واکنش برخی از گیاهان به آلاینده‌های نفتی موجود در خاک‌های اطراف پالایشگاه تهران

علی اصغر بسالت‌پور*، محمدعلی حاج‌عباسی، امیرحسین خوشگفتارمنش و مجید افیونی[۱]

(تاریخ دریافت: ۸۵/۱۰/۲۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۸۶/۳/۲۲)

چکیده

وجود هیدروکربن‌های نفتی در خاک، می‌تواند سبب بروز سمیت برای انسان‌ها و سایر موجودات زنده شده و موجبات آلودگی آب‌های زیرزمینی را نیز فراهم آورد. در روش گیاه‌پالایی جهت دست‌یابی به حداکثر کاهش غلظت این آلاینده‌ها در خاک، انجام مطالعات اولیه به منظور انتخاب گیاه مناسب الزامی است. در این پژوهش، قابلیت جوانه‌زنی و رشد هفت گونه گیاهی مختلف در دو خاک آلوده به هیدروکربن‌های نفتی ناشی از رهاسازی پسماندها و ضایعات نفتی پالایشگاه تهران (به ترتیب تیمار C_1 و C_2) در مقایسه با خاک غیر آلوده (تیمار C_0)، جهت شناسایی گیاهان با درصد جوانه‌زنی بالا، رشد و عملکرد مناسب‌تر، مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر هر گیاه طی یک دوره ۱۴ روزه، چگونگی رشد با ثبت تغییرات ارتفاعی هر یک از گیاهان طی دوره ۸ هفته و نهایتاً عملکرد ماده خشک گیاهی در انتهای این دوره تعیین گردید. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از طرح آماری کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه‌ای کاملاً تصادفی انجام شد. نتایج نشان داد که وجود هیدروکربن‌های نفتی در خاک بر جوانه‌زنی بذر گیاهان آفتابگردان، گلرنگ، اگروپایرون و شبدر بی‌اثر بود اما موجب تأخیر۲ و۳ روزه به ترتیب در تیمارهای C_1 و C_2 نسبت به تیمار C_0 در شروع جوانه‌زنی بذر گیاه کلزا و هم‌چنین تأخیر ۴ روزه و کاهش ۵۲ درصدی جوانه‌زنی بذر گیاه فسکیو و کاهش ۳۲ و ۵۶ درصدی جوانه‌زنی بذر گیاه پوکسنلیا به ترتیب برای تیمارهای C_1 و C_2 نسبت به تیمار C_0 گردید. گیاهان شبدر و کلزا، نسبت به وجود این آلاینده‌ها در خاک پایداری کمتری داشته، خشک گردیده و در نتیجه فاقد عملکرد ماده خشک گیاهی در انتهای دوره آزمایشی بودند. میزان کاهش رشد و عملکرد ماده خشک گیاهی برای گیاهان گلرنگ و آفتابگردان در تیمار C_2 بیشتر از تیمار C_1 بود ولی این کاهش رشد برای فسکیو و اگروپایرون، فقط در تیمار C_2 نسبت به تیمار C_0 مشاهده شد و برای تیمار C_1 نسبتاً ناچیز بود. برای گیاه پوکسنلیا نیز اختلاف معنی‌داری مبنی بر کاهش رشد و عملکرد ماده خشک گیاهی در هیچ یک از سطوح آلودگی C_1 و C_2 دیده نشد. بنابراین به‌نظر می‌رسد که اگرچه وجود هیدروکربن‌های نفتی در خاک نتوانسته بر جوانه‌زنی بذر گیاهان آفتابگردان، گلرنگ، شبدر و کلزا اثر گذار باشد ولی این گیاهان فاقد رشد و عملکرد مناسب بوده و لذا جهت استفاده در مطالعات بعدی گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به نفت منطقه مورد مطالعه قابل توجه نیستند. این درحالی‌است که گیاهان فسکیو، اگروپایرون و پوکسنلیا به‌سبب دوام و عملکرد ماده خشک گیاهی نسبتاً مناسب، جهت مطالعات بعدی گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده منطقه پیشنهاد می‌گردند.

واژه‌های کلیدی: گیاه‌پالایی، جوانه‌زنی، رشد، کل هیدروکربن‌های نفتی

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، دانشیار، استادیار و استاد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: a_besalatpour@ag.iut.ac.ir

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.2.7]

مقدمه

آلودگی خاک‌ها به هیدروکربن‌های نفتی، یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست محیطی در برخی از نقاط کشور به‌ویژه در اطراف پالایشگاه‌های نفت، نظیر پالایشگاه نفت تهران می‌باشد. از آنجا که نفت و مشتقات آن در مناطق تصفیه یا نقاط دیگر به مقدار زیاد حمل و نقل می‌شوند، امکان آلودگی خاک‌ها به این ترکیبات زیاد است. این آلودگی‌ها ممکن است به‌صورت تصادفی بوده و یا ضایعات پالایشگاه‌های نفت به طور عمد به خاک افزوده شوند (۳). از جمله منابع مهم آلودگی خاک‌ها به نفت می‌توان به وقوع جنگ‌هایی که متعاقب آن منابع نفت سوزانده می‌شوند، نشت نفت از لوله‌های انتقال، سرریز شدن مخازن نفت خام و مهم‌تر از همه رهاسازی پسماندها و ضایعات نفتی پالایشگاه‌ها در خاک اشاره نمود (۲۰). وجود هیدروکربن‌های نفتی در خاک می‌تواند سبب بروز سمیت برای انسان‌ها و سایر موجودات زنده شده و موجبات آلودگی منابع آب‌های زیرزمینی را نیز فراهم آورند. در همین راستا، آثار سمیت این ترکیبات، توسط پژوهشگران بسیاری گزارش شده است (۸، ۱۰ و ۱۱). لذا از آنجا که این دسته از آلاینده‌های آلی، دوام بالایی در خاک دارند و وجود آنها در خاک خطر انتقال به منابع آب و ایجاد سمیت و بیماری برای انسان و سایر موجودات زنده را به دنبال دارد، باید به نحوی از محیط زیست حذف گردند.

روش‌های فیزیکی و شیمیایی بسیاری برای مقابله با آلودگی‌های نفتی در خاک وجود دارد که بسیاری از آنها به‌سبب هزینه بالا و اثرات جانبی مضر کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. بنابراین در سال‌های اخیر به روش‌های زیستی مانند گیاه‌پالایی (Phytoremediation)، توجه بیشتری شده است. گیاه‌پالایی یک فناوری جدید و نوظهور جهت کاهش اثرات مضر و زیان‌بار ترکیبات نفتی و سایر ترکیبات دیگر است که امروزه به‌عنوان یک روش مفید و اقتصادی جهت پالایش خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی مورد توجه قرار گرفته است (۱۴ و۲۲). این روش یک ابزار مؤثر، بدون اثرات جانبی و ارزان قیمت برای پالایش خاک‌های آلوده است (۷). در گیاه پالایی هدف افزایش امکان پالایش خاک‌های آلوده و کاهش آلودگی تا سطح قابل قبول است. نتایج تحقیقات بسیاری نشان داده است که واکنش بین سیستم ریشه‌ای گیاه و میکروفلور ریزوسفر، باعث افزایش معنی‌دار در تجزیه و تخریب ترکیبات آلی خطرناک خاک می‌گردد. به طور کلی گیاهان به‌صورت مستقیم و غیر مستقیم موجبات پالایش خاک‌های آلوده را فراهم می‌آورند. در پالایش مستقیم، گیاهان از طریق جذب آلاینده‌ها و تجمع آنها در درون سلول‌های خود و سپس تجزیه و تخریب آنها، سبب کاهش یا حذف این آلاینده‌ها می‌شوند. در پالایش غیر مستقیم نیز گیاهان از طریق ترشحات خود موجب تحریک ریزجانداران موجود در ریزوسفر شده و تخریب میکروبی آلاینده‌های آلی را افزایش می‌دهند (۱۸). ترشحات ریشه از جمله آمینو اسیدها، کربوهیدرات‌ها، اسیدهای نوکلئیک، عوامل رشد، آنزیم‌ها و سایر ترکیبات با تأمین منابع انرژی، کربن و نیتروژن مورد نیاز ریزجانداران غالب تجزیه کننده نفت در خاک، سبب تسریع و تشدید تخریب این آلاینده‌ها در خاک می‌شوند (۲).

در روش گیاه‌پالایی جهت دست‌یابی به حداکثر کاهش غلظت آلودگی‌های نفتی موجود در خاک باید اقدامات مختلفی صورت گیرد. باید گیاهان به گونه‌ای انتخاب شوند که قابلیت رشد و سازگار شدن با محیط آلوده را داشته باشند و نسبت به آلودگی موجود در منطقه مقاوم بوده و نیز حداکثر جوانه‌زنی، رشد و توسعه و سطح ویژه ریشه را داشته باشند (۱). در عین حال گیاهان با نیاز آبی کمتر و نیز نیاز غذایی کمتر و اقتصادی‌تر ترجیح داده می‌شوند (۱۲). بنابراین، این امر لزوم انجام مطالعات آزمایشگاهی و مزرعه‌ای بیشتر، مانند آزمایش جوانه‌زنی و رشد گیاهان مختلف و سپس انتخاب بهترین گیاه جهت پالایش خاک آلوده را بیش از پیش نمایان می‌سازد. مطالعات مختلفی نیز در این زمینه انجام شده است ولی اکثر آنها روی خاک‌هایی که به‌صورت مصنوعی و در آزمایشگاه به یک یا چند نوع محدود هیدروکربن نفتی آلوده شده‌اند، انجام شده است (۴، ۱۳ و۲۵). بنابراین به‌نظر می‌رسد که به‌سبب

[Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.2.7]

جدول۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

تیمار	ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی								
	رس (٪)	آهک (٪)	مواد آلی (٪)	نیتروژن کل (٪)	pH	EC (dSm^{-1})	فسفر ($mgkg^{-1}$)	پتاسیم ($mgkg^{-1}$)	سدیم ($mgkg^{-1}$)
خاک کاملاً آلوده	۲۲	۲۴/۵	۱۰/۲۳	۱/۲۲	۶/۹	۹/۸	۱۵۰	۱۴۴/۸	۳۱
خاک بدون آلودگی	۲۶	۲۹/۵	۰/۹۹	۰/۰۸	۷/۸	۷/۴	۴۵	۱۲۱/۵	۱۵

جدول۲. میزان عناصر سنگین موجود در خاک‌های مورد مطالعه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

تیمار	آهن	مس	کادمیوم	نیکل	روی	کروم	کبالت	آلومینیوم	منگنز
خاک کاملاً آلوده	۶۲/۴	۸۹/۱	۶/۲۸	۲/۷۳	۱۲/۰۳	۰/۲۷	۱/۵۲	۱۴/۱۷	۳۹/۳
خاک بدون آلودگی	۱۴/۷	۵/۴	<۰/۰۰۵	۰/۱۱	۱۸/۵۱	۰/۱۵	۱/۶۳	۹/۳۸	۱۸/۰

اهمیت نوع گیاهی که در عملیات گیاه‌پالایی استفاده می‌شود و قابلیت جوانه‌زنی، رشد و دوام آن در شرایط طبیعی آلودگی موجود در منطقه، مطالعه جوانه‌زنی و رشد گیاهان مختلف قابل استفاده در گیاه‌پالایی امری اجتناب‌ناپذیر، الزامی و در عین حال بسیار مفید و اقتصادی باشد. این پژوهش نیز با هدف شناسایی گیاهان با بیشترین درصد و سرعت جوانه‌زنی جهت استقرار سریع در منطقه آلوده و تعیین مقاوم‌ترین گیاه به آلودگی‌های نفتی موجود در مناطق اطراف پالایشگاه تهران، جهت گیاه‌پالایی این خاک‌ها از بین هفت گیاه مختلف زراعی، علفی و لگوم و نیز بررسی امکان استقرار گیاهان زراعی با ارزش اقتصادی در این مناطق صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

آماده سازی خاک‌ها

جهت انجام این پژوهش خاک آلوده به هیدروکربن‌های نفتی از دریاچه‌ای که پسماندها و ضایعات نفتی پالایشگاه تهران در آن رها می‌شود، واقع در روستای عظیم آباد در یک کیلومتری پالایشگاه با مختصات جغرافیایی '۳۰ °۳۵ شمالی و'۲۶ °۵۱ شرقی، برداشت شد (خاک کاملاً آلوده). خاک غیر آلوده (تیمار C_0) نیز از مزارع اطراف همان منطقه نمونه‌برداری شد. نمونه خاک‌ها پس از هواخشک شدن از الک ۴ میلی‌متری عبور داده شد. سپس جهت ایجاد سطوح مختلف آلودگی به منظور کاهش اثر سمیت آلاینده‌های نفتی و لذا امکان جوانه‌زنی و رشد و نیز بررسی اثر غلظت‌های متفاوت آلاینده‌های موجود در خاک بر آن، خاک کاملاً آلوده و غیرآلوده با نسبت‌های وزنی ۱:۱ (خاک کاملاً آلوده: خاک غیر آلوده، تیمار C_1) و ۱:۳ (خاک کاملاً آلوده: خاک غیر آلوده، تیمار C_2) کاملاً با یکدیگر مخلوط شدند. آنگاه جهت ایجاد همگنی و یک‌نواختی در خاک‌ها هر یک از سطوح خاک مذکور به مدت ۲۱ روز در گلخانه نگه‌داری شد و طی این مدت، خاک‌ها در حد ظرفیت زراعی آبیاری و کاملاً زیرورو و مخلوط شدند. بدین صورت پس از گذشت ۲۱ روز، نمونه‌ها جهت انجام آزمایش‌ها و کشت گیاهان آماده شدند.

تعیین ویژگی‌های خاک‌ها

برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه نظیر بافت خاک به روش هیدرومتری، هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع، واکنش خاک در گل اشباع، فسفر قابل جذب به روش اولسن، سدیم و پتاسیم قابل جذب به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم و قرائت با فلیم فتومتر، نیتروژن کل به روش کلدال و آهک به روش تیتراسیون با سود تعیین شد (جدول ۱). غلظت برخی از عناصر سنگین نیز به روش عصاره‌گیری با DTPA (۱۹) تعیین شد (جدول۲).

[Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.2.7]

جدول۳. غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی و برخی از هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای در خاک کاملاً آلوده

هیدروکربن	غلظت $mg\ kg^{-1}$
نفتالین	۴۲/۰
فنانترن	۳۱/۷
آنتراسن	۲/۸
فلورانتن	۲۶/۷
پایرن	۱۸/۳
بنزو-ک- فلورانتن	۰/۲
بنزو-آ- پایرن	۰/۴
بنزو-ج، اچ، آی- پریلن	۷/۰
TPHs	۱۰۲۵۸۶

تعیین هیدروکربن‌های نفتی در خاک

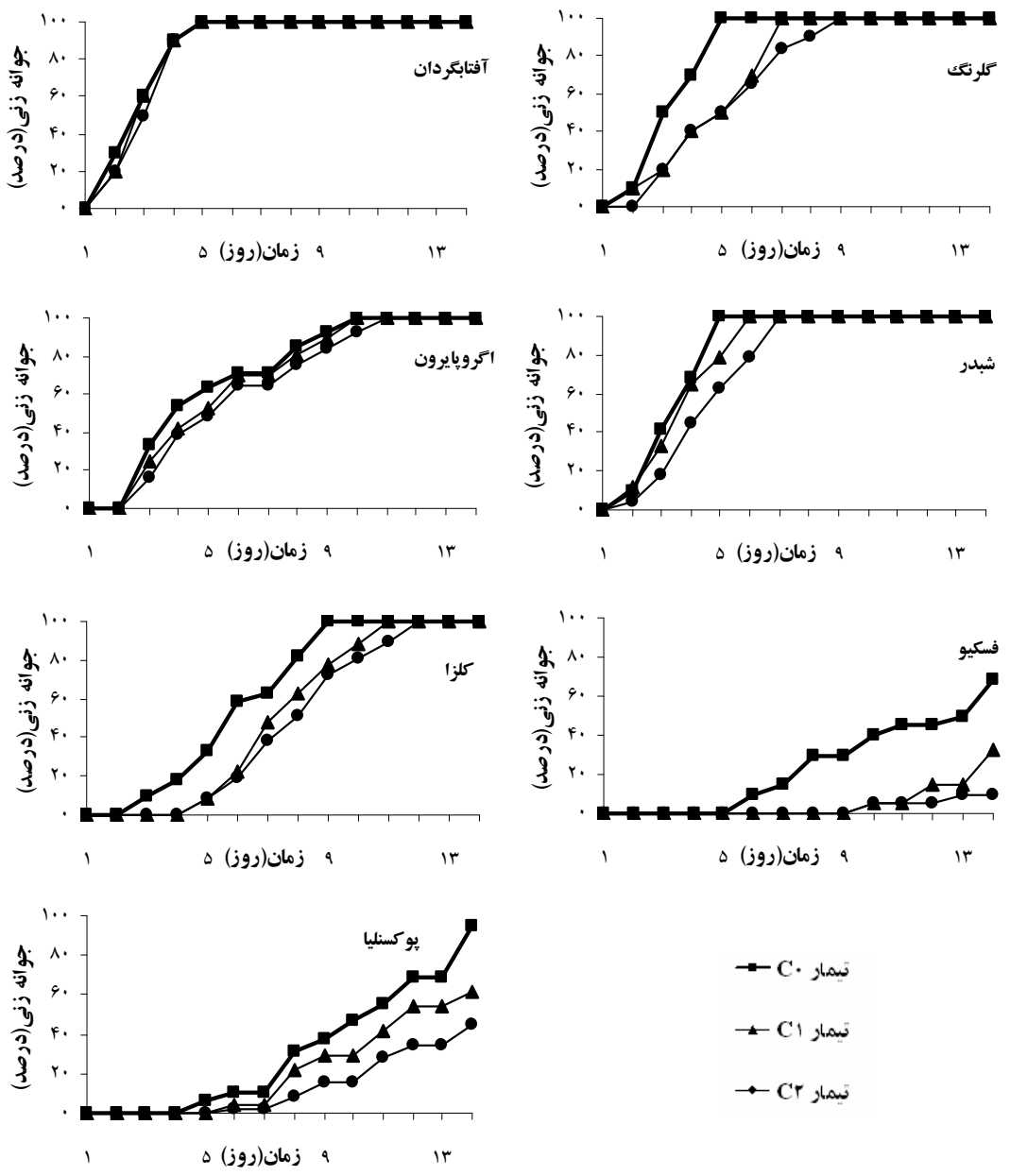
به منظور تعیین غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی (Total Petroleum Hydrocarbons),(TPHs) و نیز برخی از هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای (PAHs), (Poly Aromatic Hydrocarbons) در خاک، ابتدا عصاره‌گیری به روش سوکسله با نسبت مساوی ان هگزان و دی کلرومتان (روش شماره ۸۱۰۰ سازمان حفاظت محیط زیست امریکا) انجام شد (۵). سپس با استفاده از دستگاه GC (Gas chromatograph) و به روش ۸۳۱ سازمان حفاظت محیط زیست امریکا (۲۷)، غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی و برخی از هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای موجود در خاک تعیین شد (جدول۳).

مطالعات جوانه‌زنی و رشد

از هر یک از نمونه خاک‌های مورد مطالعه، حدود ۱ کیلوگرم در گلدان‌های با قطر دهانه ۷۵ و ارتفاع ۱۵۰ میلی‌متری و در ۳ تکرار ریخته شد. سپس بذر هفت گیاه آفتابگردان (*Helianthus annus*)، گلرنگ (*Carthamus tinctorius*)، کلزا (*Brassica napus*)، شبدر (*Trifolium repens*)، اگروپایرون (*Agropyron smithii*)، فسکیوی بلند (*Festuca arundinacea*) و پوکسنلیا (*Puccinellia distance*)، در عمق ۱ تا ۲ سانتی‌متری سطح گلدان‌ها کشت شد. آفتابگردان، گلرنگ و کلزا به‌دلیل دارا بودن ارزش اقتصادی و نیز کشت توسط کشاورزان منطقه مورد مطالعه و سایر گیاهان نیز به‌سبب این‌که در منابع به‌عنوان گیاهان با قابلیت پالایش بالای هیدروکربن‌های نفتی معرفی شده‌اند، انتخاب شدند. در طول دوره آزمایش، رطوبت خاک‌ها در حد ظرفیت زراعی نگه داشته شد. برای این منظور زمان آبیاری طی چند روز اول دوره آزمایش از طریق نمونه‌برداری مستقیم از نمونه شاهد و تعیین وزنی رطوبت خاک و سپس در طول دوره به‌صورت تجربی و بر حسب مشاهده روزانه وضعیت گیاهان تعیین می‌شد. هم‌چنین آبیاری به گونه‌ای انجام می‌شد که آب از ته گلدان‌ها خارج نگردد. دمای حداکثر و حداقل روزانه گلخانه نیز ثبت گشت. در نهایت با شمارش روزانه تعداد بذرهای جوانه‌زده در طول دوره ۱۴ روزه، درصد و سرعت 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 و طی این زمان تغییرات ارتفاعی هر یک از گیاهان بررسی و ثبت گشت. پس از این دوره، گیاهان برداشت شده و جهت تعیین عملکرد ماده خشک گیاهی در دمای $80^{\circ}C$ در آون خشک گردیدند. برای تجزیه آماری داده‌ها نیز از نرم افزار SAS و آزمایش کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه‌ای کاملاً تصادفی و مقایسه میانگین‌ها به روش LSD استفاده شد.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.2.7]



شکل ۱. درصد جوانه زنی بذر گیاهان مورد مطالعه در تیمارهای C_0 (خاک غیر آلوده)، C_1 (نسبت وزنی ۱:۱، خاک آلوده : خاک غیر آلوده) و C_2 (نسبت وزنی ۱:۳، خاک آلوده : خاک غیر آلوده)

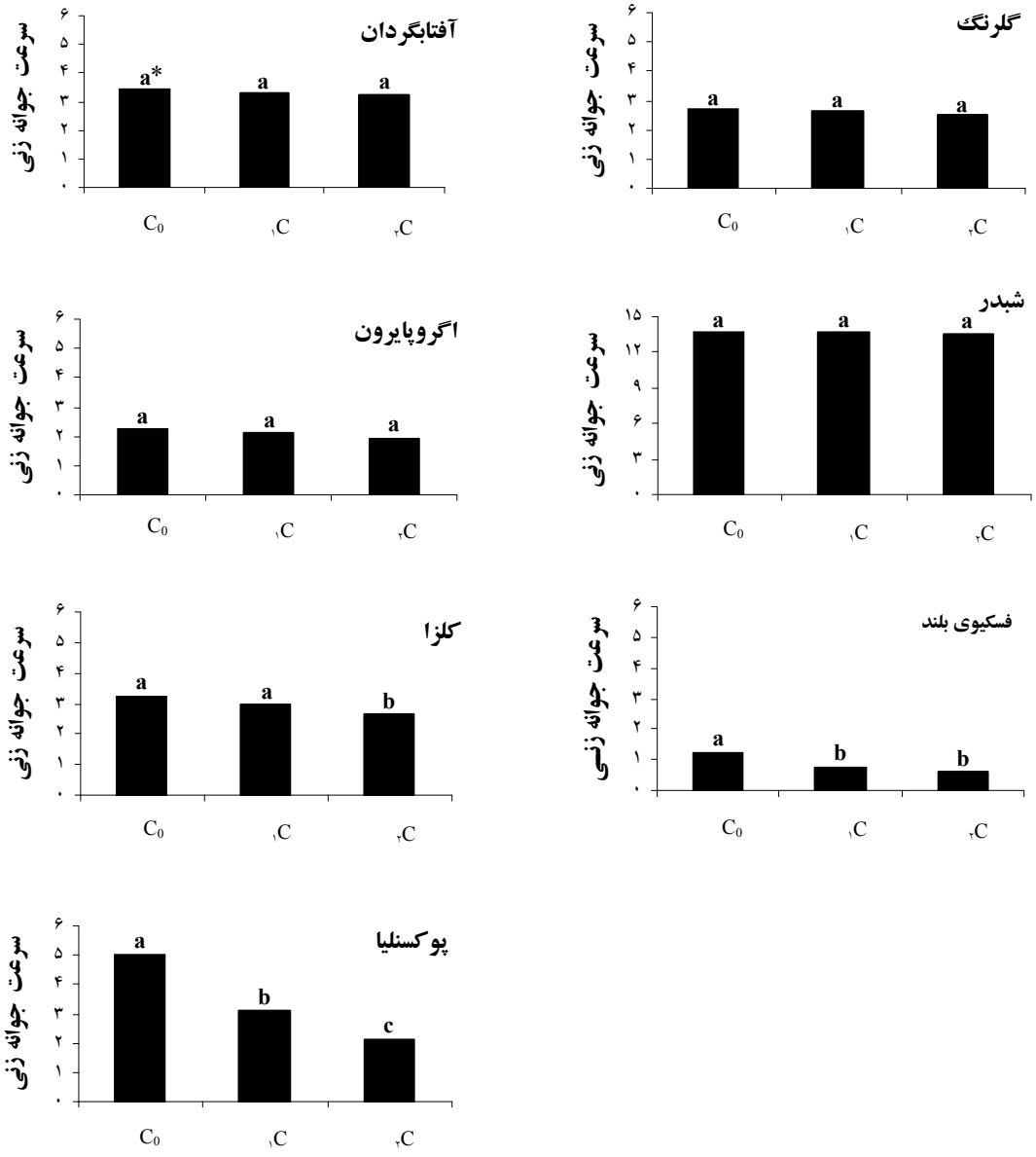
نتایج و بحث

درصد و سرعت جوانه‌زنی

متوسط حداکثر و حداقل درجه حرارت گل‌خانه برای طول دوره ۱۴ روزه مطالعات جوانه‌زنی به ترتیب ۳۷ و ۲۲ درجه سانتی‌گراد بود. شکل ۱ نشان‌دهنده چگونگی وضعیت جوانه‌زنی و شکل ۲ بیانگر سرعت جوانه‌زنی بذر گیاهان مورد مطالعه در تیمارهای مختلف سطوح آلودگی خاک طی دوره ۱۴ روزه می‌باشد. نتایج به‌دست آمده نشان دهنده عدم وجود اختلاف آماری در سطح ۵ درصد آزمون LSD برای جوانه‌زنی بذر گیاهان آفتابگردان، گلرنگ، اگروپایرون و شبدر در دو تیمار

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.2.7]



شکل۲. سرعت جوانه‌زنی بذر گیاهان مورد مطالعه در تیمارهای C_0 (خاک غیر آلوده)، C_1 (نسبت وزنی ۱:۱، خاک آلوده : خاک غیر آلوده) و C_2 (نسبت وزنی ۱:۳، خاک آلوده : خاک غیر آلوده). نمودارها با حداقل یک حرف مشترک، فاقد اختلاف آماری در سطح ۵ درصد آزمون LSD هستند.

C_1 و C_2 نسبت به تیمار C_0 می‌باشد. هم‌چنین این نتایج بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار آماری برای جوانه‌زنی گیاهان فسکیوی بلند و کلزا در تیمار C_2 در مقایسه با تیمارهای C_1 و C_0 است. برای گیاه پوکسنلیا نیز بین هر سه تیمار C_0، C_1 و C_2 تفاوت معنی‌دار آماری در میزان جوانه‌زنی مشاهده شد (جدول ۴). با توجه به شکل ۱ مشخص است که وجود آلاینده‌های نفتی در خاک در سطوح مختلف آلودگی C_1 و C_2 اثر قابل ملاحظه‌ای بر جوانه‌زنی آفتابگردان، گلرنگ، اگروپایرون و شبدر نداشت به شکلی که کاهشی در میزان جوانه‌زنی این گیاهان ناشی از وجود این ترکیبات آلاینده در خاک دیده نشد. هم‌چنین وجود این

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.2.7]

جدول۴. مقایسه میانگین‌های درصد جوانه‌زنی بذر گیاهان مورد مطالعه در تیمارهای مختلف

گیاه	تیمار C_o[۲]	تیمار C_1	تیمار C_2
آفتابگردان	۸۹/۵[a1]	۸۹/۱[a]	۸۶/۵[a]
گلرنگ	۸۶[a]	۷۶[a]	۷۲/۷[a]
کلزا	۷۲/۷[a]	۶۸/۸[a]	۶۳/۸[a]
شبدر	۷۷/۶[a]	۶۹/۳[a]	۶۱/۳[a]
اگروپایرون	۸۴/۵[a]	۷۳/۷[a]	۶۵[b]
فسکیوی بلند	۱۴/۷[a]	۲/۱[b]	۰/۹[b]
پوکسنلیا	۲۳/۵[a]	۱۲/۹[b]	۶/۹[c]

[1]: اعداد هر سطر که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون LSD هستند.

[2]: تیمار C_o (خاک غیر آلوده)، C_1 (نسبت وزنی ۱:۱، خاک آلوده : خاک غیر آلوده) و C_2 (نسبت وزنی ۱:۳، خاک آلوده : خاک غیر آلوده)

آلاینده‌ها در خاک نتوانست موجب تأخیر در شروع جوانه‌زنی بذر این گیاهان شود (شکل ۲).

این درحالی است که برای کلزا غلظت بالاتر هیدروکربن‌های نفتی در خاک در تیمار C_2، نه تنها موجب تأخیر در جوانه‌زنی گردید (شکل ۲)، بلکه سبب کاهش میزان جوانه‌زنی آن در طول دوره آزمایش نسبت به تیمارهای C_o و C_1 شد (شکل ۱). به شکلی که جوانه‌زنی در این تیمار با تأخیر ۳ روزه آغاز شد و کاهشی حدود ۲۳ درصدی در میزان جوانه‌زنی بذر آن در انتهای دوره دیده شد (شکل ۱). به‌نظر می‌رسد که این آلاینده‌ها در خاک به‌صورت یک لایه روغنی اطراف بذر را فرا گرفته و مانع از رسیدن اکسیژن و آب به آن شده و بنابراین سبب تأخیر و کاهش درصد جوانه‌زنی بذر گیاه شده‌اند (۱).

برای فسکیوی بلند نیز به‌نظر می‌رسد که بذر این گیاه نسبت به سایر گیاهان مورد مطالعه به‌سبب دارا بودن اندازه کوچک‌تر و بنابراین سطح تماس بیشتر بذر با خاک و آلاینده‌های نفتی موجود، تأخیر ۴ روزه و کاهش ۵۲ درصدی میزان جوانه‌زنی آن برای تیمار C_2 نسبت به تیمار C_o شده است. اما به‌نظر می‌رسد که غلظت‌های متفاوت آلاینده‌های نفتی در خاک (تیمارهای C_1 و C_2) اثر مشابهی بر ایجاد تأخیر در جوانه‌زنی بذر این گیاه داشته‌اند و بنابراین تفاوت قابل توجهی در میزان تأخیر در جوانه‌زنی بذرها برای دو تیمار C_1 و C_2 نسبت به یکدیگر دیده نشد (شکل ۲). اما کاهش ۲۵ درصدی میزان جوانه‌زنی در انتهای دوره آزمایش برای تیمار C_2 نسبت به تیمار C_1 دیده شد و بنابراین به‌نظر می‌رسد که غلظت‌های متفاوت این آلاینده‌ها در خاک، اثر خود را در کاهش میزان جوانه‌زنی بذرها در طول دوره آزمایش نمایان کرده‌اند (شکل ۱). در گیاه پوکسنلیا نیز مانند گیاه فسکیوی بلند، جوانه‌زنی با تأخیر بیشتری نسبت به سایر گیاهان آغاز شد و وجود هیدروکربن‌های نفتی در خاک موجب کاهش میزان جوانه‌زنی بذرهای این گیاه در طول دوره آزمایشی شد و از سویی مقدار تأخیر و کاهش درصد جوانه‌زنی بذر برای تیمار C_2 نسبت به تیمار C_1 بیشتر بود. به شکلی جوانه‌زنی بذرها برای تیمار C_1 با تأخیر ۴ روزه و برای تیمار C_2 با تأخیر ۵ روزه نسبت به تیمار C_o آغاز شد. هم‌چنین کاهش حدود ۳۲ و ۵۶ درصدی در میزان جوانه‌زنی بذرها به ترتیب برای تیمارهای C_1 و C_2 نسبت به تیمار C_o دیده شد (شکل ۱). در این گیاه نیز به‌نظر می‌رسد که وجود آلاینده‌های نفتی با غلظت بالاتر، اثر بیشتری بر ایجاد تأخیر در جوانه‌زنی بذرها داشته و بنابراین سطوح مختلف آلودگی اثر متفاوتی بر شروع جوانه‌زنی بذرها داشته‌اند.

مطالعات وسیع دیگری نیز روی مقاومت یا حساسیت گیاهان مختلف نسبت به سمیت ناشی از وجود هیدروکربن‌های نفتی در گذشته انجام شده است (۴، ۶، ۹ و۲۹). به شکلی که گوریت و کابان در مطالعات خود دریافتند که گونه‌های مختلف

[Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.2.7]

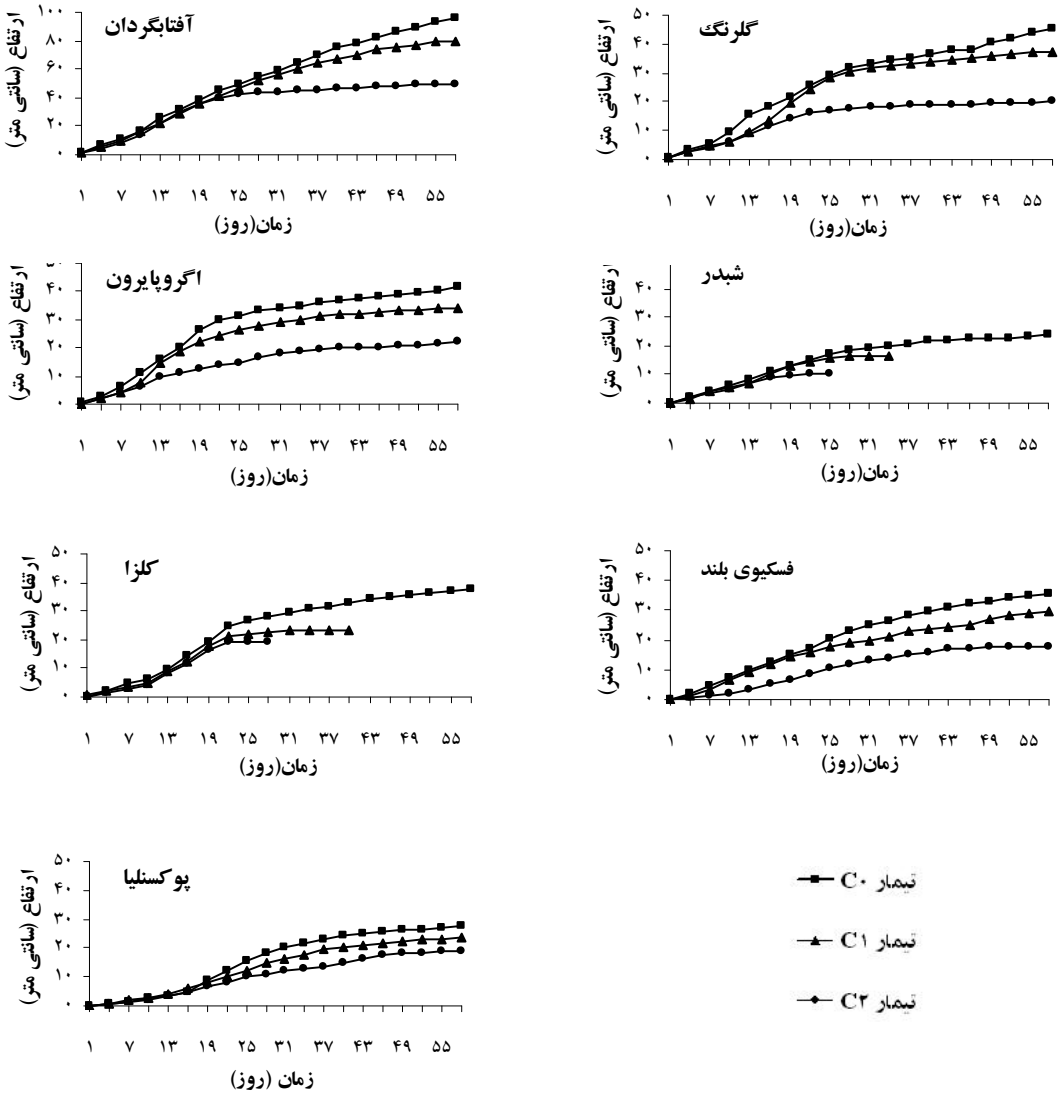
خانواده آمبلی فرا نسبت به هیدروکربن‌های نفتی سبک مقاوم بودند درحالی که گیاهان علفی نسبت به این ترکیبات با وزن مولکولی پایین حساسیت نشان دادند (۹). چراکه این ترکیبات کوچک و سبک قادرند به سادگی از غشای سلولی عبور کرده و سبب ایجاد سمیت در گیاه شوند (۲۸). هم‌چنین حضور این ترکیبات و سایر هیدروکربن‌های نفتی در خاک به‌صورت غیر مستقیم بر قابلیت جذب آب و عناصر غذایی برای بذر گیاه و در نتیجه جوانه‌زنی و رشد آن اثر گذار است (۲۱). برای مثال هنر و همکاران در مطالعات خود به تأخیر ایجاد شده در جوانه‌زنی بذر گیاه *Lotus coniculatus* در حضور ۱۵۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای در خاک اشاره کردند (۱۳). هم‌چنین سایدیکوی و آدامز تأخیر در جوانه‌زنی و کاهش درصد جوانه‌زنی بذر گیاه رای گراس دایمی را با افزایش غلظت هیدروکربن‌های نفتی از صفر تا ۱۳۶ میلی گرم بر کیلوگرم گزارش نمودند (۲۳). میلا و کلوت هم نشان دادند که با افزایش غلظت هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای از ۵۰ به ۱۰۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم، درصد جوانه‌زنی بذر گیاه *Lepidium sativum* به ترتیب به کمتر از ۷۵ و ۱۶ درصد رسید (۱۸). چینیو و همکاران نیز در مطالعات خود به کاهش سرعت جوانه‌زنی بذر همه ۷ گیاه مورد مطالعه خود شامل گندم، جو، آفتابگردان، ذرت، لوبیا، شبدر و کاهو در حضور آلاینده‌های نفتی در خاک اشاره داشته و بیان کردند که مقاومت بذر در برابر وجود این آلاینده‌ها در خاک برای آفتابگردان > لوبیا> گندم> شبدر> ذرت> جو> کاهو بود. هم‌چنین ایشان بیان داشتند که ترکیبات سبک‌تر نفتی به‌سبب آن‌که قادر به عبور از دیواره و غشای سلولی بذر و اثر بر جنین بذر و واکنش‌های متابولیسمی درون بذر هستند، اثری بیشتری نسبت به ترکیبات سنگین‌تر نفتی در خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی دارند (۴). ترژ نیز مقاومت بذر گیاهان مختلف در برابر حضور آلاینده‌های نفتی در خاک را مستقیماً به خصوصیات دیواره سلولی و مقاومت آن در برابر عبور این آلاینده‌ها به درورن بذر وابسته می‌داند (۲۶). آدام و دانکن نیز با مطالعه ۲۵ گونه گیاهی مختلف شامل گیاهان زراعی، علفی و لگومینه در خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی دریافتند که میزان و چگونگی جوانه‌زنی این گیاهان تا حد قابل توجهی به جنس گیاه وابسته بوده اما در عین حال حساسیت به این ترکیبات آلاینده در بین گیاهان مربوط به یک خانواده خاص هم متفاوت است (۱).

رشد و عملکرد ماده خشک گیاهان مورد مطالعه

شکل ۳ نشان‌دهنده چگونگی تغییرات ارتفاعی اندام هوایی گیاهان مورد مطالعه در طول دوره ۸ هفته‌ای پس از جوانه‌زنی بذر آنها می‌باشد. نتایج میزان عملکرد ماده خشک گیاهی و مقایسه میانگین‌ها برای این گیاهان در ۳ سطح آلودگی C_0، C_1 و C_2 نیز درجدول ۵ آمده است. با توجه به شکل ۳ مشخص است که وجود هیدروکربن‌های نفتی در خاک در غلظت‌های متفاوت سبب کاهش رشد کلیه گیاهان شد که این کاهش رشد برای غلظت بالاتر هیدروکربن‌های نفتی در تیمار C_2 نسبت به تیمار C_1 مشهودتر بود. از سویی به‌نظر می‌رسد که گیاهان شبدر و کلزا اگرچه دارای قدرت جوانه‌زنی بالایی در این خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی بودند (شکل ۱) ولی در طول دوره رشد نسبت به وجود این آلاینده‌ها در خاک حساسیت نشان داده و قادر به مقاومت در برابر وجود آنها در خاک و ادامه رشد نبوده و بنابراین خشک شدند و فاقد عملکرد ماده خشک گیاهی در انتهای دوره آزمایش بودند (شکل ۳). هم‌چنین گلرنگ و آفتابگردان هم نسبت به غلظت‌های متفاوت آلاینده‌های نفتی موجود، پاسخ متفاوت نشان دادند. به شکلی که میزان کاهش رشد و عملکرد ماده خشک گیاهی برای این دو گیاه در تیمار C_2 بیشتر از تیمار C_1 در مقایسه با تیمار C_0 بود و کاهش حدود ۶۰ و ۷۳ درصدی عملکرد ماده خشک گیاهی برای گلرنگ و ۲۷ و ۵۰ درصدی برای آفتابگردان به ترتیب در تیمارهای C_1 و C_2 نسبت به تیمار C_0 دیده شد. این درحالی است که کاهش رشد و عملکرد ماده خشک گیاهی برای فسکیو و اگروپایرون فقط در تیمار C_2 نسبت به تیمار C_0 مشاهده شد و در تیمار C_1 نسبتاً ناچیز بود (شکل ۳). اما برای پوکسنلیا،

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.2.7]



شکل۳. تغییرات ارتفاعی و رشد گیاهان مورد مطالعه در تیمارهای C_0 (خاک غیر آلوده)، C_1 (نسبت وزنی ۱:۱، خاک آلوده : خاک غیر آلوده) و C_2 (نسبت وزنی ۱:۳، خاک آلوده : خاک غیر آلوده)

جدول ۵ . مقایسه میانگین‌های وزن خشک (میلی‌گرم بر گلدان) گیاهان مختلف در سطوح مختلف آلودگی

گیاه	تیمار C_0	تیمار C_1	تیمار C_2
آفتابگردان	۲۸۷۵[a1]	۲۱۲۱[b]	۱۴۵۷[c]
گلرنگ	۹۷۴[a]	۵۸۵[b]	۲۶۴[c]
کلزا	۵۶۵[a]	ب.ع	ب.ع
شبدر	۴۳۷[a]	ب.ع	ب.ع
اگروپایرون	۱۲۲۱[a]	۹۳۱[a]	۶۰۱[b]
فسکیوی بلند	۸۵۶[a]	۶۴۹[a]	۲۸۳[b]
پوکسنلیا	۶۴۱[a]	۵۸۹[a]	۴۸۷[a]

۱. اعداد هر سطح با حداقل یک حرف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون LSD هستند.
۲. ب.ع : بدون عملکرد ماده خشک گیاهی

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-18]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.2.7]

اختلاف معنی‌داری مبنی بر کاهش رشد و عملکرد ماده خشک گیاهی در هیچ یک از سطوح آلودگی C_1 و C_2 نسبت به تیمار C_0 دیده نشد (جدول ۵). بنابراین به‌نظر می‌رسد که اگرچه گیاهان آفتابگردان، گلرنگ، شبدر و کلزا دارای جوانه‌زنی نسبتاً مناسب بوده و وجود هیدروکربن‌های نفتی در خاک نتوانسته بر جوانه‌زنی آنها اثر گذار باشد ولی در هر حال وجود این آلاینده‌ها در خاک مانع از رشد مناسب و عملکرد بالا در این گیاهان شده و لذا جهت استفاده در مطالعات بعدی گیاه پالایی خاک‌های آلوده به نفت منطقه مورد مطالعه قابل توجه نیستند. این در حالی است که گیاهان فسکیو، اگروپایرون و پوکسنلیا اگرچه وجود هیدروکربن‌های نفتی در خاک بر وضعیت جوانه‌زنی آنها اثر گذار بوده است ولی به‌سبب دوام مناسب و عملکرد ماده خشک گیاهی نسبتاً مناسب استفاده آنها در مطالعات بعدی گیاه پالایی خاک‌های آلوده منطقه را ممکن می‌سازد.

چینیو و همکاران نیز در مطالعات خود به کاهش معنی‌دار در رشد ۷ گیاه مورد مطالعه خود شامل گندم، جو، آفتابگردان، ذرت، لوبیا، شبدر و کاهو در حضور آلاینده‌های نفتی در خاک اشاره کردند و بیان نمودند که این کاهش رشد و عملکرد ماده خشک گیاهی با افزایش غلظت این آلاینده‌های آلی به‌صورت غیر خطی افزایش یافت. ایشان کاهش ۳۰ درصدی رشد ذرت پس از یک دوره ۱۱۰ روزه در غلظت ۱/۲ درصدی TPHs در خاک و کاهش بیش از ۸۰ درصدی رشد و عملکرد گندم و لوبیا در غلظت ۰/۳ درصدی TPHs را ناشی از سمیت ایجاد شده به‌سبب وجود این آلاینده‌های آلی در خاک و هم‌چنین ایجاد محدودیت در رشد و توسعه ریشه و کاهش قابلیت جذب آب و عناصر غذایی برای این گیاهان می‌دانند (۴). جانر و لیوال نیز در مطالعات خود نشان دادند که رشد گیاه شبدر در حضور ترکیبی از آنتراسن، کریزن و دی بنزن آنتراسن کاهش یافت در حالی که وجود این ترکیبات در خاک بر رشد و عملکرد گیاه *Lolium prenne* فاقد اثر معنی‌دار بود (۱۴). اسمیت و همکاران با مطالعه جوانه‌زنی و رشد ۷ گونه گیاهی در خاک‌های که با ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای آلوده شده بودند، کاهش معنی‌داری در رشد و عملکرد ماده خشک گیاهی برای ۳ گونه *F. rubra*، *L. cotinculatus* و *T. pretense* مشاهده کردند(۲۴). مطالعات متعدد دیگر نیز به وجود ارتباط مستقیم بین جوانه‌زنی ضعیف و عدم رشد و عملکرد مناسب گیاهان مختلف در خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی اشاره داشته‌اند (۴). در مقابل برخی دیگر از مطالعات نیز نشان داده‌اند که اگرچه وجود این ترکیبات در خاک نتوانسته بر جوانه‌زنی برخی از گیاهان اثر گذار باشد ولی موجب کاهش رشد و عملکرد آنها شده است (۱۶).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش گویای آن است که انجام مطالعات جوانه‌زنی به تنهایی نمی‌تواند نمایانگر وضعیت رشد نهایی و تضمین کننده بقای گیاهان مورد مطالعه در پالایش خاک‌های آلوده به نفت موجود در منطقه باشد. به شکلی که برخی از گیاهان اگرچه دارای قدرت جوانه‌زنی بالا و مناسب در این خاک‌ها بوده‌اند، ولی قادر به مقاومت و بقای و تکمیل دوره رشد خود در این خاک‌های آلوده نبوده و یا رشد و عملکرد آنها به حد قابل توجهی کاهش یافته است و بنابراین انجام مطالعات تکمیل کننده جوانه‌زنی، یعنی بررسی وضعیت رشد پس از جوانه‌زنی بذر جهت انتخاب گیاه مناسب و استقرار پوشش گیاهی مطلوب جهت گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی، امری الزامی و اجتناب ناپذیر می‌باشد.

منابع مورد استفاده

1. Adam, G. and H. Duncan. 2002. Influence of diesel fuel on seed germination. J. Environ. Pollut. 120: 363-370.
2. Anderson, T. and A. Coats. 1999. Bioremediation Through Rhizosphere Technology. American Chemical Society, Washington, DC.
3. April, W. and R.C. Sims. 1990. Evaluation of prairie grasses for stimulating polycyclic aromatic hydrocarbon

[Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.2.7]

treatment in soil. Chemosphere 20:253-265.
4. Chaineau, C.H., J.L. Morel and J. Oudot. 1997. Phytotoxicity and plant uptake of fuel oil hydrocarbons. J. Eviron. Qual. 26: 1478-1483.
5. Christopher, S., P. Hein, J. Marsden and A.S. Shurleff. 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.
6. Currier, H.B. 1951. Herbicidal properties of benzene and certain methyl derivatives. J. Hilgardia. 20(19): 383– 406.
7. Davis, L.C., L.E. Ericloson, E. lee, J.F. Shimp and J.C. Tracy. 1993. Modeling the effects of plants on the bioremediation of contaminated and ground water. J. Environ. Progr. 12:67-75.
8. Gao, Y.Z. and L.Z. Zhu. 2004. Plant uptake, accumulation and translocation of phenanthrene and pyrene in soils. Chemosphere 55:1169–78.
9. Gauvrit, C. and F. Cabanne. 1993. Oils for weed control: Uses and mode of action. J. Pesticide Sci. 37:147–153.
10. Gevao, B., K.C. Jones and T.J. Hamilton. 1998. Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) deposition in a small rural lake Cumbria, UK. Sci. J. Total Environ. 215: 231– 42.
11. Haeseler, F., D. Blanchet, V. Druelle, P. Werner and J.P. Vandecasteele. 1999. Ecotoxicological assessment of soils of former manufactured gas plant sites: bioremediation potential and pollutant mobility. J. Environ. Sci. Technol. 33(24):4379– 84.
12. Harris, J.A., P. Birch and J. Palmer. 1996b. Land Restoration and Reclamation: Principles and Practice. Addison Wesley/Longman Ltd.
13. Henner, P., M. Schiavon V. Druelle. and E. Lichtfouse. 1999. Phytotoxicity of ancient gas work soils. Effect of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) on plant germination. J. Organic Geochem. 30:963-969.
14. Joner, E.J. and C. Leyval. 2001. Influence of arbuscular mycorrhiza on clover and ryegrass grown together in a soil spiked with polycyclic aromatic hydrocarbons. J. Mycorrhiza. 10:155-159.
15. Joner, E.J., A. Johansen, M.A.D. Cruz, O.J.H. Szolar, A. Loibner and J.M. Portal. 2001. Rhizosphere effects on microbial community structure and dissipation and toxicity of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) in spiked soil. J. Environ. Sci. Technol. 35:2773–2777.
16. Li, X., Y. Feng and N. Sawatsky. 1997. Importance of soil water relations in assessing the endpoint of bioremediated soils. J. Plant Soil 192: 219- 226.
17. Lombi, E., F.J. Zhao. S.J. Dunhom and S.P. McGrath Zool. 1999. Phytoremediation of Heavy metal-Contaminated soils. Natural Hyper accumulation versus chemically Enhanced phytoextraction. J. Environ. Quall. 30:1919-1926.
18. Maila, M.P. and T.E. Cloete. 2002. Germination of *Lepidium sativum* as a method to evaluate polycyclic aromatic hydrocarbons removals from contaminated soil. J. Int. Biodeter. and Biodegrad. 50:107-113.
19. Minnich, M.M. and M.B. Mebride. 1986. Effect of copper activity on carbon and nitrogen mineralization in field-aged copper enriched soil. J. Soil Boil. 91:231-340.
20. Nicolotti, G. and S. Eglis. 1998. Soil contamination by crud oil: Impact on the mycorrihizosphere and on the vegetation potential of forest trees. J. Environ. Pollut. 99:37-43.
21. Reilley, K. A., M.K. Banks and A.P. Schwab. 1996. Dissipation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the Rhizosphere. J. Environ Qual. 25:212-219.
22. Ryan, K.M., Mary. K. and M. Firestone. 2001. Enhanced phenanthrene biodegradation in soil by slender oat root exudates and root debris. J. Environ. Quall. 30:1911–1918.
23. Siddiqui, S. and W. A. Adams. 2001. The fate of diesel hydrocarbons in soils and their effect on the germination of Perennial Ryegrass. J. Environ. Pollut. 118:49-62.
24. Smith, M.J., T.H. Flowers.,H.J. Duncan and J. Alder. 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. Pollut. 101:1-7.
25. Smreczak, B. and B. Maliszewska-Kordybach. 2003. Seeds germination and root growth of selected plants in PAH contaminated soil. J. Fresenius Environ. Bull. 12:946-949.
26. Terje, K. 1984. Effects of oil pollution on the germination and vegetative growth of five species of vascular plant. J. Oil Petrol Pollut. 2:25-30.
27. 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.
28. Van Overbeek, J. and R. Blondeau. 1954. Mode of action of phytotoxic oils. Weeds 55–65.
29. Warner, M.L., R.H. Sauer and D.W. Carlile. 1983. Barley growth in coal liquid and diesel liquid fuels from coal and oil: a comparison of potential toxic effects on barley. J. Water, Air Soil Pollut. 22:47–55.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.2.7]