیم APX	۰/۰۶۳	۰/۰۶۵	۰/۰۶	۰/۰۷۳۲۵	۰/۰۷۱۲۹	۰/۰۶۹۳۶	۰/۰۱۹
فعالیت آنزیم GPX	۰/۰۰۹۳۲	۰/۰۰۷۳	۰/۰۰۹۸۶	۰/۰۱۴۷	۰/۰۲۱۱	۰/۰۱۵۵	۰/۰۴۲

Sig. کم‌تر از ۰/۰۵ نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است. NS اختلاف در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیست.

آزمون مقایسه زوجی در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. این درحالی است که تعداد ساقه در میانگین بلوک‌های آبیاری با پساب بهداشتی و آب شرب برابر یک است (شکل ۲).

نتایج آبیاری با پساب بهداشتی و آب شرب بر روی تعداد برگ، ریشه و ساقه در گیاه یوکا *Y. Elephantipes* نشان می‌دهد که تعداد برگ و ریشه در تمام نمونه‌های آبیاری با پساب بهداشتی نسبت به نمونه‌های بلوک آبیاری با آب شرب بیشتر است و نتیجه مقایسه این میانگین‌ها با

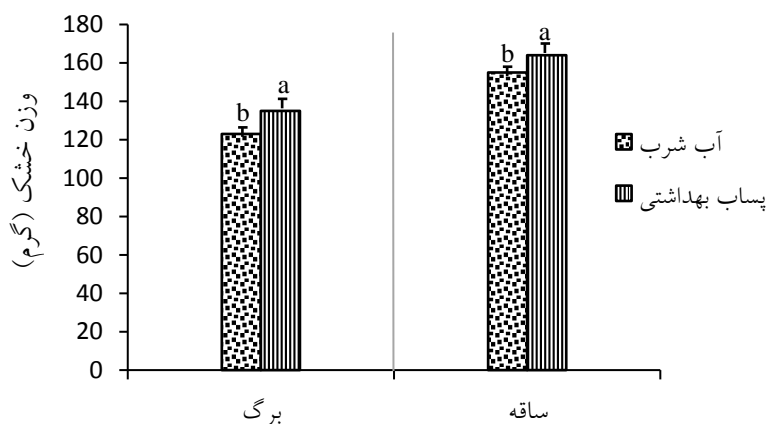


ستون‌های دارای حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند ( $p < 0/05$ ).

شکل ۲- مقایسه خصوصیات مرفولوژیک تعداد ریشه، ساقه، برگ گیاه یوکا در آبیاری با آب شهری و پساب

۱۳۵ گرم و میانگین وزن خشک برگ با آب شرب ۱۲۳ گرم است. همچنین در مورد ساقه گیاه یوکا میانگین وزن خشک در آبیاری با پساب برابر ۱۶۴ در مقابل میانگین وزن خشک ساقه در آبیاری با آب شرب ۱۵۵ گرم به دست آمد (شکل ۳).

مقایسه اثر آبیاری با آب شهری و پساب بهداشتی بر وزن خشک برگ و ساقه با آزمون مقایسه میانگین زوجی در سطح ۵ درصد نشان دهنده وجود تفاوت معنی دار اثر آبیاری با آب شهری و پساب بر وزن خشک برگ و ساقه یوکا است. میانگین وزن خشک برگ در آبیاری با پساب بهداشتی

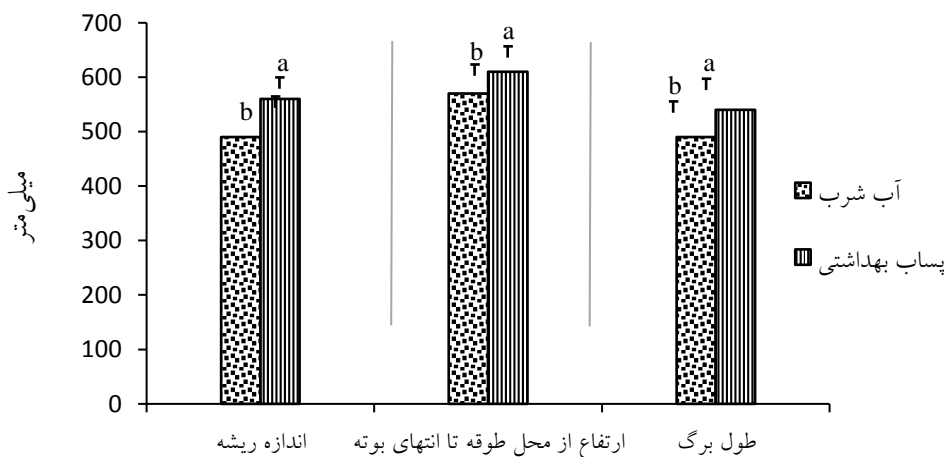


ستون‌های دارای حرف مشترک فاقد اختلاف معنی دار می‌باشند ( $p < 0.05$ ).

شکل ۳- مقایسه خصوصیات مورفولوژیک وزن خشک ساقه و وزن خشک برگ گیاه یوکا در آبیاری با آب شهری و پساب

آبیاری با پساب با میانگین ۵۶۰ میلی‌متر و در آبیاری با آب شرب ۴۹۰ میلی‌متر است. میانگین طول برگ در دو تیمار آبیاری با آب شرب و پساب بهداشتی به ترتیب ۴۹۰ و ۵۴۰ میلی‌متر به دست آمده است و ارتفاع از محل طوقه گیاه تا انتهای بوته در بلوک‌های آبیاری با آب شرب ۵۷۰ میلی‌متر و در آبیاری با پساب بهداشتی ۶۱۰ میلی‌متر اندازه‌گیری شد (شکل ۴).

مقایسه اثر آبیاری با آب شهری و پساب بهداشتی بر اندازه ریشه، طول برگ و ارتفاع از محل طوقه گیاه تا انتهای بوته با آزمون مقایسه میانگین زوجی در سطح ۵ درصد نشان دهنده وجود تفاوت معنی دار اثر آبیاری با پساب و آب شهری بر اندازه ریشه، طول برگ و ارتفاع از محل طوقه گیاه تا انتهای بوته یوکا است. بیشترین میانگین اندازه ریشه گیاه یوکا در

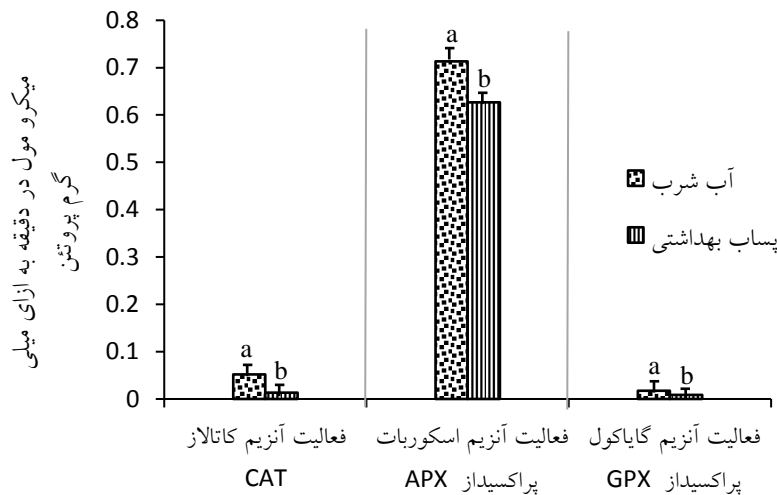


ستون‌های دارای حرف مشترک فاقد اختلاف معنی دار می‌باشند ( $p < 0.05$ ).

شکل ۴- مقایسه خصوصیات مورفولوژیک اندازه ریشه، ارتفاع از محل طوقه تا انتهای بوته و طول برگ گیاه یوکا در آبیاری با آب شهری و پساب

شرب به ترتیب ۰/۶۲۷ و ۰/۷۱۳ بوده است و بهترین عملکرد فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز GPX مربوط به تیمار آبیاری با آب شرب به میزان ۰/۰۱۷۱ است (شکل ۵).

نتایج میانگین عملکرد فیزیولوژیک گیاه یوکا نشان داد که میانگین بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز CAT در بلوک‌های تحت آبیاری با آب شرب بوده است ( $M = 0.0517$ ) و میانگین فعالیت آنزیم اسکوربات پراکسیداز APX برای تیمار آبیاری با پساب بهداشتی و آبیاری با آب



شکل ۵- مقایسه خصوصیات فیزیولوژیک گیاه یوکا در آبیاری با آب شهری و پساب  
ستون‌های دارای حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند ( $p < 0/05$ ).

نتیجه گرفت میانگین این متغیر در بین دو تیمار در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. میانگین طول برگ در گیاه یوکا آبیاری شده با پساب بهداشتی ۵۴۰ میلی‌متر و با آب شرب ۴۹۰ میلی‌متر است. قلی‌کندی و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند آبیاری با پساب بهداشتی منجر به افزایش وزن و رشد اندام‌های گیاه آفتابگردان روغنی می‌شود توکلی‌نکو و پورمیدانی (۱۳۹۸) عملکرد پارامترهای مرفولوژیک برخی گونه‌ها اکالیپتوس شامل ارتفاع نهال، قطر تنه در ارتفاع ۳۰ سانتی‌متری از سطح زمین، رشد ارتفاعی، رشد قطری و نسبت ارتفاع به قطر را بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که عملکرد پارامترهای مرفولوژیک در آبیاری با پساب بهداشتی از آب شرب بهتر و می‌توان از پساب بهداشتی برای آبیاری فضای سبز استفاده کرد. مقدار اختلاف وزن خشک کل برگ (گرم) ۰/۲۴ می‌باشد که کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت میانگین این متغیر در بین دو تیمار دارای اختلاف آماری معنی‌دار است. میانگین وزن خشک کل برگ (گرم) در گیاه یوکا آبیاری شده با پساب بهداشتی ۱۳۵ گرم و با آب شرب ۱۲۳ گرم می‌باشد. مقدار اختلاف وزن خشک ساقه (گرم) ۰/۶۵ می‌باشد که کمتر از سطح معنی‌داری ۰/۰۵ می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت میانگین این متغیر در بین دو تیمار آبیاری با پساب و آب شرب دارای اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵ درصد است. نتیجه مطالعه امیری و همکاران (۱۳۹۹) نشان داد که استفاده مجدد از پساب شهری باعث افزایش عملکرد فیزیولوژیک گونه درختی کنوکارپوس در مقایسه با آبیاری با آب شرب می‌شود. میانگین وزن خشک ساقه (گرم) در گیاه یوکا آبیاری شده با پساب بهداشتی ۱۶۴ گرم و با آب شرب ۱۵۵ گرم می‌باشد. سطح معنی‌داری اختلاف تعداد ریشه در دو تیمار آبیاری ۰/۶۵ است که کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت میانگین این متغیر در بین دو گروه دارای اختلاف آماری معنی‌دار است. میانگین تعداد ریشه در گیاه یوکا آبیاری شده با پساب بهداشتی ۶ ریشه و با آب شرب ۴ ریشه می‌باشد. سطح معنی‌داری اختلاف اندازه ریشه ۰/۱۸ می‌باشد، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت میانگین این متغیر در بین دو گروه دارای اختلاف

#### ۴- بحث

هدف این مطالعه تعیین و بررسی راه‌کارهای کاهش مصرف آب شرب و امکان استفاده مجدد از پساب بهداشتی در آبیاری فضاهای سبز شهری و صنعتی به‌عنوان منبع پایدار تأمین‌کننده در آبیاری گیاهان بوده است. لذا این تحقیق به ارزیابی و مقایسه میزان رشد و عملکرد گیاه یوکا با آبیاری با پساب بهداشتی و آب شرب در منطقه پارس جنوبی پرداخته است. با توجه به نتایج حاصل می‌توان گفت که آبیاری با پساب بهداشتی باعث افزایش کلیه صفات مورداندازه‌گیری در مقایسه با آبیاری با آب شرب در گیاه یوکا شده است. مقدار اختلاف ارتفاع از محل طوقه گیاه تا انتهای بوته ۰/۲۶ می‌باشد که کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد. بنابراین می‌تواند نتیجه گرفت میانگین این متغیر در بین دو تیمار آبیاری با پساب بهداشتی و آب شرب دارای اختلاف آماری معنی‌دار است. میانگین ارتفاع از محل طوقه گیاه تا انتهای بوته در گیاه یوکا آبیاری شده با پساب بهداشتی ۶۱۰ میلی‌متر و با آب شرب ۵۷۰ میلی‌متر می‌باشد. Al- Khamisi et al. (2013) به ارزیابی اثر آب آبیاری با آب پساب بر خصوصیات رشد گیاه پرداخته و نتایج نشان داد که پساب سبب افزایش رشد و عملکرد گیاهان شده و تاثیر پساب بر عملکرد و رشد گیاهان معنی‌داری است. Lado et al. (2009) در بررسی ارتباط با ارزیابی اثرات آبیاری با پساب بر خصوصیات خاک و صفات رویشی گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک نشان داد که آبیاری خاک‌های شنی و رسی با پساب باعث افزایش شوری خاک تا عمق ۱/۵ متری و اثرگذاری بر خصوصیات رویشی گیاهان شده است. همچنین نتایج این قسمت از پژوهش مطابق با مطالعات قلی‌کندی و همکاران (۱۳۹۴) می‌باشد. نتیجه مطالعه حاضر نشان داد که سطح معنی‌داری اختلاف تعداد برگ در آبیاری تحت دو تیمار پساب و آب شرب ۰/۱۳ می‌باشد که کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت میانگین این متغیر در بین دو تیمار دارای اختلاف آماری معنی‌دار است. میانگین تعداد برگ در گیاه یوکا آبیاری شده با پساب بهداشتی ۶۴ برگ و با آب شرب ۵۹ برگ می‌باشد. مقدار اختلاف طول برگ ۰/۱۷۲ می‌باشد که کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد. بنابراین می‌توان

در بررسی شاخص‌های وزن اندام‌های رویشی، اثر پساب در این شاخص‌ها معنی‌دار بوده است. در ارزیابی تعداد ریشه نشان داده شده است که آب شرب نسبت به آب پساب اثر معنی‌داری داشته و بسیار مؤثرتر عمل کرده و سبب افزایش تعداد ریشه شده و در شاخص اندازه ریشه نتیجه کاملاً برعکس ارائه شده است. دلیل کم بودن رشد ریشه در آبیاری با پساب را می‌توان این‌طور تفسیر کرد که وقتی در گیاه رشد اندام‌های هوایی مانند ساقه و برگ سریع‌تر می‌شود به‌صورت معمول رشد ریشه‌ها با سرعت کم‌تری انجام می‌شود نسبت به زمانی که گیاه رشد اندام‌های هوایی‌اش کم‌تر باشد. همچنین در ارزیابی میزان تأثیرگذاری آن بر میزان صفات فیزیولوژی مانند آنزیم‌ها نتایج تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست‌آمده نشان می‌دهد، فعالیت آنزیم کاتالاز دارای اختلاف معنی‌داری بین کرت‌های آبیاری شده با پساب بهداشتی و آب شرب می‌باشد ولی فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز GPX و اسکوربات پراکسیداز در بین کرت‌های اختلاف معنی‌داری نداشته است. به عبارتی فعالیت این دو آنزیم در بین کرت‌های آبیاری شده با پساب بهداشتی و کرت‌های آبیاری شده با آب شرب هیچ تفاوتی ندارد. بنابراین با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌تواند توصیه کرد که از پساب تصفیه‌شده در آبیاری فضای سبز استفاده شود. به‌طوری‌کل نتایج این تحقیق بیانگر عملکرد بهتر گیاه در خصوصیات فیزیولوژیک و مرفولوژیک گیاه یوکا در تیمار آبیاری با پساب است. درواقع پساب بهداشتی نه تنها منبع آبیاری بوده بلکه دارای عناصر غذایی است که باعث رشد و عملکرد بهتر گیاه یوکا شده است.

##### ۵- نتیجه‌گیری

امروزه مسئله کمبود آب و تخریب محیط زیست به عنوان یکی از بزرگ‌ترین مشکلات جوامع بشری مطرح می‌باشد. مهم‌ترین دلایل کمبود آب افزایش جمعیت، ارتقاء سطح زندگی، تغییرات آب و هوا و عدم مدیریت صحیح منابع آب می‌باشد. همچنین محدودیت منابع آب در کشاورزی و نیاز روزافزون به آب در بخش صنایع و کشاورزی استان به دغدغه مسئولین استان تبدیل شده است. در این شرایط تصفیه و باز چرخش فاضلاب‌ها مهم‌ترین راهکار در توسعه مدیریت منابع آب می‌باشد که می‌تواند نقش مهمی در رابطه با مشکلات کم آبی ایفا نماید. بررسی‌های اخیر استفاده مجدد آب نشان داده است که بهترین پروژه‌های استفاده مجدد از نظر امکان‌پذیری اقتصادی و مقبولیت عمومی آن‌هایی هستند که آب احیاء شده را در مصارف آبیاری و صنعتی با آب آشامیدنی جایگزین نموده‌اند. مزایای عمده این جایگزینی، ذخیره و حفظ منابع آب و کاهش آلودگی بوده است. با توجه به شرایط اقلیمی ایران و کمبود منابع آبی بخصوص در منطقه عسلویه، و با هدف کمک به رفع چالش‌های زیست‌محیطی موجود و استفاده پایدار از پساب فاضلاب به‌عنوان منبع تأمین‌کننده آب و مواد مغذی مورد نیاز گیاهان، این تحقیق به بررسی تفاوت رشد فیزیولوژیک و مرفولوژیک گیاه یوکا با آبیاری توسط پساب بهداشتی و آب شرب پرداخته است. هدف مطالعه حاضر بررسی مقایسه‌ای رشد گونه یوکا با آبیاری توسط پساب بهداشتی و آب شرب در نیروگاه متمرکز پارس جنوبی می‌باشد. در این مطالعه، متغیرهای مرفولوژیک گیاه شامل ارتفاع از محل طوقه گیاه تا انتهای بوته، تعداد برگ، تعداد ساقه، طول برگ، وزن خشک کل برگ، وزن خشک ساقه، تعداد ریشه و اندازه

آماری معنی‌دار است. میانگین اندازه ریشه در گیاه یوکا آبیاری شده با پساب بهداشتی ۵۶۰ میلی‌متر و با آب شرب ۴۹۰ میلی‌متر می‌باشد. مقدار اختلاف فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) ۰/۰۴۸ می‌باشد که کم‌تر از ۰/۰۵ می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت میانگین این متغیر در بین دو تیمار آبیاری دارای اختلاف آماری معنی‌دار است. میانگین فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) در گیاه یوکا آبیاری شده با پساب بهداشتی ۰/۱۳۶ و با آب شرب ۰/۵۱۷ می‌باشد. مقدار اختلاف فعالیت آنزیم اسکوربات پراکسیداز (APX) ۰/۰۱۹ می‌باشد که کم‌تر از ۰/۰۵ می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت میانگین این متغیر در بین دو گروه دارای اختلاف آماری معنی‌دار است. میانگین فعالیت آنزیم اسکوربات پراکسیداز (APX) در گیاه یوکا آبیاری شده با آب پساب بهداشتی ۰/۶۲۷ و با آب شرب ۰/۷۱۳ می‌باشد. مقدار اختلاف فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز (GPX) ۰/۰۴۲ می‌باشد که کم‌تر از ۰/۰۵ می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت میانگین این متغیر در بین دو تیمار آبیاری دارای اختلاف آماری معنی‌دار است. میانگین فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز (GPX) در گیاه یوکا آبیاری شده با پساب بهداشتی ۰/۰۸۸ و با آب شرب ۰/۱۷۱ می‌باشد. نتیجه مطالعه حیدری و جمشیدیان (۱۳۸۸) نشان داد آبیاری با فاضلاب سبب کاهش معنی‌داری در فعالیت سه آنزیم آنتی‌اکسیدان کاتالاز (CAT)، اسکوربات پراکسیداز (APX) و گلوکاتایون پراکسیداز (GPX) در برگ‌های ارزن گردیده است. به‌طور کلی براساس نتایج آزمایش‌های انجام‌شده می‌توان نتیجه گرفت استفاده از پساب بهداشتی به‌عنوان آب آبیاری گیاه یوکا اثرات مطلوبی بر عملکرد کلی گیاه داشته است. نتایج نشان داد که ارتفاع از محل طوقه گیاه تا انتهای بوته در تیمار آبیاری با پساب ۶۱ میلی‌متر و در تیمار آبیاری با آب شرب ۵۷ میلی‌متر است. تعداد برگ در تیمار آبیاری با پساب ۶۴ برگ و در تیمار آبیاری با آب شرب ۵۹ برگ بوده است. تعداد ساقه در هر دو تیمار برابر و تعداد ۱ ساقه است. طول برگ در تیمار آبیاری با پساب ۵۴ میلی‌متر و در تیمار آبیاری با آب شرب ۴۹ میلی‌متر است. وزن خشک کل برگ در تیمار آبیاری با پساب ۱۳۵ گرم و در تیمار آبیاری با آب شرب ۱۲۳ گرم است. وزن خشک ساقه در تیمار آبیاری با پساب ۱۶۴ گرم و در تیمار آبیاری با آب شرب ۱۵۵ گرم است. تعداد ریشه در تیمار آبیاری با پساب ۶ ریشه و در تیمار آبیاری با آب شرب ۴ ریشه است. اندازه ریشه در تیمار آبیاری با پساب ۵۶۰ میلی‌متر و در تیمار آبیاری با آب شرب ۴۹۰ میلی‌متر است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت گیاه در تیمار آبیاری با پساب بهداشتی عملکرد فیزیولوژیک بهتری نسبت به تیمار آبیاری با آب شرب داشته است. میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) در تیمار آبیاری با پساب ۰/۱۳۶ و در تیمار آبیاری با آب شرب ۰/۵۱۷ است. میزان فعالیت آنزیم اسکوربات پراکسیداز (APX) در تیمار آبیاری با پساب ۰/۶۲۷ و در تیمار آبیاری با آب شرب ۰/۷۱۳ است. میزان فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز (GPX) در تیمار آبیاری با پساب ۰/۰۸۸ و در تیمار آبیاری با آب شرب ۰/۱۷۱ است. بنابراین میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در تیمار آبیاری با پساب کم‌تر از میزان فعالیت آنزیم‌ها در تیمار آبیاری با آب شرب است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده کاربرد پساب در صفات رویشی تأثیرگذار بوده و سبب افزایش صفات رویشی مانند تعداد برگ، رشد ساقه و تعداد ریشه و رشد آن شده است.

دکتر طباطبایی عضو هیات علمی گروه محیط زیست واحد بوشهر که ما را در انجام آنالیزهای آزمایشگاهی این تحقیق یاری نمودند، صمیمانه تشکر می‌نمایم.

ریشه و متغیرهای فیزیولوژیکی گیاه شامل فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT)، آنزیم اسکوبات پراکسیداز (APX)، گلوکاتیون پراکسیداز (GPX) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از آزمایش حاکی از اختلاف معنی‌دار در متغیرهای مورد بررسی در بین دو تیمار در سطح احتمال ۵٪ است. مقدار متغیرهای مرفولوژیکی مورد بررسی (به جز تعداد ساقه که در هر دو تیمار یکسان می‌باشد) در تیمار آبیاری با پساب بهداشتی به مراتب بیش‌تر از مقدار آن در تیمار آبیاری با آب شرب می‌باشد. همچنین میزان فعالیت آنزیم‌های مورد بررسی در تیمار آبیاری با پساب بهداشتی کم‌تر از میزان آن در تیمار آبیاری با آب شرب بود. نتایج این مطالعه نشان داد گیاه یوکا که با پساب بهداشتی مورد آبیاری قرار گرفته است در پارامترهای مرفولوژیکی گیاه به میزان ۸٪ و در پارامترهای فیزیولوژیکی به میزان ۲٪ عملکرد بهتری را در متغیرهای مورد مطالعه نسبت به گونه مشابه خود که با آب شرب مورد آبیاری قرار گرفته است نشان می‌دهد.

### تقدیر و تشکر

بدینوسیله از مسئولین محترم اداره منابع طبیعی عسلویه که فضای لازم جهت ایجاد پایلوت تحقیق را در اختیار ما گذاشتند، و از سرکار خانم

### منابع

- توکلی‌نکو، ح.، پورمیدانی، ع.، ۱۳۹۸. بررسی سازگاری و عملکرد پرونانس‌های گونه‌های صنعتی اکالیپتوس در ایستگاه تصفیه فاضلاب شهر قم، نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، سال ۲۶، شماره ۴، ص ۱۱۲-۱۰۱.
- جوکار، ه.، امیری، ف.، طباطبایی، ط.، ۱۳۹۹. امکان‌سنجی استفاده از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب در آبیاری کنوکارپوس *Conocarpus lancifolius*، نشریه مطالعات علوم محیط زیست، سال ۵، شماره ۴، ص ۳۱۹۰-۳۱۹۷.
- چوپان، ی.، خاشعی سیوکی، ع.، شهیدی، ع.، ۱۳۹۷. اثر آبیاری با فاضلاب تصفیه شده شهر تربت حیدریه بر عملکرد مرفولوژیک پنبه رقم ورامین، نشریه پژوهش آب در کشاورزی، سال ۳۲، شماره ۱، ص ۶۷-۷۸.
- حیدری، م.، جمشیدیان، پ.، ۱۳۸۸. تأثیر آبیاری با فاضلاب تصفیه شده شهری و محلول‌پاشی کود کامل بر عملکرد دانه و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در ارزن دم‌روباهی، نشریه یافته‌های نوین کشاورزی، سال ۳، شماره ۴، ص ۳۴۵-۳۵۳.
- قلی‌کندی، گ. ب.، جمشیدی، ش.، ابریشمی، ع.، ۱۳۹۴. بررسی اثر آبیاری آفتابگردان روغنی با پساب تصفیه شده شهری بر رشد و عملکرد گیاه و کیفیت خاک، نشریه بازیافت آب، سال ۲، شماره ۱، ص ۴۰-۲۷.
- Al Khamisi, S. A., Prathapar, S. A., and Ahmed, M., 2013. Conjunctive use of reclaimed water and groundwater in crop rotations. *Agricultural Water Management*, 116, 228-234. doi:https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.07.013.
- Ayers, R. S., and Westcot, D. W., 1985. *Water quality for agriculture (Vol. 29): Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome*. 186 p.
- Bauer, S., Linke, H., and Wagner, M., 2020. Optimizing water-reuse and increasing water-saving potentials by linking treated industrial and municipal wastewater for a sustainable urban development. *Water Science and Technology*, 81(9), 1927-1940. doi:https://doi.org/10.2166/wst.2020.257.
- Bedbabis, S., Ferrara, G., Ben Rouina, B., and Boukhris, M., 2010. Effects of irrigation with treated wastewater on olive tree growth, yield and leaf mineral elements at short term. *Scientia Horticulturae*, 126(3), 345-350. doi:https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.07.020.
- Bennett, N. D., Croke, B. F. W., Guariso, G., Guillaume, J. H. A., Hamilton, S. H., Jakeman, A. J., Marsili-Libelli, S., Newham, L. T. H., Norton, J. P., Perrin, C., Pierce, S. A., Robson, B., Seppelt, R., Voinov, A. A., Fath, B. D., Andreassian, V., 2013. Characterising performance of environmental models. *Environmental Modelling & Software*, 40, 1-20. doi:https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.09.011.



- Dazy, M., Jung, V., Féraud, J.-F., and Masfarau, J.-F., 2008. Ecological recovery of vegetation on a coke-factory soil: Role of plant antioxidant enzymes and possible implications in site restoration. *Chemosphere*, 74(1), 57-63. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.09.014>.
- Fatta-Kassinos, D., Kalavrouziotis, I. K., Koukoulakis, P. H., and Vasquez, M. I., 2011. The risks associated with wastewater reuse and xenobiotics in the agroecological environment. *Science of The Total Environment*, 409(19), 3555-3563. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.03.036>.
- Hussain, M. I., Muscolo, A., Farooq, M., and Ahmad, W., 2019. Sustainable use and management of non-conventional water resources for rehabilitation of marginal lands in arid and semiarid environments. *Agricultural Water Management*, 221, 462-476. doi:<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.04.014>.
- Jodar-Abellan, A., López-Ortiz, M. I., and Melgarejo-Moreno, J., 2019. Wastewater Treatment and Water Reuse in Spain. Current Situation and Perspectives. *Water*, 11(8), 1551. doi:<https://doi.org/10.3390/w11081551>.
- Kalavrouziotis, I. K., and Apostolopoulos, C. A., 2007. An integrated environmental plan for the reuse of treated wastewater effluents from WWTP in urban areas. *Building and Environment*, 42(4), 1862-1868. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.07.016>.
- Lado, M., and Ben-Hur, M., 2009. Treated domestic sewage irrigation effects on soil hydraulic properties in arid and semiarid zones: A review. *Soil and Tillage Research*, 106(1), 152-163. doi:<https://doi.org/10.1016/j.still.2009.04.011>.
- Li, Z., Ma, Z., van der Kuijp, T. J., Yuan, Z., and Huang, L., 2014. A review of soil heavy metal pollution from mines in China: Pollution and health risk assessment. *Science of The Total Environment*, 468-469, 843-853. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.08.090>.
- Morote, Á.-F., Olcina, J., and Hernández, M., 2019. The use of non-conventional water resources as a means of adaptation to drought and climate change in Semi-Arid Regions: South-Eastern Spain. *Water*, 11(1), 93. doi:<https://doi.org/10.3390/w11010093>.
- Nouri, H., Chavoshi Borujeni, S., and Hoekstra, A. Y., 2019. The blue water footprint of urban green spaces: An example for Adelaide, Australia. *Landscape and Urban Planning*, 190, 103613. doi:<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103613>.
- Oleszek, W., Terelak, H., Maliszewska-Kordybach, B., and Kukula, S., 2003. Soil, Food and Agroproduct Contamination Monitoring in Poland. *Polish Journal of Environmental Studies*, 12(3), 261-268.
- Rijsberman, F. R., 2006. Water scarcity: Fact or fiction? *Agricultural Water Management*, 80(1), 5-22. doi:<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.001>.
- Skardi, M. J. E., Kerachian, R., and Abdolhay, A., 2020. Water and treated wastewater allocation in urban areas considering social attachments. *Journal of Hydrology*, 585, 124757. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124757>.
- Vithanage, M., Dabrowska, B. B., Mukherjee, A. B., Sandhi, A., and Bhattacharya, P., 2012. Arsenic uptake by plants and possible phytoremediation applications: a brief overview. *Environmental Chemistry Letters*, 10(3), 217-224. doi:<https://doi.org/10.1007/s10311-011-0349-8>.