Application of bacterial consortium isolated from contaminated areas in the removal of oil pollutants (C_{16}) using g-C_3N_4 nanoparticles

Sahabeh Taleshpur[1], Lobat Taghavi[1*], Hadi Farmahini Farahani[2], Behnam Rasekh[3], Saeed Bazgir[4]

1. Department of the Natural Resources and Environment, SR. C., Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. Analytical Chemistry Research Group, Research Institute of Petroleum Industry (RIPI), Tehran, Iran
3. Environment and Biotechnology Research Division, Research Institute of Petroleum Industry (RIPI), Tehran, Iran
4. Department of Petroleum and Chemical Engineering, SR. C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

Abstract

Aim and Background: The harmful environmental effects caused by petroleum compounds have caused petroleum compounds to be considered as one of the priorities for the removal of pollutants in the environment. Therefore, finding effective techniques for removing these compounds from water is one of the most important environmental issues. The purpose of this study is to investigate oil pollutant (C_{16}) removal using a graphitic carbon nitride (g-C_3N_4) nanoparticle in the presence of a bacterial consortium isolated from contaminated areas.

Materials and Methods: To investigate C_{16} removal, samples were collected from three stations in the northwestern catchment area of Iran contaminated with oil compounds. The synthesized nanoparticles were characterized with FTIR, XRD, and SEM characterization tests. The effect of nanoparticle concentration (50-100-150 mg/L) on the removal rate of oil pollutant (C_{16}) was investigated. The C_{16} removal rate was examined by evaporation analysis in the presence of 100 mg/L g-C_3N_4.

Results: Morphology of the planar and porous g-C_3N_4 structure and the presence of g-C_3N_4 were proved. According to the results, in the evaporation analysis method, the highest percentage of C_{16} removal was observed on the last day (day 15). On the ninth day, which is the optimal time for removal, the removal of g-C_3N_4 nanoparticles and bacteria was observed at 37.32%. The decrease in the volume of C_{16} was more in the concentrations of 100 and 150 mg/L, and the largest decrease in the volume was on the 15th day, when the volume of C_{16} decreased to 1.8ml.

Conclusion: According to the results of this study, due to the ability of bacteria to C_{16} biodegradation, these bacteria can be a suitable choice for industrial use in the biodegradation process of oil pollutants.

Keywords: Graphitic carbon nitride/polyethylene, C_{16}, evaporation analysis, bacterial consortium.

*Corresponding Author's:

Department of the Natural Resources and Environment, SR. C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

E-mail: lobat.taghavi@iau.ac.ir

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-01-30]

کاربرد کنسرسیوم باکتریایی جداشده از مناطق آلوده در حذف آلایندهٔ نفتی (C_{16}) با استفاده از نانوذرات کربن نیترید گرافیتی

صحابه طالش پور[۱]، لعبت تقوی[۱*]، هادی فرمهینی فراهانی[۲]، بهنام راسخ[۳]، سعید بازگیر[۴]

۱. گروه علوم محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۲. گروه تحقیقاتی شیمی تجزیه، پژوهشگاه صنعت نفت (RIPI)، تهران، ایران
۳. بخش تحقیقات محیط زیست و بیوتکنولوژی، پژوهشگاه صنعت نفت (RIPI)، تهران، ایران
۴. گروه مهندسی پلیمر، دانشکده نفت و مهندسی شیمی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده

سابقه و هدف: اثرهای مخرب زیست‌محیطی ناشی از ترکیباتِ نفتی سبب شده ترکیبات نفتی به‌عنوان یکی از اولویت‌های حذف آلاینده‌ها در محیط‌زیست مطرح گردند. ازاین‌رو دستیابی به تکنیک‌های مؤثر در حذف این ترکیبات از آب از مهم‌ترین مسائل زیست‌محیطی می‌باشد. هدف از این مطالعه بررسی حذف آلایندهٔ نفتی (C_{16}) با استفاده از نانوذرات کربن–نیترید گرافیتی در حضور کنسرسیوم باکتریایی جداشده از مناطق آلوده می‌باشد.

مواد و روش‌ها: برای بررسی حذف آلایندهٔ نفتی (C_{16})، از ۳ ایستگاه تعیین‌شده از حوزهٔ آبریز شمال‌غرب کشور آلوده به ترکیبات نفتی نمونه‌برداری شد. خصوصیات نانوذرات سنتزشده با آزمون‌های مشخصه‌یابی FTIR، XRD و SEM تعیین شد. اثر غلظت نانوذرات (۵۰-۱۰۰-۱۵۰mg/L) در میزان حذف آلایندهٔ نفتی (C_{16}) موردبررسی قرار گرفت. سرعت حذف آلایندهٔ نفتی (C_{16}) به‌روش آنالیز تبخیری در حضور ۱۰۰ ppm از نانوذرات کربن نیترید گرافیتی بررسی گردید.

یافته‌ها: مورفولوژی، ساختار کربن نیترید گرافیتی صفحه‌ای و متخلخل است که حضور کربن نیترید گرافیتی را اثبات نمود. طبق نتایج، در روش آنالیز تبخیری بیشترین درصد حذف C_{16} در آخـرین روز (روز پانزدهم) مشاهده شد. در روز نهم که زمان بهینـهٔ حذف است، حذف با نانوذرات $g\text{-}C_3N_4$ و باکتری برابر ۳۷/۳۲ درصد مشاهده شد. کاهش حجم C_{16} در غلظت‌های ۱۰۰ mg/L و ۱۵۰ کاملا محسوس بود و بیشترین کاهش حجم در روز پانزدهم بود که حجم C_{16} به ۲/۳ mL کاهش یافت.

نتیجه‌گیری: طبق نتایج این مطالعه، با توجه به توانایی باکتری‌ها در تجزیهٔ زیستیِ C_{16}، این باکتری‌ها می‌توانند گزینهٔ مناسبی برای استفادهٔ صنعتی در فرایندهای تجزیهٔ زیستیِ آلاینده‌های نفتی باشند.

واژگان کلیدی: کربن نیترید گرافیتی، آنالیز تبخیری، C_{16}، کنسرسیوم باکتریایی.

نویسنده مسئول: گروه علوم محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

- **پست الکترونیکی:**
lobat.taghavi@iau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۳

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-01-30]

۱- مقدمه

آلودگی منابع آب با مشتقات نفتی از جمله مشکلات زیست‌محیطی عصر کنونی محسوب می‌گردد. مصارف روزافزون انسانی و صنایع مختلف، سبب تولید بیش از حد پساب‌ها به آلاینده‌های مختلف شده است (۱ و ۲). آلودگی آب یکی از مشکلات و چالش‌های مهم دنیاست. هیدروکربن‌های آلی، آلاینده‌های محیط‌زیستیِ گسترده‌ای هستند که به‌دلیل سرطان‌زا و جهش‌زا بودن، نگرانی‌های زیادی را به‌وجود می‌آورند (۳). امروزه گسترش صنایع، رشد اقتصادی و شهرنشینی، دفع نادرست فاضلاب‌های شهری و استفادهٔ بیش از حد از کودهای شیمیایی، حیوانی و آفت‌کش‌ها از جمله دلایلِ اصلی آلودگی منابع آب زیرزمینی و آشامیدنی می‌باشند. همچنین این فعالیت‌های انسانی برای بشر و محیط‌زیست بسیار خطرناک هستند (۴). نفت منبع اصلی تأمین انرژی برای صنایع مختلف و زندگی روزمره است. انتشار نفت در محیط چه به‌طور تصادفی یا به‌دلیل فعالیت‌های انسانی یک علت اصلی آلودگی آب‌وخاک است. نفت از صدها یا هزاران هیدروکربن آلیفاتیک شاخه‌ای و معطر تشکیل شده است که بیشتر آن‌ها برای انسان، حیوانات و پوشش گیاهی سمّی هستند (۵). به‌دلیل رشد روزافزون صنعت، فراورده‌های نفتی و مشتقات آن‌ها یکی از منابع اصلی آلودگی محیط‌زیست به‌شمار می‌روند. در طول استخراج، حمل‌ونقل، توزیع و ذخیره‌سازی نفت خام و فراورده‌های آن ممکن است این مواد آزاد شده و باعث آلودگیِ جو، لیتوسفر و هیدروسفر شوند (۶ و ۷). آلودگی‌های نفتی تأثیر مهمی روی گیاهان و حیواناتِ دریایی، جزایر مرجانی، ماهیگیری، سواحل، سلامت انسان و صنعت توریسم دارند. این ترکیبات در محیط به‌شدت مقاوم هستند، بنابراین بازیابی مواد نفتی، جلوگیری از نشت آن‌ها و حذف این مواد از آب‌های آلوده اهمیت بسیار بالایی دارد (۸). صدها نوع ترکیب می‌توانند در نفت حضور داشته باشند. حدود ۵۰-۹۸ درصد از ترکیبات نفتی مربوط به هیدروکربن‌ها عمدتاً آلکان‌ها (پارافین‌ها)، سیکلوآلکان‌های با ۵-6 اتم کربن، ۴۰-۲۰ درصد ترکیبات آروماتیک (بنزن، تولوئن و زایلن)، ترکیبات دوحلقه‌ای (نفتالن)، سه‌حلقه‌ای (آنتراسین، فنانترن) و چندحلقه‌ای (پیرن) می‌باشد. ترکیبات هیدروکربنی ممکن است به یکی از روش‌های تصادفات، انتشار از صنایع، محصولات جانبی حاصل از تجارت یا استفاده‌های شخصی ورود مستقیم به آب وارد محیط‌زیست شوند (۹). با توجه به تأثیر سوء ترکیبات نفتی بر سلامت انسان و اثرهای مخرب زیست‌محیطی ناشی از این ترکیبات، حذف این مواد شیمیایی به‌عنوان یکی از اولویت‌های حذف آلاینده‌ها در محیط‌زیست مطرح شده است. ازاین‌رو دستیابی به تکنیک‌های مؤثر در حذف این ترکیبات از آب یکی از مهم‌ترین مسائل زیست‌محیطی می‌باشد و روش‌های مختلفی برای حذف این آلاینده‌ها به‌کار برده شده است (۱۰). امروزه تجزیهٔ زیستی آلودگی‌های نفتی با استفاده از باکتری‌های بومی درخور توجه است. تعدادی از گونه‌های میکروبی که می‌توانند طیف‌وسیعی از آلاینده‌ها را تخریب کنند قبلاً گزارش شده است (۱۱). از مهم‌ترین باکتری‌های تجزیه‌کنندهٔ این مواد می‌توان به‌جنس‌های *سودوموناس*، *اسینتوباکتر*، *باسیلوس*، *مایکوباکتریوم*، *مارینوباکتر*، *اسفینگوموناس*، *بورخ هولدریا* و *ویبریو* اشاره نمود. میکروارگانیسم‌های تجزیه‌کنندهٔ ترکیبات نفتی ابتدا با تولید بیوسورفکتانت، نفت خام را اِمولسیونه می‌نمایند که با این عمل نسبت سطح به حجم قطره‌های نفت بسیار افزایش می‌یابد و از این طریق دسترسی سلول‌های باکتری با ترکیبات نفت بیشتر و کارایی آن‌ها در مصرف نفت بسیار افزایش می‌یابد. مطالعه‌ها نشان داده‌اند که میکروارگانیسم‌های جداشده از محیط‌های طبیعی بیشترین سازگاری را با محیط پیدا کرده‌اند، پس بهترین گزینه استفاده از میکروارگانیسم‌های بومی به‌منظور استفاده در فرایند حذف زیستیِ لکه‌های نفتی در محیط‌های آلوده می‌باشد (۱۲). درحال‌حاضر، پذیرفته‌شدهٔ هیچ تک‌گونه‌ای از میکروارگانیسم‌ها نمی‌تواند به‌طور کامل بخشی از نفت را تجزیه کند. تجزیهٔ نفت خام، نفت تصفیه‌شده یا مشتقات آن‌ها، نیاز به کنسرسیومی از میکروارگانیسم‌ها دارد (۱۳). پژوهشگران روش‌های متعددی مرتبط به آلودگی نفتی و اندازه‌گیری میزان حذف آلودگی را موردبررسی قرار داده‌اند (۱۴).

تبدیل مواد به مقیاس نانو ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، زیستی و فعالیت‌های کاتالیزوری آن‌ها را تغییر می‌دهد و سبب افزایش فعالیت‌های شیمیایی و نفوذپذیری این ذرات به غشای سلولی می‌شود. فناوری نانو، فناوری نوظهور برای صنعت نفت است. نانوفناوری هم به‌دلیل گسترش و پیشرفت‌های چشمگیر آن و هم به‌دلیل عدم‌ایجاد خطرهای زیست‌محیطی و پیشینهٔ بسیار خوبی که در حوزهٔ حذف آلاینده‌ها از خود نشان داده، یکی از علومی به‌حساب می‌آید که در حوزهٔ فناوری سبز جای می‌گیرد. استفاده از علم نانو یک گام انقلابی برای اکتشاف بالادست و تولید نفت و گاز می‌باشد. عوامل زیادی ممکن است بر این فرایند تأثیر بگذارند مانند رفتار نانومواد، اندازه، شکل فیزیکوشیمیایی یا خاصیت محلول اطراف

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-01-30]

(pH و قدرت یونی) و خواص محیط متخلخل. به‌علاوه استفاده از مواد مبتنی بر کربن از نظر عملی و اقتصادی مقرون‌به‌صرفه هستند، زیرا مواد پیش‌ساز کربن ارزان و فراوان است (۱۵). کربن نیترید گرافیتی یک آنالوگ گرافیت است و مانند آن دارای ساختار دوبُعدی می‌باشد (۱۶). پیشرفت‌های اخیر در مواد مبتنی بر کربن نیترید گرافیتی توسعهٔ استراتژی‌های ضدباکتری بسیار مؤثر را تسریع کرده است. این ماده یک فتوکاتالیست غیرسمّی و زیست‌سازگار (۱۶)، فوتوکاتالیستِ آلیِ نیمه‌هادی درکامپوزیت‌های ضدباکتری استفاده شده است (۱۷). کربن نیترید گرافیتی به فرمول مولکولی $g\text{-}C_3N_4$، یک فوتوکاتالیست عاری از فلز است و از زیرواحدهای tri-s-triazine ساخته شده و توسط گروه‌های عاملی مسطح آمین نوع سوم[1] در یک لایه به‌هم متصل می‌شوند. ویژگی‌های منحصربه‌فرد این ماده از جمله سهولت سنتز، پایداری در محیط‌های بسیار اسیدی، بازی و باند گپ مناسب سبب‌شده پژوهش‌های بسیاری روی آن صورت گیرد (۱۸). به‌دلیل این ویژگی‌های منحصربه‌فرد، در کامپوزیت‌های با خاصیت آنتی‌باکتریایی با هدف تصفیه در محیط‌زیست مورداستفاده قرار گرفته است (۱۹). در این زمینه Wang و همکاران از کربن نیترید گرافیتی عامل-دارشده با نقره و اکسید روی برای حذف فرمالدئید استفاده کردند. نتایج آنالیزهای BET، XRD و SEM نشان داد که کربن نیترید گرافیتی خالص و Ag/Zno/g-C_3N_4 دارای خاصیت حذف مطلوب است (۲۰).

در پژوهش حاضر هدف بررسی حذف آلایندهٔ نفتی (C_{16}) به روش آنالیز تبخیری با استفاده از کربن - نیترید گرافیتی در حضور کنسرسیوم باکتریایی جداشده از مناطق آلوده می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- سنتز کربن نیترید گرافیتی

به منظور سنتز کربن نیترید گرافیتی، از اوره به‌عنوان مادهٔ اولیه استفاده شد. ابتدا ۱۰ gr اوره در بوته-چینیِ دربسته در کوره با دمای ۵۵۰°C به‌مدت ۴ ساعت با سرعت ۵°C/min قرار گرفت. سپس تا دمای اتاق سرد شد و کربن نیترید گرافیتیِ سفیدرنگِ حاصل در هاون پودر شد (کربن نیترید گرافیتی با سنتز مستقیم به‌دست می‌آید). جهت تهیهٔ محلول کربن نیترید گرافیتی، ۲۰ mL آب‌مقطر به ۱۰۰ mg کربن نیترید گرافیتیِ تولیدشده در مرحلهٔ قبل اضافه شد، سپس به‌مدت نیم ساعت در حمام اولتراسونیک قرار داده شد. محلول همگن با غلظت ۵ mg/mL به‌دست آمد (۲۱).

.

۲-۲- مشخصه‌یابی نانوذرات $g\text{-}C_3N_4$

پس از سنتز نانوذرات $g\text{-}C_3N_4$، با استفاده از روش‌های تحلیلیِ مختلف مشخصه‌یابی انجام شد. جهت تعیین خصوصیات ساختاری، مورفولوژی و اندازه‌گیری متوسط سایز نانوذرات از دستگاه‌های FTIR مدل (BRUKRE آلمان)، در محدودهٔ ۴۰۰-۴۰۰۰cm^{-1} و میکروسکوپ الکترونیکیِ روبشی (SEM) استفاده شد. جهت بررسی ساختار بلوری و خلوص فازهای نمونه، آنالیز طیف‌سنجی پراش اشعهٔ ایکس (XRD) با استفاده - ازدستگاه پراش‌پرتوی ایکس مدل PW1730، تحت‌تابش Cu-Kα (λ = ۱/۵۴۰۵۶°A) در محدودهٔ $\theta 2$ = ۵°-۷۰°، ولتاژ ۴۰ کیلوولت و جریان ۳۰ mA انجام گرفت. ساختار بلوری نمونه با مطالعهٔ اشعهٔ بازتابیده از سطح کریستال که در بعضی نقاط دارای پیک می‌باشد بررسی‌گردید.

۲-۳- نمونه‌برداری از آب

در این مطالعهٔ میدانی، از حوزهٔ آبریز شمال غرب‌کشور آلوده به ترکیباتِ نفتی نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌ها طی ۲۴ ساعت در ظروف شیشه‌ای درب‌دارِ استریل در دمای ۴°C به آزمایشگاه منتقل شدند. به‌وسعت جغرافیایی و شرایط ویژهٔ منطقه، ۱۴چاه گمانه زده شد و ۳ ایستگاه با آلودگی بیشتر انتخاب گردید.

۲-۴- جداسازی کنسرسیوم باکتری

جهت جداسازی باکتری‌ها از محیط R_2A براث استفاده شد، همچنین محیط سنتزی پایهٔ نمکی (BH) نیز ساخته شد. محیط، ارلن و سرسمپلر در دمای ۱۲۱°C و فشار ۱ atm به‌مدت ۲۰ دقیقه در اتوکلاو استریل گردید. به هر ارلن ۴۵ mL محیط R_2A و ۵ mL محیط پایهٔ ۱۰ درصد (برداشت از ایستگاه‌ها) اضافه شد. جهت رشد باکتری‌ها نمونه‌ها یک هفته در دمای ۳۰°C و دور rpm ۱۲۰ روی شیکر انکوباتور قرار داده شدند. بعد از این مدت محیط تغییر رنگ داد که نشان‌دهندهٔ رشد باکتری است (۲۲).

۲-۵- آزمون کانت میکروبی

در تکنیک کلنی کانت، از نمونهٔ حاوی باکتری در محیط مایع رقّت سریالی تهیه شد و از هر رقت ۰/۱ میلی‌لیتر به‌صورت یک لایهٔ نازک توسط سواپ یا سرسمپلر به آرامی روی محیط جامد منتقل گردید. در حین کشت، محیط به آرامی چرخانده شد تا مایع به-صورت یکنواخت در سراسر محیط‌کشت جامد پخش

[1] Planar Tertiary Amino Groups

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-01-30]

گردد. محیط‌کشت به‌مدت ۴۸ ساعت نگهداری شد، سپس تعداد کلنی‌ها در نمونه شمارش گردید (۲۳).

۲-۶- امکان‌سنجی حذف گازوئیل توسط باکتری

جهت بررسی عملکرد باکتری تلقیح‌شده روی گازوئیل، نمونهٔ گازوئیل مصرفی سترون گردید. عمل سترون‌سازی توسط فیلتراسیون با کمک صافی‌های نیتروسلولزیِ سترون ساخت Jet-Biofil کانادا با قطر منافذ ۰/۴۵ میکرون صورت گرفت (۲۴). بعد از رشد میکروب‌ها با محیط بوشنل هاس‌براث[1] (پایهٔ نمکی) تست انجام شد (۲۵ و ۲۶).

۲-۷- تهیهٔ محیط‌کشت بوشنل هاس حاوی گازوئیل و باکتری

ابتدا کنسرسیوم باکتریایی در ۱۰ mL محیط آبگوشتِ مغذی، کشت داده شد و در دمای ۲۸°C گرماگذاری گردید. پس از رسیدن به کدورتی معادل ۰/۷ نیمهٔ مک‌فارلند ۱ mL از آن در ۴۴mL محیط (۱۰٪) پایهٔ معدنی حاوی ۵ mL گازوئیل اضافه گردید. از نمونهٔ فاقد باکتری به‌عنوان شاهد استفاده شد (۱۸). سپس نمونه‌ها به‌مدت یک هفته در گرم‌خانهٔ ۲۸°C مجهز به شیکر گرماگذاری شدند (۲۷).

۲-۸- بررسی راندمان حذف گازوئیل با روش آنالیز تبخیری (وزنی)

در این روش ۴۴ mL محیط بوشنل هاس، mL ۵ گازوئیل و ۱ mL باکتری اضافه و در دمای ۳۰°C و دور ۱۲۰ rpm روی شیکر انکوباتور قرار داده شد. پس از گذشت یک هفته تماس باکتری با گازوئیل، محیط‌کشت در فالکون ریخته شد. جهت استخراج بهتر ۱۰ CC نرمال-هگزان اضافه و ۵ دقیقه افقی با دست تکان داده شد. پس از ۲۰ دقیقه با دور ۱۰۰۰ rpm سانتریفیوژ شد، فاز رویی در شیشهٔ ساعتی که قبلاً وزن‌شده ریخته شد و پس از یک ساعت زیرهودِ بیولوژیکی شیشهٔ ساعت مجدد وزن شد. وزن محیط‌کشت با بلانک مقایسه شد. مراحل بیان‌شده برای ۴۴ mL محیط بوشنل‌هاس، ۵ mL گازوئیل، ۱ mL باکتری و ۱۰۰ mg/L نانوذرات $g\text{-}C_3N_4$ انجام گرفت و در روزهای ۰، ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۱۵ نمونه برداشت شد و به‌روش آنالیز تبخیری میزان حذف بررسی گردید (۲۸).

۲-۹- تأثیر غلظت نانوذرات در میزان حذف آلایندهٔ نفتی C_{16}

از نمونهٔ موردنظر در روزهای ۰، ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۱۵ نمونه‌گیری انجام و اثر غلظت نانوذرات به‌دست آمد. لازم به‌ذکر است که در این آزمایش اثر غلظت نانوذرات (۵۰-۱۰۰-۱۵۰ mg/L) موردبررسی قرار گرفت و بقیهٔ شرایط متغیرها (دما و pH) ثابت بود. به‌علاوه تأثیر عدم‌وجود باکتری و نانوذرات به‌صورت مجزا بررسی شد.

۲-۱۰- انتخاب زمان بهینه

۴۴ ml محیط بوشنل‌هاس، ۵ ml گازوئیل و ۱ mL باکتری مخلوط و ۱۰۰ mg/L نانوذرات در ارلن ریخته شد، عمل استخراج با بلانک در روزهای ۰، ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، و ۱۵ توسط قیف دکانتور انجام گردید، محلول خروجی از صافی در میکروتیوب جمع‌آوری و در یخچال نگهداری شد.

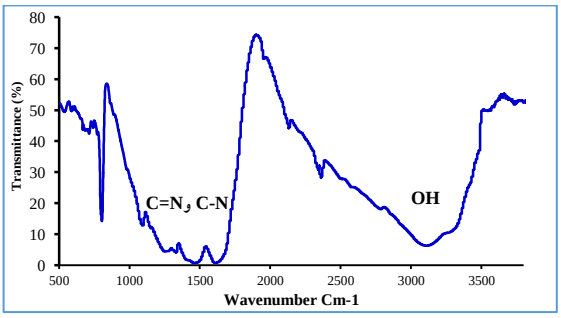
۳- نتایج

۳-۱- مشخصه‌یابی نانوذرات $g\text{-}C_3N_4$

نانوذرات $g\text{-}C_3N_4$ پس از سنتز، توسط روش‌های طیف‌سنجی مادون‌قرمز (FTIR)، پراش اشعهٔ ایکس (XRD) و بررسی مورفولوژی مشخصه‌یابی شدند.

۳-۲- طیف‌سنجی مادون‌قرمز (FTIR)

در آنالیز طیف‌سنجی FTIR، نمونه با اسپکتروفتومتر در محدودهٔ طول‌موج بین cm^{-1} ۴۰۰۰-۴۰۰ مشخصه‌یابی شد (شکل ۱). طیف FTIR کربن نیترید گرافیتی سه منطقهٔ جذبی در محدودهٔ cm^{-1} ۳۱۵۰، cm^{-1} ۱۶۵۰-۱۲۰۰ و cm^{-1} ۸۰۵ را نشان می‌دهد. چندین قلّهٔ شدید در محدودهٔ cm^{-1} ۱۶۱۰-۱۲۰۰ مربوط به ارتعاش‌های کِششی پیوندهای C-N و C=N است. همچنین، باند جذبی در طول‌موج cm^{-1} ۸۰۵ مربوط به ارتعاش‌های خمشی خارج صفحه حلقه‌های s-triazine است که نمایانگر ساختار کیتازین کربن نیترید گرافیت تولید شده است (۲۸ و ۲۹).



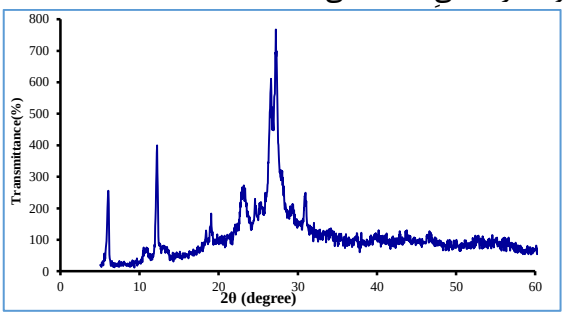
شکل ۱- طیف FTIR کربن نیترید گرافیتی

[1] Bushnell-Haas Broth

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-01-30]

۳-۳- الگوی پراش پرتوی ایکس (XRD)

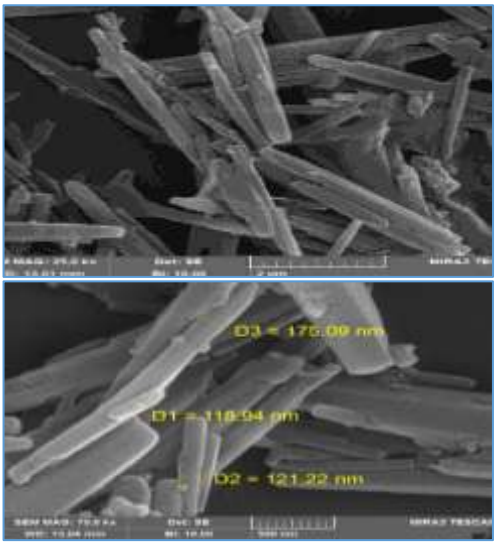
الگوی XRD کربن نیترید گرافیتی در شکل ۲ نشان داده شده است. برای کربن نیترید گرافیتی سنتزشده، پیک در محدودهٔ $2\theta = ۱۳/۲^\circ$ مربوط به صفحه (۱۰۰) و نشان‌دهندهٔ تودهٔ درون‌صفحه‌ای ساختار آروماتیک و قلّهٔ دیگر در ناحیهٔ $2\theta = ۲۷^\circ$ نشان‌دهندهٔ تودهٔ بین‌لایه‌ای حلقه‌های آروماتیک مزدوج مربوط به وجه‌کریستالیِ (۰۰۲) می‌باشد (۳۰).



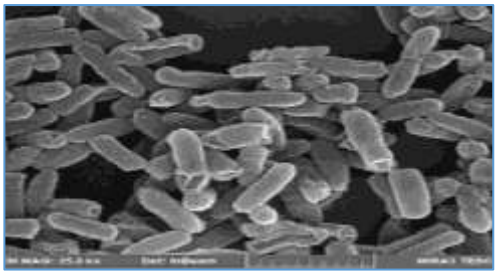
شکل ۲- طیف XRD کربن نیترید گرافیتی

۳-۴- میکروسکوپ الکترونیِ روبشی (SEM)

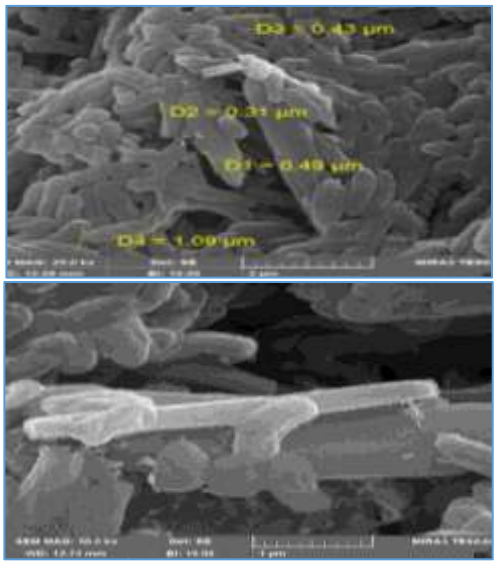
شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی الکترونیِ روبشی (SEM) الف) $g\text{-}C_3N_4$، ب) باکتری، ج) $g\text{-}C_3N_4$ و باکتری را با دو بزرگنمایی متفاوت نشان می‌دهد. در تصاویر ۳-الف، ابعاد نانوییِ صفحات کربن نیترید گرافیتی که ضخامتی در محدودهٔ nm ۱۷۵-۱۱۸ دارند قابل‌مشاهده است. مورفولوژی کربن نیترید گرافیتی مطابق با مقاله‌های گزارش شده است (۳۱). مطابق شکل ساختار کربن نیترید گرافیتی صفحه‌ای و متخلخل است. در شکل ۳ج) تصاویر SEM کربن نیترید گرافیتی و باکتری نشان داده شده است.



(الف)



(ب)

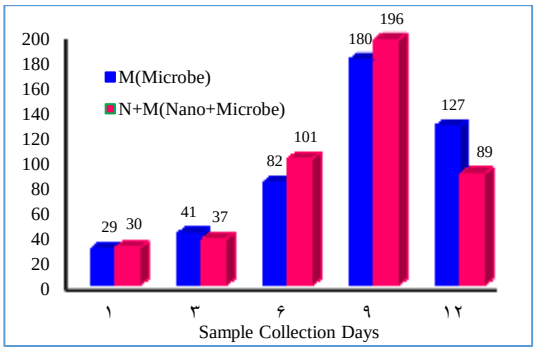


(ج)

شکل ۳- تصاویر SEM الف) $g\text{-}C_3N_4$، ب) باکتری، ج) $g\text{-}C_3N_4$ و باکتری

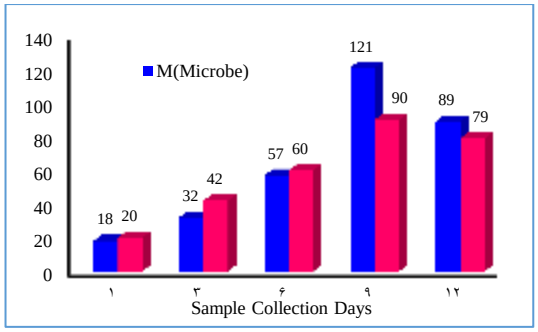
۳-۵- آزمون کانت میکروبی

آزمون کانت میکروبی، روشی کلاسیک جهت تعیین غلظت میکروب‌ها (باکتری‌ها) در نمونه، با رقیق کردن نمونه و رشد باکتری‌ها در پلیت و شمارش کلنی‌ها است. شکل ۴ تغییرهای کانت میکروبی در روزهای تماس آلاینده و نانوذرات $g\text{-}C_3N_4$ را نشان می‌دهد. مطابق شکل ۴ الف، در روز نهم، تعداد باکتری‌ها به بیشترین مقدار خود می‌رسد. بر اساس شکل ۴-ب بیشترین میزان حذف در روز نهم توسط باکتری‌ها و نانوذرات صورت می‌گیرد.



(الف)

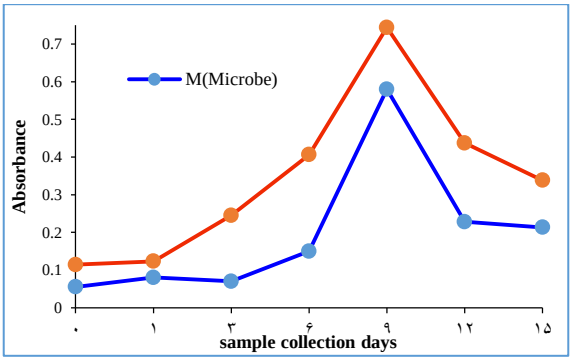
[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-01-30]



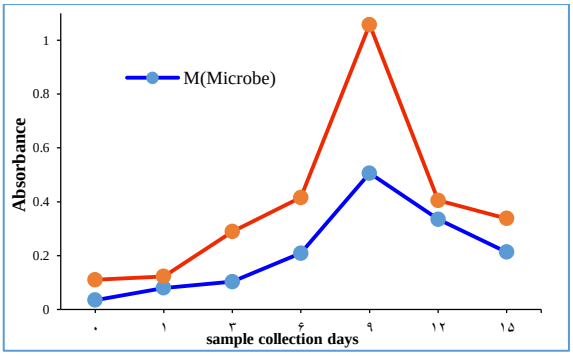
(ب)

شکل ۴- الف) سریال دایلوشن و ب) کانت میکروبی با میکروسکوپ

مکمل آزمون کانت میکروبی جهت تعیین غلظت میکروب‌ها (باکتری‌ها) در نمونه، بررسی جذب نور به‌روش اسپکتروفتومتری است. در این روش بیشترین میزان جذب نشان‌دهندهٔ بیشترین تعداد باکتری است. شکل ۵ تغییرهای جذب نور به روش اسپکتروفتومتری در طول‌موج ۶۰۰nm براساس روزهای تماس آلاینده و نانوذرات g-C_3N_4 را نشان می‌دهد. طبق شکل ۵-الف، در محیط بوشنل هاس بیشترین جذب نور مشاهده شده که نشان‌دهندهٔ بیشترین تعداد باکتری در روز نهم نمونه‌گیری است. در محیط آبی نیز (شکل ۵-ب) بیشترین جذب نور در روز نهم مشاهده شد که نشان‌دهندهٔ بیشترین تعداد باکتری در این روز است. نتایج این روش با آزمون کانت میکروبی مطابقت دارد.



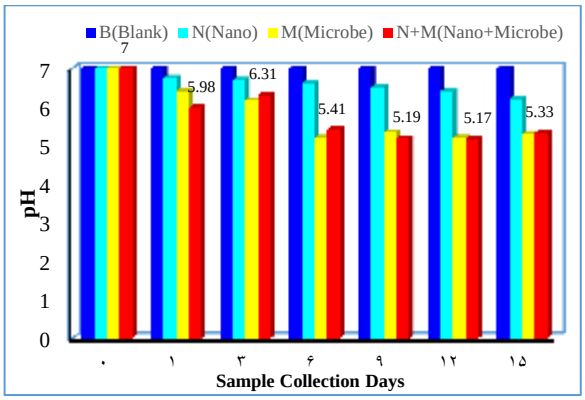
(الف)



(ب)

شکل ۵- تغییرهای جذب نور به‌روش اسپکتروفتومتری براساس روزهای تماس آلاینده و نانوذرات g-C_3N_4. الف) در محیط بوشنل هاس، ب) محیط آب

شکل ۶ تغییرهای pH محیط در محیط بوشنل هاس را براساس روزهای تماس آلاینده و نانوذرات g-C_3N_4 نشان می‌دهد. مطابق این شکل، کمترین pH مربوط به روزهای ۹ و ۱۲ است، رنج تغییرهای pH در این محیط، pH ۷-۵ دیده شد.

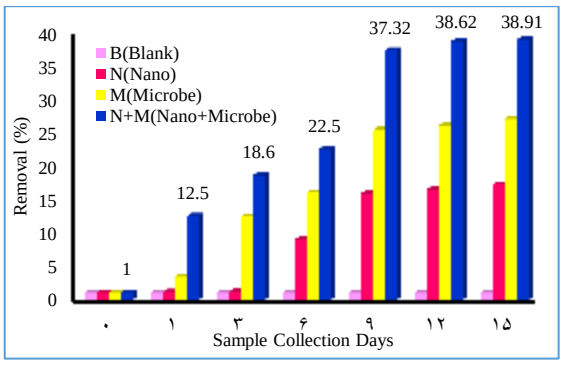


شکل ۶- تغییرهای pH براساس روزهای تماس آلاینده و نانوذرات در محیط بوشنل هاس

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-01-30]

۳-۶- سنجش و بررسی درصد حذف C_{16} با روش آنالیز تبخیری

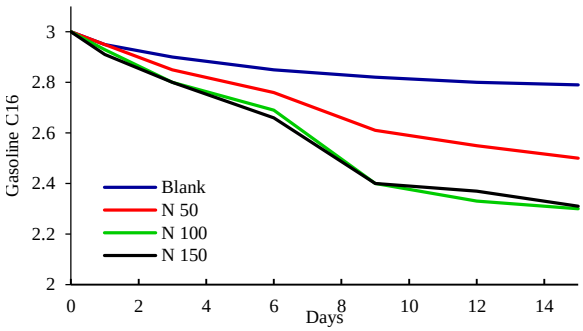
شکل ۷ میزان حذف C_{16} در روش آنالیز تبخیری که به‌مدت ۱۵ روز در تماس با کنسرسیوم باکتریایی بوده را نشان می‌دهد. طبق نمودار بیشترین حذف در آخرین روز (روز ۱۵) مشاهده می‌شود. در روز نهم که زمان بهینهٔ حذف است، حذف با نانوذرات g-C_3N_4 و باکتری برابر ۳۷/۳۲ درصد مشاهده شد.



شکل ۷- میزان حذف C_{16} در روش آنالیز تبخیری توسط نانوذرات g-C_3N_4 و میکروب

۳-۷- تأثیر غلظت نانوذرات در میزان حذف C_{16}

شکل ۸ تأثیر غلظت‌های (mg/L ۱۵۰-۱۰۰-۵۰) نانوکامپوزیت را در میزان حذف C_{16} نشان می‌دهد. کاهش حجم C_{16} در غلظت‌های mg/L ۱۰۰ و ۱۵۰ کاملاً محسوس می‌باشد. در روز ۱۵ حجم C_{16} به ۲/۳mL کاهش یافت.



شکل۸- تأثیر غلظت‌های مختلف نانوذرات در میزان حذف C_{16}

۳-۸- زمان بهینه

نتایج نشان دادندکه با گذشت زمان میزان حذف به‌صورت تدریجی سیرصعودی داشت. بهترین زمان حذف روز نهم به‌دست آمد، میزان حذف در روز نهم نسبت به روز ششم بسیار چشمگیر بود و با روز دوازدهم تفاوت چندانی نداشت.

۴- بحث

محصولات مبتنی بر نفت شامل طیف گسترده‌ای از ترکیبات خطرناک مانند n-alkane، cycloalkane و هیدروکربن‌های معطر هستند. در طول اکتشاف، حمل‌ونقل، پردازش، ذخیره‌سازی و استفاده در مقیاس بزرگ نفت، ممکن است سایت‌های (جایگاه) آلوده در نتیجهٔ حوادث و فعالیت‌های عملیاتی ایجاد شوند. زیستگاه‌های دریایی و خاک خشک تحت‌تأثیر کل هیدروکربن‌های نفتی (TPH) به‌عنوان یک آلاینده در محیط‌طبیعیِ خود قرار دارند (۳۲). هیدروکربن‌های نفتی به‌دلیل سمیّت بالا برای سلامت انسان و محیط‌زیست یکی از هشداردهنده‌ترین آلاینده‌ها هستند. آلاینده‌های نفتی از طریق عوامل متعددی همچون دفع غیراصولیِ فاضلاب و ضایعات صنایع مربوطه، شکستن خطوط انتقال، نشت از مخازن ذخیره و تصادف‌های تانکرها و نفتکش‌ها وارد محیط‌زیست می‌گردند. مواد آلی سمّی تأثیر بدی بر آب شیرین، موجودات آبزی و انسان دارند. وجود بقایای نفت و هیدروکربن‌ها باعث ایجاد مشکلات بزرگی در فرایندهای تصفیهٔ آب می‌شوند (۳۳ و ۳۴). بنابراین بازیابی مواد نفتی یا جلوگیری از نشت و همچنین حذف آن‌ها از آب‌های آلوده اهمیت بسیار بالایی دارد. آلوده شدن آب به ترکیبات نفتی موجب گسترش فناوری‌های جدید برای حذف آلودگی‌های نفتی گردیده است. امروزه پاک‌سازیِ زیستی که در آن از باکتری‌ها برای تجزیهٔ زیستیِ آلاینده‌های نفتی استفاده می‌شود، یکی از روش‌های بسیار کارآمد تصفیهٔ آب و خاک‌های آلوده به ترکیبات نفتی است. روش پاک‌سازیِ زیستی توسط باکتری‌ها در مقایسه با سایر روش‌های حذف آلاینده‌ها، روشی دوستدار محیط‌زیست با پتانسیل آسیب‌رسانیِ کمتر به اکوسیستم و محیط‌زیست به‌شمار می‌رود (۳۵). روش‌های بیولوژیکی با به‌کارگیری میکروارگانیسم‌های مؤثر جهت پاک‌سازی آب‌های‌های آلوده به ترکیبات نفتی ترجیح داده می‌شوند. Mittal و Singh توانایی باکتری *سودوموناس* در حذف نفت را ۹۶ درصد گزارش کردند (۳۶). وابستگیِ شدید اقتصادهای مدرن به سوخت‌های فسیلی باعث افزایش فراوانی انتشار تصادفی هیدروکربن‌های نفتی ترکیبی از ترکیبات آلکان‌ها، هیدروکربن‌های آروماتیک و ترکیبات حاوی نیتروژن، اکسیژن و گوگرد شده است (۳۷). کلیهٔ فعالیت‌های صنایع نفتی از جمله اکتشاف، استخراج، حمل‌ونقل، پالایش و مدیریت پسماندهای روغنی، منابع احتمالی آلودگی محیط‌زیست هستند (۳۸). به‌طور کلی مقابله با این

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-01-30]

انتشارهای تصادفی بـه لحـاظ اقتصـادی و محـیط‌زیسـتی هزینه‌بر است (۳۹). روش‌هـای مختلفـی بـرای بـه‌پـالاییِ خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی نظیـر روش‌هـای فیزیکی، شیمیایی و زیستی وجود دارد. در این بین، روش-های فیزیکـی و شـیمیایی معمـولاً در مسـاحت‌هـای کـم، خاک‌های درشت‌دانه و با هزینهٔ بالا انجام پذیرند (۴۰).

در پژوهش حاضر جهت حذف آلایندهٔ نفتی با استفاده از کنسرسیوم باکتریاییِ جداشده از مناطق آلوده، نانوذرات $g\text{-}C_3N_4$ ساخته شد. در این زمینه حسامی و همکاران ساخت نقاط کوانتومیِ کربن نیترید گرافیتی عامل‌شده با فنیل برونیک اسید (g-CNQDs/PBA) را بررسی نمودند (۴۱). خصوصیات نانوذرات سنتزشده با استفاده از آزمون‌های مشخصه‌یابی FTIR، XRD و SEM تعیین گردید. مورفولوژی ساختار کربن نیترید گرافیتی صفحه‌ای و متخلخل است که حضور کربن نیترید گرافیتی نیز اثبات شد. وانگ و همکاران نیز از کربن نیترید گرافیتی عامل‌دارشده با نقره و اکسید روی برای حذف فرمالدئید استفاده کردند. بررسی‌ها با BET، XRD و SEM نشان دادند که $g\text{-}C_3N_4$ خالص اثر تبلور ضعیفی دارد اما $Ag/ZnO/g\text{-}C_3N_4$ بهتر متبلورشده و از خاصیت حذف بالاتری برخوردار است (۴۲).

به‌علاوه از روش آنـالیز تبخیـری جهـت بررسـی درصد حـذف آلاینـدهٔ نفتـی اسـتفاده شـد. ایـن روش بـا استفاده از کنسرسیومِ بـومی منطقـه و نـانوذرات $g\text{-}C_3N_4$ برای اولین بار انجام گرفته اسـت. در ایـن روش بیشـترین درصد حذفC_{16} در آخـرین روز (روز ۱۵) مشـاهده شـد. در روز نهم که زمان بهینـهٔ حذف است، حذف با نـانوذرات $g\text{-}C_3N_4$ و باکتری برابر ۳۷/۳۲ درصد مشـاهده شـد. ایـن کار برای اولین بار صورت گرفته کـه از کنسرسـیومِ بـومی منطقـه و نـانوذرات $g\text{-}C_3N_4$ اسـتفاده شـده اسـت، ولـی به‌هرحال با سایر کارهای حذف (بیولوژیکی و نانو) مقایسه شده است. به‌عنوان مثال جاویـد و ابوالحسـنی در مطالعـهٔ خود کارایی نانوذرهٔ اکسید روی را در حذف نفت از پسـاب ساختگی بررسی نمودند. نتایج این مطالعـه نشـان داد کـه میزان جذب بعد از 20 دقیقـه و بـه‌مقـدار ۷۴/۱ درصـد و به‌صورت ثابت درآمد. بیشترین میزان جـذب در pH ۷ بـه میزان ۸۷/۲۵ درصد و کمترین مقدار آن در pH ۹ به‌میزان ۶۶/۹ درصـد حاصـل شـد (۴۳). در مطالعـهٔ شـکرانیان و همکاران توانایی حذف زیستی نفت خـام توسـط بـاکتریِ جداشده از خاک آلوده به نفت در اطراف پالایشـگاه شـیراز بررسی شد. در این پژوهش جهت سـنجش میـزان حـذف آلایندهٔ نفت روش اسپکتروفتومتری اسـتفاده شـد. نتـایج نشان داد دو جدایهٔ *Sludge C* و *SHA* به‌ترتیب بـا ۶۴/۴ و ۸۴/۲ درصـد، توانـایی حـذف آلاینـدهٔ نفـت در ۷ روز را داشـتند (۴۴). در سـال ۲۰۲۳ Sui و همکـاران بـا هـدف بررسی تجزیهٔ آلاینده‌های نفتی توسط گونـهٔ *A. junii* بـه مطالعه و پژوهش پرداختند. مطالعهٔ آن‌ها نشان داد که *A. junii*به‌طور مؤثری هیدروکربن‌های مختلف از جمله نفت خام، گازوئیل، روغن موتور، فلـورن، فنـانترن، دوکوسـان و تریاکونتان را با بالاترین نـرخ‌هـای تخریـب تحـت شـرایط خاص منبع نیتروژن بهینه و نسبت C/N به‌دست آوردنـد. این باکتری کاراییِ بالایی در تجزیهٔ فراکس یون‌های آلکان و آلکان‌های خاص در نفـت‌هـای خـام مختلـف نشـان داد (۴۵). اسـتفاده از روش آنـالیز تبخیـری در حضـور کنسرسـیوم باکتریـایی در ایـن مطالعـه نسـبت بـه سـایر روش‌ها مزایایی دارد که به چند مورد از آن اشاره می‌شود: مزایای بالقوه استفاده از کنسرسیوم باکتریایی شامل بهبود سطوح تجزیهٔ زیستی، توزیع بار متابولیک بین گونـه‌هـای باکتریایی و دستیابی به تعامل‌های پویا پایدار اسـت. روش آنالیز تبخیری مـی‌توانـد در شـرایطی کـه دیگـر روش‌هـا ناکارآمد هستند بسیار مؤثر عمل کند. این امر کاراییِ بـالا در شـرایط خـاص را نشـان مـی‌دهـد. ایـن روش نیـاز بـه استفاده از مواد شیمیایی برای تجزیه ندارد کـه مـی‌توانـد خطرهـای زیسـت‌محیطـی را کـاهش دهـد. روش آنـالیز تبخیری بـه‌دلیـل عـدم‌اسـتفاده از مـواد شـیمیاییِ مضـر، سازگاری بیشتری با محیط‌زیست دارد. این روش بـه‌طـور کلی نیاز به تجهیزات پیچیـده نـدارد و مـی‌توانـد سـاده و به‌راحتی اجرا شود، اما زمان طولانی موردنیاز برای تجزیـهٔ زیستی، در مقایسه با روش‌های فیزیکوشیمیایی همچنـین دشواری دستیابی به نتایج قابل‌مقایسه در طول کاربردهای درجا که در آن عوامل بی‌شماری و غیرقابل‌کنترلِ زیسـتی و غیرزیسـتی درحـال بـازی هسـتند، از معایـب حـذف آلاینـده‌هـای نفتـی بـه‌روش آنـالیز تبخیـری اسـت (۴۶). استفاده از نـانوذرات بـه‌عنـوان راهکـاری نـوین در حـذف آلاینده‌های نفتی توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کـرده اسـت. نـانوذرات کـربن نیتریـد گرافیتـی بـه‌دلیـل ویژگی‌های منحصربه‌فـرد خـود ماننـد سـطح ویـژهٔ بـالا و قابلیت جذب قوی، گزینـه‌ای مناسـب بـرای ایـن منظـور محسـوب مـی‌شـوند. اسـتفاده از ایـن ظرفیـت عـلاوه‌بـر به‌کـارگیـری هـم‌زمـان کنسرسـیوم میکروبـی سـاکن در منطقـه، ایـدهٔ جـذابی جهـت اسـتفاده بـه‌منظـور حـذف آلاینده‌های محیطی است و نوآوری این مطالعه می‌باشد.

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-01-30]

۵- نتیجه‌گیری

در مطالعهٔ حاضر حذف آلاینده‌های نفتی به‌روش آنالیز تبخیری صورت گرفته که در آن فرایند حذف با به‌کارگیری فناوری نانوبیوتکنولوژی با استفاده از میکروارگانیسم‌های بومی بوده است. حذف آلاینده‌های نفتی به‌روش آنالیز تبخیری نسبت به سایر روش‌های موجود در این حوزه دارای مزایای خاصی است از جمله این روش به‌دلیل بهره‌گیری از فرایند طبیعیِ تبخیر با محیط‌زیست سازگارتر است و می‌تواند در کاهش هزینه‌های تصفیه و بازیابیِ نفت مؤثر باشد. علاوه‌بر این، روش آنالیز تبخیری می‌تواند به‌عنوان یک راهکار ساده و کم‌هزینه در محل‌های دورافتاده و مناطقی که دسترسی به تکنولوژی‌های پیشرفته‌تر محدود است مورداستفاده قرار گیرد. این ویژگی‌ها باعث می‌شود که روش آنالیز تبخیری به‌طور گسترده‌تری نسبت به روش‌های دیگر در مطالعه‌های زیست‌محیطی موردتوجه قرار گیرد. استفاده از کنسرسیوم باکتریایی نیز شامل مزایای بالقوه از جمله بهبود سطوح تجزیهٔ زیستی، توزیع بار متابولیک بین گونه‌های باکتریایی و دستیابی به تعامل‌های پویا پایدار است. با توجه به تواناییِ باکتری‌ها در تجزیهٔ زیستی C_{16}، این باکتری‌ها در حضور نانوذرات $g\text{-}C_3N_4$ می‌توانند در شرایط سخت گزینهٔ مناسبی برای استفادهٔ صنعتی در فرآیندهای تجزیهٔ زیستی آلاینده‌های نفتی باشند. در این زمینه چند پیشنهاد در جهت بهبود فرایند حذف ارائه می‌گردد:

۱- پیشنهاد می‌گردد از نانوذرات عامل‌دارشدهٔ g-C3N4 همراه میکروارگانیسم استفاده شود، با این نانوذرات احتمال حذف آلاینده‌های نفتی بیشتر است.

۲- جذب سایر ترکیب‌های نفتی موجود در آب آلوده روی نانوذرات g-C3N4 همراه میکروارگانیسم موردآزمایش قرار گیرد.

۳- در مورد مکانیسم جذب نفت با استفاده از نانوذرات $g\text{-}C_3N_4$ همراه میکروارگانیسم پژوهش‌های بیشتری صورت گیرد.

۴- با استفاده از فناوری زیست‌شناسیِ مصنوعی، باکتری‌های دست‌کاری‌شدهٔ ژنتیکی ساخته شود تا توانایی بیشتری برای تجزیهٔ هیدروکربن‌های نفتی بدهد.

۵- با توجه به اهمیت روش‌های زیستی و مزایای متعدد آن‌ها پیشنهاد می‌گردد که کارایی روش‌های زیستی جهت حذف دیگر آلاینده‌ها همچون سموم کشاورزی نیز مورد بررسی قرارگیرد، همچنین بررسی کارایی بیوسنسورها جهت شناساییِ آلاینده‌های گوناگون محیط‌های آبی درخور اهمیت ویژه می‌باشد.

۶- آب آلوده با آلاینده‌های نفتی دارای انواع مختلفی از ترکیبات آلاینده است که طی فرایند جذبِ سطحی ممکن است نسبتاً مستقل عمل کرده یا با یکدیگر در تداخل باشند. بنابراین انجام آزمایش‌هایی در ارتباط با تعیین تأثیر حضور سایر آلاینده‌ها ضروری است.

۶- ملاحظات اخلاقی

ندارد.

۷- تشکر و قدردانی

نویسندگان از مسئولین محترم آزمایشگاه تحقیقاتی پژوهشگاه صنعت نفت جهت حمایت اجرایی از این اثر تشکر و قدردانی می‌نمایند. همچنین از گروه علوم محیط زیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران قدردانی می گردد.

۸- تعارض منافع

نویسندگان اعلام می دارند تعارض منافعی وجود ندارد.

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-01-30]

۹- منابع

1. Xia Z, Baird L, Zimmerman N, Yeager M. Heavy metal ion removal by thiol functionalized aluminum oxidehydroxide nano whiskers, Appl Surf Sci. 2017; 416: 565–73.
2. Taghavi Kalajahi S, Rasekh B, Yazdian F, Neshati J. Taghavi L. Corrosion behavior of X60 steel in the presence of sulphate-reducing bacteria (SRB) and iron reducing bacteria (IRB) in seawater, Corrosion Eng, Sci Technol.2021; 1-10. DOI: 10.1080/1478422X.2021.1919840.
3. Taghavi Kalajahi S, Rezazadeh Mofradnia S, Yazdian F, Rasekh B, Neshati J, Taghavi L, Pourmadadi M, Haghirosadat F. Inhibition performance of graphene oxide/silver nanostructure for the microbial corrosion: molecular dynamic simulation study, Environmental Science and Pollution Research. 2022; 29: 49884–49897.
4. Guo Z, Su Y, Li YX, Li G, Huang XJ. Porous single crystalline CdSe nanobelts: cation exchange synthesis and highly selective photoelectric sensing toward Cu^{2+}, Chem Eur J. 2018; 24(39): 9877-9883.
5. Hasija V, et al. Recent advances in noble metal free doped graphitic carbon nitride based nanohybrids for photocatalysis of organic contaminants in water: A review, Appl Mater Today. 2019; 15: 494–524. doi: 10.1016/j.apmt.2019.04.003.
6. M D Yuniati. Bioremediation of petroleum-contaminated soil: A Review, IOP Conf. Ser: Earth Environ Sci. 2018; 118 012063.
7. Bandura L, Woszuk A, Kołody´ nska D, Wojciec F. Application of Mineral Sorbents for Removal of Petroleum Substances: A. 2017; 7(37).
8. Zamiraei Z. Removal of petroleum from contaminated water by affordable adsorbents, J Environ Res Technol. 2020; 23-31.
9. Kharisov B. I, Dias H. R, Kharissova OV. J Petroleum Sci Eng. 2014; 122: 705-718.
10. IA A, ZM A, MA A.Q, IA A, FA A. Oil spill removal from water by absorption on zinc-doped cobalt ferrite magnetic nanoparticles, Adv J Chem A. 2019; 2(4, 266-385): 365-376.
11. Hefeiti M.A. Al, Joseph M, Thoms X G, Sathishkumar R, Bincy B, et al. Draft Genome Sequence ofBacillus cereusStrain UAEU-H3K6M1, a Bacterium with Potential Bioremediation Abilities, Isolated from
12. Petroleum Sludge, Americ Soci Microbiol. 2018; 7(3): e00856-18.
13.Moradi A, Ebrahimipour Gh, Karkhane M, Marzban A. Surveying the Antioxidant and the Antimicrobial Effects of Aqueous and Ethanolic Extract of Rumex Alveollatus L. on In-vitro Indicator Microorganisms, J Adv Biomed Sci. 2015; 4(16): 418-426.
14.Rezaei somee M, Amoozegar MA, Shavandi M, Dastgheib SMM. Isolation of halophilic microbial consortia capable of degrading diesel oil for the bioremediation of drilling wastes. Biolog J Microorgan. 2016; 5(19): 23-40. doi: 10.22108/bjm.2016.21005
15.Soleimani H, Mirza Khurram B, Noorhana, Khodapanah L, Sabet M ,Birol M.R.D, Marek B. Impact of carbon nanotubes based nanofluid on oil recovery efficiency using core flooding, Result Physic. 2018; 9: 39–48.
16.Dong G, et al. A fantastic graphitic carbon nitride ($g-C_3N_4$) material: electronic structure photocatalytic and photo electronic properties, J Photochem Photobiol C: Photochem Review, 2014; 20: 33-50.
17.Zhang X, Wu X, Zhang J, Xu H, Yu X. Recent progress in graphitic carbon nitride-based materials for antibacterial applications: synthesis, mechanistic insights, and utilization, Microstruct. 2024; 4:2024017. doi: 10.20517/microstructures.2023.77
18.Dong F, et al. In situ construction of $g-C_3N_4/g-C_3N_4$ metal-free heterojunction for enhanced visible-light photocatalysis, ACS appl material interface. 2013; 5(21):11392-11401.
19.Ghaemi A, Javadi S, Heidari M.K, Rashedi H, Yazdian F, Omidi M, Tavakoli Z, Sheikhpour M. Wound Med. 2020; 100193.
20.Le Ba T, Mahian O, Wongwises S, Miklós Szilágyi I. Review on the recent progress in the preparation and stability of graphene‐based nanofluids, J Thermal Analys Calorimetr. 2020; 142: 1145–1172.
21.Wang W, Zhang D, Ji Zh, Shao D, Sun P, Duan J. High efficiency photocatalytic degradation of indoor formaldehyde with silver-doped $ZnO/g-C_3N_4$ composite catalyst under the synergistic effect of silver plasma effect and heterojunction, Optical Mater. 2021; 111: 110721.
22.Rajabzadeh-Khosroshahi M, Pourmadadi M, Yazdian F, Rashedi H, Navaei-Nigjeh M, Rasekh B. Chitosan/agarose/graphitic carbon nitride nanocomposite as an efficient pH-sensitive drug delivery system for anticancer curcumin releasing, J Drug Deliv Sci Technol. 2022; ۷۴: ۱۰۳۴۴۳. doi.org/۱۰,۱۰۱۶/j.jddst.۲۰۲۲,۱۰۳۴۴۳.
23.Hong JH, Kim J, Choi OK, Cho KS, Ryu HW. Characterization of a diesel degrading bacterium, Pseudomonas aeruginosa IU5, isolated from oil-contaminated soil in Korea, World J Microbiol Biotechnol. 2005; 21: 381–384.
24.Burt S, Reinders R. Antibacterial activity of consequences of salmonella and campylobacter jejuni in raw poultry, J Food. 2003.

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-01-30]

25.Okerentugba PO, Ezerony OU. Petroleum degrading potentials of single and mixed microbial cultures isolated from rivers and refinery effluent in Nigeria, Afr J Biotech. 2003; 2(9): 288-292.
26.Hasanshahian M, Emtiazi G. Investigation of alkane biodegradation using the microtiter plate method and correlation between biofilm formation, biosurfactant production and crude oil biodegradation, Int Biodeterior Biodegrad. 2008; 62: 170-178.
27.Cheema S, Lavania M, Lal B. Impact of petroleum hydrocarbon contamination on the indigenous soil microbial community, Ann Microbiol. 2015; 65: 359-369.
28.Ferguson SH, Franzmann PD, Revill AT, Snape I, Rayner JL. The effects of nitrogen and water on mineralization of hydrocarbons in diesel-contaminated terrestrial Antarctic soils, Cold Region Sci Technol. 2003; 37: 197-212.
29.Hassanshahian M, Emtiazi G, Cappello S. Isolation and characterization of crude-oildegrading bacteria from the Persian Gulf and the Caspian Sea, Marine Pollut Bulletin. 2012; 64(1): 7-12.
30.Jin J, et al. Simultaneous synthesis-immobilization of Ag nanoparticles functionalized 2D g-C_3N_4 nanosheets with improved photocatalytic activity, J Alloys Compound. 2017; 691: 763-771.
31.Wang K, Li Q, Liu B, Cheng B, Ho W, Yu J. Appl Catal B Environ. 2015; DOI: 10.1016/j.apcatb.2015.03.045.
32.Devi A, Das VK, Deka D. Ginger extract as a nature based robust additive and its influence on the oxidation stability of biodiesel synthesized from non-edible oil, Fuel. 2017; 187: 306-314.
33.Saeed AM, Sayed HA, El-Shatoury EHJCM. Optimizing the reduction of molybdate by two novel thermophilic bacilli isolated from Sinai, Egypt. 2020;77(5):786-94.
34.Liang H, Esmaeili HJET, Innovation. Application of nanomaterials for demulsification of oily wastewater: A review study. 2021;22:101498.
35.Macoustra GK, Koppel DJ, Jolley DF, Stauber JL, Holland AJET, Chemistry. Effect of Dissolved Organic Matter Concentration and Source on the Chronic Toxicity of Copper and Nickel Mixtures to Chlorella sp. 2021;40(7):1906-1916.
36.Azadmanesh F, Zavar Reza J, Yazdian F, Omidi M, Haghirosadat BF. Synthesis of a Novel Nanocomposite Containing Chitosan as a 3D Printed Wound Dressing Technique: Emphasis on Gene Expression, Biotechnol Progres. 2021; 37(2): e3132.
37.Mittal A, Singh P. Isolation of hydrocarbon degrading bacteria from soils contaminated with crude oil spills, Indian J Exp Biol. 2009; 47: 760-765.
38.Sima N.A.K, Ebadi A, Reiahisamani N, Rasekh B. Bio-based remediation of petroleum-contaminated saline soils: Challenges, the current state-of-the-art and future prospects, J environ manag. 2019; 250: 109476.
39.Li X, Wang X, Wan L, Zhang Y, Li N, Li D, Zhou Q. Enhanced biodegradation of aged petroleum hydrocarbons in soils by glucose addition in microbial fuel cells, J Chem Technol Biotechnol. 2016; 91(1): 267-275.
40.Hu G, Li J, Zeng G. Recent development in the treatment of oily sludge from petroleum industry: a review, J hazard mater. 2013; 261: 470-490.
41.Khan AG. Role of soil microbes in the rhizospheres of plants growing on trace metal contaminated soils in phytoremediation, J trace Element Medic Biolog. 2005; 18(4): 355-364.
42.Hosami A, Zohri S, Latifi Navid S, Eskandari H. Fabrication and investigation of carbon nitride quantum dots functionalized with phenylbronic acid, The 5th Inter Conferenc Biolog Earth Sci, 2023.
43.Wang W, Zhang D, Ji Zh, Shao D, Sun P, Duan J. High efficiency photocatalytic degradation of indoor formaldehyde with silver-doped ZnO/g-C_3N_4 composite catalyst under the synergistic effect of silver plasma effect and heterojunction. Optical Mater. 2021; 111: 110721.
44.Javid N**,** Abolhasani M H. Evaluation of the Efficiency of Synthesized Zinc Oxide Nanoparticles in the Removal of Oil from Synthetic Wastewater: A Laboratory Study. *J Rafsanjan Univ Med Sci* 2021; 20 (4): 387-404.
45.Shokranian S Yousefzadi M, Amrollahi Biuki N. Investigating the bio removal ability of crude oil by bacteria isolated from oil-contaminated soil around Shiraz refinery. Aquatic Physiolog Biotechnol. 2024; 12(1): 109-130.
46.Sui X, Li Y, Wang X, Yu L, Wang J, Ji H. Genomics and degradation law of *Acinetobacter junii* in response to petroleum pollution. Proces Biochem. 2023; 126: 41–50. doi: 10.1128/mra.01076-23.
47.Ravindra Arya P, Haq S. A. Chapter 4 - effects of xenobiotics and their biodegradation in marine life, in *Smart bioremediation technologies*. Ed. Bhatt P. Academic Press (UK). 2019; 63–81. doi: 10.1016/B978-0-12-818307-6.00004-4.

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-01-30]