

استفاده از گیاه باقلا به عنوان روشی موثر، کارآمد و دوستدار محیط زیست

برای پالایش خاک از آلودگی های نفتی

الهه علوی<sup>۱</sup>، گلناز تجدد<sup>۱\*</sup>، سایه جعفری مرندی<sup>۱</sup>، صدیقه اربابیان<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> گروه زیست شناسی سلولی تکوینی گیاهی، دانشکده زیست شناسی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

Email: tajadodg@gmail.com

## چکیده

گیاه پالایی روشی مناسب برای حذف یا کاهش آلاینده های گوناگون از جمله فلزهای سنگین، ترکیب های آروماتیک نفتی و ترکیب های آلی کلردار است. در این روش از گیاهان گوناگونی برای حذف این نوع آلاینده ها از طریق جذب و انباشت آنها در ریشه یا ساقه گیاه استفاده می شود. در این مقاله امکان جذب هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای که از آلاینده های نفتی محسوب می شوند، بررسی و نتایج آن گزارش می شود. گیاه باقلا گرچه پراکنش جهانی دارد، اما از گیاهان بومی ایران بوده، کاشت، داشت و برداشت آن نسبتاً آسان و پربار است. در این پژوهش دانه باقلا در خاک آلوده به نفت خام کاشته و پس از سه ماه میزان آلاینده های نفتی در بخش هوایی گیاه آن اندازه گیری شد. نتایج این پژوهش نشان داد که گیاه باقلا توانسته در خاک آلوده رشد و ترکیبات آروماتیکی مانند پیرن، نفتالن، آسنفتن، فنانترن و آسنفتالن را از خاک جذب و آنها را در بخش هوایی ذخیره و انباشت کند. بر اساس این پژوهش گیاه باقلا را می توان به عنوان گزینه ای مناسب برای حذف این نوع آلاینده ها از خاک به کار برد. از آن جایی که استفاده از گیاهان برای رفع آلاینده های خاک در کاهش رد پای بوم شناختی نقش دارد، این روش دوستدار محیط زیست بوده و می تواند در مناطقی که خاک آنها به نفت خام آلوده است و میزان آلودگی زیاد نیست، مورد بهره برداری قرار بگیرد.

واژگان کلیدی: گیاه پالایی، گیاه باقلا، ترکیب های آروماتیک چند حلقه ای، دوستدار محیط زیست، آلودگی نفتی

## مقدمه

غذایی وارد بدن انسان شوند و خطراتی برای بدن ایجاد کنند. برای مثال بیشینه مقدار پیرن مجاز برابر با ۰/۲ گرم بر لیتر آب است [۴،۵].

خواص فیزیکوشیمیایی و زیست‌شناختی خاک در اثر آلودگی‌های نفتی تغییر می‌کند و کیفیت خاک تحت تاثیر این آلاینده‌ها نامناسب می‌شود و در نتیجه اثراتی مخرب و زیانبار بر گیاهان و محیط زیست بر جای می‌ماند. آلاینده‌های نفتی سبب تغییر در مواد مغذی خاک و میزان دسترسی گیاه به آنها می‌شوند، همچنین این آلاینده‌ها با تاثیر بر میزان آب در دسترس و هوای خاک بر تبادل آنها در گیاه و محیط تاثیر منفی می‌گذارند و در نهایت می‌توانند بر رشد گیاه تاثیرات منفی داشته باشند [۵،۶].

اثر آلاینده‌های گوناگون بر گیاهان و ریزجانداران خاک به میزان آلودگی و نوع آلاینده بستگی دارد. آلودگی خاک باعث تخریب خاک و آسیب به محصولات کشاورزی می‌شود و اگر خاک برای مدت چندین ماه یا حتی سال‌ها آلوده باقی بماند، برای کشت گیاه مناسب نخواهد بود [۷،۸].

بنابراین به منظور محافظت خاک و محیط زیست ضروری است که میزان این آلاینده‌ها در محیط کاهش یابد و از تجمع و انباشت آنها در محیط جلوگیری شود. با توجه به کاربرد گسترده این مواد در بخش‌های گوناگون زندگی، ورود این مواد به محیط زیست اجتناب ناپذیر بوده و در نتیجه یافتن راهکارهایی عملی برای کاهش این آلاینده‌ها و یا اثرات مخرب آنها در محیط زیست و از جمله خاک ضروری است. به طور کلی روش‌های جداکردن این آلاینده‌ها از خاک شامل انواع پالایش فیزیکی، شیمیایی، زیستی و از جمله گیاه پالایی است. گیاه پالایی یک فناوری سبز و دوستدار محیط زیست است که در آن با استفاده از گیاهان، آلاینده‌ها را از آب‌های سطحی، خاک و لایه‌های رسوبی پالایش و جدا می‌کنند [۹،۱۰،۱۱]. این روش از روش‌های پالایش فیزیکوشیمیایی بسیار کارآمدتر و مقرون به صرفه‌تر است. استفاده از گیاه پالایی می‌تواند بدون ایجاد آلودگی، به‌صرفه و راهی برای حذف یا تثبیت مواد شیمیایی سمی باشد که

صنعتی شدن و رشد بسیار سریع آن منجر به استفاده و مصرف حجم انبوهی از ترکیب‌های آروماتیک گوناگون در صنعت رنگ، مواد منفجره، حشره‌کش‌ها و مواد دارویی و ... شده است. به طوری که مصرف حشره‌کش‌ها در سطح جهان از ۲۲۸۵ گیگاگرم (جز فعال حشره‌کش) در سال ۱۹۹۰ میلادی به ۴۰۸۸ گیگاگرم در سال ۲۰۱۶ میلادی افزایش یافته است. ترکیب‌های آروماتیک گوناگونی مانند نیتروآروماتیک‌ها (NACs)، هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای (PAHs)، بی‌فنیل‌های کلردار شده (PCBS)، دی‌اکسین‌ها و مشتقات آنها به میزان وسیعی در این صنایع مصرف می‌شوند. این مواد همگی به شدت سمی، جهش‌زا و سرطان‌زا هستند [۱].

هیدروکربن‌های آروماتیک چند هسته‌ای ترکیبات بسیار پایداری هستند و اکسایش آنها توسط فرایندهای زیست‌شناختی به کندی پیش می‌رود. افزون بر این تعداد انگشت شماری از ریزجانداران (میکروارگانیسم‌ها) می‌توانند هیدروکربن‌های با جرم مولی بالا را به عنوان منبع کربن مصرف کنند [۲،۳].

از این رو هیدروکربن‌های آروماتیک چند هسته‌ای گروه مقاومی از آلاینده‌ها محسوب می‌شوند که در محیط زیست ماندگارند و به آسانی تجزیه نمی‌شوند. این ترکیب‌ها دسته بزرگی از مولکول‌های آلی هستند که ویژگی‌هایی گوناگون مانند تعداد زیاد حلقه‌ها، جرم مولی بالا، انحلال پذیری کم در آب، فرار بودن و ضریب جذب سطحی بالا دارند. پیرن با چهار حلقه بنزنی یکی از این ترکیبات آلاینده خاک است که توسط ریزجانداران تجزیه نمی‌شود. گرچه سرطان‌زایی پیرن تأیید نشده است، اما مطابق استانداردهای اداره محافظت از محیط زیست آمریکا، آلاینده محسوب می‌شود. هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای از سوختن ناقص یا پیرولیز مواد آلی تولید شده و به صورت ذره‌های معلق وارد هواکره و در نهایت در خاک ته‌نشین و انباشته می‌شوند.

افزون بر سمی بودن هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای، اکثر آنها در خاک ماندگارند و می‌توانند از طریق زنجیره‌های

گیاهان، هیدروکربن‌های آلیفاتیک ۲۲ تا ۳۶ کربنه را جذب و انباشته می‌کند [۱۵،۱۶،۲۴].

ما در این پژوهش به دنبال بررسی امکان رشد گیاه باقلا در خاک آلوده به نفت و نقش احتمالی آن بر کاهش میزان این آلاینده‌ها در خاک با استفاده از بررسی انباشت آنها در گیاه بودیم. کاشت، داشت و برداشت گیاه باقلا پیچیدگی خاصی و نیز نیاز به شرایط ویژه‌ای ندارد. در این پژوهش نقش گیاه باقلا در جذب و انباشت آلاینده‌های نفتی (هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای، PAHS) مورد بررسی قرار گرفت. انتخاب گیاه باقلا در بر این اساس بود که در گیاه‌پالایی با توجه به شرایط بوم‌شناختی هر منطقه و ضرورت محافظت از آن، بر استفاده از گیاهان بومی توصیه شده است. باقلا از گیاهان زراعی و بومی ایران است که در استان‌های متفاوت از جمله استان نفت خیز خوزستان کشت می‌شود. pH مناسب خاک برای رشد آن بین ۶/۵ تا ۸/۰ گزارش شده است، اما تقریباً در هر نوع خاکی رشد می‌کند و تحمل دوره‌های کوتاه مدت کم‌آبی را نیز دارد [۱۷]. چنین ویژگی‌هایی مزیت استفاده از گیاه باقلا را در رفع آلاینده‌های نفتی خاک به عنوان روشی دوستدار محیط زیست و هماهنگ با اصول شیمی سبز برجسته‌تر می‌سازد.

#### رصد هیدروکربن‌های نفتی در بخش هوایی گیاه باقلا

بذرهای باقلا از مرکز اصلاح بذر و نهال دزفول تهیه شدند و بعد از ۴۸ ساعت خیساندن در آب، برای جوانه‌زنی به ماسه شسته شده منتقل شدند. خاک مورد استفاده در این پژوهش گلخانه‌ای، مخلوط یک‌نواخت و همگنی از ماسه و خاک رس به نسبت یک قسمت ماسه و دو قسمت خاک رس بود. خاک‌های آلوده از مخلوط کردن نفت خام سبک، تهیه شده از پالایشگاه نفت اهواز، مناطق نفت خیز جنوب، با درصد‌های وزنی ۱، ۲ و ۴ به دست آمد. خاک‌های آلوده (تیمار) و خاک غیرآلوده (شاهد) در گلدان‌های هم اندازه با ظرفیت چهار کیلوگرم، به تعداد سه تکرار برای هر کدام قرار گرفتند و از میان بذرهای جوانه زده، چهار عدد بذر جوانه زده یکسان انتخاب و به هر گلدان منتقل شد. گلدان‌ها در شرایط یکسان

می‌توانند از خاک شسته و در محیط پخش شوند. چهار سازوکار اصلی برای پالایش محیط زیست از وجود هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای (PAHS) در روش گیاه‌پالایی مطرح است:

- ۱- جذب آلاینده‌ها و انباشت آنها در گیاه
- ۲- جذب توسط گیاه و دفع از طریق بخش‌های هوایی
- ۳- جذب توسط گیاه، تجزیه در سلول با کمک آنزیم‌ها و دفع توسط گیاه
- ۴- تجزیه توسط ریزجانداران در ناحیه خاک‌ریشه (ریزوسفر). این سازوکار وابسته به نقش مثبت ترشحات ریشه در تکثیر ریزجانداران است.

هر چند گیاه پالایی مزایای زیادی دارد، اما در مقایسه با روش‌های دیگر محدودیت مهمی دارد و آن این است که نمی‌توان از این روش در مقیاس زیاد بهره برد [۹،۱۰،۱۱]. همچنین برخی گیاهان نسبت به آلاینده‌هایی مانند PAHS حساس هستند؛ زیرا این آلاینده‌ها می‌توانند رشد گیاهان را کاهش دهند و خاک را از زیست توده کافی محروم کنند و در نتیجه سبب کاهش پالایش خاک شوند. از طرفی با توجه به نقش مثبت گیاهان در افزایش جمعیت خاک به استفاده ترکیبی از گیاهان و ریزجاندارانی مانند باکتری‌ها برای پاکسازی خاک‌های آلوده به PAHS توصیه شده است؛ زیرا افزایش فعالیت میکروبی در خاک می‌تواند باعث افزایش تخریب PAHS از طریق زیست پالایی شود [۱۲،۱۳،۱۴].

به علت ماهیت آلاینده‌ها و امکان بهره برداری از جانداران از جمله گیاهان در حذف یا کاهش آلاینده‌ها، پژوهش در باره پالایش محیط زیست از انواع آلاینده‌ها در کانون پژوهش‌های شیمی سبز، زیست‌شناسی و زیست‌فناوری قرار دارد و پژوهش‌های فراوانی در این زمینه انجام شده است [۱،۸،۱۱]. در دو دهه اخیر آلودگی‌های نفتی، عمدتاً از جنبه تاثیر بر رشد و توان گیاه مورد نظر در فرایند گیاه‌پالایی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که گونه‌های متفاوتی از باقلاتیان از جمله گیاه باقلا برای جداسازی یا کاهش آلاینده‌های نفتی از خاک موثر هستند. به طوری که ریشه

که انواعی از گیاهان حذف هیدروکربن‌های نفتی از خاک را افزایش می‌دهند [۲۰، ۲۱، ۲۲].

نتایج این پژوهش نشان داد که گیاه باقلا می‌تواند در خاک آلوده به نفت خام رشد کند. هم چنین می‌تواند هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای را از خاک آلوده به نفت خام جذب کند و در خود انباشت دهد. در این مطالعه افزون بر تعیین میزان تعدادی از ترکیب‌های آروماتیک در گیاه باقلا، میزان کل هیدروکربن‌های نفتی (TPH) جذب شده نیز مورد سنجش قرار گرفت (جدول ۱).

جدول ۱. مقدار هیدروکربن‌های آروماتیک در گیاه باقلائی رشد کرده در خاک آلوده و غیر آلوده برحسب قسمت در میلیارد و مقدار مجموع هیدروکربن‌های نفتی بر حسب قسمت در میلیون گزارش شده است.

مقدار ترکیب	خاک غیر آلوده (نمونه شاهد)	خاک آلوده (۴٪ آلودگی)	خاک آلوده (۲٪ آلودگی)	خاک آلوده (۱٪ آلودگی)	فرمول شیمیایی	نام ترکیب
	0.0	5.3	3.8	4.8	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	نفتالن
	0.0	44.9	34.0	43.6	C <sub>12</sub> H <sub>8</sub>	آسنتالن
	0.0	8.5	1.2	0.0	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	آسنتن
	0.0	5.7	2.5	3.5	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	فنانترن
	0.0	0.0	0.0	0.0	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	پیرن
	0.0	0.0	0.0	0.0	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	کریسن
	0.0	0.0	0.0	0.0	C <sub>13</sub> H <sub>10</sub>	فلورن
	0.0	0.0	0.0	0.0	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	بی فنیل
	0.0	0.0	0.0	0.0	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	فلورانتن
	0.0	210.8	134.8	214.0		TPH

قرارداده و به میزان یکسان آبیاری شدند. بعد از گذشت سه ماه از رشد گیاهان، بخش هوایی گیاه باقلائی رشد کرده در هر نمونه به طور جداگانه برداشت و خشک شد و برای تعیین میزان ترکیبات نفتی مور استفاده قرار گرفت.

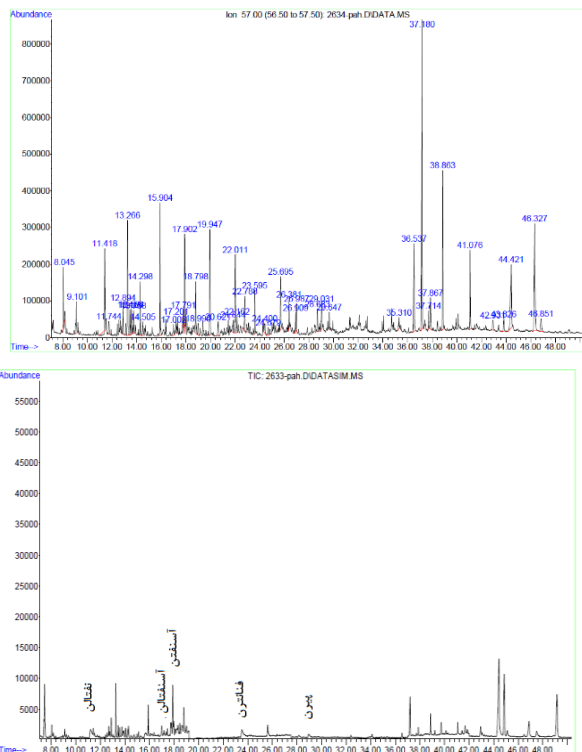
## روش کار

ابتدا گیاهان باقلائی رشد کرده در گلدان‌ها برداشت و خشک شد. ۵ گرم از هر نمونه گیاه خشک با ترازو اندازه‌گیری و درون لوله فالکون ۵۰ ml قرارداده شد. سپس ۱۰ ml استاندارد داخلی ۱۸ C با غلظت ۵۰ ppm و ۱۰ ml متانول به محتویات درون هر لوله افزوده شد. درب لوله‌ها گذاشته و به مدت ۵ دقیقه نمونه‌ها با شیکر هم زده شدند. پس از آن نمونه‌ها به مدت بیست دقیقه در اولتراسونیک قرار گرفتند و در نهایت به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ شدند. در ادامه ۵ ml از محلول فوقانی درون لوله را برداشته و در ویال فالکون ۱۵ ml ریخته و ۱ تا ۲ میلی لیتر آب نمک به آن اضافه شد. بعد از آن با استفاده از اتوسمپلر ۱ ml هگزان به این محلول افزوده شد. در لوله‌ها گذاشته و به مدت ۲ دقیقه روی شیکر قرار گرفته و هم زده شدند. در پایان، یک نمونه از محلول را برداشته و طیف GC-MS آن گرفته شد. در این پژوهش برای تهیه داده‌های طیفی از دستگاه GC-MS مدل Agilent 7890A استفاده شد. شکل ۲ داده‌های طیفی و جدول ۱ نتایج سنجش مجموع هیدروکربن‌های نفتی را در نمونه‌ها نشان می‌دهد.

## گزارش نتایج و بحث

فناوری‌های مبتنی بر مهندسی برای پاکسازی زمین‌های آلوده به ترکیبات نفتی بر اساس فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و دمایی هستند. از معایب این فناوری‌ها هزینه هنگفت آنها است. این فناوری‌ها همیشه موثر نیستند، به‌ویژه در شرایطی که آلودگی اندک، اما در گستره‌ای وسیع رخ داده‌است [۱۸، ۱۹]. این چالش باعث شده است که برای پاکسازی محیط‌های آلوده استفاده از فناوری‌های مبتنی بر جانداران از جمله گیاهان، روز به روز مورد توجه بیشتر قرار گیرد. پژوهش‌های انجام شده با استفاده از گیاهان نشان می‌دهند

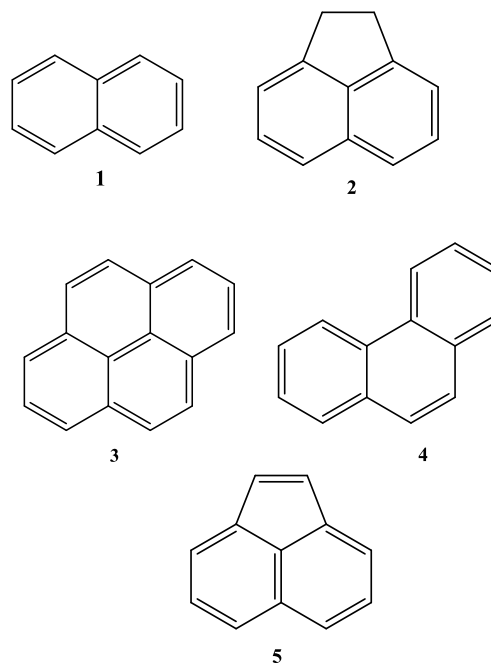
شکل ۱. ساختار هیدروکربن‌های انباشته شده در گیاه باقلا. نفتالن(۱)، آسفتن(۲)، پیرن(۳)، فنانترن(۴) و آسنتالن(۵).



شکل ۲. طیف حاصل از کروماتوگرافی با گاز مربوط به گیاه باقلای رشد کرده در خاک آلوده به نفت سبک.

انباشت هیدروکربن‌های نفتی در گیاه باقلا در این پژوهش همسو با نتایج پژوهش‌هایی است که توانایی گیاهان را در جذب هیدروکربن‌های نفتی نشان می‌دهند [۱۵، ۲۴، ۲۵، ۲۶]. با وجودی که هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای می‌توانند از طریق ریشه وارد گیاه شوند، اما گزارش‌هایی مبنی بر تجمع بیشتر بعضی از این ترکیبات در بخش هوایی گیاه در مقایسه با ریشه وجود دارد [۲۴، ۲۶]. شواهد تجربی ضمن تأیید توانایی گیاهان در گرفتن ترکیبات آلی از خاک، جذب این ترکیبات از ریشه را به عنوان مهم‌ترین مسیر ورود این ترکیبات از خاک مطرح می‌کنند [۲۳]. با توجه به اینکه در این پژوهش آلاینده‌ها در خاک وجود داشتند، انباشت هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای در بخش هوایی گیاه

نتایج نشان داد که گیاه باقلا توانسته است پنج ترکیب آروماتیک را جذب و از خاک آلوده جدا کند (شکل ۱). بر اساس نتایج به دست آمده، مجموع هیدروکربن‌های نفتی انباشته شده در گیاه باقلائی مورد مطالعه در حدود ppm ۲۰۰ است. با این توصیف در هر ۱۰۰ گرم از گیاه خشک شده ppm ۴۰۰۰ از ترکیبات نفتی از زمین جداسازی شده است. به منظور اطمینان از اینکه منشا هیدروکربن‌های نفتی، نفت اضافه شده به خاک است، گیاهان رشد یافته در خاک غیر آلوده (شاهد) نیز بررسی شدند. داده‌های طیفی مربوط به این گیاهان، هیچ ترکیب کربنی آروماتیکی نشان ندادند. در حالی که بر اساس داده‌های طیفی مربوط به تجزیه لاشه گیاه باقلائی رشد کرده در خاک آلوده در هر سه نمونه گیاه، بخشی از ترکیب‌های آروماتیک مشاهده شد (شکل ۲). به هرحال در این پژوهش گیاه باقلا نتوانسته است همه ترکیب‌های آروماتیک موجود در نفت خام را جذب کند، به طوری که ترکیب‌هایی مانند کریسن، فلورن، فلورانتن و بی فنیل در باقلائی رشد کرده در خاک آلوده به نفت خام مشاهده نشدند.



است، می‌تواند تأییدی بر این نتیجه‌گیری باشد. باید توجه داشت که گرچه میزان انحلال پذیری هیدروکربن‌های نفتی در آب و به عبارتی آب‌گریزی آنها عامل مهمی در تعیین ورود این ترکیبات از طریق ریشه به گیاه است، اما پژوهشگران میزان لیپید ریشه گیاه و نیز ساختار ریشه را به عنوان عوامل مهم دیگر در تعیین ورود هیدروکربن به ریشه برشمرده‌اند [۹،۲۴،۲۶]. به هر حال تأیید این موضوع در ارتباط با گیاه باقلا از طریق سنجش لیپید ریشه و نیز بررسی ریزساختار آن امکان پذیر است.

بررسی جرم مولی هیدروکربن‌های تجمع یافته در بخش هوایی گیاه باقلا در این پژوهش نشان داد که این ترکیبات جرم مولی کمتری نسبت به ترکیباتی دارند که در گیاه تجمع نیافته‌اند. این ترکیبات توانسته‌اند از ریشه به بخش هوایی بروند و در آنجا تجمع یابند. ارتباط بین جرم مولی هیدروکربن‌های حلقوی و تجمع آنها در گیاه در پژوهش‌های دیگر نیز عنوان شده است [۲۲،۲۳]. Wei و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهش خود نشان دادند هیدروکربن‌هایی که جرم مولی بیشتری دارند، نمی‌توانند از خاک وارد گیاه شوند و احتمالاً ترشحات ریشه و بخش پوست در این اندام، به ویژه در ریشه‌های راست در این ممانعت نقش دارند [۲۴]. از طرفی هیدروکربن‌هایی که درجه آب‌گریزی بیشتری دارند در ناحیه خاک ریشه تجمع می‌یابند. در این وضعیت گرچه ممکن است گیاه تأثیر مستقیمی بر آلاینده‌ها نداشته باشد، اما با توجه به نقش مثبت ریشه گیاهان در رشد و تجمع ریزجانداران کاشت گیاه در چنین خاک‌های آلوده‌ای احتمال تجزیه زیستی آلاینده‌های نفتی را افزایش می‌دهد [۲۷]. با توجه به اینکه ویژگی باقلانیان داشتن روابط همزیستی با گروهی از باکتری‌هاست، کشت این گیاهان می‌تواند به عنوان راهکاری برای احیای خاک‌های آلوده به نفت باشد.

### نتیجه‌گیری

گیاه پالایی یکی از روش‌های موثر و کارآمد در پالایش محیط زیست، خاک و آب‌های سطحی است. گیاه باقلا همانند گیاهان دیگر مانند گل داوودی، همیشه بهار، ذرت و سویا،

باقلا تأییدی بر انتقال این آلاینده‌ها از ریشه به ساقه است. نتایج این پژوهش نشان داد که نفتالن و اسنفتن به میزان بیشتری از آسنتالن، فنانترن و پیرن جذب شده‌اند. این مشاهده با توجه به میزان انحلال‌پذیری این ترکیبات در آب و نیز جرم مولی آنها قابل توضیح است (جدول ۲).

جدول ۲. جرم مولی و انحلال‌پذیری هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای مورد بررسی (\* انحلال‌پذیری ترکیبات از پایگاه داده‌های اطلاعاتی موجود در CRC و انجمن شیمی ایوپاک استخراج شده است).

نام ترکیب	جرم مولی (g. mol <sup>-1</sup> )	انحلال‌پذیری* در آب (mg.L <sup>-1</sup> )
نفتالن	۱۲۸/۱۷	۳۱/۶ در دمای ۲۵C
آسنتالن	۱۵۲/۱۹	-
آسنتفن	۱۵۴/۲۱	۴
فنانترن	۱۷۸/۲۳	۱/۶
پیرن	۲۰۲/۲۵	۰/۱۴۶
کریسن	۲۲۸/۲۹	-
فلورن	۱۶۶/۲۲	۱/۹۹
بی فنیل	۱۵۴/۲۱	۴/۴۵
فلورانتن	۲۰۲/۲۵	۰/۲۶۵

در دمای ۲۵C میزان انحلال‌پذیری نفتالن در آب mg/L ۳۱/۶ است و از بین ترکیبات بررسی شده، بیشترین انحلال‌پذیری را در آب دارد. بر این اساس می‌توان مطرح کرد که این ویژگی در تجمع نفتالن در گیاه نقش مثبت داشته است. به هر حال اسنفتن نیز با وجود انحلال‌پذیری کمتر در آب (۰/۴ mg/l) در گیاه انباشته شده است. این مشاهده نشان داد که تجمع هیدروکربن‌ها در پژوهش حاضر احتمالاً به عوامل دیگری بجز انحلال‌پذیری آنها در آب نیز بستگی دارد. انباشت هر چند اندک آسنتالن که در آب نامحلول

R., Rastkari N., Characterization and risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in urban atmospheric Particulate of Tehran, Iran. *Environ Sci Pollut Res Int.*, **2016**, 23, 1820–32.

[6] Udo E. J., Fayemi A. A., The effect of oil pollution on germination, growth and nutrient uptake of corn, *Journal of Environmental Quality*, **1975**, 4, 5377-5540.

[7] Boethling R. S., Alexander M., Effect of concentration of organic chemicals on their biodegradation by natural microbial communities, *Applied and Environmental Microbiology*, 1979, 37, 1211-16.

[8] Torstensen L., Mikaelpell O., Bostenberg C., Need of a strategy for evaluation of arable soil quality, *Environmental Pollution*, **1998**, 27, 4-7.

[9] Gao Y., Zhu L., Plant uptake, accumulation and translocation of phenanthrene and pyrene in soils, *Chemosphere*, **2004**, 55, 1169–78.

[10] Liu R., Xiao N., Wei S., Zhao L., An J., Rhizosphere effects of PAH contaminated soil phytoremediation using a special plant named Fire Phoenix, *Sci. Total Environ.*, **2014**, 473-474.

[11] Singh O. V., Jain R. K., Phytoremediation of toxic aromatic pollutants from soil, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **2003**, 63, 128–35.

[12] Sheng X. F., Gong J. X., Increased degradation of phenanthrene in soil by *Pseudomonas* sp. GF3 in the presence of wheat, *Soil Biol. Biochem.*, **2006**, 38, 2587–92

[13] Siciliano S. D., Fortin N., Mihoc A., Wisse G., Labelle S., Beaumier D., Selection of specific endophytic bacterial genotypes by plants in response to soil contamination, *Appl Environ Microbiol.*, **2001**, 67, 2469–75.

[14] Johnson D. L., Anderson D. R., McGrath S. P., Soil microbial response during the phytoremediation of a PAH contaminated soil, *Soil Biol. Biochem.*, **2005**, 37, 2334–6.

[15] Rao, C. V. N., Afzal, M., Malallah, G., Kurian, M. & Gulshan, S. 2006. Hydrocarbon Uptake by Roots of *Vicia faba* (Fabaceae). *Environmental Monitoring and Assessment*, 132, 439-443.

[16] Hall J., Soole K., Bentham R., Hydrocarbon phytoremediation in the family fabaceae—a

توانایی جذب و انباشت آلاینده‌های خاک و آب را دارد. این پژوهش نشان داد که گیاه باقلا برخی ترکیب‌های آروماتیک چند حلقه‌ای موجود در خاک آلوده به نفت خام را جذب و انباشته می‌کند. بر این اساس انتظار می‌رود که گیاه مذکور در کاهش مقدار آلاینده‌های نفتی خاک موثر باشد. باقلا از گیاهان بومی ایران است و استفاده از آن در گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده با ترکیبات آلی، از مزیت سازگاری با محیط زیست برخوردار است. همزیستی این گیاه با بعضی ریزجانداران خاک، این فرض را مطرح می‌کند که استفاده از آن می‌تواند با تحریک رشد جمعیت این جانداران، تجزیه میکروبی آلاینده‌های نفتی را نیز ارتقا دهد، گرچه بررسی این فرضیه نیاز به پژوهشی مستقل دارد. با توجه به ماندگاری گیاه در طول پژوهش می‌توان انتظار داشت که کشت گسترده آن برای احیای خاک‌های آلوده به آلاینده‌های نفتی و حذف مقادیر قابل توجه آنها از خاک موثر باشد. از آنجایی که کشت گیاهان ردپای کربن دی اکسید را نیز کاهش می‌دهد، این روش دوستدار محیط زیست بوده و با اصول شیمی سبز سازگار است.

#### منابع

[1] Alkorta I., Garbisa C., Phytoremediation of organic contaminants in soils, *Bioresour Technol.* **2001**, 79, 273–6.

[2] Huang, X.-D., Glick, B. R., Greenberg, M. B., Combining remediation technologies increases kinetics for removal of persistent organic contaminants from Soil, *Environmental Toxicology and Risk Assessment*, **2001**, 271-78.

[3] Mohan S. V., Kisa T., Ohkuma T., Kanaly R. A., Shimizu Y., Bioremediation technologies for treatment of PAH-contaminated soil and strategies to enhance process efficiency, *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.*, **2006**, 5, 347–74.

[4] Huang X. D., El-Alawi Y., Penrose D. M., Glick B. R., Greenberg B. M. A., Multi-process phytoremediation system for removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from contaminated soils, *Environ Pollut.*, **2004**, 130, 465–76, b) Hoseini M., Yunesian [5] M., Nabizadeh R., Yaghmaeian K., Ahmadvaniha

*Environmental Science and Pollution Research*, 28(3), 2696-2706.

[25] Radwan, S.S., Al-Awadhi, H. and El-Nemr, I.M., **2000**. Cropping as a phytoremediation practice for oily desert soil with reference to crop safety as food. *International Journal of phytoremediation*, 2(4), 383-396.

[26] Zhu, Y., Huang, H., Zhang, Y., Xiong, G., Zhang, Q., Li, Y., Tao, S. and Liu, W., **2021**. Evaluation of PAHs in edible parts of vegetables and their human health risks in Jinzhong City, Shanxi Province, China: A multimedia modeling approach. *Science of The Total Environment*, 773, 145076.

[27] Kamath, R., Rentz, J.A., Schnoor, J.L. and Alvarez, P.J.J., **2004**. Phytoremediation of hydrocarbon-contaminated soils: principles and applications. In *Studies in surface science and catalysis*, 151, 447-478.

review, *International Journal of Phytoremediation*, **2011**, 13, 317-32.

[17] Etemadi, F., Hashemi, M., Barker, A. V., Zandvakili, O. R. & LIU, X. 2019. Agronomy, Nutritional Value, and Medicinal Application of Faba Bean (*Vicia faba* L.). *Horticultural Plant Journal*, 5, 170-182.

[18] Hawrot-Paw, M., Wijatkowski, A. and Mikiciuk, M., **2015**. Influence of diesel and biodiesel fuel-contaminated soil on microorganisms, growth and development of plants. *Plant, Soil and Environment*, 61(5), 189-194.

[19] Balasubramaniam, A., **2015**. The Influence of plants in the remediation of petroleum hydrocarbon-contaminated sites. *Pharmaceutical Analytical Chemistry: Open Access*, 1, 1-11.

[20] Liu, R., Jadeja, R.N., Zhou, Q. and Liu, Z., **2012**. Treatment and remediation of petroleum-contaminated soils using selective ornamental plants. *Environmental engineering science*, 29(6), 494-501.

[21] Tang, K.H.D. and Angela, J., **2019**. Phytoremediation of crude oil-contaminated soil with local plant species. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 495(1) , 012054.

[22] Ikeura, H., Fukunaga, S., Uchida, N. & Tamaki, M. **2019**. Relationships between root growth of Zinnia hybrid “profusion orange” flowers and phytoremediation of oil-contaminated soil. *International Journal of Phytoremediation*, 21, 287-292.

[23] Zhang, S., Yao, H., Lu, Y., Yu, X., Wang, J., Sun, S., Liu, M., Li, D., Li, Y.F. and Zhang, D., **2017**. Uptake and translocation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and heavy metals by maize from soil irrigated with wastewater. *Scientific reports*, 7(1), 1-11.

[24] Wei, B., Liu, C., Bao, J., Wang, Y., Hu, J., Qi, M., Jin, J. and Wei, Y., **2021**. Uptake and distributions of polycyclic aromatic hydrocarbons in cultivated plants around an E-waste disposal site in Southern China.