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

صدرالدین عبدالهی منصورخانی[1]، مهدی اسدی‌لور[2]*، علی فرزادیان[3]، اصلان اگدرنژاد[2]، علی عصاره[2]

[1] دانشجوی دکتری،گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

[2] استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

[3] استادیار، گروه کشاورزی و منابع طبیعی، واحد فیروزآباد، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزآباد، ایران

چکیده

استفاده از فرآیندهای طبیعی از جمله گیاه پالایی راه حلی مناسب برای کاهش آلودگی آب و خاک است. در این مطالعه به منظور بررسی تاثیر شیرابه زباله و فاضلاب صنعتی بر رشد گونه گیاهی وتیور؛ دو آزمایش جداگانه در سال زراعی۱۴۰۰-۱۳۹۹ بصورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی و در گلخانه اجرا گردید. فاکتورهای آزمایش شامل، شیرابه زباله و فاضلاب صنعتی در سطوح (صفر درصد، ۲۵ درصد ۵۰ درصد ، ۷۵ درصد و ۱۰۰ درصد) هر کدام در سه تکرار با دو تنش آبی در دو سطح پنج و ۱۰ روزه اجرا شد. صفات ارزیابی شده 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 ($P<0.01$)، وزن تر و خشک ریشه در سطح پنج درصد داشت. نتایج کاربرد فاضلاب صنعتی تاثیر معنی‌داری بر ارتفاع و تعداد شاخه ($P<0.01$)، وزن خشک هوایی، وزن تر و خشک ریشه ($P<0.05$) داشت. اما تاثیر معنی‌داری بر وزن تر هوایی نداشت ($P>0.05$). بیشترین اثر افزایشی فاضلاب صنعتی و تنش آبیاری بر خصوصیات مورفولوژیکی گیاه وتیور در سطح برهمکنشی، تیمار W_2A_1 (۲۵ درصد فاضلاب صنعتی و تنش پنج روز آبیاری) به دست آمده است. نتایج این تحقیق نشان داد، استفاده از تیمارهای شیرابه زباله و فاضلاب صنعتی مخلوط با آب آبیاری جهت آبیاری گونه سازگار وتیور می‌تواند به عنوان راهکاری برای استفاده از آب‌های نامتعارف در تولید به شمار آید.

کلیدواژه‌ها: آب‌های نامتعارف، تنش آبی، طرح کامل تصادفی، گیاه وتیور

نسخه آماده انتشار

* نویسنده مسئول

Email: Mehdi.asadilour@gmail.com

مقدمه

رشد روزافزون جمعیت جهان، همگام با گسترش فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی و همچنین خشکسالی‌های پی در پی، گرم شدن هوا و کاهش نزولات جوی در سال‌های اخیر موجب شده است؛ 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، تحقیقات محلی در زمینه استفاده از منابع نامتعارف آب و خاک از اهمیت بسزایی برخوردار است (Tsao, 2003). استفاده از منابع آب نامتعارف مثل استفاده از پساب فاضلاب تصفیه شده 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 بخصوص 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 تاثیر نامطلوب زیست محیطی ناشی از رهاسازی آنها جلوگیری نمود. آلودگی آب به دلیل تخلیه فاضلاب شهری و صنعتی، وجود فلزات سنگین سمی و مدیریت نامناسب زباله‌ها، سلامتی بشر را به صورت 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 به صورت 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). تحقیقات صورت پذیرفته در دنیا موید این مطلب است که وتیور به‌عنوان گیاهی سوپر جاذب 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، چند منظوره و دارای سیستم ریشه‌ای بسیار متراکم و قوی است (Darajeh et al., 2019). گونه گیاهی وتیور (Vetiveria Zizanioides) به شاخه گیاهان گلدار، رده‌ی لیلیوپسیدا، تیره غلات، جنس Vetiveri، خانواده گندمیان (Graminaceae)، زیر خانواده Andropogoneae، گونه Vetiveria Zizanioides تعلق دارد (Sharma et al., 2007; Pentyala and Eapen, 2020). در سطوح شیب‌دار به خوبی رشد می‌کند و حتی می‌توان آن را به روش آب کشت (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، به عنوان یک پالاینده‌ی آلاینده‌های مختلف است (Tsujino et al., 2010; Tanner and Headlby, 2011; Abedi Koupai et al., 2021).

با توجه به ویژگی‌های منحصر به‌فرد 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 خصوصیات 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 ویژه ای داشته باشد.

نسخه آماده انتشار

کاربرد وتیور برای اصلاح فاضلاب و دیگر منابع نامتعارف آب، یک فن آوری احیاء گیاهی نوین و ابتکاری است که می‌تواند به عنوان یک راه حل سبز، طبیعی، ساده، عملی با هزینه‌های قابل پرداخت باشد (Ng et al., 2020). تحقیقات نشان داده که این گیاه تقریباً در هر جایی رشد می‌کند و رویش آن محدود به منطقه خاصی نیست. آزمایشات و مشاهده‌های متعدد در نقاط مختلف جهان نشان داد گیاه وتیور در مناطقی که میزان بارندگی در آنها ٤٥٠ تا ٥٠٠ میلیمتر است به خوبی 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 قابل توجه‌ای از جمله دامنه تحمل بسیار بالای گیاه در برابر عناصر سمی، مقاومت در برابر شوری، قلیائیت، اسیدتیه، سدیمی بودن و دامنه گسترده پذیرش فلزات سنگین و مواد ژئوشیمیائی و همچنین توانائی استثنائی در جذب و تحمل عناصر غذائی پرمصرف و محلول درآب (در فرآیندی که به منظور تولید انبوه گیاه تحت شرایط مرطوب یا مانداب انجام می گردد) دارد (Percy and Truong, 2003). خصوصیات موثر، ساده و کم هزینه، باعث تقاضای هر چه بیشتر این گیاه در بسیاری کشورهای گرمسیر و نیمه گرمسیر شده، تا از آن برای اصلاح و احیاء فاضلاب صنعتی، شهری، کشاورزی، خانگی و همچنین در احیاء گیاهی معادن استفاده گردد (Truong and Hart, 2001; Weragoda et al, 2012; Vandemoortel et al, 2010).

در حال حاضر کشورهای بی‌شماری از جمله آلمان، کانادا، چین، کشورهای آسیای جنوب شرقی و ... به طور 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 به صورت وسیعی برای کنترل فرسایش خاک استفاده شده است (Truong and Hart, 2001). به کمک گیاه وتیور پتانسیل تصفیه فاضلاب مورد بررسی 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 به کمک گیاه‌پالایی توسط وتیور و اکالیپتوس را مورد بررسی قرار داده‌اند (Ghaemi and Majdeddin, 2016).

امروزه با توجه به رشد روز افزون 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 راه حل‌هایی برای رفع این خطرات پیش از بروز فاجعه‌ای زیست محیطی 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 تحقیق حاضر مورد بررسی قرار گرفته است گونه گیاهی وتیور است.

هدف از این تحقیق 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 هر کدام در پنج تیمار (صفر درصد، ۲۵ درصد ، ۵۰ درصد، ۷۵ درصد و ۱۰۰ درصد) طی دو دوره تنش آبی پنج و ده روز برای اولین بار، در منطقه فیروزآباد استان فارس، جهت اهداف جلوگیری از رهاسازی فاضلاب در محیط، تصفیه فاضلاب و استفاده از فاضلاب جهت آبیاری فضای سبز است.

• نویسنده مسئول
Email: Mehdi.asadilour@gmail.com

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 آب و هوایی معتدل در ۱۰۰ کیلومتری جنوب شیراز با عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۸۲ ثانیه و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ٥٦ ثانیه واقع شده است. این ناحیه در زمستان‌ها آب و هوای نسبتاً معتدل توام با بارندگی و در تابستان، هوایی گرم و خشک دارد. بر اساس آمار ایستگاه سینوپتیک شیراز، میزان بارندگی این ناحیه بین ۲۰۰ تا ٤۰۰ میلی‌متر در سال است، متوسط حرارت این شهر ١٦/٨٥ درجه و حداکثر و حداقل مطلق دمای آن به ترتیب ۲۹/۲ و ٤/٧٤ درجه سانتی‌گراد است. متوسط میزان بارندگی ماهانه منطقه ٤٨/٤٥ میلی‌متر است که حداکثر آن با ١٨٤/٢ میلی‌متر در آذرماه و حداقل آن با صفر میلی متر در تیر ماه است. متوسط رطوبت نسبی این ناحیه حداکثر ٨٤/٥ و حداقل ۱۲/۵ درصد می‌باشد.

به منظور بررسی سازگاری گونه گیاهی وتیور در شرایط آبیاری با آب های 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) خصوصیات خاک و جدول (۲) خصوصیات آب شاهد، شیرابه و پساب صنعتی مورد استفاده را نشان می‌دهد.

Table 1. Physical and chemical Parameters of soil

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

Table 2. Chemical Parameters of irrigation water and soil

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

پس از عبور دادن خاک‌ها از الک دو میلی‌متری، تعداد ٦۰ 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 کشت شده 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 به همراه ۲۵ درصد شیرابه زباله (R_2)، ۵۰ درصد آب آبیاری به همراه ۵۰ درصد شیرابه زباله (R_3)، ۲۵ درصد آب آبیاری به همراه 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 به همراه درصد پساب صنعتی (W_2)، ۵۰ درصد آب آبیاری به همراه ۵۰ درصد پساب صنعتی (W_3)، ۲۵ درصد آب آبیاری به همراه ۷۵ درصد پساب صنعتی (W_4) و ۱۰۰ درصد پساب صنعتی (W_5) مطابق شکل(۲) مورد بررسی قرار گرفت.

نسخه آماده انتشار

از تعداد ٦٠ گلدان، تعداد ٣٠ گلدان (١٥ گلدان با تیمارهای شیرابه زباله و ١٥ گلدان با تیمارهای فاضلاب صنعتی) به طور همزمان به فاصله پنج روز (A_1) و ٣٠ گلدان دیگر به فاصله ١٠ روز (A_2) در یک دوره مطالعاتی شش ماهه مورد آبیاری قرار گرفتند. این کار با هدف بررسی دوره تنش آبی بر عملکرد گیاه انجام شد. شکل (٣) گونه گیاهی وتیور کشت شده در گلدان‌های سفالی را نشان می دهد.

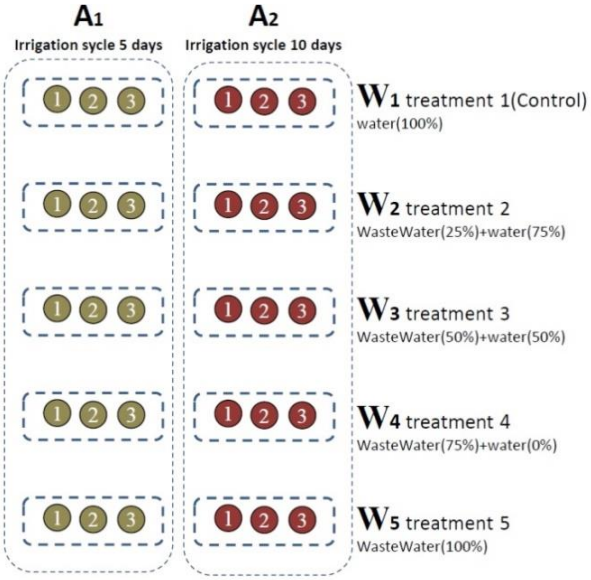

Figure 1. Arrangement of industrial wastewater and irrigation water treatments

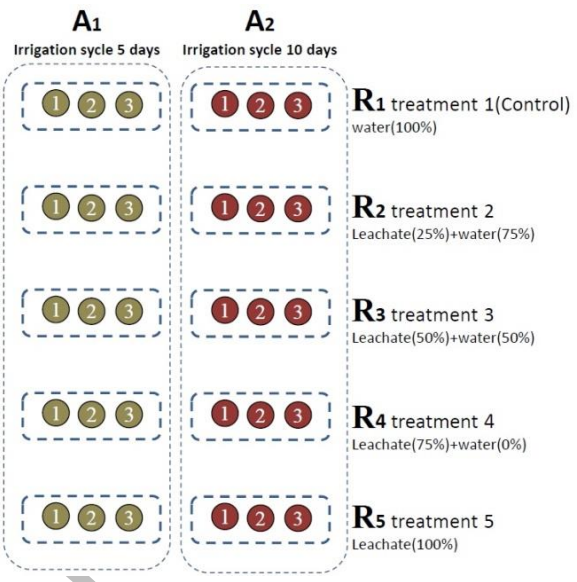

Figure 2. Arrangement of waste leachate and irrigation water treatments

برای اندازه گیری زیست توده (بیوماس) گیاه وتیور از روش تخریبی برداشت مستقیم (برداشت رشد سال جاری) استفاده شده به این صورت که در زمان برداشت بوته‌ها از گلدان‌ها خارج شده و وزن تر کل اندام اندازه‌گیری و سپس از ناحیه طوقه قطع گردید و وزن تر ریشه و اندام هوایی اندازه‌گیری شد، پس از محاسبه وزن تر، محصول برداشت شده به مدت ٤٨ ساعت درون آون قرار داده و در دمای ٧٠ درجه سانتی‌گراد خشک گردید. سپس نمونه‌ها از آون خارج و با ترازوی دیجیتال توزین و وزن خشک اندام‌ها محاسبه گردید. در ادامه داده ها وارد نرم افزار SAS شده و میانگین‌ها توسط آزمون دانکن با یکدیگر مقایسه شد.

Figure 3. Vetiver plant species grown in earthenware pots

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 گردید. جدول (٣) واریانس بین گروه‌ها را با واریانس درون گروه‌ها، مقایسه می‌کند. اگر واریانس بین گروه‌ها نسبت به واریانس درون گروه‌ها به طور معناداری

• نویسنده مسئول
Email: Mehdi.asadilour@gmail.com

زیاد نباشد، می‌توان به یکسان بودن میانگین گروه‌ها رای داد. به عنوان مثال در ردیف اول این جدول بین تکرارها میانگین مربعات خطا عدد ۲۱ به دست آمده و اختلاف معنی‌داری بین تکرارها وجود نداشت.

اثر تیمارهای شیرابه زباله بر خصوصیات گیاه وتیور

ارتفاع گیاه وتیور

براساس نتایج جدول میانگین مربعات (جدول ۳) کاربرد شیرابه‌های زباله تاثیر معنی‌داری بر ارتفاع گیاه، نداشت ($p>0.05$). در سطوح مختلف شیرابه زباله بیشترین ارتفاع به میزان ۸٤/۲ سانتی متر مربوط به تیمار R_2 و کمترین ارتفاع به میزان ۸۰/۸ سانتی متر مربوط به تیمار R_1 بود. تاثیر سطوح مختلف تنش آبی بر ارتفاع وتیور نشان داد بیشترین ارتفاع به میزان ۸۳/٤۹ سانتی‌متر مربوط به تیمار A_1 و کمترین ارتفاع به میزان۸۳/۲ سانتی‌متر مربوط به تیمار A_2 بود. براساس نتایج جدول میانگین مربعات (جدول۳) برهمکنش شیرابه‌های زباله و تنش آبی تاثیر معنی‌داری بر ارتفاع گیاه داشت ($p<0.01$). 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 ۸۱/٥٤ سانتی‌متر مربوط به تیمار R_1A_2 بود (شکل ٤).

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

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

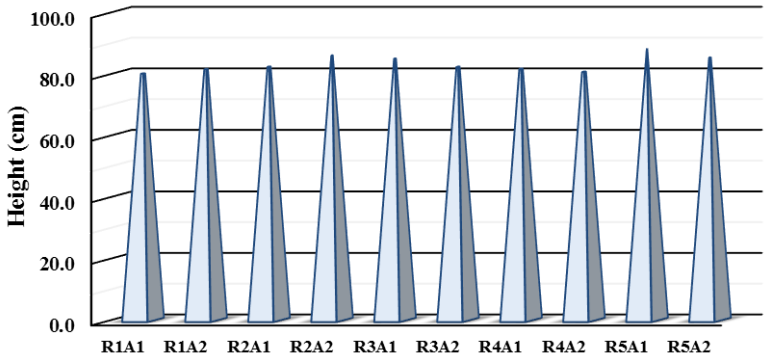

Figure 4. Interaction of waste leachate and water stress treatments on vetiver plant height

تعداد شاخه اصلی

براساس نتایج جدول میانگین مربعات (جدول۳) کاربرد شیرابه زباله تاثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه، داشت ($p<0.01$). 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. تاثیر 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 میزان۲٦ عدد) مربوط تیمار A_2 (تنش ۱۰ روز آبیاری) بود بنابراین کاربرد تنش آبی تاثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه، نداشت ($p>0.05$). بر اساس نتایج به دست آمده برهمکنش شیرابه زباله و تنش آبی تاثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه، داشت ($p<0.05$). 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 به دلیل 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. ولی از یک قانون خاص تبعیت نمی‌کند این عامل تحت تاثیر زنتیک گیاه می‌باشد.

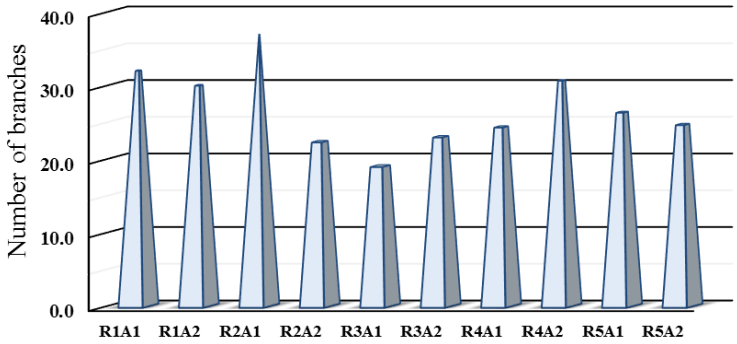

Figure 5. Interaction of waste leachate and water stress treatments on the number of branches in Vetiver plant

وزن تر هوایی

کاربرد سطوح مختلف شیرابه زباله و تنش آبی به صورت مجزا تاثیر معنی‌داری بر وزن تر هوایی وتیور نداشت ($p>0.05$). 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. تاثیر 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 تاثیر معنی‌داری بر وزن تر هوایی داشت ($p<0.05$). 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 ٦).

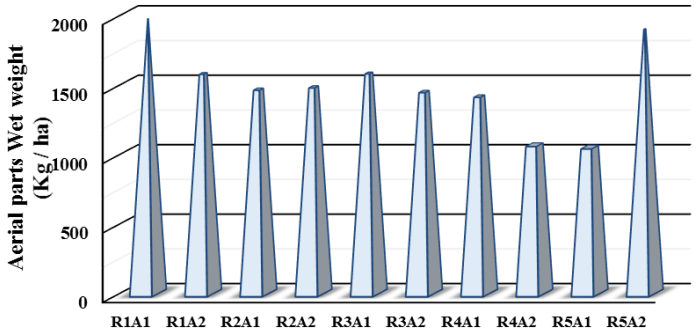

Figure 6. Interaction of waste leachate and water stress treatments on fresh air weight

وزن خشک اندام هوایی

بر اساس نتایج بدست آمده کاربرد سطوح مختلف شیرابه زباله و تنش آبی به صورت مجزا تاثیر معنی‌داری بر وزن خشک هوایی نداشت ($p>0.05$). در سطوح مختلف شیرابه زباله بیشترین وزن خشک هوایی به میزان ۹٤٦ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار R_1 و کمترین وزن خشک هوایی به میزان ٦٥٧/٧ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار R4 بود. تاثیر سطوح مختلف تنش آبی بر وزن خشک

• نویسنده مسئول
Email: Mehdi.asadilour@gmail.com

هوایی در وتیور نشان داد بیشترین وزن خشک هوایی ۷۵۳/٦ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار A_1 و کمترین وزن خشک هوایی به میزان۷٤٤/٦ کیلوگرم در هکتار مربوط تیمار A_2 بود. برهمکنش شیرابه زباله و تنش آبی تاثیر معنی‌داری بر وزن خشک هوایی، داشت ($p<0.05$). 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).

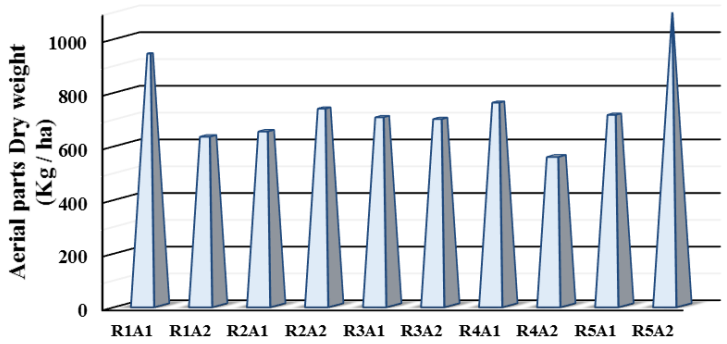

Figure 7. Interaction of waste leachate and water stress treatments on air dry weight

وزن تر ریشه گیاه

کاربرد شیرابه‌زباله تاثیر معنی‌داری بر وزن تر ریشه، داشت ($p<0.05$). 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 ۲۱۰٦/۷ کیلوگرم در هکتار مربوط تیمار R_1 (آب شاهد) بود. کاربرد تنش آبی تاثیر معنی‌داری بر وزن تر ریشه، نداشت ($p>0.05$). تاثیر سطوح مختلف تنش آبی بر وزن تر ریشه، در وتیور نشان داد بیشترین وزن تر ریشه، ۲٦۲۹/۷ 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 تاثیر معنی‌داری بر وزن تر ریشه، داشت ($p<0.05$). 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).

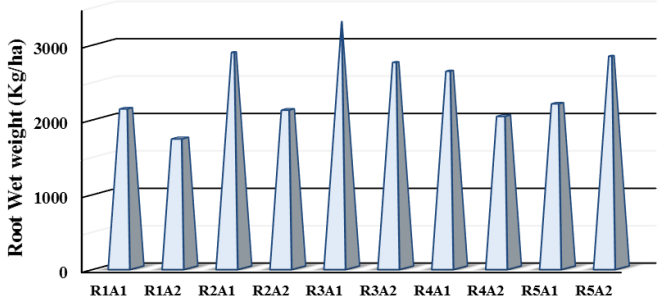

Figure 8. Interaction of waste leachate and water stress treatments on root fresh weight in vetiver

وزن خشک ریشه گیاه

براساس نتایج جدول (۳) کاربرد شیرابه زباله تاثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه، داشت ($p<0.05$). در سطوح مختلف شیرابه زباله بیشترین وزن خشک ریشه به میزان ۱٤٤۵ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار R_4 و کمترین وزن خشک ریشه به میزان ۹٤٤/۲ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار R_3 بود. کاربرد تنش آبی تاثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه نداشت ($p>0.05$). تاثیر 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 ۱۲٦۲ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار A_2 بود. برهمکنش شیرابه زباله و تنش آبی تاثیر معنی‌داری بر وزن

خشک ریشه، داشت ($p<0.05$). 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).

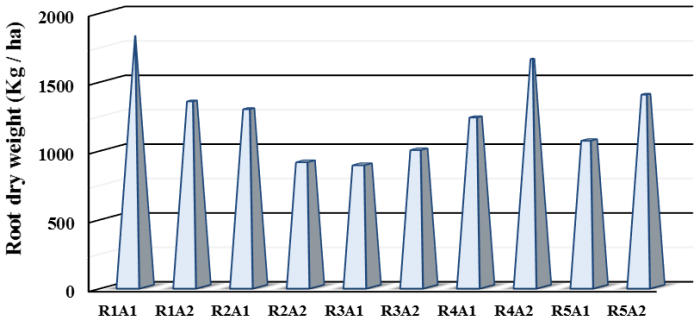

Figure 9. Interaction of waste leachate and water stress treatments on root dry weight in vetiver

اثر تیمارهای فاضلاب صنعتی بر خصوصیات گیاه وتیور

ارتفاع گیاه وتیور

براساس نتایج کاربرد فاضلاب صنعتی تاثیر معنی‌داری بر ارتفاع ($p<0.01$) داشت (جدول ٤). 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 تاثیر معنی‌داری بر ارتفاع نداشت ($p>0.05$). تاثیر 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 سانتی‌متر مربوط تیمار A_2 بود. برهمکنش فاضلاب صنعتی و تنش آبی تاثیر معنی‌داری بر ارتفاع گیاه وتیور داشت ($p<0.05$). 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 ٦٢ 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

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

نسخه آماده انتشار

• نویسنده مسئول
Email: Mehdi.asadilour@gmail.com

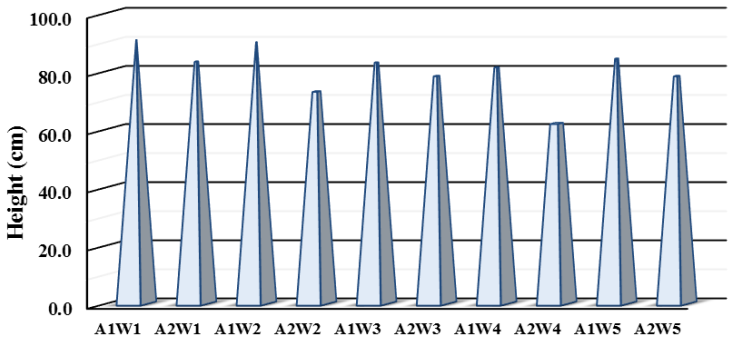

Figure 10. Interaction of industrial wastewater and water stress treatments on vetiver height

تعداد شاخه گیاه وتیور

براساس نتایج کاربرد فاضلاب صنعتی تاثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه گیاه وتیور ($p<0.01$) داشت (جدول٤). 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 تاثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه نداشت ($p>0.05$). تاثیر سطوح مختلف تنش آبی بر تعداد شاخه در وتیور نشان داد بیشترین تعداد شاخه به میزان ۳۲/۳ عدد مربوط به تیمارA_1 و کمترین تعداد شاخه به میزان ۳۱/۲ عدد مربوط تیمار A_2 بود. برهمکنش فاضلاب صنعتی و تنش آبی تاثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه داشت ($p<0.05$). همچنین نتایج مقایسه میانگین‌ها بین اثرات متقابل در وتیور نشان داد که بیشترین تعداد شاخه به میزان ٤٦ عدد مربوط به تیمار W_4A_2 و کمترین تعداد شاخه به میزان ۲۳ عدد مربوط تیمار W_3A_2 بود (شکل ۱۱).

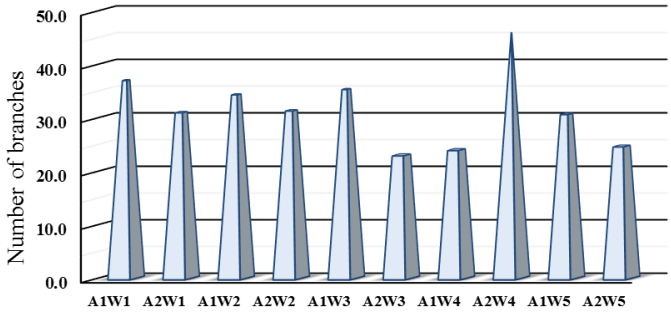

Figure 11. Interaction of industrial wastewater and water stress treatments on number of branches

وزن تر اندام هوایی گیاه وتیور

کاربرد فاضلاب صنعتی تاثیر معنی‌داری بر وزن تر هوایی داشت ($p<0.05$). 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 ۱۲٦۰ کیلوگرم در هکتار مربوط تیمار W_1 بود. کاربرد تنش آبی تاثیر معنی‌داری بر وزن تر هوایی نداشت ($p>0.05$). تاثیر سطوح مختلف تنش آبی بر وزن تر هوایی در وتیور نشان داد بیشترین وزن تر هوایی به میزان ۲۰٤٤ 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 تاثیر معنی‌داری بر وزن تر هوایی داشت ($p<0.05$). همچنین نتایج مقایسه میانگین‌ها بین اثرات متقابل در وتیور نشان داد که بیشترین وزن تر هوایی به میزان ۲٦٦۷ 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).

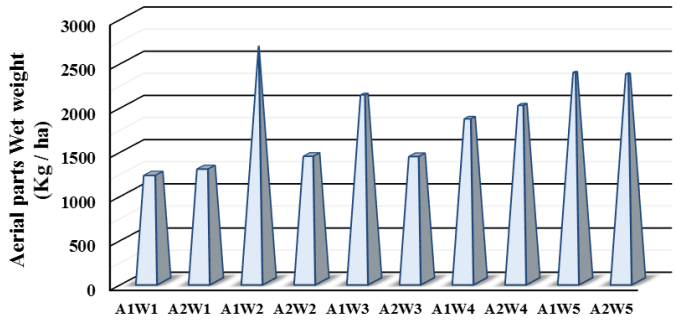

Figure 12. Interaction of industrial wastewater treatments and water stress on air fresh weight

وزن خشک اندام هوایی گیاه وتیور

براساس نتایج به دست آمده کاربرد فاضلاب صنعتی تاثیر معنی‌داری بـر وزن خشـک هـوایی داشـت ($p<0.05$). در سـطوح مختلـف فاضلاب صنعتی بیشترین وزن خشک هوایی به میزان ۱۰۷۸ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار W_2 و کمترین وزن خشـک هـوایی بـه میزان ۸۸۰ کیلوگرم در هکتار مربوط تیمار W_1 آب شاهد بود. کـاربرد تـنش آبـی تـاثیر معنـی‌داری بـر وزن خشـک هـوایی نداشـت ($p>0.05$). تاثیر سطوح مختلف تنش آبی بر وزن خشک هوایی در وتیور نشان داد بیشترین وزن خشک هوایی به میزان ۹٤۰ کیلـوگرم در هکتار مربوط به تیمار A_1 و کمترین وزن خشک هوایی به میزان ۷۸۰ کیلـوگرم در هکتـار مربـوط بـه تیمـار A_2 بـود. بـرهمکنش فاضلاب صنعتی و تنش آبی تاثیر معنی‌داری بر وزن خشک هوایی داشت ($p<0.05$). همچنـین نتـایج مقایسـه میانگین‌هـا بـین اثـرات متقابل در وتیور نشان داد که بیشترین وزن خشک هوایی به میزان ۱۲۳۷ کیلوگرم در هکتار مربـوط بـه تیمـار W_2A_1 و کمتـرین وزن خشک هوایی به میزان ۲۲۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار W_1A_2 بود (شکل ۱۳).

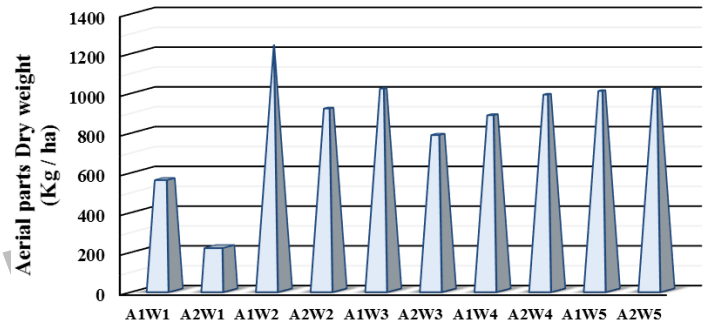

Figure 13. Interaction of industrial wastewater and water stress treatments on air dry weight

وزن تر ریشه گیاه وتیور

براساس نتایج جدول میانگین مربعات (جدول٤) کاربرد فاضلاب صنعتی تـاثیر معنـی‌داری بـر وزن تـر ریشـه، داشـت ($p<0.05$). در سطوح مختلف فاضلاب صنعتی بیشترین وزن تر ریشه به میزان ٤۱۹۲ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار W_5 و کمترین وزن تر ریشـه به میزان ۲۰۸۷ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار W_1 بود. کاربرد تنش آبی تاثیر معنی‌داری بر وزن تر ریشـه داشـت ($p<0.05$). تـاثیر سطوح مختلف تنش آبی بر وزن تر ریشه در وتیور نشان داد بیشترین وزن تر ریشه به میزان ۳۸۸۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمـار A_1 و کمترین وزن تر ریشه به میزان ۲۸٦۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار A_2 بود. برهمکنش فاضلاب صنعتی و تـنش آبـی تـاثیر معنی‌داری بر وزن تر ریشه داشت ($p<0.05$). همچنین نتایج مقایسه میانگین‌ها بین اثرات متقابل در وتیور نشان داد کـه بیشـترین وزن تر ریشه به میزان ٤۷۰۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار W_2A_1 و کمترین وزن تر ریشه به میزان ۱٦۷۱ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار W_1A_2 بود (شکل ۱٤).

• نویسنده مسئول
Email: Mehdi.asadilour@gmail.com

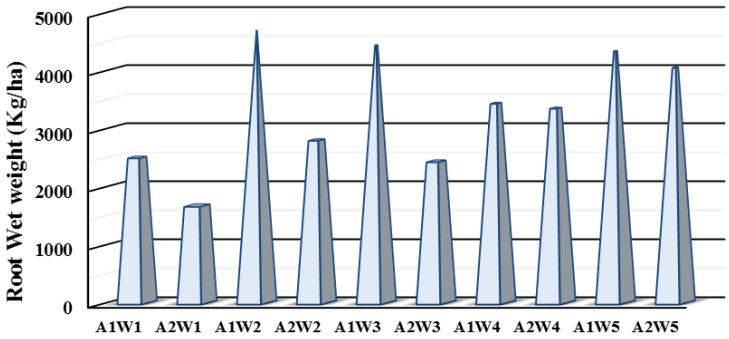

Figure 14. Interaction of industrial wastewater and water stress treatments on root wet weight in vetiver

وزن خشک ریشه گیاه وتیور

براساس نتایج جدول (٤) کاربرد فاضلاب صنعتی تاثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه، داشت ($p<0.05$). در سطوح مختلف فاضلاب صنعتی بیشترین وزن خشک ریشه، (به میزان ١٦٦٠ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار W_3 و کمترین وزن خشک ریشه به میزان ٨٥٠کیلوگرم در هکتار مربوط تیمار W_1 (آب شاهد) بود. کاربرد تنش آبی تاثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه، داشت ($p<0.05$). تاثیر سطوح مختلف تنش آبی بر وزن خشک ریشه، در وتیور نشان داد بیشترین وزن خشک ریشه، به میزان ١٦٩٨ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار A_1 (تنش پنج روز آبیاری) و کمترین وزن خشک ریشه، به میزان ١٢٢٣ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار A_2 (تنش ١٠ روز آبیاری) بود. برهمکنش فاضلاب صنعتی و تنش آبی تاثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه داشت ($p<0.05$). همچنین نتایج مقایسه میانگین‌ها بین اثرات متقابل در وتیور نشان داد که بیشترین وزن خشک ریشه به میزان ٢٠٩٥ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار W_3A_1 و کمترین وزن خشک ریشه، به میزان ٦٦٣ کیلوگرم در هکتار مربوط تیمار W_1A_2 بود (شکل ١٥).

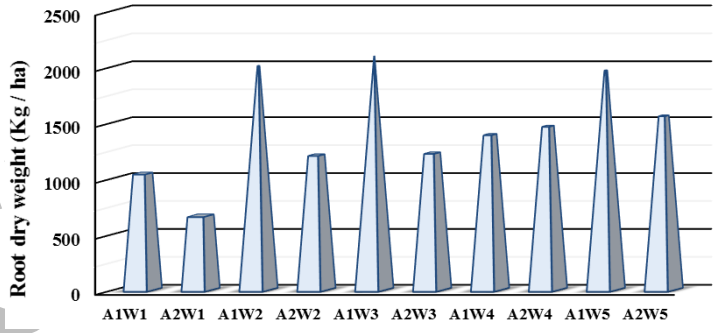

Figure 15. Interaction of industrial wastewater treatments and water stress on root dry weight in vetiver

نتیجه گیری

افزایش آلودگی آب و خاک باعث ایجاد مسائل و مشکلات زیست محیطی زیادی شده است یکی از روش‌های مورد استفاده در تصفیه آلودگی‌های آب و خاک استفاده از روش گیاه پالایی است. شناسایی گیاهان فعال و مهم در این زمینه باعث افزایش کارآیی و حفاظت از محیط زیست می‌گردد. 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 تحقیق در بررسی ویژگی‌های گیاه وتیور، نتایج کاربرد شیرابه‌های زباله تاثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه ($P<0.01$)، وزن تر و خشک ریشه ($P<0.05$) داشت اما کاربرد شیرابه زباله تاثیر معنی‌داری بر ارتفاع، وزن تر و خشک هوایی نداشت ($P<0.05$). 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 گردید. کاربرد تنش

آبی تاثیر معنی‌داری بر عملکرد و اجزای آن نداشت (P>0.05). بیشترین عملکرد افزایشی صفات در تنش پنج روز آبیاری و کمترین ۱۰ روز آبیاری بدست آمد. نتایج کاربرد فاضلاب صنعتی تاثیر معنی‌داری بر ارتفاع، تعداد شاخه (P<0.01)، وزن خشک هوایی، وزن تر و خشک ریشه (P<0.05) داشت اما تاثیر معنی‌داری بر وزن تر هوایی نداشت (P<0.05). بیشترین اثر افزایشی فاضلاب صنعتی و تنش آبیاری بر خصوصیات گیاه در سطح برهمکنشی، تیمار W_2A_1 (مخلوط آب و ۲۵ درصد فاضلاب صنعتی و تنش پنج روز آبیاری) به دست آمده است. بیشترین اثر افزایشی شیرابه زباله و تنش آبیاری بر خصوصیات گیاه در سطح برهمکنشی، تیمار R_5A_2 به دست 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) به دست آمده است. به این ترتیب تیمارW_2A_1، بازخوردی مناسب از ترکیب فاضلاب صنعتی و تنش آبیاری برای زیست توده در گیاه وتیور می‌باشد.

آبیاری با تیمارهای مختلف آب‌های نامتعارف باعث گردید خصوصیات 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 مورد انتظار 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 شش ماهه وتیور به کاربرد آب‌های نامتعارف واکنش محسوسی نشان نداده است. مسلماً کاربرد استراتژیک وتیور برای اصلاح فاضلاب، یک فن‌آوری احیاء گیاهی نوین و ابتکاری است که نتایج نمایانگر توان فوق‌العاده این گیاه به عنوان یک راه حل سبز، طبیعی، ساده، عملی با هزینه‌های قابل پرداخت می‌باشد. استفاده از این گیاه در تصفیه خانه‌ها یا موارد مشابه قابلیت بالایی در حذف آلایندگی خواهد داشت و کمک شایان توجهی به حفاظت محیط زیست می‌نماید.

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.

• نویسنده مسئول

Email: Mehdi.asadilour@gmail.com

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. and 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.

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[2], Ali Asareh[2]

[1] PhD Student, Water Science and Engineering Department, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

[2] Assistant Professor, Water Science and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

[3]Assistant Professor, Agriculture and Natural Resources Department, Firoozabad Branch, Islamic Azad University, Firoozabad, Iran

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.

Keywords: Randomized Complete Design, Unconventional Waters, Vetiveria Zizonicides, Water Stress.

نسخه آماده انتشار

Email: Mehdi.asadilour@gmail.com • نویسنده مسئول