

اثر کمپوست و باکتری محرک رشد در بهبود شرایط رشد گیاه استبرق (*Calotropis Procera*) در خاک آلوده به نفت خام

کیوان ولی زاده راد، بابک متشروع زاده^۱ و حسینعلی علیخانی

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران. k.valizadeh@ut.ac.ir

دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران. moteshare@ut.ac.ir

استاد گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران. halikhan@ut.ac.ir

دریافت: دی ۱۳۹۳ و پذیرش: خرداد ۱۳۹۴

چکیده

با توجه به اینکه ایران یکی از بزرگترین تولیدکننده‌های نفت خام در دنیا به شمار می‌رود، لذا در حین عملیات‌های مختلف، خاک در معرض آلودگی به نفت خام و مشتقات آن قرار می‌گیرد. استفاده از روش‌هایی که در آن از گیاه و ریزسازواره به صورت همزمان استفاده شود می‌تواند به عنوان یک راه حل مبتکرانه باشد. این تحقیق با هدف بررسی تأثیر کاربرد ماده‌آلی و باکتری محرک رشد گیاه بر پالایش خاک آلوده توسط یک گونه درختچه‌ای بومی ایران، اجرا گردید. تیمارها شامل نفت خام (در چهار سطح: ۰، ۱، ۲ و ۳ درصد وزنی)، کمپوست زباله شهری (در سه سطح: ۰، ۵ و ۱۰ درصد حجمی) و باکتری (در دو سطح: شاهد-بدون باکتری- و دارای باکتری *Pseudomonas*) بود. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که در تمام سطوح آلودگی، تیمارهای دارای باکتری *Pseudomonas* و کمپوست نسبت به تیمارهای شاهد (بدون باکتری و بدون کمپوست) دارای رشد بهتری بودند و از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید. بیشترین وزن خشک شاخساره و ریشه و همچنین ارتفاع گیاه در تیمار ۱ درصد آلودگی دارای باکتری *Pseudomonas* و ۱۰ درصد کمپوست به ترتیب به میزان ۴/۰۵، ۰/۹۱ گرم و ۶۲ سانتی‌متر مشاهده گردید که بیانگر تأثیر مثبت کمپوست و عامل زیستی (باکتری) در افزایش رشد گیاه استبرق تحت آلودگی هیدروکربن‌های نفتی بود.

واژه‌های کلیدی: آلودگی محیط زیست، پالایش سبز، پالایش زیستی، تلقیح باکتری، توسعه پایدار.

مقدمه

به شدت در معرض آلوده شدن به فرآورده‌های نفتی قرار دارد و هر سال مقدار زیادی نفت از نقاط جنوبی آن استخراج و در مناطق دیگر پالایش می‌شود (BP Statistical Review of World Energy, 2013). تغییر در جمعیت موجودات خاکزی اثر مستقیم و غیرمستقیم بر سلامت و بقاء گیاهان و بالطبع زیست‌بوم آن دارد (آلارکن و همکاران، ۲۰۰۸). ضمن آنکه باکتری‌ها و سایر موجودات زنده ذره‌بینی خاک با تجمع و تغییر فرم عناصر سنگین و ترکیبات سمی دیگر، می‌توانند در زیست‌فراهمی این عناصر تغییر ایجاد کنند. در نتیجه کاهش شمار این موجودات زنده ذره‌بینی در نتیجه تنش‌ها، با تاثیر بر زیست‌فراهمی عناصر، در جذب و انتقال آنها موثر خواهد بود (ریلی و چاون، ۲۰۰۷). بر این اساس، باید، راهکارهای مناسبی جهت حذف یا کنترل آلاینده‌های خاک اتخاذ شود.

به‌منظور پالایش آلودگی خاکها، روشهای مختلف شامل روشهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد اما کارایی و هزینه‌های مربوط به روشهای فیزیکی و شیمیایی چندان مطلوب نبوده و طبقات ناشی از اثرات منفی آنها بر محیط‌زیست سبب شده تا محققان بدنبال توسعه روشهایی نظیر گیاه‌پالایی ارتقاء یافته^۲ باشند که ضمن کارایی مناسب و مطلوب، دوستدار محیط زیست نیز باشد (متشرع زاده و ثواقبی، ۱۳۹۴). از آنجایی که هزینه‌های پالایش، عامل مهمی در انتخاب روش پاکسازی آلودگی به‌شمار می‌رود، هزینه پایین گیاه‌پالایی سبب توسعه کاربرد آن می‌شود. در این زمینه شهریاری و همکاران (۱۳۸۵) در آزمایشی تاثیر مخلوط گیاه یونجه و فسکیو بر خاک آلوده به غلظت‌های مختلف نفت خام (۱، ۳، ۷ و ۱۰ درصد) برای مدت ۱۲۰ روز مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد، در غلظت بالای نفت تا پنج درصد، تعداد کل باکتری‌ها نسبت به شاهد و غلظت‌های پایین نفت افزایش یافت ولی بین غلظت‌های ۵، ۷ و ۱۰ درصد از این نظر اختلاف

آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از فعالیت‌های بشر، بخشی از شیوه زندگی انسان‌ها در جهان صنعتی می‌باشد. انقلاب صنعتی قرن نوزدهم همراه با رفاه مادی که برای انسان‌ها به ارمغان آورد، باعث انتشار مواد مضر به محیط زیست گردید. تجمع این مواد زیان‌آور در اجزاء محیط زیست، آلودگی آن را به دنبال داشت. تجمع آلاینده‌ها در هوا، آب، رسوبات، خاک‌ها و موجودات زنده می‌تواند خسارت‌های قابل توجهی در مقیاس منطقه‌ای و جهانی به سلامت انسان‌ها و محیط‌زیست وارد سازد (خان، ۲۰۱۲). در دهه‌های اخیر فرآیندهای تخریب خاک تبدیل به مشکلات جدی و اساسی برای زندگی بشر شده و پیامدهای زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی عمده‌ای را به بار آورده است. از آنجایی که جمعیت جهان رو به افزایش می‌باشد، حفاظت خاک به عنوان منبع حیاتی به‌ویژه برای تولید غذا و پایداری محیط زیست بسیار حائز اهمیت است. یکی از عواملی که کیفیت و سلامت خاک را تهدید می‌کند آلودگی خاک با آلاینده‌های هیدروکربنی می‌باشد. چشم انداز نگران کننده و پیامدهای منفی فعالیت‌های نفتی خصوصا در کشورهای در حال توسعه تولید کننده نفت خام، امکان آلودگی منطقه مورد بهره‌برداری و حتی مناطق دیگر را میسر می‌سازد (ویلی، ۲۰۰۶).

ایران در پایان سال ۲۰۱۲ با توجه به دارا بودن ۹/۴ درصدی از منابع نفتی جهان (با ۱۵۷ هزار میلیون بشکه ذخایر نفتی و سه میلیون و ۶۸۰ هزار بشکه در روز) و افزایش ۱/۷ درصدی ظرفیت پالایشگاه‌های ایران نسبت به سال ۲۰۱۱ و تولید پتروشیمی حدود ۳۰ میلیون تن در سال، وجود بیش از ۲۵۰۰۰ کیلومتر خطوط انتقال نفت و گاز، دارا بودن بیش از ۱۳۰۰ ایستگاه انتقال سوختگیری و ۱۰۰۰۰۰ تانکر حمل نفت و فرآورده‌های نفتی، رتبه‌ی نخست دنیا را در افزایش ظرفیت پالایش نفت خام کسب کرده و یکی از بزرگترین تولیدکنندگان انواع فرآورده‌های نفتی در جهان به شمار می‌آید. به همین دلیل کشور ما نیز

² Enhanced Phytoremediation

میزان و نوع ترشحات ریشه‌ای و میزان سطح موثر ریشه این گیاه باشد.

برهمکنش متقابل خاک و ریشه گیاهان فاکتور اساسی موفقیت گونه‌های گیاهی در تحمل و حذف آلودگی نفتی خاک است. ارتباط گیاهان و میکروب‌های خاک آلوده از طریق ترشحات ریشه منجر به اثرات ریزوسفری می‌شود که نتیجه آن تجزیه ترکیبات نفتی خاک در محیط ریشه است. گیاهان نیز جمعیت میکروب‌های محیط ریشه را با ترشحات کربنی، آنزیمی، مواد مغذی، انرژی و گاهی اوقات اکسیژن تحریک و حمایت می‌کنند (کیارستمی و همکاران، ۱۳۹۲). لذا انجام راهکارهایی که در طی آن سبب پشتیبانی گیاه و همینطور ریزسازواره‌ها در شرایط تنش و آلودگی باشد، می‌تواند موفقیت در پالایش خاک‌ها را بهبود بخشد. از آنجایی که یکی از مهمترین محدودیت‌های رشد گیاه و استفاده از فناوری گیاه پالایی در اراضی آلوده به ترکیبات نفتی، عدم نفوذپذیری خاک (به علت آبریزی ترکیبات نفتی) می‌باشد، در این پژوهش، سطوح مختلف ماده آلی به‌عنوان جاذب رطوبت، تهویه و کمک به ازدیاد فعالیت‌های زیستی در خاک مورد توجه قرار گرفت. این تحقیق با هدف بررسی رشد یک گیاه درختچه‌ای و صنعتی و بومی ایران با بهره‌گیری از کمپوست زباله شهری و عامل زیستی (باکتری تجزیه کننده نفت خام) و مقایسه آن با سایر تحقیقات مشابه برای ارائه راه حلی به منظور پالایش اراضی آلوده به نفت خام و زیر کشت بردن این خاک‌ها، صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها

برای بررسی پتانسیل رشد گیاه استبرق در خاک آلوده به نفت خام با هدف پالایش و استفاده از این خاک‌ها موارد زیر اجرا گردید:

نمونه‌برداری خاک: به منظور تهیه خاک غیر آلوده، نمونه‌برداری از خاک مزرعه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران (از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر) صورت

معنی‌داری دیده نشد. شمارش تعداد باکتری‌های نفت خوار خاک نیز نشان داد که بیشترین تعداد باکتری‌های نفت خوار در خاک با آلودگی هفت درصد و در حضور گیاه یونجه دیده شد. مقایسه کاهش نفت خام در نمونه‌های خاک دارای گیاه و غلظت متناظر آن‌ها در نمونه‌های فاقد گیاه نشان داد که در نمونه‌های دارای گیاه، کاهش نفت خام بیشتر بود. همچنین کمترین زیست‌توده در غلظت ۱۰ درصد نفت خام مشاهده کردند. زند و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی پارامترهای رفتاری پنج گونه گیاهی یونجه، کرچک، آفتابگردان، کتان و ذرت بلالی در خاک آلوده به مواد نفتی و توانایی آن‌ها در حذف ترکیبات نفتی از خاک پرداختند.

نتایج نشان داد، جوانه زنی گونه ذرت بلالی در خاک های آلوده به ترکیبات نفتی، حساسیت کمتری نسبت به سایر گونه های مورد بررسی دارد. آلودگی خاک به هیدروکربن‌های نفتی جوانه زنی، طول ریشه، ارتفاع اندام هوایی و بیومس خشک ریشه و اندام هوایی را به طور قابل ملاحظه‌ای در اغلب گیاهان کاهش داد. در عین حال کود پیت دارای تأثیر مثبت بر پارامترهای رفتاری غالب گیاهان مورد بررسی بود. تأثیر کود حیوانی و خاکبرگ در بیشتر گیاهان چشمگیر نبود.

نتایج سروی مغانلو و همکاران (۱۳۹۱) حاکی از افزایش میزان تجزیه ترکیبات نفتی در حضور قارچ‌های میکوریزا و باکتری‌های تجزیه کننده بود که علت این امر بهبود شرایط محیط خاک برای فعالیت ریزسازواره‌های خاک بود. مللی و همکاران (۱۳۹۰) گزارش کردند که با افزایش میزان لجن میزان هیدروکربن‌های نفتی در ریزوسفر گیاه تال فسکو و آگروپایرون به ترتیب ۶۵ و ۵۵ درصد کاهش یافت که علت این امر می‌تواند ترشحات ریشه‌ای گیاهان و بهبود شرایط تجزیه هوازی در خاک و همینطور افزایش فعالیت جمعیت میکروبی می‌تواند باشد و علت تجزیه بیشتر گیاه تال فسکو هم می‌تواند به علت مقاوم بودن این گیاه به ترکیبات آلاینده نفتی و همچنین

این انتخاب، پس از کشت در محیط کشت پایه معدنی به اضافه نفت خام و نگهداری به مدت یک ماه، جدایه برتر، انتخاب شد (مارکوتز و همکاران، ۲۰۰۱). پس از پایان گرماگذاری، بذور گیاه استبرق (پنج بذر در هر گلدان) ابتدا با الکل ۷۰ درصد و به مدت یک دقیقه استریل سطحی شدند، سپس با یک میلی‌لیتر (به ازای هر بذر) از مایه تلقیح باکتری جداسازی شده با جمعیت $10^8 \times 1/5$ cfu/ml گیاهچه استبرق تا پایان دوره رشد نگهداری شد. تامین رطوبت مورد نیاز خاک به روش وزنی و به مقدار ۰/۸-۰/۷ ظرفیت زراعی (FC) صورت گرفت. کود دهی خاک بر اساس نتایج آزمون خاک و با کود کامل با نسبت عنصری ۲۰-۱۰-۲۰ (NPK تهیه شده از شرکت یارا) صورت گرفت.

گیاهان در گلخانه با شرایط طبیعی در دمای بیشینه ۳۵ درجه سانتیگراد و کمینه ۲۰ درجه سانتیگراد به مدت چهار ماه نگهداری شدند. وزن خشک شاخساره و ریشه با ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ گرم، طول گیاه با خط کش، قطر گیاه با کولیس و شاخص کلروفیل با دستگاه کلروفیل متر مدل SPAD-50 اندازه‌گیری شد (فاکاریا، ۲۰۰۹، زند و همکاران، ۲۰۱۰). تجزیه و تحلیل داده‌ها و مقایسه میانگین بین تیمارها با استفاده از نرم افزار SAS 9.2 صورت گرفت و نمودارها نیز با نرم افزار Excel 2010 رسم گردید.

گرفت. پس از آماده‌سازی خاک و عبور از الک دو میلی‌متری، خصوصیات فیزیکی-شیمیایی خاک به روش‌های استاندارد در آزمایشگاه گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران تعیین گردید (جدول ۱).

آزمایش گیاه پالایی ارتقاء یافته: بدین منظور آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و شامل فاکتورهای زیر انجام شد:

فاکتور اول: ماده آلی (کمپوست زباله شهری تهیه شده از شرکت نوین بهار استان مرکزی) در سه سطح (شاهد، ۵ و ۱۰ درصد حجمی) (وانگ و همکاران، ۲۰۱۲).

فاکتور دوم: تیمار زیستی (باکتری) در دو سطح (شاهد و یک جدایه مقاوم به آلودگی و تجزیه‌کننده هیدروکربن‌های نفتی) (ناجی راد و همکاران، ۱۳۸۶).

فاکتور سوم: سطح آلودگی خاک به ترکیبات نفتی: (شاهد، ۱، ۲، ۳ و درصد وزنی آلودگی به نفت خام) (شهریاری و همکاران، ۱۳۸۵).

به منظور رسیدن به شرایط طبیعی، پس از اعمال تیمارهای مختلف نفت و کمپوست، خاکها به مدت دو ماه در دمای ۳۵-۳۰ درجه گرماگذاری (انکوباسیون) و نگهداری شدند تا به شرایط طبیعی نزدیک‌تر گردد. از بین جدایه‌های موجود (استخراج شده از خاک‌های آلوده پالایشگاه نفت تهران) در بانک ژن گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران با انجام آزمون پیش تیمار، یک جدایه برتر که بیشترین توان تجزیه ترکیبات نفتی را داشت (۳۸/۷۱ درصد تجزیه نفت خام) انتخاب شد. برای انجام

جدول ۱- برخی نتایج تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

| ویژگی | مقدار | پارامتر | مقدار |
|------------------------|---------|------------------------|--------|
| pH | ۸ | P (mg/kg) | ۱۱/۹۳ |
| ECe (dS/m) | ۱/۶۸ | K (mg/kg) | ۱۳۸/۷۷ |
| نیترژن کل (%) | ۰/۱ | Fe (mg/kg) | ۷/۲ |
| ماده آلی (%) | ۰/۹۶ | Zn (mg/kg) | ۴/۶۸ |
| کلاس بافت | لوم رسی | Mn (mg/kg) | ۲۳ |
| رطوبت ظرفیت زراعی (%) | ۲۴ | کربنات کلسیم معادل (%) | ۷/۰۱ |
| رطوبت نقطه پژمردگی (%) | ۱۱/۵۸ | گچ (%) | ناچیز |

نتایج و بحث

نتایج تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه بیانگر pH و همینطور بافت مناسب جهت کشت گیاه

استبرق بود (جدول ۱). باکتری مورد استفاده در این تحقیق براساس آزمون‌های بیوشیمیایی به جنس *Pseudomonas*

آلودگی (سه درصد) مشاهده گردید (جدول ۳). افزایش شاخص‌های گیاهی در تنش یک درصد نفت خام نسبت به شاهد می‌تواند به علت مقابله گیاه با شرایط تنش از جمله افزایش سطح ریشه، ترشحات بیشتر ریشه و افزایش مواد داخل سلولی (همچون پرولین، بتائین و گلاسیین) برای مقابله با تنش اکسیداتیو مواجه شده باشد که در نهایت موجب افزایش رشد شده است ولی با افزایش شرایط تنش رشد گیاه با کاهش مواجه شده است (راهنما و همکاران، ۱۳۹۱).

همچنین در تمام شاخص‌های رشدی اندازه‌گیری شده، کاربرد باکتری سبب افزایش معنی‌داری در سطح پنج درصد نسبت به تیمار شاهد (بدون باکتری) شد (جدول ۴). افزایش معنی‌دار شاخص‌های رشدی در حضور باکتری می‌تواند بدلیل وجود برخی ویژگی‌های محرک رشد در باکتری استفاده شده باشد. همچنین با افزایش سطوح کمپوست استفاده شده تمام شاخص‌های رشدی اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد نسبت به شاهد را نشان دادند و بیشترین مقدار در تیمارهای کاربرد ۱۰ درصد کمپوست مشاهده شد (جدول ۵). افزایش رشد گیاه با افزایش میزان کمپوست می‌تواند به علت افزایش جمعیت فعال میکروبی، بهبود شرایط فیزیکی خاک، افزایش مواد مغذی در دسترس گیاه، افزایش ظرفیت نگهداری آب و آب در دسترس گیاه باشد (ویلی، ۲۰۰۶).

تعلق داشت (برگیز، ۱۹۹۴). همچنین بررسی برخی از صفات محرک رشد این باکتری مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن حاکی از توانایی این باکتری در تولید ایندول استیک اسید (به میزان ۷۸/۶۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود در حالی که توانایی اندکی در انحلال فسفات‌های نامحلول معدنی داشت.

تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف نفت، باکتری و کمپوست در صفات رشد گیاه استبرق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که به جز اثر ساده‌ی باکتری برای ارتفاع گیاه که در سطح پنج درصد معنی‌دار بود، اثرات ساده‌ی تیمارهای مختلف بر صفات اندازه‌گیری شده، همگی در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. همینطور اثرات متقابل دوگانه و سه گانه بر صفات اندازه‌گیری شده همگی در سطح یک درصد معنی‌دار شد به جز اثر متقابل باکتری و کمپوست بر ارتفاع گیاه و قطر گیاه که معنی‌دار نشد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده نفت، کمپوست و باکتری بر صفات مورد بررسی نشان داد که بیشترین مقدار وزن خشک شاخساره و ریشه، ارتفاع گیاه و قطر گیاه در سطح اول آلودگی (یک درصد) مشاهده شد و دارای اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد در سطح پنج درصد بود. با افزایش میزان آلودگی (دو درصد و سه درصد) در تمام شاخص‌های اندازه‌گیری شده کاهش معنی‌داری مشاهده شد و کمترین مقدار شاخص‌های گیاهی اندازه‌گیری شده در بالاترین سطح

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف نفت، باکتری و کمپوست بر صفات اندازه‌گیری شده گیاه استبرق

| میانگین مربعات | | | | | | |
|---------------------|------------|-----------------|--------------|-----------|---------------------|--------------------|
| منابع تغییرات | درجه آزادی | وزن خشک شاخساره | وزن خشک ریشه | کلروفیل | ارتفاع گیاه | قطر گیاه |
| نفت (P) | ۳ | ۲۸/۶۷۴۴** | ۱/۰۲** | ۳۴۰۹/۴۹** | ۳۳۷۴/۴۸** | ۲۰/۹۸** |
| باکتری (B) | ۱ | ۳/۴۹** | ۰/۳۷** | ۱۰۹۰/۴۴** | ۸۴/۵* | ۳/۲۷** |
| کمپوست (C) | ۲ | ۴/۳۳** | ۰/۲۵** | ۳۶۲/۹۲** | ۲۹۴/۵۴** | ۶/۰۱** |
| P*B | ۳ | ۰/۶۷** | ۰/۱۶** | ۱۹۰/۱۹** | ۱۳۴/۶۸** | ۰/۵۲** |
| P*C | ۶ | ۰/۴۴** | ۰/۰۴۳** | ۲۸۳/۳۷** | ۳۰۱/۳۵** | ۰/۶۴** |
| B*C | ۲ | ۱/۰۲** | ۰/۰۵** | ۲۷/۵۲** | ۲۸/۲۹ ^{ns} | ۰/۱۱ ^{ns} |
| P*B*C | ۶ | ۱/۰۶** | ۰/۰۳۹** | ۳۸۷/۵** | ۳۱۵/۵۸** | ۱/۳۹** |
| خطا | ۴۸ | ۰/۱۳ | ۰/۰۰۵ | ۱/۵۵ | ۱۱/۹۳ | ۰/۰۷ |
| ضریب تغییرات (درصد) | | ۱۸/۷۴ | ۶/۸۳ | ۲/۲۹ | ۸/۳۹ | ۸/۲ |

علائم *, ** به ترتیب بیانگر معنی‌داری تیمارها در سطوح یک درصد و پنج درصد و ns بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست.

حروف P, B و C به ترتیب به معنای نفت خام، کمپوست زیاله شهری و باکتری می‌باشد.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف آلودگی نفتی بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده گیاه استبرق

| تیمار(نفت خام) | صفر | ۱ درصد | ۲ درصد | ۳ درصد |
|-------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| وزن خشک شاخساره(گرم در گلدان) | ۲/۹۶ ^a | ۲/۹۹ ^a | ۱/۳۳ ^b | ۰/۴۴ ^c |
| وزن خشک ریشه(گرم در گلدان) | ۰/۵۴ ^b | ۰/۵۸ ^a | ۰/۱۹ ^c | ۰/۱۱ ^d |
| ارتفاع گیاه (سانتیمتر) | ۵۰/۰ ^b | ۵۳/۳۹ ^a | ۳۸/۱۶ ^c | ۲۳/۱۱ ^d |
| شاخص کلروفیل | ۶۶/۴۴ ^a | ۶۴/۳۵ ^b | ۴۹/۲۶ ^c | ۳۷/۱۴ ^d |
| قطر گیاه (میلیمتر) | ۳/۹۶ ^b | ۴/۳ ^a | ۲/۸۱ ^c | ۱/۹۵ ^d |

در هر ردیف حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد می باشد.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر باکتری بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده گیاه استبرق

| تیمار(باکتری) | شاهد(بدون باکتری) | باکتری <i>Pseudomonas</i> |
|-------------------------------|-------------------|---------------------------|
| وزن خشک شاخساره(گرم در گلدان) | ۱/۷۱b | ۲/۱۵a |
| وزن خشک ریشه(گرم در گلدان) | ۰/۲۸b | ۰/۴۳a |
| ارتفاع گیاه (سانتیمتر) | ۴۰/۰۸b | ۴۲/۲۵a |
| میزان کلروفیل | ۵۰/۴۱b | ۵۸/۱۹a |
| قطر گیاه (میلیمتر) | ۳/۰۴b | ۳/۴۷a |

در هر ردیف حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد می باشد.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کمپوست بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده گیاه استبرق

| تیمار(کمپوست) | صفر درصد | پنج درصد | ۱۰ درصد |
|-------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| وزن خشک شاخساره(گرم در گلدان) | ۱/۴۸ ^c | ۲/۰۰ ^b | ۲/۳۳ ^a |
| وزن خشک ریشه(گرم در گلدان) | ۰/۲۷ ^c | ۰/۳۳ ^b | ۰/۴۷ ^a |
| ارتفاع گیاه (سانتیمتر) | ۳۷/۱۲ ^b | ۴۳/۰۴ ^a | ۴۳/۳۳ ^a |
| میزان کلروفیل | ۴۹/۸۴ ^c | ۵۶/۰۵ ^b | ۵۷/۰۰ ^a |
| قطر گیاه (میلیمتر) | ۲/۶۹ ^c | ۳/۴۲ ^b | ۳/۶۵ ^a |

در هر ردیف میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد می باشند.

اثر سطوح مختلف نفت، باکتری و کمپوست بر میزان

کلروفیل گیاه استبرق

نتایج نشان داد که با افزایش درصد کمپوست میزان کلروفیل گیاه نسبت به شاهد در اکثر سطوح به‌طور معنی‌داری (در سطح پنج درصد) افزایش یافت که این افزایش در حضور باکتری دارای مقادیر بیشتر و اختلاف معنی‌داری نسبت به تیمارهای بدون باکتری بود (شکل ۱ و جدول ۵). همچنین با افزایش میزان نفت، میزان کلروفیل گیاه نسبت به شاهد کاهش یافت اگرچه این کاهش در تیمار یک درصد آلودگی معنی‌دار نبود و وجود باکتری در تمام سطوح آلودگی تاثیر منفی آلودگی در کاهش کلروفیل را به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمارهای بدون باکتری کاهش داد (شکل ۱). اثر سطوح مختلف کمپوست و نفت بر میزان کلروفیل گیاه نیز حاکی از این بود که کاربرد

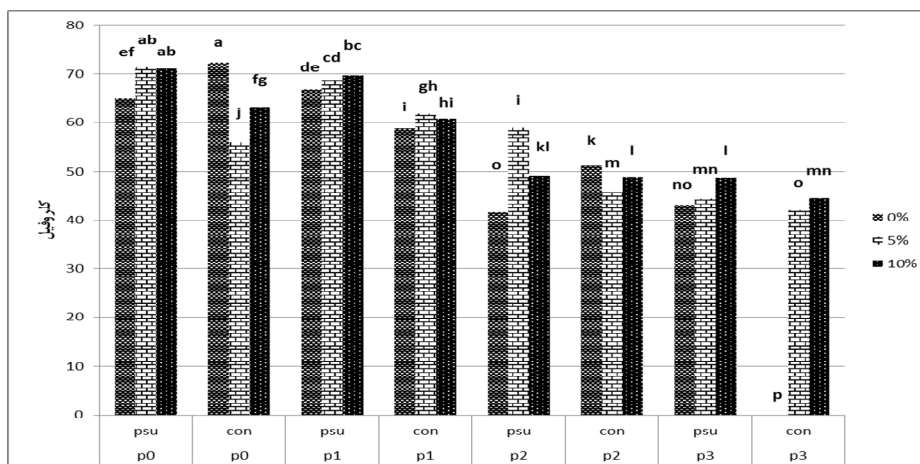
کمپوست اثرات منفی نفت را کاهش داده و این اختلاف در سطح پنج درصد نسبت به تیمارهای بدون کمپوست معنی‌دار بود (شکل ۱).

هوانگ و همکاران (۲۰۰۴) اعلام کردند که افزایش سطوح آلاینده کربنوزوت (۰/۵ تا ۳ گرم بر کیلوگرم خاک) باعث کاهش محتوای کلروفیل در فسکیو پابلند و چمن پوا می شود ولی در چاودار وحشی مقدار آن افزایش می‌یابد. آنها گزارش کردند دلیل احتمالی این امر تغییر در روابط آبی بوده است. تنش های غیر زیستی مانند شوری و آلودگی خاک باعث تولید گونه های اکسیژن فعال^۳ می شود که می تواند باعث تخریب غشا و اکسیداسیون کلروفیل شود (چوخامپانگ، ۲۰۱۱). نتایج ایبسمیم (۲۰۱۰) نیز نشان داد که وجود مواد نفتی (۱۵ و

³ - Activated Oxygen Species (AOS)

می تواند به مقابله بهتر گیاه در برابر تنش آلودگی نفتی کمک کرده و سبب افزایش مقاومت آن شود.

۳۵ گرم آلاینده در کیلوگرم خاک) باعث کاهش غلظت کلروفیل می شود پس به استفاده از کمپوست و باکتری



شکل ۱- اثر سطوح مختلف نفت، باکتری و کمپوست بر میزان کلروفیل استبرق

حروف P0, P1, P2 و P3 به ترتیب: شاهد، آلودگی یک درصد، آلودگی دو درصد و آلودگی سه درصد

Con و psu به ترتیب: تیمار بدون باکتری و دارای باکتری

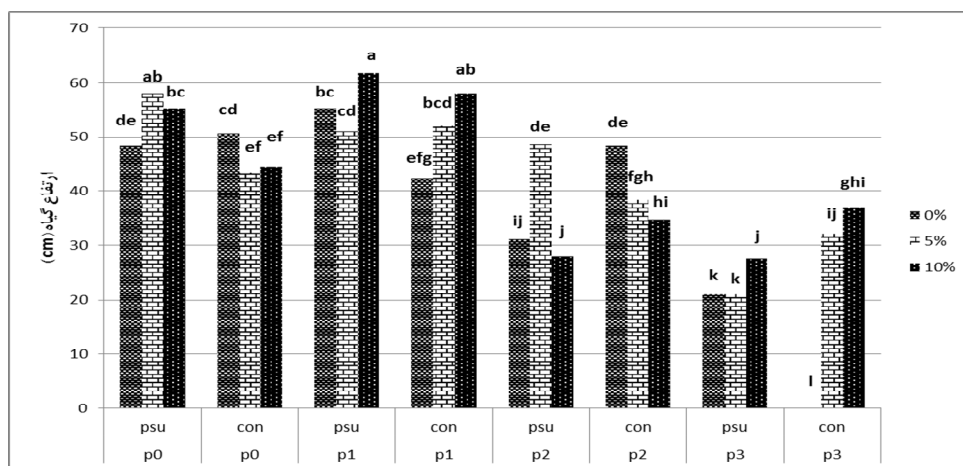
۰، ۵ و ۱۰ درصد نیز به ترتیب بیانگر تیمار فاقد کمپوست، ۵٪ و ۱۰٪ کمپوست زیاله شهری افزوده شده

افزایش آلودگی بر ارتفاع گیاه را کاهش داد (شکل ۲). همچنین اثر متقابل سطوح مختلف آلودگی، باکتری و کمپوست بر ارتفاع گیاه نشان داد که اگرچه در تیمار یک درصد آلودگی با کاربرد باکتری و افزایش سطوح کمپوست اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد نسبت به شاهد داشت ولی در بقیه سطوح اعمال شده هیچگونه رابطه‌ی معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۲).

ماندلسون و هستر (۲۰۰۰)، کاهش طول ساقه را در ارتباط با تغییر شکل فیزیکی، شیمیایی و زیستی ترکیبات نفتی در خاک دانستند. کم شدن تهویه و کاهش فراهمی عناصر غذایی سبب کاهش طول ساقه، پژمردگی و همبطنطور تاخیر در رشد گیاه می شود (آگبوجیدی و همکاران، ۲۰۰۶). بیک و همکاران (۲۰۰۵) نیز بیان کردند که اثرات منفی نفت خام در خاک به علت تهویه ناکافی تشدید خواهد شد ولی در حضور کمپوست اضافه شده در خاک به علت مساعد شدن شرایط برای رشد گیاه و افزایش میزان تهویه و افزایش جذب و نگهداری آب در خاک، رشد افزایش پیدا کرده است.

اثر سطوح مختلف نفت، باکتری و کمپوست بر ارتفاع گیاه استبرق

نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که با افزایش میزان کمپوست ارتفاع گیاه نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری در سطح پنج درصد نشان داد که این افزایش در حضور باکتری دارای مقادیر بیشتر و اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد نسبت به تیمارهای بدون باکتری بود (شکل ۲ و جدول ۴). در سطح آلودگی یک درصد، ارتفاع گیاه نسبت به شاهد افزایش و با افزایش سطوح آلودگی به طور معنی‌داری (در سطح پنج درصد) کاهش یافت و وجود باکتری فقط در تیمار یک درصد آلودگی تاثیر منفی نفت در کاهش ارتفاع گیاه را به طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد کاهش داده و با افزایش سطوح آلودگی اختلاف معنی‌داری نسبت به تیمار بدون باکتری مشاهده نشد (شکل ۲). اثر سطوح مختلف کمپوست و نفت بر ارتفاع گیاه نیز حاکی از این بود که تیمار ۱۰ درصد کمپوست و یک درصد نفت خام دارای بیشترین ارتفاع و دارای اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد نسبت به سایر تیمارها بود و کمپوست اثر منفی



شکل ۲- اثر سطوح مختلف نفت، باکتری و کمپوست بر ارتفاع استبرق

حروف P3، P2، P1، P0 به ترتیب: شاهد، آلودگی یک درصد، آلودگی دو درصد و آلودگی سه درصد

Con و psu به ترتیب: تیمار بدون باکتری و دارای باکتری

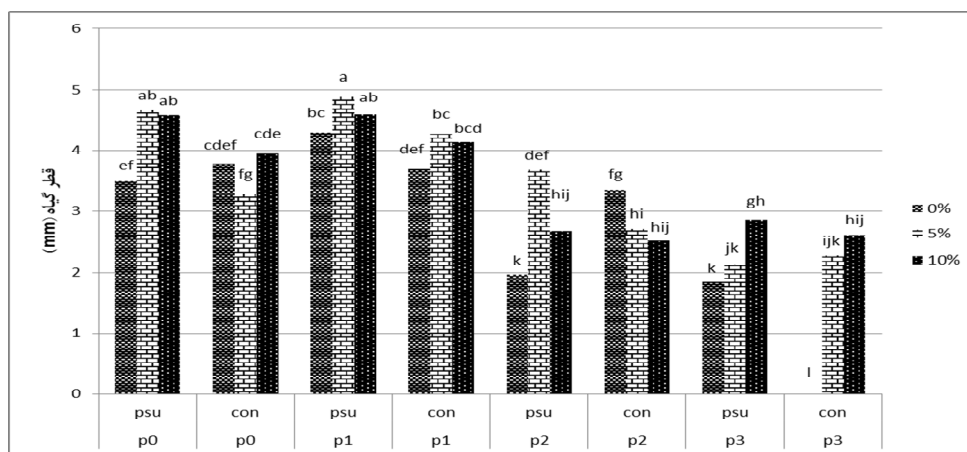
۰، ۵ و ۱۰ درصد نیز به ترتیب بیانگر تیمار فاقد کمپوست، ۵٪ و ۱۰٪ کمپوست زیاله شهری افزوده شده

(شکل ۳). همچنین در سطوح آلودگی یکسان، همواره تیمارهای دارای باکتری *Pseudomonas* قطر بیشتری نسبت به تیمارهای بدون باکتری داشتند و اختلاف بین آنها نیز در سطح پنج درصد معنی دار بود. و بیشترین قطر گیاه مربوط سطح اول آلودگی و در حضور باکتری *Pseudomonas* و ۱۰ درصد کمپوست بود (شکل ۳).

زند و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی اثر غلظت- های بالای هیدروکربن های نفتی کل خاک (حدود ۳/۵ درصد وزنی) بر ویژگی های رشدی دو گیاه ذرت و فسکیو پابلند و همچنین توانایی گیاه پالایی این دو گیاه، نتیجه گرفتند که استفاده از کود آلی فقط به رشد بهتر گیاه کمک کرده و بر میزان گیاه پالایی تاثیری نداشته است و گیاه فسکیو توانایی زیادی در حذف هیدروکربن های نفتی دارد. پالمروث و همکاران (۲۰۰۲) اعلام کردند که وجود ۰/۵ درصد آلودگی خاک با سوخت های فسیلی در تعدادی از گرامینه ها و بقولات به ترتیب باعث کاهش ۴۳ و ۶۴ درصدی زیست توده ی گیاهی شده است.

اثر سطوح مختلف نفت، باکتری و کمپوست بر قطر گیاه استبرق

نتایج نشان داد که با افزایش سطوح کمپوست در اکثر سطوح قطر گیاه افزایش یافته و بیشترین قطر گیاه مربوط به تیمار کاربرد ۱۰ درصد کمپوست و باکتری *Pseudomonas* است و دارای اختلاف معنی داری در سطح پنج درصد نسبت به شاهد بود، اگرچه در سطح دوم آلودگی و در عدم حضور باکتری با افزایش میزان کمپوست، قطر کاهش یافت (شکل ۳). با افزایش سطوح آلودگی در ابتدا (سطح آلودگی یک درصد) قطر گیاه افزایش یافته و دارای اختلاف معنی داری در سطح پنج درصد نسبت به شاهد بود ولی با افزایش سطوح آلودگی، قطر گیاه به طور معنی داری (در سطح پنج درصد) کاهش یافت. در تمام سطوح آلودگی با افزایش میزان کمپوست، قطر گیاه به طور معنی داری در سطح پنج درصد نسبت به شاهد (بدون کمپوست) افزایش پیدا کرد و به عبارت دیگر می توان گفت که افزایش کمپوست اثرات سو ناشی از آلودگی بر قطر گیاه را به طور معنی داری کاهش داد



شکل ۳- اثر سطوح مختلف نفت، کمپوست و باکتری بر قطر استبرق

حروف P0, P1, P2 و P3 به ترتیب: شاهد، آلودگی یک درصد، آلودگی دو درصد و آلودگی سه درصد
 و Con و psu به ترتیب: تیمار بدون باکتری و دارای باکتری
 ۵ و ۱۰ درصد نیز به ترتیب بیانگر تیمار فاقد کمپوست، ۵٪ و ۱۰٪ کمپوست زیاده شهری افزوده شده

وزن خشک گیاه را افزایش دهد ولی این افزایش فقط در سطح یک درصد آلودگی و سطح بدون آلودگی نسبت به تیمار بدون باکتری دارای اختلاف معنی داری (در سطح پنج درصد) بود و در سطوح دارای باکتری همواره افزایش کمپوست سبب افزایش وزن خشک شاخساره شد (شکل ۴).

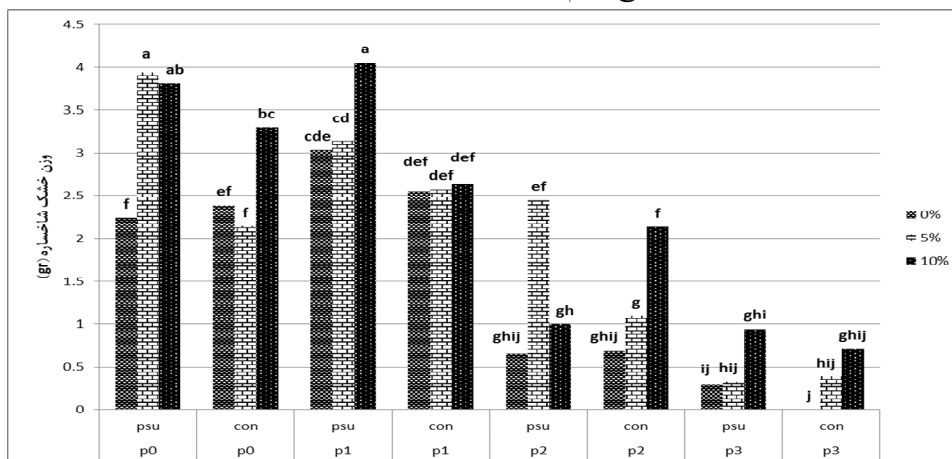
ویلتس و همکاران (۱۹۹۸) نیز اعلام کردند که وجود ۲۰ میلی گرم نفت خام در یک کیلوگرم خاک باعث می شود که بیومس حاصل فقط ۳۲ درصد مقدار شاهد باشد. البته در بعضی گونه ها آلودگی خاک با مواد آلی مقدار تولید را تحت تاثیر قرار نداده است. برای مثال چیناو و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که وجود سوخت های فسیلی (۳/۳ گرم بر کیلوگرم خاک) بر زیست توده ذرت در طول چهار ماه معنی دار نشد. نتایج رزمجو و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد که با افزایش غلظت آلاینده های هیدروکربنی وزن خشک قسمت رویشی تعدادی از ارقام چمن آفریقایی کاهش می یابد، آنها گزارش کردند که بطور میانگین غلظت شش درصد آلاینده باعث کاهش ۶۱ درصدی وزن خشک قسمت رویشی شده است. ناصر کاری و همکاران (۱۳۹۲) نیز در بررسی اثرات سطوح مختلف نفت خام بر شاخص های رشدی چمن آفریقایی و فسکیو پابلند نیز روند کاهشی را

اثر سطوح مختلف نفت، باکتری و کمپوست بر وزن خشک شاخساره گیاه استبرق

اثر تیمارهای مختلف بر وزن خشک شاخساره حاکی از افزایش این پارامتر با افزایش درصد کمپوست بود و اختلاف معنی داری نسبت به تیمارهای بدون کمپوست داشت و در تمام سطوح کمپوست، باکتری *Pseudomonas* وزن خشک شاخساره را افزایش داد اگرچه فقط در سطح پنج درصد کمپوست تیمار داری باکتری *Pseudomonas* اختلاف معنی داری در سطح پنج درصد نسبت به تیمار بدون باکتری داشت (شکل ۴). با افزایش سطوح آلودگی وزن خشک شاخساره کاهش پیدا کرد و اگرچه باکتری *Pseudomonas* اثر آلودگی را کاهش داده بود ولی فقط در تیمار شاهد (بدون آلودگی) و سطح اول آلودگی، باکتری *Pseudomonas* افزایش معنی داری در وزن خشک شاخساره در سطح پنج درصد نسبت به تیمارهای بدون باکتری داشت (شکل ۴). همچنین با افزایش سطوح کمپوست اثر منفی آلودگی در کاهش وزن خشک شاخساره کاهش پیدا کرد و در هر سطح آلودگی تیمارهای دارای کمپوست وزن خشک شاخساره بیشتری نسبت به تیمارهای بدون کمپوست داشتند (شکل ۴). نتایج همچنین نشان داد که در سطوح مختلف آلودگی اگرچه تیمار باکتری توانسته بود میزان

کیلوگرم خاک) باعث کاهش ۶۴ درصدی رشد گیاه لولیوم نسبت به شاهد شده است.

مشاهده نموده و بیشترین کاهش رشد را در بالاترین سطح آلودگی مشاهده نمودند. گونتر و همکاران (۱۹۹۶) نیز نشان دادند که وجود آلاینده های آلی (پنج گرم بر



شکل ۴- اثر سطوح مختلف نفت، کمپوست و باکتری بر وزن خشک شاخساره استبرق

حروف P3, P2, P1, P0 به ترتیب: شاهد، آلودگی یک درصد، آلودگی دو درصد و آلودگی سه درصد

Con و psu به ترتیب: تیمار بدون باکتری و دارای باکتری

۰، ۵ و ۱۰ درصد نیز به ترتیب بیانگر تیمار فاقد کمپوست، ۵٪ و ۱۰٪ کمپوست زباله شهری افزوده شده

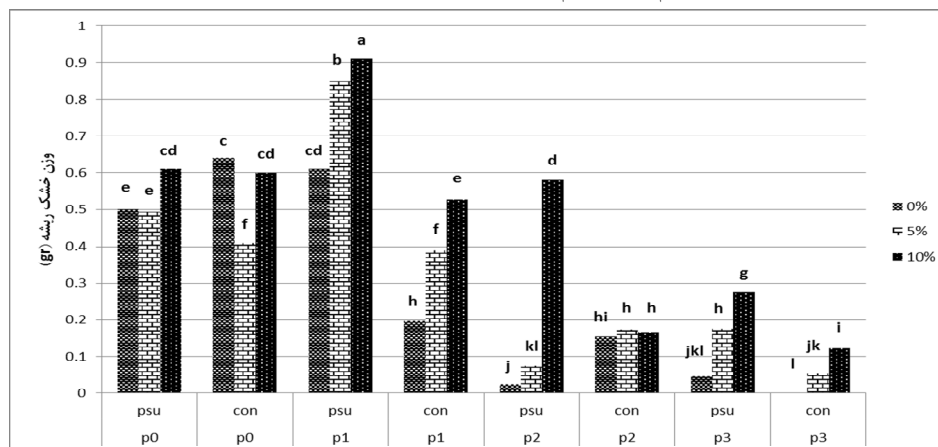
(شکل ۵). نتایج حاصل از اثر همزمان آلودگی و کمپوست بر وزن خشک ریشه نیز نشان داد که همواره کمپوست سبب افزایش این پارامتر نسبت به تیمارهای بدون کمپوست شده و اختلاف معنی داری در سطح پنج درصد نسبت به تیمارهای بدون کمپوست دارد و اختلاف بین تیمارهای کاربرد ۱۰ درصد با پنج درصد کمپوست نیز در سطح پنج درصد معنی دار است و در هر سطح آلودگی، بیشترین وزن خشک ریشه مربوط به تیمارهای دارای ۱۰ درصد کمپوست بود (شکل ۵). همچنین نتایج بیانگر افزایش وزن خشک ریشه در تیمارها با افزایش سطوح کمپوست و در تیمارهای دارای باکتری *Pseudomonas* بود که اختلاف آنها با تیمارهای بدون کمپوست و بدون باکتری در تمام سطوح آلودگی از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود و بیشترین وزن خشک ریشه در سطح اول آلودگی (یک درصد) با کاربرد ۱۰ درصد کمپوست و باکتری *Pseudomonas* مشاهده شد (شکل ۵). هوانگ و همکاران (۲۰۰۴) نیز گزارش کردند که وجود دو سه گرم کرئوزوت در کیلوگرم خاک به ترتیب باعث می شود مقدار ریشه ی فسکیو پابلند ۶۰ تا

اثر سطوح مختلف نفت، باکتری و کمپوست بر وزن خشک ریشه گیاه استبرق

نتایج حاصل نشان داد که همواره با افزایش درصد کمپوست و کاربرد باکتری *Pseudomonas*، وزن خشک ریشه افزایش پیدا کرده که این اختلاف نسبت به تیمارهای شاهد (بدون کمپوست و بدون باکتری) دارای اختلاف معنی داری در سطح احتمال پنج درصد بود (شکل ۵). همچنین ابتدا در سطح آلودگی یک درصد و دارای باکتری *Pseudomonas*، این پارامتر نسبت به شاهد (بدون آلودگی) افزایش پیدا کرد و دارای اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد بود ولی در سطوح بالاتر آلودگی این پارامتر کاهش معنی داری در سطح پنج درصد نسبت به نمونه بدون آلودگی داشت و اگرچه باکتری *Pseudomonas* در تیمارهای دارای آلودگی، وزن خشک ریشه را افزایش داده بود و دارای اختلاف معنی داری در سطح پنج درصد نسبت به تیمار بدون باکتری بود ولی در تیمار بدون آلودگی اختلاف معنی داری بین کاربرد باکتری *Pseudomonas* و شاهد (بدون باکتری) مشاهده نشد

کیلوگرم خاک) می باشد. در آزمایش‌های دیگری نیز کاهش مقدار ریشه گزارش شده است (موروتاوا و همکاران، ۲۰۰۸؛ مرکل و همکاران، ۲۰۰۵).

۸۰ درصد کاهش یابد. نتایج ویلتس و همکاران (۱۹۹۸) نیز نشان دهنده کاهش ۵۳ درصدی مقدار ریشه گیاه یونجه در اثر آلودگی خاک با نفت خام (۲۰ گرم بر



شکل ۵- اثر سطوح مختلف نفت، کمپوست و باکتری بر وزن خشک ریشه استبرق

حروف P0, P1, P2, P3 به ترتیب: شاهد، آلودگی یک درصد، آلودگی دو درصد و آلودگی سه درصد

Con و psu به ترتیب: تیمار بدون باکتری و دارای باکتری

۰، ۵ و ۱۰ درصد نیز به ترتیب بیانگر تیمار فاقد کمپوست، ۵٪ و ۱۰٪ کمپوست زیاده شهری افزوده شده

ترشح اسید، افزایش تولید سیدروفورهای گیاهی، جذب بیشتر عناصر غذایی، جذب بیشتر آب صورت گیرد که نتیجه‌ی این سازوکارها رشد بیشتر گیاه است ولی با افزایش شرایط تنش احتمالاً به علت عدم تعادل در تولید و حذف گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر در پی تنش و یا کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانتی در درون گیاه، تنش اکسیداتیو به وجود آمده و سبب خسارت به اجزاء مختلف سلول، اختلال در جذب آب و عناصر شده و در نهایت کاهش رشد را به همراه داشته است (کاظم زاده خویی، ۱۳۹۱؛ راهنما و همکاران، ۱۳۹۱). کاهش رشد می‌توان ناشی از اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیکی از قبیل عدم تعادل یونی، تغییر در وضعیت آب گیاه، اختلال در جذب عناصر، اختلال در عمل روزنه‌ها، کاهش کارایی فتوسنتز، کاهش پتانسیل اسمزی محیط ریشه، سمیت ویژه یونی و کمبود یون‌های غذایی باشد (راهنما و همکاران، ۱۳۹۱؛ ویلی، ۲۰۰۶). خلاصه روش‌های پیشنهادی به منظور افزایش کارایی پالایش خاکهای آلوده به ترکیبات نفتی در جدول (۶) فهرست شده است.

نتیجه گیری و پیشنهادها

در پژوهش حاضر، با افزایش میزان کمپوست، رشد گیاه افزایش پیدا کرده که این افزایش می‌تواند به علت بهبود شرایط در محیط ریشه از جمله افزایش جذب آب و مواد غذایی در حضور کمپوست باشد و اغلب در حضور کمپوست تیمارهای دارای باکتری *Pseudomonas* احتمالاً توانسته‌اند بهتر رشد کرده و مواد هیدروکربنی در اطراف ریشه را تجزیه کنند که در پی آن سمیت وارده به گیاه کمتر شده و رشد بهتر گیاه را به وجود آورده است، هرچند که باکتری‌های *Pseudomonas* اغلب دارای ویژگی‌های محرک رشد گیاه هستند و می‌توانند رشد گیاه را از طریق مکانیسم‌های مختلفی چون تولید اکسین، انحلال فسفات‌های نامحلول آلی و معدنی و تولید سیانید هیدروژن بهبود ببخشند (کاظم زاده خویی، ۱۳۹۱). همچنین در سطح اول آلودگی (سه درصد)، احتمالاً به علت اینکه ابتدا گیاه با یک تنش جزئی مواجه شده است، سازوکارهای مختلفی می‌تواند در اطراف محیط ریشه و در درون گیاه از جمله افزایش

جدول ۶- روش‌های پیشنهادی به منظور افزایش کارایی پالایش خاکهای آلوده به ترکیبات نفتی (کاظم‌زاده خوبی، ۱۳۹۱؛ متشروع‌زاده و ثوابی، ۱۳۹۴)

| ردیف | نام روش/ عملیات | توضیح |
|------|--|---|
| ۱ | انتخاب گیاه | توجه به پتانسیل گیاهان بومی و دارای ظرفیت تولید زیست توده بالا |
| ۲ | استفاده از توان همزیستی ریزسازواره‌ها | کمک به حفظ تعادل زیستی زیست بوم |
| ۳ | توسعه کاربرد ماده آلی | به منظور بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاکها و نیز افزایش قدرت نفوذ آب و هوا در خاک و امکان ارتقاء کارایی روشهای پالایش زیستی و گیاهی |
| ۴ | استفاده از عوامل اصلاح کننده خاک | ارتقای ظرفیت پالایش خاک با کاربرد بارورکننده های خاک و تغذیه بهینه بر اساس نتایج آزمون خاک |
| ۵ | تناوب زراعی | حفظ چرخه‌های اکولوژیک خاک در راستای ارتقاء سلامت خاک |
| ۶ | توسعه نتایج حاصله از پژوهش‌های گلخانه‌ای به عرصه | به منظور تجاری سازی نتایج و یافته‌ها و حمایت هدفدار از این پژوهشها با تصویب برنامه جامع پالایش خاکهای آلوده در کشور |

رهیافت ترویجی

مواد بهساز، افزایش جذب و زیست‌فراهمی آلاینده، تناوب زراعی، استفاده از توان همزیستی ریزسازواره‌ها و گیاهان در افزایش و ارتقاء پالایش خاکهای آلوده و نیز استفاده از توان زیستی خاک و حفظ کیفیت اراضی با افزایش ماده آلی خاکها (جدول ۶).

با توجه به اینکه جمهوری اسلامی ایران دارای منابع فراوان نفتی است و همواره در پی مراحل مختلف استخراج، پالایش و انتقال، زمین‌های زیادی به واسطه‌ی آلودگی از دسترس خارج می‌شود لذا شناسایی و معرفی گونه‌های مقاوم و سازگار به رشد در شرایط آلودگی نفتی می‌تواند از یکسو یک راهکار مناسب در جهت احیاء اراضی و از سوی دیگر کاهش مخاطرات زیست‌محیطی ناشی از آلودگی‌های نفتی باشد.

با به کارگیری فناوری‌های نوین و استفاده از برهمکنش مثبت گیاه و باکتری می‌توان به اقتصادی‌تر شدن و توسعه کاربرد گیاه‌پالایی و رفع موانع و محدودیت‌های آن امیدوار بود. با توجه به نتایج تحقیق حاضر و مطالعات صورت گرفته که در اغلب موارد نتایج مثبت از پالایش خاکهای آلوده در حضور عوامل زیستی مختلف چون گیاه، باکتری و کمپوست را نشان داده است، راهکارهای زیر می‌تواند در راستای اصلاح خاکهای آلوده به نفت خام استفاده شود:

انتخاب گیاهان مناسب با توجه به شرایط محیطی و شرایط فیزیکوشیمیایی خاک جهت کاهش و یا حذف آلاینده‌ها از محیط، بارور کردن خاک و استفاده از

فهرست منابع

۱. دریایی‌زند، ع، نبی بیدهدی، غ، مهرداد، ن و روانبخش شیردم. ۱۳۸۹. توانایی گونه‌های گیاهی مختلف در حذف ترکیبات نفتی از خاک و تأثیر آلودگی نفتی بر رشد این گونه‌های گیاهی. علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره دوازدهم، شماره چهار.
۲. راهنما، ا. پوستینی، ک. ساسانی، ش. و ح، عیسوند. ۱۳۹۱. پاسخ گیاهان به تنش‌های غیر زیستی. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز. ۵۹۰ صفحه.
۳. رجایی، س، رئیسی، ف و س. م. سیدی. ۱۳۹۱. زیست‌پالایی خاک آلوده به نفت خام مسن به روش‌های افزایش بیولوژیک و گیاه‌پالایی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۶(۴): ۹۰۸-۹۲۱.
۴. سروی مغانلو، و. چرم، م، فلاح، م. و ح، معتمدی. ۱۳۹۱. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۶(۲۴): ۸۴۱-۸۳۲.

۵. شهریاری، م، ح. ثواقبی فیروزآبادی، غ، ر، مینایی تهرانی، د و م. پدیداران. ۱۳۸۵. تاثیر مخلوط دو گیاه یونجه (*Medicago sativa*) و فسکیو (*Festuca arundinacea*) در گیاه‌پالایی خاک آلوده به نفت خام سبک. علوم محیطی، ۱۳: ۳۳-۴۰.
۶. کاظم زاده خویی، ج. ۱۳۹۱. گیاه پالایی، انتشارات جهاد دانشگاهی. ۱۵۸ صفحه.
۷. کیارستمی، خ. غفاری رهبر، ف. و ر، شیردم. ۱۳۹۲. مطالعه رشد و واکنش دفاعی گیاهان در خاک های آلوده به نفت. مجله پژوهش های گیاهی (مجله زیست شناسی ایران)، ۲۶(۴): ۵۰۰-۵۰۹.
۸. متشع زاده، ب و غ. ر. ثواقبی فیروزآبادی. ۱۳۹۴. گیاه پالایی یا پالایش سبز، انتشارات دانشگاه تهران (شناسه: ۳۵۸۴)، ۳۸۳ صفحه.
۹. مللی، ا، ر. حاج عباسی، م، ع. افیونی، م. و ا، ح خوش گفتارمنش. ۱۳۹۰. گیاه پالایی هیدروکربن های نفتی لجن فاضلاب پالایشگاه اصفهان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. سال پانزدهم، ۵۶: ۱۵۵-۱۶۶.
۱۰. ناجی راد، س، علیخانی، ح، ع. حسنی نژاد فراهانی، م، ر. قویدل، ا. و غ. ر. ثواقبی. ۱۳۸۶. بررسی راندمان حذف بیولوژیک گازوئیل در خاک به وسیله دو گونه باکتری بومی خاک های آلوده جنوب پالایشگاه تهران. مجموعه مقالات دومین همایش ملی کشاورزی بوم شناختی ایران.
11. Agbogidi, O. M., and Eshegbeyi, O. F. 2006. Performance of *Dacryodes edulis* (Don. G. Lam HJ) seeds and seedlings in a crude oil contaminated soil. *Journal of Sustainable Forestry*, 22(3-4): 1-13.
12. Alarcon, A., Davies Jr, F. T., R.L. Autenrieth and D.A. Zuberer. 2008. Arbuscular Mycorrhiza and Petroleum-Degrading Microorganisms Enhance Phytoremediation of Petroleum-Contaminated Soil. *International journal of phytoremediation*, 10:251-263.
13. Baek, K. H., Kim, H. S., Oh, H. M., Yoon, B. D., Kim, J. and Lee, I. S. 2005. Effect of crude oil, oil components and bioremediation on plant growth. *Journal of Environment*, 40: 88-97.
14. Chaîneau, C. H., Morel, J. L., and Oudot, J. 2000. Biodegradation of fuel oil hydrocarbons in the rhizosphere of maize. *Journal of Environmental Quality*, 29(2): 569-578.
15. Chookhampaeng, S. 2011. The effect of salt stress on growth, chlorophyll content proline content and antioxidative enzymes of pepper (*Capsicum annum* L.) seedling. *European Journal of Scientific Research*, 49(1): 103-109.
16. Fageria, N.K. The use of nutrients in crop plants. 2009. CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC. USA. New York.
17. Feng, L., Zhang, L., and Feng, L. 2014. Dissipation of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil amended with sewage sludge compost. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 95: 200-207. Günther, T., Dornberger, U., and Fritsche, W. 1996. Effects of ryegrass on biodegradation of hydrocarbons in soil. *Chemosphere*, 33(2): 203-215.
18. Hester, M. and W. Mendelsohn, I. A. 2000. Long-term recovery of a Louisiana brackish marsh plant community form oil-spill impact: vegetation response and mitigation effects of marsh surface elevation. *Marine Environmental Research*. 49, pp: 339-347
19. Huang, X. D., El-Alawi, Y., Penrose, D. M., Glick, B. R., and Greenberg, B. M. 2004. Responses of three grass species to creosote during phytoremediation. *Environmental Pollution*, 130(3): 453-463.

20. Ibemesim, R. I. 2010. Tolerance and Sodium Ion Relations of Paspalum conjugatum Bergius (Sour Grass) to Water Soluble Fractions of Crude Oil. *Research Journal of Environmental Sciences*, 4(5): 433-442.
21. Jing, W., Zhongzhi, Z., Youming, S., Wei, H., H. Feng and S. Hongguang. 2008. Phytoremediation of petroleum polluted soil. *Petroleum Science and technology*. 5:167-171.
22. John, G. 1994. Bergey's Manual of Determinative Bacteriology Paperback. Edition: Ninth. Publisher: LWW, 787 pages;
23. Khan, S., Afzal, M., Iqbal, S., M. Kh, Q. 2012. Plant–bacteria partnerships for the remediation of hydrocarbon contaminated soils. *Chemosphere*. 90: 1317–1332.
24. Márquez-Rocha, F. J., Hernández-Rodríguez, V., and Lamela, M. T. (2001). Biodegradation of diesel oil in soil by a microbial consortium. *Water, Air, and Soil Pollution*, 128(3-4), 313-320.
25. Merkl, N., R.S. Karft and C. Infante. 2004. Assessment of tropical grasses and legumes for phytoremediation of petroleum-contaminated soils. *Water, Air, and Soil Pollution*. 165: 195–209.
26. Muratova, A. Y., Dmitrieva, T. V., Panchenko, L. V., and Turkovskaya, O. V. 2008. Phytoremediation of Oil-Sludge–Contaminated Soil. *International journal of phytoremediation*, 10(6): 486-502.
27. Okoloko, G. E. and Berley, J. D. 1982. SO₂ – induced changes in the polyribosomal profiles of the gametophyte of the moss *Tortula ruralis*. *Plant cell Report*, 2: 63-65.
28. Palmroth, M. R., Pichtel, J., and Puhakka, J. A. 2002. Phytoremediation of subarctic soil contaminated with diesel fuel. *Bioresource technology*, 84(3): 221-228.
29. Peng, S., Zhou, Q., Cai, Z., & Zhang, Z. 2009. Phytoremediation of petroleum contaminated soils by *Mirabilis Jalapa* L. in a greenhouse plot experiment. *Journal of Hazardous Materials*, 168(2): 1490-1496.
30. Razmjoo, K., and Adavi, Z. 2012. Assessment of bermudagrass cultivars for phytoremediation of petroleum contaminated soils. *International journal of phytoremediation*, 14(1): 14-23.
31. Riley M.A., Chavan M.A. 2007. *Bacterioci ns: Ecology and Evolution*. Springer publisher. pp: 19-41.
32. Soleimani, M., Afyuni, M., Hajabbasi, M.A., Nourbakhsh, F., M.R. Sabzalian and J.H. Christensen. 2010. Phytoremediation of an aged petroleum contaminated soil using endophyte infected and non-infected grasses. *Chemosphere* 81: 1084-1090.
33. Wang, M. C., Chen, Y. T., Chen, S. H., Chang Chien, S. W., and Sunkara, S. V. 2012. Phytoremediation of pyrene contaminated soils amended with compost and planted with ryegrass and alfalfa. *Chemosphere*, 87(3): 217-225.
34. Willey, N. 2006. Phytoremediation. *Methods and Reviews*, 478.
35. Wiltse, C. C., Rooney, W. L., Chen, Z., Schwab, A. P., and Banks, M. K. 1998. Greenhouse evaluation of agronomic and crude oil-phytoremediation potential among alfalfa genotypes. *Journal of Environmental Quality*, 27(1): 169-173.
36. Zand, A. D., Bidhendi, G. N., & Mehrdadi, N. 2010. Phytoremediation of total petroleum hydrocarbons (TPHs) using plant species in Iran. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 34(5): 429-438.