

گیاه پالایی خاک‌های آلوده به لجن مخازن نفتی توسط گونه کهور *Prosopis juliflora* (Sw.) DC.

مصطفی مرادی، زهره برازیون‌نژاد، رضا بصیری، اسفندیار جهانتاب و غلامحسین مرادی

دوره ۷، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، صفحات ۶۶۷-۶۵۸

Vol. 7(4), Winter 2021, 658-667

DOI: 10.22034/JEWE.2021.279242.1537



**Phytoremediation of Contaminated Soils to  
Sludge of Oil Reservoirs using *Prosopis  
Juliflora* (Sw.) DC.**

Moradi, M., Barazionnezhad, Z., Basiri, R.,  
Jahantab, E. and Hosein Moradi, G.

[www.jewe.ir](http://www.jewe.ir)

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله:

مرادی، م.، برازیون‌نژاد، ز.، بصیری، ر.، جهانتاب، ا. و مرادی، غ. (۱۴۰۰). امکان پالایش خاک‌های آلوده به لجن مخازن نفتی به وسیله گونه کهور (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC). محیط‌زیست و مهندسی آب، دوره ۷، شماره ۴، صفحات: ۶۶۷-۶۵۸.

**Citing this paper:** Moradi M., Barazionnezhad Z., Basiri R., Jahantab E and Moradi GH (VI) Phytoremediation of contaminated soils to sludge of oil reservoirs using *Prosopis Juliflora* (Sw.) DC. Environ. Water Eng., 7(4), 658-667. DOI: 10.22034/JEWE.2021.279242.1537

## مقاله پژوهشی

## گیاه پالایی خاک‌های آلوده به لجن مخازن نفتی به وسیله گونه کهور *Prosopis juliflora* (Sw) DC

مصطفی مرادی<sup>۱</sup>، زهره برازیون نژاد<sup>۲</sup>، رضا بصیری<sup>۱</sup>، اسفندیار جهانتاب<sup>۳\*</sup> و غلامحسین مرادی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>دانشیار، گروه جنگلداری، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران  
<sup>۲</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد گروه جنگلداری، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران  
<sup>۳</sup>استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فسا، فسا، ایران  
<sup>۴</sup>استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران  
 \* نویسنده مسئول: e.jahantab@fasau.ac.ir

تاریخ دریافت: [۱۴۰۰/۰۳/۱۹]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۰/۰۳/۰۶]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۰/۰۳/۱۹]

## چکیده

خاک‌های آلوده به نفت خام یک تهدید اساسی برای محیط‌زیست محسوب می‌شوند. هدف از پژوهش حاضر، بررسی کاهش هیدروکربن‌های کل نفتی (Total Petroleum Hydrocarbon)، و فلزات سنگین نیکل و وانادیوم به وسیله گونه کهور (*Prosopis juliflora*) تحت تیمارهای مختلف کمپوست و بیوجار است. نهال‌های یک‌ساله کهور در گلدان‌های حاوی خاک‌های آلوده به لجن نفتی کشت شدند. این گلدان‌ها شامل کمپوست و بیوجار با نسبت ۱ و ۲٪ وزنی بودند. همچنین دو تیمار شاهد یکی بدون کهور و دیگری با کهور نیز در نظر گرفته شد. این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار اجرا شد. بعد از اتمام دوره شش‌ماهه کشت، از خاک گلدان‌ها نمونه‌برداری و مقدار TPH، نیکل و وانادیوم موردسنجش قرار گرفت. نتایج نشان داد که کم‌ترین مقدار TPH در تیمار کمپوست ۲٪ (۱۰/۶۳ ppm) مشاهده شد که دارای اختلاف معنی‌داری با دیگر تیمارها بود. بیش‌ترین مقدار آن در شاهد بدون کهور (۲۲/۵۷ ppm) مشاهده شد. بیش‌ترین مقدار وانادیوم در تیمار شاهد (۶۹/۵۰ mg/kg) مشاهده شد. تیمارهای کمپوست ۲٪ (۴۷/۶۶ mg/kg) کم‌ترین مقدار وانادیوم را داشتند. مقایسه بین تیمارهای مورد بررسی نشان داد که بین تیمارهای کمپوست ۱ (۱۱۷/۱۷ mg/kg) و ۲ (۱۱۸/۰۰ mg/kg) و بیوجار ۲٪ (۱۱۶/۶۷ mg/kg) تفاوت معنی‌داری وجود نداشت و بیش‌ترین کاهش نیکل مربوط به این تیمارها بود، که می‌تواند ناشی از تأثیرات مثبت اصلاح خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در بهبود گیاه‌پالایی باشد. بنابراین، استفاده از بیوجار و کمپوست می‌تواند توان گیاه‌پالایی کهور را افزایش دهد.

**واژه‌های کلیدی:** بیوجار؛ کمپوست زباله شهری؛ گیاه‌پالایی؛ وانادیوم؛ هیدروکربن‌های کل نفتی

## ۱- مقدمه

فسیلی، معدن‌کاری، صنایع ذوب فلزات، زباله‌های شهری، کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها، لجن فاضلاب و غیره وارد خاک می‌شود (Gaur and Adholeya 2004).

گیاه‌پالایی یکی از روش‌های طبیعی برای پاک‌سازی محیط از آلاینده‌هایی مثل هیدروکربن‌های نفتی و فلزات سنگین می‌باشد که از سال ۱۹۹۱ مورد استفاده بوده است (Etim 2012). گیاه‌پالایی روشی مؤثر، ارزان‌قیمت، سازگار با محیط‌زیست و قابل اجرا در سطوح گسترده است (Pizarro-Tobias 2015; Yateem 2013; Tavili et al. 2019). هزینه گیاه‌پالایی در مقایسه با روش‌های فیزیکی-شیمیایی، حدود ۱۰ تا ۱۰۰ برابر کمتر است (Jafari et al. 2020). نکته مهم انتخاب گیاهان مناسب با قابلیت رشد در محیط آلوده است. بنابراین بررسی و شناسایی گونه‌های گیاهی توانمند در پالایش و اصلاح خاک-های آلوده به این ترکیبات، ضرورت دارد.

اگرچه برخی گونه‌های گیاهی قابلیت رشد در خاک‌های آلوده و جذب آلاینده‌ها را دارند. اما امروزه تمایل زیادی وجود دارد که بتوان ظرفیت جذب آلاینده‌ها را توسط گیاه‌پالایی افزایش داد. یکی از راه‌کارهای افزایش ظرفیت گیاه‌پالایی استفاده از اصلاح‌کننده‌های خاک می‌باشد. از جمله این اصلاح‌کننده‌ها می‌توان به بیوچار و کمپوست اشاره کرد. این دو ماده با اثرات خود می‌توانند اثرات آلاینده‌های نفتی (Jahantab et al. 2010; Beesley et al. 2018) و فلزات سنگین (Alboebadi et al. 2018; Jahantab et al. 2016b; Tavili et al. 2018) را کاهش داده و باعث افزایش ظرفیت پالایش خاک توسط گیاهان شوند. بنابراین، اصلاح‌کننده‌های بیوچار و کمپوست نیز در سطوح مختلف در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت.

از آنجایی که پالایش خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی یکی از مهم‌ترین مشکلات در زمینه محیط‌زیست است (Khan et al. 2013)، این پژوهش در نظر دارد در کنار گونه‌های کهور که گونه‌ای مقاوم در برابر آلاینده‌ها است (Pulford and Watson 2003; Kumar et al. 2005)، اصلاح‌کننده‌های بیوچار و کمپوست را نیز در سطوح مختلف مورد بررسی قرار دهد. کهور از گونه‌هایی است که به‌وفور در مناطق گرم و

خاک‌های آلوده به نفت خام یک تهدید اساسی برای محیط‌زیست محسوب می‌شوند. زیرا دارای ترکیباتی مثل فلزات سنگین، هیدروکربن‌های چندحلقه‌ای آروماتیک و همچنین برخی مواد و عناصر از جمله آمین‌ها، فنول‌ها و غیره هستند که می‌توانند باعث تغییر خصوصیات فیزیکی خاک شده و باعث غیرقابل نفوذ شدن خاک، کاهش زهکشی و انتقال اکسیژن در خاک می‌شوند (Anigboro and Nyerhovwo 2008). به‌طور کلی تجمع آلاینده‌ها در خاک می‌تواند اثرات مخربی بر محیط و سلامت انسان داشته باشد. آلاینده‌های موجود در خاک می‌توانند وارد زنجیره غذایی شده و سلامت حیوان و انسان را با خطر جدی مواجه سازند (Khan 2005). از بین تمام آلاینده‌های محیط‌زیست، نفت و هیدروکربن‌های نفتی از اهمیت بین‌المللی خاصی برخوردار هستند (Naseri et al. 2005; Jahantab et al. 2016a).

نفت خام ترکیبی پیچیده از هزاران ترکیب هیدروکربنی و غیر هیدروکربنی از جمله فلزات سنگین است (Peng et al. 2009) که بر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک تأثیر گذاشته است (Chupakhina et al. 2004)، سبب چسبندگی و اتصال ذرات خاک شده و به دنبال سخت و غیرقابل نفوذ شدن خاک، زهکشی خاک و انتقال اکسیژن را مختل می‌کند (Baek et al. 2004).

هیدروکربن‌های کل نفتی (TPHs)<sup>۱</sup> از آلاینده‌های خطرناک محیط‌زیست هستند (Dobler et al. 2000) که ساختاری پیچیده دارند و تجزیه آن‌ها به‌کندی صورت می‌گیرد. به همین خاطر نگرانی‌های زیادی در سطح جهانی نسبت به این ترکیبات وجود دارد (Kathi and Khan 2011). آن‌ها پایداری زیادی در خاک دارند و می‌توانند باعث اختلال در کارکردهای طبیعی خاک می‌شوند (Basalatpour et al. 2011).

عناصر سنگین از جمله مهم‌ترین آلاینده‌های محیط‌زیست به شمار می‌آیند که در چند دهه اخیر به‌شدت مورد توجه قرار گرفته‌اند. به‌مرور تجمع عناصر سنگین در خاک می‌تواند تهدیدی جدی برای امنیت غذایی باشد (Ahmadi 2012). فلزات سنگین در اثر فعالیت‌هایی مانند سوزاندن سوخت‌های

<sup>1</sup>Total petroleum hydrocarbon



دو نوع تیمار دیگر نیز به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. این تیمارها شامل گلدان‌های بدون کهور و همچنین تیمار گلدان با کهور ولی بدون بیوچار و کمپوست بودند. دوره رویش گیاهی ۶ Month در نظر گرفته شد و در پایان دوره نمونه‌های خاک از گلدان‌های هر تیمار تهیه و برای اندازه‌گیری TPH، نیکل و وانادیوم به آزمایشگاه منتقل شدند.

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی کمپوست زباله شهری و بیوچار

Table 2 chemical properties of biochar and compos

Value	Biochar	Value	Compost
10.81	C (%)	16.77	C (%)
0.75	N (%)	0.35	P (%)
0.92	Bulk density (gr/cm <sup>3</sup> )	0.63	K (%)
8.25	EC (ds/cm)	3.66	EC (dS/cm)
9	pH	6.89	pH

برای انجام این پژوهش از نهال‌های یک‌ساله کهور (*Prosopis juliflora*) استفاده شد. نهال‌های با اندازه یکسان تهیه شدند و این نهال‌ها در گلدان‌های با تیمارهای ذکر شده در بالا کشت شدند.

### ۲-۳- اندازه‌گیری آلاینده‌های نفتی و فلزات سنگین

در پایان دوره رشد، نمونه‌های خاک از گلدان‌های مورد بررسی در تیمارهای مختلف برداشت و به آزمایشگاه منتقل شدند. برای اندازه‌گیری مقدار نیکل و وانادیوم، از هر نمونه ۲ g خاک خشک برداشت شد و سپس ۱۵ ml نیتریک اسید ۴ N به آن اضافه شد. نمونه‌ها به مدت ۲۰ h در بن ماری با دمای ۶۰ °C قرار گرفتند و بعد از عبور از کاغذ صافی با آب دو بار تقطیر به حجم ۵۰ ml رسانده شدند. عصاره موجود از کاغذ استات سلولزی ۰/۲۳ عبور داده شد و با دستگاه ICP-OES (مدل GBC Avanta) مقدار نیکل و وانادیوم موجود در این نمونه‌ها اندازه‌گیری شدند (Tavili et al. 2018).

میزان هیدروکربن‌های نفتی در خاک از روش آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا (EPA-3550) تعیین شد. برای این منظور، ۱ g خاک خشک را درون لوله آزمایش درب‌دار ریخته و به آن ۱۰ ml محلول دی کلرومتان + استون اضافه شد. سپس به مدت ۴ min لوله‌ها را تکان داده و به مدت ۵ min با دور ۳۰۰۰ rpm سانتریفیوژ شد تا تمامی رسوبات ته‌نشین شوند. سپس ۱ ml از مایع رویی را برداشته و (Hutchinson et al. 2001) به کمک دستگاه کروماتوگرافی گازی از نوع

خشک کشور که اتفاقاً مناطق نفت‌خیز نیز می‌باشد به عنوان جنگل کاری کشت شده و با توجه به سازگاری بالا در مناطق جنوبی کشور ایران، در پژوهش حاضر به بررسی پتانسیل این‌گونه برای کاهش آلاینده‌های نفتی پرداخته شد. به این ترتیب شاید بتوان استفاده دیگری برای این‌گونه بردبار به آلاینده‌ها و خشکی یافت و امر جنگل کاری را به گونه‌های بومی اختصاص داد. بنابراین اهداف این مطالعه شامل: بررسی تأثیر کمپوست و بیوچار زباله‌ی شهری بر میزان کاهش هیدروکربن‌های کل نفتی (TPH)، بررسی تأثیر کمپوست و بیوچار زباله شهری بر میزان گیاه‌پالایی فلزات سنگین نیکل و وانادیوم می‌باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد پژوهش

این پژوهش در نهالستانی در ۳۰ km شمال شرقی بهبهان انجام شد. ارتفاع از سطح دریا در نهالستان مورد نظر ۳۰۰ m میانگین دمای سالانه آن ۳۰ °C است. نمونه‌های خاک آلوده به لجن نفتی از مکان‌های انباشت لجن‌های نفتی در شهرستان مسجد سلیمان جمع‌آوری شد. این نمونه خاک‌ها که برای کشت گونه گیاهی در گلدان‌ها مورد استفاده قرار گرفت، دارای ویژگی‌های زیر بود (جدول ۱).

جدول ۱- مشخصات خاک اولیه گلدان‌ها

Table 1 Soil characteristics of puts

Parameters	Amount
TPH	19.76 mg/kg
pH	7.5
Electrical Conductivity	2.87 dS/m
Organic carbon	2.43 %
Nitrogen	0.17 mg/kg
Potassium	602 mg/kg
Phosphorus	9 mg/kg
Clay	6 %
Silt	22 %
Sand	72%
Nickel	270 mg/kg

### ۲-۲- روش پژوهش

برای کمپوست زباله‌ی شهری و بیوچار سه تیمار ۰، ۱ و ۲٪ وزنی در نظر گرفته شد. حجم هر گلدان محاسبه و سپس تیمارهای بیوچار و کمپوست براساس وزن خاک هر گلدان اعمال شدند. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی بیوچار و کمپوست مورد استفاده در جدول (۲) آمده است. در کنار تیمارهای بالا



## ۳- یافته‌ها و بحث

## ۳-۱- اثر کمپوست و بیوجار بر روی TPH و فلزات سنگین

نتایج حاصل از تجزیه واریانس یک‌طرفه نشان داد که مقدار TPH در بین تیمارهای بیوجار، کمپوست زباله‌ی شهری و فلزات سنگین نیکل و وانادیوم نیز در بین تیمارهای موردبررسی اختلاف معنی‌داری دارد (جدول ۳). همچنین مقدار فلزات سنگین نیکل و وانادیوم نیز در بین تیمارهای موردبررسی اختلاف معنی‌داری را نشان داد (جدول ۳). به‌عبارت‌دیگر تیمارهای اصلاح‌کننده خاک شامل استفاده از بیوجار و کمپوست تأثیر مثبتی بر کاهش فلزات سنگین و همچنین هیدروکربن‌های نفتی داشتند.

جدول ۳- تجزیه واریانس یک‌طرفه برای TPH، وانادیوم و نیکل خاک در تیمارهای موردبررسی

Table 3- One-way ANOVA for TPH, Vanadium, and Nickel in the studied treatments

Parameter	Groups	Sum of square	Df	Mean square	F	Sig.
TPH	Between group	276.047	5	55.209	15.654	<0.001
	Whitin group	42.322	12	3.527		
	Total	318.369	17			
Vanadium	Between group	1230.736	5	246.147	25.648	<0.001
	Whitin group	115.167	12	9.597		
	Total	1345.903	17			
Nickel	Between group	517.444	5	103.489	10.165	<0.001
	Whitin group	122.167	12	10.181		
	Total	639.611	17			

برای کاهش TPH وجود نداشت (شکل ۱). همین اتفاق برای بیوجار ۱٪ (۱۷/۶ mg/kg) و بیوجار ۲٪ (۱۶/۰ mg/kg) افتاده است، یعنی اگرچه بیوجار ۲٪ در مقایسه با بیوجار ۱٪ باعث کاهش TPH شده اما این تفاوت معنی‌دار نیست. بین کمپوست ۱٪ و بیوجار ۱٪ تفاوت معنی‌داری وجود دارد و کمپوست ۱٪ باعث شده است که میزان آلاینده TPH کم‌تر شود (شکل ۱). به‌طورکلی کمپوست و بیوجار چه در سطح ۱٪ و چه در سطح ۲٪ اثر معنی‌داری برای افزایش جذب آلاینده TPH نسبت به دو تیمار شاهد داشته‌اند. با مقایسه‌ی کمپوست و بیوجار هم متوجه می‌شویم که اثری که کمپوست بر روی کاهش آلاینده کل نفتی گذاشته است، نسبت به بیوجار معنی‌دار است. بنابراین، کمپوست ۲٪ باعث کاهش بیش‌تر آلاینده‌های نفتی در مقایسه با بیوجار داشته است.

یونیزاسیون شعله‌ای مدل Agilent 7890A، مقدار کل هیدروکربن‌های در خاک مشخص شد.

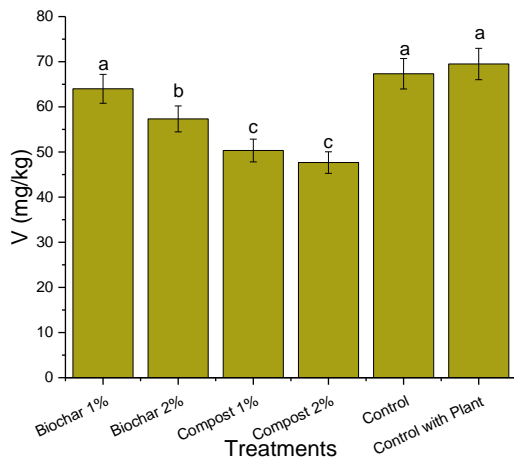
## ۳-۲- تحلیل‌های آماری

این پژوهش در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار برای تیمارهای ذکرشده در بالا انجام گرفت. برای بررسی نرمال‌بودن داده‌ها از کلموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. تیمارهای موردبررسی با استفاده از تحلیل واریانس یک‌طرفه مورد بررسی قرار گرفتند و در صورتی که اختلاف معنی‌داری بین واریانس داده‌ها دیده شد از آزمون چند دامنه دانکن برای تعیین معنی‌داری بین گروه‌ها استفاده شد. آنالیزهای آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ انجام گرفت.

## ۳-۲-۱- TPH

نتایج حاصل از بررسی اثر تیمارها بر مقدار TPH خاک، نشان داد که بیش‌ترین مقدار هیدروکربن‌های خاک مربوط به تیمار شاهد بدون کهور (۱۹/۷ mg/kg) و کم‌ترین مقدار هیدروکربن‌های خاک مربوط به تیمار کمپوست دو درصد (۱۰/۶ mg/kg) بود. تیمار شاهد (۲۲/۵ mg/kg) و تیمار شاهد بدون کهور (۱۹/۷ mg/kg) در یک دسته قرار گرفته‌اند و تفاوت معنی‌داری بین این دو تیمار مشاهده نشد (شکل ۱). کمپوست ۲٪ با داشتن کم‌ترین میزان TPH، بیش‌ترین اثر را برای کاهش TPH در گلدان‌های کشت‌شده با کهور داشته است. اگرچه مقدار TPH در کمپوست ۱٪ (۱۳/۵ mg/kg) بیش‌تر است، اما تفاوت معنی‌داری بین کمپوست ۱٪ و کمپوست ۲٪ (۱۰/۶ mg/kg) وجود ندارد.

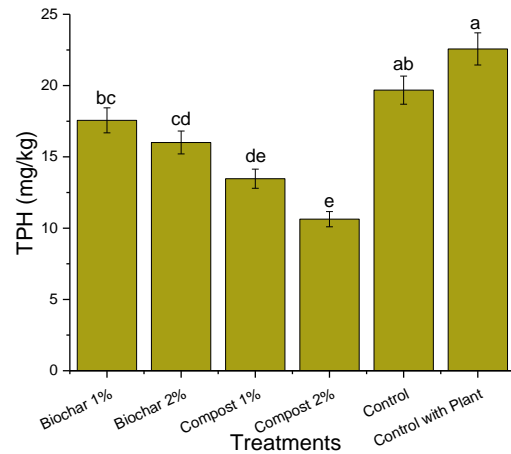
معنی‌داری وجود ندارد و هر سه تیمار در یک گروه قرار گرفته‌اند. اما بیوجار ۲٪ (۵۷/۳ mg/kg) نسبت به بیوجار ۱٪ و شاهد بدون کهور و شاهد متفاوت معنی‌داری را در کاهش مقدار وانادیوم از خاک نشان می‌دهد. همچنین بین کمپوست ۱٪ و کمپوست ۲٪ تفاوت معنی‌داری برای کاهش وانادیوم وجود ندارد. اما تفاوت معنی‌داری بین کمپوست و بیوجار وجود داشت. به گونه‌ای که در مقایسه با بیوجار، باعث کاهش بیش‌تر فلز وانادیوم شد. بنابراین، کمپوست ۲٪ بهترین عملکرد را برای کاهش میزان وانادیوم در بین تیمارهای مورد بررسی نشان می‌دهد (شکل ۲).



شکل ۲- اثر تیمارهای بیوجار و کمپوست بر کاهش وانادیوم (حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت در سطح ۰/۰۵٪ است، مقادیر شامل میانگین  $\pm$  اشتباه معیار است)

Fig. 2 Effect of biochar and compost on Vanadium reduction (Same letters indicating no significant differences between treatments at 0.05 %; Values are mean  $\pm$  standard error)

بیوجار باعث تغییر خواص خاک، افزایش فعالیت‌های میکروبی و افزایش جذب ترکیبات معدنی و آلاینده‌های آلی مثل هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای می‌شود (Ogbonnaya and Semple 2013). در حالی که افزودن کمپوست می‌تواند مقدار ماده آلی خاک و باروری خاک را بهبود بخشد و به این ترتیب به عنوان یکی از روش‌های مقرون به صرفه برای اصلاح خاک مورد توجه قرار می‌گیرد (Chen et al. 2015). پس از افزودن کمپوست، می‌توان شاهد کاهش فلزات سنگین در خاک بود (Zhou et al. 2017). البته این نکته را باید در نظر داشت که استفاده از کمپوست آلوده به فلزات سنگین می‌تواند باعث افزایش سطح فلزات سنگین در خاک شود. (Baek et al. 2005) نیز بیان کردند که اثرات



شکل ۱- اثر تیمارهای بیوجار و کمپوست بر کاهش هیدروکربن‌های کل نفتی (حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت در سطح ۰/۰۵٪ است، مقادیر شامل میانگین  $\pm$  اشتباه معیار است)

Fig. 1 Effect of biochar and compost on TPH reduction (Same letters indicating no significant differences between treatments at 0.05%; Values are mean  $\pm$  standard error)

کهور (*P. juliflora*) گونه‌ای است که نسبت به آلودگی‌های نفتی و فلزات سنگین مقاوم است. به عنوان راه حل سبزی برای تخریب خاک‌های آلوده به فلزات سنگین مورد استفاده قرار گیرد (Kumar et al. 2005). در این مطالعه نیز مشخص شد که این گونه در برابر آلاینده‌های نفتی مقاوم بوده در با حضور بیوجار و کمپوست گیاه‌پالایی آن در خاک‌های آلوده به لجن نفتی بیشتر می‌شود. اما مقدار بیوجار و کمپوست مورد استفاده می‌تواند تأثیرات متفاوتی در کاهش آلاینده‌های نفتی و فلزات سنگین داشته باشد که همسو با یافته‌های دیگر پژوهش‌گران می‌باشد (Koolivand et al. 2017, Jafari et al. 2013).

البته این نکته را باید مدنظر داشت که پتانسیل گیاه‌پالایی می‌تواند متأثر از شرایط اقلیمی منطقه و پتانسیل گیاه نیز باشد (Naderi et al. 2012). استفاده از اصلاح‌کننده‌های خاک مانند کمپوست و بیوجار، باعث ایجاد شرایط مطلوب برای رشد گیاه و در نتیجه حذف و پالایش TPH از خاک شدند (Jahantab et al. 2018).

### ۳-۳- اثر بیوجار و کمپوست بر وانادیوم

همان‌طوری که شکل (۲) نشان می‌دهد بین تیمارهای کمپوست ۱ (۵۰/۳۳ mg/kg) و ۲٪ (۴۷/۶ mg/kg) تفاوت معنی‌داری در کاهش سطح وانادیوم خاک وجود ندارد. همچنین بین تیمارهای شاهد (۶۹/۵ mg/kg) و شاهد بدون کهور (۶۷/۳ mg/kg) و بیوجار ۱٪ (۶۴/۰ mg/kg) تفاوت

بیوچار احتمالاً بیشتر به‌عنوان یک بهبوددهنده خاک و محرک تغییر شکل مواد مغذی تا یک منبع اصلی مواد مغذی است (Lehmann et al. 2003; Glaser et al. 2002). این مزیت بیوچار که از گستره وسیعی از زیتوده‌ها قابل تولید است و همچنین توانایی گوناگون آن باعث شده که بیوچار به‌عنوان یک ابزار سودمند محیط‌زیستی باصرفه اقتصادی برای مدیریت محیط‌زیست مطرح می‌شود (Jingchun Tang 2013). بیوچار به خاطر توانایی جذب بیولوژیکی آن پتانسیل زیادی برای مقابله با آلاینده‌ها (Tan et al. 2015). افزودن بیوچار به خاک گلدان‌های مورد مطالعه باعث کاهش مقدار فلزات سنگین نیکل و وانادیوم شد که همسو با یافته‌های دیگر محققین می‌باشد (Jahantab et al. 2018; Beesley et al. 2010). بنابراین کمپوست و بیوچار می‌تواند راه بسیار مؤثری برای خنثی‌سازی و کاهش فلزات سنگین باشد (Ogundiran et al. 2015).

آثار شیمیایی ناشی از عملکرد نفت و ترکیبات آن، به دلیل وجود فلزات سنگین و هیدروکربن‌های پلی‌سیکلیک آروماتیک است که می‌تواند باعث اختلال در متابولیسم، رشد و نمو گیاه ایجاد شود (Meudec et al. 2007; Fayyaz and Bagheripour 2016).

#### ۴- نتیجه‌گیری

توانایی بالای برخی گونه‌ها در جذب انتخابی عناصر و ترکیب‌های آلوده‌کننده، امکان استفاده از گیاهان در پاک‌سازی محیط‌های آلوده را فراهم می‌کند. در پژوهش حاضر با انتخاب گونه‌ی مقاوم (کهور) که قابلیت تطابق با شرایط محیطی در محل آلوده را دارد انتخاب شد. نتایج این پژوهش نشان داد که، گیاه‌پالایی یک فن‌آوری لازم و مؤثر برای پالایش مکان‌های آلوده به آلاینده‌های نفتی باصرفه اقتصادی بالا و در عمل هم سو با قواعد حفظ منابع زیستی می‌باشد.

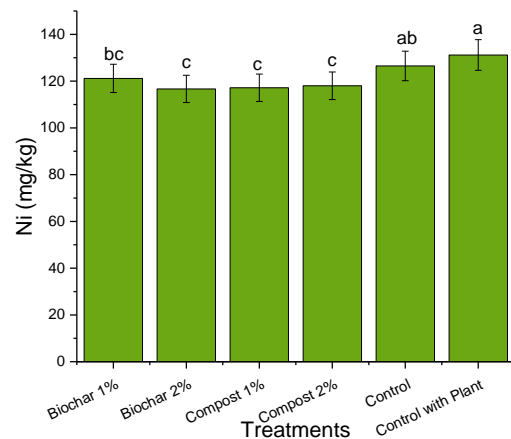
۱- براساس نتایج حاصل از کاربرد تیمارهای کمپوست و بیوچار در این پژوهش، می‌توان به نقش مؤثر و مثبت این دو تیمار در پالایش خاک‌های آلوده به TPH و فلزات سنگینی مانند وانادیوم و نیکل پی برد.

۲- با بررسی میزان کاهش غلظت TPH با اضافه نمودن مقادیر ۱ و ۲٪ کمپوست و بیوچار و نیز تیمار شاهد در انتهای دوره آزمایش نسبت به غلظت اولیه آلودگی‌ها، نشان‌دهنده نقش

منفی نفت خام در خاک به علت تهویه ناکافی تشدید خواهد شد ولی در حضور کمپوست اضافه‌شده در خاک به علت مساعد شدن شرایط برای رشد گیاه و افزایش میزان تهویه و افزایش جذب و نگهداری آب در خاک، رشد افزایش پیدا کرده است. این نتایج نیز همسو با یافته‌های ما در این زمینه است. بیوچار نه تنها باعث کاهش گازهای گلخانه‌ای می‌شود بلکه با بهبود خواص خاک باعث کاهش فلزات سنگین از خاک نیز می‌شود (Randolph et al. 2017). بنابراین در هنگام استفاده از بیوچار، قابلیت اشباع فلزات سنگین در خاک کاهش (Paz-Ferreiro et al. 2014) و فلزات سنگین با تغییر موجودیت (Park et al. 2011) کاهش پیدا می‌کنند.

#### ۳-۴ اثر بیوچار و کمپوست بر کاهش فلز نیکل

مقایسه بین تیمارهای مورد بررسی نشان داد که بین تیمارهای کمپوست یک درصد (۱۱۷/۲ mg/kg) و کمپوست دو درصد (۱۱۸/۰ mg/kg) و بیوچار دو درصد (۱۱۶/۵ mg/kg) تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (شکل ۳). همچنین تفاوت معنی‌داری بین تیمار شاهد (۱۲۶/۵ mg/kg) و تیمار شاهد با گیاه (۱۳۱/۱ mg/kg) وجود نداشت. اما تیمار بیوچار ۱٪ (۱۲۱/۱ mg/kg) تفاوت معنی‌داری را با تیمار شاهد با گیاه نشان داد (شکل ۳). در حالی که همین تیمار با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۳).



شکل ۳- اثر بیوچار و کمپوست بر کاهش نیکل (حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت در سطح ۰/۰۵٪ است، مقادیر شامل میانگین  $\pm$  اشتباه معیار است)

Fig. 3 Effect of biochar and compost on Nickel reduction (Same letters indicating no significant differences between treatments at 0.05 percent; Values are mean  $\pm$  standard error)

۴- افزودن بیوپچار و کمپوست به خاک می‌تواند سبب بهبود خواص فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی و همچنین باعث افزایش قدرت گیاه‌پالایی فلزات سنگین شود.

### دسترسی به داده‌ها

داده‌های استفاده‌شده (یا تولیدشده) در این پژوهش در متن مقاله ارائه‌شده است.

مؤثر و کاربردی کمپوست و بیوپچار در پالایش و حذف آلاینده‌های نفتی و فلزات سنگینی همچون نیکل و وانادیوم موجود در خاک است.

۳- گونه کهور و فاکتورهای اصلاح‌کننده (بیوپچار و کمپوست) باعث کاهش میزان TPH خاک شدند.

## References

- Ahmadi, B., (2012). The role of heavy metals in human health. July 20 2012. available at: Resources heavy metals.
- Alboebadi, H., Moradi, M., and Jahantab, E., (2018). Effect of Biochar and Municipal Waste Compost on *Ziziphus Spina-Christi* (L.) Willd heavy metals and total petroleum hydrocarbons phytoremediation. *J. Plant Eco. Cons.*, 6(12), 261-277. [In Persian].
- Anigboro, A. and Nyerhovwo, J., (2008). Effect of crude oil on invertase and amylase activities in cassava leaf extract and germinating cowpea seedlings. *A. J. Biol. Sci.*, 1(1), 56-60.
- Baek, K. H., Kim, H. S., Oh, H. M., Yoon, B. D., Kim, J. and Lee, I. S., (2005). Effect of crude oil, oil components and bioremediation on plant growth. *J. Environ.*, 40, 88-97.
- Baek, K. H., Kim, H. S., Oh, H. M., Yoon, B. D., Kim, J., and Lee, I. S., (2004). Effects of crude oil, oil components, and bioremediation on plant growth. *J. Environ. Sci. Health A.*, 39(9), 2465-2472.
- Basaltpour, A., Hajabbasi, M. A., Khoshgoftarmanesh, A. H. and Dorostkar, V., (2011). Landfarming process effects on some biological and chemical properties of petroleum contaminated soils. *Soil Sediment Contam.*, 20(2), 234-248.
- Beesley, L., Moreno-Jimenez, E. and Gomez-Eyles, J. O., (2010). Effects of biochar and greenwaste compost amendments on mobility, bioavailability and toxicity of inorganic and organic contaminants in a multi-element polluted soil. *Environ. Pollut.*, 1-6.
- Chen, M., Xu, P., Zeng, G. M., Yang, C. P., Huang, D. L. and Zhang, J. C., (2015). Bioremediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons, petroleum, pesticides, chlorophenols and heavy metals by composting: applications, microbes and future research needs. *Biotechnol. Adv.*, 33, 745-755.
- Chupakhina, G. N. and Maslennikov, P. V. (2004). Plant adaptation to soil stress. *Russ. J. Ecol.*, 35, 290-295.
- Dobler, R., Saner, M. and Bachofen, R., (2000). Population changes of soil microbial communities induced by hydrocarbon and heavy metal contamination. *Bioremediat. J.*, 4, 41-56.
- Etim, E. (2012). Phytoremediation and its mechanisms: A review. *Int. J. Environ. Bioenergy.*, 2(3), 120-36.
- Fayyaz, P. and Bagheripour, A., (2016). Inhibitory Effect of Crude Oil on Vegetative and Physiologic Performance of Seeds and Seedlings of *Ziziphus*, *Prosopis*, *Acacia* and *Robinia* Species. *Iran. J. Appl. Ecol.*, 5(16), 31-42. [In Persian]
- Gaur, A. and Adholeya, A. (2004). Prospects of arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. *Curr. Sci.*, 86, 528-534.
- Glaser, B., Lehmann, J. and Zech, W., (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. *Biol. Fertil. Soils.*, 35, 219-230.
- Hutchinson, S. L., Schwab, A. P. and Banks, M. K., (2001). Phytoremediation of aged petroleum sludge: effect of irrigation techniques and scheduling. *Environ. Qual.*, 30, 1516-1522.
- Jafari, M., Ebrahimi, S. and Movahed Naeini, S., (2013). Simultaneous effect of municipal solid waste compost and some fertilizers on biodegradation of oil-contaminated soils. *J.*





- Soil. Water. Reso. Conserv., 2(3), 43-56. [In Persian]
- Jafari, M., Jahantab, E. and Moameri, M., (2020). Investigation of Remediation of Contaminated Soils with Heavy Metals Using *Helianthus Annuus* L. Plant. J. of Environ. Sci. Tech., 22(7), 1-14. [In Persian]
- Jahantab, A., Jafari, M., Motasharezadeh, B., Tavili, A. and Zargham, N., (2016a). Evaluation of the phyto-remediation of rangeland plants in soils contaminated with petroleum, with an emphasis on heavy metal Ni. Environ. Sci., 14(3), 107-122. [In Persian]
- Jahantab, E., Jafari, M., Motasharezadeh, B., Tavili, A. and Zargham, N., (2016b). Evaluation of tolerant plants species to heavy metals in oil polluted region (case study: Pazanan Gachsaran). J. Range. Sci., 10(4), 409-425. [In Persian]
- Jahantab, E., Jafari, M., Motesharezadeh, B., Tavili, A. and Zargham, N., (2018). Remediation of Petroleum-Contaminated Soils using *Stipagrostis plumosa*, *Calotropis procera* L., and *Medicago sativa* under Different Organic Amendment Treatments. Ecopersia, 6(2), 101-109.
- Jingchun Tang, W. Z., (2013). Characteristics of biochar and its application in remediation of contaminated soil. J. Biosci. Bioeng., 116(6), 653-659.
- Kathi, S. and Khan, A. (2011). Phytoremediation approaches to PAH contaminated soil. Indian J. Sci. Technol., 4(1), 56-63.
- Khan, A. G. (2005). Role of soil microbes in the rhizospheres of plants growing on trace metal contaminated soils in phytoremediation. J. Trace Elem. Med. Biol., 18(4), 355-364.
- Khan, S., Afzal, M., Iqbal, S. and Khan, M. Q., (2013). Plant-bacteria partnerships for the remediation of hydrocarbon contaminated soils. Chemosphere, 90(4), 1317-1332.
- Koolivand, A., Rajaei, M. S., Ghanadzadeh, M. J., Saedi, R., Abtahi, H. and Godini, K., (2017). Bioremediation of storage tank bottom sludge by using a two-stage composting system: effect of mixing ratio and nutrients addition. Bioresour. Technol., 235, 240-249.
- Kumar, S. P., Prince, W. S. P. M., Sivakumar, S. and Subbhuraam, C. V., (2005). *Prosopis juliflora* a green solution to decontaminate heavy metal (Cu and Cd) contaminated soils. Chemosphere, 60, 1493-1496.
- Lehmann, J., Silva Jr, S. J. P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W. and Glaser, B., (2003). Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. Plant Soil, 249, 343-357.
- Meudec, A., Poupart, N., Dussauze, J. and Deslandes, E., (2007). Relationship between heavy fuel oil phytotoxicity and polycyclic aromatic hydrocarbon contamination in *Salicornia fragilis*. J. Sci. Total Environ., 381, 146-156.
- Naderi, M. R., Danesh-Shahraki, A. and Naderi, R. (2012). A review on Phytoremediation of heavy metals contaminated soils. Hum. Environ., 23, 35-49. [In Persian]
- Naseri, S., Mesdaghinia, A., Omrani, Gh., Rezaei, S., Nadafi, K., Yonesian, M. and Arbabi, M. (2005). Removal of Polycyclic aromatic hydrocarbons PAHS from soils contaminated with petroleum compounds by microbial consortium. Final report of the research project. Tehran University of Medical Sciences.
- Ogbonnaya, U. and Semple, K. (2013). Impact of Biochar on Organic Contaminants in Soil: A Tool for Mitigating Risk? Agron., 3, 349-375.
- Ogundiran, M., Lawal, O. and Adejumo, S., (2015). Stabilisation of Pb in Pb Smelting Slag-Contaminated Soil by Compost-Modified Biochars and Their Effects on Maize Plant Growth. J. Environ. Prot. Sci., 6, 771-780.
- Park, J.H., Choppala, G. K., Bolan, N. S., Chung, J. W. and Chuasavathi, T., (2011). Biochar reduces the bioavailability and phytotoxicity of heavy metals. Plant Soil, 348, 439-451.
- Paz-Ferreiro, J., Lu H., Fu, S., Mendez, A and Gasco, G. (2014). Use of phytoremediation and biochar to remediate heavy metal polluted soils: a review. Solid Earth, 5: 65-75.
- Peng S., Zhou Cai, Z. and Zhang, Z., (2009). Phytoremediation of petroleum contaminated soils by *Mirabilis jalapa* L. in greenhouse plot

- experiment. *J. Hazard. Mater.*, 168, 1496-1490.
- Pizarro-Tobias, P., (2015) Field trial on removal of petroleum-hydrocarbon pollutants using a microbial consortium for bioremediation and rhizoremediation. *Environ. Microbiol. Rep.* 7(1), 85–94.
- Pulford, I. and Watson, C., (2003). Phytoremediation of heavy metal contaminated land by tree a review. *J. Environ. Int.*, 29, 529-40.
- Randolph, P., Bansode, B. R. R., Hassan, O. A., Rehrh, D. J., Ravella, R. M., Reddy, R., Watts, D. W., Novak, J. M. and Ahmedna, M., (2017). Effect of biochars produced from solid organic municipal waste on soil quality parameters. *Environ. Manage.*, 192, 271-280.
- Tan, X., Liu, Y., Zeng, G., Wang, X., Hu, X., Gu, Y. and Yang, Z. (2015). Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions. *Chemosphere*, 125, 70-85.
- Tavili, A., Jahantab, E., Jafari, M., Motesharezadeh, B., Zargham, N. and Saffari Aman, M., (2019). Assessment of TPH and nickel contents associated with tolerant native plants in petroleum-polluted area of Gachsaran, Iran. *Arab. J. Geosci.*, 12, 325.
- Tavili, A., Jahantab, E., Jafari, M., Motesharezadeh, B. and Zargham, N. (2018). Remediation of contaminated soils with heavy metal of Pb using rangelands plants in the greenhouse condition. *J. Plant Res.*, 31(3), 583-593.
- Yateem, A. (2013). Rhizoremediation of oil-contaminated sites: a perspective on the Gulf War environmental catastrophe on the State of Kuwait. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 20(1), 100–107
- Zhou, R., Liu, X., Luo, Y., Zhou, Y., Wei, J., Chen, A., Tang, L., Wu, H., Deng, Y., Zhang, F. and Wang, Y. (2017). Remediation of Cu, Pb, Zn and Cd-contaminated agricultural soil using a combined red mud and compost amendment. *Int. Biodeter. Biodegradation.*, 118, 73-81.

## Research Paper

**Phytoremediation of Contaminated Soils to Sludge of Oil Reservoirs using *Prosopis juliflora* (Sw.) DC.****Mostafa Moradi<sup>1</sup>, Zohreh Barazionnezhad<sup>2</sup>, Reza Basiri<sup>1</sup>, Esfandiar Jahantab<sup>3\*</sup> and Gholamhosein Moradi<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Assoc. Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran

<sup>2</sup>M.Sc. Student, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran

<sup>3</sup>Assist. Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture, University of Fasa, Fasa, Iran

<sup>4</sup>Assist. Professor, Department of Environmental Science, School of Natural Resources & Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran

\*Corresponding author: [e.jahantab@fasau.ac.ir](mailto:e.jahantab@fasau.ac.ir)

**Received:** April 03, 2021

**Revised:** May 27, 2021

**Accepted:** June 09, 2021

**Abstract**

Oil contaminated soil is a vital threat to the environment. The aim of the present research was to investigate the total petroleum hydrocarbon (TPH), and heavy metals of nickel and vanadium reduction using *Prosopis juliflora*, under different treatments of biochar and compost in pots. One-year-old *P. juliflora* seedlings were planted in pots containing oil sludge. The pots included 1 and 2% of compost and biochar. Furthermore, two control treatments including with and without *P. juliflora* were used for the study. This study was conducted in the complete randomized plot sampling with three replications. After six months, soil samples were taken from the pots and transferred to the laboratory. Then, the concentration of TPH, nickel, and vanadium was determined. The results indicated that the least TPH belonged to the compost 2% treatment (10.63 ppm), which was significantly different compared with other studied treatments. The highest value belonged to the control treatment without *P. juliflora* (22.57 ppm). The highest value of vanadium belonged to the control treatment (69.50 mg/kg). Compost 2% had the least values of vanadium (47.66 mg/kg). Comparison between treatments showed no significant differences among compost 1% (117.17 mg/kg), compost 2% (118.00 mg/kg), and biochar 2% (116.67 mg/kg). The highest reduction of nickel was observed within the mentioned treatments. Therefore, using biochar and compost can improve the phytoremediation capacity of *P. juliflora*.

**Keywords:** Biochar; Compost; Phytoremediation; Total Petroleum Hydrocarbons; Vanadium