مجله بوم شناسی آبزیان

Journal homepage: http://jae.hormozgan.ac.ir

تعیین اثر نفت خام بر زی‌توده، رنگیزه‌های مسیر بیوسنتزی کلروفیل و مقدار عناصر دانه رست گیاه حرا (*Avicennia marina*)

بابک مرادی[۱]، حسن زارع مایوان[۱*]، مهری سیدهشترودی[۲]، منا صراحی نوبر[۳]

[۱] گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

[۲] گروه علوم زیستی دریا، پژوهشکده علوم دریایی، پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، تهران

[۳] گروه علوم گیاهی، دانشکده زیست‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۹۵/۰۹/۰۹
اصلاح: ۹۵/۱۰/۲۵
پذیرش: ۹۵/۱۰/۳۰

کلمات کلیدی:
آلودگی نفتی
رنگیزه
عناصر مغذی
Avicennia marina

چکیده

اکوسیستم‌های مانگرو ایران به دلیل قرار گرفتن در سواحل خلیج‌فارس که یکی از شاهراه‌های مهم حمل‌ونقل مواد نفتی است، در معرض انواع آلاینده‌های نفتی قرار دارند. به‌منظور بررسی اثرات آلودگی نفتی روی برخی صفات مورفوفیزیولوژیک گیاه حرا (*Avicennia marina*)، آزمایشی در قالب طرح‌های کاملاً تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. زی‌توده و مقدار رنگیزه‌های (کلروفیل a و b، پروتوپورفیرین، منیزیم پروتوپورفیرین، پروتوکلروفیلید و کاروتنوئید کل) برگ گیاه، چهار ماه پس از جوانه‌زنی بذرهای کاشته شده در خاک آلوده به غلظت‌های مختلف (۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ درصد وزنی) نفت مورد بررسی و اندازه‌گیری قرار گرفت. نتایج نشان داد که آلودگی نفتی، زی‌توده و مقدار رنگیزه‌های گیاه به‌ویژه کلروفیل b را کاهش داد. همچنین تشکیل برگ‌های جدید با افزایش غلظت نفت در خاک محدود گردید. مطالعه نیم‌رخ یونی در ریشه و برگ دانه رست‌های رشد داده‌شده در غلظت ۵ درصد نفت، تغییر در محتوای بسیاری از عناصر معدنی ازجمله منیزیم، کلسیم، آهن و پتاسیم را نسبت به نمونه‌های شاهد نشان داد. یافته‌های این تحقیق اثرات منفی آلودگی نفتی را بر رشد و نمو، فتوسنتز و تغذیه گیاه حرا نشان داد.

مقدمــه

جنگل‌های مانگرو در سواحل خلیج‌فارس و دریای عمان در یک محدوده ۱۸۳۰ کیلومتری از جنوب شرقی تا جنوب غربی ایران قرارگرفته‌اند. این جنگل‌ها در سه استان سیستان و بلوچستان، هرمزگان و بوشهر وجود دارند. جنگل‌های مانگرو در ایران به دو گونه حرا (*Avicennia marina* (Forssk.) Vierh.) و چندل (*Rhizophora mucroanata* Lam.) محدود می‌شوند. اکثر جنگل‌های مانگرو که در زیست‌گاه‌های حرای جنوب ایران مستقر شده‌اند، از گونه *A. marina* تشکیل یافته است (Rashvand and Sadeghi, 2014). بوم‌سازگان‌های مانگرو به‌عنوان منبع حفظ تنوع زیستی، پناهگاه و محل تغذیه و زیستگاه بسیاری از جانوران عمل می‌کنند. ویژگی مهم این بوم‌سازگان تولید زی‌توده در نواحی جذر و مدی دریا است. این نواحی منبع بزرگ غذایی برای بسیاری از جانداران دریایی به شمار می‌روند. به دلیل شرایط ویژه‌ای که این جنگل‌ها دارند؛ می‌توانند نقش بسیار مؤثری در صنعت شیلات و آبزی‌پروری ایفا کنند. به‌عنوان نمونه، بسیاری از گونه‌های ماهی‌ها و میگوها بخشی از چرخه زندگی خود را در میان ریشه‌های جنگل‌های مانگرو می‌گذرانند (van Bochove *et al.*, 2014).

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: zaremaih@modares.ac.ir

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1397.7.4.14.9]

خلیج‌فارس یکی از مهم‌ترین آبراهه‌های جهان است. به دلیل حضور منابع نفت و گاز در حوضه این خلیج، صنایع نفت و گاز، اعم از اکتشاف، استخراج و حمل‌ونقل این مواد به‌شدت توسعه یافته است. خلیج‌فارس تقریباً دوسوم منابع نفت و گاز و یک چهارم نفت تولیدی جهان را به خود اختصاص داده است. یکی از معضلات در خلیج‌فارس آلودگی‌های نفتی است (Ebrahimi-Sirizi and Riyahi-Bakhtiyari, 2013). توجه به اثرات این نوع آلودگی‌ها بر گیاهان حرا و نیز پتانسیل فیزیولوژیک این گیاهان در پاسخ به آلودگی‌های نفتی ضرورتی است که می‌تواند چشم‌انداز مدیریت آلودگی‌ها و روش‌های ارتقای مقاومت گیاهان این بوم سامانه را در زمان بروز آلودگی نفتی بهبود بخشد.

گیاهانی که در نواحی دارای آلودگی نفتی رشد داده می‌شوند، اثرات تجمعی مواد سمی و کاهش رشد را نشان می‌دهند. همچنین نفت سبب جلوگیری از هوادهی خاک می‌شود و منافذ خاک و سطح ریشه گیاه را می‌پوشاند؛ این موضوع ممکن است به خفگی ریشه گیاه بیانجامد (Pernar *et al.*, 2006). هوادهی ناکافی سبب تنش در ریشه گیاه و عدم دسترسی کافی به آب می‌شود (Ashraf, 1999) که به‌نوبه خود از رشد ممانعت به عمل می‌آورد. اثرات نفت خام بر گیاه تابع غلظت نفت، مدت‌زمان قرار گرفتن در معرض نفت و گونه گیاه است (Baek *et al.*, 2004; Merkl *et al.*, Adam and Duncan, 2002 ; 2004; Naidoo *et al.*, 2010). ازجمله صفات فیزیولوژیکی که تحت تأثیر تنش نفتی قرار می‌گیرد، مقدار رنگیزه‌ها و وضعیت تغذیه‌ای گیاه می‌باشد (Yong and Tam, 2007).

Wardrop و همکاران (۱۹۸۷)، سمیت دو نوع نفت را بر مانگرو حرا در یک مطالعه میدانی مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها میزان ریزش و تخریب برگ، تخریب پنوماتوفورها، گل‌دهی و میوه دهی طی یک دوره سه‌ساله را بررسی کردند و اثرات سمی نفت بر گیاه گزارش شد. Youssef در سال ۲۰۰۲، برخی پاسخ‌های فیزیولوژیک دانه رست‌های حرا را به اثرات فیتوتوکسیک بخش محلول در آب نفت سبک عربی بررسی کرد. در این مطالعه رفتار روزنه‌ها، عملکرد رشدی و انباشت PAH ها در دانه رست‌های حرا گزارش شد. در ۲۴ ساعت آغازین تیمار، عدم کنترل کافی بر رفتار روزنه‌ای و تعرق مشاهده گردید. Zhang و همکاران (۲۰۰۷) اثر روغن روان‌کننده (Lubricating oil) بر جوانه‌زنی، رشد اولیه و پاسخ‌های فیزیولوژیک مانگرو *Bruguiera gymnorrhiza* را مورد بررسی قرار دادند. اگرچه جوانه‌زنی گیاه تحت تأثیر قرار نگرفت اما رشد اولیه شامل ارتفاع، تعداد برگ و بیوماس دانه رست‌های تیمار شده با روغن موتور به‌طور معناداری کاهش یافت. Naidoo و همکاران (۲۰۱۰) پاسخ‌های فیزیولوژیک و مورفولوژیک مانگروهای *Avicennia marina* و *Bruguiera gymnorrhiza* را به آلودگی نفتی در شرایط طبیعی میدانی و همچنین گلخانه‌ای بررسی نمودند. در مطالعه گلخانه‌ای، دانه رست‌های ۱۵ ماهه حرا به مدت ۶ ماه در معرض نفت قرار گرفتند. تیمار نفتی، تبادل دی‌اکسید کربن را در گیاه تا ۵۰ درصد کاهش داد. نتایج آن‌ها به‌طورکلی نشان داد که تیمار نفتی به‌شدت کارایی فتوسنتزی را در هر دو گیاه مانگرو کاهش داده است.

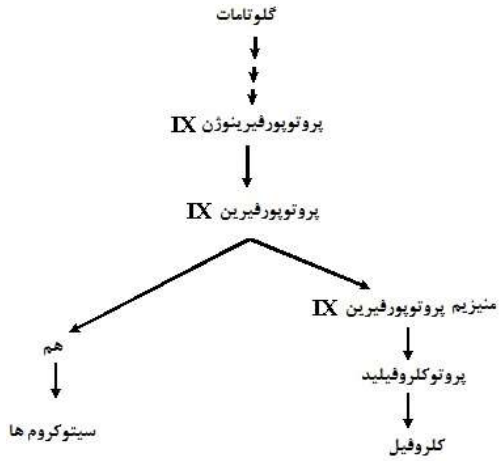
نور خورشید برای انجام فتوسنتز، به‌وسیله رنگیزه‌های متعددی که در کلروپلاست برگ گیاه وجود دارد، جذب می‌شود. این رنگیزه‌ها نقش مهمی در سیستم تولید و درنتیجه رشد گیاه بازی می‌کنند. کلروفیل در این میان نقش اصلی را در تنظیم میزان تولید ناشی از فتوسنتز بازی می‌کند. میزان فتوسنتز و درنتیجه میزان تولید گیاه به‌نوعی وابسته به غلظت کلروفیل در برگ گیاه است. مقدار کلروفیل در گیاه تحت تأثیر تنش‌های مختلف قرار می‌گیرد (Onwurah *et al.*, 2007). اثر منفی آلودگی نفتی بر محتوای کلروفیل پیش‌تر گزارش شده است. بیوسنتز کلروفیل از آمینواسید گلوتامیک اسید آغاز می‌شود که پس از وصل شدن به tRNA و تولید آمینولولونیک اسید[1] و از دست دادن گروه آمین و سلسله واکنش‌های آنزیمی تولید پروتوپورفیرینوژن[2] و سپس پروتوپورفیرین[3] می‌نماید. سپس با افزوده شدن آهن و یا منیزیم به آن سرنوشت متفاوتی خواهد داشت. با کلاته شدن با منیزیم، مولکول منیزیم پروتوپورفیرین تولید می‌شود که پس از تبدیل شدن به پروتوکلروفیلید[4]، می‌تواند کلروفیلید a و یا کلروفیلید b را به وجود آورد که تبدیل به کلروفیل a یا b می‌شوند (Taiz *et al.*, 2015) (شکل ۱).

[1] aminolevulinic acid
[2] protoporphyrinogen
[3] protoporphyrin
[4] protochlorophyllide

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1397.7.4.14.9]

با بررسی مقدار هرکدام از این پیش سازها در گیاه تحت تیمار آلودگی نفتی، می‌توان اثر احتمالی نفت را بر مسیر بیوسنتزی این رنگیزه اصلی در گیاه یافت.



شکل ۱. طرح‌واره مسیر بیوسنتزی کلروفیل در گیاهان

هدف از مطالعه حاضر بررسی اثر غلظت‌های مختلف نفت بر جوانه‌زنی، رشد و نمو گیاه حرا به‌عنوان گونه اصلی جوامع مانگرو در نوار ساحلی جنوب کشور می‌باشد. همچنین بررسی اثرات نفت بر غلظت برخی مولکول‌های حد واسط در مسیر بیوسنتزی کلروفیل (پروتوپورفیرین، منیزیم پروتوپورفیرین و پروتوکلروفیلید) و مقدار کلروفیل و نیز نیمرخ یونی گیاه حرا امکان تجزیه‌وتحلیل اثرات نفت بر فیزیولوژی تغذیه و تا حدودی فتوسنتز گیاه را فراهم می‌سازد. یافته‌های این تحقیق می‌تواند در مورد نقطه اثرگذاری آلودگی نفتی در تولید کلروفیل و ارتباط آلودگی نفتی و سمیت احتمالی ناشی از جذب بیش‌ازحد عناصر و یا محدودیت در جذب آن‌ها به دلیل آلودگی نفتی مؤثر باشد.

مواد و روش‌ها

آلودگی خاک

نفت خام از پالایشگاه نفت تهران تهیه شد. ویژگی‌های این نفت در جدول ۱ ذکر شده است. خاک مورد نیاز از نهالستان باغو واقع در نزدیکی شهر بندرعباس تهیه گردید و پس از استریل شدن در اتوکلاو (در دمای ۱۲۱ درجه به مدت یک ساعت) مورد استفاده قرار گرفت. این پژوهش در طرح کاملاً تصادفی با درصدهای نفتی ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ درصد (w/w) در خاک انجام شد. مقدار مناسب از نفت خام با ۵۰۰ گرم خاک مخلوط گردید و تا زمان همگن شدن به‌صورت مکانیکی هم زده شد. سپس خاک به گلدان‌های نیم لیتری منتقل گردید. جهت انجام تبادل کاتیونی، گلدان‌های محتوی خاک آلوده به نفت به مدت یک هفته قبل از کاشت گیاه در محیط گلخانه نگهداری شد (Noori *et al.*, 2015). خاک شاهد فاقد نفت بود.

کاشت گیاهان

ابتدا بذرهای گیاه با استفاده از هیپوکلریت سدیم ۱ درصد به مدت ۱۰ دقیقه و الکل ۷۰ درصد به مدت ۳۰ ثانیه استریل شدند. پس از کندن پوسته خارجی بذرها، پروپاگول‌ها[1] به گلدان‌های ۰/۵ لیتری پلاستیکی منتقل و ۲ عدد بذر در هر گلدان به فاصله مساوی کاشت شد. هر تیمار مشتمل بر ۱۰ گلدان بود. گیاهان در شرایط دمایی بین ۲۴ درجه روز و ۱۸ درجه سلسیوس شب، رطوبت ۲۱-۱۵ درصد و شرایط نوری ۱۵ ساعت روزانه در طی ۴ ماه رشد داده شدند. کل آزمایش با سه تکرار و به‌صورت متوالی انجام پذیرفت.

[1] propagules

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1397.7.4.14.9]

جدول ۱. ویژگی‌های نفت خام بر اساس گزارش پالایشگاه نفت شهید تندگویان

محتوای سولفور	WT%	۱/۲۱
نیتروژن کل	WT%	۰/۲
آسفالت	WT%	۰/۵۵
محتوای واکس	WT%	۷/۳
کربن باقیمانده	WT%	۳/۶۴
سولفید هیدروژن	mg/l	<۱
نیکل	mg/l	۸/۳
وانادیوم	mg/l	۲۸
آهن	mg/l	۵/۴
سرب	mg/l	<۱
سدیم	mg/l	۲۷
محتوای آب	Vol%	<۰/۰۵

سنجش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی

برای سنجش میزان کلروفیل از روش Porra و همکاران (۱۹۸۹)، کاروتنوئید Holm و همکاران (۱۹۵۴) و پیش سازهای کلروفیل از روش Yang و همکاران (۱۹۹۸) استفاده شد. بر اساس این روش‌ها ۰/۲۵ گرم بافت برگ (مخلوطی از ۱۰ گیاه) در ازت مایع به‌خوبی ساییده شد تا پودر شود. سپس با ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد مخلوط و به‌خوبی همگن شدند. نمونه‌ها به مدت ۵ دقیقه با دور ۱۵۰۰ گرم سانتریفیوژ گردیدند. پس‌ازاین مرحله، فاز بالایی را برداشته و شدت جذب آن در طول‌موج‌های، ۴۴۰/۵، ۶۴۶/۶ و ۶۶۳/۶ نانومتر که بالاترین جذب کلروفیل a، b و کاروتنوئید می‌باشد و طول‌موج‌های ۵۷۵، ۵۹۰، ۶۲۸، ۶۶۷ و ۶۵۰ که بالاترین جذب پروتوپورفیرین، منیزیم پروتوپورفیرین، پروتوکلروفیلید می‌باشد با استفاده از اسپکتروفتومتر (Analytik Jena Spekol 2000,Germany) قرائت شد. غلظت رنگیزه‌های موردنظر با استفاده از توابع زیر محاسبه گردید.

$$\text{Chl a } (\mu g/ml) = 12.25\ A_{663.6} - 2.55\ A_{646.6}$$

$$\text{Chl b } (\mu g/ml) = 20.31\ A_{646.6} - 4.91\ A_{663.6}$$

$$\text{Chl Total } (\mu g/ml) = 17.76\ A_{646.6} + 7.34\ A_{663.6}$$

$$\text{Car } (\mu g/ml) = 4.69\ A_{440.5} - 0.267\ \text{Chl Total}$$

$$\text{PPIX } (\mu g/ml) = 196.25\ A_{575} - 46.6 A_{590} - 58.68\ A_{628}$$

$$\text{MGPP } (\mu g/ml) = 61.81\ A_{590} - 23.77\ A575 - 3.55\ A_{628}$$

$$\text{PChlide } (\mu g/ml) = 42.59\ A_{628} - 34.22\ A_{575} - 7.25\ A_{590}$$

در روابط فوق Chl a، Chl b، Chl Total، Car، PPIX، و Pchlide به ترتیب کلروفیل a، کلروفیلb ، کلروفیل کل، کاروتنوئید، پروتوپورفیرین، منیزیم پروتوپورفیرین و پروتوکلروفیلد می‌باشند.

ارزیابی عناصر اصلی، فرعی و جزئی

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1397.7.4.14.9]

به این منظور ۰/۵ گرم از بافت گیاهی خشک (ریشه و برگ) که حاصل تهیه مخلوط پودر خشک از حداقل ۱۰ گیاه بود؛ در لوله‌های تفلونی حاوی اسید هیدروفلوئوریک، پرکلریک، نیتریک و هیدروکلریک اسید (هرکدام به میزان ۵ میلی‌لیتر)، ریخته شد و تمامی نمونه‌ها در محفظه‌ی Hot Plate در دمایی ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت چهار ساعت قرار گرفت تا عملیات هضم کامل نمونه‌ها و تبخیر انجام گیرد. پس‌ازآن نمونه‌ها در دمای محیط خنک شده و با آب مقطر به حجم رسانده شد؛ تا آماده خوانش دستگاهی با دستگاه ICP-MS (Model: ICP-MS Agilent series 4500) شوند (Standard Operation Procedure).

تجزیه و تحلیل آماری

طرح آماری این پژوهش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار انجام شد. تحلیل آماری نتایج بر اساس آزمون دانکن در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ انجام گرفت. معنی‌دار بودن تفاوت میانگین‌ها در تیمارها نیز توسط روش One-Way Analysis of Variance بررسی شد.

نتایــج

اثر تیمار نفت بر رشد

اثر نفت بر فاکتورهای مختلف رشد مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۲). با افزایش مقدار نفت در خاک، جوانه‌زنی بذرها بین ۱۰ تا ۲۰ درصد کاهش یافت. وزن تر و وزن خشک اندام هوایی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار گرفت. در غلظت‌های ۲/۵ و ۵ درصد نفت در خاک، وزن تر و خشک ریشه نسبت به نمونه شاهد افزایش نشان داد. تعداد انشعابات ریشه‌ای کاهش یافت ولی طول ریشه اصلی به‌طور معناداری تحت تأثیر قرار نگرفت. میانگین ارتفاع دانه رست‌ها با افزایش غلظت نفت در خاک به‌طور معناداری کاهش نشان داد. همچنین، حضور نفت در خاک، به‌ویژه در نمونه‌های تحت تیمار غلظت‌های بالاتر نفت، مانع تشکیل جفت برگ‌های دوم تا پنجم شد. این برگ‌ها در نمونه‌های شاهد ایجاد شده بودند.

جدول ۲. پارامترهای مختلف رشد گیاه حرا، چهار ماه پس از رشد در خاک حاوی غلظت‌های مختلف نفت

تیمار نفت		شاهد	٪۲/۵	٪۵/۰	٪۷/۵	٪۱۰/۰
درصد جوانه‌زنی		۱۰۰±۰/۰a	۹۰±۵/b	۹۰±۳/۰b	۹۰±۵/۰b	۸۰±۸/۰c
وزن تر (گرم)	اندام هوایی	a۳/۱۷±۰/۸۶	b۱/۶۸±۰/۴۸	bc۱/۳۶±۰/۴۵	c۰/۹۵±۰/۳۵	d۰/۸۷±۰/۳۲
	ریشه	bc۱/۷۶±۰/۰۷	۲/۲۲±۰/۱۱ a	۱/۹۹±۰/۱۹ ab	۱/۴۱±۰/۱۲ cd	۱/۲۱±۰/۱۰d
وزن خشک (گرم)	اندام هوایی	۰/۶۸±۰/۱۸a	۰/۳۳±۰/۱b	۰/۲۸/±۰/۰۹bc	۰/۱۹±۰/۰۹cd	۰/۱۷±۰/۰۷d
	ریشه	b۰/۲۹±۰/۰۴	a۰/۳۸±۰/۰۸	a۰/۳۷±۰/۱	b۰/۲۸±۰/۰۷	b۰/۲۴±۰/۰۶
طول نو ساقه (cm)	هیپوکوتیل	۳/۵۶±۱/۱a	۲/۳۰±۱/۲۵b	۲/۳۳±۱/۳۲b	۱/۱۵±۰/۸۵c	۰/۶۲±۰/۱۵d
	اپی‌کوتیل	۱۸/۳۳±۳/۶۴a	۸/۹±۵/۹۵b	۶/۶۷±۴/۵bc	۵/۲۵±۴/۱۹bc	۳/۵±۴/۰c
	مجموع	۲۱/۸۹±۳/۸a	۱۱/۷۵±۵/۷۳b	۹/۰±۵/۶۶b	۷/۴۱±۴/۷۱bc	۴/۲±۴/۱۲c
طول ریشه اصلی (cm)		۱۰/۶۳±۱/۱a	۱۱/۹±۳/۸۴a	۱۲/۰±۱/۵۹a	۱۰/۷۸±۱/۶۴a	۱۰/۵±۲/۸۸a
تشکیل برگ (فراوانی نسبی)	جفت برگ اول	۱/۰±۰/۰a	۱/۰±۰/۰a	۱/۰±۰/۰a	۰/۷۸±۰/۴۴a	۰/۵۱±۰/۶۲a
	جفت برگ دوم	۱/۰±۰/۰a	۰/۸±۰/۴۲ab	۰/۶۷±۰/۵ab	۰/۶۷±۰/۵ab	۰/۵۴±۰/۵۲b
	جفت برگ سوم	۱/۰±۰/۰a	۰/۳۳±۰/۵b	۰/۳۳±۰/۵b	۰/۳۳±۰/۱۱b	۰/۰۸±۰/۲۸c
	جفت برگ چهارم	۰/۵±۰/۵۳a	۰/۰±۰/۰b	۰/۰±۰/۰b	۰/۰±۰/۰b	۰/۰±۰/۰b
	جفت برگ پنجم	۰/۲۵±۰/۴۶a	۰/۰±۰/۰b	۰/۰±۰/۰b	۰/۰±۰/۰b	۰/۰±۰/۰b

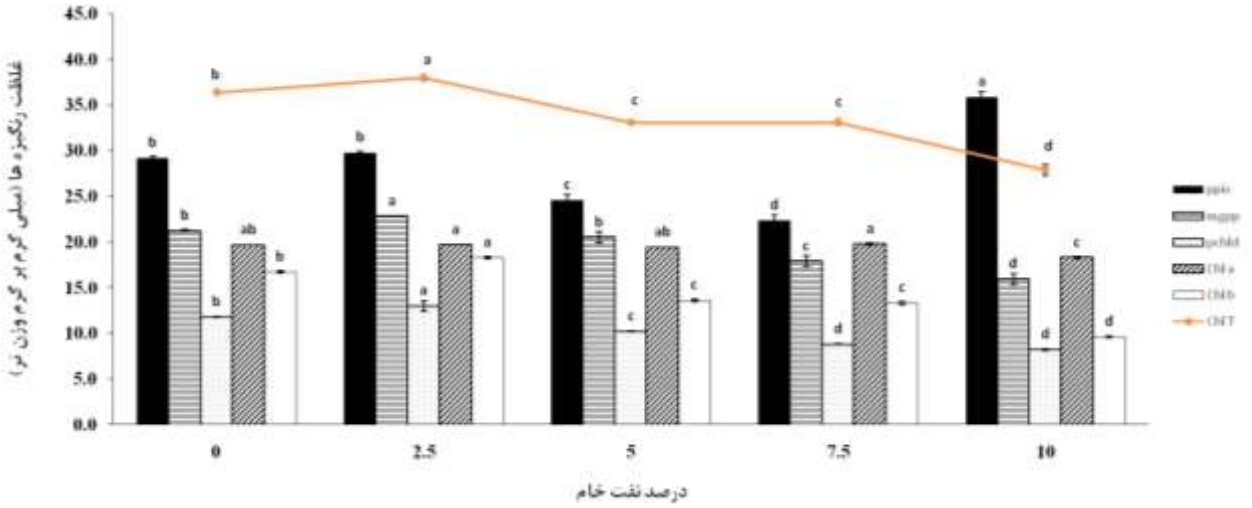
[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1397.7.4.14.9]

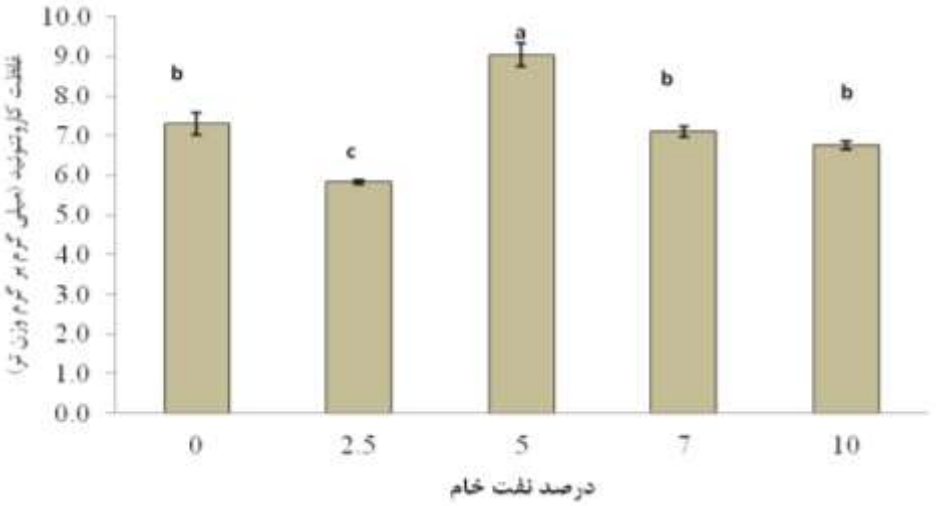
اثر تیمار نفت بر رنگیزه‌های گیاهی

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، تیمار نفتی در پایین‌ترین غلظت سبب افزایش معنی‌دار مقدار کلروفیل کل، پروتوپورفیرین، منیزیم پروتوپورفیرین، پروتوکلروفیلید و کلروفیل b گردید. محتوای کلروفیل کل در غلظت‌های ۵/۰، ۷/۵ و ۱۰/۰ درصد کاهش نشان داد (شکل ۲). از بین پیش سازهای مسیر بیوسنتزی کلروفیل، مقدار منیزیم پروتوپورفیرین و پروتوکلروفیلید در تیمارهای ۵ و ۷/ ۵ و ۱۰ درصد نفتی نسبت به شاهد کاهش نشان داد اما در غلظت ۱۰ درصد نفتی افزایش معنی‌دار در محتوای پروتوپورفیرین مشاهده شد.

مقدار کاروتنوئیدها در پایین‌ترین غلظت تیمار نفتی (برخلاف کلروفیل کل) نسبت به شاهد به‌صورت معنی‌دار کاهش نشان داد و در غلظت ۵ درصد، افزایش معنی‌داری در مقدار کاروتنوئیدها نسبت به شاهد مشاهده شد (شکل ۳).



شکل ۲. مقدار کلروفیل و پیش سازهای مسیر بیوسنتزی آن در برگ گیاه حرا، چهار ماه پس از جوانه‌زنی و رشد در خاک حاوی غلظت‌های مختلف نفت. ستون‌های با حروف غیرمشابه بر اساس آزمون دانکن بیانگر اختلاف معنی‌دار با یکدیگر هستند ($P\leq0.05$). ppix پروتوپورفیرین، mgpp منیزیم پروتوپورفیرین، pchld پروتوکلروفیلید، Chl a کلروفیل a، Chl b کلروفیل b، Chl T کلروفیل کل.



شکل ۳. مقدار کاروتنوئید کل در برگ گیاه حرا، چهار ماه پس از جوانه‌زنی و رشد در خاک حاوی غلظت‌های مختلف نفت. ستون‌های با حروف غیرمشابه بر اساس آزمون دانکن بیانگر اختلاف معنی‌دار با یکدیگر هستند ($P\leq0.05$)

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1397.7.4.14.9]

اثر نفت بر مقادیر عناصر

غلظت عناصر در برگ و ریشه نمونه‌های شاهد و نمونه‌هایی که در غلظت ۵ درصد نفت در خاک رویانده شده بودند؛ مورد ارزیابی قرار گرفت. انتخاب غلظت ۵ درصد به این دلیل بود که الف) اثرات فیزیولوژیک نفت در این غلظت کاملاً مشهود بود. ب) در غلظت‌های بالاتر از ۵ درصد شکل‌گیری و رشد برگ‌های جدید به‌شدت محدود می‌شد. بیوماس برگ به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌گرفت و حجم نکروزه شدن بافت برگ نیز بالا بود. ضمن اینکه به‌تدریج برگ‌های پایینی (برگ‌های پیرتر) از بین می‌رفتند؛ بنابراین غلظتی انتخاب شد که در آن با هم سن بودن برگ‌ها، امکان مقایسه وجود داشته باشد. ج) غلظت ۵ درصد در میانه غلظت‌های تیمارهای مورد استفاده قرار دارد؛ بنابراین یک نماینده مناسب برای آلودگی نفتی به نظر می‌رسد. د) افزایش نسبی زی‌توده ریشه و ارتباط احتمالی آن با انباشت و یا سمیت عناصر یکی از عواملی بود که باعث شد بر روی این غلظت متمرکز شویم.

عناصر بر اساس نقش‌هایی که در فیزیولوژی گیاه دارند؛ به چهار دسته اصلی تقسیم‌بندی می‌شوند (Taiz *et al.*, 2015). بر این اساس و برای توصیف تغییر در محتوای عناصر مختلف و اجتناب از پراکنده نویسی، از این دسته‌بندی استفاده شد. مابقی عناصر نیز در یک گروه مجزا با نام سایر عناصر ذکر گردید (جدول ۳).

اثر نفت بر عناصری که جزء ترکیبات کربن دار هستند

از میان عناصر نیتروژن و گوگرد که در این گروه قرار می‌گیرند آنالیز ICP-MS مقدار گوگرد را مشخص نمود. نتایج نشان داد، مقدار گوگرد تحت تیمار ۵ درصد نفت، اندکی از نمونه شاهد کمتر بود. درحالی‌که غلظت آن در ریشه تحت تیمار نفتی حدود ۲/۴ برابر کمتر از نمونه شاهد بود که می‌تواند نشان‌دهنده محدودیت ایجادشده در جذب این عنصر باشد (جدول ۳).

اثر نفت بر عناصری که در ذخیره انرژی و تمامیت ساختمانی اهمیت دارند

فسفر، بورون و سلیسیم در این گروه قرار می‌گیرند. از بین عناصر این گروه تنها غلظت فسفر مشخص شد. نتایج نشان داد که در حضور نفت، مقدار فسفر در مقایسه با ریشه نمونه شاهد کاهش و در برگ افزایش یافته بود (جدول ۳).

اثر تیمار نفتی بر عناصری که به‌صورت یونی باقی می‌مانند

در برگ دانه رست‌های حرای تحت تیمار نفتی، افزایش در مقدار عناصر منگنز و کلسیم (۲ برابر)، منیزیم (حدود ۱/۶ برابر) و پتاسیم (۱/۱۵ برابر) نسبت به شاهد مشاهده شد. مقدار پتاسیم و کلسیم در ریشه تحت تیمار نفتی افزایش و محتوای منگنز و منیزیم نسبت به نمونه شاهد کاهش نشان داد (جدول ۳).

اثر تیمار نفتی بر عناصر شرکت‌کننده در واکنش‌های اکسایش و کاهش

مقدار روی و آهن در برگ نمونه‌های تحت تیمار نفتی تقریباً با نمونه‌های شاهد یکسان بود، اما مقدار این دو عنصر و به‌ویژه آهن (۴ برابر بیشتر از شاهد) در ریشه افزایش یافت. مقدار مس در برگ گیاهان تحت تیمار نفتی نسبت به نمونه‌های شاهد بیشتر و در ریشه کمتر بود. از طرفی، مولیبدنیوم کاهش چشمگیری را در هر دو اندام در مقایسه با شاهد نشان داد (جدول ۳).

اثر تیمار نفتی بر مقدار سایر عناصر

نتایج افزایش مقدار آلومینیوم (Al)، آرسنیک (As)، باریوم (Ba)، سریوم (Ce)، دیسپورسیوم (Dy)، گادولونیوم (Gd)، لانتانیوم (La)، نئودینیوم (Nd)، وانادیوم (V) و توریوم (Th) در ریشه نمونه‌های تحت تیمار ۵ درصد نفتی را نسبت به نمونه شاهد نشان داد. مقدار آلومینیوم، کروم، سدیم و وانادیوم در برگ گیاه تحت تیمار نفت نسبت به نمونه شاهد کاهش نشان داد. مقدار کادمیوم (Cd)، کبالت (Co)، سدیم (Na) و استرانسیوم (Sr) ریشه در تحت تیمار نفتی نسبت به نمونه شاهد کمتر بود.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1397.7.4.14.9]

مقایسه مقدار آرسنیک، باریوم، سریوم و استرانسیوم بین گیاه تحت تیمار و نمونه شاهد نشان داد که غلظت آن در برگ افزایش یافته است (جدول ۳).

جدول ۳. مقدار عناصر (µg/g) در ریشه و برگ نهال شاهد و رویانده شده در غلظت ۵ درصد نفت گیاه حرا. گروه‌بندی در متن ذکرشده است. میزان شدت رنگ پس‌زمینه در سلول‌های رنگی جدول نشان‌دهنده بزرگ‌تر بودن عدد در آن نسبت به سلول مقابل است، رنگ پس‌زمینه سفید در هر ردیف یعنی در مقایسه میزان عنصر بین نمونه شاهد و تیمار تفاوتی مشاهده نشده است.

	عنصر	ریشه شاهد	ریشه ۵٪ نفت	برگ شاهد	برگ ۵٪ نفت
گروه ۱	S	۶۸۷۶	۲۸۳۹	۵۵۵۵	۵۴۳۷
گروه ۲	P	۲۰۱۰	۱۸۳۲	۵۴۱۹	۵۶۳۵
گروه ۳	K	۳۷۳۱۵	۴۰۷۹۶	۴۰۵۸۱	۴۶۶۳۷
	Ca	۱۰۲۳۷	۱۳۶۵۱	۶۷۹۳	۱۳۷۳۱
	Mg	۸۵۰۲	۶۰۳۳	۴۱۷۸	۶۶۵۴
	Mn	۵۸۵	۱۷۸	۴۲	۸۶
گروه ۴	Zn	۳۹	۴۴	۴۷	۴۷
	Fe	۹۷۶/۲	۳۹۹۸/۸	۲۲۱/۴	۲۲۰/۱
	Cu	۱۳	۸	۲۱	۲۵
	Ni	۳	۲	۱<	۱<
	Mo	۱/۴	۰/۵	۰/۹	۰/۶
گروه ۵	Ag	۰/۱<	۰/۱<	۰/۱<	۰/۱<
	Al	۱۲۲۵	۱۸۹۴	۳۲۳	۱۱۵
	As	۲/۹	۱۰/۳	۱/۳	۱/۶
	Ba	۱۶	۲۷	۵	۸
	Be	۰/۲<	۰/۲<	۰/۲<	۰/۲<
	Bi	۰/۱<	۰/۱<	۰/۱<	۰/۱<
	Cd	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۱
	Ce	۳	۴	۲	۳
	Co	۷/۶	۳/۹	<۱	<۱
	Cr	۱۳	۱۳	۸	۶
	Cs	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵
	Dy	۰/۱۳	۰/۱۹	<۰/۰۵	<۰/۰۵
	Er	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵
	Eu	۰/۱<	۰/۱<	۰/۱<	۰/۱<
	Gd	۰/۱۹	۰/۲۵	۰/۰۹	۰/۰۹
	Hf	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵
	In	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵

	عنصر	ریشه شاهد	ریشه ۵٪ نفت	برگ شاهد	برگ ۵٪ نفت
گروه ۵	La	۱	۲	۱	۱
	Li	۱<	۱<	۱<	۱<
	Lu	۰/۱<	۰/۱<	۰/۱<	۰/۱<
	Na	۱۹۱۵۵	۱۵۱۲۷	۹۷۲۳	۹۰۷۸
	Nb	۱<	۱<	۱<	۱<
	Nd	۱/۴	۱/۸	۱/۱	۱/۱
	Pb	۳	۳	۱<	۱<
	Pr	۰/۳۱	۰/۳۹	۰/۲۲	۰/۲۲
	Rb	۵	۵	۷	۷
	Sb	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵
	Sc	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵
	Se	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵
	Sm	۰/۱۷	۰/۲۵	۰/۱	۰/۱
	Sn	۰/۳	۰/۳	۰/۴	۰/۳
	Sr	۴۰۷	۲۹۱	۲۱۲	۳۸۷
	Ta	۰/۱<	۰/۱<	۰/۱<	۰/۱<
	Tb	۰/۱<	۰/۱<	۰/۱<	۰/۱<
	Te	۰/۱<	۰/۱<	۰/۱<	۰/۱<
	Th	۰/۳۵	۰/۴۱	۰/۲۷	۰/۲۶
	Ti	۱۰<	۱۰<	۱۰<	۱۰<
	Tl	۰/۱<	۰/۱<	۰/۱<	۰/۱<
	Tm	۰/۱<	۰/۱<	۰/۱<	۰/۱<
	U	۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵
	V	۱۳	۱۶	۵	۳
	W	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵
	Y	۱/۷	۲/۲	۱/۳	۱/۳
	Yb	۰/۱	۰/۱	<۰/۰۵	<۰/۰۵
	Zr	<۵	<۵	<۵	<۵

بحث

نتایج این تحقیق نشان داد ریشه و برگ گیاه حرا در حضور غلظت‌های مختلف نفت خام واکنش فیزیولوژیکی متفاوت نشان می‌دهند. این واکنش‌ها و درجه تأثیرپذیری فیزیولوژیکی در مواردی مانند جوانه‌زنی، زی‌توده، مقدار رنگیزه‌ها، غلظت عناصر موجود در ترکیبات آلی کربن‌دار، محتوای عناصر ضروری دخیل در انرژی سلولی، غلظت یون‌هایی که در واکنش‌های اکسایشی

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1397.7.4.14.9]

و کاهشی دخیل هستند و نیز به‌طورکلی در نیمرخ یونی عناصر مشهود است. کـاهش درصـد جوانه‌زنی تـا تیمـار ۱۰ درصد نفت نسبت به شاهد، حاکی از تأثیر بازدارندگی نفـت خـام بر این شاخص است. جلوگیری از جوانه‌زنی و کـاهش رشد جوانه به دنبال آلودگی نفتی وابسته به غلظـت و گونـه گیاهی گزارش‌شده اسـت (Banks and Schultz, 2005). بیشتر تحقیقات صورت گرفته درزمینهٔ کاربرد مواد نفتی و یا مشتقات آن‌ها در خاک، بیانگر اثرات منفی این مواد بر جوانه‌زنی بذور می‌باشد (Frick *et al.*, 1999; Banks and Schultz, 2005: Gaskin *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2007). هرچند عدم ممانعت بالا در جوانه‌زنی نیز در برخی گونه‌های مانگرو گزارش‌شده است (Naidoo *et al.*, 2010). Adam و Duncan (۲۰۰۲)، علت کاهش در میزان جوانه‌زنی بذور در اثر آلودگی سوخت‌های دیزلی را اثر جزء فرار آن ارزیابی کردند. آن‌ها همچنین اثر این نوع سوخت‌ها را در ایجاد یک مانع فیزیکی که جلوی ورود آب و اکسیژن به درون دانه را می‌گیرند و مانع جوانه‌زنی بذرها می‌شوند؛ مهم ارزیابی کردند. این احتمال نیز وجود دارد که برخی هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای از غشاء سلولی عبور کرده و سبب ایجاد سمیت برای جنین بذر و نهایتاً مرگ آن شوند (Chaineau *et al.*, 1997).

نفت با چسبیدن به سطح ریشه، مانع از رسیدن آب و اکسیژن به ریشه می‌شود. در این شرایط، از رشد گیاه ممانعت می‌شود و رشد ریشه نسبت به نو ساقه (shoot) تحریک می‌گردد (Hsiao and Xu, 2000). گزارش‌های پیشین نشان داده‌اند که هیدروکربن‌های نفتی می‌توانند سمی‌باشند و به‌طور معناداری زی‌توده گیاه را کاهش دهند (Kulakow *et al.*, 2000; Robson *et al.*, 2003; Tesar *et al.*, 2002). در پژوهش حاضر، کاهش زی‌توده کلی مشاهده گردید و نتایج این تحقیق با مشاهدات دیگر پژوهشگران همخوانی دارد (Youssef, 2002; Tam *et al.*, 2005). افزایش رشد ریشه در غلظت‌های پایین‌تر نفت (۲/۵ و ۵ درصد) ممکن است ناشی از پاسخ‌های تنشی باشد (Merkl *et al.*, 2004) و یا اینکه می‌توان آن را به‌عنوان استراتژی گیاه برای جذب آب و مواد مغذی تعریف نمود (Frick *et al.*, 1999).

کلروفیل نقش بسیار مهمی در فیزیولوژی گیاه بازی می‌کند و به‌عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های نشان‌دهنده فشارهای محیطی وارد بر گیاه شناخته‌شده است. کارتنوئید نیز دارای نقش حفاظت کننده از فتوسنتز در برابر تخریب نوری و یا رادیکال‌های آزاد اکسیژن است (Taiz *et al.* 2015). نتایج به‌دست‌آمده از اثر منفی نفت در مقدار کلروفیل کل در توافق با یافته‌های سایر پژوهشگران است (Baruah *et al.*, 2014;Yong and Tam, 2007 ;Ambreen *et al.*, 2016). Al-Hawas و همکاران (۲۰۱۲)، نشان دادند که با افزایش غلظت نفت، مقدار کلروفیل a، کلروفیل b (و کلروفیل کل) و کاروتنوئیدها کاهش می‌یابد. نتایج مشابهی نیز توسط Njoku و همکاران (۲۰۱۲) گزارش‌شده است. افزایش مقدار پروتوپورفیرین هم‌زمان با کاهش مقدار سایر پیش سازهای کلروفیل و کلروفیل کل در غلظت ۱۰ درصد نشانه بلوکه شدن مسیر بیوسنتزی کلروفیل از پروتوپورفیرین به منیزیم پروتوپورفیرین (کلاته شدن با منیزیم) است؛ اما با توجه به کاهش همه پیش سازها در غلظت‌های ۵ و ۷/۵ درصد به نظر می‌رسد؛ ورودی اولیه مسیر از گلوتامات به پروتوپورفیرین و یا فعالیت آنزیم‌های مسیر تحت تأثیر قرارگرفته باشد (شکل ۱). جالب اینکه کلروفیل a کمتر از کلروفیل b تحت تأثیر قرارگرفته است. توجه به این نکته حائز اهمیت به نظر می‌رسد که با افزایش سطح آلودگی نفتی نسبت کلروفیل a به کلروفیل b (Chl a/b) افزایش یافت (۰/۸۴ $=R^2$) که این افزایش بیشتر مربوط به کاهش مقدار کلروفیل b است تا افزایش کلروفیل a. شرایط تنشی مختلف عموماً اثر منفی بر محتوای رنگیزه ها در گیاهان دارند. بسته به گونه گیاه و توانایی آن‌ها در تحمل تنش، برخی از گیاهان می‌توانند در تنش‌های ملایم مانند تنش شوری (Khan *et al.*, 2009; Akram and Ashraf, 2011) و تنش خشکی (Pirzad *et al.*, 2011; Hamada, 2001) مقدار کلروفیل خود را افزایش دهند. به‌طورکلی تغییر محتوای کلروفیل در اثر تنش ممکن است؛ ناشی از اشکال در بیوسنتز و یا تشدید سرعت تخریب آن باشد. اما طی فرایند فروزینگی (degradation) کلروفیل، کلروفیل b ممکن است به کلروفیل a تبدیل شود که نتیجه آن افزایش محتوای کلروفیل a خواهد بود (Eckardt, 2009). نکته دیگر اینکه عموماً تحت شرایط تنش خشکی، کاهش محتوای کلروفیل b، بیشتر از کلروفیل a می‌باشد؛ بنابراین نسبت Chl a/b به نفع کلروفیل a است (Jaleel *et al.*, 2009; Jain *et al.*, 2010). با توجه به عدم دسترسی کافی گیاه به آب در خاک آلوده به نفت (Ashraf, 1999) پاسخ‌های مشابه با تنش خشکی در حضور نفت، دور از ذهن نیست.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1397.7.4.14.9]

تغییر در مقدار عناصر بخش‌های مختلف گیاه تحت تنش نفتی پیش‌تر گزارش‌شده است (Shukry *et al.*, 2007; Agbogidi *et al.*, 2013). جدول ۴ مقایسه‌ای از یافته‌های این تحقیق با گزارش‌های سایر پژوهشگران در گیاهان مختلف که بر روی سطح مختلف خاک آلوده به نفت رشد داده شده‌اند، ارائه داده است. به‌عنوان نمونه Shukry و همکاران (۲۰۱۳)، نشان دادند که مقدار کلسیم در ریشه گیاه *Simmodsia chinensis* تحت تیمار نفتی افزایش یافت که با یافته‌های این تحقیق همخوانی دارد. محتوای منیزیم در برگ و به‌ویژه در ریشه گیاه *S. chinensis* تحت تیمار نفتی کاهش یافت، درحالی‌که در حرا مقدار این یون در برگ افزایش و در ریشه کاهش یافته است. درمجموع به نظر می‌رسد پاسخ‌ها در گیاهان مختلف تحت تأثیر بافت هدف، گونه گیاه و سایر فاکتورها متغیر است و با توجه به محدود بودن آزمایش‌ها و مطالعات دیگر، جمع‌بندی کلی آسان نیست.

باوجود گوگرد، نیکل، وانادیوم، آهن، سرب و سدیم در نفت خام مورد استفاده (جدول ۱)، مقادیر این عناصر در گیاه از الگوی افزایشی ـ جز در موارد محدودی ـ پیروی نکرده است که می‌تواند نشان از توانایی گیاه در حفظ هموستازی یونی دست‌کم در مورد این عناصر باشد. توجه به این نکته مهم به نظر می‌رسد که محتوای عناصر (به‌جز کلسیم) در برگ‌های گیاه حرا چندان تحت تأثیر تیمار نفتی قرار نگرفته است و گیاه در محدود کردن ورود عناصر سمی از طریق ترابری بلند مسافت (Long distance transport) به برگ موفق بوده است. در مطالعه حاضر، مقدار کلی (مجموع در برگ و ریشه) عناصر کلسیم (۱/۶ برابر) و آهن (۳/۵ برابر) در دانه رست‌هایی که در شرایط تیمار ۵ درصد نفت در خاک رشد داده شده بودند؛ به‌شدت افزایش یافت که بخش اعظم این افزایش مربوط به ریشه گیاه بوده است. ممکن است با توجه به عدم رشد کافی اندام هوایی و تلاش گیاه برای حفظ رشد کافی، این تجمع در بخش ریشه‌ای صورت گرفته باشد. مقدار مولیبدنیوم (۲ برابر)، گوگرد (۱/۵ برابر) و منگنز (۲/۳۷ برابر) نسبت به نمونه شاهد کمتر بوده است که بخشی از پاسخ‌های نموی گیاه در عدم رشد کافی نو ساقه و تشکیل برگ‌های جدید ممکن است به‌واسطه کمبود این عناصر بوده باشد؛ چراکه این عناصر دارای نقش‌های فیزیولوژیک مهمی در گیاه می‌باشند (Taiz *et al.*, 2015). تحقیقات بیشتر در این زمینه می‌تواند اطلاعات بیشتری در خصوص فیزیولوژی جذب این عناصر در شرایط آلودگی نفتی در گیاه حرا را روشن نماید.

جدول ۴. جدول مقایسه‌ای نسبت محتوای عناصر در اندام‌های مختلف گیاهان رویانده شده در خاک آلوده به مواد نفتی نسبت به نمونه‌های کنترل (رنگ پس‌زمینه آبی معرف کاهش و رنگ قهوه‌ای معرف افزایش است. رنگ پس‌زمینه سفید عدم تغییر را نشان می‌دهد.)

گونه	*Avicennia marina*		*Simmodsia chinensis*		*Zea mays*	*Vigna unguiculata*	*Zea mays*
مطالعه	مطالعه حاضر		(Shukry *et al.*, 2013)		(Agbogidi *et al.*, 2007)	(Adesina *et al.*, 2014)	
اندام	برگ	ریشه	نو ساقه	ریشه	بذر	نو ساقه	نو ساقه
Na	۰/۹۳	۰/۷۹	۰/۶۳	۲/۷	۱/۰۳	NA	NA
K	۱/۱۵	۱/۲۲	۲/۹۴	۰/۵	۰/۹۹	NA	NA
Mg	۱/۵۹	۰/۷۱	۰/۳۴	۰/۹۴	۰/۹۰	NA	NA
Ca	۲/۰۲	۱/۳۳	۰/۴۵	۱/۵۹	۰/۹۸	NA	NA
Cu	۱/۱۹	۰/۶۲	۶/۴۵	۱/۱۲	NA	۱/۸۸	۱/۸۷
Mn	۲/۰۵	۰/۳۰	۳/۲۰	۱/۸۲	NA	NA	NA
Zn	۱/۰۰	۱/۱۳	۰/۶۶	۰/۶۶	NA	۵/۴۰	۲/۳۲
Cd	۱/۰۰	۰/۵	۱/۷۵	۱/۷۵	NA	۲/۱۴	۲/۲۱
Pb	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۷۱	۱/۴۰	NA	۱/۶۷	۵/۹۶
P	۱/۰۴	۰/۹۱	NA	NA	۰/۸۴	NA	NA
Fe	۰/۹۹	۴/۱۰	NA	NA	۰/۶۰	۱/۴۹	۱/۶۱
Cr	۰/۷۵	۱/۰۰	NA	NA	NA	۱/۷۲	۴/۱۷
Ni	۱/۰۰	۰/۶۷	NA	NA	NA	۱/۷۲	۱/۱۰

NA = مورد آنالیز قرار نگرفته است.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1397.7.4.14.9]

با توجه به روند روزافزون رخداد نشت‌های نفتی در دنیا، تعیین اثر آلودگی‌های نفتی بر موجودات زنده‌ای که احتمال در معرض قرارگیری آن‌ها بالا است، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به دلیل پیچیدگی‌های شیمیایی نفت خام، اثرات آن بر فیزیولوژی گیاه طیف گسترده‌ای از تنش‌ها را در پی دارد. تغییراتی که در زی‌توده اندام‌های مختلف گیاه حرا تحت تیمار نفتی مشاهده گردید؛ نشان از پتانسیل گیاه در تحمل غلظت‌های پایین نفت دارد اما در غلظت‌های بالا رشد گیاه به‌شدت محدود می‌شود.

آلودگی نفتی سبب تغییرات فیزیولوژیکی در منبع (Source) و مقصد (Sink) اختصاص کربن[1] است. گیاه حرا در غلظت‌های پایین‌تر نفت، به‌طورکلی بر زی‌توده ریشه افزوده است تا مقدار جذب آب و املاح را افزایش دهد یا اینکه با تخصیص کربن به افزایش ضخامت لایه‌های سلولی، نسبت به محدود کردن ورود مواد سمی اقدام نموده است. تغییر در محتوای کلروفیل به‌عنوان رنگیزه اصلی در فرایند واکنش‌های نوری فتوسنتز و تثبیت کربن، اثر معنی‌دار آلودگی نفتی را بر رنگیزه کمکی کلروفیل b آشکار نمود. کاهش مقدار برخی از عناصر و افزایش برخی دیگر در ریشه و برگ، گواهی از اختلالات ایجاد شده در فرایند جذب عناصر می‌باشد که می‌تواند ناشی از سمیت ایجادشده در اثر نفت و یا بازخورد تنش‌های دیگری مانند خشکی، فلزات سنگین یا کمبود اکسیژن ناشی از چسبیدن نفت به سطح ریشه باشد. بررسی جامع‌تر آن‌ها در سطح مولکولی و بیوشیمیایی می‌تواند نقاط کلیدی مورد هدف این گونه آلودگی‌ها را شناسایی نماید.

منابـع

Adam, G., Duncan, H. 2002. Influence of diesel fuel on seed germination. Environmental Pollution. 120 (2): 363-370.

Agbogidi, O., Eruotor, P., Akparobi, S., Nnaji, G. 2007. Evaluation of crude oil contaminated soil on the mineral nutrient elements of maize (*Zea mays* L.). Journal of Agronomy. 6(1): 188-193.

Al-Hawas, G., Sukry, W., Azzoz, M., Al-Moaik, R. 2012. The effect of sublethal concentrations of crude oil on the metabolism of Jojoba (Simmodsia chinensis) seedlings. International Research Journal of Plant Science. 3(4): 54-62.

Akram, M.S., Ashraf, M. 2011. Exogenous application of potassium dihydrogen phosphate can alleviate the adverse effects of salt stress on sunflower (*Helianthus annuus* L.). Journal of Plant Nutrition. 34: 1041-1057.

Ambreen, S., Javed, M., Hina, M., Rasul, S., Zafar, Z.U., Manzoor, H., Ogbaga, C.C., Afzal, M., Al-Qurainy, F., Ashraf, M. 2016. Influence of sub-lethal crude oil concentration on growth, water relations and photosynthetic capacity of maize (*Zea mays* L.) plants. Environmental Science and Pollution Research. 23(18): 18320-18331.

Ashraf, M. 1999. Interactive effects of nitrate and long-term waterlogging on growth, water relations, and gaseous exchange properties of maize (*Zea mays* L.). Plant Science. 144(1): 35-43.

Baek, K.H., Kim, H.S., Oh, H.M., Yoon, B.D., Kim, J., Lee, I.S. 2004. Effects of crude oil, oil components, and bioremediation on plant growth. Journal of Environmental Science and Health. Part A. 39(9): 2465-2472.

Banks, M., Schultz, K. 2005. Comparison of plants for germination toxicity tests in petroleum-contaminated soils. Water, Air, and Soil Pollution. 167(1-4): 211-219.

Baruah, P., Saikia, R.R., Baruah, P.P., Deka, S. 2014. Effect of crude oil contamination on the chlorophyll content and morpho-anatomy of *Cyperus brevifolius* (Rottb.) Hassk. Environmental Science and Pollution Research. 21(21): 12530-12538.

Chaineau, C., Morel, J., Oudot, J. 1997. Phytotoxicity and plant uptake of fuel oil hydrocarbons. Journal of Environmental Quality. 26(6): 1478-1483.

Ebrahimi-Sirizi, Z., Riyahi-Bakhtiyari, A. 2013. Petroleum pollution in mangrove forests sediments from Qeshm Island and Khamir Port—Persian Gulf, Iran. Environmental Monitoring and Assessment. 185(5): 4019-4032.

Eckardt, N.A. 2009. A new chlorophyll degradation pathway. The Plant Cell. 21(3): 700-700.

[1] carbon allocation

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1397.7.4.14.9]

Frick, C., Germida, J., Farrell, R. 1999. Assessment of phytoremediation as an in-situ technique for cleaning oil-contaminated sites. Paper presented at the technical seminar on chemical spills.

Gaskin, S., Soole, K., Bentham, R. 2008. Screening of Australian native grasses for rhizoremediation of aliphatic hydrocarbon-contaminated soil. International Journal of Phytoremediation. 10(5): 378-389.

Hamada, A.M. 2001. Salicylic acid versus salinity-drought-induced stress on wheat seedlings. Rostlinna Vyroba-UZPI (Czech Republic).

Holm, G. 1954. Chlorophyll mutations in barley. Acta Agriculturae Scandinavica. 4(1): 457-471.

Hsiao, T.C., Xu, L.K. 2000. Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. Journal of Experimental Botany. 51(350): 1595-1616.

Jain, M., Tiwary, S., Gadre, R. 2010. Sorbitol-induced changes in various growth and biochemicalp arameters in maize. Plant, Soil and Environment. 56: 263-267.

Jaleel, C.A., Manivannan, P.A., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H.J., Somasundaram, R.A., Panneerselvam, R. 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. International Journal of Agriculture and Biology. 11(1): 100-105.

Khan, M.A., Shirazi, M.U., Khan, M.A., Mujtaba, S.M., Islam, E., Mumtaz, S., Shereen, A., Ansari, R.U., Ashraf, M.Y. 2009. Role of proline, K/Na ratio and chlorophyll content in salt tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.). Pakistan Journal of Botany. 41(2): 633-8.

Kulakow, P.A., Schwab, A., Banks, M. 2000. Screening plant species for growth on weathered, petroleum hydrocarbon-contaminated sediments. International Journal of Phytoremediation. 2(4): 297-317.

Merkl, 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.

Naidoo, G., Naidoo, Y., Achar, P. 2010. Responses of the mangroves *Avicennia marina* and *Bruguiera gymnorrhiza* to oil contamination. Flora-Morphology, Distribution. Functional Ecology of Plants. 205(5): 357-362.

Njoku, K.L., Akinola, M.O., Busari, T.O. 2012. Effect of time of application of spent oil on the growth and performance of maize (*Zea mays*). African Journal of Environmental Science and Technology. 6(1): 67-71.

Noori, A., Maivan, H.Z., Alaie, E., Newman, L.A. 2015. Leucanthemum vulgare Lam. crude oil phytoremediation. International Journal of Phytoremediation: DOI: 10.1080/15226514.2013. 810577

Onwurah, I., Ogugua, V., Onyike, N., Ochonogor, A., Otitoju, O. 2007. Crude oil spills in the environment, effects and some innovative clean-up biotechnologies. International Journal of Environmental Research. 1(4): 307-320

Pernar, N., Baksic, D., Antonic, O., Grubesic, M., Tikvic, I., Trupcevic, M. 2006. Oil residuals in lowland forest soil after pollution with crude oil. Water, Air, and Soil Pollution. 177(1-4)-(284-287).

Pirzad, A., Shakiba, M.R., Zehtab-Salmasi, S., Mohammadi, S.A., Darvishzadeh, R., Samadi, A. 2011. Effect of water stress on leaf relative water content, chlorophyll, proline and soluble carbohydrates in *Matricaria chamomilla* L. Journal of Medicinal Plants Research. 5(12): 2483-2488.

Porra, R., Thompson, W., Kriedemann, P. 1989. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics. 975(3): 384-394.

Rashvand, S., Sadeghi, S.M. 2014. Distribution, characteristics and economic importance of mangrove forests in Iran. In: Mangrove Ecosystems of Asia. Springer, New York, NY. pp. 95-126.

Robson, D.B., Knight, J.D., Farrell, R.E., Germida, J.J. 2003. Ability of cold-tolerant plants to grow in hydrocarbon-contaminated soil. International Journal of Phytoremediation. 5(2): 105-123.

Shukry, W.M., Al-Hawas, G.H.S., Al-Moaikal, R.M.S., El-Bendary, M. 2013. Effect of petroleum crude oil on mineral nutrient elements, soil properties and bacterial biomass of the rhizosphere of jojoba. British Journal of Environment and Climate Change. 3(1): 103-118.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1397.7.4.14.9]

Standard Operation Procedure Analysis of Major, Minor and Trace Elements in Plant Tissue Samples with ICP-OES and ICP-MS Soil & Plant Analysis Laboratory University of Wisconsin – Madison http://uwlab.soils.wisc.edu October 2005.

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I.M., Murphy, A. 2015. Plant Physiology and Development. 6th edition. Sinauer Associates, Incorporated.

Tam, N.F., Wong, T.W., Wong, Y. 2005. A case study on fuel oil contamination in a mangrove swamp in Hong Kong. Marine Pollution Bulletin. 51(8): 1092-1100.

Tesar, M., Reichenauer, T.G., Sessitsch, A. 2002. Bacterial rhizosphere populations of black poplar and herbal plants to be used for phytoremediation of diesel fuel. Soil Biology and Biochemistry. 34(12): 1883-1892.

van Bochove, J., Sullivan, E., Nakamura, T. 2014. The importance of mangroves to people: A call to action. United Nations Environment Programme.

Wardrop, J., Butler, A., Johnson, J. 1987. A field study of the toxicity of two oils and a dispersant to the mangrove *Avicennia marina*. Marine Biology. 96(1): 151-156.

Yong, Y., Tam, N. 2007. Effects of used lubricating oil on two mangroves Aegiceras corniculatum and *Avicennia marina*. Journal of Environmental Sciences. 19(11): 1355-1360.

Yang, C.M., Chang, K.W., Yin, M.H., Huang, H.M. 1998. Methods for the determination of the chlorophylls and their derivatives. Taiwania. 43(2): 116-122.

Youssef, T. 2002. Physiological responses of *Avicennia marina* seedlings to the phytotoxic effects of the water-soluble fraction of light Arabian crude oil. Environmentalist. 22(2): 149-159.

Zhang, C., Leung, K., Wong, Y., Tam, N. 2007. Germination, growth and physiological responses of mangrove plant (*Bruguiera gymnorrhiza*) to lubricating oil pollution. Environmental and Experimental Botany. 60(1): 127-136.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1397.7.4.14.9]