Vol 14, No. 3, Autumn 2024

University of Tehran Press

Journal of Water and Irrigation Management Online ISSN: 2382-9931

Homepage: https://jwim.ut.ac.ir/

Evaluation of Vetiver plant species Compatibility under waste leachate and industrial wastewater irrigation conditions

Sadroddin Abdollahi Mansurkhani[1] | Mahdi Asadilour[2]✉ | Ali Farzadian[3] | Aslan Egdernezhad[4] | Ali Asareh[5]

1. Department of Water Science and Engineering, Islamic Azad University, Ahvaz Branch, Ahvaz, Iran. E-mail: saadiabkakan65@yahoo.com
2. Corresponding Author, Department of Water Science and Engineering, Islamic Azad University, Ahvaz Branch, Ahvaz, Iran. E-mail: mehdi.asadilour@gmail.com
3. Agriculture and Natural Resources Department, Islamic Azad University, Firoozabad Branch, Firoozabad, Iran. E-mail: ali51@gmail.com
4. Department of Water Science and Engineering, Islamic Azad University, Ahvaz Branch, Ahvaz, Iran. E-mail: a_eigder@ymail.com
5. Department of Water Science and Engineering, Islamic Azad University, Ahvaz Branch, Ahvaz, Iran. E-mail: ali_assareh_2003@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 3 November 2021
Received in revised form
18 February 2022
Accepted 19 July 2022
Published online 23 November 2024

Keywords:
Randomized Complete Design
Unconventional Waters
Vetiveria Zizonicides
Water Stress

ABSTRACT

The use of natural processes such as phytoremediation is a suitable solution to reduce water and soil pollution. In this study, two separate experiments were conducted in the form of a 2019-2020 factorial experimental design in a greenhouse to investigate the effects of sewage leachate and industrial effluents on the growth characteristics of vetiver plant species. The experimental factors included leachate and industrial effluents at concentrations of Zero Percent, 25 Percent, 50 Percent, 75 Percent, and 100 Percent in three replicates with two water use stress in five and 10 days. Characteristics evaluated included plant height, number of branches, fresh and dry weight of shoots, and fresh and dry weight of soil organs (roots). The results showed that irrigation with municipal wastewater leachate had a significant effect on the number of branches ($P<0.01$), fresh weight, and dry weight of roots at a five Percent level. The results of applying industrial wastewater had a significant effect on height, number of branches ($P<0.01$), dry weight of vetiver, and fresh and dry weight of roots ($P<0.05$), but no significant effect on fresh weight of vetiver ($P>0.05$). The highest additive effect of industrial effluent and irrigation stress on plant morphological characteristics was obtained at the interaction level, W2A1 treatment (25% industrial effluent and five days irrigation stress). The results of this study showed that the use of waste leachate and industrial wastewater mixed with irrigation water to irrigate compatible vetiver species can be considered as a solution for the use of unconventional water in production.

Cite this article: Abdollahi Mansurkhani, S., Asadilour, M., Farzadian, A., Egdernezhad, S., & Asareh, A. (2024). Evaluation of Vetiver plant species Compatibility under waste leachate and industrial wastewater irrigation conditions. *Journal of Water and Irrigation Management*, 14 (3), 567-582. DOI: https://doi.org/10.22059/jwim.2022.333386.940

© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jwim.2022.333386.940

دوره چهاردهم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۳

انتشارات دانشگاه تهران

مدیریت آب و آبیاری

شاپا الکترونیکی: ۹۹۳۱-۲۳۸۲

Homepage: https://jwim.ut.ac.ir/

بررسی سازگاری گونه گیاهی وتیور در شرایط آبیاری با شیرابه زباله و فاضلاب صنعتی

صدرالدین عبدالهی منصورخانی[۱] | مهدی اسدی‌لور[۲]✉ | علی فرزادیان[۳] | اصلان اگدرنژاد[۴] | علی عصاره[۵]

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: saadiabkakan65@yahoo.com

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: mehdi.asadilour@gmail.com

۳. گروه کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد فیروزآباد، فیروزآباد، ایران. رایانامه: ali51@gmail.com

۴. گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: a_eigder@ymail.com

۵. گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: ali_assareh_2003@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۲۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۹/۰۳

کلیدواژه‌ها:

آب‌های نامتعارف

تنش آبی

طرح کامل تصادفی

گیاه وتیور

چکیده

استفاده از فرایندهای طبیعی از جمله گیاه پالایی راه‌حلی مناسب برای کاهش آلودگی آب و خاک است. در این مطالعه به‌منظور بررسی تأثیر شیرابه زباله و فاضلاب صنعتی بر رشد گونه گیاهی وتیور؛ دو آزمایش جداگانه در سال زراعی۱۴۰۰-۱۳۹۹ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی و در گلخانه اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل، شیرابه زباله و فاضلاب صنعتی در سطوح (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد) هر کدام در سه تکرار با دو تنش آبی در دو سطح پنج و ۱۰ روزه اجرا شد. صفات ارزیابی‌شده شامل ارتفاع گیاه، تعداد شاخه، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و وزن تر و خشک اندام زمینی (ریشه) بود. نتایج آزمایش نشان داد آبیاری با شیرابه زباله‌های شهری تأثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه ($P<۰/۰۱$)، وزن تر و خشک ریشه در سطح پنج درصد داشت. نتایج کاربرد فاضلاب صنعتی تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع و تعداد شاخه ($P<۰/۰۱$)، وزن خشک هوایی، وزن تر و خشک ریشه ($P<۰/۰۵$) داشت. اما تأثیر معنی‌داری بر وزن تر هوایی نداشت ($P>۰/۰۵$). بیش‌ترین اثر افزایشی فاضلاب صنعتی و تنش آبیاری بر ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاه وتیور در سطح برهم‌کنشی، تیمار W_2A_1 (۲۵ درصد فاضلاب صنعتی و تنش پنج روز آبیاری) به‌دست آمده است. نتایج این پژوهش نشان داد، استفاده از تیمارهای شیرابه زباله و فاضلاب صنعتی مخلوط با آب آبیاری جهت آبیاری گونه سازگار وتیور می‌تواند به‌عنوان راه‌کاری برای استفاده از آب‌های نامتعارف در تولید به‌شمار آید.

استناد: عبدالهی منصورخانی، صدرالدین؛ اسدی‌لور، مهدی؛ فرزادیان، علی؛ اگدرنژاد، اصلان و عصاره، علی (۱۴۰۳). بررسی سازگاری گونه گیاهی وتیور در شرایط آبیاری با شیرابه زباله و فاضلاب صنعتی. *نشریه مدیریت آب و آبیاری*، ۱۴ (۳)، ۵۶۷-۵۸۲.

DOI: https://doi.org/10.22059/jwim.2022.333386.940

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

CC BY NC

۱. مقدمه

رشد روزافزون جمعیت جهان، همگام با گسترش فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی و هم‌چنین خشکسالی‌های پی‌درپی، گرم‌شدن هوا و کاهش نزولات جوی در سال‌های اخیر موجب شده است که تقاضا برای آب افزایش یابد و منابع آب با کیفیت مطلوب به اوج بهره‌برداری خود برسد و در نتیجه فشار بیش از اندازه به منابع آب وارد شود. لذا، پژوهش‌های محلی در زمینه استفاده از منابع نامتعارف آب و خاک از اهمیت به‌سزایی برخوردار است (Tsao, 2003). استفاده از منابع آب نامتعارف مثل استفاده از پساب فاضلاب تصفیه‌شده و هم‌چنین زهاب‌های برگشتی کشاورزی و استفاده از آب دریاها و اقیانوس‌ها راه‌کاری جدید برای رویارویی با بحران آب است (Mushtaq and Moghaddasi, 2011; Geerts and Raes, 2009). مهم‌ترین بحث در زمینه گسترش این راه‌کارها، هزینه است که محدودیت‌های بسیار زیادی را ایجاد کرده است.

امروزه استفاده از منابع نامتعارف هم‌چون پساب فاضلاب در آبیاری فضای سبز و استفاده از زهاب‌های برگشتی کشاورزی برای آبیاری گیاهان مقاوم به شوری و شورپسند رو به گسترش است (Mu *et al*., 2019). لزوم پژوهش در زمینه استفاده از منابع آب نامتعارف و پیامدهای مثبت و منفی آن به‌ویژه برای مناطق کم آب و هم‌چنین مناطق با کیفیت آب نامناسب بیش از پیش احساس می‌شود (Abdzad Gohari *et al*., 2018). با استفاده بهینه از فاضلاب شهری می‌توان تا حدود زیادی از تأثیر نامطلوب زیست‌محیطی ناشی از رهاسازی آن‌ها جلوگیری نمود. آلودگی آب به‌دلیل تخلیه فاضلاب شهری و صنعتی، وجود فلزات سنگین سمی و مدیریت نامناسب زباله‌ها، سلامتی بشر را به‌صورت جدی تحت تأثیر قرار می‌دهد و با توجه به حجم عظیم فاضلاب‌های تولیدی، تلاش برای دستیابی به نحوه دفع مناسب فاضلاب در محیط زیست ضروری است (Raj and Maiti, 2020; Panja *et al*., 2020).

گیاه پالایی (Phytoremediation) یکی از روش‌های مناسب در این راستا می‌باشد که استفاده از گیاهان سبز را در کنترل و جذب آلاینده‌های آلی و معدنی به‌صورت پالایش سبز، در کنار سایر روش‌های تصفیه فاضلاب مطرح می‌نماید (Akbarzadeh *et al*., 2015). ریشه‌های گیاهان قادر به ترشح آنزیم‌هایی هستند که فعالیت میکروبی را افزایش داده و زمینه را برای جذب برخی آلاینده‌ها مهیا می‌سازند (Tsao, 2003; Otieno *et al*., 2018). پژوهش‌های انجام‌شده در دنیا مؤید این مطلب است که وتیور به‌عنوان گیاهی سوپرجاذب در جذب فلزات سنگین، نیترات و فسفات و ترسیب کربن بالا و ... می‌تواند نقش ارزنده‌ای در پالایش آب، خاک و هوا داشته باشد (Xu and Mou, 2016).

گیاه وتیور (خوس) گونه‌ای علفی، مقاوم به شرایط متفاوت محیطی، چندمنظوره و دارای سیستم ریشه‌ای بسیار متراکم و قوی است (Darajeh *et al*., 2019). گونه گیاهی وتیور (*Vetiveria zizanioides*) به شاخه گیاهان گلدار، رده لیلیوپسیدا، تیره غلات، جنس Vetiveri، خانواده گندمیان (Graminaceae)، زیرخانواده Andropogoneae، گونه *Vetiveria zizanioides* تعلق دارد (Sharma *et al*., 2007; Pentyala & Eapen, 2020). در سطوح شیب‌دار به‌خوبی رشد می‌کند و حتی می‌توان آن را به روش آب‌کشت (هیدروپونیک) روی آب‌های سطحی کشت نمود. ارتفاع آن ۱۵۰–۵۰ سانتی‌متر و به گستردگی ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد و گزینه مناسبی برای استفاده در مهندسی حفاظت آب و خاک و هم‌چنین محیط زیست، به‌عنوان یک پالاینده آلاینده‌های مختلف است (Tsujino *et al*., 2010; Tanner & Headlby, 2011; Abedi Koupai *et al*., 2021).

با توجه به ویژگی‌های منحصربه‌فرد گیاه وتیور، از آن با القاب گیاه پرستار، میخ زمین و معجزه قرن یاد می‌کنند زیرا علاوه بر جذب فلزات سنگین و مقاومت در شرایط سخت، کاربردهای متنوع دیگری هم دارد (Truong, 2008). گیاه وتیور گیاهی بادوام و با رشد خیلی سریع و دارای ریشه‌های بلندی است که می‌تواند توده بیولوژیکی زیادی تولید کند، هم‌چنین راندمان بالایی در فتوسنتز دارد. به‌دلیل ویژگی‌های خاص مورفولوژیک و اکولوژیک وتیور نسبت به مقادیر

بالای فلزات سنگین و جذب نیترات و فسفات و ... استفاده از آن برای تصفیه پساب مناسب تشخیص داده شده است (Percy and Truong, 2003; Shabbir *et al*., 2017). این گیاه با توجه به داشتن ریشه عمیق در راستای اهداف آبخیزداری و حفاظت آب و خاک می‌تواند کاربرد ویژه‌ای داشته باشد.

کاربرد وتیور برای اصلاح فاضلاب و دیگر منابع نامتعارف آب، یک فناوری احیای گیاهی نوین و ابتکاری است که می‌تواند به‌عنوان یک راه‌حل سبز، طبیعی، ساده، عملی با هزینه‌های قابل پرداخت باشد (Ng *et al*., 2020). پژوهش‌ها نشان داده که این گیاه تقریباً در هر جایی رشد می‌کند و رویش آن محدود به منطقه خاصی نیست. آزمایش‌ها و مشاهده‌های متعدد در نقاط مختلف جهان نشان داد گیاه وتیور در مناطقی که میزان بارندگی در آن‌ها ۴۵۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر است به‌خوبی رشد می‌کند و پس از رشد در مقابل خشکی مقاومت می‌کند و می‌تواند در خاک‌هایی با pH کم‌تر از سه و بیش‌تر از ۱۱ رشد نماید و هم‌چنین در بازه دمایی بین ۱۵- تا ۵۵+ درجه سانتی‌گراد هم‌چنان به حیات خود ادامه می‌دهد. گیاه در حالت سبزی در مقابل آتش سوزی مقاوم بوده و به آسانی آتش نمی‌گیرد و در مقابل حشرات و نماتودها نیز مقاوم است (Dudai, 2006; Shahid *et al*., 2018).

ریشه‌های وتیورافشان، بسیار منشعب و حجیم بوده و تا عمق دو تا چهار متر در خاک نفوذ می‌کنند و در نتیجه منجر به بالابردن قابلیت زهکشی عمقی در خاک و تحمل گیاه، در برابر دوره‌های خشکسالی می‌شود (Panbekar *et al*., 2018). خصوصیات عالی و قابل‌توجهی از جمله دامنه تحمل بسیار بالای گیاه در برابر عناصر سمی، مقاومت در برابر شوری، قلیائیت، اسیدتیه، سدیمی‌بودن و دامنه گسترده پذیرش فلزات سنگین و مواد ژئوشیمیایی و هم‌چنین توانایی استثنایی در جذب و تحمل عناصر غذایی پرمصرف و محلول درآب (در فرایندی که به‌منظور تولید انبوه گیاه تحت شرایط مرطوب یا مانداب انجام می‌شود) دارد (Percy and Truong, 2003). ویژگی‌های مؤثر، ساده و کم‌هزینه، باعث تقاضای هرچه بیش‌تر این گیاه در بسیاری کشورهای گرمسیر و نیمه‌گرمسیر شده، تا از آن برای اصلاح و احیای فاضلاب صنعتی، شهری، کشاورزی، خانگی و هم‌چنین در احیای گیاهی معادن استفاده شود (Truong & Hart, 2001; Weragoda *et al*., 2012; Vandemoortel *et al*., 2010).

در حال حاضر کشورهای بی‌شماری از جمله آلمان، کانادا، چین، کشورهای آسیای جنوب‌شرقی و ... به‌طور گسترده از فناوری زیستی در کنترل مواد سمی تولیدات صنعتی خود بهره می‌برند (Mohebbi najmabadi *et al*., 2019). نتایج یک پژوهش در نیوزیلند نشان داد که وتیور تحت تنش خشکی و تنش آبی شدید به‌صورت وسیعی برای کنترل فرسایش خاک استفاده شده است (Truong & Hart, 2001). به‌کمک گیاه وتیور پتانسیل تصفیه فاضلاب موردبررسی قرار داده شده است (Kafil *et al*., 2019; Boonsong and Chansiri, 2008). هم‌چنین برخی پژوهش‌گران، جذب برخی فلزات سنگین از فاضلاب در خاک آلوده به شیرابه زباله به‌کمک گیاه‌پالایی توسط وتیور و اکالیپتوس را موردبررسی قرار داده‌اند (Ghaemi & Majdeddin, 2016).

امروزه با توجه به رشد روزافزون صنایع و آلایندگی شدید پساب‌های صنعتی و همجواری مراکز صنعتی، شهری و کشاورزی در بیش‌تر نقاط کشور، ورود آلاینده‌های آلی و معدنی به خاک و هم‌چنین نفوذ این آلودگی‌ها به منابع آب سطحی و زیرزمینی به یک نگرانی ملی تبدیل شده است. لذا یافتن راه‌حل‌هایی برای رفع این خطرات پیش از بروز فاجعه‌ای زیست‌محیطی ضروری است (Singh *et al*., 2012).

انتخاب گیاهانی که ضمن پالایش پساب و خاک‌های آلوده، امکان تکمیل دوره رشد آن‌ها در شرایط آلودگی نیز وجود داشته باشد؛ نکته بسیار مهم در گیاه پالایی است (Hesham and Rashed, 2002). گیاهی که در پژوهش حاضر موردبررسی قرار گرفته است گونه گیاهی وتیور است.

هدف از این پژوهش بررسی سازگاری گونه گیاهی وتیور در شرایط آبیاری تحت کشت آب‌های نامتعارف، توانایی تحمل

آبیاری با تیمارهای شیرآبه زباله و فاضلاب صنعتی به نسبت‌های مختلف مخلوط با آب آبیاری هرکدام در پنج تیمار (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد) طی دو دوره تنش آبی پنج و ده روز برای اولین‌بار، در منطقه فیروزآباد استان فارس، جهت اهداف جلوگیری از رهاسازی فاضلاب در محیط، تصفیه فاضلاب و استفاده از فاضلاب جهت آبیاری فضای سبز است.

۲. مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزآباد، در منطقه فیروزآباد فارس در سال ۱۳۹۹ انجام پذیرفت. از نظر موقعیت جغرافیایی، این گلخانه در منطقه‌ای کوهستانی با آب‌وهوایی معتدل در ۱۰۰ کیلومتری جنوب شیراز با عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۸۲ ثانیه و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۵۶ ثانیه واقع شده است. این ناحیه در زمستان‌ها آب‌وهوای نسبتاً معتدل توأم با بارندگی و در تابستان، هوایی گرم و خشک دارد. براساس آمار ایستگاه سینوپتیک شیراز، میزان بارندگی این ناحیه بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر در سال است، متوسط حرارت این شهر ۱۶/۸۵ درجه و حداکثر و حداقل مطلق دمای آن به‌ترتیب ۲۹/۲ و ۴/۷۴ درجه سانتی‌گراد است. متوسط میزان بارندگی ماهانه منطقه ۴۸/۴۵ میلی‌متر است که حداکثر آن با ۱۸۴/۲ میلی‌متر در آذرماه و حداقل آن با صفر میلی‌متر در تیر ماه است. متوسط رطوبت نسبی این ناحیه حداکثر ۸۴/۵ و حداقل ۱۲/۵ درصد می‌باشد.

به‌منظور بررسی سازگاری گونه گیاهی وتیور در شرایط آبیاری با آب‌های نامتعارف (شیرابه زباله و فاضلاب صنعتی)، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری از خاک‌های مزرعه دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزآباد، خاک برداشته شد و جهت آنالیز به آزمایشگاه ارسال شد. جدول (۱) ویژگی‌های خاک و جدول (۲) ویژگی‌های آب شاهد، شیرابه و پساب صنعتی مورد استفاده را نشان می‌دهد.

Table 1. Physical and chemical Parameters of soil

Soil characteristics	Soil texture	Sand	Clay	Silt	$CaCO_3$	Organic carbon	Saturated humidity	Neutralized materials) (T.N.V	N	K	P	pH	Ec
		Percent							ppm				dS/m
	Loamy clay	28	26	46	12.5	0.9	58	47	0.09	206	10	7.9	0.4

Table 2. Chemical Parameters of irrigation water and soil

	Zn	Pb	Ca	Mg	Na	Cl	TH	TDS	pH	EC
	mg/L									µs/cm
Water	**0.017**	**0.009**	**58**	**40**	**15**	**22**	**311**	**375**	**8**	**576**
Waste Leachate	3.28	0.43	500	180	6388	11892	2000	31934	9.55	35763
Industrial wastewater	6.05	21	320	3.37	2109	567	890	17408	6.11	27200

پس از عبوردادن خاک‌ها از الک دو میلی‌متری، تعداد ۶۰ گلدان سفالی آماده و در داخل هر کدام از آن‌ها ۱۰ کیلوگرم خاک مزرعه (ذرات خاک کوچک‌تر از دو میلی‌متر)، دو و نیم کیلوگرم ماسه بادی و ۷۵۰ گرم کود (دامی) ریخته شد. نهال‌های گیاه وتیور از مراکز تکثیر نهال شهرستان کازرون به دانشگاه انتقال داده شده و شرایط رشد در گلخانه با دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد برای آن‌ها فراهم شد.

گونه گیاهی وتیور کشت‌شده در گلدان‌های سفالی در قالب آزمون فاکتوریل در پایه طرح کاملاً تصادفی، در سه تکرار و پنج تیمار R_1 تا R_5، تیمارهای مخلوط شیرابه زباله و آب آبیاری با نسبت‌های مختلف به شرح آب شاهد (آب آبیاری) (R_1)، مخلوطی از ۷۵ درصد آب آبیاری به‌همراه ۲۵ درصد شیرابه زباله (R_2)، ۵۰ درصد آب آبیاری به‌همراه ۵۰ درصد

شیرابه زباله (R_3)، ۲۵ درصد آب آبیاری به‌همراه ۷۵ درصد شیرابه زباله (R_4) و ۱۰۰ درصد شیرابه زباله (R_5) مطابق شکل(۱) و پنج تیمار W_1 تا W_5 برای بررسی تیمارهای مخلوط پساب‌های صنعتی و آب آبیاری به نسبت‌های مختلف به شرح آب شاهد (W_1)، مخلوطی از ۷۵ درصد آب آبیاری به‌همراه درصد پساب صنعتی (W_2)، ۵۰ درصد آب آبیاری به‌همراه ۵۰ درصد پساب صنعتی (W_3)، ۲۵ درصد آب آبیاری به‌همراه ۷۵ درصد پساب صنعتی (W_4) و ۱۰۰ درصد پساب صنعتی (W_5) مطابق شکل(۲) موردبررسی قرار گرفت.

از تعداد ۶۰ گلدان، تعداد ۳۰ گلدان (۱۵ گلدان با تیمارهای شیرابه زباله و ۱۵ گلدان با تیمارهای فاضلاب صنعتی) به‌طور هم‌زمان به فاصله پنج روز (A_1) و ۳۰ گلدان دیگر به فاصله ۱۰ روز (A_2) در یک دوره مطالعاتی شش‌ماهه مورد آبیاری قرار گرفتند. این کار با هدف بررسی دوره تنش آبی بر عملکرد گیاه انجام شد. شکل (۳) گونه گیاهی وتیور کشت‌شده در گلدان‌های سفالی را نشان می‌دهد.

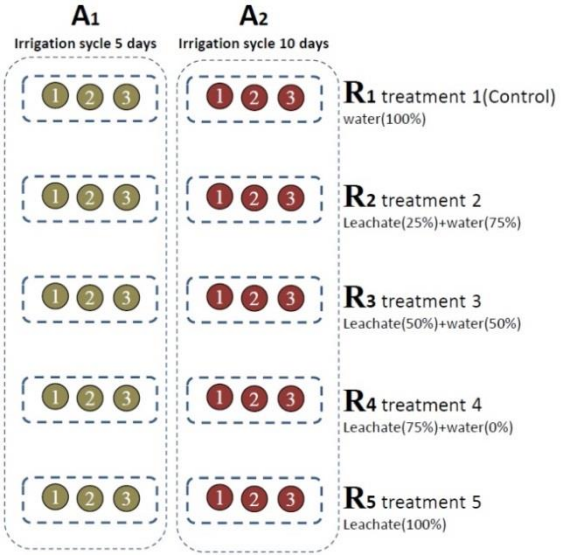

Figure 2. Arrangement of waste leachate and irrigation water treatments

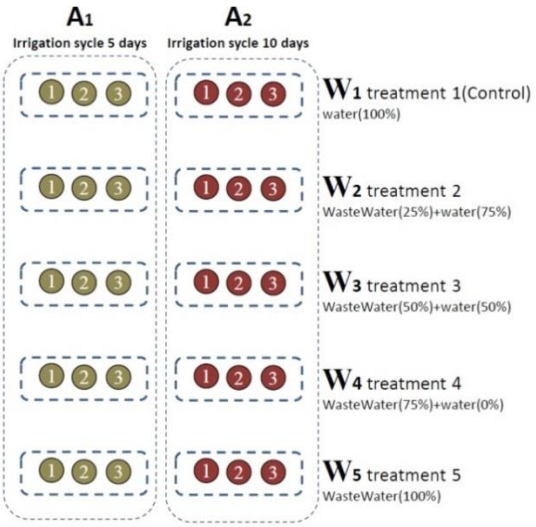

Figure 1. Arrangement of industrial wastewater and irrigation water treatments

برای اندازه‌گیری زیست‌توده (بیوماس) گیاه وتیور از روش تخریبی برداشت مستقیم (برداشت رشد سال جاری) استفاده شده است، به این صورت که در زمان برداشت بوته‌ها از گلدان‌ها خارج شده و وزن تر کل اندام اندازه‌گیری و سپس از ناحیه طوقه قطع شد و وزن تر ریشه و اندام هوایی اندازه‌گیری شد. پس از محاسبه وزن تر، محصول برداشت‌شده به‌مدت ۴۸ ساعت درون آون قرار داده و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد. سپس نمونه‌ها از آون خارج و با ترازوی دیجیتال توزین و وزن خشک اندام‌ها محاسبه شد. در ادامه داده‌ها وارد نرم‌افزار SAS شده و میانگین‌ها توسط آزمون دانکن با یکدیگر مقایسه شد.

Figure 3. Vetiver plant species grown in earthenware pots

۳. نتایج و بحث

با توجه به آزمون تجزیه واریانس (Anova) اثر شیرابه زباله، فاضلاب صنعتی، تنش آبی، تکرار و برهم‌کنش میان این فاکتورها بر ارتفاع گیاه، تعداد شاخه، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و وزن تر و خشک اندام زمینی (ریشه) بررسی شد. جدول (۳) واریانس بین گروه‌ها را با واریانس درون گروه‌ها مقایسه می‌کند. اگر واریانس بین گروه‌ها نسبت به واریانس درون گروه‌ها به‌طور معنی‌داری زیاد نباشد، می‌توان به یکسان‌بودن میانگین گروه‌ها رأی داد. به‌عنوان مثال در ردیف اول این جدول بین تکرارها میانگین مربعات خطا عدد ۲۱ به‌دست آمده و اختلاف معنی‌داری بین تکرارها وجود نداشت.

۳. ۱. اثر تیمارهای شیرابه زباله بر ویژگی‌های گیاه وتیور

۳. ۱. ۱. ارتفاع گیاه وتیور

براساس نتایج جدول میانگین مربعات (جدول ۳) کاربرد شیرابه‌های زباله تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع گیاه، نداشت ($P>۰/۰۵$). در سطوح مختلف شیرابه زباله بیش‌ترین ارتفاع به میزان ۸۴/۲ سانتی‌متر مربوط به تیمار R_2 و کم‌ترین ارتفاع به میزان ۸۰/۸ سانتی‌متر مربوط به تیمار R_1 بود. تأثیر سطوح مختلف تنش آبی بر ارتفاع وتیور نشان داد بیش‌ترین ارتفاع به میزان ۸۳/۴۹ سانتی‌متر مربوط به تیمار A_1 و کم‌ترین ارتفاع به میزان۸۳/۲ سانتی‌متر مربوط به تیمار A_2 بود. براساس نتایج جدول میانگین مربعات (جدول ۳) برهم‌کنش شیرابه‌های زباله و تنش آبی تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع گیاه داشت ($P<۰/۰۱$). هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین‌ها بین اثرات متقابل در وتیور نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع گیاه به میزان ۸۸/۳۳ سانتی‌متر مربوط به تیمار R_5A_1 و کم‌ترین ارتفاع به میزان ۸۱/۵۴ سانتی‌متر مربوط به تیمار R_1A_2 بود (شکل ۴).

Table 3. Mean squares of errors measured traits in five levels of waste leachate and two levels of water stress

Sources of changes	Degrees of freedom	Height (cm)	Number of branches	Aerial parts Wet weight (Kg / ha)	Aerial parts Dry weight (Kg / ha)	Root Wet weight (Kg / ha)	Root dry weight (Kg / ha)
Repetition	2	21 $^{n.s}$	58.3 $^{n.s}$	6337.9 $^{n.s}$	974.1 $^{n.s}$	4278.1 $^{n.s}$	1800.9 $^{n.s}$
Waste leachate	4	22.49**	174.39**	2936 $^{n.s}$	568.28 $^{n.s}$	7223.1*	5179.5*
Water stress	1	0.72 $^{n.s}$	68.4 $^{n.s}$	0.54 $^{n.s}$	5.96 $^{n.s}$	8500.8 $^{n.s}$	140.2 $^{n.s}$
Waste leachate & Water stress	4	12.07*	116.7**	3749.7*	890.72*	4623.7*	1904.6*
Error	8	28.37	38.92	2060.9	379.6	8292.2	1541.81
Total	29						

n.s: non-significant; * significant at the five percent level; ** significant at the one percent level

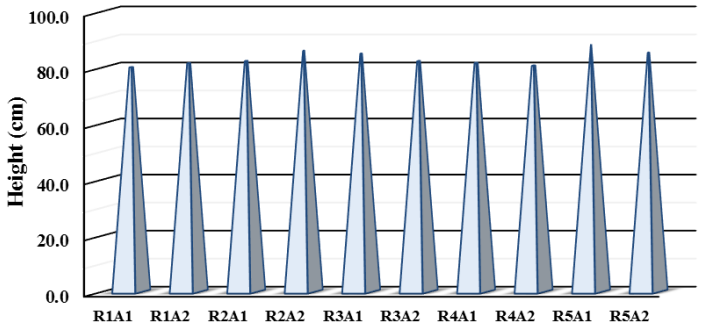

Figure 4. Interaction of waste leachate and water stress treatments on vetiver plant height

۳. ۱. ۲. تعداد شاخه اصلی

براساس نتایج جدول میانگین مربعات (جدول ۳) کاربرد شیرابه زباله تأثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه، داشت (P<۰/۰۱). در سطوح مختلف شیرابه زباله بیش‌ترین تعداد شاخه (به میزان ۳۰ عدد) مربوط به تیمار R_2 و کم‌ترین تعداد شاخه (۲۱ شاخه) مربوط به تیمار R_3 بود. تأثیر سطوح مختلف تنش آبی بر تعداد شاخه، در وتیور نشان داد بیش‌ترین تعداد شاخه (به میزان ۲۸ عدد) مربوط به تیمار A_1 (تنش پنج روز آبیاری) و کم‌ترین تعداد شاخه (به میزان۲۶ عدد) مربوط تیمار A_2 (تنش ۱۰ روز آبیاری) بود بنابراین کاربرد تنش آبی تأثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه، نداشت (P>۰/۰۵). براساس نتایج به‌دست‌آمده برهم‌کنش شیرابه زباله و تنش آبی تأثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه، داشت (P<۰/۰۵). بیش‌ترین تعداد شاخه به میزان ۳۷ عدد مربوط به تیمار R_2A_1 و کم‌ترین تعداد شاخه به میزان ۱۹ عدد مربوط تیمار R_3A_1 بود (شکل ۵). علت تفاوت تعداد شاخه اصلی به‌دلیل تغییرات فیزیولوژیکی گیاه می‌باشد. نتایج نشان داد با افزایش استفاده از شیرابه زباله در آبیاری روند کاهشی در تعداد شاخه اصلی این گیاه رخ می‌دهد، اما از یک قانون خاص تبعیت نمی‌کند این عامل تحت تأثیر زنتیک گیاه می‌باشد.

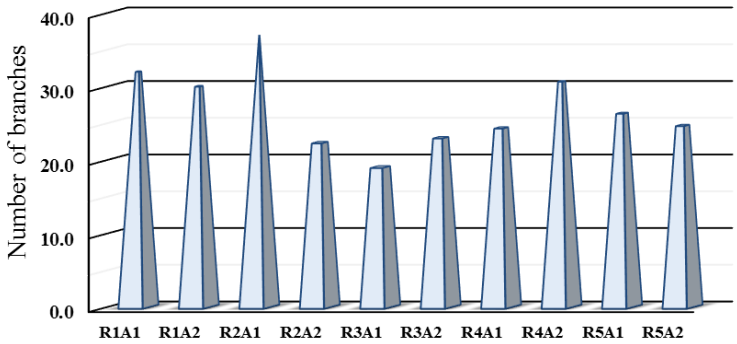

Figure 5. Interaction of waste leachate and water stress treatments on the number of branches in Vetiver plant

۳. ۱. ۳. وزن تر هوایی

کاربرد سطوح مختلف شیرابه زباله و تنش آبی به‌صورت مجزا تأثیر معنی‌داری بر وزن تر هوایی وتیور نداشت (P>۰/۰۵). در سطوح مختلف شیرابه زباله بیش‌ترین وزن تر هوایی به میزان ۱۵۱۷ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار R_3 و کم‌ترین وزن تر هوایی به میزان ۱۲۴۲ کیلوگرم در هکتار مربوط تیمار R_4 بود. تأثیر سطوح مختلف تنش آبی بر وزن تر هوایی در وتیور نشان داد بیش‌ترین وزن تر هوایی ۱۵۰۲/۷ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار A_1 و کم‌ترین وزن تر هوایی به میزان ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار A_2 بود. برهم‌کنش شیرابه زباله و تنش آبی تأثیر معنی‌داری بر وزن تر هوایی داشت (P<۰/۰۵). هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین‌ها بین اثرات متقابل در وتیور نشان داد که بیش‌ترین وزن تر هوایی به میزان ۱۹۸۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار R_1A_1 (آب شاهد و تنش پنج روز آبیاری) و کم‌ترین وزن تر هوایی (به میزان ۱۰۵۰ کیلوگرم در هکتار) مربوط تیمار R_5A_1(آب ۱۰۰ درصد شیرابه زباله و تنش پنج روز آبیاری) بود (شکل ۶).

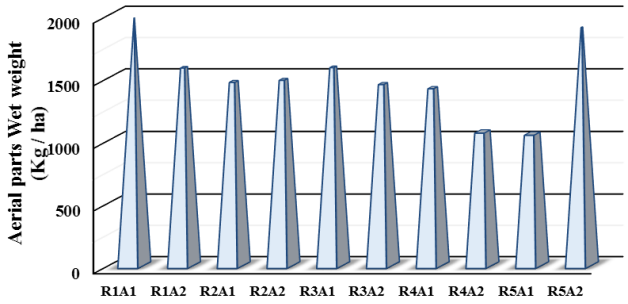

Figure 6. Interaction of waste leachate and water stress treatments on fresh air weight

۳. ۱. ۴. وزن خشک اندام هوایی

براساس نتایج به‌دست‌آمده کاربرد سطوح مختلف شیرابه زباله و تنش آبی به‌صورت مجزا تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک هوایی نداشت (P>۰/۰۵). در سطوح مختلف شیرابه زباله بیش‌ترین وزن خشک هوایی به میزان ۹۴۶ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار R_1 و کم‌ترین وزن خشک هوایی به میزان ۶۵۷/۷ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار R4 بود. تأثیر سطوح مختلف تنش آبی بر وزن خشک هوایی در وتیور نشان داد بیش‌ترین وزن خشک هوایی ۷۵۳/۶ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار A_1 و کم‌ترین وزن خشک هوایی به میزان ۷۴۴/۶ کیلوگرم در هکتار مربوط تیمار A_2 بود. برهم‌کنش شیرابه زباله و تنش آبی تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک هوایی، داشت (P<۰/۰۵). هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین‌ها بین اثرات متقابل در وتیور نشان داد که بیش‌ترین وزن خشک هوایی به میزان ۱۰۹۳/۷ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار R_5A_2 و کم‌ترین به میزان ۵۵۷/۷ کیلوگرم در هکتار مربوط تیمار R_4A_2 بود (شکل ۷).

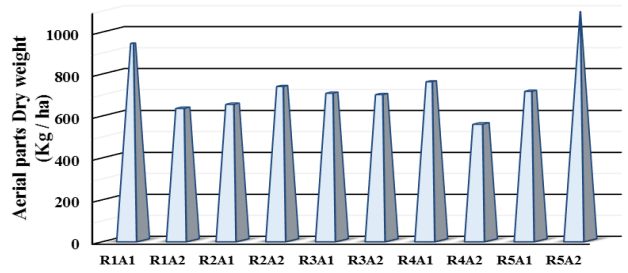

Figure 7. Interaction of waste leachate and water stress treatments on air dry weight

۳. ۱. ۵. وزن تر ریشه گیاه

کاربرد شیرابه زباله تأثیر معنی‌داری بر وزن تر ریشه، داشت (P<۰/۰۵). در سطوح مختلف شیرابه‌های زباله بیش‌ترین وزن تر ریشه، به میزان ۳۰۲۵ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار R_3 و کم‌ترین وزن تر ریشه به میزان ۲۱۰۶/۷ کیلوگرم در هکتار مربوط تیمار R_1 (آب شاهد) بود. کاربرد تنش آبی تأثیر معنی‌داری بر وزن تر ریشه نداشت (P>۰/۰۵). تأثیر سطوح مختلف تنش آبی بر وزن تر ریشه، در وتیور نشان داد بیش‌ترین وزن تر ریشه، ۲۶۲۹/۷ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار A_1 و کم‌ترین وزن تر ریشه به میزان ۲۲۹۳ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار A_2 بود. برهم‌کنش شیرابه زباله و تنش آبی تأثیر معنی‌داری بر وزن تر ریشه، داشت (P<۰/۰۵). هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین‌ها بین اثرات متقابل در وتیور نشان داد که بیش‌ترین وزن تر ریشه به میزان ۳۳۰۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار R_3A_1 و کم‌ترین وزن تر ریشه به میزان ۱۷۳۳/۳ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار R_1A_2 بود (شکل ۸).

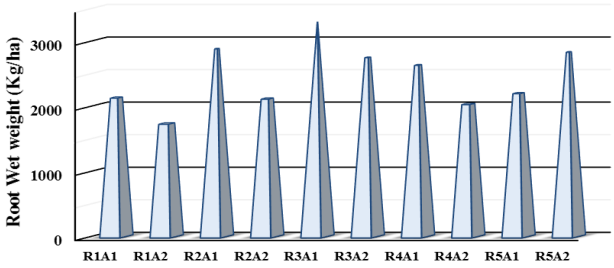

Figure 8. Interaction of waste leachate and water stress treatments on root fresh weight in vetiver

۳. ۱. ۶. وزن خشک ریشه گیاه

براساس نتایج جدول (۳) کاربرد شیرابه زباله تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه، داشت (P<۰/۰۵). در سطوح مختلف شیرابه زباله بیش‌ترین وزن خشک ریشه به میزان ۱۴۴۵ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار R_4 و کم‌ترین وزن خشک ریشه به میزان ۹۴۴/۲ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار R_3 بود. کاربرد تنش آبی تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه نداشت (P>۰/۰۵). تأثیر سطوح مختلف تنش آبی بر وزن خشک ریشه، در وتیور نشان داد بیش‌ترین وزن خشک ریشه ۱۳۰۵/۲ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار A_1 و کم‌ترین وزن خشک ریشه به میزان ۱۲۶۲ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار A_2 بود. برهم‌کنش شیرابه زباله و تنش آبی تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه، داشت (P<۰/۰۵). هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین‌ها بین اثرات متقابل در وتیور نشان داد که بیش‌ترین وزن خشک ریشه، به میزان ۱۸۲۷ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار R_1A_1 و کم‌ترین وزن خشک ریشه به میزان ۸۸۹ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار R_3A_1 بود (شکل ۹).

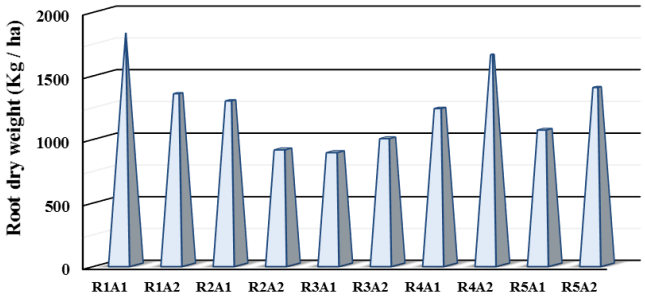

Figure 9. Interaction of waste leachate and water stress treatments on root dry weight in vetiver

۳. ۲. اثر تیمارهای فاضلاب صنعتی بر ویژگی‌های گیاه وتیور

۳. ۲. ۱. ارتفاع گیاه وتیور

براساس نتایج کاربرد فاضلاب صنعتی تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع (P<۰/۰۱) داشت (جدول ۴). در سطوح مختلف فاضلاب صنعتی بیش‌ترین ارتفاع به میزان ۸۷/۲ سانتی‌متر مربوط به تیمار W_1 و کم‌ترین ارتفاع به میزان ۷۱/۷ سانتی‌متر مربوط به تیمار W_4 بود. کاربرد تنش آبی تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع نداشت (P>۰/۰۵). تأثیر سطوح مختلف تنش آبی بر ارتفاع گیاه وتیور نشان داد بیش‌ترین ارتفاع به میزان ۸۵/۹ سانتی‌متر مربوط به تیمار A_1 و کم‌ترین ارتفاع به میزان ۷۵ سانتی-متر مربوط تیمار A_2 بود. برهم‌کنش فاضلاب صنعتی و تنش آبی تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع گیاه وتیور داشت (P<۰/۰۵). هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین‌ها بین اثرات متقابل در وتیور نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع به میزان ۹۱ سانتی‌متر مربوط به تیمار W_1A_1 و کم‌ترین ارتفاع به میزان ۶۲ سانتی‌متر مربوط تیمار W_4A_2 بود (شکل ۱۰).

Table 4. Mean squares errors of measured traits in five levels of industrial wastewater and two levels of water stress

Sources of changes	Degrees of freedom	Height (cm)	Number of branches	Aerial parts Wet weight (Kg / ha)	Aerial parts Dry weight (Kg / ha)	Root Wet weight (Kg / ha)	Root dry weight (Kg / ha)
Repetition	2	0.007 $^{n.s}$	24469.7 $^{n.s}$	1.2 $^{n.s}$	4.8 $^{n.s}$	282.6 $^{n.s}$	50.9 $^{n.s}$
Industrial wastewater	4	0.03 **	11913.2 **	59.8 $^{n.s}$	16.6 *	193.9 *	41.3 *
Water stress	1	0.1 $^{n.s}$	37453.4 $^{n.s}$	78.4 $^{n.s}$	18.8 $^{n.s}$	779.8 *	19.6 *
Industrial wastewater × Water stress	4	0.006 *	2109.7 *	53.9 *	6.02 *	119.7 *	21.7 *
Error	8	0.0003	147383	43.7	6.3	95.03	24.4
Total	29						

n.s: non-significant; * significant at the five percent level; ** significant at the one percent level.

۳. ۲. ۲. تعداد شاخه گیاه وتیور

براساس نتایج کاربرد فاضلاب صنعتی تأثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه گیاه وتیور (P<۰/۰۱) داشت (جدول۴). در سطوح مختلف فاضلاب صنعتی بیش‌ترین تعداد شاخه به میزان ۳۵ عدد مربوط به تیمار W_4 و کم‌ترین تعداد شاخه به میزان ۲۷/۷ عدد مربوط به تیمار W_5 بود. کاربرد تنش آبی تأثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه نداشت (P>۰/۰۵). تأثیر سطوح مختلف تنش آبی بر تعداد شاخه در وتیور نشان داد بیش‌ترین تعداد شاخه به میزان ۳۲/۳ عدد مربوط به تیمار A_1 و کم‌ترین تعداد شاخه به میزان ۳۱/۲ عدد مربوط تیمار A_2 بود. برهم‌کنش فاضلاب صنعتی و تنش آبی تأثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه داشت (P<۰/۰۵). هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین‌ها بین اثرات متقابل در وتیور نشان داد که بیش‌ترین تعداد شاخه به میزان ۴۶ عدد مربوط به تیمار W_4A_2 و کم‌ترین تعداد شاخه به میزان ۲۳ عدد مربوط تیمار W_3A_2 بود (شکل ۱۱).

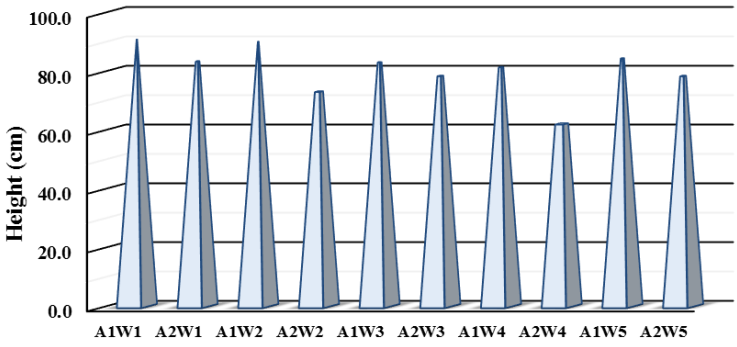

Figure 10. Interaction of industrial wastewater and water stress treatments on vetiver height

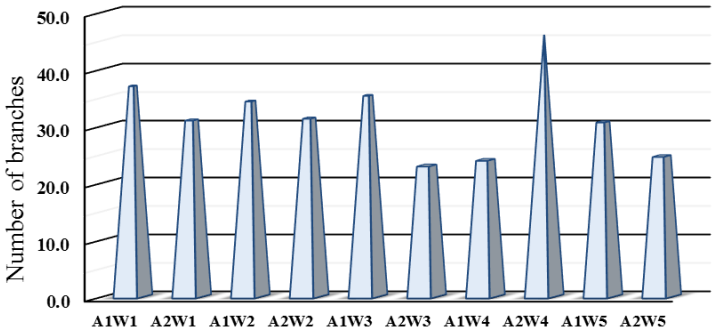

Figure 11. Interaction of industrial wastewater and water stress treatments on number of branches

۳. ۲. ۳. وزن تر اندام هوایی گیاه وتیور

کاربرد فاضلاب صنعتی تأثیر معنی‌داری بر وزن تر هوایی داشت (P<۰/۰۵). در سطوح مختلف فاضلاب صنعتی بیش‌ترین وزن تر هوایی به میزان ۲۳۵۸ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار W_5 و کم‌ترین وزن تر هوایی به میزان ۱۲۶۰ کیلوگرم در هکتار مربوط تیمار W_1 بود. کاربرد تنش آبی تأثیر معنی‌داری بر وزن تر هوایی نداشت (P>۰/۰۵). تأثیر سطوح مختلف تنش آبی بر وزن تر هوایی در وتیور نشان داد بیش‌ترین وزن تر هوایی به میزان ۲۰۴۴ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار A_1 و کم‌ترین وزن تر هوایی به میزان ۱۷۰۲ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار A_2 بود. برهم‌کنش فاضلاب صنعتی و تنش آبی تأثیر معنی‌داری بر وزن تر هوایی داشت (P<۰/۰۵). هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین‌ها بین اثرات متقابل در وتیور نشان داد که بیش‌ترین وزن تر هوایی به میزان ۲۶۶۷ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار W_2A_1 و کم‌ترین وزن تر هوایی، به میزان ۱۲۲۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار W_1A_1 بود (شکل ۱۲).

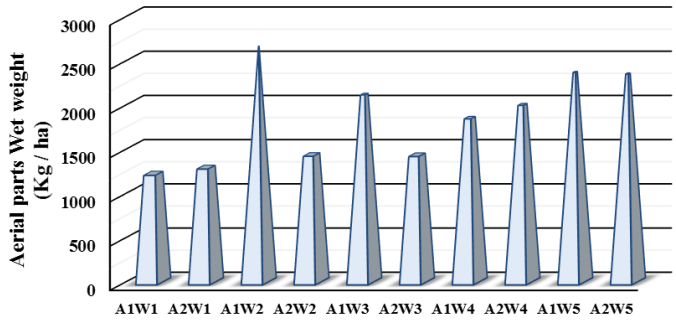

Figure 12. Interaction of industrial wastewater treatments and water stress on air fresh weight

۳. ۲. ۴. وزن خشک اندام هوایی گیاه وتیور

براساس نتایج به‌دست‌آمده کاربرد فاضلاب صنعتی تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک هوایی داشت (P<۰/۰۵). در سطوح مختلف فاضلاب صنعتی بیش‌ترین وزن خشک هوایی به میزان ۱۰۷۸ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار W_2 و کم‌ترین وزن خشک هوایی به میزان ۸۸۰ کیلوگرم در هکتار مربوط تیمار W_1 آب شاهد بود. کاربرد تنش آبی تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک هوایی نداشت (P>۰/۰۵). تأثیر سطوح مختلف تنش آبی بر وزن خشک هوایی در وتیور نشان داد بیش‌ترین وزن خشک هوایی به میزان ۹۴۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار A_1 و کم‌ترین وزن خشک هوایی به میزان ۷۸۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار A_2 بود. برهم‌کنش فاضلاب صنعتی و تنش آبی تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک هوایی داشت (P<۰/۰۵). هم‌چنین نتایج

مقایسه میانگین‌ها بین اثرات متقابل در وتیور نشان داد که بیش‌ترین وزن خشک هوایی به میزان ۱۲۳۷ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار W_2A_1 و کم‌ترین وزن خشک هوایی به میزان ۲۲۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار W_1A_2 بود (شکل ۱۳).

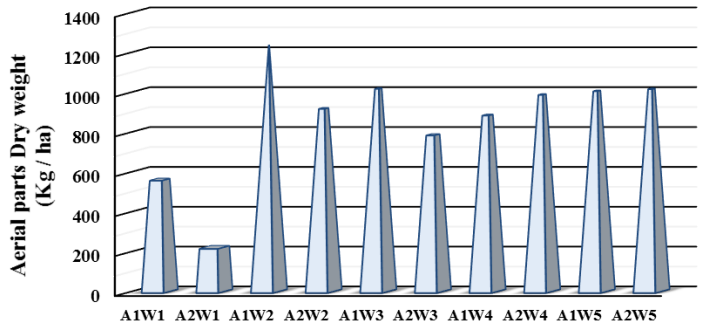

Figure 13. Interaction of industrial wastewater and water stress treatments on air dry weight

۳. ۲. ۵. وزن تر ریشه گیاه وتیور

براساس نتایج جدول میانگین مربعات (جدول۴) کاربرد فاضلاب صنعتی تأثیر معنی‌داری بر وزن تر ریشه، داشت ($P<۰/۰۵$). در سطوح مختلف فاضلاب صنعتی بیش‌ترین وزن تر ریشه به میزان ۴۱۹۲ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار W_5 و کم‌ترین وزن تر ریشه به میزان ۲۰۸۷ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار W_1 بود. کاربرد تنش آبی تأثیر معنی‌داری بر وزن تر ریشه داشت ($P<۰/۰۵$). تأثیر سطوح مختلف تنش آبی بر وزن تر ریشه در وتیور نشان داد بیش‌ترین وزن تر ریشه به میزان ۳۸۸۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار A_1 و کم‌ترین وزن تر ریشه به میزان ۲۸۶۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار A_2 بود. برهم‌کنش فاضلاب صنعتی و تنش آبی تأثیر معنی‌داری بر وزن تر ریشه داشت ($P<۰/۰۵$). هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین‌ها بین اثرات متقابل در وتیور نشان داد که بیش‌ترین وزن تر ریشه به میزان ۴۷۰۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار W_2A_1 و کم‌ترین وزن تر ریشه به میزان ۱۶۷۱ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار W_1A_2 بود (شکل ۱۴).

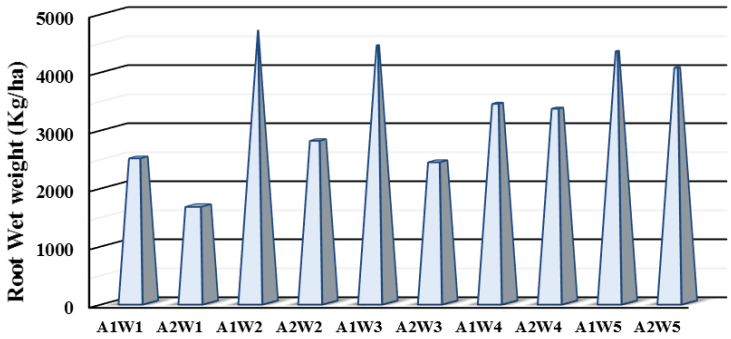

Figure 14. Interaction of industrial wastewater and water stress treatments on root wet weight in vetiver

۳. ۲. ۶. وزن خشک ریشه گیاه وتیور

براساس نتایج جدول (۴) کاربرد فاضلاب صنعتی تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه، داشت ($P<۰/۰۵$). در سطوح مختلف فاضلاب صنعتی بیش‌ترین وزن خشک ریشه (به میزان ۱۶۶۰ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار W_3 و کم‌ترین وزن خشک ریشه به میزان ۸۵۰کیلوگرم در هکتار مربوط تیمار W_1 (آب شاهد) بود. کاربرد تنش آبی تأثیر معنی‌داری بر

وزن خشک ریشه، داشت (P<۰/۰۵). تأثیر سطوح مختلف تنش آبی بر وزن خشک ریشه، در وتیور نشان داد بیش‌ترین وزن خشک ریشه، به میزان ۱۶۹۸ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار A_1 (تنش پنج روز آبیاری) و کم‌ترین وزن خشک ریشه، به میزان ۱۲۲۳ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار A_2 (تنش ۱۰ روز آبیاری) بود. برهم‌کنش فاضلاب صنعتی و تنش آبی تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه داشت (P<۰/۰۵). هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین‌ها بین اثرات متقابل در وتیور نشان داد که بیش‌ترین وزن خشک ریشه به میزان ۲۰۹۵ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار W_3A_1 و کم‌ترین وزن خشک ریشه، به میزان ۶۶۳ کیلوگرم در هکتار مربوط تیمار W_1A_2 بود (شکل ۱۵).

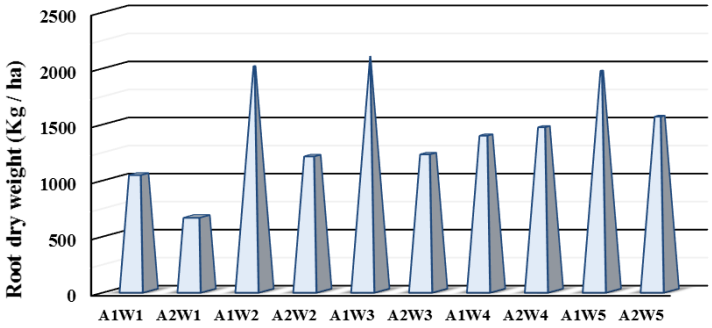

Figure 15. Interaction of industrial wastewater treatments and water stress on root dry weight in vetiver

۴. نتیجه‌گیری

افزایش آلودگی آب و خاک باعث ایجاد مسائل و مشکلات زیست‌محیطی زیادی شده است یکی از روش‌های مورداستفاده در تصفیه آلودگی‌های آب و خاک استفاده از روش گیاه‌پالایی است. شناسایی گیاهان فعال و مهم در این زمینه باعث افزایش کارایی و حفاظت از محیط زیست می‌شود. وتیور یکی از گیاهانی است که دارای قابلیت‌های متمایز و برتر در زمینه رشد در شرایط نامتعارف و جذب آلودگی از آب و خاک است. با توجه به نتایج این پژوهش در بررسی ویژگی‌های گیاه وتیور، نتایج کاربرد شیرابه‌های زباله تأثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه (P<۰/۰۱)، وزن تر و خشک ریشه (P<۰/۰۵) داشت اما کاربرد شیرابه زباله تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع، وزن تر و خشک هوایی نداشت (P<۰/۰۵). بیش‌ترین عملکرد ارتفاع، تعداد شاخه در تیمار چهارم ترکیب آب آلوده و آب آبیاری به نسبت سه به یک و بیش‌ترین عملکرد وزن تر هوایی، وزن تر ریشه در تیمار سوم ترکیب آب آلوده و آب آبیاری به نسبت دو به دو و بیش‌ترین عملکرد وزن خشک هوایی در تیمار پنجم ترکیب آب آلوده و آب آبیاری به نسبت چهار به صفر حاصل شود. کاربرد تنش آبی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد و اجزای آن نداشت (P>۰/۰۵). بیش‌ترین عملکرد افزایشی صفات در تنش پنج روز آبیاری و کم‌ترین ۱۰ روز آبیاری به‌دست آمد. نتایج کاربرد فاضلاب صنعتی تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع، تعداد شاخه (P<۰/۰۱)، وزن خشک هوایی، وزن تر و خشک ریشه (P<۰/۰۵) داشت اما تأثیر معنی‌داری بر وزن تر هوایی نداشت (P<۰/۰۵). بیش‌ترین اثر افزایشی فاضلاب صنعتی و تنش آبیاری بر ویژگی‌های گیاه در سطح برهم‌کنشی، تیمار W_2A_1 (مخلوط آب و ۲۵ درصد فاضلاب صنعتی و تنش پنج روز آبیاری) به‌دست آمده است. بیش‌ترین اثر افزایشی شیرابه زباله و تنش آبیاری بر ویژگی‌های گیاه در سطح برهم‌کنشی، تیمار R_5A_2 به‌دست آمده است. بیش‌ترین اثر افزایشی فاضلاب صنعتی و تنش آبیاری بر وزن تر ریشه، وزن تر و خشک هوایی در سطح برهم‌کنشی، تیمار W_2A_1 (مخلوط آب و ۲۵ درصد فاضلاب صنعتی و تنش پنج روز آبیاری) به‌دست آمده است. به این ترتیب تیمار W_2A_1، بازخوردی مناسب از ترکیب فاضلاب صنعتی و تنش آبیاری برای زیست‌توده در گیاه وتیور می‌باشد.

آبیاری با تیمارهای مختلف آب‌های نامتعارف باعث شد ویژگی‌های مورفولوژیک گیاه وتیور نسبت به تیمار شاهد (آب آبیاری) افزایش یابد، این نتایج با نتایج Ghaemi and Majdeddin (2016) و Singh *et al*. (2012) مطابقت دارد. مقایسه تیمارهای مختلف و عدم روند موردانتظار برای تیمارها با افزایش میزان کاربرد شیرابه و فاضلاب صنعتی را می‌توان در سازگاری این گیاه به استفاده از آب‌های نامتعارف ارتباط دارد. این نتایج نشان داد در طول دوره کشت شش‌ماهه وتیور به کاربرد آب‌های نامتعارف واکنش محسوسی نشان نداده است. روشن است که کاربرد استراتژیک وتیور برای اصلاح فاضلاب، یک فناوری احیای گیاهی نوین و ابتکاری است که نتایج نمایانگر توان فوق‌العاده این گیاه به‌عنوان یک راه‌حل سبز، طبیعی، ساده، عملی با هزینه‌های قابل‌پرداخت می‌باشد. استفاده از این گیاه در تصفیه‌خانه‌ها یا موارد مشابه قابلیت بالایی در حذف آلایندگی خواهد داشت و کمک شایان‌توجهی به حفاظت محیط زیست می‌نماید.

۵. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۶. منابع

Abdzad, G.A., Amiri, E., Babazadeh, H., & Sedghi, H. (2018). Effect of salinity and irrigation on yield and water use efficiency of peanut varieties. *Iranian Journal of Soil and Water Research, 49*(2), 329-340. (In Persian).

Abedi, K, J., Hakimian, M., Motamedi, A., & Ghods Motahari, A. (2021). Performance of Vetiver system in complementary municipal wastewater treatment. *Water and Irrigation Management, 11*(2), 275-290. (In Persian).

Akbarzadeh, A., Vakhshouri, M., Jamshidi, S., & Khalesidoost M. (2015). Evaluation of the Performance of *Vetiveria zizanioides* in Removing Nutrients from Wastewater. *Journal of Water and Wastewater, 26*(1), 57-67. (In Persian).

Boonsong, K., & Chansiri, M. (2008). Domestic wastewater treatment using vetiver grass cultivated with floating platform technique. *AU Journal of Technology, 12*(2), 73-80.

Darajeh, N., Truong, P., Rezania, S., Alizadeh, H., & Leung, D. W. M. (2019). Effectiveness of Vetiver grass versus other plants for phytoremediation of contaminated water. *Journal of Environmental Treatment Techniques, 7*(3), 485-500.

Dudai, N., Putievsky, E., Chaimovitch, D., & Ben-Hur, M. (2006). Growth management of vetiver (*Vetiveria zizanioides*) under Mediterranean conditions. *Journal of Environmental Management, 81*, 63-71.

Geerts, S., & Raes, D. (2009). Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural water management, 96*(9), 1275-1284.

Ghaemi, A. A., & Majdeddin, F. (2016). Investigation of the Phytoremediation of Vetiver and Eucalyptus by Absorption of Heavy Metals from Sewage in a Contaminated Soil with Landfill. *Water Resources Engineering, 9*(28), 95-106. (In Persian).

Hesham, R., & Rashed, I. G. (2002). A method for treating wastewater containing formaldehyde. *Water Res*, *36*(3), 633-637.

Kafil, M., Boroomand Nasab, S., Moazed, H., & Bhatnagar, A. (2019). Phytoremediation potential of vetiver grass irrigated with wastewater for treatment of metal contaminated soil. *International Journal of Phytoremediation*, *21*(2), 92-100.

Mohebbi najmabadi, E., Fotovat, A., & Halajnia, A. (2019). Effect of Citric Acid, Nitrilotriacetic acid and Anion Polyacrylamide on Phytoremediation of Nickel by Maize and Sunflower. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *50*(4), 933-921. (In Persian).

Mu, J., Hu, Z., Huang, L., Tang, S., & Holm, P. E. (2019). Influence of alkaline silicon-based amendment and incorporated with biochar on the growth and heavy metal translocation and accumulation of vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*) grown in multi-metal-contaminated soils. *Journal of Soils and Sediments*, *19*(5), 2277-2289.

Mushtaq, S., & Moghaddasi, M. (2011). Evaluating the potential of deficit irrigation asan adaptive response to climate change and environment demand. *Environmental Science and Policy, 14*, 1139-1150.

Ng, C. C., Boyce, A. N., Abas, M. R., Mahmood, N. Z., & Han, F. (2020). Evaluation of Vetiver Grass Uptake Efficiency in Single and Mixed Heavy Metal Contaminated Soil. *Environmental Processes*, 1-20.

Otieno, A., Karuku, G., Raude, J., & Koech, O. (2018). Accumulation Of Nitrogen And Phosphorous By Vetiver Grass (*Chrysopogon zizanioides*) In A Model Constructed Wetland Treatment System For Polishing Municipal Wastewater. *International Journal of Innovation and Applied Studies, 22*(4), 291-298.

Panbekar, F., Mokhtari, B., Rastegarzadeh, S., & kolahi, M. (2018). Phytochemical Study, Phenolic Assay and Antioxidant Capacity of Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) Root Extract. *Developmental Biology, 10*(4), 45-58. (In Persian).

Panja, S., Sarkar, D., & Datta, R. (2020). Removal of tetracycline and ciprofloxacin from wastewater by vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) as a function of nutrient concentrations. *Environmental Science and Pollution Research*, *27*(28), 34951-34965.

Pentyala, V. B., & Eapen, S. (2020). High efficiency phytoextraction of uranium using *Vetiveria zizanioides* L. Nash. *International Journal of Phytoremediation*, 1-10.

Percy, I., & Truong, P. (2003). Landfill leachate disposal with irrigated vetiver grass. Nat. Conf. Landfill, Brisbane, Australia, 1-10.

Raj, D., & Maiti, S. K. (2020). Sources, bioaccumulation, health risks and remediation of potentially toxic metal (loid) s (As, Cd, Cr, Pb and Hg): an epitomised review. *Environmental Monitoring and Assessment*, *192*(2), 1-20.

Shabbir, A., Khan, M. M. A., Sadiq, Y., Jaleel, H., Ahmad, B., & Uddin, M. (2017). Regulation of functional activities and essential oil production in *Vetiveria zizanioides* L. Nash after γ-irradiated sodium alginate elicitation. *Turkish Journal of Biology*, 41(4), 661-672.

Shahid, S., Zahoor, S. and Fatima, U. (2018). Review of Pharmacological Activities of *Vetiveria zizanoide* (Linn) Nash. *Journal of Basic and Applied Sciences*, *14*, 235-238.

Sharma, R., grawal, M.A., & Marshall, F. (2007). Heavy metal contamination of soil and vegetables in suburban areas of Varanasi, India. Ecotoxicol. *Environ. Safety*, *66*, 258-266 .

Singh, P. K., Deshbhratar, P. B., & Ramteke, D. S. (2012). Effects of sewage wastewater irrigation on soil properties, crop yield and environment. *Agricultural Water Management*, *103*, 100-104.

Tanner, C.C., & Headlby, T. R. (2011). Components of floating emergent macrophyte treatment wetlands influencing removal of stormwater pollutants. *Ecological Engineering, 37*, 474-486.

Truong, P., & Hart, B. (2001). *Vetiver system for wastewater treatment*: Technical Bulletin no. 21. Pacific Rim Vetiver Network. Office of the Royal Development Projects Board, Bangkok, Thailand.

Truong, P. N.V. (2008). Research and development of Vetiver grass for treatment of polluted water and contaminated land: Proc. 1th Indian National Vetiver Workshop, Cochi, Kerala, India.

Tsao, D.T. (2003). Over view of phytotechnologies. *Advances in Biochemical Engineering/biotechnology*, *78*, 1-50.

Tsujino, R., Fujita, N., Katayama, M., Kawase, D., Matsui, K., Seo, A., Shimamura, T., Takemon, Y., Tsujimura, N., Yumoto, T., & Ushimaru, A. (2010). Restoration of floating mat bog vegetation after eutrophication damages by improving water quality in a small pond. *Limnology*, *11*(3), 289-297.

Vandemoortel, A.M.K., Meers, E., Pauw, N.D., & Tack, F.M.G. (2010). Effects of vegetation, season and temperature on the removal of pollutants in experimental floating treatment wetlands. *Water, Air, and Soil Pollution*, *212*(1), 181-297.

Weragoda, S.K., Jinadasa, K.B.S.N., Zhang, D.Q., Gersberg, R.M., Tan, S.K., Tanaka, N., & Jern, N.W. (2012). Tropical Application of Floating Treatment Wetlands. *Wetlands*, *32*(5), 955-961.

Xu, C., & Mou, B. (2016). Responses of spinach to salinity and nutrient deficiency in growth, physiology, and nutritional value. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *141*(1), 12-21.