



به زراعی کشاورزی

دوره ۲۲ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۳۹۹

صفحه‌های ۳۱۹-۳۲۲

پاسخ‌های رشدی و بیوشیمیایی گیاه زینتی گل جعفری به کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی در یک خاک آلوده به میعانات گازی

طاهره صدیقی شیری^۱، ملک حسین شهریار^{۲*}، محمد هدایت^۳، شهریار عصفوری^۳

۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران.

۲. استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران.

۳. دانشیار، گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی نفت، گاز و پتروشیمی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۱۵

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۰۱

چکیده

به منظور بررسی تأثیر کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی بر ویژگی‌های رشد و بیوشیمیایی گل جعفری فرانسوی (*Tagetes patula*) در خاک آلوده به سطوح مختلف میعانات گازی آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل میعانات گازی در پنج سطح صفر، ۷۵۰۰، ۱۵۰۰۰، ۳۰۰۰۰ و ۶۰۰۰۰ میکرولیتر بر کیلوگرم خاک و اصلاح‌کننده‌های خاک شامل ورمی کمپوست (پنج درصد وزنی)، بیوجار (دو درصد وزنی)، کربن فعال (یک درصد وزنی)، تیمار ترکیبی ورمی کمپوست + کربن فعال + بیوجار (با مقادیر ذکر شده) و تیمار فاقد ماده اصلاح‌کننده بود. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی و متقابل میعانات گازی و مواد اصلاح‌کننده بر صفات وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، محتوای کلروفیل a، b و محتوای پرولین برگ معنی‌دار شد ($P < 0.01$). در بالاترین سطح آلاینده استفاده از کربن فعال و ترکیب ورمی کمپوست + کربن فعال + بیوجار به ترتیب باعث افزایش ۳/۸۲ و ۴/۴۵ برابر وزن تر اندام هوایی، افزایش ۳/۷۶ و ۴/۳۰ برابر وزن تر ریشه، افزایش ۲/۵۲ و ۲/۵۶ برابر کلروفیل a و هم‌چنین باعث کاهش ۳۰/۶۰ و ۳۹/۵۰ درصد محتوای پرولین نسبت به تیمار فاقد اصلاح‌کننده در همین سطح آلودگی شد. نتایج این تحقیق بیان‌کننده نقش مؤثر و مفید اصلاح‌کننده‌های آلی خاک به خصوص کربن فعال و تیمار ترکیبی ورمی کمپوست + کربن فعال + بیوجار در کاهش سمیت خاک آلوده به میعانات گازی بر گل جعفری می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: بیوجار، پرولین، کربن فعال، کلروفیل، ورمی کمپوست، وزن تر و خشک گیاه.

The Growth and Biochemical Responses of Ornamental French Marigold by Means of Organic Amendments in a Gas Condensate-Contaminated Soil

Tahereh Sedighi Shiri¹, Malek Hossein Shahriari^{2*}, Mohammad Hedayat², Shahriar Osfour³

1. M.Sc. Student, Department of Horticulture, College of Agriculture and Natural Resources, Persian Gulf University, Bushehr, Iran.

2. Assistant Professor, Department of Horticulture, College of Agriculture and Natural Resources, Persian Gulf University, Bushehr, Iran.

3. Associate Professor, Department of Chemical Engineering, College of Petroleum, Gas, and Petrochemical Engineering, Persian Gulf University, Bushehr, Iran.

Received: September 23, 2019

Accepted: October 07, 2019

Abstract

In order to study the effects of organic amendment application on growth and biochemical characteristics of French marigold (*Tagetes patula*) in a soil contaminated with different levels of gas condensate, a factorial experiment has been conducted based on a completely randomized design with three replications. The experimental factors are gas condensate at five levels of 0, 7500, 15000, 30000, and 60000 μL per kg of soil, and soil amendment includes vermicompost (5%), biochar (2%), Activated carbon (1%), vermicompost + activated carbon + biochar, and non-amendment (control) treatments. Results from the analysis of variance show that the main and interactive effects of gas condensate and soil amendments are significant on fresh and dry weight of root and shoot, chlorophyll a and b, and proline content ($P < 0.01$). At the highest contaminant level, application of activated carbon and vermicompost plus activated carbon plus biochar causes an increase of 3.82 and 4.45-fold in shoot fresh weight, 3.76 and 4.4-fold in root fresh weight, and 2.52 and 2.56-fold in chlorophyll a, respectively. It also decreases 30.66% and 39.5% of proline content, compared to the control at this level of the contaminant. Results of this research indicate the effective and useful role of organic soil amendment, especially activated carbon and vermicompost + activated carbon + biochar in reducing the toxicity of gas condensate on French marigold.

Keywords: Activated carbon, biochar, chlorophyll, fresh and dry plant weight, proline, vermicompost.

۱. مقدمه

رشد روزافزون صنعت نفت و صنایع جانبی آن در ایران، هیدروکربن‌های نفتی را در ردیف اولین آلاینده‌های محیطی به‌خصوص در مناطق جنوبی کشور قرار داده و مشکلات زیست‌محیطی فراوانی را در این مناطق به‌وجود آورده است. میعان‌ات گازی به جریان هیدروکربنی مایع گفته می‌شود که در ذخایر گاز طبیعی وجود دارد، به‌صورت مایع در گاز استخراجی یافت می‌شود و به‌طور عمده از پنتان و هیدروکربن‌های سنگین‌تر تشکیل شده است (Katz et al., 1990). ترکیبات نفتی به دو طریق بر رشد گیاه تأثیر می‌گذارند؛ یکی از طریق تماس مستقیم با گیاه که موجب آسیب‌رسانی به غشای سلولی و مرگ سلول، کاهش سرعت فتوسنتز و تعرق گیاه، محدود کردن جوانه‌زنی و ایجاد کلروز در گیاه می‌گردد و دیگری به‌طور غیرمستقیم از طریق تغییر شرایط فیزیکی خاک و تغذیه‌ای گیاه، ایجاد شرایط بی‌هوازی و آب‌گریزی خاک در نتیجه بروز آلودگی، باعث ایجاد اختلال در رابطه آب، خاک و گیاه گردیده، که همین امر موجب کاهش جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاه می‌شود (Merkel et al., 2004).

اثر گازوئیل با غلظت‌های ۰، ۰/۵، ۰/۷۵، ۱، ۲/۵، ۴ و ۵ میلی‌لیتر بر رشد گیاه لاله هندی^۱ مورد ارزیابی قرار گرفت (Khan & Shaukat, 2009). نتایج آن‌ها نشان داد که درصد جوانه‌زنی، شاخص‌های رشد گیاه شامل ارتفاع، سطح برگ، تعداد برگ، قطر ساقه، وزن خشک اندام هوایی و ریشه با افزایش غلظت گازوئیل کاهش یافت. تأثیر غلظت‌های مختلف نفت خام (۰، ۱، ۳، ۵، ۷ و ۱۰ درصد) بر پارامترهای رشد فستوکا^۲ و یونجه^۳

نشان داد که با افزایش غلظت نفت خام سبک در خاک، میزان وزن خشک ریشه و اندام هوایی در هر دو گونه گیاهی به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد کاهش یافت (Shahriari et al., 2006).

مواد آلی یکی از اصلاح‌کننده‌های مهم خاک و بهبوددهنده خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک‌ها به‌شمار می‌رود. هم‌چنین حضور مواد آلی می‌تواند تأثیرات منفی هیدروکربن‌ها بر میکروارگانیسم‌ها و گیاهانی که در محیط آلوده رشد می‌کنند را کاهش دهد (Qin et al., 2013). ورمی‌کمپوست علاوه بر بهبود وضعیت خاک، حاوی عناصر غذایی قابل جذب، دارای متابولیت‌های فعال بیولوژیکی و هم‌چنین تنوع میکروبی وسیع و فعال هستند (Deka & Deka, 2012). بیوجار محصولی غنی از کربن می‌باشد که طی تجزیه‌ی حرارتی (پیرولیز)^۴ زیست‌توده‌هایی مانند انواع برگ‌ها، کاه و کلش، چوب‌ها، کودها و هم‌چنین پسماندهای کشاورزی در شرایط بی‌هوازی یا کم‌هوازی تولید می‌گردد (Pignatello et al., 2006). کربن فعال از تجزیه حرارتی مواد کربنی از قبیل چوب، زغال سنگ، هسته یا پوسته میوه‌ها حاصل می‌گردد. این ماده به‌دلیل خواص جذب‌کننده قوی خود می‌تواند گزینه مناسبی جهت کاهش سمیت آلاینده‌های آلی و معدنی باشد و با توجه به تخلخل زیاد، جاذب ویژه و بی‌نظیری هستند (Hale et al., 2012).

با بررسی تأثیر ورمی‌کمپوست بر کاهش غلظت هیدروکربن‌های نفتی در خاک آلوده توسط گیاهان سیپروس^۵ و گل حساس^۶ در یک دوره شش ماهه نتایج نشان داد که زیست‌توده شاخساره و ریشه هر دو گیاه در

4. Pyrolysis
5. *Cyperus bravifolius*
6. *Mimosa pudica*

1. *Thespesia populnea*
2. *Festuca arundinaceu*
3. *Medicago sativa*

ترکیبی ورمی‌کمپوست + کربن فعال + بیوجار (با مقادیر ذکرشده) و تیمار فاقد ماده اصلاح‌کننده خاک بود. میعانات گازی از فازهای ۹ و ۱۰ پارس جنوبی، ورمی‌کمپوست مورد استفاده از شرکت پی‌تی‌ران و کربن فعال نیز از شرکت کیمیا اکسیر تهیه گردید. بیوجار از بقایای نخل در دمای ۵۰۰-۷۰۰ درجه سانتی‌گراد در حضور غلظت پایین اکسیژن تهیه و سپس از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد.

بذرهای F₁ رقم زرد بونانزا^۱ گل جعفری فرانسوی از شرکت پاکان بذر تهیه و در سینی نشا کشت شد. پس از تهیه بستر کشت اصلی که شامل ۶۰ درصد خاک مزرعه و ۴۰ درصد ماسه بود برای اعمال آلودگی به خاک، ابتدا خاک را درون ظرف درب‌دار ریخته و میعانات گازی در پنج سطح تعیین‌شده به خاک اضافه شد. پس از آن درب ظرف بسته و تکان داده شد تا میعانات گازی به‌صورت یکنواخت با خاک مخلوط شود. سپس مواد اصلاح‌کننده شامل ورمی‌کمپوست، بیوجار، کربن فعال و تیمار ترکیبی با درصدهای ذکرشده به خاک‌های آلوده‌شده با میعانات گازی افزوده و به‌مدت سه روز در شرایط آزمایشگاه نگهداری شد. پس از اعمال تیمارها، خاک آلوده درون گلدان یک کیلوگرمی ریخته و انتقال نشا گل جعفری به گلدان‌ها انجام گردید.

در پایان دوره آزمایش، ارتفاع بوته با خط‌کش (با دقت سانتی‌متر)، وزن تر اندام‌هوایی و ریشه توسط ترازوی دیجیتال (با دقت ۰/۰۰۱ گرم) اندازه‌گیری شده و پس از پاکت‌گذاری به‌مدت ۴۸ ساعت در آن با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد جهت خشک‌شدن نگهداری شدند. سپس وزن آن‌ها با ترازوی دیجیتال ثبت گردید. برای اندازه‌گیری محتوای پروتئین برگ، ۰/۲ گرم از نمونه‌های برگ تر در پنج میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک سه درصد به‌وسیله هاون،

خاک تحت تیمار ورمی‌کمپوست به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته است (Deka & Deka, 2012). در پژوهشی دیگر نتایج نشان داد که در خاک آلوده به نفت خام، ارتفاع ساقه، طول ریشه و وزن خشک اندام هوایی چاودار در تیمار بیوجار و شاهد اختلاف معنی‌داری داشته (P < ۰/۰۵) و به‌ترتیب ۱۷/۳۰، ۱۶/۷۴ و ۴۹/۴۱ درصد در تیمار بیوجار نسبت به شاهد بیش‌تر بوده است، اما در وزن تر ریشه تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد وجود نداشت (Han et al., 2016).

با توجه به این‌که ایران یکی از تولیدکنندگان اصلی میعانات گازی در جهان بوده و آلودگی خاک به این ترکیبات در اثر فرایندهای استخراج و انتقال محتمل به‌نظر می‌رسد، بنابراین باید به‌دنبال ارائه راه‌کارهایی جهت کاهش اثرات سمی این آلاینده‌ها بر محیط زیست بود، ازاین‌رو پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر کاربرد اصلاح‌کننده‌های کربن فعال، ورمی‌کمپوست و بیوجار بر کاهش سمیت این آلاینده بر گیاه زیتنی گل جعفری انجام گردید.

۲. مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال‌های ۹۷-۱۳۹۶ در گلخانه و آزمایشگاه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه خلیج فارس بوشهر به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد اصلاح‌کننده‌های خاک در کاهش سمیت خاک آلوده به غلظت‌های مختلف میعانات گازی بر گل جعفری، به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل آلودگی شامل خاک آلوده به غلظت‌های مختلف میعانات گازی (۰، ۷۵۰۰، ۱۵۰۰۰، ۳۰۰۰۰ و ۶۰۰۰۰ میکرولیتر آلاینده بر کیلوگرم خاک) و عامل اصلاح‌کننده خاک شامل تیمارهای ورمی‌کمپوست (پنج درصد وزنی/ وزنی)، بیوجار (دو درصد وزنی/ وزنی)، کربن فعال (یک درصد وزنی/ وزنی)، تیمار

اندازه‌گیری شده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثرهای متقابل میعانات گازی و مواد اصلاح‌کننده بر وزن تر و خشک اندام‌هوایی، وزن تر و خشک ریشه، محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و پروپیلین در سطح یک درصد بر ارتفاع گیاه گل جعفری در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۱).

۳.۱. وزن تر و خشک اندام‌هوایی

اثر ساده میعانات گازی و مواد اصلاح‌کننده و اثر متقابل این دو فاکتور بر وزن تر و خشک اندام‌هوایی گل جعفری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۱). نتایج جدول مقایسه میانگین اثر متقابل مواد اصلاح‌کننده و میعانات گازی نشان داد که در بالاترین سطح آلاینده، استفاده از کربن فعال و ترکیب ورمی‌کمپوست + کربن فعال + بیوجار به ترتیب باعث افزایش ۳/۸۲ و ۴/۴۰ برابر وزن تر اندام‌هوایی نسبت به تیمار شاهد (بدون افزودن ماده اصلاح‌کننده به خاک) در همین سطح آلاینده گردید. علاوه بر این، در سطح ۳۰۰۰۰ میکرولیتر آلاینده بر کیلوگرم خاک کاربرد کربن فعال و هم‌چنین کاربرد هم‌زمان سه ماده اصلاح‌کننده به ترتیب باعث افزایش ۳/۳۵ و ۳/۴۳ برابر وزن تر اندام‌هوایی نسبت به تیمار شاهد در همان سطح آلودگی شد (جدول ۲).

هموژن و عصاره حاصل صاف گردید. دو میلی‌لیتر اسید استیک و دو میلی‌لیتر ناین‌هیدرین به دو میلی‌لیتر از عصاره صاف‌شده فوق، اضافه شد. محلول حاصل به مدت یک ساعت در حمام آب و در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از آن برای پایان‌یافتن واکنش، لوله‌های آزمایش در داخل یک بستر یخی قرار گرفته و چهار میلی‌لیتر تولوئن به هر لوله اضافه گردید. غلظت پروپیلین با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Spectronic 20D، آمریکا) در طول موج ۵۲۰ نانومتر با کمک منحنی استاندارد حاصل از غلظت‌های مختلف پروپیلین، بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد (Bates et al., 1973). محتوای کلروفیل a و b با استفاده از روابط زیر اندازه‌گیری شد (Arnon, 1949).

$$\text{Chlorophyll a (mg/g)} = [12.7(A_{663}) - 2.69(A_{645})] \times V / (1000 \times W)$$

$$\text{Chlorophyll b (mg/g)} = [22.9(A_{645}) - 4.68(A_{663})] \times V / (1000 \times W)$$

برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) و برای بررسی مقایسه میانگین از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

۳. نتایج

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده میعانات گازی و مواد اصلاح‌کننده بر تمامی صفات

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر میعانات گازی و مواد اصلاح‌کننده و اثرهای متقابل آن‌ها بر صفات رویشی گل جعفری

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر اندام‌هوایی	میانگین مربعات				وزن خشک اندام‌هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	ارتفاع بوته	کلروفیل a	کلروفیل b	محتوای پروپیلین
			وزن خشک	وزن تر	وزن خشک	ارتفاع							
میعانات گازی	۴	۲۷/۲۲**	۰/۸۸**	۰/۰۳۹**	۰/۰۳**	۳۳/۶۶**	۱/۸۸**	۰/۴۲۷**	۶۹۶/۷۴**				
مواد اصلاح‌کننده	۴	۴/۱۵**	۰/۰۸**	۰/۰۰۶**	۰/۰۰۵**	۴/۳۲**	۰/۲۷**	۰/۰۱۴**	۴۰/۸۳**				
میعانات گازی × مواد اصلاح‌کننده	۱۶	۰/۷۶**	۰/۰۳**	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۱**	۰/۲۹*	۰/۰۳**	۰/۰۰۷**	۱۰/۸۱**				
خطا	۵۰	۰/۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۱	۰/۱۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲	۳/۴۱				
ضریب تغییرات (%)		۴/۶۶	۵/۴	۵/۷۷	۸/۵۷	۶/۳۵	۹/۲۰	۷/۸۴	۱۳/۲۱				

ns، * و **: به ترتیب نبود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

پاسخ‌های رشدی و بیوشیمیایی گیاه زیتنی گل جعفری به کاربرد اصلاح‌کننده‌های آلی در یک خاک آلوده به میعانات گازی

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل مواد اصلاح‌کننده و میعانات گازی بر برخی صفات رشدی و بیوشیمیایی گیاه زیتنی گل

جعفری فرانسوی

میعانات گازی ($\mu\text{L/kg soil}$)	اصلاح‌کننده‌های خاک	وزن تر اندام هوایی (g)	وزن خشک اندام هوایی (g)	وزن تر ریشه (g)	وزن خشک ریشه (g)	ارتفاع بوته (cm)	کلروفیل a (mg/g FW)	کلروفیل b (mg/g FW)	محتوای پرولین ($\mu\text{g/g FW}$)
	شاهد	۴/۶۴b	۱/۰۲b	۱/۱۷b	۰/۲۳۲ab	۸/۱۶b	۱/۲۴۹b	۰/۶۹۴a-c	۷/۵۶k-m
	ورمی کمپوست	۵/۰۰a	۱/۱۵a	۱/۳۰a	۰/۲۴۷a	۹/۰۰a	۱/۴۰۷a	۰/۷۲۵a	۸/۱۵j-m
صفر	بیوجار	۴/۱۲cd	۰/۷۸de	۱/۰۷b-e	۰/۲۲۵a-c	۸/۱۶b	۱/۱۴۳b-d	۰/۷۰۲ab	۶/۶۵m
	کرین فعال	۴/۴۵c	۰/۸۹c	۱/۱۱b-d	۰/۲۱۱bc	۸/۳۳ab	۱/۲۳۱bc	۰/۶۷۹a-c	۶/۸۹l-m
	ورمی کمپوست+ کرین فعال+ بیوجار	۴/۵۶b	۰/۸۹c	۱/۱۴bc	۰/۲۲۸ab	۸/۶۶ab	۱/۲۶۹b	۰/۶۹۰a-c	۶/۳۱m
	شاهد	۳/۴۹e	۰/۶۰i	۰/۹۵ef	۰/۱۸۶e-g	۶/۰۳d-f	۰/۸۳۲h-j	۰/۶۲۱c-e	۱۰/۲۵i-l
	ورمی کمپوست	۳/۹۴d	۰/۷۶d-f	۰/۹۸e	۰/۲۰۷be	۶/۶۶cd	۱/۰۲۵d-g	۰/۶۷۴a-c	۹/۶۷i-m
۷۵۰۰	بیوجار	۳/۴۱e	۰/۶۵hi	۰/۹۰fg	۰/۱۷۰g-i	۶/۳۳c-e	۰/۸۲۶h-i	۰/۶۳۸b-e	۹/۳۴i-m
	کرین فعال	۳/۹۰d	۰/۷۳ef	۰/۹۷e	۰/۱۷۸f-h	۶/۶۶cd	۱/۰۶۷d-f	۰/۶۶۴a-d	۸/۸۹i-m
	ورمی کمپوست+ کرین فعال+ بیوجار	۴/۲۳c	۰/۸۰d	۱/۰۵d	۰/۲۰۲c-f	۶/۸۳c	۱/۱۱۲c-e	۰/۶۷۸a-c	۸/۵۲i-m
	شاهد	۱/۷۶k	۰/۴۵j	۰/۷۶i	۰/۱۲۶kl	۵/۳۳f-h	۰/۷۲۱jk	۰/۵۲۸f-h	۱۴/۷۸e-g
	ورمی کمپوست	۲/۷۲gh	۰/۵۴j	۰/۸۱h	۰/۱۳۰j-l	۵/۸۳e-g	۰/۹۳۹f-i	۰/۵۷۰e-g	۱۰/۴۳i-k
۱۵۰۰۰	بیوجار	۲/۵۳hi	۰/۵۰j	۰/۷۹hi	۰/۱۳۸i-k	۵/۱۶g-i	۰/۷۹۵jj	۰/۵۲۸f-h	۱۱/۵۸g-j
	کرین فعال	۳/۰۰f	۰/۶۰i	۰/۹۰fg	۰/۱۸۰f-h	۶/۳۳c-e	۰/۹۷۳e-h	۰/۵۷۳e-g	۱۱/۲۴h-j
	ورمی کمپوست+ کرین فعال+ بیوجار	۳/۳۸e	۰/۶۷gh	۰/۹۸e	۰/۱۸۶e-g	۶/۶۶cd	۱/۰۳۵d-g	۰/۵۹۵d-f	۱۱/۸۷g-j
	شاهد	۰/۸۴l	۰/۲۳lm	۰/۴۵l	۰/۱۰۱mn	۴/۸۳hi	۰/۵۵۰l	۰/۴۴۵ij	۲۰/۲۷cd
	ورمی کمپوست	۰/۸۸l	۰/۲۶l	۰/۵۲l	۰/۱۲۲lm	۵/۳۳f-h	۰/۸۰۲ij	۰/۴۶۷hi	۱۸/۱۱cd
۳۰۰۰۰	بیوجار	۱/۶۲k	۰/۳۴k	۰/۴۸l	۰/۱۲۶kl	۴/۸۳hi	۰/۶۴۵kl	۰/۴۷۹hi	۱۹/۰۱cd
	کرین فعال	۲/۸۱fg	۰/۵۳j	۰/۸۴gh	۰/۱۶۰hi	۵/۸۳e-g	۰/۹۰۴g-i	۰/۴۸۶hi	۱۷/۰۶d-f
	ورمی کمپوست+ کرین فعال+ بیوجار	۲/۸۸fg	۰/۶۰i	۰/۹۵ef	۰/۱۷۱g-i	۶/۰۰d-f	۰/۹۱۵g-i	۰/۵۰۹g-i	۱۴/۳۴g-h
	شاهد	۰/۵۶m	۰/۱۹m	۰/۱۷o	۰/۰۳۹p	۳/۵۰j	۰/۲۱۸m	۰/۱۵۵l	۲۸/۲۳a
	ورمی کمپوست	۰/۵۸m	۰/۲۲lm	۰/۲۷n	۰/۰۶۲o	۴/۲۰i	۰/۲۲۶m	۰/۱۶۴l	۲۵/۵ab
۶۰۰۰۰	بیوجار	۰/۸۷l	۰/۳۸k	۰/۳۵m	۰/۰۸۵n	۳/۸۳j	۰/۲۳۲m	۰/۱۶۱l	۲۵ab
	کرین فعال	۲/۱۴j	۰/۴۹j	۰/۶۴k	۰/۱۳۴j-l	۵/۱۶g-i	۰/۵۵۰l	۰/۳۶۹k	۱۹/۶۶cd
	ورمی کمپوست+ کرین فعال+ بیوجار	۲/۴۶i	۰/۵۱j	۰/۷۳ij	۰/۱۵۴h-j	۵/۵۰f-h	۰/۵۵۸l	۰/۳۸۹jk	۱۷/۱۴d-f

میانگین‌های دارای حروف لاتین مشترک در هر ستون در سطح احتمال ۵ درصد آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

آلودگی نداشت ($P < 0.05$)، اما کاربرد این ماده اصلاح‌کننده در سطوح ۱۵۰۰۰، ۳۰۰۰۰ و ۶۰۰۰۰ میکرولیتر آلاینده بر کیلوگرم خاک به ترتیب باعث افزایش ۴۴، ۹۲ و ۶۷ درصد وزن تر اندام هوایی نسبت به تیمار شاهد (فاقد ماده اصلاح‌کننده) در هر سطح آلودگی گردید (جدول ۲). کاربرد مواد اصلاح‌کننده خاک در عمده سطوح آلودگی خاک باعث افزایش وزن تر اندام هوایی

کاربرد ورمی کمپوست در سطوح صفر، ۷۵۰۰ و ۱۵۰۰۰ میکرولیتر آلاینده بر کیلوگرم خاک در افزایش وزن تر اندام هوایی نسبت به عدم کاربرد آن در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی‌داری داشت. کاربرد بیوجار در خاک آلوده به ۷۵۰۰ میکرولیتر آلاینده بر کیلوگرم خاک تأثیر معنی‌داری در افزایش وزن تر اندام هوایی نسبت به عدم کاربرد مواد اصلاح‌کننده در همین سطح

گل جعفری نسبت به عدم کاربرد مواد اصلاح‌کننده گردید. اما تأثیر کاربرد کربن فعال و ترکیب سه ماده اصلاح‌کننده ورمی‌کمپوست + بیوجار + کربن فعال در افزایش وزن تر اندام هوایی در سطوح بالای آلاینده مؤثرتر بوده است.

نتایج جدول مقایسه میانگین اثر متقابل میعانات گازی و مواد اصلاح‌کننده، بیانگر این است که در بالاترین سطح آلودگی کاربرد کربن فعال و ورمی‌کمپوست + کربن فعال + بیوجار به ترتیب باعث افزایش ۲/۵۸ و ۲/۶۸ برابر وزن خشک اندام‌هوایی نسبت به تیمار شاهد در همین سطح آلودگی (۶۰۰۰۰ میکرولیتر آلاینده بر کیلوگرم خاک) شده است. همچنین نتایج نشان داد که کاربرد بیوجار در خاک آلوده به سطوح بالای میعانات گازی (۳۰۰۰۰ و ۶۰۰۰۰ میکرولیتر آلاینده بر کیلوگرم خاک) در کاهش سمیت میعانات گازی بر وزن خشک اندام هوایی گل جعفری نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری مؤثر بوده است (P<۰/۰۵)، اما در مقایسه با تیمارهای حاوی ورمی‌کمپوست + کربن فعال + بیوجار و همچنین تیمارهای دارای کربن فعال تأثیر کمتری داشته است. تأثیر کاربرد ورمی‌کمپوست در افزایش وزن خشک اندام‌هوایی نسبت به عدم کاربرد اصلاح‌کننده، برخلاف سایر اصلاح‌کننده‌ها تنها در سطوح صفر و ۷۵۰۰ میکرولیتر آلاینده از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۲).

۳.۲. وزن تر و خشک ریشه

براساس نتایج به‌دست‌آمده از جدول تجزیه واریانس، اثر ساده و متقابل میعانات گازی و مواد اصلاح‌کننده بر وزن تر و خشک ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل مواد اصلاح‌کننده و میعانات گازی بر وزن خشک اندام‌هوایی

گل جعفری نشان داد که در بالاترین سطح آلودگی کاربرد کربن فعال و ورمی‌کمپوست + کربن فعال + بیوجار به ترتیب باعث افزایش ۳/۷۶ و ۴/۳۰ برابر وزن تر ریشه نسبت به تیمار فاقد اصلاح‌کننده در همان سطح آلودگی گردید و با سایر تیمارها در همین سطح آلودگی تفاوت معنی‌داری داشتند (P<۰/۰۵). در غلظت ۳۰۰۰۰ میکرولیتر آلاینده نیز تیمار کربن فعال و تیمار ورمی‌کمپوست + کربن فعال + بیوجار به ترتیب موجب افزایش ۱/۸۷ و ۲/۱۱ برابر وزن تر ریشه گل جعفری نسبت به تیمار شاهد (فاقد ماده اصلاح‌کننده) در همان سطح آلودگی شد. با وجود این‌که تأثیر کاربرد بیوجار و ورمی‌کمپوست بر افزایش وزن تر ریشه در برخی سطوح آلاینده در مقایسه با تیمار شاهد در همان سطح آلودگی معنی‌دار نبوده است، اما در بالاترین سطح آلودگی در مقایسه با تیمار فاقد اصلاح‌کننده این تفاوت معنی‌داری بوده است (جدول ۲). به‌طورکلی، نتایج بیانگر این است که اگرچه کاربرد مواد اصلاح‌کننده در بیش‌تر سطوح آلودگی باعث کاهش اثرات منفی آلاینده بر وزن تر ریشه شده است، اما در سطوح بالاتر آلاینده، تأثیر اصلاح‌کننده کربن فعال و ورمی‌کمپوست + بیوجار + کربن فعال چشم‌گیرتر بوده است.

کاربرد مواد اصلاح‌کننده در سطوح مختلف آلاینده به‌واسطه کاهش سمیت ناشی از آلاینده، موجب افزایش وزن خشک ریشه گردید، به‌طوری‌که در بالاترین سطح آلاینده، استفاده از کربن فعال و ورمی‌کمپوست + کربن فعال + بیوجار به ترتیب باعث افزایش ۳/۴۴ و ۳/۹۵ برابر وزن خشک ریشه نسبت به شاهد در همان سطح آلودگی شده است. اگرچه تیمارهای دارای ورمی‌کمپوست و بیوجار در خاک غیرآلوده در مقایسه با تیمار شاهد (فاقد اصلاح‌کننده) تفاوت معنی‌داری بر وزن خشک ریشه گل جعفری نداشتند، اما کاربرد آن‌ها در بالاترین سطح

داشت (جدول ۲). در مجموع نتایج نشان داد که کاربرد مواد اصلاح‌کننده به‌استثنای بیوچار در افزایش ارتفاع گل جعفری در خاک آلوده به میعانات گازی تأثیرگذار بوده، اما در غلظت‌های بالاتر آلاینده، کاربرد کربن فعال و ورمی کمپوست+ کربن فعال+ بیوچار با جذب و تثبیت بیش‌تر آلاینده نسبت به سایر اصلاح‌کننده‌ها مؤثرتر بودند.

۴. محتوای کلروفیل a و b

اثر ساده میعانات گازی و مواد اصلاح‌کننده و اثر متقابل این دو فاکتور بر محتوای کلروفیل a و b در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۱). در سطح ۶۰۰۰۰ میکرولیتر آلاینده، استفاده از تیمار کربن فعال و تیمار ورمی کمپوست+ کربن فعال+ بیوچار و بیوچار به‌ترتیب موجب افزایش ۲/۵۲ و ۲/۵۶ برابر میزان کلروفیل a نسبت به شاهد (بدون افزودن ماده اصلاح‌کننده به خاک) در همین سطح آلاینده گردید. علاوه بر این در سطح ۳۰۰۰۰ میکرولیتر آلاینده تیمار کربن فعال و تیمار ورمی کمپوست+ بیوچار+ کربن فعال به‌ترتیب باعث افزایش ۱/۶۴ و ۱/۶۷ برابر میزان کلروفیل a نسبت به تیمار شاهد در همین سطح آلودگی شده است. در سطح ۱۵۰۰۰ میکرولیتر آلاینده تیمار کربن فعال و ورمی کمپوست+ بیوچار+ کربن فعال به‌ترتیب موجب افزایش ۱/۳۵ و ۱/۴۴ برابر کلروفیل a نسبت به شاهد در همین سطح آلاینده شده است. بنابراین استفاده از تیمار کربن فعال و تیمار ورمی کمپوست+ کربن فعال+ بیوچار در تیمارهای دارای آلاینده باعث کاهش اثر سمیت میعانات گازی در خاک گردید که به‌واسطه آن میزان کلروفیل a در برگ گل جعفری افزایش یافت. اما مقایسه این تأثیر در سطوح مختلف آلودگی بیانگر این است که با افزایش سطح آلودگی در خاک، اثر این تیمارها در افزایش محتوای کلروفیل a در مقایسه با تیمار شاهد بیش‌تر بوده

آلودگی، در مقایسه با تیمار شاهد در همان سطح آلودگی به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد باعث افزایش وزن خشک ریشه شدند (جدول ۲).

۳.۳. ارتفاع گیاه

جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده میعانات گازی و مواد اصلاح‌کننده بر ارتفاع گل جعفری در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل این دو عامل در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۱). نتایج نشان داد که با افزایش غلظت میعانات گازی ارتفاع گیاه کاهش یافت، اما کاربرد مواد اصلاح‌کننده باعث افزایش ارتفاع گیاه گل جعفری نسبت به تیمار شاهد (بدون ماده اصلاح‌کننده) گردید. در غلظت ۶۰۰۰۰ میکرولیتر آلاینده، تیمار کربن فعال و تیمار ورمی کمپوست+ کربن فعال+ بیوچار به‌ترتیب باعث افزایش ۴۳/۴۷ و ۱۵/۵۷ درصد ارتفاع گل جعفری نسبت به شاهد (بدون ماده اصلاح‌کننده) در همین سطح آلاینده گردید. علاوه بر این در سطح ۳۰۰۰۰ میکرولیتر آلاینده نیز تیمار کربن فعال و تیمار ورمی کمپوست+ بیوچار+ کربن فعال به‌ترتیب باعث افزایش ۷۰/۲۰ و ۲۳/۲۴ درصد ارتفاع و همچنین در سطح ۷۵۰۰ میکرولیتر آلاینده، تیمار کربن فعال و تیمار ورمی کمپوست+ کربن فعال+ بیوچار به‌ترتیب باعث افزایش ۴۵/۱۰ و ۲۷/۱۳ درصد ارتفاع گل جعفری نسبت به تیمار شاهد در همین سطوح آلودگی شدند. بررسی کاربرد بیوچار در هر سطح آلاینده، در مقایسه با عدم کاربرد اصلاح‌کننده در همان سطح آلودگی نشان داد که از لحاظ ارتفاع در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری نداشت، در صورتی‌که کاربرد ورمی کمپوست در عمده سطوح آلودگی به‌استثنای سطوح ۷۵۰۰ و ۶۰۰۰۰ میکرولیتر آلاینده، تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع گیاه گل جعفری نسبت به تیمار شاهد در همان سطح آلودگی

تیمار شاهد در همین سطح آلودگی گردید. کاربرد همزمان سه اصلاح‌کننده ورمی‌کمپوست + کربن فعال + بیوجار در سطوح ۳۰۰۰۰ و ۶۰۰۰۰ میکرولیتر باعث کاهش معنی‌دار محتوای پرولین نسبت به شاهد در هر سطح آلاینده شده است. کاربرد کربن فعال نیز در سطوح ۶۰۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ میکرولیتر میعانات گازی، محتوای پرولین را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. اما کاربرد مواد اصلاح‌کننده ورمی‌کمپوست و بیوجار در هیچ سطحی از آلودگی تفاوت معنی‌داری با شاهد همان سطح آلودگی نداشت (جدول ۲). در مجموع نتایج حاکی از آن است که با افزایش سطوح آلاینده میزان پرولین در گیاه افزایش یافته و کاربرد برخی از مواد اصلاح‌کننده با کاهش سمیت آلاینده محتوای پرولین گیاه را کاهش داده است.

۴. بحث

در پژوهش حاضر آلودگی خاک به میعانات گازی باعث کاهش معنی‌دار وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، ارتفاع، سطح برگ، محتوای کلروفیل a و b برگ گیاه زیتنی جعفری گردید. اختلال تدریجی در متابولیسم و رشد و نمو گیاهی از اثرات ترکیبات نفتی بر گیاه است. ترکیبات نفتی از خاک آلوده به نفت در کلروپلاست‌های برگ تجمع می‌یابند و منجر به کاهش توانایی فتوسنتز گیاه می‌شوند که می‌تواند روی انتقال مواد در گیاهان مؤثر واقع شوند که احتمالاً ناشی از مسدود شدن آوندهای چوب و آبکش بوده و به موجب آن، در فتوسنتز و ساخت مواد در گیاهان کاهش ایجاد می‌شود (Ogedegbe et al., 2013). از سوی دیگر جذب مولکول‌های سمی هیدروکربنی توسط گیاهان در خاک‌های آلوده می‌تواند نفوذپذیری و ساختار غشای پلاسمایی را تغییر داده و کاهش خاصیت انتخابی غشا (انتخاب‌پذیری غشای پلاسمایی)، گیاه را از جذب آب باز داشته و باعث تنش آبی شود (Peer et al.,

است. کاربرد ورمی‌کمپوست نسبت به عدم کاربرد اصلاح‌کننده، در تمامی سطوح آلاینده به‌استثنای سطح ۶۰۰۰۰ موجب افزایش معنی‌دار میزان کلروفیل a گردید ($P < 0/05$). کاربرد بیوجار نسبت به عدم کاربرد اصلاح‌کننده، در تمامی سطوح آلاینده، تأثیر معنی‌داری در افزایش میزان کلروفیل a نداشت (جدول ۲).

در خاک آلوده به ۶۰۰۰۰ میکرولیتر آلاینده، کاربرد کربن فعال و ورمی‌کمپوست + کربن فعال + بیوجار به‌ترتیب باعث افزایش ۲/۳۸ و ۲/۵۱ برابر کلروفیل b برگ گل جعفری نسبت به شاهد (بدون ماده اصلاح‌کننده) در همین سطح آلودگی گردید. هم‌چنین در غلظت ۳۰۰۰۰ میکرولیتر آلاینده نیز تیمار ورمی‌کمپوست + کربن فعال + بیوجار و تیمار کربن فعال به‌ترتیب باعث افزایش ۱۴/۳۸ و ۹/۲۱ درصدی کلروفیل b نسبت به تیمار شاهد (بدون ماده اصلاح‌کننده) در همان سطح آلودگی شد. این نتایج بیانگر مؤثرتر بودن تیمار ورمی‌کمپوست + کربن فعال + بیوجار و تیمار کربن فعال در سطوح بالای آلاینده بر افزایش محتوای کلروفیل b بوده است. کاربرد بیوجار نسبت به تیمار شاهد در هیچ سطحی از آلاینده تأثیر معنی‌داری بر محتوای کلروفیل b نداشت و کاربرد ورمی‌کمپوست هم تنها در خاک غیرآلوده با تیمار شاهد خاک غیرآلوده تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد نشان داد (جدول ۲).

۳. ۵. محتوای پرولین برگ

اثر ساده میعانات گازی و مواد اصلاح‌کننده و اثر متقابل این دو فاکتور بر محتوای پرولین برگ گل جعفری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۱). در غلظت ۶۰۰۰۰ میکرولیتر آلاینده، تیمارهای ورمی‌کمپوست + کربن فعال + بیوجار و کربن فعال به‌ترتیب باعث کاهش ۳۹/۵۰ و ۳۰/۶۰ درصدی پرولین در گل جعفری نسبت به

ترتیب از رشد گیاهان در محیط‌های آلوده به ترکیبات نفتی جلوگیری می‌کنند (Zand et al., 2011). در خاک آلوده به گازوئیل، با افزایش غلظت آلاینده درصد جوانه‌زنی، شاخص‌های رشد گیاه شامل ارتفاع و قطر ساقه در گیاه لاله هندی کاهش یافت (Khan & Shaukat, 2009)، که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. نتایج سایر پژوهش‌گران نیز نشان داد که ارتفاع لاله عباسی^۲ در خاک‌های آلوده به ۵۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم هیدروکربن‌های نفتی بر کیلوگرم خاک به ترتیب ۶۳۰ و ۲۳/۶۰ درصد پایین‌تر از گیاهانی است که در خاک بدون آلودگی رشد کردند (Peng et al., 2009).

کلروفیل یکی از اجزای اصلی کلروپلاست برای فتوسنتز است و مقدار نسبی کلروفیل با سرعت فتوسنتز رابطه مثبت دارد، یکی از اثرات منفی آلاینده‌های نفتی بر گیاه ممکن است شامل کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی باشد (Martía et al., 2009). ترکیبات نفتی انتقال الکترون را از طریق آسیب به پلاستوکینون‌ها مسدود می‌کنند و به این وسیله مانع جریان الکترون از فتوسیستم II به فتوسیستم I می‌شوند و در نتیجه سبب اشباع بیش از حد فتوسیستم II از الکترون و اکسیداسیون فتوشیمیایی کمپلکس‌های حاصل از نور که با کلروفیل b پیوند دارند، می‌شوند و در نهایت باعث افزایش حساسیت نور در گیاه می‌شود (Huang et al., 2004). کاهش معنی‌داری در محتوای کلروفیل a و کلروفیل b در درختان حرا در مناطق آلوده به نفت مشاهده گردید و غلظت کلروفیل b به صورت معنی‌داری بیش‌تر از کلروفیل a کاهش یافت (Morsy et al., 2012).

پرویلین در محافظت از آنزیم‌ها و ساختارهای سلولی نقش دارد و به‌عنوان جاروب‌گر رادیکال‌های آزاد عمل می‌کند. از آنجاکه ترکیبات نفتی دارای خصوصیت

وجود هیدروکربن‌های نفتی در خاک موجب کاهش وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاه زیتنی تاج خروس^۱ در تیمارهای یک تا چهار درصد نفت خام در مقایسه با تیمار شاهد شده است، به‌طوری‌که با افزایش غلظت آلاینده کاهش وزن تر و خشک گیاه تشدید گردید (Omosun et al., 2008).

ترکیبات نفتی سطح ریشه گیاهان را می‌پوشانند و رابطه آب-خاک-گیاه را تغییر داده و در نتیجه مانع یا موجب کاهش تبادل آبی و گازی و جذب عناصر غذایی توسط گیاهان می‌شوند (Agbogidi, 2011). در واقع اثر سمیت آلاینده‌های نفتی ریخت‌شناسی ریشه را تغییر داده و این تغییر به‌طور مستقیم بر جذب آب و مواد غذایی اثر می‌گذارد، بنابراین موجب کاهش سوخت‌وساز در بافت ریشه گردیده و در نهایت منجر به کاهش عملکرد خشک گیاه شده است (Reynoso-Cuevas et al., 2008). لذا تنش ناشی از ترکیبات نفتی از جمله عوامل محدودکننده رشد و گسترش ریشه محسوب می‌گردد که این امر ممکن است سبب بیوسنتز اتیلن در گیاه شده که جلوگیری از رشد گیاه و کاهش زیست‌توده گیاهی (به‌خصوص ریشه‌ها) از پیامدهای آن می‌باشد. با بررسی تأثیر نفت خام بر دو گیاه فستوکا و یونجه نتایج پژوهش نشان داد که با افزایش غلظت نفت خام سبک در خاک، میزان وزن خشک ریشه و اندام‌هوایی در هر دو گونه گیاهی به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد کاهش یافت (Shahriari et al., 2006).

ترکیبات هیدروکربنی توانایی ویژه‌ای در ورود به سلول‌های گیاهی دارند و به‌راحتی از دیوار غشای سلولی عبور می‌کنند و این مواد وارد سیتوپلاسم سلول‌ها شده و روند طبیعی رشد سلول‌ها را مختل نموده و اثراتی از جمله کاهش تقسیمات سلولی را ایجاد می‌نمایند. به این

(Kołtowski *et al.*, 2017) و با افزایش ظرفیت نگهداشت آب خاک، رطوبت مورد نیاز رشد ریشه را فراهم می‌کند (Cornelissen & Gustafsson, 2004). هم‌چنین این مواد اصلاحی خواص فیزیکی خاک را بهبود داده، باعث کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک، ایجاد خلل و فرج در خاک شده و تهویه خاک را تسهیل می‌نماید (Brändli *et al.*, 2008). بنابراین فضای مناسبی برای رشد و توسعه ریشه فراهم می‌گردد.

ورمی‌کمپوست نیز با افزایش فعالیت‌های میکروبی و افزایش غلظت عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف و آزادسازی تدریجی آن‌ها باعث بهبود رشد گیاه می‌شود (Rekha *et al.*, 2018). هم‌چنین این ماده حاوی هیومات است که اثراتی مشابه هورمون و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه دارند و وجود آنان همراه با مواد آلی در ورمی‌کمپوست باعث تحریک رشد و افزایش فتوسنتز گیاه می‌شود، بنابراین کاربرد ورمی‌کمپوست در خاک، موجب افزایش زیست‌توده گیاه و در نهایت عملکرد خشک آن می‌گردد (Arancon *et al.*, 2004). از سوی دیگر ورمی‌کمپوست اجزای فعال زیستی دارد که در محیط ریشه می‌تواند تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی نظیر جیبرلین و سیتوکینین تولید نموده، لذا باعث افزایش رشد ریشه و زیست‌توده ریشه شوند (Atiyeh *et al.*, 2000). وجود نیتروژن قابل جذب در ورمی‌کمپوست سبب افزایش پروتوپلاسم و در نتیجه افزایش اندازه سلول و تعداد سلول می‌شود و به واسطه آن موجب افزایش رشد رویشی و تولید بیش‌تر برگ‌ها گردیده که به‌نوبه خود سبب افزایش سطح جذب نوری، سطح فتوسنتزکننده، ساخته‌شدن مواد هیدروکربنی در برگ‌ها و افزایش کلروفیل خواهد شد. هم‌چنین استفاده از ورمی‌کمپوست باعث تحریک تولید اکسین شده و منجر به افزایش ارتفاع گیاه می‌شود (Atiyeh *et al.*, 2002).

آب‌گریزی بوده، باعث کاهش جذب آب توسط گیاه می‌شوند (Khan *et al.*, 2015). بنابراین پرولین نقش حیاتی به‌عنوان حلال تنظیم‌کننده و محافظ اسمزی در گیاهان در معرض فشار اسمزی بالا را دارد، بنابراین هرچه انباشتگی پرولین به‌عنوان یک اسمولیت در گونه‌های گیاهی بیش‌تر باشد، مقدار جذب آب توسط گیاه و حفظ و نگهداری آن بیش‌تر خواهد بود (Anjum *et al.*, 2012). در بررسی تأثیر ترکیبات نفتی بر میزان پرولین گیاهان زینتی نتایج پژوهش‌گران نشان داد که میزان پرولین گل مینای چشم‌گاو^۱ در خاک آلوده به نفت خام نسبت به شاهد افزایش ۶۰-۵۰ درصدی نشان داد (Noori *et al.*, 2018). میزان پرولین تولیدشده توسط گیاه علف گندمی بیابانی^۲ با افزایش سطوح مواد نفتی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Saraeian *et al.*, 2015).

استفاده از مواد اصلاح‌کننده خاک به‌ویژه تیمار کربن فعال و تیمار ترکیبی ورمی‌کمپوست+ بیوجار+ کربن فعال در خاک آلوده به سطوح مختلف میعانات گازی، باعث افزایش صفات رشدی و رنگیزه‌های فتوسنتزی گل جعفری نسبت به تیمار شاهد (بدون ماده اصلاح‌کننده) شد. اصلاح‌کننده‌های آلی خاک دارای توانایی کاهش سمیت آلودگی‌های ناشی از آلاینده‌های آلی هستند. هم‌چنین این اصلاح‌کننده‌های خاک، نقش قابل‌ملاحظه‌ای در بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و تأمین برخی از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه داشته و می‌توان از آن‌ها برای اصلاح ویژگی‌های نامطلوب خاک و افزایش عملکرد محصول استفاده کرد.

کربن فعال یکی از اصلاح‌کننده‌های آلی خاک هستند که مواد آب‌گریز را به سهولت جذب نموده، منجر به کاهش زیست‌فراهمی و سمیت آلاینده می‌شود

1. *Leucanthemum vulgare* L.
2. *Agropyron desertorum*

شاخص‌های رشدی گیاه استبرق^۲ از جمله وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، ارتفاع، قطر ساقه و شاخص سبزیگی در تمام سطوح آلودگی نفتی در تیمارهای حاوی کمپوست نسبت به تیمار شاهد دارای مقادیر بیشتری بوده‌اند و در سطح احتمال پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار بودند (ValizadehRad et al., 2015)، که بیانگر تأثیر مثبت کاربرد کمپوست در افزایش رشد گیاه استبرق تحت آلودگی هیدروکربن‌ها بود. نتایج سایر پژوهش‌گران نیز نشان داد که افزودن بیوپچار به خاک آلوده به نفت خام در افزایش ارتفاع جو تأثیر معنی‌داری نداشت، در صورتی‌که ارتفاع جو دوسر نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، همچنین کاربرد بیوپچار بر وزن خشک ریشه جو دوسر نسبت به شاهد تأثیر معنی‌داری نداشت، اما به‌طور معنی‌داری (۴۹/۹۱ درصد) وزن خشک ریشه جو را افزایش داد (Barati et al., 2017).

۵. نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج پژوهش حاضر نشان داد که آلودگی خاک به میعانات گازی یک عامل بازدارنده برای رشدونمو گیاه زیتنی گل جعفری بوده است و باعث کاهش معنی‌دار شاخص‌های رشدی گیاه از جمله وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، ارتفاع، کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی و افزایش محتوای پرولین برگ این گیاه گردیده است. نتایج بیانگر این است که اگرچه با افزایش سطوح میعانات گازی در خاک، ویژگی‌های رشدی و رنگیزه‌های فتوسنتزی گل جعفری کاهش بیشتری نسبت به خاک غیرآلوده نشان داده است، اما این گیاه توانایی رشد در بالاترین سطح آلودگی (۶۰۰۰۰ میکرولیتر میعانات گازی بر کیلوگرم خاک) را داشته است. کاربرد همزمان سه ماده اصلاح‌کننده و کاربرد کربن فعال باعث افزایش پارامترهای

بیوپچار نیز با قدرت جذب سطحی که دارد میعانات گازی را تثبیت و جذب کرده و باعث کاهش سمیت آن شده است. افزودن بیوپچار به خاک می‌تواند منجر به افزایش زمان نگهداشت آب در منطقه ریشه شود، به این ترتیب رطوبت و عناصر غذایی بیشتری را برای رشد گیاه فراهم و در نهایت موجب بهبود رشد گیاه گردد (Beesley et al., 2010).

بررسی تأثیر ورمی‌کمپوست بر گیاهان زیتنی سیپروس و گل حساس در خاک آلوده به هیدروکربن‌های نفتی در یک دوره شش ماهه نشان داد که در تمام تیمارها، زیست‌توده شاخساره و ریشه هر دو گیاه در خاک تحت تیمار ورمی‌کمپوست به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت (Deka & Deka, 2012). استفاده از بیوپچار و کمپوست در خاک آلوده به هیدروکربن‌های آروماتیک باعث بهبود ویژگی‌های رشدی و زیست‌توده آفتابگردان گردید، به‌طوری‌که با افزودن کمپوست به خاک آلوده، میانگین حداکثر ارتفاع آفتابگردان ۱۱۵ درصد افزایش یافت. آن‌ها بیان کردند که کاربرد بیوپچار و کمپوست در خاک آلوده می‌تواند باعث بهبود ویژگی‌های رشدی گیاه گردند (Chirakkara & Reddy, 2015). بررسی تأثیر بیوپچار و کربن فعال بر رشد گیاه ذرت در خاک آلوده به هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی (PAH) نشان داد که کربن فعال در افزایش وزن خشک ریشه و اندام‌هوایی نسبت به بیوپچار مؤثرتر واقع شد (Brennan et al., 2014). در بررسی تأثیر کربن فعال و بیوپچار بر کاهش سمیت خاک آلوده به مخلوط هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای و فلزات سنگین، نتایج نشان داد که کاربرد هر دو ماده اصلاح‌کننده در کاهش سمیت آلاینده‌ها مؤثر بوده اما کربن فعال نسبت به بیوپچار تأثیر بیشتری داشته است (Koftowski & Oleszczuk, 2016) که نتایج این پژوهش‌گران با نتایج حاضر در یک راستا قرار دارد.

- Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24(1), 1-15.
- Atiyeh, R. M., Arancon, N., Edwards, C. A. & Metzger, J. D. (2000). Influence of earthworm-processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes. *Bioresource Technology*, 75(3), 175-180. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00064-X](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00064-X)
- Atiyeh, R. M., Lee, S., Edwards, C. A., Arancon, N. Q. & Metzger, J. D. (2002). The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresource Technology*, 84(1), 7-14. DOI: 10.1016/s0960-8524(02)00017-2
- Barati, M., Bakhtiari, F., Mowla, D. & Safarzadeh, S. (2017). Total petroleum hydrocarbon degradation in contaminated soil as affected by plants growth and biochar. *Environmental Earth Sciences*, 76(20), 688. DOI: 10.1007/s12665-017-7017-7
- Bates, L. S., Waldren, R. P. & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and soil*, 39(1), 205-207.
- Beesley, L., Moreno-Jiménez, E. & Gomez-Eyles, J. L. (2010). Effects of biochar and greenwaste compost amendments on mobility, bioavailability and toxicity of inorganic and organic contaminants in a multi-element polluted soil. *Environmental Pollution*, 158(6), 2282-2287. DOI: 10.1016/j.envpol.2010.02.003
- Brändli, R. C., Hartnik, T., Henriksen, T. & Cornelissen, G. (2008). Sorption of native polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) to black carbon and amended activated carbon in soil. *Chemosphere*, 73(11), 1805-1810. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2008.08.034
- Brennan, A., Jiménez, E. M., Albuquerque, J. A., Knapp, C. W. & Switzer, C. (2014). Effects of biochar and activated carbon amendment on maize growth and the uptake and measured availability of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and potentially toxic elements (PTEs). *Environmental Pollution*, 193(1), 79-87. DOI: 10.1016/j.envpol.2014.06.016
- Chirakkara, R. A. & Reddy, K. R. (2015). Biomass and chemical amendments for enhanced phytoremediation of mixed contaminated soils. *Ecological Engineering*, 85, 265-274. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2015.09.029
- Cornelissen, G. & Gustafsson, Ö. (2004). Sorption of phenanthrene to environmental black carbon in sediment with and without organic matter and native sorbates. *Environmental Science & Technology*, 38(1), 148-155. DOI: 10.1021/es034776m

رشدی گیاه در خاک آلوده به سطوح مختلف میعانات گازی گردیده است. اثر مثبت اصلاح‌کننده‌های آلی در کاهش سمیت میعانات گازی و توانایی گیاهان زینتی برای رشد در خاک‌های آلوده به ترکیبات هیدروکربنی، به دلیل عدم کاربرد غذایی این گیاهان که خطر ورود آلاینده‌های جذب‌شده توسط گیاهان به چرخه زندگی جانداران کاهش می‌یابد و همچنین به علت امکان استفاده از ظرفیت و قابلیت‌های این گیاهان در ایجاد فضای سبز در خاک‌های آلوده که محدودیت رشد گیاهان وجود دارد، حائز اهمیت می‌باشد. نتایج این پژوهش می‌تواند در ارائه راه‌کارهایی برای کاهش سمیت خاک آلوده به میعانات گازی بر گیاهان مؤثر واقع گردد. بنابراین براساس نتایج حاصل از این پژوهش، استفاده از کربن فعال و کاربرد همزمان ورمی‌کمپوست، بیوچار و کربن فعال با مقادیر مناسب در خاک‌های آلوده به میعانات گازی به منظور کاهش سمیت این آلاینده بر گیاهان توصیه می‌گردد.

۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

- Agbogidi, O. M. (2011). Effects of crude oil contaminated soil on biomass accumulation in *Jatropha curcas* L. seedlings. *Journal of Ornamental and Horticultural Plants*, 1(1), 43-49. (in Persian)
- Anjum, S. A., Farooq, M., Xie, X. Y., Liu, X. J. & Ijaz, M. F. (2012). Antioxidant defense system and proline accumulation enables hot pepper to perform better under drought. *Scientia Horticulturae*, 140(1), 66-73. DOI: 10.1016/j.scienta.2012.03.028
- Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Bierman, P., Welch, C. & Metzger, J. D. (2004). Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. *Bioresource Technology*, 93(2), 145-153. DOI: 10.1016/j.biortech.2003.10.014

- Deka, S. & Deka, H. (2012). Vermicompost assisted phytoremediation for abatement of crude oil contaminated soil. In *Proceedings of International Conference on Anthropogenic Impact on Environment & Conservation Strategy, 1, 131-136*.
- Hale, S. E., Elmquist, M., Brändli, R., Hartnik, T., Jakob, L., Henriksen, T. & Cornelissen, G. (2012). Activated carbon amendment to sequester PAHs in contaminated soil: A lysimeter field trial. *Chemosphere*, 87(2), 177-184. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2011.12.015
- Han, T., Zhao, Z., Bartlam, M. & Wang, Y. (2016). Combination of biochar amendment and phytoremediation for hydrocarbon removal in petroleum-contaminated soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(21), 21219-21228. DOI: 10.1007/s11356-016-7236-6
- Huang, X. D., El-Alawi, Y., Penrose, D. M., Glick, B. R. & Greenberg, B. M. (2004). Responses of three grass species to creosote during phytoremediation. *Environmental Pollution*, 130(3), 453-463. DOI: 10.1016/j.envpol.2003.12.018
- Katz, D. L. V. & Lee, R. L. (1990). *Natural gas engineering: production and storage*. McGraw-Hill Education. New York, United States.
- Khan, D. & Shaukat, S. S. (2009). Effects of diesel oil-polluted soil on emergence and growth of seedlings of *Thespesia populnea* (L.) Sol. Ex. Corr. *International Journal of Biology and Biotechnology*, 6(4), 289-298.
- Khan, S., Waqas, M., Ding, F., Shamshad, I., Arp, H. P. H. & Li, G. (2015). The influence of various biochars on the bioaccessibility and bioaccumulation of PAHs and potentially toxic elements to turnips (*Brassica rapa* L.). *Journal of Hazardous Materials*, 300(1), 243-253. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2015.06.050
- Kołtowski, M. & Oleszczuk, P. (2016). Effect of activated carbon or biochars on toxicity of different soils contaminated by mixture of native polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 35(5), 1321-1328. DOI: 10.1002/etc.3246
- Kołtowski, M., Hilber, I., Bucheli, T. D., Charmas, B., Skubiszewska-Zięba, J. & Oleszczuk, P. (2017). Activated biochars reduce the exposure of polycyclic aromatic hydrocarbons in industrially contaminated soils. *Chemical Engineering Journal*, 310(1), 33-40. DOI: 10.1016/j.cej.2016.10.065
- Martía, M. C., Camejoa, D., Fernández, N., Rellán, A. R., Marquesc, S., Sevilla, F. & Jiménez, A. (2009). Effect of oil refinery sludges on the growth & antioxidant system of alfalfa plants. *Journal of Hazardous Materials*, 171, 879-885. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2009.06.083
- Merkel, N., Schultze-Kraft, R. & Infante, C. (2004). Phytoremediation in the tropics—the effect of crude oil on the growth of tropical plants. *Bioremediation Journal*, 8(3-4), 177-184. DOI: 10.1080/10889860490887527
- Morsy, A. A., Hassanein, A. A. & El-Refaai, H. O. (2012). Ecophysiological responses of grey mangrove (*Avicennia marina*) (Forssk.) Vierh. to Oil Pollution at RasMohammed protective area. *Report and Opinion*, 4(8), 43-56. DOI: 10.1155/2018/7404907
- Noori, A., Zare Maivan, H., Alaie, E. & Newman, L. A. (2018). *Leucanthemum vulgare* L. crude oil phytoremediation. *International Journal of Phytoremediation*, 20(13), 1292-1299. <https://doi.org/10.1080/15226514.2015.1045122>
- Ogedegbe, A. U., Ikhajagi, B. & Anoliefo, G. O. (2013). Growth response of *Alternanthera brasiliana* (L.) Kuntze in a waste engine oil-polluted soil. *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences*, 4(2), 322-327.
- Omosun, G., Markson, A. A. & Mbanasor, O. (2008). Growth and anatomy of *Amaranthus hybridus* as affected by different crude oil concentrations. *American-Eurasian Journal of Scientific Research*, 3(1), 70-74.
- Peer, W.A., Baxter, I.R., Richards, E.L., Freeman, J. L. & Murphy, A. S. (2005). *Phytoremediation and hyperaccumulator plants*. In *Molecular biology of metal homeostasis and detoxification* (pp. 299-340). Springer, Berlin, Heidelberg, Germany
- 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(2-3), 1490-1496. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2009.03.036
- Pignatello, J. J., Kwon, S. & Lu, Y. (2006). Effect of natural organic substances on the surface and adsorptive properties of environmental black carbon (char): attenuation of surface activity by humic and fulvic acids. *Environmental Science & Technology*, 40(24), 7757-7763. DOI: 10.1021/es061307m
- Qin, G., Gong, D. & Fan, M. Y. (2013). Bioremediation of petroleum-contaminated soil by biostimulation amended with biochar. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 85, 150-155. DOI: 10.1016/j.ibiod.2013.07.004

- Rekha, G. S., Kaleena, P. K., Elumalai, D., Srikumaran, M. P. & Maheswari, V. N. (2018). Effects of vermicompost and plant growth enhancers on the exo-morphological features of *Capsicum annum* (Linn.) Hepper. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 7(1), 83-88. <https://doi.org/10.1007/s40093-017-0191-5>
- Reynoso-Cuevas, L., Gallegos-Martinez, M. E., CruzSosa, F. & Gutierrez-Rojas, M. (2008). In vitro evaluation of germination and growth of five plant species on medium supplemented with hydrocarbons associated with contaminated soils. *Bioresource Technology*, 99, 6379-6385. DOI: 10.1016/j.biortech.2007.11.074
- Saraeian, Z., Etemadi, N., Haghighi, M., Hajabbassi, M. A. & Afyuni, M. (2015). The effects of petroleum contaminated soil on germination and morphophysiological characteristics of wheatgrass (*Agropyron desertorum*) for landscape design. *Journal of Plant Process and Function*, 4(11), 87-98. (in Persian)
- Shahriari, M. H., Savaghebi-Firrozabadi, G. R., Minai-Tehrani, D. & Padidaran, M. (2006). The effect of mixed plants alfalfa (*Medicago sativa*) and fescue (*Festuca arundinacea*) on the phytoremediation of light crude oil in soil. *Environmental Sciences*, 13(1), 33-40 (in Persian)
- ValizadehRad, K., Motesharezade, B. & Alikhani, H. A. (2015). Effect of compost and PGPR on *Calotropis Procera* growth in crude oil-contaminated soil. *Journal of Land Management*, 3(1), 83-96. (in Persian)
- 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. DOI: 10.3906/tar-0903-2