مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی
جلد پانزدهم، شماره چهارم، ۱۳۸۷
www.jasnr.info
www.sid.ir
www.magiran.com/jasnr

# بررسی پالایش‌های خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی اطراف پالایشگاه تهران به روش تحریک گیاهی

***علی‌اصغر بسالت‌پور[۱]، محمدعلی حاج‌عباسی[۲]، امیرحسین خوشگفتارمنش[۳] و مجید افیونی[۴]**

[۱]دانشجوی دکتری گروه خاکشناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان، [۲]دانشیار گروه خاکشناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان، [۳]استادیار گروه خاکشناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان و [۴]استاد گروه خاکشناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: ۸۶/۸/۲۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۸۷/۷/۱۶

## چکیده

آلودگی خاک‌ها به هیدروکربن‌های نفتی (TPHs)، یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست محیطی در برخی از نقاط کشور به‌ویژه در اطراف پالایشگاه‌های نفت است. در این پژوهش، قابلیت استفاده از فرآیند تحریک گیاهی به‌عنوان یک روش مؤثر و مقرون به صرفه از لحاظ اقتصادی برای پالایش این دسته از آلاینده‌های خاک بررسی گردید. به این منظور ابتدا قابلیت جوانه‌زنی و رشد هفت گیاه مختلف در دو خاک آلوده به ترکیبات نفتی (به‌ترتیب $C_1$ و $C_2$) در مقایسه با خاک غیر آلوده (خاک $C_0$) بررسی شد، سپس چهار گیاه مناسب برای گیاه‌پالایی این آلاینده‌ها، انتخاب و میزان کاهش غلظت طی یک دوره ۱۲۰ روزه تعیین شد. نتایج نشان داد که وجود TPHs در خاک، بر جوانه‌زنی بذر آفتابگردان، گلرنگ، اگروپایرون و شبدر بی اثر بود، اما موجب تأخیر در شروع جوانه‌زنی بذر کلزا و فسکیو و کاهش درصد جوانه‌زنی بذر پوکسنلیا گردید. شبدر و کلزا نیز فاقد عملکرد ماده‌خشک گیاهی در انتهای دوره آزمایشی بودند، اما حضور آلاینده‌های نفتی در خاک، کمترین اثر را بر رشد و نمو اگروپایرون و فسکیو داشت. بنابراین ٤ گیاه آفتابگردان، گلرنگ، اگروپایرون و فسکیو برای مطالعات نهایی گیاه‌پالایی انتخاب شدند. در این بخش، وجود هیدروکربن‌های نفتی در خاک موجب کاهش رشد و عملکرد ماده خشک اندام هوایی و ریشه در همه تیمارهای گیاهی در مقایسه با تیمار شاهد شد. بیشترین میزان کاهش غلظت TPHs نیز در ریزوسفر اگروپایرون و فسکیو، به‌ویژه در سطح پایین‌تر آلودگی (خاک $C_1$) بود که به‌ترتیب کاهش حدود ۷۱ و ٦۹ درصدی نسبت به غلظت اولیه مشاهده شد. همچنین کاهش حدود ٤۲ تا ٤۵ درصدی غلظت TPHs در تیمار $C_2$ در حضور فسکیو و اگروپایرون حاصل شد اما آفتابگردان تأثیر معنی‌داری بر کاهش غلظت این آلاینده‌های نفتی در هیچ یک از تیمارها نداشت. همچنین اگروپایرون در تیمار $C_2$، نقش مؤثرتری نسبت به فسکیو در افزایش فعالیت و تنفس میکروبی در خاک داشت، ولی اختلاف معنی‌داری بین آفتابگردان و گلرنگ با تیمار شاهد (بدون کشت گیاه) در این تیمار مشاهده نشد. با توجه به نتایج این پژوهش، گیاه اگروپایرون برای گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده منطقه توصیه می‌شود اگرچه انجام مطالعات تکمیلی برای یافتن راهکارهای استقرار بهتر گیاه و افزایش کارایی گیاه‌پالایی لازم است.

***واژه‌های کلیدی:*** گیاه‌پالایی، تحریک گیاهی، اگروپایرون، تنفس میکروبی، کل هیدروکربن‌های نفتی

* - مسئول مکاتبه: a_besalatpour@ag.iut.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

## مقدمه

هیدروکربن‌های نفتی (TPHs)[1] از مهم‌ترین آلاینده‌های آلی محیط زیست‌اند که به‌دلیل سمی‌بودن، سرطان‌زایی و ایجاد تغییرات موتاژنتیکی، وجود آنها در طبیعت، نگرانی‌های بسیاری را سبب شده است (کوپرز و همکاران، ۲۰۰۲). همچنین این آلاینده‌ها می‌توانند در سطح ذرات خاک یا ذرات آلی موجود در خاک، جذب شده، به‌تدریج به غلظت آنها بیفزایند و همراه با جریان‌های سطحی، به آب‌های سطحی وارد شوند. از سوی دیگر، ممکن است این ترکیبات، همراه با جریان‌های عمقی آب به آب‌های زیرزمینی وارد شوند و نهایتاً می‌توانند به زنجیره غذایی گیاه، حیوان و انسان وارد شوند و موجودات زنده را مسموم کنند (رابابا و ماتسوزاوا، ۲۰۰۲). از آنجا که این دسته از آلاینده‌های آلی دوام بالایی در خاک دارند و وجود آنها در خاک، خطر انتقال به منابع آب، مسمومیت و بیماری برای انسان و سایر موجودات زنده را به دنبال دارد، باید به نحوی از محیط زیست حذف شوند. روش‌های فیزیکی و شیمیایی متعددی برای مقابله با آلودگی‌های نفتی در خاک وجود دارد که بسیاری از آنها به سبب هزینه بالا و اثرات جانبی مضر، کمتر استفاده می‌شوند. بنابراین در سال‌های اخیر به روش‌های زیستی نظیر گیاه‌پالایی[2]، توجه بیشتری شده است. گیاه‌پالایی فن‌آوری جدید و نوظهوری است که در آن از گیاهان مقاوم برای حذف یا کاهش غلظت آلاینده‌های آلی و معدنی و ترکیبات خطرناک از محیط زیست استفاده می‌شود (پالفورد و واتسون ۲۰۰۳، سایدکوی و آدامز، ۲۰۰۱). گیاه‌پالایی، واژه‌ای بادایره معنای گسترده است که چندین فرآیند مختلف را در برمی‌گیرد؛ برای نمونه می‌توان فرآیند تحریک گیاهی[3] را نام برد.

فرآیند تحریک گیاهی را روش مؤثری در پالایش بسیاری از آلاینده‌های آلی نظیر هیدروکربن‌های نفتی، هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs)[4]، آفت‌کش‌ها، حلال‌های کلرینه و پلی کلرینیت بای‌فنیل‌ها (PCB)[5] معرفی کرده‌اند (پالمروس و همکاران ۲۰۰۲، اسمیت و همکاران ۲۰۰۵، US.EPA ۲۰۰۱). لی و همکاران (۲۰۰۲) بیان نمودند که محدوده توسعه ریشه یعنی ریزوسفر دارای جمعیت میکروبی بیشتر و فعال‌تری نسبت به خاک بدون ریشه است. گیاهان قادرند از طریق رهاسازی عناصر غذایی و ترشحات خود در خاک و انتقال اکسیژن به ناحیه ریشه خود موجب تحریک و افزایش فعالیت جمعیت میکروبی تخریب‌کننده آلاینده‌های نفتی شوند. شواب و بنکس (۱۹۹٤) نیز به کاهش بیشتر غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی در حضور پوشش گیاهی در مقایسه با تیمار شاهد بدون پوشش گیاهی اشاره کردند. فرو و همکاران (۱۹۹۹) نیز در مطالعات گلخانه‌ای خود کاهش معنی‌دار غلظت پایرن، کریزن و فلورانتن در حضور گیاه رای گراس دائمی[6] را گزارش کردند.

آپریل و سیمز (۱۹۹۰) در پژوهش خود، اثر حضور پوشش گیاهی علفی چندساله با ریشه‌های فیبری را بر پالایش خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی آروماتیک چند حلقه‌ای بررسی کردند. آنها مشاهده کردند که ریشه گیاهان علفی چند ساله به سبب طبیعت فیبری خود موجب تحریک فعالیت میکروبی و افزایش تجزیه و تخریب این دسته از آلاینده‌ها در محیط ریزوسفر می‌شوند، چراکه ریشه‌های فیبری نسبت به سایر ریشه‌ها، محیط مناسب‌تر و با سطح ویژه بالاتری را برای فعالیت و توسعه جمعیت میکروبی فراهم می‌کنند و جمعیت میکروبی بزرگتری در محیط ریزوسفری آنها به وجود می‌آید. آنها در مطالعه خود مشاهده کردند که تجزیه و تخریب ترکیبات PAHs پس از یک دوره ۲۱۹ روزه در خاک ریزوسفری بیش از خاک غیر ریزوسفری است. در مطالعه‌ای دیگر کارتیکیان و همکاران (۱۹۹۹) به کاهش بیش از ۵۷ تا ۹۰ درصدی غلظت آلاینده‌های نفتی در

1- Total Petroleum Hydrocarbons
2- Phytoremediation
3- Phytostimulation
4- Polycyclic Aromatic Hydrocarbons
5- Polychlorinated Biphenyles
6- Perennial Ryegrass

Archive of SID

www.SID.ir

خاک‌های آلوده به نفت در حضور گیاه یونجه اشاره کردند. وایتس و همکاران (۱۹۹۸) نیز دریافتند که گونه‌های مختلف یونجه اثری مثبت بر کاهش غلظت آلاینده‌های ناشی از نفت خام در خاک دارند. به شکلی که در حضور این گیاهان، کاهش حدود ۳۳ تا ٥٦ درصدی غلظت آلاینده‌های نفتی در مقایسه با تیمار شاهد بدون گیاه مشاهده شد. کامیسر و پارک (۱۹۹۷) نیز به کاهش ۸۰ درصدی غلظت هیدروکربن‌های نفتی سبک پس از ۸ هفته مطالعات گیاه‌پالایی اشاره کردند.

نکته مهم برای موفقیت‌آمیز بودن پالایش خاک‌های آلوده به نفت به روش گیاه‌پالایی، انتخاب گیاهان مناسب با قابلیت رشد و سازگار شدن با محیط آلوده است. این گیاهان باید نسبت به آلودگی موجود در منطقه مقاوم بوده، حداکثر جوانه‌زنی، رشد و توسعه و سطح ویژه ریشه را داشته باشند (آدام و دانکن، ۲۰۰۲). بنابراین، مطالعات آزمایشگاهی و گلخانه‌ای برای مقایسه جوانه‌زنی و رشد گیاهان مختلف در خاک‌های آلوده و تأثیر آنها بر کاهش غلظت آلاینده‌ها برای انتخاب بهترین گیاه به‌منظور پالایش خاک‌های آلوده در سطح مزرعه‌ای ضروری است. این پژوهش نیز با هدف تعیین مناسب‌ترین گیاه برای پالایش خاک‌های آلوده به مواد نفتی در اطراف پالایشگاه تهران از بین هفت گیاه مختلف زراعی، بقولات و علفی صورت گرفت.

## مواد و روش‌ها

**الف) آماده سازی خاک‌ها:** در این پژوهش، خاک آلوده به هیدروکربن‌های نفتی از دریاچه‌ای که پس‌ماندها و ضایعات پالایشگاه نفت تهران در آن رها می‌شود (۳٥ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و ٥۱ درجه و ۲٦ دقیقه شرقی) برداشت شد (خاک کاملاً آلوده). خاک غیرآلوده (تیمار $C_o$) نیز از مزارع اطراف همان منطقه نمونه‌برداری شد. نمونه خاک‌ها پس از هواخشک شدن از الک ٤ میلی‌متری عبور داده شد و سپس برای ایجاد سطوح مختلف آلودگی، خاک کاملاً آلوده و غیرآلوده با نسبت‌های وزنی ۱:۱ (خاک کاملاً آلوده: خاک غیرآلوده، تیمار $C_1$) و ۱:۳ (خاک کاملاً آلوده: خاک غیرآلوده، تیمار $C_2$) که نشان‌دهنده غلظت این آلاینده‌ها در منطقه مطالعاتی است، کاملاً با یکدیگر مخلوط شدند. آنگاه جهت ایجاد همگنی و یکنواختی در خاک‌ها، هر یک از سطوح خاک مذکور به مدت ۲۱ روز نگهداری شد و طی این مدت خاک‌ها در حد ظرفیت زراعی آبیاری و کاملاً زیرورو و مخلوط شدند. بدین‌صورت پس از گذشت ۲۱ روز نمونه‌ها برای آزمایش و کشت گیاهان آماده شد.

**ب) تعیین خصوصیات خاک‌ها:** برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه پس از عبور از الک ۲ میلی‌متری، نظیر بافت خاک به روش هیدرومتری، هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع، واکنش خاک در گل اشباع، فسفر قابل جذب به روش اولسن (اولسن و سامرز، ۱۹۸۲)، سدیم و پتاسیم قابل جذب به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم و قرائت با فلیم فتومتر، نیتروژن کل به روش کلدال (برمنر و مولوانی، ۱۹۸۲) و آهک به روش تیتراسیون با سود (بلک و همکاران، ۱۹٦٥) تعیین شد (جدول ۱). غلظت برخی از عناصر سنگین نیز به روش عصاره گیری با DTPA (لیندزی و نارول، ۱۹۷۸) تعیین شد (جدول ۲).

**ج) تعیین هیدروکربن‌های نفتی در خاک:** به‌منظور تعیین غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی (TPHs) و برخی از هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای (PAHs) در خاک، ابتدا عصاره‌گیری به روش سوکسله (کریستوفر و همکاران، ۱۹۸۸) با نسبت مساوی ان- هگزان و دی‌کلرومتان (روش شماره ۸۱۰۰ سازمان حفاظت محیط زیست امریکا) انجام شد، سپس با استفاده از دستگاه GC[1] و به روش ۸۳۱ سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (US.EPA، ۱۹۸٤)، غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی و برخی از هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای موجود در خاک تعیین شد (جداول ۳ و ٤).

1- Gas Chromatograph

Archive of SID

www.SID.ir

**جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه.**

| خصوصیات فیزیکی و شیمیایی | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| خاک | رس (درصد) | آهک (درصد) | مواد آلی (درصد) | نیتروژن کل (درصد) | pH | ECe (دسی‌زیمنس بر متر) | فسفر (میلی‌گرم برکیلوگرم) | پتاسیم (میلی‌گرم برکیلوگرم) | سدیم (میلی‌گرم برکیلوگرم) |
| کاملاً آلوده | ۲۲ | ۲٤/٥ | ۱۰/۲۳ | ۱/۲۲ | ٦/۹ | ۹/۸ | ۱٥۰ | ٤٤ | ۳۱ |
| غیرآلوده | ۲٦ | ۲۹/٥ | ۰/۹۹ | ۰/۰۸ | ۷/۸ | ۷/٤ | ٤٥ | ۲۱ | ۱٥ |
| ۱:۱ | ۲۳ | ۲۳/۷٥ | ٤/٦۸ | ۰/٦۳ | ۷/۷ | ۷/۸ | ۷۳/٥ | ۲٥ | ۱۸ |
| ۱:۳ | ۲۰ | ۲۰/٥ | ۷/٤۹ | ۰/۸۷ | ۷/۱ | ۸/۱ | ۱۲۳/٥ | ۲۸ | ۲٦ |

**جدول ۲- غلظت عناصر سنگین موجود در خاک‌های مورد مطالعه (میلی‌گرم بر کیلوگرم).**

| عناصر سنگین | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| خاک | آهن | مس | کادمیوم | نیکل | روی | کروم | کبالت | آلومینیوم | منگنز |
| کاملاً آلوده | ٦۲/٤ | ۸۹/۱ | ٦/۲۸ | ۲/۷۳ | ۱۲/۰۳ | ۰/۲۷ | ۱/٥۲ | ۱٤/۱۷ | ۳۹/۳ |
| غیر آلوده | ۱٤/۷ | ٥/٤ | <۰/۰۰٥ | ۰/۱۱ | ۱۸/٥۱ | ۰/۱٥ | ۱/٦۳ | ۹/۳۸ | ۱۸/۰ |
| ۱:۱ | ۳۱/۳ | ٤۳/۲ | ۲/۱ | ۰/۸٥ | ۱٥/٤٤ | ۰/۱۹ | ۱/٥۹ | ۱۲/۲ | ۲۹/۱ |
| ۱:۳ | ٤٥/٤ | ٦۳/۱ | ٤/٦ | ۱/۳۱ | ۱۱/۸٥ | ۰/۲٤ | ۱/۳۲ | ۱۲/۹ | ۳٥/۰ |

**جدول ۳- غلظت برخی از هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای (PAHs) در خاک کاملاً آلوده.**

| PAHs | میلی‌گرم بر کیلوگرم |
|---|---|
| نفتالین | ٤۲ |
| فنانترن | ۳۲ |
| آنتراسن | ۳ |
| فلورانتن | ۲۷ |
| پایرن | ۱۸ |
| بنزو- ک- فلورانتن | ۰/۲ |
| بنزو- آ- پایرن | ۰/٤ |

**جدول٤- غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی در خاک در تیمارهای مختلف.**

| خاک | میلی‌گرم بر کیلوگرم |
|---|---|
| غیرآلوده | <٥۰ |
| ۱:۱ | ٤۰۳٦٦ |
| ۱:۳ | ٦۹۷٦٦ |
| کاملاً آلوده | ۱۰٤۲۳۳ |

**د) آزمایش اولیه جوانه زنی و رشد:** از هر یک از نمونه خاک‌های مورد مطالعه، حدود ۱ کیلوگرم در گلدان‌های با قطر دهانه ۷٥ و ارتفاع ۱٥۰ میلی‌متری در ۳ تکرار ریخته شد. سپس بذر هفت گیاه آفتابگردان (*Helianthus annus* L.)، گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.)، کلزا (*Brassica napus* L.)، شبدر (*Trifolium repens* L.) از گیاهان زراعی و بقوله و اگروپایرون (*Agropyron smithii* L.)، پوکسنلیا

Archive of SID

www.SID.ir

(*Puccinellia distance* L.) و تال فسکیو (*Festuca arundinacea* L.) از خانواده گیاهان گرامینه (*Poaseae*) در عمق ۱ تا ۲ سانتی‌متری سطح گلدان‌ها کشت شد. بذرهااز بانک بذر گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه صنعتی اصفهان تهیه شد. آفتابگردان، گلرنگ و کلزا به‌دلیل ارزش اقتصادی و کشت در منطقه انتخاب شدند و دیگر گیاهان به سبب اینکه در منابع، گیاهان با قابلیت پالایش بالای هیدروکربن‌های نفتی نام برده شدند، انتخاب گردیدند. در طول دوره آزمایش، رطوبت خاک‌ها در حد ظرفیت زراعی نگه داشته شد که به این منظور زمان آبیاری طی چند روز اول دوره آزمایشی از طریق نمونه‌برداری مستقیم از نمونه شاهد و تعیین وزنی رطوبت خاک و سپس در طول دوره بر حسب مشاهده روزانه وضعیت گیاهان و کنترل تصادفی رطوبت به‌صورت وزنی تعیین گردید. آبیاری به‌گونه‌ای انجام گرفت که آب از ته گلدان‌ها خارج نگردد. در نهایت با شمارش روزانه تعداد بذرهای جوانه‌زده در طول دوره ۱٤ روزه، درصد جوانه‌زنی بذر هر گیاه نسبت به تعداد بذر کاشته شده مشخص شد. برای بررسی مقاومت و پایداری هر گیاه در خاک‌های آلوده، گیاهان تا ۸ هفته پس از دوره جوانه‌زنی نگه داشته شدند. پس از این دوره، گیاهان برداشت و برای تعیین عملکرد ماده‌خشک گیاهی در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شدند. در نهایت ٤ گیاه مناسب برای مطالعات نهایی گیاه پالایی انتخاب شد.

**ه) آزمایش گیاه‌پالایی:** برای مطالعات گیاه‌پالایی از هر یک از نمونه خاک‌های مورد مطالعه حدود ۳ کیلوگرم در گلدان‌های با قطر دهانه ۱۵۰ و ارتفاع ۲۵۰ میلی‌متری در ٤ تکرار ریخته شد. سپس بذر گیاهان انتخاب شده از مرحله مطالعات جوانه‌زنی و رشد اولیه در عمق ۱ تا ۲ سانتی‌متری سطح گلدان‌ها کشت شد. از هر یک از سطوح خاک‌های مورد مطالعه، نمونه شاهد (بدون کشت گیاه) نیز جهت حذف اثرات محیطی بر کاهش غلظت آلاینده‌های نفتی موجود در نظر گرفته شد. پرورش گیاهان برای این مرحله از پژوهش ۱۸ هفته به طول انجامید. در این مرحله نیز آبیاری گیاهان مشابه با مرحله قبل انجام شد. پس از پایان این دوره نمونه خاک برای تعیین غلظت TPHs در تیمارهای گیاهی از خاک اطراف ریشه (خاک ریزوسفری) برداشت شد. به این منظور، گیاهان پس از خروج از گلدان‌ها به خوبی تکان داده شدند تا خاک غیر ریزوسفری جدا گردد و در نهایت خاک ریزوسفری برای آزمایش نمونه‌برداری شد. سپس ریشه و اندام هوایی گیاهان مورد مطالعه از یکدیگر جدا و در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک گردید.

برای بررسی میزان تنفس میکروبی در خاک در تیمارهای مختلف ($C_0$، $C_1$ و $C_2$) نیز از هر یک از نمونه خاک‌های ریزوسفری حاصله، ۵۰ گرم توزین و در ظروف مخصوص تنفس میکروبی ریخته شد. آنگاه به هر یک از خاک‌ها تا ۰/۷ ظرفیت زراعی آب مقطر افزوده شد. به‌منظور جمع‌آوری $CO_2$ تولید شده طی فرآیند تنفس میکروبی ریزجانداران خاک در هر یک از ظرف‌ها، یک لوله آزمایش حاوی ۲۰ میلی‌لیتر سود یک نرمال قرار داده و در ظرف‌ها محکم بسته شد، سپس ظرف‌ها در دستگاه انکوباسیون به مدت یک هفته و در دمای ۲٦ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از دوره انکوباسیون، لوله‌های آزمایش از داخل ظرف‌های تنفس میکروبی خارج و محتویات آن در داخل ارلن‌مایر ریخته شد و سپس به هر یک از نمونه‌ها ۱۰ میلی‌لیتر کلرید باریوم ۱۰ درصد و ۵ تا ۱۰ قطره معرف فنل‌فتالئین افزوده و محتویات ارلن‌مایرها با اسید سولفوریک ۰/۲۵ نرمال تیتر شد. در نهایت میزان میلی‌گرم کربن تولید شده به صورت $CO_2$ طی فرآیند تنفس میکروبی برحسب میزان اسید مصرفی محاسبه شد (آلف و نانیپایری، ۲۰۰۳).

**و) طرح آماری مورد استفاده و تجزیه آماری داده‌ها:** در مطالعات اولیه جوانه‌زنی و رشد، طرح آماری کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه‌ای کاملاً تصادفی و در مطالعات گیاه‌پالایی، طرح آماری بلوک کاملاً تصادفی در قالب آزمایش فاکتوریل با ۲ فاکتور گیاه در ۳ سطح و غلظت آلودگی در ۳ سطح و ۳ تکرار آزمایشی استفاده شده است. تجزیه آماری داده‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار

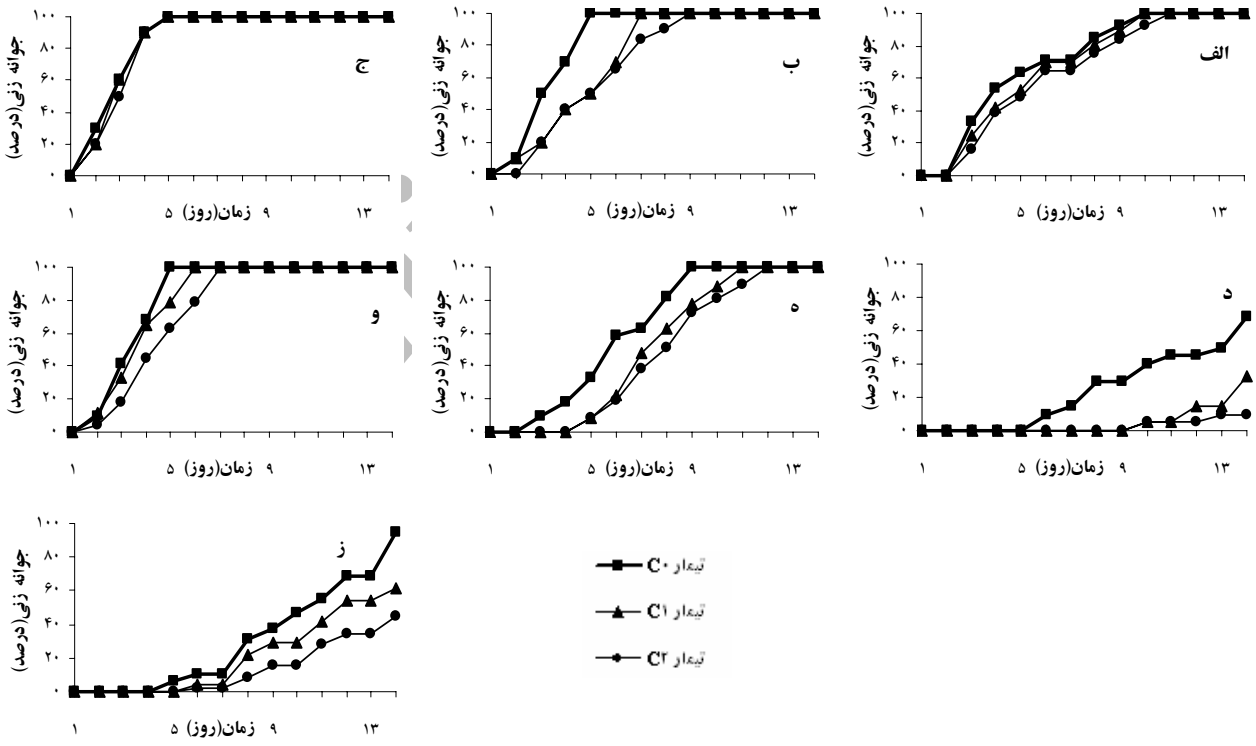
Archive of SID

www.SID.ir

آماری SAS و مقایسه میانگین‌ها به روش LSD انجام گرفت (مؤسسه SAS، ۱۹۹۹).

## نتایج و بحث

**الف) آزمایش اولیه جوانه‌زنی:** شکل ۱ نشان‌دهنده چگونگی وضعیت جوانه‌زنی بذر گیاهان مورد مطالعه در تیمارهای مختلف طی دوره ۱٤ روزه می‌باشد. نتایج، نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف آماری در سطح ۵ درصد برای جوانه‌زنی بذر آفتابگردان، گلرنگ، اگروپایرون و شبدر در دو خاک $C_1$ و $C_2$ نسبت به خاک $C_0$ و وجود اختلاف معنی‌دار آماری برای جوانه‌زنی بذر فسکیو و کلزا در خاک $C_2$ در مقایسه با خاک‌های $C_1$ و $C_0$ است. برای پوکسنلیا نیز بین هر سه خاک $C_0$، $C_1$ و $C_2$ تفاوت آماری در میزان جوانه‌زنی دیده شد (جدول ۵). به نظر می‌رسد که وجود آلاینده‌های نفتی در خاک، در سطوح مختلف آلودگی $C_1$ و $C_2$، سبب کاهش جوانه‌زنی و تأخیر در شروع جوانه‌زنی بذر آفتابگردان، گلرنگ، اگروپایرون و شبدر نشده باشد (شکل ۱). این در حالی‌است که غلظت بالاتر هیدروکربن‌های نفتی در خاک در تیمارهای $C_1$ و $C_2$ نه تنها موجب تأخیر ۳ روزه در شروع جوانه‌زنی کلزا شده است بلکه میزان جوانه‌زنی آن را در طول دوره آزمایشی نسبت به تیمار $C_0$ کاهش داده است (شکل ۱). به‌نظر می‌رسد که این آلاینده‌های نفتی در خاک به صورت یک لایه روغنی اطراف بذر را فرا گرفته، مانع از رسیدن اکسیژن و آب به آن می‌شود و سبب تأخیر در جوانه‌زنی بذر گیاه و کاهش درصد جوانه‌زنی آن می‌شود (آدام و دانکن، ۲۰۰۲).




**شکل۱- زمان و درصد جوانه‌زنی بذر، الف. اگروپایرون ، ب. گلرنگ، ج. آفتابگردان ، د. فسکیو ، ه. کلزا، و. شبدر و ز. پوکسنلیا در تیمارهای $C_0$ (خاک غیرآلوده)، $C_1$ (نسبت وزنی ۱:۱، خاک آلوده: خاک غیرآلوده) و $C_2$ (نسبت وزنی ۱:۳، خاک آلوده: خاک غیرآلوده).**

www.SID.ir

همچنین به‌نظر می‌رسد که بذر فسیکو نسبت به سایر گیاهان مورد مطالعه به سبب داشتن اندازه کوچک‌تر، سطح تماس بیشتری بذر با خاک و آلاینده‌های نفتی دارد، این امر موجب تأخیر ٤ روزه و کاهش ٥٢ درصدی در میزان جوانه‌زنی آن در خاک $C_2$ نسبت به خاک $C_o$ شده است، اما تفاوت قابل توجهی در میزان تأخیر در جوانه‌زنی بذرها برای دو خاک $C_1$ و $C_2$ نسبت به یکدیگر دیده نشد (شکل ١). به نظر می‌رسد که غلظت‌های متفاوت این آلاینده‌ها در خاک اثر خود را بر کاهش میزان جوانه‌زنی بذرها در طول دوره آزمایش نمایان کرده‌اند به شکلی که کاهش ٢٥ درصدی جوانه‌زنی در انتهای دوره آزمایشی برای خاک $C_2$ نسبت به خاک $C_1$ دیده شد (شکل ١). میزان کاهش درصد جوانه‌زنی بذرهای پوکسنلیا نیز در خاک $C_2$ نسبت به خاک $C_1$ بیشتر بود. به شکلی که کاهش حدود ٣٢ و ٥٦ درصدی جوانه‌زنی بذرها به‌ترتیب برای خاک‌های $C_1$ و $C_2$ نسبت به خاک $C_o$ دیده شد. در این گیاه نیز به‌نظر می‌رسد که وجود آلاینده‌های نفتی با غلظت بالاتر، اثر بیشتری بر ایجاد تأخیر در جوانه‌زنی بذرها داشته، بنابراین سطوح مختلف آلودگی، اثر متفاوتی بر شروع جوانه‌زنی بذرها داشتند.

چینیو و همکاران (١٩٩٧) نیز در مطالعات خود به کاهش جوانه‌زنی بذر در هر ٧ گیاه مورد مطالعه خود شامل گندم، جو، آفتابگردان، ذرت، لوبیا، شبدر و کاهو با وجود آلاینده‌های نفتی در خاک اشاره و گزارش کردند که بذرهای آفتابگردان > لوبیا > گندم > شبدر > ذرت > جو > کاهو در برابر این آلاینده‌های موجود در خاک، مقاومت کردند. همچنین ایشان بیان داشتند که ترکیب‌های سبک‌تر نفتی به سبب آنکه قادر به عبور از دیواره و غشای سلولی بذر و اثر بر جنین بذر و واکنش‌های متابولیسمی درون بذر هستند، اثر بیشتری نسبت به ترکیبات سنگین‌تر نفتی در خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی دارند.

**جدول ٥- مقایسه میانگین‌های درصد جوانه‌زنی (دوره ١٤ روزه) بذر گیاهان مورد مطالعه در تیمارهای مختلف.**

| گیاه | تیمار $C_o$ | تیمار $C_1$ | تیمار $C_2$ |
|---|---|---|---|
| آفتابگردان | ٨٩/٥$^{a+}$ | ٨٩/١$^{a}$ | ٨٦/٥ $^{a}$ |
| گلرنگ | ٨٦$^{a}$ | ٧٦$^{a}$ | ٧٢/٧$^{a}$ |
| شبدر | ٧٧/٦$^{a}$ | ٦٩/٣$^{a}$ | ٦١/٣$^{a}$ |
| اگروپایرون | ٧٢/٧$^{a}$ | ٦٨/٨$^{a}$ | ٦٣/٨$^{a}$ |
| کلزا | ٨٤/٥$^{a}$ | ٧٣/٧$^{a}$ | ٦٥$^{b}$ |
| فسکیو | ١٤/٧$^{a}$ | ٢$^{b}$ | ٠/٩$^{b}$ |
| پوکسنلیا | ٢٣/٥$^{a}$ | ١٢/٩$^{b}$ | ٦/٩$^{c}$ |

$^{+}$اعداد هر سطر با حداقل یک حرف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دار آماری در سطح ٥ درصد آزمون LSD می‌باشند.

**ب) آزمایش اولیه رشد و عملکرد ماده‌خشک گیاهی:** نتایج حاصل از مقایسه میانگین عملکرد ماده خشک گیاهی در تیمارهای $C_o$، $C_1$ و $C_2$ درجدول ٦ آمده است. نتایج نشان داد که وجود هیدروکربن‌های نفتی در خاک سبب کاهش رشد کلیه گیاهان شد، این کاهش رشد برای غلظت بالاتر هیدروکربن‌های نفتی در خاک $C_2$ مشهودتر بود. شبدر و کلزا، اگرچه دارای قدرت جوانه‌زنی بالایی در این خاک‌های آلوده به نفت بودند (شکل ١)، در طول دوره رشد خود، قادر به مقاومت در برابر وجود آنها در خاک و ادامه رشد نبوده، خشک شدند و فاقد عملکرد ماده‌خشک گیاهی در انتهای دوره آزمایشی بودند (جدول ٦). برای گلرنگ و آفتابگردان نیز کاهش رشد و عملکرد ماده‌خشک گیاهی در تیمار $C_2$ بیشتر از تیمار $C_1$ در مقایسه با تیمار $C_o$ بود (جدول ٦). به‌نظر می‌رسد که

Archive of SID

www.SID.ir

مسمومیت ایجاد شده به سبب وجود این آلاینده‌های آلی در خاک و همچنین ایجاد محدودیت در رشد و توسعه ریشه و کاهش قابلیت جذب آب و عناصر غذایی، عوامل اصلی کاهش رشد و عملکرد ماده‌خشک گیاهی این گیاهان بوده است (چینیو و همکاران، ۱۹۹۷). در فسکیو و اگروپایرون نیز کاهش رشد و عملکرد ماده‌خشک گیاهی فقط در تیمار $C_2$ نسبت به تیمار $C_0$ مشاهده شد و در تیمار $C_1$ نسبتاً ناچیز بود (جدول ٦). اما در پوکسنلیا، اختلاف معنی‌داری مبنی بر کاهش رشد و عملکرد ماده‌خشک گیاهی در هیچ یک از سطوح آلودگی $C_1$ و $C_2$ نسبت به خاک $C_0$ دیده نشد (جدول ٦). بنابراین، به‌نظر می‌رسد،اگرچه شبدر و کلزا دارای جوانه‌زنی مناسب بودند، وجود آلاینده‌های نفتی در خاک بر جوانه‌زنی آنها تأثیرگذار نبود، ولی وجود این آلاینده‌ها در خاک، مانع از رشد و عملکرد مناسب در این گیاهان شد؛ بنابراین استفاده در مطالعات بعدی گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به نفت منطقه مورد مطالعه قابل توجیه نیست. این در حالی‌است که اگرچه وجود هیدروکربن‌های نفتی در خاک بر وضعیت جوانه‌زنی فسکیو و اگروپایرون اثرگذار بود. به سبب دوام و عملکرد ماده‌خشک گیاهی نسبتاً مناسب و آفتابگردان و گلرنگ به دلیل سرعت جوانه‌زنی بالا و دوام نسبتاً مناسب و به ویژه کشت در منطقه مورد مطالعه، استفاده آنها در مطالعات بعدی گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده منطقه ممکن می‌سازد.

**جدول ٦- مقایسه میانگین‌های وزن خشک ( میلی‌گرم بر گلدان) گیاهان مختلف در انتهای دوره ۸ هفته‌ای مطالعه در سطوح مختلف آلودگی.**

| گیاه | تیمار $C_0$ | تیمار $C_1$ | تیمار $C_2$ |
|---|---|---|---|
| آفتابگردان | ۲۸۷۵$^{a+}$ | ۲۱۲۱$^{b}$ | ۱٤٥۷$^{c}$ |
| گلرنگ | ۹۷٤$^{a}$ | ٥۸٥$^{b}$ | ۲٦٤$^{c}$ |
| کلزا | ٥٦٥$^{a}$ | ب.ع | ب.ع |
| شبدر | ٤۳۷$^{a}$ | ب.ع | ب.ع |
| اگروپایرون | ۱۲۲۱$^{a}$ | ۹۳۱$^{a}$ | ٦۰۱$^{b}$ |
| فسکیو | ۸٥٦$^{a}$ | ٦٤۹$^{a}$ | ۲۸۳$^{b}$ |
| پوکسنلیا | ٦٤۱$^{a}$ | ٥۸۹$^{a}$ | ٤۸۷$^{a}$ |

$^{+}$اعداد هر سطر با حداقل یک حرف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دار آماری در سطح ٥ درصد آزمون LSD می‌باشند.

ب.ع. بدون عملکرد ماده خشک گیاهی در انتهای دوره آزمایشی.

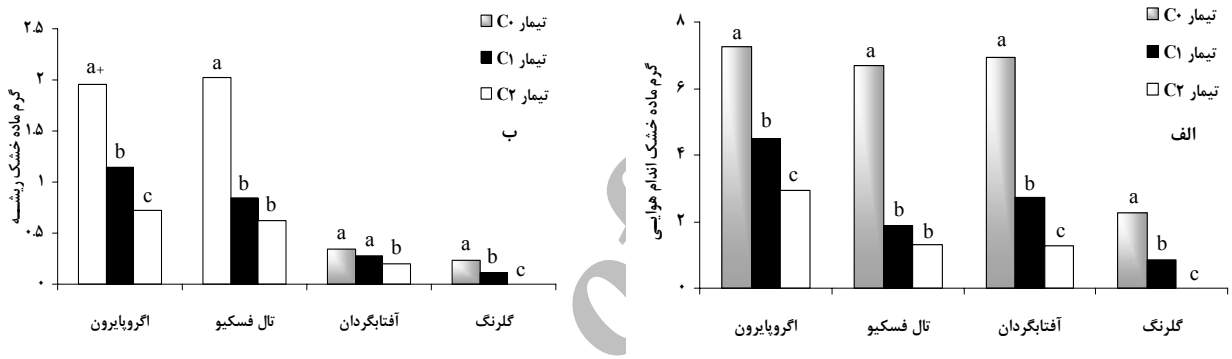
## ج) مطالعات گیاه‌پالایی

**۱- عملکرد ماده‌خشک گیاهی:** نتایج حاصل از تجزیه واریانس عملکرد ماده خشک گیاهی برای اندام هوایی و ریشه گیاهان مختلف در تیمارهای مختلف در انتهای دوره آزمایشی در جدول ۷ آمده است. نتایج نمایان‌گر آن است که نوع گیاه و نوع تیمار آلودگی بر عملکرد ماده خشک گیاهان مختلف اثرگذار بوده است. بررسی نتایج حاصل از عملکرد ماده‌خشک گیاهی برای اندام هوایی و ریشه و مقایسه میانگین‌ها برای ۳ سطح آلودگی $C_0$، $C_1$ و $C_2$ نیز گویای آن بود که وجود هیدروکربن‌های نفتی در خاک موجب کاهش رشد و عملکرد ماده‌خشک اندام هوایی و ریشه، در همه تیمارهای گیاهی در مقایسه با تیمار شاهد (بدون آلودگی) شد، این کاهش رشد و عملکرد در غلظت بالاتر هیدروکربن‌های نفتی (تیمار $C_2$) مشهودتر بود (شکل ۲). به شکلی که کاهش حدود ٤۳، ٦۹ و ٦۳ درصدی در عملکرد ماده‌خشک ریشه، به‌ترتیب برای آفتابگردان، فسکیو و اگروپایرون در تیمار $C_2$، نسبت به تیمار $C_0$ دیده شد. همچنین گلرنگ قادر به مقاومت در برابر حضور این آلاینده‌ها در خاک در تیمار $C_2$ نبود و فاقد عملکرد ماده‌خشک گیاهی در انتهای دوره آزمایشی بود (شکل ۲). کاهش حدود ۲۰، ٥۳، ٥۸ و٤۱ درصدی نیز به‌ترتیب برای آفتابگردان، گلرنگ، فسکیو و

Archive of SID

www.SID.ir

اگروپایرون در عملکرد ماده‌خشک ریشه در تیمار $C_1$، نسبت به تیمار $C_0$ دیده شد (شکل ۲). از سویی عملکرد ماده‌خشک اندام هوایی اگروپایرون، فسکیو، آفتابگردان و گلرنگ در تیمار $C_1$ نسبت به تیمار $C_0$ به‌ترتیب حدود ۳۸، ۵۷، ۶۱ و ۶۳ درصد کاهش یافت. همچنین عملکرد ماده‌خشک اندام هوایی آفتابگردان حدود ۸۲ درصد، فسکیو حدود ۸۰ درصد و اگروپایرون حدود ۶۰ درصد در تیمار $C_2$ نسبت به تیمار $C_0$ کاهش داشت (شکل ۲). به نظر می‌رسد که مسمومیت ناشی از وجود ترکیبات نفتی در خاک به‌ویژه ترکیبات سبک‌تر از یک سو و اثر این آلاینده‌ها بر قابلیت جذب آب و عناصر غذایی از سوی دیگر، مانع از رشد مناسب و بنابراین تفاوت عملکرد نهایی برای رشد ریشه و اندام هوایی در گیاهان مورد مطالعه شده است (چینیو و همکاران، ۱۹۹۷). پالمروس و همکاران (۲۰۰۲) نیز در مطالعات خود به کاهش ۴۳ و ۶۴ درصدی عملکرد ماده‌خشک گیاهی به‌ترتیب برای گیاهان علفی و بقوله اشاره کردند.




**شکل۲- وزن خشک، الف. اندام هوایی و ب. ریشه گیاهان مورد مطالعه در انتهای دوره ۱۲۰ روزه مطالعه.**
**+ حروف غیریکسان، نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح آماری ۵ درصد آزمون LSD است.**

**جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس عملکرد ماده خشک ریشه و اندام هوایی گیاهان مختلف (گرم بر گلدان) در تیمارهای مختلف.**

| منبع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات ریشه | میانگین مربعات اندام هوایی |
|---|---|---|---|
| گیاه | ۳ | ٤/۲۹** | ۳۱/۱۳** |
| تیمار | ۲ | ۲/٤۲** | ۸٤/۳۵** |
| گیاه × تیمار | ٦ | ۰/٤۹** | ۳/۲۵** |
| خطا | ۳٦ | ۰/۰٦ | ۰/۳۲ |

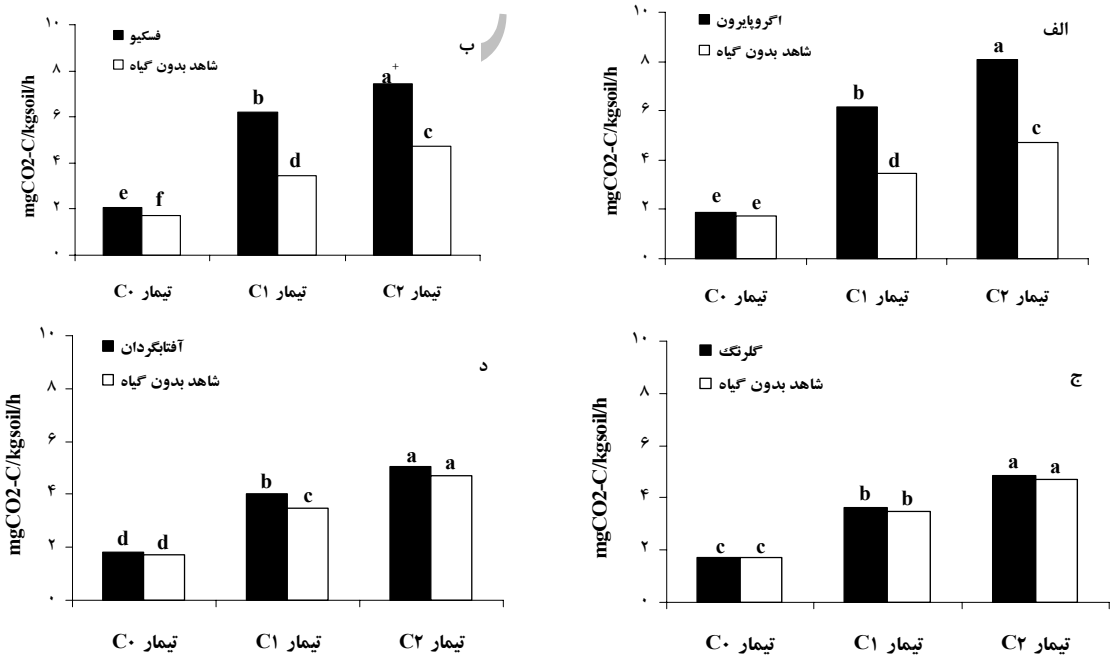
** اختلاف معنی‌دار آماری در سطح یک درصد آزمون LSD.

**۲- تنفس میکروبی:** نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های میزان کربن تولیدی به‌صورت $CO_2$ ناشی از فعالیت و تنفس ریزجانداران خاک در تیمارهای مختلف در حضور هر گیاه در مقایسه با تیمار شاهد (بدون کشت گیاه) در شکل ۳ آمده است. با توجه به این شکل، مشخص است که در خاک غیرآلوده (تیمار $C_0$)، تفاوت معنی‌داری بین اثر حضور گیاهان مختلف و تیمار شاهد در تولید $CO_2$ دیده نشد و تنها در حضور فسکیو، تنفس میکروبی نسبت به تیمار شاهد حدود ۱۹ درصد بیشتر بود، اما در تیمار $C_1$ بیشترین میزان تنفس میکروبی در حضور فسکیو و اگروپایرون بود و اختلاف معنی‌داری (در سطح ۵ درصد آزمون LSD) بین اثر حضور این دو گیاه با سایر گیاهان

Archive of SID

www.SID.ir

و تیمار شاهد دیده شد (شکل ۳). همچنین در این تیمار ($C_1$) تفاوت معنی‌داری بین اثر حضور گلرنگ با تیمار شاهد مشاهده نشد، اما حضور آفتابگردان سبب افزایش ۱۲ درصدی تنفس میکروبی نسبت به تیمار شاهد گشت (شکل۳ ). به‌نظر می‌رسد که زی‌توده تولیدی ریشه، نوع سیستم ریشه‌ای، میزان و نوع ترشحات ریشه توسط گیاهان مختلف در میزان فعالیت ریزجانداران در محیط ریزوسفر آنها، نقش مؤثری داشته باشد به گونه‌ای که در حضور فسکیو و اگروپایرون که سیستم ریشه فیبری با سطح ویژه بالا دارند، بیشترین فعالیت ریزجانداران خاک دیده شد و افزایش حدود ۷۷ و ۵۸ درصدی در میزان تولید $CO_2$ ناشی از فعالیت ریزجانداران خاک به‌ترتیب در حضور این دو گیاه نسبت به تیمار شاهد حاصل شد (شکل ۳). در تیمار $C_2$ نیز بین اثر حضور آفتابگردان و گلرنگ با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، اما بین اثر حضور اگروپایرون و فسکیو با تیمار شاهد، اختلاف معنی‌داری وجود داشت (شکل ۳). بیشترین میزان $CO_2$ تولیدی ناشی از فعالیت ریزجانداران در ریزوسفر اگروپایرون بود به‌شکلی که افزایش حدود ۷۱ درصدی تنفس میکروبی در حضور این گیاه نسبت به تیمار شاهد دیده شد (شکل ۳). همچنین میزان تنفس میکروبی در تیمار $C_2$ در ریزوسفر همه گیاهان بیشتر از تیمار $C_1$ بود. به‌نظر می‌رسد که اگروپایرون به سبب استقرار مناسب‌تر و تولید زی‌توده ریشه و اندام هوایی بیشتر در این تیمار (شکل ۲)، اثر بیشتری بر فعالیت میکروبی در خاک داشته است. در همین راستا لی و همکاران (۲۰۰۲) نیز گزارش کردند که در ریزوسفر گیاهی، جمعیت میکروبی نسبت به خاک بدون کشت بسیار بیشتر است. سایدکوی و آدامز (۲۰۰۱) نیز در مطالعات خود دریافتند که پس از تأخیر دو روزه تنفس میکروبی در خاک‌های آلوده به نفت سبک، در روز سوم افزایش معنی‌داری در تنفس میکروبی حاصل شد.




**شکل ۳- مقایسه میانگین میزان میلی‌گرم کربن تولید شده در فرآیند تنفس میکروبی در تیمارهای مختلف در ریزوسفر، الف. اگروپایرون، ب. فسکیو، ج. گلرنگ و د. آفتابگردان.**

**+ نمودارها با حروف یکسان، فاقد اختلاف معنی‌دار آماری در سطح ۵ درصد آزمون LSD هستند.**

Archive of SID

www.SID.ir

۳- **پالایش آلاینده‌های نفتی:** به‌دلیل آنکه گلرنگ فاقد عملکرد ماده‌خشک گیاهی در انتهای دوره آزمایشی در تیمار $C_2$ بود و نیز عملکرد ماده‌خشک گیاهی آن در تیمار $C_1$ نسبت به تیمار $C_0$ کاهش شدید داشت (شکل ۲) و همچنین فعالیت میکروبی در ریزوسفر این گیاه در هیچ یک از تیمارها با نمونه شاهد (بدون کشت گیاه) تفاوت معنی‌داری دیده نشد (شکل ۳). از بررسی اثر حضور این گیاه بر کاهش غلظت TPHs در تیمارهای آلودگی، صرف نظر شد. نتایج تجزیه واریانس تجزیه و تخریب TPHsدر تیمارهای خاک آلوده در حضور گیاهان مورد بررسی بیان‌گر نقش مؤثر حضور پوشش گیاهی بر تجزیه و تخریب این آلاینده‌های نفتی در خاک است که در این راستا نوع گیاه و نوع تیمار آلودگی دارای اثر معنی‌داری بر کاهش غلظت TPHs بود (جدول ۸). به شکلی که اختلاف معنی‌داری بین اگروپایرون و فسکیو با آفتابگردان در اثر کاهش غلظت TPHs در کلیه سطوح آلودگی دیده شد. اما اختلاف معنی‌داری بین اثر حضور اگروپایرون و فسکیو با یکدیگر در گیاه‌پالایی آلاینده‌های نفتی موجود در سطوح مختلف آلودگی مشاهده نشد (جدول ۹). بنابراین به‌نظر می‌رسد که تجزیه و تخریب این آلاینده‌ها در حضور اگروپایرون و فسکیو نسبت به آفتابگردان بیشتر بوده است (شکل ٤). چرا که در تیمار $C_1$، حضور اگروپایرون و فسکیو به‌ترتیب سبب کاهش حدود ۷۱ و ٦۹ درصدی غلظت TPHs نسبت به غلظت اولیه این ترکیبات در شروع دوره آزمایش شد. این درحالی‌است که در حضور آفتابگردان تنها کاهش حدود ١٤ درصدی غلظت آلاینده‌های نفتی در خاک مشاهد شد که به دلیل عدم وجود اختلاف معنی‌دار آماری بین اثر حضور پوشش گیاهی آفتابگردان و تیمار شاهد (بدون کشت گیاه)، نمی‌توان این کاهش غلظت TPHs را مربوط به نقش مؤثر آفتابگردان بر پالایش آلاینده‌های نفتی موجود دانست (شکل ۳).

**جدول ۸- نتایج تجزیه واریانس تجزیه و تخریب TPHs در تیمارهای خاک آلوده در حضور گیاهان مختلف.**

| منبع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات |
|---|---|---|
| گیاه | ۲ | ۷/٦٤** |
| تیمار | ۱ | ١٦/٨٢** |
| گیاه × تیمار | ۲ | ۱/۳۰ns |
| خطا | ۱۲ | ۰/۳۷ |

** اختلاف معنی‌دار آماری در سطح یک درصد آزمون LSD و ns عدم وجود اختلاف معنی‌دار آماری.

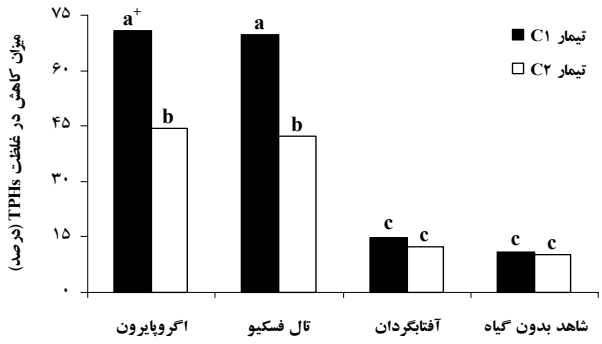
**جدول ۹- مقایسه میانگین غلظت TPHs باقی‌مانده در خاک در کلیه تیمارها در حضور گیاهان مختلف.**

| گیاه | غلظت TPHs باقی مانده |
|---|---|
| اگروپایرون | ۲/۷۷b+ |
| تال فسکیو | ۲/٦۷b |
| آفتابگردان | ٤/٦۷a |

+ اعداد هر ستون با حداقل یک حرف مشترک، فاقد اختلاف آماری در سطح ۵ درصد آزمون LSD می‌باشند.

Archive of SID

www.SID.ir




**شکل ٤- مقایسه میزان کاهش غلظت TPHs در خاک در حضور گیاهان مختلف با تیمار شاهد بدون کشت گیاه در تیمارهای مختلف**

**+ نمودارها با حداقل یک حرف مشترک، فاقد اختلاف آماری در سطح ۵ درصد آزمون LSD هستند.**

در سطح بالاتر غلظت آلاینده‌های نفتی در خاک (تیمار $C_2$) نیز اگروپایرون و فسکیو در گیاه‌پالایی این دسته از آلاینده‌های نفتی، نقش مؤثرتری داشتند و کاهش حدود ٤٥ و ٤٢ درصدی غلظت این آلاینده‌ها به‌ترتیب در حضور اگروپایرون و فسکیو دیده شد (شکل ٤). به‌نظر می‌رسد که این گیاهان علفی به سبب دارا بودن ریشه‌های با طبیعت فیبری، موجب تحریک فعالیت میکروبی و افزایش تجزیه و تخریب بیشتر این دسته از آلاینده‌ها در محیط ریزوسفر خود شده‌اند. ریشه‌های فیبری نسبت به سایر ریشه‌ها، محیط مناسب‌تر و با سطح ویژه بالاتری را برای فعالیت و توسعه جمعیت میکروبی فراهم می‌کنند و جمعیت میکروبی بزرگ‌تری در محیط ریزوسفری آنها به‌وجود می‌آید (آپریل و سیمز، ۱۹۹۰). بالاتر بودن میزان تنفس میکروبی در ریزوسفر این گیاهان نیز مبین اثر آنها بر افزایش فعالیت میکروبی است (شکل ۳). حضور آفتابگردان در این تیمار (تیمار $C_2$) نیز نقش مؤثری در پالایش آلاینده‌های نفتی موجود نداشت و اختلاف معنی‌داری بین حضور این گیاه و تیمار شاهد (بدون کشت گیاه) در کاهش غلظت TPHs در خاک دیده نشد (شکل ٤). به‌نظر می‌رسد که زی‌توده تولیدی پایین، نوع و میزان ترشحات ریشه در حضور این گیاه در تشدید فعالیت میکروبی و بنابراین تجزیه و تخریب آلاینده‌های نفتی موجود در خاک، نقش مؤثری نداشته است (پیسنیو و لاول، ۲۰۰۰).

در کل، حضور پوشش گیاهی، می‌تواند از طریق افزایش قابلیت دسترسی زیستی هیدروکربن‌ها، ترشحات ریشه و تحریک رشد و فعالیت باکتری‌های تجزیه کننده هیدروکربن‌های نفتی در خاک و همچنین بهبود خواص فیزیکی خاک، سبب افزایش تخریب این آلاینده‌های آلی در خاک شود. در همین راستا سو و همکاران (۲۰۰۵) در مطالعات خود به نقش مؤثر حضور پوشش گیاهی ذرت و رای گراس در کاهش ۹۸ درصدی غلظت فنانترن و ۹۵ درصدی در غلظت پایرن طی یک دوره ٦۰ روزه اشاره کردند. وایتس و همکاران (۱۹۹۸) نیز دریافتند که گونه‌های مختلف یونجه اثری مثبت بر کاهش غلظت آلاینده‌های ناشی از نفت خام در خاک دارد. به شکلی که در حضور این گیاهان، کاهش حدود ۳۳ تا ٥٦ درصدی غلظت آلاینده‌های نفتی در مقایسه با تیمار شاهد بدون گیاه مشاهده شد. کامیسر و پارک (۱۹۹۷) نیز به کاهش ۸۰ درصدی غلظت هیدروکربن‌های سبک نفتی پس از ۸ هفته مطالعات گیاه‌پالایی اشاره نمودند. شواب و بنکس (۱۹۹٤) تجزیه و تخریب ترکیبات PAHs در ریزوسفر برخی از گیاهان پرورش یافته در خاک‌های آلوده به نفت شامل یونجه، فسیکو و سودان گراس را بررسی کردند. ایشان میزان تجزیه این ترکیبات نفتی در خاک‌های آلوده را به نوع ترکیب PAHs و نیز نوع گونه گیاهی وابسته دانستند.

Archive of SID

www.SID.ir

## نتیجه گیری

نتایج این پژوهش گویای آن است که وجود هیدروکربن‌های نفتی، متناسب با غلظت آنها در خاک، موجب کاهش رشد و عملکرد ماده‌خشک اندام هوایی و ریشه همه گیاهان مورد مطالعه شد. گلرنگ قادر به مقاومت در برابر وجود این آلاینده‌ها در خاک در تیمار $C_2$ نبود و فاقد عملکرد ماده‌خشک گیاهی در انتهای دوره آزمایش بود. حضور فسکیو و اگروپایرون، موجب افزایش معنی‌دار تنفس میکروبی در تیمار $C_1$ شد، اما اختلاف معنی‌داری بین اثر حضور این دو گیاه با یکدیگر دیده نشد. این در حالی‌است که در سطح بالاتر، غلظت آلاینده‌های نفتی در خاک (تیمار $C_2$) حضور اگروپایرون نقش مؤثرتری نسبت به فسکیو در افزایش تنفس میکروبی در خاک داشت، ولی اختلاف معنی‌داری بین اثر حضور آفتابگردان و گلرنگ با تیمار شاهد (بدون کشت گیاه) در میزان تولید $CO_2$ ناشی از فعالیت ریزجانداران خاک در این تیمار مشاهده نشد. بیشترین میزان کاهش غلظت TPHs در مطالعات گیاه‌پالایی در حضور اگروپایرون و فسکیو به ویژه در سطح پایین‌تر غلظت آلودگی (تیمار $C_1$) بود، اما آفتابگردان نقش مؤثری بر کاهش غلظت این آلاینده‌های آلی نسبت به تیمار شاهد (بدون کشت گیاه) نداشت.

## منابع


1.1.Adam, G., and Duncan, H. 2002. Influence of diesel fuel on seed germination. J. Environ. Pollut. 120: 363-370.

2.2.Alef, K., and Nannipieri, P. 2003. Methods in applied soil microbiology and biochemistry. Harcourt brace & company. Pp: 214-216.

3.3.April, W., and Sims, R.C. 1990. Evaluation of prairie grasses for stimulating polycyclic aromatic hydrocarbon treatment in soil. J. Chemosphere. 20: 253-265.

4.4.Black, C.A., Evans, D.D., White, J.L., Ensminger, L.E., and Clark, F.E. 1965. Methods of soil analysis: Part 2. Agron. Monogr. ASA, Madison, Wiscansin (eds.).

5.5.Bremner, J.M., and Mulvaney, C.S. 1982. Nitrogen-total. In: Methods of soil analysis, Part American Society of Agronomy, Madison, Wiscansin (eds.). Pp: 595-624.

6.6.Chaineau, C.H., Morel, J.L., and Oudot, J. 1997. Phytotoxicity and plant uptake of fuel oil hydrocarbons. J. Eviron. Qual. 26: 1478-1483.

7.7.Christopher, S., Hein, P., Marsden, J., and Shurleff, A.S. 1988. Evaluation of methods 3540 (soxhlet) and 3550 (Sonication) for evaluation of appendix IX analyses from solid samples. S-CUBED, Report for EPA contract 68-03-33-75, work assignment No.03, Document No. SSS-R-88-9436.

8.8.Cupers, C., Pancras, T., Grotenhuis, T., and Rulkens, W. 2002. The estimation of PAH bioavailability in contaminated sediments using hydroxypropyl-B-cylodextrin and triton x-100 extraction techniques. J. Chemosphere. 46: 1235-45.

9.9.Ferro, A.M., Rock, S.A., Kennedy, J., Herrick, J.J., and Turner, D.L. 1999. Phytoremediation of soils contaminated with wood preservatives: greenhouse and field evaluations. Int. J. Phytoremediation. 3: 289-306.

10.10.Karthikeyan, R., Davis, L.C., Mankin, K.R., Errickson, L.E., and Kulakow, P.A. 1999. Biodegradation of jet fuel (JP-8) in the presence of vegetation. In: Proceeding of the 1999 conference on hazardous waste research, St. Louis, Missouri, Pp: 243-256.

11.11.Komisar, S.J., and Park, J. 1997. Phytoremediation of diesel contaminated soil using alfalfa. In: Fourth International in Situ and on Site Bioremediation Symposium., New Orleans, LA, Vol. 3. Pp: 331-36.

12.12.Li, C.H., Ma, B.L. and Zhang, T.O. 2002. Soil bulk density effects on soil microbial population and enzyme activities during the growth of maize (*Zea Mays*) planted in large pots under field exposure. J. Plant. Sci. 82: 147- 154.

13.13.Lindsay, W.L., Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Am. J. Soil Sci. Soc. 42: 421-428.


Archive of SID

www.SID.ir

14.14.Olsen, S.R., and Sommers, L.E. 1982. Phosphorus. In: Methods of soil analysis, Part 2. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin (eds.). Pp: 403-431.
15.15.Palmroth, M.R.T., Pichtel, J., and Puhakka, J.A. 2002. Phytoremediation of subarctic soil contaminated with diesel fuel. J. Bioresource technol. 84: 221- 28.
16.16.Piceno, Y.M., and Lovell, C.R. 2000. Stability in natural bacterial communities: nutrient addition effects on rhizosphere diazotrophs assemblage. J. Ecol. 39: 32-40.
17.17.Pulford, I.D., and Watson, C. 2003. Phytoremediation of heavy metal contaminated land by tree- a review. J. Environ. Int. 29: 529-40.
18.18.Rababah, A., and Matsuzawa, S. 2002. Treatment system for solid matrix contaminated with fluoranthene 11 recirculating photodegradation techniques. J. Chemosphere. 46: 49-57.
19.19.SAS Institute, 1999. SAS/STAT user's guide, release 8.2. SAS Institute, Cary, NC. USA.
20.20.Schwab, A.P., and Banks, M.K. 1994. Biologically mediated dissipation of Polyaromatic hydrocarbons in the root zone. Bioremediation through Rhizosphere Technology, Anderson, T. and J. Coats (eds.), American chemical Society Symposium, series 563, American Chemistry Society Washington, DC. Pp: 132-141.
21.21.Siddiqui, S., and Adams, W.A. 2001. The fate of diesel hydrocarbons in soils and their effect on the germination of *Perennial Ryegrass*. J. Environ. Pollut. 118: 49-62.
22.22.Smith, M.J., Flowers, T.H., Duncan, H.J., and Alder, J. 2005. Effects of PAHs on germination and subsequent growth of grasses and legumes in freshly contaminated soil and soil with aged PAH residues. J. Environ. Pollute. 101: 1-7.
23.23.U.S. EPA. 1984. Interalaboratory Comparison Stunt: Methods for volatile and semi–volatile compounds, Environmental monitoring systems laboratory, office of research and development, Las Vegas, NV, EPA. 600/4- 84- 027.
24.24.U.S. EPA. 2001. Phytoremediation of Contaminated Soil and Ground Water at Hazardous Waste Sites. EPA/540/S-01/500. Office of Research and Development, Washington, DC. February 2001.
25.25.Wilts, C.C., Rooney, W.L., Chen, Z., Schwab, A.P., and Banks, M.K. 1998. Greenhouse evaluation of agronomic and crud oil phytoremediation potential among alfalfa genotypes. J. Environ. Qual. 27(1): 169-73.
26.26.Xu, S.Y., Chen, Y.X., Wu, W.X., Wang, K.X., Lin, Q., and Liang, X.Q. 2005. Enhanced dissipation of phenanthrene and pyrene in spiked soils by combined plants cultivation. J. Sci. Total Environ. (2005): 1- 10.

Archive of SID

www.SID.ir

*J. Agric. Sci. Natur. Resour., Vol. 15(4), 2008*
*www.jasnr.info*
*www.sid.ir*
*www.magiran.com/jasnr*

# Remediation of petroleum contaminated soils around the Te hran oil refinery using Phytostimulation method

***A.A. Besalatpour[1] , M.A. Hajabbasi[2] , A.H. Khoshgoftarmanesh[3] and M. Afyuni[4]**
[1]PhD. Student, Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, [2]Assoc. Prof., Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, [3]Asist. Prof., Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran and [4]Prof., Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

**Abstract**

Total petroleum hydrocarbons (TPHs) are important sources of soil and environmental pollution in our country especially around oil refineries. In this study, the capability of phytostimulation technique as a cost-effective method for remediation of these contaminants from soil was evaluated. Therefore, first the germination and subsequent growth of seven plants were tested in a soil with different petroleum contamination levels ($C_1$ and $C_2$) compared to uncontaminated soil (soil $C_0$). Thereafter, the best plant genotypes were selected for phytoremediation trials. Results showed that the presence of TPHs in the soil had no effect on germination of agropyron, white clover, sunflower and safflower seeds. Canola and white clover seedlings were sensitive to these compounds and failed to produce dry matter yield (DMY) at the end of experimental period. But, the presence of petroleum contaminants in soil had a negligible effect on agropyron and tall fescue growth. Therefore, only four plant genotypes including agropyron, tall fescue, safflower and sunflower were selected for later phytoremediation trials. DMY was significantly reduced by the presence of TPHs in all contamination treatments compared to control. The higher TPH-reduction was found in the rhizosphere of agropyron and tall fescue. There were 71 and 69% decreases in TPH-concentration in $C_1$ treatment, 45 and 42% decreases in $C_2$ treatment with the presence of agropyron and tall fescue, respectively. Furthermore, the sunflower had no significant effect on contaminant removal at the end of the experiment. Microbial activity in the rhizosphere of agropyron was more than tall fescue in $C_2$ treatment but no significant differences were observed in the rhizosphere of sunflower and safflower compared to control (unplanted). According to this study, although advanced studies for assessing the suitability of plant species and improving phytoremediation efficiency are necessary, some genotype like agropyron showed to be suitable choices for phytoremediation of the investigated petroleum contaminated soil.

***Keywords:*** Phytoremediation; Phytostimulation; Agropyron; Microbial respiration; Total Petroleum Hydrocarbons.

*- Corresponding Author, Email: a_besalatpour@ag.iut.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir