

## زیست پالایش خاک‌های آلوده به نفت خام سبک توسط بقولات

بهاره لرستانی<sup>\*۱</sup>

[Saba12ir@yahoo.com](mailto:Saba12ir@yahoo.com)

راشین نوری<sup>۲</sup>

نسرين كلاهچي<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۷/۰۶

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۵/۰۵

### چکیده

**زمینه و هدف:** آلودگی خاک به ترکیبات نفتی یکی از شایع ترین معضلات زیست محیطی است که به هنگام استخراج، انتقال و پالایش سبب ورود هیدروکربن های پایدار به محیط و سرانجام آلودگی خاک می شود. آلودگی نفتی می تواند سبب آسیب به محیط زیست، جمعیت جانوری و گیاهی شود. زیست پالایی گیاهی فن آوری اقتصادی و دوستدار محیط زیست است که با کمک گیاهان می تواند سبب کاهش ترکیبات نفتی از خاک شود. می تواند روشی مناسب برای پاک سازی ترکیبات نفتی از خاک باشد. این مطالعه با هدف بررسی زیست پالایی خاک های آلوده به نفت خام سبک توسط بقولات انجام یافته است.

**روش بررسی:** در این مطالعه بررسی توانایی استقرار و رشد گونه های خلر (*lathyrus sativus*)، عدس (*lens culinaris*)، شنبلیله (*Trigonella foenum*)، شیرین بیان (*Glycyrrhiza glabr*) از خانواده بقولات (*fabaceae*) در خاک های آلوده به نفت خام سبک به غلظت های مختلف (۱، ۲، ۳، ۴٪) در مدت ۴۰ روز در قالب یک طرح کاملاً تصادفی مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین به منظور بررسی پتانسیل حذف ترکیبات نفتی از خاک با استفاده از روش گیاه پالایی، میزان کاهش ترکیبات نفتی از خاک آلوده توسط این گونه ها اندازه گیری شد.

**یافته ها:** میزان کاهش بیش تر ترکیبات نفتی از خاک میزان ۷۲/۳٪ در تیمار ۱٪ در گونه خلر (*Trigonella foenum*) و میزان کاهش کمتر ترکیبات نفتی از خاک میزان ۳۸/۶٪ در تیمار ۴٪ در گونه شنبلیله (*Trigonella foenum*) مشاهده. همچنین ضریب همبستگی پیرسون نشان داد که افزایش وزن خشک در گیاه میزان کاهش آلودگی نفتی را از خاک افزایش داده است.

**نتیجه گیری:** با توجه به کارایی قابل قبول گونه های مورد بررسی در پاک سازی آلودگی نفتی و صرفه جویی اقتصادی گیاه پالایی نسبت به سایر روش های پاک سازی خاک، استفاده از این روش برای مناطق آلوده ایران توصیه می شود.

**واژه های کلیدی:** آلودگی ، بقولات، پالایش، ترکیبات نفتی، خاک، محیط زیست.

\*۱- (مسئول مکاتبات): دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد همدان، ایران.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد آلودگی های محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد همدان، ایران.

۳- استادیار گروه محیط زیست، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد همدان، ایران.

## Bioremediation of soil contaminated with light crude oil using Fabaceae family

Bahareh Lorestani <sup>1\*</sup>

[Saba12ir@yahoo.com](mailto:Saba12ir@yahoo.com)

Rashin Nouri <sup>2</sup>

Nasrin Kulahchi <sup>3</sup>

### Abstract

Soil pollution by petroleum compounds is one of the most common environmental problems, which causes soil contamination during extracting, transferring and refining. Bioremediation is an economic technology that makes use of plants to reduce oil pollution in soil. The aim of this study was to evaluate growing ability of *Lathyrus sativus*, *Lens culinaris*, *Trigonella foenum* and *Glycyrrhiza glabr* of the Fabaceae family in the soil contaminated with light crude oil. Also potential oil removal from soil by these species through bioremediation was shown. In this study, after examining the developmental stage of 4 samples of Fabaceae plant family, potential of removing hydrocarbons from the soil contaminated by light crude oil with different concentrations (1, 2, 3, and 4%) at 40 days in Completely Randomized Design (CRD) was investigated. The result shows that the maximum possibility of pollution reduction is in *lathyrus sativus* with 73.3% in sample (1%) and the minimum possibility of pollution reduction is in *Trigonella foenum* with 38.6 in sample (4%). Moreover, Person's correlation coefficient showed that by increasing dry weight of the plant, the amount of pollution reduction in the soil increases. Given the acceptable performance of oil pollution cleanup by these species and economic saving as compared to other methods, the use of this method is recommended for the contaminated areas in Iran.

**Keywords:** Bioremediation, Environmental, Fabaceae, Hydrocarbons compounds pollution, Soil.

---

1- Associate Professor Department of Environment Faculty of Sciences, Islamic Azad University of Hamedan, Iran.\* (Corresponding Author)

2- M.Sc. Student Department of Environmental Pollution, Islamic Azad University of Hamedan, Iran.

3- Assistant Professor Department of Environment Faculty of Sciences, Islamic Azad University of Hamedan, Iran.

## مقدمه

در میان گستره آلوده کننده های محیطی آب و خاک، هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای و آفت کش ها به نگرانی های زیست محیطی تبدیل شده اند (۱). خواصی مانند مقاومت در برابر تجزیه و گستره پخش هیدروکربن های نفتی سبب پایداری آن ها در محیط زیست شده است. از سویی این ترکیبات به دلیل سمیت، جهش زایی و سرطان زایی در سلامت عمومی مطرح می باشد (۲). همین طور این خصوصیات موجب پیوستن آن ها به ذرات خاک و رسوب شده و منجر به کاهش دسترسی زیستی به این آلاینده ها جهت جذب بیولوژیکی می گردد (۳ و ۴). همچنین افزایش چشمگیر قابلیت تجمع این آلاینده ها در خاک سبب رسوب در محیط های آبی می شود (۵). در مجموع نگرانی جدی محیط زیستی راجع به وجود هیدروکربن های نفتی در محیط به علت سرطان زایی ترکیبات آن ها برای حیوانات، ایجاد جهش در باکتری ها، سمیت آن ها برای رشد گیاهان و امکان ورود به زنجیره غذایی می باشد (۶). پس ضرورت دارد که این مواد به طریقی از محیط زیست حذف شوند. گستره وسیعی از فن آوری های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مختلف نظیر تصفیه حرارتی، تثبیت و جامد سازی و زیست پالایی، جهت رفع آلودگی از خاک ایجاد شده و مورد استفاده قرار گرفته اند. روش های فیزیکی و شیمیایی جهت حذف آلودگی از مناطق با وسعت نسبتاً کم و خاک های درشت دانه کاربرد دارند و برای مساحت های زیاد نظیر خاک های آلوده به مواد صنعتی، مواد نفتی، محل های معدن کاری و نظایر آن بسیار پرهزینه هستند (۷). ذرات رسی ۲۰ تا ۵۰ درصد از عمده خاک های آلوده را تشکیل می دهند و پاک سازی این خاک ها با روش های فیزیکی و شیمیایی به راحتی ممکن نیست لذا خاک های که درصد بیش تر آن ها از رس تشکیل شده است به فرآیندهای پیشتری برای پاک سازی نیاز دارند بنابراین روش گیاه پالایی برای این نوع از خاک ها توصیه می شود (۸). زیست پالایی گیاهی فن آوری مبتنی بر تلفیق فعالیت گیاهان و جامعه میکروبی همراه آن برای تجزیه، انتقال، غیرفعال کردن و ساکن سازی ترکیبات آلاینده خاک و آب های زیرزمینی است (۹). در فن آوری گیاه پالایی، ریشه گیاهان اثر تحریکی بر فعالیت های میکروبی دارد که سبب می شود شرایط و محیط مناسب برای رشد و تکثیر جمعیت میکروبی فراهم شود که نتیجه آن کاهش آلاینده نفتی از خاک است (۱۰). در این میان انتخاب گیاه از اهمیت زیادی برخوردار است. در تحقیق صورت گرفته توسط Merkel (۲۰۰۵) نشان داده است که عدم تثبیت نیتروژن می تواند سبب آسیب آلودگی نفتی بر گیاهان شود چرا که خاک های آلوده کاهش توانایی ریشه ها در جذب مواد غذایی را در بر دارد، او برای رفع این مشکل از کودهای گیاهی جهت تثبیت نیتروژن استفاده کرده است که با ترکیب لگوم های داخل خاک این مشکل حل خواهند شد و سبب بهبود و اصلاح حاصلخیزی خاک شود (۱۱). اما این روش برای مناطق گسترده زمان بر و پرهزینه می باشد. برای حل مشکلات پیش رو و رسیدن به کارآمدترین روش برای پاک سازی خاک های آلوده به ترکیبات نفتی تحقیق حاضر با استفاده از روش زیست پالایی گیاهی با بهره گیری از گونه مناسب

انتخاب شد. بقولات به دلیل قابلیت تثبیت نیتروژن خاک، گونه های مناسبی برای گیاه پالایی می باشند. در این گیاهان رقابتی بین گیاه با جمعیت میکروبی برای نیتروژن خاک صورت نمی گیرد که نتیجه آن همکاری مناسب بین باکتری ها و گیاه در جهت حذف و کاهش آلودگی نفتی خاک می باشد (۱۲). بنابراین مطالعات کتابخانه ای به منظور شناسایی گونه های گیاهی مقاوم و مستعد در حذف آلودگی های نفتی از خاک با توجه به پژوهش های انجام شده در این زمینه انجام گرفت. گیاهان مورد استفاده باید دارای سازگاری با شرایط متفاوت، اقلیم های گوناگون و خاک های مختلف بوده و به علاوه توانایی جذب یا تجزیه مواد آلوده را داشته باشند تا بتوان از آن ها برای پاک سازی استفاده کرد (۱۳).

بنابراین از گونه های گیاهی یک ساله چون گونه های خلر (lathyrus sativus)، عدس (lens culinaris)، شنبلیل (Trigonella foenum)، شیرین بیان (Glycyrrhiza glabr) از خانواده بقولات که قابلیت کشت در اکثر شرایط آب و هوایی را دارند استفاده شد. در نتایج پژوهش مشابهی که توسط Akaninwor (2007) انجام گرفته، نشان داده شده است که گیاه ذرت در غلظت ۵ درصد قادر به رشد و جوانه زنی بوده است اما در غلظت های بالاتر از این مقدار پروتیین ها، لیپیدها، کربوهیدرات ها را شکسته و گیاه قادر به رشد و جوانه زنی نبوده است (۱۴). بنابراین این تحقیق با هدف بررسی توان پایداری گیاه در غلظت های (۱، ۲، ۳ و ۴)٪ و تعیین میزان پالایش آلودگی نفتی از خاک آلوده انجام گرفت.

## روش بررسی

## بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می تواند رشد گیاه را تحت تاثیر قرار دهد. با توجه به این امر برای اطمینان از استقرار گیاه در محیط زیست تلاش شد عوامل موثر در رشد گیاه تحت کنترل قرار گیرد، تا بتوان با اطمینان ادعا کرد که گیاهان مورد مطالعه از پایداری مناسبی در این نوع خاک ها جهت پاک سازی خاک های آلوده به نفت خام سبک برخوردارند. همچنین بتوان با درصد ادعا کرد که حذف آلودگی نفتی صورت گرفته صرفاً مربوط به گونه مورد نظر است و خصوصیات خاک در افزایش و کاهش آن تاثیر قابل توجهی نداشته است. برای این منظور خاک مورد مطالعه از مناطق مختلف اطراف همدان به صورت تصادفی تهیه و مورد آزمایش قرار گرفت. سرانجام از بین نمونه های مورد نظر خاکی انتخاب شد که از شرایط مورد نظر برخوردار باشد. به منظور آشنایی با خصوصیات خاک مورد مطالعه پس از عبور نمونه خاک از سرند ۲، برخی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک با استفاده از روش های شناخته شده تعیین گردید. روش هیدرومتری برای تعیین بافت خاک، روش والکی و بلک برای میزان کربن آلی خاک، روش کجمدال برای میزان نیتروژن خاک، روش اولسن برای میزان فسفر خاک، روش والکی و بلک برای میزان مواد آلی خاک، میزان PH خاک با استفاده از PH متر و میزان EC

خاک با استفاده از EC سنج تعیین گردید که در جدول ۱ میزان آن ها ذکر شده است (۱۵).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Physiochemical properties of soil

| پارامتر                    | مقدار   | روش        |
|----------------------------|---------|------------|
| شن (درصد)                  | ۳۵      | هیدرومتری  |
| سیلت (درصد)                | ۱۹      | هیدرومتری  |
| رس (درصد)                  | ۴۳      | هیدرومتری  |
| بافت خاک                   | لوم رسی | هیدرومتری  |
| PH                         | ۷       | PH متر     |
| EC (دسی زیمنس بر متر)      | ۲/۹۳    | EC سنج     |
| کربن آلی (درصد)            | ۰/۸۶    | والکلی بلک |
| نیتروژن (درصد)             | ۰/۰۵    | کجلدال     |
| فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم) | ۱۲      | اولسن      |
| مواد آلی (درصد)            | ۶/۱۲    | والکلی بلک |

نتایج حاصل از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه نشان می‌دهد که میزان هدایت الکتریکی برابر ۲/۹۳ می‌باشد پس به دلیل کمتر بودن آن از ۴ دسی زیمنس رشد گیاه را تحت تاثیر قرار نمی‌دهد (۱۶). همچنین نسبت کربن به نیتروژن ۱۷/۲ شد. هر چه میزان نسبت کربن به نیتروژن بیش تر شود سبب افت کارایی گیاه پالایی می‌شود (۱۷). اهمیت مواد آلی به تاثیر آن در بهبود خصوصیات فیزیکی خاک، حفظ آب و افزایش قابلیت استفاده عناصر غذایی می‌باشد این اثرات بایستی در نهایت به افزایش زیست توده و تولید محصول منجر شود (۱۸). Loveland و Webb (۲۰۰۲) گزارش کرده اند که کربن آلی مناسب خاک برای رشد گیاه ۲-۳٪ می‌باشد و کمتر از این مقدار پتانسیل خاک شدیداً کاهش می‌یابد. PH خاک نیز بر قابلیت دسترسی مواد غذایی تاثیر دارد PH مناسب برای رشد گیاه ۶-۷ می‌باشد (۱۹).

#### بررسی استقرار و رشد گونه ها

کاشت گیاه در گلدان به میزان ۴۰۰ گرم خاک پس از مخلوط شدن به صورت دستی با در صدهای مختلف نفت خام سبک (۲،۲،۳، ۴ حجمی/ وزنی) در ۳ تکرار آماده گردید. برای مثال در تیمار ۱٪ میزان ۴ گرم، در تیمار ۲٪ ۸ گرم، در تیمار ۳٪ ۱۲ گرم و برای تیمار ۴٪ ۱۶ گرم نفت خام سبک به خاک اضافه و به صورت دستی مخلوط شد. میزان یک مورد تیمار شاهد جهت محاسبه میزان تبخیر نفت خام سبک توسط عوامل جوی برای هر تکرار به عنوان شاهد خشک در زیر یک سقف محافظ قرار داده شد تا از دسترسی آب باران دور باشد و یک تیمار شاهد بدون گیاه جهت محاسبه میزان آب شویی برای هر تکرار که همانند سایر تیمارها آب دهی شود قرار داده شد. همچنین یک

تیمار شاهد دارای گیاه و بدون آلودگی برای مقایسه رشد گیاه با تیمارهای آلوده در نظر گرفته شد. پس از آن نسبت به کاشت بذره‌های گونه‌های خلر (*Trigonella*)، شنبلیله (*lens culinaris*)، عدس (*lathyrus sativus*)، شیرین بیان (*Glycyrrhiza glabr*) به صورت ۱۰ عدد در هر تیمار اقدام گردید (۲۰). گیاهان در شرایط طبیعی نگه داری شدند. پس از طی مرحله رشد، گیاهان در طرح بلوک های تصادفی مورد بررسی قرار گرفتند. در پایان آزمایش گیاهان از خاک خارج و با آب شستشو داده شدند تا خاک از ریشه جدا گردد. سپس شستشوی مجدد با آب مقطر انجام شد. به منظور اندازه‌گیری وزن خشک، گیاه به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلیسیوس آون نگهداری و وزن خشک کل اندام‌های گیاهی، وزن خشک ریشه و وزن خشک اندام‌های هوایی گیاهان ثبت گردید (۲۱).

#### اندازه گیری میزان حذف ترکیبات نفتی از خاک

پس طی مرحله رشدی استخراج مواد نفتی از خاک آلوده صورت گرفت. برای جدا سازی ترکیبات از خاک به ۱ گرم خاک، ۱۰ میلی لیتر حلال دی کلرومتان اضافه شد. این حلال به دلیل عدم واکنش با آب، فرار بودن و بازیابی آسان از مخلوط در این مطالعه استفاده شد. مخلوط به شدت تکان داده شد تا نفت موجود در خاک توسط حلال جدا شود. سپس مخلوط سانتریفوژ گردید تا خاک از حلال جدا شود. فاز حلال به ظروفی که از قبل وزن شده بود منتقل و اجازه داده شد که حلال در مجاورت هوا به مدت ۲۴ ساعت تبخیر شود. سپس ظرف دوباره وزن گردید که تفاوت وزن آن با وزن اولیه ظرف خالی، مشخص کننده مقدار نفت استخراج شده از خاک است. مقدار نفت استخراج شده از هر نمونه با مقدار نفت خاک در شروع کاشت، مقایسه و کاهش آن به صورت درصد کاهش مشخص شد (۲۲).

انجام گرفته نشان داد که اختلاف معنی داری بین درصد جوانه زنی تیمار شاهد و تیمارهای آلوده شده با غلظت های مختلف نفت خام سبک وجود دارد. درصد جوانه زنی گونه شنبلیله در تیمارهای آلوده در مقایسه با سایر گونه ها قابلیت رشد بیش تری را داشت. درصد جوانه زنی در گونه خلر روند نزولی داشت، اما در آلوده ترین تیمار نیز میزان جوانه زنی مناسب (۶۶/۶ درصد) مشاهده شد. در گونه شیرین بیان روند درصد جوانه زنی در تیمارهای آلوده روند نزولی داشت، به طوری که در آلوده ترین تیمار با افت زیادی در میزان درصد جوانه زنی (۲۰ درصد) رو به رو بودیم. گونه عدس و شنبلیله نیز مانند سایر گونه ها روند کاهشی داشتند، به طوری که در تیمار ۴ درصد این میزان برای عدس (۶۶/۶ درصد) و برای شنبلیله (۷۶/۶ درصد) اما این کاهش به حدی نبود که از ادامه مطالعات کنار گذاشته شوند.

#### بررسی آماری

نتایج مربوط به جوانه زنی و ماندگاری با آزمون آماری تحلیل واریانس و نتایج مربوط به وزن خشک و نفت حذف شده با آزمون آماری رگرسیون مورد بررسی قرار گرفت.

#### یافته ها

#### بررسی پایداری گونه ها

نتایج حاصل از بررسی درصد جوانه زنی (جدول ۲) نشان دهنده روند کاهشی درصد جوانه زنی با افزایش آلودگی نفتی بوده است. همچنین آنالیز آماری

جدول ۲- نتایج اندازه گیری شاخص درصد جوانه زنی گونه های خلر (*lathyrus sativus*)، عدس (*lens culinaris*)، شنبلیله (*Trigonella*

*foenum*)، شیرین بیان (*Glycyrrhiza glabr*) در غلظت های مختلف نفت (۰، ۱، ۲، ۳ و ۴٪)  $\pm$  انحراف معیار

Table 2-The results measure germination percentage Lathyrus species (*lathyrus sativus*), lentils (*lens culinaris*), fenugreek (*Trigonella foenum*), Licorice (*Glycyrrhiza glabr*) oil in different concentrations (0, 1, 2, 3 and 4%)  $\pm$  standard deviation

| غلظت های مختلف نفت خام سبک |            |            |            |            | گونه های مورد مطالعه                    |
|----------------------------|------------|------------|------------|------------|-----------------------------------------|
| شاهد                       | ۱٪         | ۲٪         | ۳٪         | ۴٪         |                                         |
| ۱۰۰                        | ۹۳/۳       | ۸۳/۳       | ۷۶/۶       | ۶۶/۶       | خلر ( <i>Lathyrus sativus</i> )         |
| -                          | $\pm 0/21$ | $\pm 0/39$ | $\pm 0/4$  | $\pm 0/44$ |                                         |
| ۹۳/۳                       | ۸۰         | ۶۳/۳       | ۴۰         | ۲۰         | شیرین بیان ( <i>Glycyrrhiza glabr</i> ) |
| -                          | $\pm 0/21$ | $\pm 0/39$ | $\pm 0/4$  | $\pm 0/44$ |                                         |
| ۱۰۰                        | ۹۰         | ۹۰         | ۷۰         | ۶۶/۶       | عدس ( <i>Lens culinaris</i> )           |
| -                          | $\pm 0/23$ | $\pm 0/29$ | $\pm 0/14$ | $\pm 0/42$ |                                         |
| ۱۰۰                        | ۹۶/۶       | ۹۰         | ۸۳/۳       | ۷۶/۶       | شنبلیله ( <i>Trigonella fienum</i> )    |
| -                          | $\pm 0/11$ | $\pm 0/12$ | $\pm 0/21$ | $\pm 0/23$ |                                         |

شنبلیله (۳۹/۱ درصد) و برای گونه شیرین بیان (۳۳/۳ درصد) در تیمار ۴ درصد بود. درصد ماندگاری گونه خلر و عدس نیز در تیمارهای آلوده روند مشابهی را نشان دادند. کمترین درصد ماندگاری این دو گونه که به ترتیب برای گونه خلر (۷۵ درصد) و برای گونه عدس (۶۵ درصد) در تیمار ۴ درصد بود.

نتایج حاصل از بررسی درصد ماندگاری (جدول ۳) نشان دهنده روند کاهشی درصد ماندگاری با افزایش آلودگی نفتی بوده است. همچنین آنالیز آماری انجام گرفته نشان داد که اختلاف معنی داری بین درصد ماندگاری تیمار شاهد و تیمارهای آلوده شده با غلظت های مختلف نفت سبک وجود دارد. درصد ماندگاری گونه شنبلیله و شیرین بیان در تیمارهای آلوده روند مشابهی را نشان دادند. کمترین درصد ماندگاری این دو گونه که به ترتیب برای گونه

جدول ۳- نتایج اندازه گیری شاخص درصد ماندگاری گونه های خلر (*Lathyrus sativus*)، عدس (*lens culinaris*)، شنبلیله (*Trigonella foenum*)، شیرین بیان (*Glycyrrhiza glabr*) در غلظت های مختلف نفت (۰، ۱، ۲، ۳ و ۴٪)  $\pm$  انحراف معیار

Table 3- The results measure germination percentage Lathyrus species (*Lathyrus sativus*), lentils (*lens culinaris*), fenugreek (*Trigonella foenum*), Licorice (*Glycyrrhiza glabr*) oil in different concentrations (0, 1, 2, 3 and 4%)  $\pm$  standard deviation

| غلظت های مختلف نفت خام سبک |           |           |           |           | گونه های مورد مطالعه                    |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------------------------------|
| شاهد                       | ۱٪        | ۲٪        | ۳٪        | ۴٪        |                                         |
| ۱۰۰                        | ۸۲/۱      | ۷۶        | ۷۸/۳      | ۷۵        | خلر ( <i>Lathyrus sativus</i> )         |
| -                          | $\pm 2/2$ | $\pm 3/4$ | $\pm 3/6$ | $\pm 3/4$ |                                         |
| ۸۹/۲                       | ۶۲/۵      | ۵۲/۶      | ۵۰        | ۳۳/۳      | شیرین بیان ( <i>Glycyrrhiza glabr</i> ) |
| $\pm 2/5$                  | $\pm 3/8$ | $\pm 3/7$ | $\pm 4/3$ | $\pm 2/3$ |                                         |
| ۱۰۰                        | ۷۷/۷      | ۷۴/۷      | ۷۱/۴      | ۶۵        | عدس ( <i>Lens culinaris</i> )           |
| -                          | $\pm 2/2$ | $\pm 3/4$ | $\pm 2/4$ | $\pm 3/3$ |                                         |
| ۹۳/۳                       | ۹۸/۹      | ۵۹/۲      | ۵۲        | ۳۹/۱      | شنبلیله ( <i>Trigonalla fienum</i> )    |
| $\pm 1/5$                  | $\pm 2/8$ | $\pm 2/7$ | $\pm 3/3$ | $\pm 2/3$ |                                         |

#### پتانسیل حذف نفت

در تیمار ۴ درصد بود. بیشترین میزان حذف آلودگی نفتی توسط گونه عدس ۶۵/۴ درصد در تیمار ۱ درصد و کمترین میزان ۵۹/۱ درصد در تیمار ۴ درصد بود. بیشترین میزان حذف آلودگی نفتی توسط گونه شیرین بیان ۲۸/۷ درصد در تیمار ۱ درصد و کمترین میزان ۱۸/۵ درصد بود. بیشترین میزان حذف آلودگی نفتی توسط گونه شنبلیله ۵۰/۷ درصد در تیمار ۱ درصد و کمترین میزان ۳۸/۶ درصد در تیمار ۴ درصد بود.

مقدار نفت خام حذف شده جدول ۴ در خاک نشان داده شده است. نتایج فوق نشان می دهد که گونه های مورد مطالعه در تیمارهایی با آلودگی کمتر کارایی بیشتری از خود نشان دادند. همچنین مقایسه تیمارهای بدون پوشش گیاهی و تیمارهای همراه پوشش گیاهی نشان می دهد که خاک کاشته شده با گیاه، نفت بیشتری را از دست داده است. بیشترین میزان حذف آلودگی نفتی توسط گونه خلر ۷۳/۳ درصد در تیمار ۱ درصد و کمترین میزان ۵۹/۱

جدول ۴- نتایج درصد نفت حذف شده تیمارهای کشت شده گونه های خلر (*Lathyrus sativus*)، عدس (*lens culinaris*)، شنبلیله (*Trigonella foenum*)، شیرین بیان (*Glycyrrhiza glabr*)، و همچنین شاهد مرطوب و شاهد خشک در غلظت های مختلف نفت (۰، ۱، ۲، ۳ و ۴٪)

Table 4-The results of the oil is removed by cropping species of grass pea (*Lathyrus sativus*), lentils (*lens culinaris*), fenugreek (*Trigonella foenum*), Licorice (*Glycyrrhiza glabr*), and also the wet and dry control oil in different concentrations (0, 1, 2, 3 and 4%)

| غلظت‌های مختلف نفت خام سبک |      |      |      | تیمار                            |
|----------------------------|------|------|------|----------------------------------|
| ۴٪                         | ۳٪   | ۲٪   | ۱٪   |                                  |
| ۵۹/۱                       | ۶۴/۸ | ۶۲/۵ | ۷۳/۳ | خلر (Lathyrus sativus)           |
| ۱۸/۵                       | ۲۱/۸ | ۲۵   | ۲۸/۷ | شیرین بیان (Glycyrrhiza glabrad) |
| ۴۷/۲                       | ۵۰/۲ | ۵۵/۱ | ۶۵/۴ | عدس (Lens culinaris)             |
| ۳۸/۶                       | ۴۲/۳ | ۴۵/۷ | ۵۰/۷ | شنبلیله (Trigonalla fienum)      |
| ۱۵/۸                       | ۱۶/۳ | ۱۷/۲ | ۱/۴  | شاهد مرطوب                       |
| ۱۱/۳                       | ۱۱/۸ | ۱۲/۵ | ۱۲/۸ | شاهد خشک                         |

همبستگی مثبت بین این دو عامل را نشان می دهد. در گونه های مورد مطالعه افزایش وزن خشک حذف آلاینده های آلی بیشتری را همراه داشته است.

پس از نرمال بودن داده ها توسط آزمون کلموگروف-اسمیرنوف مشخص شد. آزمون همبستگی پیرسون بر روی داده ها نیز انجام یافت. با توجه به نتایج همبستگی وزن خشک و درصد نفت حذف شده (جدول ۵) که

جدول ۵- نتایج ضریب همبستگی پیرسون بین بیوماس خشک گونه های *Lathyrus sativus*، *Lens culinaris* و *Trigonalla fenum*

*Glycyrrhiza glabr* و درصد نفت حذف شده ( $p\text{-value} < 0.0005$ ) معنی دار در سطح احتمال ۵٪

Table 5- The results of Pearson correlation coefficient between dry biomass species *Lathyrus sativus*, *Lens culinaris*, *Trigonalla fenum* and *Glycyrrhiza glabr* and the percentage of oil removed

| گونه مورد مطالعه                        | ضریب همبستگی | p-value |
|-----------------------------------------|--------------|---------|
| خلر ( <i>Lathyrus sativus</i> )         | ۰/۹۸         | ۰/۰۰۰   |
| شیرین بیان ( <i>Glycyrrhiza glabr</i> ) | ۰/۵۱         | ۰/۰۰۰   |
| عدس ( <i>Lens culinaris</i> )           | ۰/۷۳         | ۰/۰۰۰   |
| شنبليله ( <i>Trigonalla fenum</i> )     | ۰/۹۶         | ۰/۰۰۰   |

#### بحث و نتیجه گیری

*culinaris*) از پایداری خوبی در خاک آلوده برخوردار بودند و همین طور کارایی بهینه ای در حذف نفت خام سبک داشتند. گونه ی شنبليله (*Trigonella foenum*) اگرچه از پایداری به نسبت خوبی برخوردار بود، اما کارایی خوبی در حذف نفت خام سبک از خاک آلوده نداشت. گونه شیرین بیان (*Glycyrrhiza glabr*) نیز نه تنها کارایی خوبی در حذف نفت خام سبک از خاک آلوده نداشت، بلکه از مقاومت قابل توجهی نیز برخوردار نبود. همچنین همبستگی مثبت بین وزن خشک و حذف نفت نشان داد که می توان با توجه به وزن خشک گیاهان، کارایی آن ها را در زیست پالایی گیاهی با درصد بالایی پیش بینی کرد. نتایج حاصل از این تحقیق بیان می کند گونه های مختلف اگرچه به یک خانواده تعلق دارند، اما پاسخ های متفاوتی به نفت خام سبک نشان می دهند. با توجه به پژوهش حاضر می توان چنین نتیجه گرفت که واکنش گیاهان به استرس های محیطی به پاسخ ژنتیکی گیاه ارتباط دارد که می تواند توسط دیگر عوامل محیطی نیز تحت تأثیر قرار گرفته باشد. بنابراین فرآیند زیست پالایی گیاهی می تواند به عنوان روشی موثر و در عین حال ساده و کم هزینه با حداقل خسارت به محیط زیست جهت پالایش آلاینده های آلی آلاینده های نفتی در سطح وسیع باشد، با این فرض که کارایی گونه مورد استفاده آزمایش شده باشد.

#### منابع

- 1- Corgie SC., Beguiristain T., Leyval C. (2004). "Spatial Distribution of Bacterial Communities and Phenanthrene Degradation in the Rhizosphere of *Lolium perenne* L", *Applied and Environmental Microbiology*, 70(6):3552-3557.
- 2- Maila M. P., Cloete T. E. (2002). "Germination of *Lepidium sativum* as a method to evaluate polycyclic aromatic hydrocarbons removals from contaminated soil". *International Biodeterioration and Biodegradation*, 50: 107-113.
- 3- Parrish Z.D., Banks M.K., Schwab A.P. (2005). "Assessment of contaminant lability during phytoremediation of polycyclic aromatic

جوانه زنی یک مرحله مهم در رشد گیاه است که به وجود آلاینده های مختلف در خاک حساس می باشد. در این مطالعه مرحله جوانه زنی تمامی گونه ها روند کاهشی را از خود نشان دادند که این نتیجه به دلیل استرس ناشی از نفت قابل پیش بینی بود. اما با توجه به قابل قبول بودن درصد جوانه زنی در تیمار ۴٪ به ادامه مطالعه یافت. در مطالعه Tonukari و Anigboro (۲۰۰۸) کاهش درصد جوانه زنی لوبیای چشم بلبلی به نتیجه افزایش آلودگی نفتی نسبت داده شده است. آنزیم آمیلاز با تبدیل نشاسته به مونوساکاریدها، انرژی و کربن مورد نیاز برای تنفس و سنتز ترکیبات بی شمار برای رشد و جوانه زنی را فراهم می کند (۲۳). در گونه ی خلر (*lathyrus sativus*) و عدس (*lens culinaris*) مانند گاری خوب بود، اما در گونه شنبليله (*Trigonella foenum*) و شیرین بیان (*Glycyrrhiza glabr*) کاهش شدیدی در ماندگاری مشاهده شد. با توجه به ۴ گونه مورد مطالعه، پایان زمان مورد نظر مقاومت نمودند. بنابراین کارایی آن ها جهت پاک سازی زیستی خاک آلوده به نفت خام سبک نیز مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به مقدار نفت خام حذف شده ۶۴/۹ درصد توسط گونه خلر، ۲۳/۵ درصد توسط گونه شیرین بیان، ۵۴/۵ درصد توسط گونه عدس، ۴۴/۴ درصد توسط گونه شنبليله و با مقایسه حذف این ترکیبات ۱۲/۷ درصد شاهد مرطوب و ۱۲/۱ درصد شاهد که بدون پوشش گیاهی بودند. می توان چنین نتیجه گرفت که خاک کاشته شده با گیاه، نفت بیش تری از دست داده است. این امر با نتایج Mohsenzade و همکاران (۲۰۰۹) که بیان می کند میزان آلودگی نفتی پالایشگاه کرمانشاه در خاک بدون پوشش گیاهی تقریباً سه مرتبه بیشتر از خاک دارای پوشش گیاهی است، مطابقت دارد. این موضوع مؤید اثر و اهمیت پوشش گیاهی در پاک سازی خاک های آلوده به ترکیبات نفتی می باشد (۲۴) که نتایج پژوهش حاضر حاکی از تایید این امر است. در گونه های مورد مطالعه افزایش وزن خشک حذف آلاینده های آلی بیش تری را همراه داشته است. لذا کاهش هیدروکربن های نفتی با کاهش وزن خشک همراه بوده که با نتایج Joner و همکاران (۲۰۰۶) که علت این امر را کاهش میزان نیتروژن به عنوان یک ماده مغذی می دانند و کمبود نیتروژن در خاک غالباً فعالیت های میکروبی آلاینده های آلی خاک را محدود می کند مطابقت دارد (۲۵). به طوری کلی این پژوهش نشان داد که گونه خلر (*lathyrus sativus*) و عدس (*lens*)

۱۵- پرتوی نیا، ع، نعیم پور، ف، «زیست سالم سازی خاک های آلوده

به هیدرون کربن های نفتی نرمال هگزادکان در فاز دوغابی و

بررسی پارامترهای مؤثر» ۱۳۸۷، پژوهش نفت، شماره ۵۸، ۱۰-۳.

- 16- McCutcheon S.C. and Schnoor, J.L., (Eds) (2003). *Phytoremediation: Transformation and Control of Contaminants*. John Wiley & Sons. New Jersey. USA.
- 17- Xu, J.G., and Johnson, R.L. (1997). Nitrogen dynamics in soils with different hydrocarbon contents planted to barley and field pea. *Canadian journal of Soil Science*. 77: 453-458.
- 18- Onemli F. (2004). The effects of soil organic matter on seedling emergence in sunflower. 4: 679-685.
- 19- Adams P. (1999). Plant nutrition demystified. *Proc. Int. Sym. Growing Media and Hydroponics*. Ed. A. P. Papdopoulos. *Acta Horticulturae* 481: 341-344.
- 20- Nasir H., Iqbal Z., Hiradate S. and Fujii Y. (2005). "Allelopathic potential of *Robinia pseudo-acacia* L". *Journal of Chemical Ecology*, 31: 2179-2192
- 21- Nedunuri K.V., Govindaraju R.S., Banks M.K., Schwab A.P. Z. Chen. (2000). "Evaluation of phytoremediation for field scale degradation of total petroleum hydrocarbons". *Environ. Engine*, 126: 483-490.
- 22- Minai-Tehrani D., Herfatmanesh A., Azari-Dehkordi F and Minoi S. (2006). "Effect of salinity on biodegradation of aliphatic fractions of crude oil in soil. *Pak.J.Biol.Sci* 9: 1531-1535
- 23- Anigboro A., Tonukari N. (2008). "Effect of crude oil on invertebrate and amylase activities in Cassava leaf extract and germinating Cowpea seedlings", *Asian Journal of Biological Sciences*, 1: 56-60.
- 24- Mohsenzade F., Naseri A., Mesdaghinia R., Nabizade D., Zafari A., Chehregani. (2009). *Phytoremediation of petroleum-contaminated soils: pre-screening for suitable plants and rhizospheric fungi*". *Toxicological and environmental chemistry*.
- 25- Joner E.J., Leyval C., Colpaert, J.V. (2006). "Ectomycorrhizas impede phytoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) both within and beyond the rhizosphere", *Environmental Pollution*, 142, 34-38.

hydrocarbon impacted soil". *Environmental Pollution*, 137:187-197.

- 4- Luepromchai E., Lertthamrongsak W., Pinphanichakarn P., Thaniyavarn S., Pattaragulwanit K., Juntongjin K. (2007). "Biodegradation of PAHs in petroleum-contaminated soil using tamarind leaves as microbial inoculums". *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 29(2), 515- 527.
- 5- Karthikeyan R., Bhandari A. (2001). "Anaerobic biotransformation of aromatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in soil microcosms: a review", *Journal of Hazardous Substance Research* 3:1-19.
- 6- Jian Y., Wang PF., Peter H.T Yu. (2004). "Photomutagenicity of 16 polycyclic aromatic hydrocarbons from the US EPA priority pollutant list". *Mutat Res*, 557:99-108.
- 7- Khan A.G. (2005). "Role of soil microbes in the rhizospheres of plants growing on trace metal contaminated soils in phytoremediation". *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 18:355-364.
- 8- Robertson G.P., D.C. Coleman C.S., Bledsoe and P Sollins. (1999). "Standard soil methods for long-term ecological research". USA: Oxford Univ.
- 9- Cunningham S D., Anderson AP., Schwab FC Hsu. (1996). "Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants", *Adv Agron*, 56:56- 114.
- 10- Gunther T., Dornberger W., Fritsche. (1996). "Effects of ryegrass on biodegradation of hydrocarbons in soil", *Chemosphere*, 33: 203-215.
- 11- Merkl N., Schultze-Kraft R., Infante C. (2005). "Assessment of tropical grasses and legumes for phytoremediation of petroleumcontaminated soils". *Water, air, & soil pollution*, 165, 195-209.
- 12- Gudin C., Syrratt, WJ. (1975). "Biological aspects of land rehabilitation following hydrocarbon contamination", *Environ. Pollut*, 8: 107-112.
- 13- Adam G. and Duncan H. (2002). Influence of petroleum hydrocarbon on seed germination. *Journal of Environmental Pollution* 120: 363-370.
- 14- Akanimwor Jo., Ayeleso A. O., and Monago C. (2007). "Effect of different concentration of crude oil (Bonny light) on major food reserves in guinea corn during germination and growth", *Scientific Research and Essay*, 2(4): 127-131.