

Effect of Irrigation with Wastewater on Some Physiological and Morphological Characteristics of *Rosmarinus Officinalis* (Case Study: Yazd City Wastewater)

Zahra Ghasemi¹, Ali Akbar Karimian^{2*}, Hamid Reza Azim Zadeh² and Hamid Sodaeezadeh²

1- M.Sc. in Environmental Sciences, Yazd University, Yazd, Iran.

2- Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran.

*Corresponding author; Email: akarimian@yazd.ac.ir

Received: 09/05/2018

Revised: 17/12/2018

Accepted: 17/12/2018

Abstract

Due to the limited resources of the water and the excessive growth of the population, the use of sewage in agriculture and green space irrigation is inevitable. In this regard, a research was carried out in city of Yazd to investigate the effect of irrigation with refined and untreated sewage on *Rosmarinus officinalis*, a species in the urban green space. This study was carried out in a randomized complete block design with five treatments (drinking water, refined wastewater, non-refined wastewater, refined wastewater + drinking water with a ratio of 1:1 and non-refined wastewater + drinking water with a ratio of 1:1) and 5 replicates. The results of chemical characterization of irrigation treatments showed that pH (7.2) and EC (1.27 ds/m) and the concentration of heavy metals, Pb and Zn in the effluent were in accordance with the FAO standard (0.5 and 0.24 mg/l, respectively) but cadmium concentration in both treatments was higher than the FAO standard level (0.02 and 0.04 mg/l). The results of morphological traits of *Rosmarinus officinalis* showed that there was no significant difference between different concentrations of sewage in terms of plant growth and root dry weight ($p > 0.05$). The effect of irrigation with wastewater on dry weight of shoot and plant diameter was statistically significant ($p < 0.05$). The highest dry weight and diameter were obtained with non-refined wastewater. The results of physiological traits such as chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, glucose and proline showed a significant difference between treatments ($p < 0.05$). The highest amounts of chlorophyll a, chlorophyll b, and total chlorophyll were observed for the irrigation with refined wastewater, and the highest amount of glucose and proline was related to irrigation with non-refined wastewater.

Keywords: Irrigation, Non-refined wastewater, Refined wastewater, *Rosmarinus officinalis*, Unconventional water, Yazd city sewage.

تاثیر آبیاری با فاضلاب بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی رزماری (مطالعه موردی: فاضلاب شهر یزد)

زهرا قاسمی^۱، علی اکبر کریمیان^{۲*}، حمیدرضا عظیم زاده^۲ و حمید سودایی زاده^۲

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد محیط زیست، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

۲- عضو هیئت علمی دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد

* نویسنده مسئول، ایمیل: akarimian@yazd.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۱۹

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۷/۰۹/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۲۶

چکیده

باتوجه به محدود بودن منابع آب و رشد بی‌رویه جمعیت، استفاده از فاضلاب در کشاورزی و فضای سبز امری اجتنابناپذیر است. در این راستا تحقیقی به منظور بررسی تاثیر آبیاری با فاضلاب تصفیه شده و تصفیه نشده شهر یزد بر عملکرد گونه رزماری^۱، از گونه های موجود در فضای سبز شهری انجام شد. این بررسی در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با پنج تیمار (آب شرب، فاضلاب تصفیه شده، فاضلاب تصفیه نشده، فاضلاب تصفیه شده + آب شرب با نسبت ۱:۱ و فاضلاب تصفیه نشده + آب شرب با نسبت ۱:۱) و ۵ تکرار اجرا شد. نتایج بررسی خصوصیات شیمیایی تیمارهای مورد استفاده برای آبیاری نشان داد که pH (۷/۲) و EC (۱/۲۷ دسی‌زیمنس بر متر) و غلظت عناصر سنگین سرب (۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر) و روی (۰/۲۴ میلی‌گرم بر لیتر) در محدوده مجاز، طبق استاندارد فائو بوده ولی کادمیوم در هردو تیمار (۰/۰۲ و ۰/۰۴ میلی‌گرم بر لیتر) بالاتر از حد مجاز استاندارد فائو (۰/۰۱) بود. نتایج بررسی صفات مورفولوژیکی گیاه رزماری نشان داد که بین غلظت‌های مختلف فاضلاب از نظر میزان رشد گیاه و وزن خشک ریشه اختلاف معنی داری وجود ندارد ($p > 0.05$). اثر آبیاری با فاضلاب بر وزن خشک اندام هوایی و قطر گیاه از نظر آماری معنی دار بود ($p < 0.05$). بیشترین وزن خشک اندام هوایی و قطر مربوط به تیمار آبیاری با فاضلاب تصفیه نشده بود. نتایج بررسی صفات فیزیولوژیکی گیاه شامل میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، قند و پرولین نشان داد که از نظر آماری بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی دار وجود دارد ($p < 0.05$). بیشترین میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل مربوط به فاضلاب تصفیه شده و بیشترین میزان قند و پرولین مربوط به فاضلاب تصفیه نشده بود.

کلمات کلیدی:

آبیاری، رزماری، فاضلاب تصفیه شده، فاضلاب تصفیه نشده، فاضلاب شهر یزد، آب نامتعارف

بیان نمودند که غلظت عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در خاک‌های تیمار شده با فاضلاب شهری به‌طور معنی‌داری بیشتر از خاک‌های تیمار شده با آب شرب است. در بررسی اثر آبیاری با فاضلاب بر رشد گیاه قره‌داغ در شرایط گلخانه‌ای نیز این نتایج حاصل شد که کاربرد فاضلاب در مقایسه با آب معمولی بر طول ساقه، وزن تر و خشک گیاه اثر مثبت دارد که دلیل آن وجود مواد مغذی موجود در فاضلاب است (شهرباری و همکاران، ۱۳۸۷). حسن-علی و همکاران (۱۳۸۴) در بررسی اثر فاضلاب تصفیه‌شده شهری در آبیاری فضای سبز در مرودشت نشان دادند که می‌توان از فاضلاب با تصفیه ثانویه برای آبیاری گونه‌های موجود در فضای سبز، بدون نگرانی جدی از آلودگی محیط زیست استفاده کرد، با این آگاهی که در برخی شرایط اثر آن بر رشد درختان بهتر از آب معمولی است. افزون بر آن، آبیاری با فاضلاب در روش موضعی از نظر مسایل محیط زیستی و استفاده بهینه از آب نسبت به دیگر روش‌ها مطلوب‌تر است. (Ali et al. (2011) در بررسی اثر فاضلاب بر رشد درخت ماهون گزارش نمودند که فاضلاب تصفیه‌شده اولیه تاثیر زیادی بر روی متغیرهای رشد گیاه داشت. فاضلاب تصفیه‌شده شهری شامل غلظت بالایی از مواد معلق و محلول (فلزات سنگین) و عناصر دیگر هستند که در طی مراحل تصفیه اولیه و ثانویه دفع می‌شوند. به همین دلیل فاضلاب تصفیه شده نسبت به فاضلاب خام مناسب‌تر است (Orrono and Lavado, 2009). در بررسی اثر آبیاری با فاضلاب بر رشد چمن، توسط ملکیان و همکاران (۱۳۸۷) این نتایج حاصل شد که میزان ارتفاع و عملکرد چمن به‌طور معنی‌داری در اثر استفاده از فاضلاب افزایش یافت. نتایج حاصل از بررسی‌های عسگری و همکاران (۱۳۸۷) نشان داد که استفاده از تیمارهای مختلف فاضلاب برای آبیاری به‌واسطه وجود عناصر غذایی همراه با آب آبیاری، باعث افزایش شاخص‌های رشد گیاه می‌شود. سروش و همکاران (۱۳۸۷) نیز در بررسی‌های خود بر روی گیاه چمن نشان دادند که آبیاری با فاضلاب باعث افزایش ارتفاع، رنگ و وزن خشک شده است. Paliwal et al. (1998) در بررسی اثر آبیاری با فاضلاب بر رشد، تولید و تجمع مواد غذایی در *Hardwighia binata* نشان دادند که تحت شرایط ایده‌آل، حداکثر رشد، تولید و شاخص سطح برگ در نتیجه آبیاری با فاضلاب به‌دست آمد. همچنین این بررسی‌ها نشان داد که سنتز کلروفیل با افزایش غلظت فاضلاب

با پیشرفت و توسعه فناوری و افزایش جمعیت، گسترش آلودگی در مناطق مختلف جهان به ویژه مناطق صنعتی، معدنی و کشاورزی رشد چشمگیری داشته است. علیرغم منابعی با وسعت زیاد، اغلب آلوده‌کننده‌های فلزی سرانجام به آب‌های سطحی و زیرزمینی منتهی می‌شود. ضایعات فلزی بسیاری از اعمال صنعتی مایع می‌باشند که به‌راحتی به آب‌های طبیعی می‌رسند. بقایای کشاورزی و ضایعات حفاری معادن و فاضلاب‌های خانگی در مقادیر فلزاتی که در آب‌های سطحی یافت می‌شوند سهیم‌اند (دبیری، ۱۳۸۷ Zohrehvand et al., 2017). آلودگی خاک-آب-گیاه با فلزات سنگین از نظر اقتصادی و اکولوژیکی وسامت بشر دارای اهمیت است. آلودگی عناصر شیمیایی یکی از عوامل اصلی تخریب محیط زیست محسوب می‌شود. بنابراین عناصر سنگین از جمله مهم‌ترین آلاینده‌های محیط زیست به‌شمار می‌آیند که در چند دهه اخیر به‌شدت مورد توجه قرار گرفته‌اند (Zohrehvand et al., 2014; Alloway, 1990). بنابراین فاضلاب‌ها می‌توانند یکی از عوامل آلوده‌کننده آب‌های سطحی و زیرزمینی باشند. با توجه به کمبود منابع آب با کیفیت مناسب استفاده مجدد از فاضلاب در تامین آب مورد نیاز به‌خصوص در مناطق گرم و خشک، برای مصارف گوناگون از جمله آبیاری فضای سبز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این راستا استفاده از فاضلاب به‌عنوان راه‌کاری برای غلبه بر مشکل کم آبی تلقی می‌شود. فاضلاب به‌دلیل دارا بودن عناصر مغذی فراوان مانند نیتروژن و فسفر نسبت به آب شرب (Bhati and Singh, 2003؛ صالحی، ۱۳۸۷؛ سروش، ۱۳۸۷) چنانچه منطبق با اصول علمی در تصفیه‌خانه‌ها تصفیه و مصرف شود، یک منبع آبی با ارزش در آبیاری فضای سبز محسوب می‌شود. یکی از روش‌های مناسب برای تصفیه فاضلاب، برکه‌های تثبیت است. برکه‌های تثبیت فاضلاب بدون شک در مناطق گرمسیری متناسب با خصوصیات اقلیمی منطقه و جایی‌که زمین کافی در اختیار باشد، یکی از روش‌های مناسب برای تصفیه فاضلاب است (فاضلیان دهکردی و همکاران، ۱۳۸۴).

تاکنون مطالعات متعددی در زمینه استفاده از فاضلاب در آبیاری فضای سبز صورت گرفته است. صالحی و همکاران (۱۳۸۷) در بررسی اثر فاضلاب بر رشد درختان کاج تهران

گونه رزماری از گونه‌های پرکاربرد در فضای سبز، به خصوص مناطق گرم و خشک است. رزماری دارای برگ‌های باریک و دارای گل‌های آبی مایل به بنفش، اندام گیاه دارای مصرف داروئی است و شوری خاک و آب را تا حدی تحمل می‌کند (ایران نژاد، ۱۳۸۶). با توجه به محدودیت منابع آب در مناطق خشک ایران، از جمله شهر یزد، استفاده از فاضلاب راه‌کاری مناسب برای صرفه‌جویی در مصرف منابع آب برای آبیاری فضای سبز است. تاکنون مطالعه‌ای در زمینه استفاده از فاضلاب در آبیاری گیاه رزماری صورت نگرفته است. هدف از انجام این تحقیق بررسی اثر فاضلاب شهر یزد بر خصوصیات فیزیولوژیکی و مرفولوژیکی رزماری است.

۲- مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در سال ۱۳۹۲-۱۳۹۳ در شهر یزد اجرا شد. نهال‌های تهیه شده از نهالستان اصفهان در داخل گلدان‌های زهکش‌دار حاوی خاک مرکب شامل دو واحد کود برگ و یک واحد ماسه کاشته شد. تیمارهای مورد بررسی در این تحقیق شامل آب شرب (آب مورد استفاده برای کشاورزی در گلخانه)، فاضلاب تصفیه شده، فاضلاب تصفیه نشده، فاضلاب تصفیه شده + آب شرب با نسبت ۱:۱ و فاضلاب تصفیه نشده + آب شرب با نسبت ۱:۱ بود که در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با پنج تکرار مقایسه شد. فاضلاب مورد استفاده در این تحقیق از فاضلاب تصفیه‌خانه شهر یزد از نوع برکه تثبیت بوده و از سیستم‌های برکه طبیعی (جریان سطحی)، برکه مصنوعی (جریان زیر سطحی)، ایمهاف تانک و سپتیک تانک و به‌صورت پایلوت استفاده می‌شود، که به‌صورت هفته‌ای تهیه شد. نهال‌های رزماری برای سازگارشدن با محیط جدید حدود ۲ هفته با آب شرب در گلخانه آبیاری شده و سپس آبیاری نهال‌ها با تیمارهای مختلف فاضلاب به‌صورت هفته‌ای یک مرتبه در هر نوبت با حدود یک لیتر آب با تیمارهای مشخص به مدت شش ماه انجام شد. نمونه‌ها در بطری‌های پلاستیکی به آزمایشگاه منتقل و pH و EC نمونه‌های فاضلاب تعیین شد. سپس pH نمونه‌ها با کمک اسیدنیتریک ۶۵ درصد به کمتر از ۲ رسانده و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶ ماه نگهداری شد. در نهایت، فلزات سنگین موجود در نمونه‌ها با کمک دستگاه جذب اتمی تعیین شد (مرادمند و بیگی هرچگانی، ۱۳۸۸). پس از

تصفیه شده کاهش می‌یابد که دلیل آن وجود عناصر سنگین در فاضلاب مورد استفاده است. (Parameswaran (1999 نیز در بررسی تاثیر آبیاری با فاضلاب بر تولید گیاه Helianthus tuberosus L) بیان نمود آبیاری با فاضلاب هیچ‌گونه اثر نامطلوبی بر گونه مورد مطالعه ندارد و تولید محصول در صورت آبیاری با فاضلاب با شرایطی که گیاه در شرایط مطلوب (آب سالم) آبیاری شود، تفاوتی ندارد. همچنین مقدار قند فروکتوز نیز در صورت آبیاری با فاضلاب در گیاه افزایش یافت. البته در استفاده از فاضلاب باید این موارد را نیز در نظر داشت که فاضلاب دارای فلزاتی مانند روی، نیکل، کادمیوم، سرب و مس است (Farahat and Linderholm, 2013). هرچند غلظت عناصر سنگین در فاضلاب ممکن است کم و ناچیز باشد، ولی تجمع آن‌ها در خاک می‌تواند سبب افزایش غلظت عناصر سنگین در گیاهان کشت شده در این خاک‌ها شود. فلزات سنگین گروه اصلی آلاینده‌های غیرآلی هستند که به‌دلیل استفاده از لجن یا فاضلاب‌های شهری، آفت‌کش‌ها، کود شیمیایی و ... سطح گسترده‌ای از اراضی را آلوده کرده‌اند. گرچه برخی از فلزات سنگین برای رشد گیاه لازم هستند ولی غلظت بیش از حد آن‌ها می‌تواند برای گیاه و جانور مشکل‌زا باشد. استفاده از فاضلاب در کوتاه‌مدت ممکن است سمیتی در گیاه ایجاد نکند، اما مصرف طولانی‌مدت فاضلاب‌ها یا به‌عبارتی ورود کنترل نشده عناصر سنگین به خاک‌ها سبب افزایش غلظت این عناصر در خاک شده و موجب تخریب خاک و ایجاد سمیت برای انسان و گیاهان نماید (صالحی و همکاران، ۱۳۸۷؛ Nirit et al., 2006). در تحقیقی طبری و صالحی (۱۳۹۰) به بررسی تاثیر آبیاری با استفاده از فاضلاب شهری بر تجمع فلزات سنگین در خاک پرداختند. براساس نتایج حاضر، با توجه به بالا بودن سطح فلزات سنگین فاضلاب شهری، استفاده طولانی‌مدت از آن‌ها در امر آبیاری می‌تواند باعث افزایش بیش از حد فلزات سنگین در خاک و اندام‌های گیاه شود. بنابراین در استفاده از فاضلاب برای آبیاری گیاهان باید مدت زمان آبیاری و نوع گیاهان انتخاب شده را نیز در نظر گرفت. یکی از راه‌های بسیار مهم برای مبارزه با بیابان‌زایی، افزایش پوشش گیاهی است. لذا انتخاب صحیح گونه‌های گیاهی سازگار و مقاوم با شرایط اکوسیستم‌های مناطق خشک در راستای احیا و ایجاد پوشش گیاهی و فضای سبز مناسب از یک‌طرف و تأمین منابع آب ارزان قیمت برای استقرار آن‌ها از طرف دیگر، امری ضروری است.

گذشت شش ماه از اعمال تیمارها، گیاهان برداشت شده و خصوصیات مرفولوژیک شامل ارتفاع گیاه برحسب سانتی‌متر، قطرساقه با استفاده از کولیس برحسب میلی‌متر، وزن خشک اندام هوایی و ریشه برحسب گرم و خصوصیات فیزیولوژیک شامل مقدار کلروفیل، پرولین و قندهای محلول، برحسب میلی‌گرم بر گرم در برگ نهال‌های مورد بررسی، اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری مقدار پرولین و قند به ترتیب از روش Bates (1973) و Kochert (1978) و همچنین مقدار کلروفیل برگ براساس روش Arnon (1967) تعیین شدند.

به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش، پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، از روش تجزیه واریانس یک‌طرفه و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. برای تجزیه آماری داده‌ها از نرم‌افزار Excel و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار SPSS آماری استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی خصوصیات شیمیایی فاضلاب آبیاری

در بررسی غلظت فلزات سنگین در فاضلاب مورد استفاده برای آبیاری، عناصری مانند سرب و کادمیوم و روی که نقش مهمی در ایجاد تغییرات در گیاهان و خاک دارند، مورد بررسی قرار گرفت. غلظت‌های به‌دست آمده برای عناصر سرب، کادمیوم و روی، با استاندارد کیفیت آب برای کشاورزی فائو مورد مقایسه قرار گرفت (جدول ۱). همان‌طور که در جدول ۱ ملاحظه می‌شود غلظت عناصر

سنگین سرب و روی در فاضلاب تصفیه شده و نشده کمتر از محدوده مجاز استاندارد مورد مقایسه و کادمیوم در هردو تیمار بالاتر از استاندارد فائو است. EC فاضلاب تصفیه نشده نسبت به آب شرب بیشتر بوده و درجه اسیدی فاضلاب تصفیه نشده و تصفیه شده نسبت به آب شرب بیشتر است. Ayers and Westcot (1985) مرز استاندارد pH در فاضلاب کاربردی را ۷/۶ و عابدی کوپایی و همکاران (۱۳۸۱)، pH آب مورد استفاده برای آبیاری را ۷/۶ و میانگین هدایت الکتریکی فاضلاب را ۱/۶ دی‌زیمنس بر متر گزارش نموده‌اند. بنابراین با توجه به نتایج حاصل شده در تحقیقات پیشین می‌توان گفت که خصوصیات شیمیایی تیمارهای مورد استفاده برای آبیاری در محدوده مجاز بوده است. البته لازم به ذکر است که طبق تحقیقات انجام شده توسط دهکردی و همکاران (۱۳۸۴) BOD₅ و COD فاضلاب ورودی و خروجی تصفیه‌خانه شهر یزد به ترتیب ۴۵/۸ و ۳۸۱/۷ میلی‌گرم بر لیتر است که طبق نتایج موجود در جدول ۱ می‌توان بیان نمود که BOD در محدوده مجاز و COD بیشتر از حد تعیین شده برای آبیاری در کشاورزی است. لازم به ذکر است که تغییرات فصلی و میزان موادآلی ورودی به فاضلاب، در کاهش یا افزایش BOD و COD فاضلاب تاثیر دارد (Ahmad et al., 2009).

۳-۲- بررسی صفات مرفولوژیکی گیاه رزماری

نتایج جدول تجزیه واریانس بیان‌گر آن است که اثر تیمار آبیاری بر قطر و وزن خشک اندام هوایی در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. ارتفاع و وزن خشک ریشه تحت تاثیر نوع آبیاری قرار نگرفت (جدول ۲).

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی تیمارهای مورد استفاده برای آبیاری

خصوصیات شیمیایی	آب شرب	فاضلاب تصفیه شده ^۱	فاضلاب تصفیه نشده ^۱	استاندارد FAO	بهره‌گیری در آب کشاورزی ^۲
pH	۷/۵۴	۷/۵	۷/۲	۷/۶	۶/۵-۸/۵
EC (ds/m)	۰/۶۵۱	۱/۵	۱/۲۷	۲/۹۷	-
BOD	-	۴۵/۸	۱۴۰	-	۱۰۰
COD	-	۳۸۱/۷	۴۴۰	-	۲۰۰
Cd (mg/l)	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۱	-
Pb (mg/l)	۰/۲	۰/۳	۰/۵	۵	-
Zn (mg/l)	۰/۱	۰/۱	۰/۳۴	۲	-

منبع: شرکت آبغای یزد

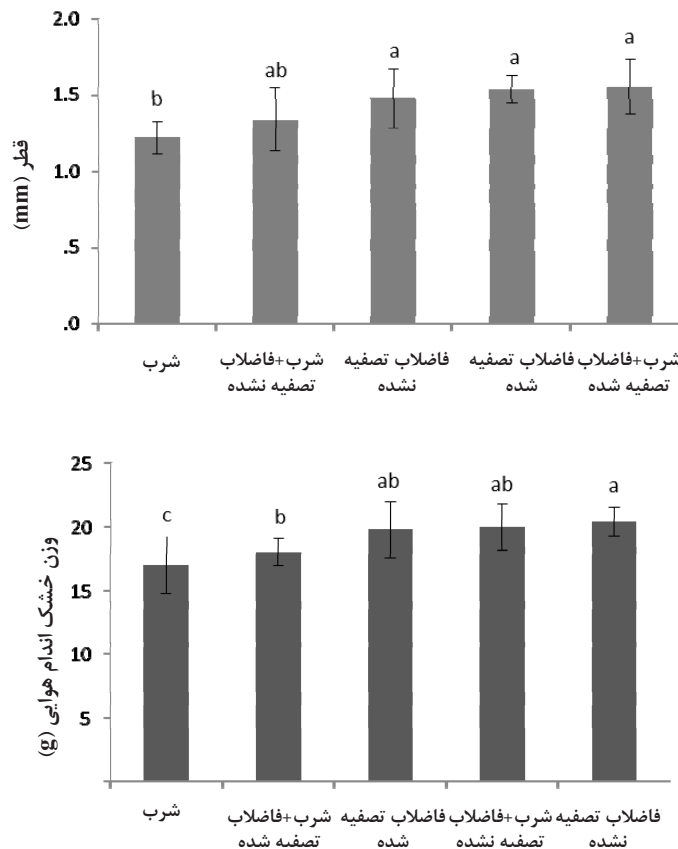
جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورفولوژیکی رزماری تحت تیمارهای مختلف آبیاری

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییر
وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام هوایی	قطر	ارتفاع		
۰/۰۹۳ ^{ns}	۴/۵۵۰ ^{ns}	۰/۰۲۵ ^{ns}	۶/۵۱۵ ^{ns}	۴	بلوک
۰/۲۱۶ ^{ns}	۱۰/۸۴۹*	۰/۱۰۴*	۱/۵۰۵ ^{ns}	۴	تیمار
۰/۲۳۳	۲/۷۰۵	۰/۰۲۷	۳/۰۶۲	۱۶	خطا

*معنی دار بودن در سطح احتمال ۵ درصد و ns نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار است.

تیمار آبیاری با آب شرب + فاضلاب تصفیه شده و شاهد تفاوتی دیده نمی شود (شکل ۱).
نتایج این تحقیق نشان دهنده آن است که وزن خشک اندام هوایی و قطر ساقه رزماری تحت تاثیر آبیاری با فاضلاب افزایش یافت و از طرف دیگر تیمار آبیاری با فاضلاب اثر منفی بر ارتفاع و وزن خشک ریشه رزماری نداشت. در نتایج مشابه با این تحقیق گزارش شد که رشد گونه های موجود در فضای

تمامی تیمارهای استفاده از فاضلاب به جز تیمار آب شرب مخلوط با فاضلاب تصفیه نشده، قطر ساقه را نسبت به شاهد به طور معنی داری افزایش دادند (شکل ۱). آبیاری با فاضلاب تصفیه نشده، فاضلاب تصفیه نشده وزن خشک اندام هوایی را نسبت به تیمار شاهد به طور معنی داری افزایش داد و بین این تیمار و تیمارهای فاضلاب تصفیه شده و شرب + فاضلاب تصفیه نشده از این نظر اختلاف معنی داری مشاهده نشد. همچنین بین



شکل ۱- خصوصیات مورفولوژیکی گیاه رزماری تحت تاثیر تیمارهای مختلف آبیاری، مقادیری که حروف مشترک دارند در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند

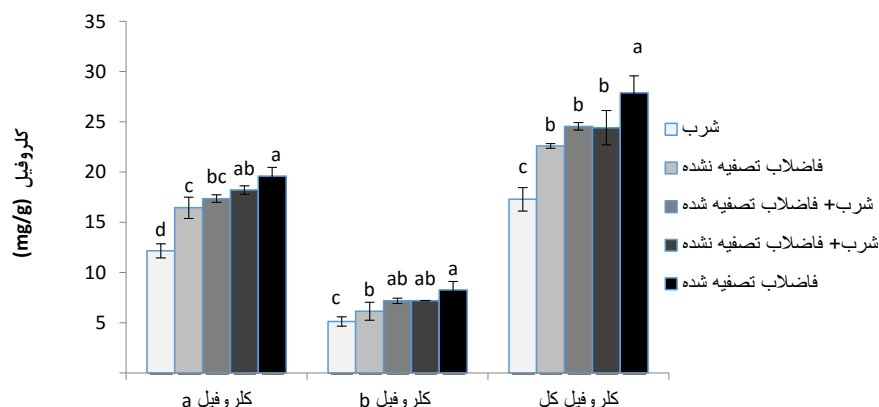
۳-۳- بررسی صفات فیزیولوژیکی رزماری

نتایج تجزیه واریانس تاثیر تیمارهای مختلف آبیاری روی خصوصیات فیزیولوژیکی رزماری در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج به دست آمده بیانگر آن است که اثر تیمار آبیاری بر میزان کلروفیل، قند و پروتئین در سطح ۵ درصد معنی دار بوده است.

نتایج مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیکی گیاه در شکل ۲ آورده شده است. بر این اساس بیشترین و کمترین مقدار کلروفیل a به ترتیب مربوط فاضلاب تصفیه شده و آب شرب است. بیشترین مقدار کلروفیل b در تیمار فاضلاب تصفیه شده به دست آمد که با دو تیمار فاضلاب تصفیه شده و نشده مخلوط با آب تفاوت معنی داری نداشت. مقدار کلروفیل کل نیز روند مشابهی را طی کرد و بیشترین و کمترین مقدار به ترتیب در فاضلاب تصفیه شده و آب شرب به دست آمد (شکل ۲).

نتایج بررسی های گوناگون نشان می دهد که کلروفیل با افزایش غلظت فاضلاب کاهش می یابد. نتایج این تحقیق بیانگر آن است که آبیاری رزماری با فاضلاب میزان کلروفیل را نسبت به آب شرب افزایش داد که با یافته های سایر تحقیقات که نشان دهنده کاهش مقدار کلروفیل با افزایش غلظت فاضلاب است (Paliwal et al., 1998; Mostafa et al., 2013)، همخوانی ندارد. در این بررسی ها بیان شده که مقدار کلروفیل در فاضلاب تصفیه شده و نشده به نسبت ۱:۱ (رقیق شده با آب شرب) نسبت به فاضلاب خام (تصفیه نشده) بیشتر بود.

سبز مانند چمن، چمن برموداگراس و کاج تهران در اثر آبیاری با فاضلاب در مقایسه با شاهد به طور معنی داری افزایش یافت (سروش و همکاران، ۱۳۸۷؛ ملکیان و همکاران، ۱۳۸۷؛ صالحی و همکاران، ۱۳۸۷). دلیل این افزایش رشد را می توان وجود عناصر غذایی بیشتر در فاضلاب در مقایسه با آب شرب نسبت داد. عناصر غذایی (نیترژن، فسفر) موجود در فاضلاب می تواند شرایط بهتری را برای رشد گیاه فراهم آورد (صالحی و همکاران، ۱۳۸۷؛ Mojid et al., 2012). جلالی و همکاران (۱۳۸۹) در بررسی خود بر گیاه سورگوم علوفه ای نشان دادند که بیشترین قطر ساقه در تیمار آبیاری با فاضلاب + آب شرب به دست آمد. (Ali et al. (2011) نیز به بررسی اثر آبیاری با فاضلاب (اولیه و ثانویه) و مقایسه آن با آبیاری با آب شرب و تاثیر آن بر رشد درخت ماهون و ساختار شیمیایی آن پرداختند. نتایج این بررسی نشان داد که فاضلاب تصفیه شده اولیه دارای تاثیر زیادی بر روی متغیرهای رشد (ارتفاع، قطر ساقه، مساحت برگ، شمار برگ ها، وزن خشک و زنده برگ ها، ساقه و ریشه و همچنین نسبت ساقه به ریشه) درخت ماهون دارد. از طرف دیگر تاثیر فاضلاب ثانویه بیشتر از آب چاه است. برخلاف نتایج این تحقیق (Paliwal et al. (1998) در بررسی های خود بیان نمودند که وجود نمک در فاضلاب منجر به کاهش وزن خشک ریشه، ساقه و برگ گیاه شد. متفاوت بودن خصوصیات شیمیایی فاضلاب و روش مورد استفاده برای تصفیه آن و همچنین فصل آبیاری گیاهان با فاضلاب، دلیل مشابه نبودن نتایج تحقیقات مختلف در این زمینه است.



شکل ۲- مقایسه میانگین غلظت کلروفیل "a"، میزان کلروفیل "b" و "کلروفیل کل" در برگ رزماری تحت تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری. مقادیری که حروف مشترک دارند در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند

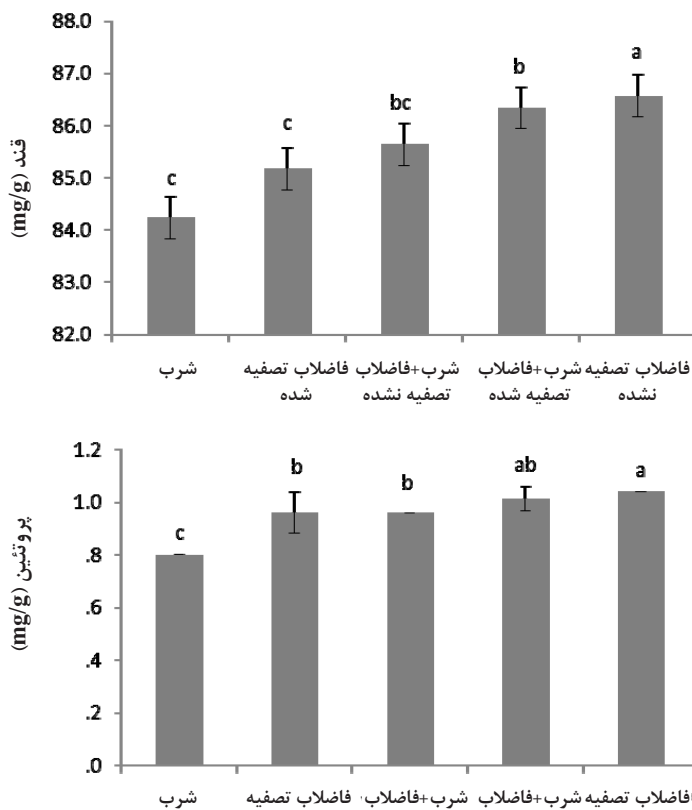
جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مقدار کلروفیل، پرولین و قندهای محلول موجود در برگ رزماری

میانگین مربعات					درجه آزادی	منابع تغییر
قند	پرولین	کلروفیل کل	کلروفیل b	کلروفیل a		
۰/۱۳۱ ^{NS}	۰/۰۰۳ ^{NS}	۰/۶۲۶ ^{NS}	۰/۴۰۷ ^{NS}	۰/۱۳۰ ^{NS}	۴	بلوک
۲/۶۴۶**	۰/۲۶۰**	۴۵/۳۲۰**	۴/۲۷۵**	۲۳/۸۶۱**	۴	تیمار
۰/۱۷۱	۱/۰۰	۱/۶۶۴	۰/۳۴۱	۰/۶۳۵	۱۶	خطا

**معنی دار بودن در سطح احتمال ۱ درصد و NS نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار است.

و پرولین برگ رزماری نشان می دهد. بر این اساس بیشترین و کمترین مقدار قند و پرولین تولید شده مربوط به تیمار آبیاری با فاضلاب تصفیه نشده است. در نتایج مشابه با این تحقیق (Parameswaran 1999) بیان نمود که آبیاری گیاهان با فاضلاب تصفیه نشده باعث افزایش تولید قند در لندم های گیاه می شود. مطالعات گوناگون نشان دهنده آن است که افزایش قند یک نوع واکنش گیاه در برابر ایجاد تنش است (Bates et al., 1973). تنش ایجاد شده در این مطالعه را می توان به وجود فلزات سنگین در فاضلاب نسبت داد که با تحقیقات Naderi

دلیل این امر عناصر سنگین موجود در فاضلاب بیان شده که با تصفیه یا رقیق نمودن آن، اثرات منفی آن بر کلروفیل کاهش یافته است. به طور کلی نتایج مطالعات مختلف نشان داد که فلزات سنگین می تواند باعث کاهش میزان کلروفیل شوند. در بررسی اثر کادمیوم بر گیاه کلزا (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶) اثر سرب بر دو گونه گندم و اسفناج (Lamhamdi et al., 2013) باعث کاهش در مقادیر کلروفیل a، b و کلروفیل کل نسبت به گیاهان شاهد شده که در نتایج حاصل از این پژوهش نیز دیده شد. شکل ۳ اثر تیمار آبیاری را بر میزان قندهای محلول



شکل ۳- مقایسه میانگین غلظت قند و پرولین موجود در برگ رزماری تحت تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری. مقادیری که حروف مشترک دارند در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند

et al. (2013) هم‌خوانی دارد. هنگامی که غلظت فلزی از حد آستانه محدود فراتر رود، یون‌های فلزی عوامل تنش‌زایی می‌شود که در نهایت در بعضی ژنوتیپ‌ها، کاهش قدرت گیاه و ممانعت رشد و یا حتی مرگ را باعث می‌شود. به‌نظر می‌رسد آبیاری با آب‌های حاوی فلزات سنگین از جمله، سرب و کادمیوم باعث کاهش سنتز کلروفیل، افزایش قند و پرولین می‌شود که با افزایش غلظت فلزات نامبرده، روند صعودی پیدا می‌کند. (Khatamipour et al., 2011; Grejtovský et al. (2008) Ahmad and Al-Hajri (2009) در تحقیقات خود نشان دادند که با افزایش غلظت فاضلاب، مقدار pH و EC خاک افزایش یافته که این افزایش می‌تواند باعث افزایش جذب فلزات سنگین در خاک شود. (Bhati and Singh (2003) در بررسی اثر فاضلاب بر تجمع عناصر سنگین در خاک گزارش نمودند که استفاده از فاضلاب با غلظت‌های متفاوت برای آبیاری باعث افزایش مقدار قابل جذب عناصری مانند روی، کادمیوم و سرب در خاک آبیاری شده با فاضلاب در مقایسه با آب سالم می‌شود. بنابراین با توجه به وجود فلزات سنگین در فاضلاب مورد استفاده برای آبیاری در این تحقیق، از جمله سرب و کادمیوم (جدول ۱)، اگرچه مقدار این فلزات در حد مجاز برای آبیاری قرار دارند، ولی استفاده از فاضلاب برای طولانی‌مدت باعث افزایش آن‌ها در خاک و گیاه شده (Rattan et al., 2005) و در نهایت اثر خود را بر خصوصیات مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه می‌گذارد. در این تحقیق اثر فاضلاب تصفیه شده و نشده بر گیاه رزماری برای مدت شش ماه مورد بررسی قرار گرفت. مشخص شد که گیاه می‌تواند در برابر تنش ایجاد شده با تولید پرولین و قند از خود واکنش نشان داده و از تخریب بافت‌های خود در اثر تجمع فلزات سنگین جلوگیری نماید.

۴- نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج این تحقیق بیانگر آن است که گیاه رزماری به آبیاری با فاضلاب تصفیه شده واکنش مثبت نشان داده است. - آبیاری با فاضلاب با غلظت‌های متفاوت باعث افزایش رشد ارتفاع، قطر ساقه، وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی گیاه رزماری می‌شود. - در بررسی صفات فیزیولوژیکی گیاه رزماری دیده شده که با افزایش غلظت فاضلاب میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل

کل کاهش می‌یابد.

- با توجه به بررسی‌های انجام شده می‌توان گفت دلیل افزایش پرولین و قند در تیمار آبیاری با فاضلاب تصفیه نشده در برگ گیاه رزماری وجود فلزات سنگین سرب، کادمیوم و روی در این تیمار نسبت به سایر تیمارها است.

لازم به ذکر است به‌دلیل غیرخوراکی بودن این گیاهان و استفاده از رزماری در طراحی فضای سبز، میزان نگرانی عمومی در نتیجه استفاده از فاضلاب تا حد قابل‌ملاحظه‌ای کمتر از گیاهان مورد استفاده انسان و دام به‌دلیل تجمع فلزات سنگین و سمی در بخش‌های خوراکی گونه‌ها و انتقال آن‌ها در زنجیره غذایی است. با این حال باید در نظر داشت که استفاده از فاضلاب در امر آبیاری باید برپایه یک مدیریت صحیح و مطابق با استانداردهای ارائه شده و در نهایت براساس ویژگی‌های آب، خاک، گیاه و محیط هر محل صورت گیرد.

۵- سپاسگزاری

از پرسنل محترم تصفیه‌خانه فاضلاب شهرستان یزد و همچنین دانشگاه یزد به‌خصوص دانشکده منابع طبیعی، که نقش موثری در مراحل مختلف پروژه داشتند، کمال تشکر را دارم.

۶- پی‌نوشت‌ها

1- *Rosmarinus officinalis*

۷- مراجع

ایران نژاد، م.ح.، (۱۳۸۶)، "بررسی و تعیین گونه‌های گیاهی مناسب فضای سبز شهر"، استانداری یزد، جلد دوم، ۱۲۶. جلالی، ع.، گلوی، م.، قنبری، ا.، رمرودی، م.، و یوسف الهی، م.، (۱۳۸۹)، "اثر آبیاری با فاضلاب تصفیه شده شهری بر عملکرد و جذب فلزات سنگین در سورگوم علوفه‌ای (*Sorghum bicolor* L.)"، *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک*، ۱۴(۵۲)، ۱۵-۲۴. حسن علی، ع.، و جوان، م.، (۱۳۸۴)، "ارزیابی پساب تصفیه شده شهری و کاربرد آن در آبیاری فضای سبز، مطالعه موردی: تصفیه‌خانه فاضلاب شهر مرودشت"، *مجله محیط شناسی*، ۳۱(۳۸)، ۲۳-۳۰. سروش، ف.، موسوی، ف.، رزمجو، خ.، و مصطفی‌زاده فرد، ب.، (۱۳۸۷)، "تأثیر پساب تصفیه شده بر جذب برخی عناصر

- chlorophyll in plants", *Agronomy Journal*, 23, 112-122
- Ayers, R.S. and Westcot, D.E.W., (1985), *Water quality for agriculture*, FAO, Rome
- Bates, L., Waldren, R.P., and Teare, I.D., (1973), "Rapid determination of free proline for water-stress studies", *Plant and Soil*, 39, 205-207
- Bhati., M., and Singh, G., (2003), "Growth and mineral accumulation in Eucalyptus Camaldulensis seedlings irrigated with mixed industrial effluents", *Bioresource Technology*, 88, 221-228
- El-Sheekh, M.M., El-Shouny, W.A., Osman, M.E., and El-Gammal, E.W., (2005), "Growth and heavy metals removal efficiency of Nostoc muscorum", *Journal of Environmental Toxicol Pharmacol*, 19(2), 357-365.
- FAO, (1992), Wastewater treatment and use in agriculture", In: *Pescode, M.B. (ed.), Irrigation and Drainage*, Paper 47, FAO, Rome.
- Grejtovskū, A., Marušová, K., and Nováková, L., (2008), "Lead uptake by *Matricaria chamomilla* L", *Plant Soil and Environment*, 54(2), 47-54.
- Khatamipour, M., Piri, E., Esmaeilian, Y., and Tavassoli, A., (2011), "Toxic effect of cadmium on germination, seedling growth and proline content of Milk thistle (*Silybum marianum*)", *Scholars Research Library, Annals of Biological Research*, 2(5), 527-532.
- Kochert, G., (1978), "Carbohydrate determination by the phenol sulfuric acid method", In: Helebust, J.A. and Craig, J.S. (eds.), *Hand book of Phycologia Method*, Cambridge University Press, 56-97.
- Lamhamdi, M.E.L., Galios, O., Bakrim, A., Novoa Munoz, J.C., Arias Estevez, M., Aarab, A., and Lafont, R., (2012), "Effect of lead stress on mineral content and growth of wheat (*triticum aestivum*) and spinach (*spinacia oleracea*) seedlings", *Sandi Journal of Biological Sciences*, 20(1), 29-36.
- Mojid, M.A., Biswas, S.K., and Wyseure, G.C.L., (2012), "Interaction effects of irrigation by municipal wastewater and inorganic fertilisers on wheat cultivation in Bangladesh", *Field Crops Research*, 134, 200-207.
- Naderi, N., Mirzamasoumzadeh, B., and Aghaei, A., (2013), "Effects of different levels of lead (Pb) on physiological characteristics of sugar beet", *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5(10), 1154-1157.
- Nirit., B., Asher, B., Haya, F., Pini, S., Ilona, R., Amram, C., and Marina, I., (2006), "Application of treated wastewater for cultivation of roses (*Rosa Hybrida*) in soil-less culture", *Scientia Horticulturae*, 108(2), 185-193.
- توسط چمن در بافت‌های مختلف خاک"، *مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۲۲ (۲)، ۲۸۵-۲۹۳.
- شهریاری، ع.ر.، نوری، س.، عابدی کوپایی، ج.، و صالح، ف.، (۱۳۸۹)، "اثر آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده بر رشد گیاه قره داغ تحت شرایط گلخانه"، *علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای*، ۱ (۴)، ۱۳-۲۱.
- صالحی، آ.، طبری، م.، محمدی، ج.، و علی عرب، ع.، (۱۳۸۷)، "تأثیر آبیاری با فاضلاب شهری بر رشد درختان ۱۵ ساله کاج تهران"، *فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران*، ۱۶ (۲)، ۱۸۶-۱۹۶.
- طبری، م.، صالحی، آ.، (۱۳۸۷)، "بررسی تاثیر آبیاری با استفاده از فاضلاب شهری بر تجمع فلزات سنگین در خاک"، *نشریه علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۱۳ (۴)، ۴۹-۵۹.
- عابدی کوپایی، ج.، افیونی، م.، مصطفی‌زاده، ب.، موسوی، س.ف.، و باقری، م.ر.، (۱۳۸۲)، "تأثیر آبیاری بارانی و سطحی با فاضلاب تصفیه شده بر شوری خاک"، *نشریه آب و فاضلاب*، ۱۴ (۱)، ۲-۱۱.
- عسگری، ک.، سلیمانی، ع.، و نجفی، پ.، (۱۳۸۷)، "اثر فاضلاب تصفیه شده شهری بر شاخص عملکرد دانه و اجزای آن در گیاه آفتابگردان تحت تیمارهای مختلف آبیاری"، *مجله پژوهش آب ایران*، ۲ (۲)، ۴۵-۵۲.
- فاضلیان دهکردی، ا.، و قانعیان، م.ت.، (۱۳۸۴)، "ارزیابی عملکرد تصفیه‌خانه فاضلاب یزد (برکه تثبیت)"، *هشتمین همایش ملی بهداشت محیط*، ۸ صفحه.
- مرادمند، م.، و بیگی هرچگانی، ج.، (۱۳۸۸)، "اثر آبیاری با پساب تصفیه شده شهری بر توزیع سرب و نیکل در اندام لفل سبز و خاک"، *مجله پژوهش آب ایران*، ۳ (۵)، ۶۳-۷۰.
- ملکیان، ر.، حیدرپور، م.، مصطفی‌زاده فرد، ب.، و عابدی کوپایی، ج.، (۱۳۸۷)، "تأثیر آبیاری سطحی و زیرسطحی با پساب تصفیه شده بر خصوصیات چمن برموداگراس"، *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، ۱۵ (۴)، ۲۴۸-۲۵۷.
- معاونت تحقیقاتی سازمان محیط زیست، (۱۳۷۳)، *استاندارد خروجی فاضلاب‌ها*، انتشارات دفتر آموزش زیست محیطی.
- Ali, H.M., EL-Mahrouk, E.S.M., Hassan, F.A., and EL-Tarawy, M.A., (2010), "Usage of sewage effluent in irrigation of some woody tree seedlings, Part 3: *Swietenia mahagoni* (L.) Jacq", *Saudi Journal of Biological Sciences*, 18(2), 201-207.
- Alloway, B.J., (1990), *Heavy metals in soils*, John Willey And Sons Inc., New York.
- Ahmed. T.A., and Al-Hajri, H.H., (2009), "Effects of treated municipal wastewater and sea water irrigation on soil and plant characteristics", *International Journal of Environmental Research*, 3(4), 503-510.
- Arnon, A.N., (1967), "Method of interaction of

- Karunaichamy, K.S.T.K., and Anathvalli, M., (1998), "Effect sewage water irrigation on growth performance, biomass and nutrient accumulation in *Hardwickia Binata* under nursery conditions", *Bioresours Technology*, 66(2), 105-111.
- Parameswaran, M., (1999), "Urban wastewater use in plant biomass production", *Resources, Conservation and Recycling*, 27(1-2), 39-56.
- Rattan, R.K., Datta, S.P., Chnonkar, P.K., Suribabu, K., and Singh, A.K., (2005), "Long-term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater, A case study", *Journal of Agriculture Ecosystem and Environment*, 109(3-4), 310-322.
- Soltani, F., Ghorbanli, M., and Manouchehri-Kalantari, K.H., (2006), "Effect of cadmium on photosynthetic pigments, sugars and malonaldehyde content in *Brassica Napus L*", *Iranian Journal of Biology*, 19(2), 136-145.
- Zohrehvand, F., Takdastan, A., (2017), "Concentrations of heavy metals in vegetables of farming lands irrigated with water from Karun river in Ahvaz", *Journal of Health*, 8(4), 385-393.
- Zohrehvand, F., Takdastan, A., Jaafarzadeh, N., Ramezani, Z., Ahmadi Angali, K., Gharibi, H., (2014), "Assessment of lead contamination in vegetables, irrigation water and soil in farmlands irrigated by surface water in Ahvaz", *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 24(118), 225-230.