محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دورهٔ ۶۸، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۴
صفحات ۶۴۰-۶۲۹

# کاربرد سیستم وتیور در تصفیه و بهبود کیفیت آب‌های نامتعارف

**امیررضا کشتکار[1*]، محمدرضا احمدی[2]، هادی آتشی[3] ، حسین حمیدی‌فر[4]، سید مهدی رضوی[5]، حمیدرضا ناصری[1]، احمد یزدان‌پناه[6]، نسرین معظمی[7]**

**۱. استادیار گروه آموزشی مدیریت مناطق بیابانی، مرکز تحقیقات بین‌المللی بیابان، دانشگاه تهران، تهران**
**۲. پژوهشگر بخش آب و محیط زیست، پژوهشکدهٔ سنگ آهن و فولاد، شرکت معدنی و صنعتی گل‌گهر، سیرجان، کرمان**
**۳. دانشیاربخش علوم دامی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز**
**۴. استادیار بخش مهندسی آب، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز**
**۵. کارشناس ارشد مهندسی منابع طبیعی، مهندسان مشاور سبخا، اراک**
**۶. کارشناس ارشد آبخیزداری، ایستگاه پژوهشی مرکز تحقیقات بین‌المللی بیابان، دانشگاه تهران، کرمان**
**۷. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه آموزشی مدیریت مناطق بیابانی، مرکز تحقیقات بین‌المللی بیابان، دانشگاه تهران، تهران**

**(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۲/۲۰- تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۹/۸)**

## چکیده

با توجه به محدودیت منابع آب شیرین، به‌ویژه در سرزمین‌های خشک و بیابانی، استفاده از فاضلاب‌های تصفیه‌شده در کشورهای مختلف جهان به‌منزلهٔ راهکاری برای مدیریت عرضه و تقاضا منابع آب مطرح است. در همین زمینه، تحقیق حاضر نیز با هدف امکان‌سنجی و ارزیابی میزان تأثیر و کارآیی گیاه وتیورگراس در کاهش میزان خواص نامطلوب در دو نمونهٔ آب نامتعارف شرکت صنعتی و معدنی گل‌گهر سیرجان انجام شده است. این پژوهش به صورت فاکتوریل (با دو فاکتور شوری با دو سطح و زمان ماند با پنج سطح) و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. نمونه‌های بررسی‌شده از حوضچهٔ ذخیرهٔ پساب معدن و حوضچهٔ ذخیرهٔ آب‌های بسیار شور زیرزمینی موجود در محدودهٔ معدن گرفته شد. سطوح فاکتور زمان شامل زمان صفر، هفته یک، دو، سه و چهار آزمایش بود. نتایج این تحقیق نشان داد که در پایان زمان نمونه‌برداری (پایان هفتهٔ چهارم)، گیاه وتیورگراس بیشترین بازده معادل ۳۱/۵ درصد را برای نمونه‌های پساب معدن و ۳۳ درصد برای نمونه‌های حوضچهٔ ذخیرهٔ آب زیرزمینی، در کاهش میزان کل املاح محلول داشت. همچنین، نتایج مربوط به آنالیز آنیون‌ها و کاتیون‌های موجود در نمونه‌ها نشان داد که گیاه وتیور به‌ترتیب بیشترین میزان راندمان در کاهش پارامتر سولفات را در هر دو نمونهٔ آب و کمترین میزان راندمان در کاهش پارامتر پتاسیم در نمونهٔ پساب معدن و منیزیم در نمونهٔ آب زیرزمینی را در پایان هفتهٔ چهارم داشته است. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که سیستم تصفیهٔ وتیور پتانسیل بالایی در تصفیهٔ آب‌های نامتعارف دارای املاح و شوری بسیار بالا و کاهش آلاینده‌ها دارد.

**کلیدواژگان:** آب نامتعارف، تصفیهٔ بیولوژیک، طرح کاملاً تصادفی، معدن سنگ آهن، وتیورگراس.

* نویسندهٔ مسئول
Email: keshtkar@ut.ac.ir

## ۱. مقدمه

افـزایش مصـارف آب و در پـی آن تولیـد فاضـلاب و همچنـین توجـه بـه اسـتفادهٔ غیـراصـولی در وضـع موجود، ایجاب می‌کند بـرای جلـوگیری از گسـترش مشکلات محیط زیستی و همچنین تأمین بخشـی از آب مورد نیاز مصارف مختلف، از طریق بازچرخـانی و اسـتفادهٔ مجـدد از پسـاب‌هـا و آب‌هـای برگشـتی برنامه‌ریزی شود. در این میـان، پسـاب‌هـای ناشـی از تولیدات صنعتی و کارخانه‌ها و فاضلاب‌هـای شـهری، در کنـار تخریـب و کـاهش منـابع طبیعـی، فشـار مضاعفی را بر اکوسیستم کرهٔ زمین تحمیل مـی‌کنـد. این مسـئله موجـب شـده دانشـمندان بـا روش‌هـای مختلف، بـار آلـودگی پسـاب واردشـده بـه محـیط را کاهش دهند. بنابراین، به‌کارگیری روش‌هایی که هـم از نظر اقتصادی مقرون بـه صـرفه باشـند و هـم آثـار مخـرب محـیط زیسـتی نداشـته باشـند، در تصـفیهٔ آب‌های نامتعارف و پساب‌هـای تولیـدی بخـش‌هـای گونـاگون، در راسـتای مـدیریت جـامع منـابع آب و استفادهٔ بهینه از منابع آب شیرین، به‌ویژه در منـاطق خشک و بیابانی، مانند ایران، کـه بـا محـدودیت ایـن منـابع روبـه‌رو اسـت، لازم و ضـروری اسـت. در ایـن میان، یافتن راه حلی مطمئن که ضمن رفع آلـودگی، کم‌هزینه و نسبتاً سـریع باشـد و تـأثیرات جنبـی آن سلامت محـیط را بـه خطـر نینـدازد، بسـیار حیـاتی است.

با مرور تجربهٔ کشـورهای توسـعه‌یافتـه، کـه از سال‌ها پیش درگیر چنین معضلاتی بوده‌اند، دیـده می‌شود که یکـی از راه‌کارهـایی کـه در دهـه‌هـای اخیر به‌منظور تصفیهٔ فاضلاب‌ها به‌کار گرفته شـده است، استفاده از پتانسیل‌های فیزیولوژیکی گیاهان اسـت کـه در دهـه‌هـای گذشـته بـا عنـوان کلـی گیـاه‌پـالایی[1] طبقـه‌بنـدی شـده‌انـد (Keshtkar, 2013). سیستم‌های تصفیهٔ پوشش گیـاهی عمومـاً ساده، اقتصادی و فاقد آثار مخرب و زیان‌بـار بـرای محیط زیست و منابع طبیعـی‌انـد (Kirkpatrick, 2005; Lu, 2009; Roongtanakiat *et al*., 2007; Wei and Zhou, 2004; Xia and Ma, 2006). مهم‌ترین فاکتور در اجـرای سیسـتم‌هـای تصـفیهٔ بیولوژیک، انتخاب گونهٔ گیاهی مناسـب اسـت کـه باید ویژگی‌های منحصربه‌فردی چون قابلیت بـالای جذب آلاینده‌های آلی و معدنی، سـازگاری و رشـد مناسب در محیط‌های آلوده (آب و خاک) و تکثیـر آسـان و سـریع داشـته باشـد (Mashauri *et al.*, 2000; Roongtanakiat *et al*., 2007). نتـایج تحقیقات گوناگون نشـان داده اسـت کـه حتـی در یک جنس، میزان جذب آلاینده‌هـا از گونـه‌ای بـه گونهٔ دیگر متفاوت است (Roongtanakiat *et al.*, 2007). محققان زیادی گونه‌های گونـاگون گیـاهی را در اقلیم‌های مختلفی برای تصفیهٔ آب آزموده‌اند (Skinner *et al*., 2007) که از آن جمله مـی‌تـوان به سـنبل آبـی[2] (Dar *et al*., 2011; Dhote and Dixit, 2007; Jamuna and Noorjahan, 2009; Lissy and Madhu, 2010; Mahmood *et al*., 2005; Muramoto and Oki, 1983; Trivedy and Pattanshetty, 2002; Valipour *et al*., 2010; Valipour *et al*., 2011)، کـاهو آبـی[3] (Awuah et al., 2004; Dipu *et al*., 2011; Fonkou *et al*., 2002; Jing *et al*., 2002; Lu et al., 2010)، سیزاب[4] (Mkandawire and Dudel, 2007)، جگـن[5]، وتیـورگراس[6]، (Girija *et al*., 2011; Lakshmana *et al*., 2008; Roongtanakiat *et al*., 2007; Truong and Borghei *et al*., 2003; Baker, 1998) و نـی[7] (Gupta *et al*., 2012;) اشاره کرد.

در میان تجارب و تحقیقات گوناگون انجام‌شده مـی‌تـوان بـه پـالایش گیـاهی مـواد لاروب‌شـده و گل‌های روان، پـالایش سـبزخاک‌هـا یـا آلـوده بـه فلزات سنگین، تصـفیهٔ گیـاهی روانـاب سـطحی و کنترل فرسایش خـاک، جلـوگیری از جابـه‌جـایی آلاینده‌ها و حفاظـت از آبراهـه‌هـا و خاکریزهـا بـا استفاده از گیاهان سبز، استفاده از گیاهـان مقـاوم

1. phytoremediation

2. Water Hyacinth (*Eichhornia crasspies* (*Mart.*)
3. Water Lettuce (*Pistia stratiotes L.*)
4. Duckweed (*Water Lemna*)
5. Bulrush (*Typha*)
6. Vetiver Grass (*Chrysopogon zizanoioides*)
7. Common Reed (*Phragmites Australis*)

به فلزات سنگین مانند نیسرخ[1] برای کنترل فرسایش خاک در معادن فلز و بندآب‌های بزرگ، اصلاح مواد لاروب‌شدهٔ اسیدی و آلوده به فلزات سنگین با استفاده از گیاهان سبز، استفاده از گیاهان با ظرفیت ذخیرهٔ زیاد[2] برای اصلاح خاک‌های آلوده به فلزات، کشت نیزار در سطحی پر از آب آلوده به فلزات سنگین به منظور حذف آلودگی با استفاده از قدرت جذب نی از سوی مرکز تحقیقات توسعهٔ پایدار شرکت شل در صحرای عمان در سال ۲۰۰۲ به‌منزلهٔ یک تجربهٔ موفق جهانی اشاره کرد (Asadi, 2009). همچنین می‌توان به نتایج مطالعه‌ای آزمایشگاهی که در مدت زمان ۲۱روز روی سه گونهٔ گیاهی، *Parrot feather*، *Creeping primrose* و *Watermint* اشاره کرد که بیانگر توانایی این گونه‌ها در حذف جیوه تا ۹۹/۸ درصد بوده است (Kamal *et al.*, 2004). بااین‌حال، جذب فلزات و همچنین راندمان حذف از سوی گیاهان در شرایط مختلف محیطی حتی دربارهٔ گیاهان مشابه نتایج مختلفی را نشان داده است. در تحقیق دیگری، میزان تصفیه‌پذیری فاضلاب صنعتی پالایشگاه اصفهان به شیوهٔ وتلند مطالعه و ارزیابی شده است. در این مطالعه، از سامانه‌ای نیمه‌صنعتی تالاب‌های مصنوعی با جریان زیر سطحی از نوع افقی استفاده شد. گیاه آزمایش‌شده نیز نی (فراگماتیس استرالیس) بود که در بسترهای شنی رشد یافته بود (Borghaei *et al.*, 2003).

از میان گیاهان مختلف، گیاه وتیورگراس به علت داشتن ویژگی‌های منحصربه‌فرد، در بسیاری از کشورها مانند استرالیا، چین، ویتنام، هندوستان، فیلیپین، مالزی، هلند و ایالات متحدهٔ امریکا به منظور تصفیه و بهبود کیفیت آب و خاک مورد استفاده قرار گرفته و نتایج بسیار امیدوارکننده‌ای را به دنبال داشته است. در حال حاضر نیز، بیش از ۱۰۰ کشور جهان از خصوصیات استثنایی و منحصربه‌فرد ویتور جهت اهداف مختلفی چون حفاظت از آب و خاک در زمین‌های زراعی، تثبیت سراشیبی‌های ناپایدار رودخانه‌ها، آبخیزداری، احیای زمین‌های حاشیهٔ سدها و معادن، احیای زمین‌های آلوده و نمک‌زارها و به‌تازگی نیز جهت احیای مرداب‌ها و بهبود کیفیت آب استفاده می‌کنند (Gupta *et al.*, 2012; Truong, 2000). Carlin و همکاران (۲۰۰۳)، در بررسی تأثیر کشت گیاه وتیور در محیط‌های اسیدی، که در کشور استرالیا انجام شد، به این نتیجه رسیدند که با کاشت وتیور در اراضی اسیدی حاشیهٔ آبراهه‌ها، علاوه بر کاهش میزان فرسایش کناری رودخانه و به دام انداختن رسوبات حاصل از جریان رواناب دامنه‌های طرفین آبراهه، می‌توان از ورود مواد اسیدی حاصل از آب‌شویی خاک‌های اسیدی به داخل جریان آبراهه جلوگیری کرد. مطالعات متعدد روی وتیور گراس نشان داده است که گیاه وتیورگراس قابلیت رشد در محیط‌های شور و حتی اسیدی (Truong *et al.*, 2003; Truong and Le, 2003; Maffei, 2002; Xia and Shu, 2001; Zheng *et al.*, 1997) را دارد. همچنین، بررسی قابلیت‌های بسیار بالای گیاه وتیور گراس نشان داد که این گیاه پتانسیل کاهش فسفات تا ۹۰ درصد، نیترات تا ۹۴درصد و کلراید تا کمی بیش از ۲۰درصد را دارد (Anon, 1997; Cull *et al.*, 2000; Stefanie *et al.*, 2003; Truonge and Baker, 1998; Truong and Hart, 2001; Wagner *et al.*, 2003; Xia *et al.*, 2000, Zheng *et al.*, 1997) و نیز قابلیت بالایی در جذب فلزات سنگین دارد (Gupta *et al.*, 2012; Roongtanakiat and Chairoj, 2001a,b;Roongtanakiat *et al.*, 2003; Xia and Shu, 2001; Zheng *et al.*, 1997).

این تحقیق نیز براساس چالش‌های شرح داده‌شده، با هدف ارزیابی امکان استفاده از آب‌های نامتعارف موجود (پساب‌های معدنی و منابع آب بسیار شور زیرزمینی) در شرکت معدنی و صنعتی گل‌گهر پساب‌های معدنی در چرخهٔ تولید، به ارزیابی راندمان استفاده از گیاه وتیورگراس به‌منزلهٔ روشی بیولوژیک در تصفیهٔ پساب معدن و افزایش کیفیت آب بسیار شور چاه‌های موجود در محدودهٔ شرکت صنعتی و معدنی گل‌گهر و

1. Festucarubra
2. Hyperaccumolator

دستیابی به آب با کیفیت مطلوب‌تر به منظور استفاده در چرخهٔ تولید پرداخته است.

## ۲. مواد و روش

### ۱.۲. مواد

#### ۲. ۱. ۱. سیستم تصفیهٔ وتیور

در تحقیق حاضر، از گیاه وتیورگراس به‌منزلهٔ تصفیه‌کنندهٔ بیولوژیک آب‌های نامتعارف استفاده شد. علف وتیور با نام علمی *Chrysopogon zizanoioides* گیاهی است متعلق به خانوادهٔ گندمیان که با انواع خاک‌ها و آب و هوا خود را وفق می‌دهد و رشد می‌کند. گیاه وتیور در مناطقی که میزان بارندگی در آن‌ها ۴۵۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر است، به‌خوبی رشد می‌کند و پس از رشد در مقابل خشکی مقاوم است (Girija *et al.*, 2011, Maffei, 2002). دمای ۱۰- تا ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد را به‌خوبی تحمل می‌کند (Girija *et al.*, 2011) و در دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد حداکثر رشد را دارد (Zhang, 1992). این گیاه در حالت سبزی در مقابل آتش‌سوزی مقاوم است و به‌آسانی آتش نمی‌گیرد و در مقابل حشرات و نماتودها نیز مقاوم است. شایان ذکر است که گیاه وتیور در مقابل سایه بسیار حساس است و رشد آن را به تأخیر می‌اندازد و این عمل در گیاهان جوان محسوس‌تر است (Le and Truong, 2003). تحقیقات گوناگون نشان داده که گیاه، سریع‌الرشد و قادر است در مدت زمان کوتاهی بیومس زیادی را تولید کند (Xia *et al.*, 2000). همچنین، سیستم ریشه‌ای عمیق، افشان و توده‌ای و با الیاف ریز دارد که می‌تواند به میزان ۱۲۶ میلی‌متر در روز (Vieritz *et al.*, 2003) و ۳/۶ متر در سال رشد کند (Dulton *et al.*, 1996; Lakshmana *et al.*, 2008). وتیورگراس در انواع خاک‌های اسیدی، بازی، قلیایی و شور استقرار می‌یابد و در خاک‌هایی که میزان فلزات سنگین آن‌ها مانند آلومینیوم، منگنز و... بالاست نیز از خود سازگاری و مقاومت نشان می‌دهد (Roongtanakiat and Chairoj, 2001a,b; Xia and Shu, 2001; Roongtanakiat *et al.*, 2003). سیستم تصفیهٔ وتیور در ابتدای دههٔ ۹۰ میلادی با استفاده از علف وتیور، که به دلیل داشتن ویژگی‌های منحصربه‌فرد به‌منزلهٔ سوپرجاذبی مناسب برای اصلاح پساب و شیرابه‌های زباله‌ها مناسب تشخیص داده شد، بنیان شده است (Truong and Stone, 1996). این سیستم به‌آسانی قابل استفاده و اقتصادی است (Calderon, 2010; Truong, 1999; Truong, 2004).

#### ۲ .۱. ۲. نمونهٔ آب‌های نامتعارف

نمونه‌های آب‌های نامتعارف، شامل دو نمونه پساب معدن و آب‌های بسیار شور زیرزمینی، مربوط به محدودهٔ معدن شرکت معدنی و صنعتی گل‌گهر بودند که از محل استخر ذخیرهٔ پساب معدن شمارهٔ سه و استخر ذخیره‌سازی آب‌های زیرزمینی مجتمع برای انجام آزمایش‌ها برداشت شدند. معدن سنگ آهن گل‌گهر در ۴۵ کیلومتری جادهٔ سیرجان- شیراز و در شهرستان سیرجان، استان کرمان واقع شده و با برخورداری از شش آنومالی با ذخیرهٔ بیش از ۱۱۳۵ میلیون تن، یکی از ذخایر مهم سنگ آهن کشور محسوب می‌شود. در سال‌های گذشته، به‌واسطهٔ شرایط محیطی منطقه و کمبود منابع آبی مطلوب، توسعهٔ هرچه بیشتر این مجتمع و دستیابی به منابع و درنهایت سود اقتصادی بیشتر را با مشکلات جدی روبه‌رو کرده است.

### ۲.۲. روش تحقیق

این تحقیق در فاز آزمایشگاهی و به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار در گلخانه انجام شد. این پژوهش به صورت فاکتوریل (با دو فاکتور شوری با دو سطح و زمان ماند با پنج سطح) و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. نمونه‌های بررسی‌شده از حوضچهٔ ذخیرهٔ پساب معدن و حوضچهٔ ذخیرهٔ آب‌های بسیار شور زیرزمینی موجود در محدودهٔ معدن گرفته شد. هر تیمار سه تکرار داشت؛ به‌طوری‌که ۲۴ حوضچه با

ابعاد ۱۰۰× ۲۵ و عمق ۲۰ سانتی‌متر، برای ۱۲ تیمار و هر تیمار سه تکرار، سه حوضچه نیز برای نمونهٔ شاهد، حفر شد. به منظور ایزوله‌کردن و جلوگیری از نفوذ آب، کف حوضچه‌ها با استفاده از پوشش پلاستیکی عایق‌بندی و حوضچه‌ها با شن درشت پر شدند (برای ایجاد محیط متخلخل و نگهداری گیاه در پساب) و درنهایت شبکهٔ ظروف (استوانه‌های پلاستیکی که وظیفهٔ برقراری یک هد ثابت برای حوضچه‌ها را برعهده داشتند) و لوله‌های ورودی و خروجی پساب نیز مستقر شدند. پس از گذشت ۱۲ هفته از کشت پایه‌های گیاهی، گیاهان از گلدان‌های پلاستیکی که در آن کشت شده بودند خارج شد و ریشهٔ گیاهان در میان گراول‌ها (شن‌های درشت) در حوضچه‌ها قرار داده شد؛ به‌طوری‌که در هر حوضچه سه گیاه مستقر شد. همهٔ گیاهان هرس و ارتفاع یکسان ۲۰ سانتی‌متر برای کلیهٔ آنان رعایت شد. نمونه‌های آب تحت عنوان نمونهٔ شمارهٔ یک (پساب معدن) در قالب نمونهٔ آب $T_1$ و نمونهٔ شمارهٔ دو (آب بسیار شور زیرزمینی) در قالب نمونهٔ آب $T_2$ بودند که در چهار زمان ماند (۱، ۲، ۳ و ۴ هفته) ارزش‌یابی شدند؛ به‌طوری‌که برای هر زمان ماند (هفته) سه حوضچه به‌طور جداگانه ایجاد و در پایان زمان مقرر مربوط به هر تیمار نمونه‌ها برداشت و به آزمایشگاه ارسال شد. در پایان هر هفته، پارامترهای کیفی گوناگون همچون میزان کل املاح محلول و هدایت الکتریکی نمونه‌ها تجزیه و تحلیل شدند. در این پژوهش، از آزمون شاپیرو- ویلک و آزمون بارتلت به ترتیب برای آزمون نرمال‌بودن باقی‌مانده‌ها و آزمون همگن- ناهمگن بودن واریانس خطا در تیمارها استفاده شد. داده‌ها با روش آنالیز واریانس آنالیز شدند و میانگین تیمارها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح معناداری پنج درصد مقایسه شدند.

## ۳. نتایج

### ۱.۳. آماده‌سازی و تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این پژوهش، از آزمون شاپیرو- ویلک و آزمون بارتلت به ترتیب برای آزمون نرمال‌بودن باقی‌مانده‌ها و آزمون همگن- ناهمگن بودن واریانس خطا در تیمارها استفاده شد. در این پژوهش، ۱۰ صفت بررسی شد و نتایج آزمون نرمال‌بودن و همگن- ناهمگن بودن واریانس خطا در صفات مختلف چنین بود. داده‌های صفات pH و منیزیم بدون نیاز به هیچ‌گونه تبدیل، نرمال بودند و واریانس خطا در تیمارها نیز همگن بود. داده‌های دیگر صفات یا نرمال نبودند یا واریانس خطا در تیمارها ناهمگن بود. در این بین، با تبدیل لگاریتم طبیعی، توزیع باقی‌مانده‌های صفات EC، TDS و So4 نرمال شدند و واریانس خطا در تیمارها همگن نیز همگن شد. دربارهٔ دیگر صفات، تبدیل لگاریتمی یا توزیع باقی‌مانده‌ها را نرمال نکرد یا واریانس خطا در تیمارها همگن نشد. بنابراین، برای این صفات روش تبدیل باکس- کاکس به‌کار گرفته شد (جدول ۱).

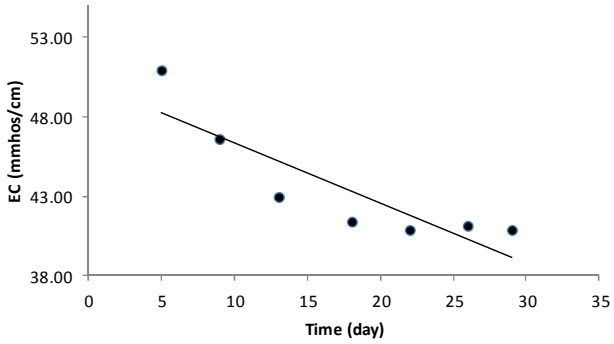
**جدول ۱. تبدیل انجام‌شده روی صفات بررسی‌شده برای نرمال‌کردن توزیع باقی‌مانده‌ها یا همگن کردن واریانس خطا در تیمارها**

| صفت | pH | Mg | EC | Cl | Na |
|---|---|---|---|---|---|
| نوع تبدیل | عدم تبدیل | عدم تبدیل | تبدیل لگاریتمی | $tCl = \frac{Cl_i^{-0.60} - 1}{-0.60}$ | $tNa = \frac{Na_i^{-0.50} - 1}{-0.50}$ |
| صفت | SO4 | TDS | TH | K | Ca |
| نوع تبدیل | تبدیل لگاریتمی | تبدیل لگاریتمی | $tTH = \frac{TH_i^{-2.10} - 1}{-2.10}$ | $tK = \frac{K_i^{-0.35} - 1}{-0.35}$ | $tCa = \frac{Ca_i^{-0.35} - 1}{-0.35}$ |

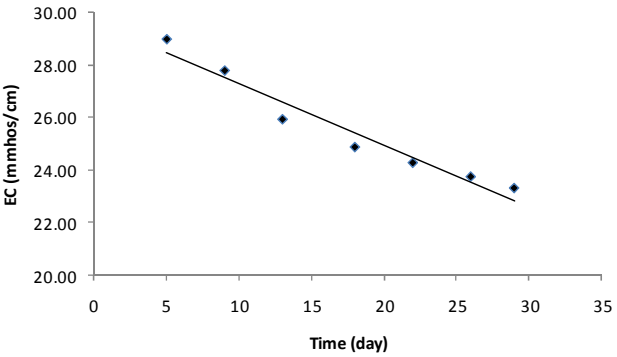
### ۲.۳. تغییرات کل املاح محلول و هدایت الکتریکی

نتایج نشان داد که گیاه وتیورگراس در نمونه‌های پساب معدن با کاهش میزان کل املاح محلول از ۲۸/۱ به ۱۹/۳ گرم بر لیتر دارای راندمان حداقل ۳/۹ درصد در پایان هفتهٔ اول و ۳۱/۵ درصد در پایان هفتهٔ چهارم (پایان نمونه‌برداری) در کاهش میزان کل املاح محلول بود (P<۰/۰۵). همچنین، این گیاه با کاهش میزان هدایت الکتریکی از ۵۳/۳ به ۴۰/۹ میلی‌موس بر سانتی‌متر دارای راندمان حداقل ۷/۹۵ درصد در پایان هفتهٔ اول و ۲۳/۲۸ درصد در پایان هفتهٔ چهارم (پایان نمونه‌برداری) در کاهش میزان هدایت الکتریکی بود (P<۰/۰۵) (شکل ۱).

در نمونه‌های آب زیرزمینی گیاه وتیورگراس با کاهش میزان کل املاح محلول از ۱۵ به ۱۰/۹ گرم بر لیتر دارای حداقل کارآیی و راندمانی برابر با ۱۶/۴ درصد در پایان هفتهٔ اول و حداکثر ۳۳/۱ درصد در پایان هفتهٔ چهارم (پایان نمونه‌برداری) در کاهش میزان کل املاح محلول بود (P<۰/۰۵). این گیاه همچنین با کاهش میزان هدایت الکتریکی از ۳۱/۱ به ۲۳/۳ میلی‌موس بر سانتی‌متر دارای حداقل راندمان ۹/۶ درصد در پایان هفتهٔ اول و حداکثر ۲۸/۰۲ درصد در پایان هفتهٔ چهارم (پایان نمونه‌برداری) در کاهش میزان هدایت الکتریکی بود (شکل ۲). همچنین، میزان تغییرات سایر پارامترهای اندازه‌گیری‌شده در نمونه‌های اصلی در پایان هفتهٔ چهارم نشان داد که در نمونه‌های پساب معدن پارامترهای سولفات و پتاسیم به‌ترتیب با ۶۳/۹ و ۱۹/۶ درصد بیشترین و کمترین میزان کاهش را داشتند. در نمونه‌های آب زیرزمینی نیز پارامترهای سولفات و منیزیم به ترتیب با ۷۰/۹ و ۲۳/۸ درصد بیشترین و کمترین میزان کاهش را نشان دادند (جدول ۲).




**شکل ۱. روند تغییرات هدایت الکتریکی نمونه‌های پساب معدن در طول آزمایش**




**شکل ۲. روند تغییرات هدایت الکتریکی نمونه‌های آب زیرزمینی در طول آزمایش**

جدول ۲. روند تغییرات پارامترهای بررسی‌شده از زمان صفر تا پایان دورهٔ آزمایش

| پارامتر | تغییرات نمونهٔ $T_1$ | | | تغییرات نمونهٔ $T_2$ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | نمونهٔ اصلی | هفتهٔ چهارم | راندمان (درصد) | نمونهٔ اصلی | هفتهٔ چهارم | راندمان (درصد) |
| TH (mg/l)[1] | ۱۴۱۳۰ | ۷۶۱۳ | ۴۶/۱ | ۸۸۸۳ | ۴۸۷۷ | ۴۵/۱ |
| SO4 (me/l) | ۹۴/۹ | ۳۴/۳ | ۶۳/۹ | ۹۸/۵ | ۲۸/۷ | ۷۰/۹ |
| Cl (me/l) | ۵۸۶ | ۳۰۷ | ۴۷/۶ | ۳۲۶ | ۱۶۷ | ۴۸/۸ |
| Na (me/l) | ۳۹۷ | ۱۸۹ | ۵۲/۴ | ۲۴۷ | ۱۰۱ | ۵۹/۱ |
| K (me/l) | ۱/۱۲ | ۰/۹ | ۱۹/۶ | ۰/۵۱۴ | ۰/۲۱۴ | ۵۸/۴ |
| Mg (me/l) | ۳۶/۷ | ۲۰/۷ | ۴۳/۶ | ۴۲ | ۳۲ | ۲۳/۸ |
| Ca (me/l) | ۲۴۷ | ۱۳۲ | ۴۶/۶ | ۱۳۶ | ۶۶ | ۵۱/۵ |

### ۳.۳. آنالیز تأثیر فاکتورهای شوری و زمان‌ماند

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که فاکتورهای شوری (نوع آب) و زمان ماند بر همهٔ پارامترهای بررسی‌شده تأثیر معنادار داشتند ($P<0/05$). همچنین، اثر متقابل بین دو فاکتور شوری (نوع آب) و زمان‌ماند بر همهٔ پارامترهای بررسی‌شده، به‌استثنای هدایت الکتریکی و منیزیم، معنادار بود ($P<0/05$).

نتایج مقایسهٔ میانگین‌های سطوح فاکتور شوری (نوع آب) با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، همهٔ پارامترها در نمونه‌های گرفته‌شده از حوضچه‌های پساب معدن بزرگ‌تر از نمونه‌های گرفته‌شده از آب‌های زیرزمینی است ($P<0.05$). نتایج مقایسهٔ میانگین‌های سطوح فاکتور زمان با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در جدول ۴ ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، میانگین همهٔ پارامترها از زمان آزمایش (زمان صفر) تا پایان دورهٔ آزمایش (پایان هفتهٔ چهارم) روند کاهشی داشته‌اند ($P<0.05$). همچنین، نتایج ارائه‌شده درخصوص پارامتر سختی کل در جدول ۲ بیانگر این موضوع است که به‌رغم اختلاف موجود بین گروه‌ها، میانگین حداقل مربعات مشابه است که مسئله ناشی از اختلاف بسیار ناچیز موجود بین واریانس خطاهاست. نتایج مقایسهٔ میانگین‌های اثرات متقابل بین فاکتورهای شوری (نوع آب) و زمان با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در جدول ۵ ارائه شده است. میانگین همهٔ صفات بررسی‌شده، به‌استثنای pH، از زمان آغاز آزمایش تا پایان آزمایش در هر دو تیمار روند کاهشی نشان می‌دهند (جدول ۵). همان‌گونه که در جدول ۵ دیده می‌شود، روند تغییرات pH در دورهٔ آزمایش در دو تیمار عکس یکدیگر است. در تیمار یک، با افزایش فاصله بین زمان آغاز آزمایش و زمان اندازه‌گیری میانگین pH افزایش می‌یابد، اما در تیمار دوم این روند معکوس بود؛ هرچند همهٔ این تغییرات در هر دو نمونهٔ آب بسیار جزئی و در محدودهٔ اسیدیتهٔ خنثی است (جدول ۵).

## ۴. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق حاکی از آن بود که گیاه وتیور گراس به‌رغم پتانسیل بالای تحمل میزان شوری، راندمان و کارآیی لازم را برای تصفیه و کاهش میزان کل املاح محلول پساب معدن و نمونهٔ آب زیرزمینی منطقه را به کمتر از ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نداشته است و در برخی حوضچه‌های تصفیهٔ حاوی نمونهٔ شمارهٔ یک گیاه دچار زوال نسبی شد. به‌رغم اینکه در تحقیقات Ebrahim و همکاران (۲۰۱۱) میزان راندمان کاهش کل املاح محلول بیش از ۵۵ درصد و در مطالعهٔ Truong و Hart (۲۰۰۱) میزان کاهش هدایت الکتریکی ۵۰ درصد عنوان شده است،

1. total hardness

جدول ۳. میانگین حداقل مربعات (خطای استاندارد) میزان تأثیر شوری متفاوت بر پارامترهای کیفی نمونه‌های آب

| شوری | پارامتر | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | pH | TDS | EC | TH | Na | K | Ca | Mg | Cl | SO4 |
| $T_1$ | ۷/۳۲ (۰/۰۱)$^{a}$ | ۲/۹۷ (۰/۰۲)$^{a}$ | ۳/۸۳ (۰/۰۱)$^{a}$ | ۰/۴۷۶ (۰/۰۰)$^{a}$ | ۱/۸۷ (۰/۰۰۰۵)$^{a}$ | -۰/۰۱۶ (۰/۰۳)$^{a}$ | ۲/۳۶ (۰/۰۰۲)$^{a}$ | ۲۹/۸ (۰/۹۱)$^{a}$ | ۱/۶۱ (۰/۰۰۰۳)$^{a}$ | ۷/۵۳ (۰/۱۰)$^{a}$ |
| $T_2$ | ۷/۱۸ (۰/۰۱)$^{b}$ | ۲/۲۶ (۰/۰۳)$^{b}$ | ۳/۲۹ (۰/۰۱)$^{b}$ | ۰/۴۷۶ (۰/۰۰)$^{b}$ | ۱/۸۲ (۰/۰۰۰۵)$^{b}$ | -۱۶۲ (۰/۰۰۲)$^{b}$ | ۲/۳۴ (۰/۰۰۲)$^{b}$ | ۲۹/۱۴ (۰/۹۱)$^{b}$ | ۱/۵۹ (۰/۰۰۰۳)$^{b}$ | ۶/۷۴ (۰/۱۰)$^{b}$ |

جدول ۴. میانگین حداقل مربعات (خطای استاندارد) میزان تأثیر زمان‌ماند بر پارامترهای کیفی نمونه‌های آب

| زمان (هفته) | پارامتر | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | pH | TDS | EC | TH | Na | K | Ca | Mg | Cl | SO4 |
| شاهد | ۷/۲۹ (۰/۰۱)$^{a}$ | ۲/۰۶۵ (۰/۰۳)$^{a}$ | ۳/۷۲۵ (۰/۰۱)$^{a}$ | ۰/۴۷۶ (۰/۰۰)$^{a}$ | ۱/۸۸۶ (۰/۰۰۱)$^{a}$ | -۰/۲۲۹ (۰/۰۴)$^{a}$ | ۲/۲۹۳ (۰/۰۰۳)$^{a}$ | ۳۹/۱۶ (۱/۴۳)$^{a}$ | ۱/۶۲۲ (۰/۰۰۰۵)$^{a}$ | ۹/۸۱۹ (۰/۰۳)$^{a}$ |
| اول | ۷/۲۵۵ (۰/۰۱)$^{b}$ | ۲/۹۴۴ (۰/۰۳)$^{b}$ | ۳/۶۳۴ (۰/۰۱)$^{b}$ | ۰/۴۷۶ (۰/۰۰)$^{b}$ | ۱/۸۸۱ (۰/۰۰۱)$^{b}$ | -۰/۲۸۵ (۰/۰۴)$^{ab}$ | ۲/۲۷۶ (۰/۰۰۳)$^{b}$ | ۳۳/۸۵ (۱/۴۳)$^{b}$ | ۱/۶۱۷ (۰/۰۰۰۵)$^{b}$ | ۷/۷۴۲ (۰/۰۳)$^{b}$ |
| دوم | ۷/۲۴۶ (۰/۰۱)$^{b}$ | ۲/۶۷۵ (۰/۰۳)$^{c}$ | ۳/۵۴۸ (۰/۰۱)$^{c}$ | ۰/۴۷۶ (۰/۰۰)$^{c}$ | ۱/۸۳۶ (۰/۰۰۱)$^{c}$ | -۰/۳۸۹ (۰/۰۴)$^{b}$ | ۲/۲۷۹ (۰/۰۰۳)$^{c}$ | ۲۶/۱۵ (۱/۴۳)$^{c}$ | ۱/۶۰۵ (۰/۰۰۰۵)$^{c}$ | ۶/۶۲۹ (۰/۰۳)$^{c}$ |
| سوم | ۷/۳۳ (۰/۰۱)$^{b}$ | ۲/۳۵۸ (۰/۰۳)$^{d}$ | ۳/۴۸۴ (۰/۰۱)$^{d}$ | ۰/۴۷۶ (۰/۰۰)$^{d}$ | ۱/۸۲۷ (۰/۰۰۱)$^{d}$ | -۱/۰۹۵ (۰/۰۴)$^{c}$ | ۲/۲۶۸ (۰/۰۳)$^{d}$ | ۲۰/۰۱ (۱/۴۳)$^{d}$ | ۱/۵۹۹ (۰/۰۰۰۵)$^{d}$ | ۶۱۰۹۴ (۰/۰۳)$^{d}$ |
| چهارم | ۷/۳۲ (۰/۰۱)$^{b}$ | ۲/۳۲۵ (۰/۰۳)$^{d}$ | ۳/۴۲۹ (۰/۰۱)$^{e}$ | ۰/۴۷۶ (۰/۰۰)$^{e}$ | ۱/۸۰۸ (۰/۰۰۱)$^{e}$ | -۲/۰۳۷ (۰/۰۴)$^{d}$ | ۲/۱۹۴ (۰/۰۳)$^{e}$ | ۱۵/۳۳ (۱/۴۳)$^{e}$ | ۱/۵۸۵ (۰/۰۰۰۵)$^{e}$ | ۵/۴۶۹ (۰/۰۳)$^{e}$ |

جدول ۵. میانگین حداقل مربعات میزان تأثیر اثر متقابل زمان ماند و شوری بر پارامترهای کیفی نمونه‌های آب

| تیمار | زمان | اثر متقابل | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | pH | TDS | EC | TH | Na | K | Ca | Mg | Cl | SO4 |
| ۱ | ۰ | ۷/۱۴ (۰/۰۲)$^{g}$ | ۳/۳۲ (۰/۰۴)$^{a}$ | ۳۹۷ (۰/۰۲)$^{g}$ | ۰/۴۷۶ (۰/۰۰)$^{a}$ | ۱/۸۹۹ (۰/۰۰۱)$^{a}$ | ۰/۱ (۰/۰۵)$^{a}$ | ۲/۴۴ (۰/۰۰۵)$^{a}$ | ۳۶/۶۶ (۲/۰۳)$^{ab}$ | ۱/۶۳ (۰/۰۰)$^{g}$ | ۹/۷۲ (۰/۰۴)$^{a}$ |
| | ۱ | ۷/۱۴ (۰/۰۲)$^{g}$ | ۳/۲۵ (۰/۰۴)$^{e}$ | ۳۸۹ (۰/۰۲)$^{f}$ | ۰/۴۷۶ (۰/۰۰)$^{b}$ | ۱/۸۹۸ (۰/۰۰۱)$^{a}$ | -۰/۰۸ (۰/۰۵)$^{a}$ | ۲/۴۱۴ (۰/۰۰۵)$^{b}$ | ۳۱/۳۶ (۲/۰۳)$^{b}$ | ۱/۶۲۷ (۰/۰۰)$^{b}$ | ۸/۲ (۰/۰۴)$^{b}$ |
| | ۲ | ۷/۱۷ (۰/۰۳)$^{fg}$ | ۳/۰۵ (۰/۰۴)$^{b}$ | ۳۸۱ (۰/۰۲)$^{f}$ | ۰/۴۷۶ (۰/۰۰)$^{cd}$ | ۱/۸۵۹ (۰/۰۰۱)$^{c}$ | -۰/۰۲ (۰/۰۵)$^{ab}$ | ۲/۳۴۲ (۰/۰۰۵)$^{c}$ | ۲۰/۶۶ (۳/۰۳)$^{c}$ | ۱/۶۱۲ (۰/۰۰)$^{cd}$ | ۷/۰۴ (۰/۰۴)$^{c}$ |
| | ۳ | ۷/۱۲ (۰/۰۲)$^{gf}$ | ۲/۶۴ (۰/۰۴)$^{d}$ | ۳۷۶ (۰/۰۲)$^{cd}$ | ۰/۴۷۶ (۰/۰۰)$^{e}$ | ۱/۸۵۴ (۰/۰۰۱)$^{e}$ | -۰/۱ (۰/۰۵)$^{b}$ | ۲/۳۴۹ (۰/۰۰۵)$^{c}$ | ۱۸/۳۵ (۲/۰۳)$^{cd}$ | ۱/۶۱۱ (۰/۰۰)$^{de}$ | ۶/۸۴ (۰/۰۴)$^{cd}$ |
| | ۴ | ۷/۲۳ (۰/۰۲)$^{de}$ | ۳/۵۹ (۰/۰۴)$^{d}$ | ۳۷۱ (۰/۰۲)$^{d}$ | ۰/۴۷۶ (۰/۰۰)$^{e}$ | ۱/۸۴ (۰/۰۰۱)$^{f}$ | -۰/۱۲ (۰/۰۵)$^{b}$ | ۲/۲۶۶ (۰/۰۰۵)$^{d}$ | ۱۲/۶۶ (۳/۰۳)$^{d}$ | ۱/۵۹۹ (۰/۰۰)$^{f}$ | ۵/۸۲ (۰/۰۴)$^{ef}$ |
| ۲ | ۰ | ۷/۴۴ (۰/۰۲)$^{a}$ | ۲/۷۹ (۰/۰۴)$^{c}$ | ۳۴۷ (۰/۰۲)$^{e}$ | ۰/۴۷۶ (۰/۰۰)$^{c}$ | ۱/۸۷۲ (۰/۰۰۱)$^{b}$ | -۰/۵۵ (۰/۰۵)$^{c}$ | ۲/۲۴۶ (۰/۰۰۵)$^{e}$ | ۴۱/۶۶ (۳/۰۳)$^{a}$ | ۱/۶۱۴ (۰/۰۰)$^{c}$ | ۹/۹ (۰/۰۴)$^{a}$ |
| | ۱ | ۷/۳۶ (۰/۰۲)$^{b}$ | ۲/۶۳ (۰/۰۴)$^{d}$ | ۳۴۷ (۰/۰۲)$^{f}$ | ۰/۴۷۶ (۰/۰۰)$^{d}$ | ۱/۸۶۴ (۰/۰۰۱)$^{c}$ | -۰/۶۵ (۰/۰۵)$^{cd}$ | ۲/۲۳۸ (۰/۰۰۵)$^{c}$ | ۳۶/۳۲ (۲/۰۳)$^{ab}$ | ۱/۶۰۷ (۰/۰۰)$^{e}$ | ۷/۲۷ (۰/۰۴)$^{c}$ |
| | ۲ | ۷/۳۱ (۰/۰۲)$^{c}$ | ۲/۳۹ (۰/۰۴)$^{e}$ | ۳۴۸ (۰/۰۲)$^{g}$ | ۰/۴۷۶ (۰/۰۰)$^{f}$ | ۱/۸۱۲ (۰/۰۰۱)$^{g}$ | -۰/۷۵ (۰/۰۵)$^{d}$ | ۲/۲۱۶ (۰/۰۰۵)$^{e}$ | ۳۲/۳۳ (۲/۰۳)$^{b}$ | ۱/۵۹۸ (۰/۰۰)$^{f}$ | ۶/۲۱ (۰/۰۴)$^{de}$ |
| | ۳ | ۷/۲۵ (۰/۰۲)$^{d}$ | ۲/۰۷ (۰/۰۴)$^{f}$ | ۳۱۲ (۰/۰۲)$^{h}$ | ۰/۴۷۶ (۰/۰۰)$^{g}$ | ۱/۸ (۰/۰۰۱)$^{h}$ | -۲/۰۸ (۰/۰۵)$^{a}$ | ۲/۱۹۷ (۰/۰۰۵)$^{f}$ | ۲۱/۶۶ (۳/۰۳)$^{c}$ | ۱/۵۸۷ (۰/۰۰)$^{g}$ | ۵/۳۴ (۰/۰۴)$^{fg}$ |
| | ۴ | ۷/۲۲ (۰/۰۲)$^{def}$ | ۲/۰۵ (۰/۰۴)$^{f}$ | ۳۰۴ (۰/۰۲)$^{i}$ | ۰/۴۷۶ (۰/۰۰)$^{h}$ | ۱/۷۷۷ (۰/۰۰۱)$^{i}$ | -۲/۰۵ (۰/۰۵)$^{f}$ | ۲/۱۲۱ (۰/۰۰۵)$^{g}$ | ۱۷ (۲/۰۳)$^{cd}$ | ۱/۵۷۱ (۰/۰۰)$^{h}$ | ۵/۱ (۰/۰۴)$^{g}$ |

راندمان پایین و زوال نسبی گیاه وتیور در تحقیق حاضر را می‌توان ناشی از بالابودن شدید میزان شوری و املاح موجود در نمونه‌های آزمایشی دانست؛ چنان‌که نمونهٔ شمارهٔ یک دارای میزان هدایت الکتریکی ۵۳ میلی‌موس بر سانتی‌متر و نمونهٔ شمارهٔ دو دارای میزان هدایت الکتریکی ۳۳ میلی‌موس بر سانتی‌متر بوده است. در سایر تحقیقات، حداکثر راندمان ۵۰ درصد در کاهش هدایت الکتریکی در مقادیر هدایت الکتریکی ۱۸ تا ۲۰ میلی‌موس بر سانتی‌متر گزارش شده و حداکثر توان تحمل گیاه نیز ۴۷ میلی‌موس بر سانتی‌متر بیان شده است، که گواهی بر عدم دستیابی به راندمان مشابه و نیز زوال برخی پایه‌های گیاهی در نمونهٔ شمارهٔ یک بوده است.

در تحقیق Jayashree و همکاران (۲۰۱۱)، در طی مدت زمان‌ماند ۶۰ روز، میزان کاهش اسیدیته از ۸/۶ به ۷/۸ و نیز هدایت الکتریکی از ۱/۳۴ به ۰/۲۲ دسی‌زیمنس بر متر گزارش شد.

همچنین، Zheng و همکاران (۱۹۹۷) و Anon (۱۹۹۷) کاهش فسفر به میزان ۹۸ درصد در طی ۴ هفته و ۷۴ درصد برای نیتروژن در طی پنج هفته در آب آلودهٔ رودخانه را گزارش کردند. Truong وHart (۲۰۰۱) نیز در طی ۶۰ روز زمان‌ماند کاهش سختی کل آب را به میزان ۶۰ درصد و میزان کاهش اسیدیته از ۷/۲۶ به ۵/۹۸ را گزارش کردند.

هرچند در این تحقیق درخصوص نیاز آبی و میزان مصرف آب در گیاه وتیور هیچ‌گونه بررسی انجام نشد، می‌توان نتیجه گرفت که گیاه وتیور گراس با داشتن ویژگی‌های منحصربه‌فرد، توانایی و پتانسیل بالایی در تصفیه و پالایش آب، خاک و به‌طورکلی محیط‌های آلوده و جلوگیری از ورود آلاینده‌های گوناگون به منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی دارد. همچنین، سیستم تصفیهٔ وتیور به‌دلیل آسان و اقتصادی بودن (Gupta و همکاران، ۲۰۱۲) می‌تواند نقش مؤثری در کاهش آلاینده‌ها و بهبود کیفیت آب‌های نامتعارف، به‌ویژه در مناطق خشک و بیابانی مانند ایران، ایفا کند.

## سپاسگزاری

بدین‌وسیله از حمایت‌های مالی پژوهشکدهٔ سنگ آهن و فولاد، شرکت معدنی و صنعتی گل‌گهر سیرجان برای اجرای این تحقیق، تقدیر و تشکر می‌شود.

## REFERENCES

1. Anon, 1997. A consideration and preliminary test of using vetiver for water eutrophication control in Taihu Lake in China. In: Proceedingof theInternational Vetiver Workshop, Fuzhou, China.
2. Asadi, M., 2009. Study of possibility of industrial manufacture wastewater treatment using plants. In: Proceeding of the First National Conference on Oil, Gaz and Petrochemical, Orumieh, Iran.
3. Awuah, E., Oppong-Peprah, M., Lubberding, H.J., Gijzen, H.J., 2004. Comparative performance studies of water let tuce, duckweed and algal-based stabilization ponds using low-strength sewage. J.Toxicology and Environmental Health-Part A. 67, 1727-1739.
4. Borghaei, S.M., Nourbakhsh, S.M.R., 2003. Study of industrial wastewater treatment of Isfahan refinery using wetland method. Environmental Technology and Sciences 15, 15-24.
5. Calderon, I.M., 2010. Green movement against green water. Honors Thesis, College of Agriculture and Life Sciences, Landscape Architecture of Cornell University, USA.
6. Carlin, G.D., Truong, P., Cook, F.J., Thomas, E., Mischke, L., Mischke K., 2003. Vetiver Grass Hedges for Control of Runoff and Drain Stabilisation. Pimpama Queensland, CSIRO Land and Water, Brisbane.
7. Cull, R.H., Hunter, H., Hunter, M., Truong, P., 2000. Application of vetiver grass technology in off-site pollution control, (II) Tolerance of vetiver grass towards high levels of herbicides underwetland conditions. In: Proceedingof the 2nd International Vetiver Conference, Thailand.

8. Dar, S.H., Kumawat, D.M., Singh, N., Wani, K.A., 2011.Sewage treatment potential of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). Research Journalof Environmental Science 5(4), 377-385.

9. Dhote, S., Dixit, S., 2007.Water quality improvement through macrophytes: A case study. Asian JournalExperimental Science 21(2), 427-430.

10. Dipu, S., Kumar, A.A., Thanga, V.S.G., 2011.Phytoremediation of dairy effluent by constructed wetland technology. Environmentalist 31, 263-278.

11. Dulton, P.A., Smith, R.J., Truong, P.N.V., 1996. Vetiver grass hedges for erosion control on cropped flood plain: Hedge hydraulics. Agricultural Water Management 31, 91-104.

12. Ebrahim, A., Ali, M., Gautham, Jawahar, N., Hariram, S., 2011. A preliminary attempt to reduce total dissolved solids in ground water using different plant parts. International. Journal of Pharm and Bio Science 2(2), 414-422.

13. Fonkou, T., Agendia, P., Kengne, I., Akoa, A., Nya, J., 2002. Potentials of water lettuce (Pistia stratiotes) in domestic sewage treatment with macrophytic lagoon systems in Cameroon. In: Proceeding of International Symposium onEnvironmental Pollution Control and WasteManagement, Tunis, 709-714.

14. Girija, N., Pillai, S.S., Koshy, M., 2011.Potential of vetiver for phytoremediation ofwaste in retting area. The Ecoscan 1, 267-273.

15. Gupta, P., Roy, S., Mahindrakar, A.B., 2012. Treatment of Water Using Water Hyacinth, Water Lettuce and Vetiver Grass - A Review. Resources and Environment 2(5), 202-215.

16. Jamuna, S., Noorjahan, C.M., 2009. Treatment of sewage waste water using water *hyacinth* - *Eichhorniasp* and its reuse for fish culture. Toxicology International16(2), 103-106.

17. Jayashree, S., Rathinamala, J., Lakshmanaperumalsamy, P., 2011. Determination of heavy metal removal efficiency of *Chrysopogon zizanioides* (vetiver) using textile wastewater contaminated soil. Journal of Environmental Science and Technology 4(5), 543-551.

18. Jing, S.R., Lin, Y.F., Wang, T.W., Lee, D.Y., 2002. Microcosm wet lands for wastewater treatment with different hydraulic loading rates and macrophytes. Journal of EnvironmentalQuality 31, 690-696.

19. Kamal, M., Ghaly, A.E., Mahmoud, N., Cote, R., 2004. Phytoaccumulation of heavy metals by aquatic plants. Environment International 29, 1029-1039.

20. Keshtkar, A.R., 2013. Evaluation of Vetivergrass effectiveness as a biologic method in unconventional water treatment. International Desert Research Center (IDRC), University of Tehran, Tehran, Iran. Final Report. 117 p.

21. Kirkpatrick, A.D., 2005. Assessing constructed wetlands for beneficial use of saline-sodic water. MS thesis, LandResources and Environmental Sciences, Montana State University, Bozeman.

22. Lakshmana, P.P., Jayashree, S., Rathinamala, J., 2008.Application of vetiver for water and soil restoration. Available Online: http://www.vetiver.org/TVN/India 1st workshop proceeding//Chapter2-3 pdf.

23. Le, V., Truong, P., 2003. Vetiver System for erosion control on severe acid sulfate soil in Southern Vietnam. Proc. Third International Vetiver Conference, Guangzhou, China.

24. Lissy, A.M.P.N., Madhu, B.D.G., 2010.Removal of heavy metals from waste water using water hyacinth. In: Proceedingof the International Conference on Advances in Civil Engineering, 42-47.

25. Lu, Q., 2009.Evaluation of aquatic plants forphytoremediation of eutrophic storm waters. Ph.D thesis.University of Florida, Florida.

26. Lu, Q., He, Z.L., Graetz, D.A., Stoffella, P.J., Yan g, X., 2010. Phytoremediation to remove nutrients and improve eutrophic stormwaters using water lettuce (*Pistia stratiotes* L.). Environmental Science and Pollution Research 17, 84-96.

27. Maffei, M., 2002. Vetiveria: The genus Vetiveria., CRC Press, Boca Raton.

28. Mahmood, Q., Zheng, P., Islam, E., Hayat, Y., Hassan, M.J., Jilani, G., Jin, R.C., 2005.Lab scale studies on water hyacinth (*Eichhornia crassipe*s marts solms) for biotreatment of textile wastewater. Caspian Journal. Environmental Science 3(2), 83-88.

29. Mashauri, D.A., Mulungu, D.M.M., Abdulhussein, B.S., 2000. Constructed wet

land at the university of Dares salaam. Water Research 34(4), 1135-1144.

30. Mkandawire, M., Dudel, E.G., 2007.*Arelemna* spp. effective phytoremediation agents.Bioremediation, Biodiversity Bioavailability 1(1), 56-71.

31. Muramoto, S. and Oki, Y., 1983, Removal of some heavy metals from polluted water by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*)., Bull. Environ. Contam. Toxicol., 30, 170-177.

32. Roongtanakiat, N., Nirunrach, T., Chanyotha, S. Hengchavanich, D., 2003. Uptake of heavy metals in landfill leachate by vetiver grass. Kasetsart Journal (Natural Science) 37, 168-175.

33. Roongtanakiat, N., Chairoj, P., 2001b. Vetiver grass for the remediation of soil contaminated with heavy metals. Kasetsart Journal (Natural Science) 35, 433-440.

34. Roongtanakiat, N., Chairoj, P., 2001a. Uptake potential of some heavy metals by vetiver grass. Kasetsart Journal (Natural Science) 35, 46-50.

35. Roongtanakiat, N., Tangruangkiat, S.,Meesat, R., 2007. Utilization of vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*) for removal of heavy metals from industrial wastewaters. Science Asia 33, 397-403.

36. Skinner, K., Wright, N., Porter-Goff, E., 2007. Mercury uptake and accumulation by four species of aquatic plants. Environmental Pollution 145, 234-237.

37. Stefanie, W., Paul, T., Alison, V., Cameron, S., 2003. Response of vetiver grass to extreme nitrogen and phosphorus supply. Available Online: http://www.vetiver.com/ICV3-Proceedings/AUS_Extreme%20N%26P.pdf

38. Trivedy, R.K., Pattanshetty, S.M., 2002. Treatment of dairy waste by using water hyacinth. Water Science and. Technology 45(12), 329-334.

39. Truong, P., Stone, R., 1996.Vetiver grass for landfill rehabilitation: Erosion and leachate control. Report to DNR and Redland Shire Council, Queensland, Australia.

40. Truong,P., 1999. Vetiver grass technology for land stabilisation, erosion and sediment control in the Asia Pacific region. In: Proceeding of the 1st Asia Pacific Conference on Ground and Water Bioengineering for Erosion Control and Slope Stabilisation, Manila, Philippines.

41. Truong, P., Carlin, G., Cook, F., Thomas, E., 2003.Vetiver grass hedges for water quality improvement inacid sulfate soils, Queensland, Australia. In: Proceeding of the 3rd International Conference on Vetiver and Exhibition, Guangzhou, China.

42. Truong, P.N., 2000, The global impact of vetiver grass technology on the environment. In: Proceedingof the 2nd International Conference on Vetiver, Office of the Royal Development Projects Board, Bangkok, Thailand, 48-61.

43. Truong, P., Baker, D., 1998.Vetiver grass system for environmental protection. Technical Bulletin no. 1998/1, Pacific Rim Vetiver Network, Office of the Royal Development Projects Board, Bangkok, Thailand.

44. Truong, P., Hart, B., 2001. Vetiver grass for wastewater treatment. Pacific Rim Vetiver Network Technical Bulletin No. 2001/2, Available Online: http://www.vetiver.org/PRVN _wastewater_bul.pdf

45. Truong,P.N.V., 2004. Vetiver Grass Technology for mine tailings rehabilitation. Ground and Water Bioengineering for Erosion Control and Slope Stabilisation. Editors: D. Barker, A. Watson, S. Sompatpanit, B. Northcut and A. Maglinao. Published by Science Publishers Inc. NH, USA. pp. 379-389.

46. Valipour, A., Raman, V.K., Ghole, V.S., 2011.Phytoremediation of domesticwastewater using *Eichhornia crassipes*. Journal of. Environmental. Science and Engineering 53(2), 183-190.

47. Valipour, A., Raman, V.K., Motallebi, P., 2010. Application of shallow pond system using water hyacinth for domestic wastewater treatment in the presence of high total dissolved solids (TDS) and heavy metal salts. Environmental Engineering and Management Journal 9(6), 853-860.

48. Vieritz, A., Truong, P., Gardner, T., Smeal, C., 2003.Modelling Monto Vetiver growth and nutrient uptake for effluent irrigation schemes. In: Proc. of the 3rd International Vetiver Conference, Guangzhou, China.

49. Wagner, S., Truong, P., Vieritz, A., Smeal, C., 2003. Response of vetiver grass to extreme nitrogen and phosphorus supply. In: Proceeding of the 3rd International Conference on Vetiver and Exhibition, Guangzhou, China.

50. Wei, S.H., Zhou, Q.X., 2004. Discussion on the basic principles and strengthening measures for phytoremediaton of soil contaminated with heavy metals. Chinese Journal Ecology 23, 65-72.

51. Xia, H., Ma, X., 2006. Phytoremediation of ethion by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) from water. Bioresource Technology 97, 1050-1054.

52. Xia, H., Liu, S., Ao, H., 2000. Study on purification and uptake of garbage leachate by vetiver grass. In: Proceeding of the 2nd International Conference on Vetiver, Thailand.

53. Xia, H.P., Shu, W.S., 2001. Resistance to and uptake of heavy metals by Vetiveria zizanioides and Paspalum notatum from lead/zinc mine tailings. Acta Ecologica Sinica 21, 1121-1129.

54. Zhang, X.B., 1992. Vetiver grass in P.R. China. Presented at the vetiver workshop. Vetiver Newsletter, 8, 8-10.

55. Zheng, C.R., Tu, C., Chen, H.M., 1997. Preliminary study on purification of eutrophic water with vetiver. In: Proceeding of the International Vetiver Workshop, Fuzhou, China.