

بررسی اثرات نشت نفت بر اکوسیستم‌های دریایی و خشکی: چالش‌ها و راهکارها

اسماعیل ملاح زاده^{۱*}، جمشید اسلامی^۲۱- دانشجوی دکتری زیست شناسی دانشگاه شهید بهشتی تهران mallahzadeh73@gmail.com۲- دانشجوی دکتری شیلات دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس j.eslami20@gmail.com

چکیده

آلودگی نفتی یکی از بزرگ‌ترین تهدیدها برای اکوسیستم‌های آبی و خشکی به شمار می‌رود که به‌ویژه در محیط‌های دریایی اثرات ویرانگری دارد. نشت نفت، به‌ویژه نفت خام و سوخت‌ها، بخش زیادی از آلودگی‌های اقیانوسی را تشکیل می‌دهد و علاوه بر آسیب‌های زیست‌محیطی، خسارات اقتصادی و اجتماعی قابل توجهی به جوامع ساحلی وارد می‌کند. تجزیه نفت در محیط‌های دریایی و خشکی عمدتاً از طریق فرآیندهای میکروبی یا فیزیکی/شیمیایی انجام می‌شود. این فرآیندها نیاز به زمان طولانی دارند و قبل از بهبود وضعیت محیط‌زیست، آسیب‌های زیادی به اکوسیستم وارد می‌کنند. دما، pH، شوری و سایر شرایط محیطی از جمله عوامل تاثیرگذار بر سرعت تجزیه نفت هستند. در این راستا، استفاده از روش‌های مختلف مانند مواد پراکنده‌کننده، موانع، اسکیمرها و سوزاندن در محل، به همراه میکروارگانیسم‌ها به‌عنوان راهکارهایی برای کاهش اثرات نفت‌ریزی شناخته شده‌اند. تحقیقات نشان داده است که برخی از باکتری‌ها و میکروب‌ها می‌توانند نفت را تجزیه کنند و به‌طور مؤثر در فرآیندهای زیست‌پالایی استفاده شوند. افزودن کودهای نیتروژنی و فسفری به محیط‌زیست نیز می‌تواند فرآیند تجزیه را تسریع کند. با این حال، کاربرد این روش‌ها نیازمند نظارت دقیق است تا از تاثیرات منفی آن‌ها بر محیط‌زیست جلوگیری شود. در کنار این‌ها، استفاده از نانوذرات به‌عنوان جاذب و امولسیفایر و میکروجلبک‌ها به‌عنوان عوامل تجزیه‌کننده نفتی در حال توسعه است. این روش‌ها به‌ویژه در شرایط محیطی چالش‌برانگیز، مانند مناطق قطبی که دمای پایین دارند، می‌توانند مفید باشند. از سوی دیگر، نشت نفت اثرات گسترده‌ای بر سلامت موجودات زنده دارد؛ از جمله کاهش سطح اکسیژن در آب، تاثیر منفی بر ماهیان و پرندگان و ایجاد مشکلات تنفسی در انسان‌ها و کارگران درگیر در عملیات پاکسازی. در نهایت، برای کاهش اثرات نشت نفت، بهینه‌سازی و تحقیق بیشتر در روش‌های مختلف زیست‌پالایی و تجزیه شیمیایی ضروری به نظر می‌رسد.

کلمات کلیدی: باکتری‌های تجزیه‌کننده هیدروکربن، نشت نفت، آلودگی نفتی، میکروارگانیسم‌های نفت‌خوار.

۱- مقدمه

نشت نفت به عنوان خطرناک‌ترین شکل آلودگی آب در سراسر جهان در نظر گرفته می‌شود. برآورد شده است که سهم نفت خام و سوخت در آلودگی اقیانوس‌ها به ترتیب حدود ۲۸٪ و ۴۵٪ است [1]. نشت نفت به دلیل باقی ماندن آلاینده‌ها در محیط دریایی برای مدت طولانی، همراه با خطوط ساحلی، و تأثیرگذاری بر کل اکوسیستم دریایی و زمینی، برای محیط‌زیست مضر در نظر گرفته می‌شود [2]. نشت نفت باعث خسارات اقتصادی سنگین شده و علاوه بر آسیب رساندن به اکوسیستم‌های آبی، جوامع اطراف را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد [3]. تجزیه فراورده های نفتی در مدت زمان مورد نیاز از طریق برخی فرآیندهای فیزیکی/شیمیایی یا توسط میکروارگانیسم‌ها انجام می‌شود، اما پیش از آن، تخریب قابل‌توجهی از قبل بر محیط آبی، حیوانات و گیاهان تأثیر می‌گذارد [4]. عوامل محیطی متعددی مانند دما، شوری، pH و ارتفاع موج بر سرعت تجزیه نفت تأثیرگذار هستند و در همین راستا روش‌های مختلفی برای کاهش اثرات مضر نشت نفت توسعه یافته و مورد استفاده قرار گرفته‌اند که از جمله رایج‌ترین این روش‌ها می‌توان به استفاده از موانع (booms) برای جلوگیری از گسترش نفت، مواد پراکنده‌کننده (dispersants) برای تجزیه سریع‌تر آلودگی، دستگاه‌های مکانیکی مانند اسکیمر (skimmers) جهت بازیابی نفت از سطح آب و سوزاندن نفت در محل (in situ burning) اشاره کرد اما تمامی این روش‌ها دارای محدودیت‌هایی بوده و هیچ‌کدام را نمی‌توان به‌عنوان یک راه‌حل کامل برای حذف نفت در نظر گرفت [5]. مطالعات مربوط به نشت نفت نشان می‌دهد که برخی از باکتری‌های نفت‌خوار قادر به تجزیه نفت بوده و می‌توان از آن‌ها برای زیست‌پالایی آلودگی‌های نفتی استفاده کرد، این روش اگرچه به‌عنوان یک فرآیند مؤثر در نظر گرفته می‌شود، اما سرعت آن بسیار پایین است و نمی‌تواند به‌طور کامل از سواحل و سایر بخش‌های محیط‌زیست در برابر آسیب‌های ناشی از آلودگی نفتی محافظت کند، تحقیقات انجام‌شده بر روی باکتری‌های تجزیه‌کننده هیدروکربن نشان می‌دهد که استفاده از کودهای اسید اوریک باعث افزایش کارایی زیست‌پالایی می‌شود [6]. کودها به‌عنوان یک روش مؤثر برای تأمین غلظت مورد نیاز نیتروژن که برای زیست‌پالایی ضروری است شناخته شده‌اند و به میکروب‌ها در مصرف آلودگی‌های نفتی کمک می‌کنند و تکنیک‌های مختلفی می‌توانند با زیست‌پالایی ترکیب شوند تا از پاک‌سازی ایده‌آل اطمینان حاصل شود، اگرچه برای افزایش سرعت زیست‌پالایی، افزودن کودها یک روش رایج است چراکه این عمل باعث تسریع روند زیست‌پالایی می‌شود، اما باید تدابیر احتیاطی اتخاذ شود تا از اثرات مضر کودها بر محیط‌زیست جلوگیری شود و کاربرد آن‌ها باید تحت نظارت کارشناسان انجام گیرد [7]. عوامل دیگری که بر سرعت زیست‌پالایی تأثیر می‌گذارند شامل ماهیت فیزیکی و شیمیایی آلاینده‌ها، دمای بهینه، غلظت اکسیژن و رقابت بین میکروب‌ها از جمله گونه‌های مشابه یا مختلف هستند [8]. ترکیب شیمیایی نفت شامل آلکان‌ها هیدروکربن‌های حلقوی مانند PAHs رزین‌ها و بیشتر از همه آسفالتن‌ها است آسفالتن‌ها در برابر زیست‌پالایی مقاوم هستند و این مقاومت به ساختار پیچیده و ویسکوزیته آن‌ها مربوط می‌شود مطالعات نشان می‌دهد که میکروب‌ها با تغییر غشای سلولی خود تشکیل بیوسورفکتانت‌ها و دفع آلاینده‌های سمی از پروتوپلاسم خود بر روی نفت عمل می‌کنند میکروب‌هایی که مسیرهای بیوشیمیایی متعددی دارند به‌عنوان بهترین گزینه‌ها برای زیست‌پالایی در نظر گرفته می‌شوند بر اساس مطالعات اعتقاد بر این است که میکروب‌های هوازی بیشتر از میکروب‌های بی‌هوازی نفت را تجزیه می‌کنند [9]. انتخاب یک میکروارگانیسم مناسب جهت حذف نفت بسیار مهم است، و عوامل زیست‌پالایی بر اساس سطح کارایی آن‌ها در زیست‌پالایی انتخاب می‌شوند، طبق پروتکل استاندارد EPA ایالات متحده، در همکاری با مرکز فناوری کاربردی محیط‌زیستی ملی (NETAC) توسعه یافته است، این پروتکل شامل پنج سطح است، سمیت عامل در سطح اول ارزیابی می‌شود، و مشخص می‌شود که آیا این عامل برای استفاده مؤثر و ایمن مناسب است یا خیر. سطح دوم شامل مطالعات فلاکس شیکری برای تعیین کارایی و سمیت محصول، به همراه داده‌های مربوط به تغییرات اجزای نفتی آلکان‌ها و آروماتیک‌ها است. سطح سوم

بر سیستم‌های میکروکاسم‌ها تمرکز دارد، سطح چهارم پیش‌بینی کارایی محصول از طریق نمایش‌های میدانی است جدیدترین روندها در زیست‌پالایی استفاده از نانوذرات است که می‌توانند به‌عنوان جاذب‌ها و همچنین امولسیفایرها عمل کنند و نانوذرات سطحی را برای میکروب‌ها فراهم می‌کنند تا به آن‌ها متصل شوند و به گسترش سریع آن‌ها کمک کنند این روش به‌عنوان جایگزینی برای روش‌های سنتی در نظر گرفته می‌شود، زیرا تحت تأثیر شرایط جوی کمتر قرار می‌گیرد [10]. مطالعات پیشرفته نشان می‌دهد که میکروجلبک‌ها در کنار برخی دیگر از جلبک‌ها توانایی تجزیه نفت را دارند (Semple 1999) زیست‌پالایی با میکروجلبک‌ها علاوه بر کاهش آلودگی‌های نفتی می‌تواند مزایای اقتصادی نیز داشته باشد زیرا این جلبک‌ها قابلیت استفاده به‌عنوان ماده اولیه را دارند در یک مطالعه، جلبک *Chlorella vulgaris* تحت شرایط دمایی متفاوت و در غلظت‌های مختلف نفت امولسیفیه شده مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج نشان داد که با افزایش نرخ رشد این جلبک، غلظت نفت در محیط کاهش می‌یابد [11]. در یک مطالعه دیگر روی *Chlorella vulgaris*، این جلبک به مدت ۷ و ۱۴ روز در محیط‌هایی با ۱۰ و ۲۰ گرم در لیتر نفت خام در آب مورد آزمایش قرار گرفت نتایج نشان داد که این میکروجلبک می‌تواند ۹۴ درصد از ترکیبات سبک و ۸۸ درصد از ترکیبات سنگین نفت خام را تجزیه کند که نشان‌دهنده توانایی بالای آن در پاک‌سازی آلودگی‌های نفتی است [12]. در مطالعه‌ای دیگر، دانشمندان بررسی کردند که آیا جلبک‌های *Scenedesmus obliquus* و *Chlorella vulgaris* می‌توانند نفت خام را تجزیه کنند نتایج نشان داد که هر دو جلبک، حتی در غلظت‌های کم، توانایی بالایی در از بین بردن آلودگی‌های نفتی دارند [13]. نشت نفت در هوای سرد مشکل‌سازتر است زیرا فرآیند زیست‌پالایی در دمای پایین با سرعت کمتری انجام می‌شود همچنین در مناطق قطبی به‌ویژه در قطب شمال و زیرقطب شمال موارد متعددی وجود داشته که زیست‌پالایی با موفقیت انجام شده است باین‌وجود همچنان تحقیقات بیشتری در این زمینه مورد نیاز است [14].

۲- اثر سمی هیدروکربن‌های نفتی بر محیط‌زیست

۲-۱ اثر مخرب بر ماهی‌ها

تحقیق در مورد مدیریت نشت نفت بسیار مهم است زیرا آلودگی نفت خام در محیط‌های دریایی تأثیرات منفی بر کل اکوسیستم دارد حتی آلاینده‌هایی که طی فرآیند زیست‌پالایی تجزیه می‌شوند، هنگام تماس با حیوانات اثرات سمی ایجاد می‌کنند هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای (PAHs) بر تمام اشکال حیات مهره‌داران و بی‌مهرگان تأثیر گذاشته، عملکردهای فیزیولوژیکی مختلف آن‌ها را مختل کرده و باعث تخریب زیستگاهشان می‌شوند موجودات دریایی توان مقابله با فاجعه نشت نفت را ندارند و به دلیل اثرات منفی نفت، اغلب دچار مرگ و میر می‌شوند [15]. نشت نفت بر اکوسیستمی که ماهیان در آن زندگی می‌کنند تأثیر می‌گذارد، این نشت می‌تواند باعث محدودیت در تبادل گازها شده و منجر به کاهش سطح اکسیژن در آب شود که ممکن است دمای آب را افزایش دهد هیدروکربن‌های موجود در نفت توانایی نفوذ و آلوده کردن گوشت ماهی‌ها را دارند [16]. در سال ۱۹۷۸ نشت نفت آمکوکادیز در بریتانی فرانسه رخ داد که باعث آلودگی ۳۶۰ کیلومتر از منطقه با ۲۲۳۰۰ تن نفت خام شد این نشت موجب کاهش رشد ماهی‌های کفزی و ماهی‌های آب شیرین شد در حالی که ماهیان ساحلی تأثیر کمتری از آن دیدند سایر موجودات مانند خارپوستان دوکفه‌ای‌ها و سخت‌پوستان به شدت آسیب دیدند و پرندگان دریایی نیز تحت تأثیر قرار گرفتند به طور کلی شرایط اکولوژیکی و زندگی در این منطقه تغییر کرد [17].

۲-۲ اثر مخرب بر پرندگان

در ماه مارس ۱۹۸۹ یک رویداد فاجعه‌بار رخ داد، یک تانکر نفتی به نام "اکسون والدیز" حدود ۲۶۰۰۰۰ بشکه نفت خام در آلاسکا نشت کرد که باعث تخمین مرگ حدود ۱۰۰۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰۰ پرنده به دلیل اثرات مستقیم یا غیرمستقیم آلودگی نفتی شد، از این تعداد حدود ۳۰۰۰۰ پرنده از گونه‌های مختلف تا اوت ۱۹۸۹ از منطقه آسیب‌دیده پیدا و مرده جمع‌آوری شدند، مرها، آلکيدها و اردک‌های دریایی از جمله پرندگان بیشتر آسیب‌دیده بودند، داده‌ها از طریق بررسی‌های هوایی و کشتی جمع‌آوری شدند [18]. آلودگی نفتی به روش‌های مختلف روی پرندگان تاثیر می‌گذارد از جمله اثرات خارجی آن آلودگی پرهاست که باعث از دست دادن توان پرواز و سوختگی پوست می‌شود اگر پرندگان نفت را بخورند مواد سمی می‌تواند باعث بروز بیماری‌هایی مثل ذات‌الریه و مشکلات گوارشی شود تاثیرات نشت نفت بر پرندگان می‌تواند بسته به نوع نفت میزان مساحت آسیب‌دیده و شرایط محیطی متفاوت باشد نفت همچنین بر سیستم عصبی پرندگان تاثیر منفی می‌گذارد نفت روی پره‌ای پرندگان می‌تواند کشنده باشد چون باعث از دست دادن حرارت بدن آنها می‌شود همچنین کمبود قند خون می‌تواند فعالیت غدد بینی را تحت تاثیر قرار دهد و مایعات سمی در بدن افزایش یابد [19].

۲-۳ اثر مخرب بر زندگی انسان

زندگی انسان‌ها می‌تواند از طرق مختلف تحت تاثیر نشت نفت قرار گیرد. سلامت انسان‌ها می‌تواند با مصرف غذاهای آلوده به نفت در خطر بیافتد. سلامت افراد همچنین به دلیل اثرات سمی بخارات نفت تهدید می‌شود. اقتصاد منطقه آسیب‌دیده ممکن است دچار اختلال شود و زمان زیادی طول بکشد تا بهبود یابد، به‌ویژه افرادی که با صنعت ماهیگیری مرتبط هستند بیشتر آسیب می‌بینند. صنعت دیگری که به شدت تحت تاثیر قرار می‌گیرد، صنعت گردشگری است، زیرا زیبایی آب و سواحل به دلیل نشت نفت از بین می‌رود و این امر باعث کاهش تعداد بازدیدکنندگان از منطقه می‌شود که در نتیجه بر کسب‌وکار رستوران‌های محلی تاثیر می‌گذارد. به عنوان مثال، پس از فاجعه اکسون والدیز، نظرسنجی انجام شد که نتایج آن نشان داد که حدود ۵۹٪ از سفرها در منطقه آسیب‌دیده لغو شده و کاهش ۳۵٪ در هزینه‌های گردشگری مشاهده شد [20]. مطالعات بر روی نشت نفت دیپ‌واتر هوریزون نشان داد که ساکنان مناطق ساحلی به همراه کارگرانی که در حال پاکسازی نفت بودند، هم از نظر روانی و هم از نظر جسمی تحت تاثیر قرار گرفتند. مردم نگران سلامت کودکان خود بودند، دچار استرس شدند و درآمد آنها نیز به دلیل نشت نفت تحت تاثیر قرار گرفت [21]. نشت نفت می‌تواند سلامت افرادی که در عملیات پاکسازی شرکت می‌کنند را به خطر بیاندازد مطالعات نشان می‌دهند که ترکیبات نفتی می‌توانند بر افرادی که در تلاش برای کنترل اثرات فاجعه‌آمیز یک حادثه هستند تاثیر بگذارند این اثرات ممکن است سال‌ها پس از تماس با نفت مشاهده شوند، پس از یک نشت نفت سنگین در اسپانیا علائم بیماری‌های تنفسی در ماهیگیران بومی که در عملیات پاکسازی شرکت داشتند بررسی شد این بررسی پس از تقریباً یک سال با استفاده از پرسشنامه‌هایی که رویکردهای کیفی و کمی را شامل می‌شد انجام شد نتایج نشان دادند که شرکت‌کنندگان در عملیات نشت نفت ممکن است علائم تنفسی طولانی‌مدت را تجربه کنند [22].

۳- روش های تجزیه زیستی

در گذشته دو روش اصلی با موفقیت برای تجزیه زیستی استفاده شده است اولین روش استفاده از کود برای تقویت میکروب های موجود به منظور کمک به آنها در استفاده از هیدروکربن ها به عنوان منبع انرژی است روش دیگر شامل کاشت میکروب هایی است که به طور طبیعی در منطقه آسیب دیده وجود دارند و افزودن آنها به جمعیت میکروب های تجزیه کننده نفت این روش در نشت نفت MegaBorg که نشت کوچکی بود به کار گرفته شد اما برای اینکه این روش به عنوان یک روش مؤثر و موفق شناخته شود نیاز به تحقیق و آزمایش های میدانی بیشتر دارد [23].

۳-۱ تحریک زیستی

این یک تکنیک است که با تحریک باکتری های تجزیه کننده نفت از طریق فراهم کردن بیشتر نیتروژن و فسفر به میکروارگانیسم ها که پس از نشت نفت در منطقه ظاهر می شوند، عمل می کند، فراهم کردن مواد مغذی ضروری اثربخشی تجزیه هیدروکربن ها را افزایش می دهد، این فرآیند معمولاً برای تجزیه آلکان ها، BTEX و PAHs استفاده می شود، تحریک زیستی یک روش مقرون به صرفه است (Macaulay & Rees 2014)، در مدیریت نشت نفت اکسون والدیز در آلاسکا، مشخص شد که استفاده از کود باعث افزایش سرعت تجزیه زیستی می شود، اثربخشی تجزیه زیستی تا حد زیادی به مقدار نیتروژن موجود در منطقه و همچنین تجزیه زیستی طبیعی که قبلاً انجام شده است بستگی دارد [24].

۴- عوامل اصلی مؤثر بر روش های تجزیه زیستی (بیورمدیاسیون)

۴-۱ دما

دما به عنوان مهم ترین عامل تأثیرگذار بر وجود میکروب ها در نظر گرفته می شود، نرخ فرآیند می تواند در محیط های سرد کند باشد یا بر اساس دمای منطقه فعال شود، آنزیم ها برای مشارکت فعال در فرآیند تجزیه به دمای بهینه نیاز دارند، بسیاری از فرآیندها در دریا مانند تبخیر و حل شدن به دما وابسته هستند که بر تجزیه آلودگی های نفتی تأثیر می گذارند، به طور کلی تجزیه PAHs دشوارتر از آلکان ها در نظر گرفته می شود، اما مشخص شده که در دمای حدود ۵ درجه سانتی گراد، نرخ تجزیه PAHs از آلکان ها بیشتر است، ممکن است به این دلیل باشد که میکروب ها در دماهای پایین PAHs را به طور مؤثرتری نسبت به آلکان ها تجزیه می کنند [25].

۴-۲ دسترسی به مواد غذایی

مواد مغذی از نیازهای اساسی میکروب ها برای رشد طبیعی و تجزیه هیدروکربن های نفتی هستند. نیتروژن (N)، فسفر (P) و پتاسیم (K) به عنوان نیازهای اصلی برای رشد مؤثر میکروب ها در نظر گرفته می شوند. دسترسی به این مواد مغذی ممکن است بر اساس فصل منطقه و سطح آب تغییر کند، زیرا آب های عمیق مواد مغذی بیشتری دارند، اما در آب های سطحی مواد مغذی کمتری در دسترس است [26]. ازت به عنوان مهم ترین ماده مغذی شناخته می شود زیرا نقش مهمی در سنتز اسیدهای آمینه و آنزیم ها دارد، فسفر نیز دیگر ماده مغذی مهمی است که برای ساخت ترکیبات آنزیمی سلولی ضروری است، افزودن این مواد مغذی معمولاً اثرات مثبت بر رشد جمعیت باکتری ها نشان می دهد [27]. در مدیریت فاجعه نشت نفت اکسون والدز،

استفاده از کودهایی مانند Inipol EAP 22 (۷.۴٪ نیتروژن، ۰.۷٪ فسفر) و Customblen (۲۸٪ نیتروژن، ۳.۵٪ فسفر) فرایند تجزیه زیستی طبیعی را تا ۲ تا ۷ برابر افزایش می‌دهد [28].

pH ۳-۴

یکی دیگر از عوامل مهم در تجزیه زیستی است، محدوده بهینه برای تجزیه زیستی pH بین ۶.۵ تا ۸.۵ برای محیط‌های آبی و خشکی در نظر گرفته می‌شود، این عامل می‌تواند بر دسترس‌پذیری مواد مغذی برای خاک‌ها تأثیر بگذارد [29].

نتیجه‌گیری

نشت نفت یکی از بزرگ‌ترین بحران‌های زیست‌محیطی به شمار می‌رود که آثار زیان‌بار آن بر اکوسیستم‌های دریایی و خشکی به وضوح نمایان است. این آلودگی‌ها علاوه بر تهدید حیات دریایی و خشکی، سلامت انسان‌ها و اقتصاد جوامع ساحلی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد، با وجود روش‌های مختلفی که برای مقابله با اثرات نشت نفت از جمله استفاده از موانع، مواد پراکنده‌کننده، اسکیمرها و سوزاندن نفت در محل توسعه یافته، هیچ‌کدام به‌تنهایی نمی‌توانند به‌طور کامل و مؤثر نفت را از محیط زیست حذف کنند. در این میان، زیست‌پالایی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای تجزیه آلودگی نفتی مطرح است. استفاده از میکروارگانیزم‌ها، به‌ویژه باکتری‌های نفت‌خوار و میکروجلبک‌ها، به‌عنوان یک روش پایدار و با کارایی بالا در فرآیند تجزیه نفت، مورد توجه قرار گرفته است. افزون بر این، افزودن مواد مغذی مانند نیتروژن و فسفر می‌تواند سرعت این فرآیند را تسریع کند. اما همچنان نیاز به تحقیقات بیشتر برای بهینه‌سازی روش‌های زیست‌پالایی و استفاده از فناوری‌های نوین مانند نانوذرات و جلبک‌ها جهت بهبود روند تجزیه نفت و کاهش اثرات منفی آن بر محیط‌زیست ضروری است، در نهایت، با توجه به تأثیرات گسترده و جبران‌ناپذیر نشت نفت بر اکوسیستم‌ها و جوامع انسانی، اقدامات پیشگیرانه و برنامه‌ریزی‌های مناسب در راستای مقابله با این بحران‌ها امری حیاتی است.



منابع

- [1] Rath, B. (2012). Microalgal bioremediation: current practices and perspectives. *Journal of Biochemical Technology*, 3(3), 299-304.
- [2] Edwards, J. E., Huws, S. A., Kim, E. J., Lee, M. R. F., Kingston-Smith, A. H., & Scollan, N. D. (2008). Advances in microbial ecosystem concepts and their consequences for ruminant agriculture. *Animal*, 2(5), 653-660.
- [3] Zhang, B., Matchinski, E. J., Chen, B., Ye, X., Jing, L., & Lee, K. (2019). Marine oil spills—oil pollution, sources and effects. In *World seas: an environmental evaluation* (pp. 391-406). Academic Press.
- [4] Nelson-Smith, A. (1979). The effect of oil spills on land and water. In *The prevention of oil pollution* (pp. 17-34). Dordrecht: Springer Netherlands.
- [5] Idris, J., Eyu, G. D., Ahmad, Z., & Chukwuekezie, C. S. (2013). Oil spills and sustainable cleanup approach. *Aust. J. Basic Appl. Sci*, 7(14), 272-280.
- [6] Sukono, G. A. B., Hikmawan, F. R., & Satriawan, D. (2020). Karakter Organisme Biologis dalam Bioremediasi-Review. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)*, 2(2), 33-39.
- [7] Prince, R., & Atlas, R. M. (2005). Bioremediation of marine oil spills. *Bioremediation: Applied Microbial Solutions for Real-World Environmental Cleanup*, 269-292.
- [8] Macaulay, B. M. (2015). Understanding the behaviour of oil-degrading micro-organisms to enhance the microbial remediation of spilled petroleum. *Appl Ecol Environ Res*, 13(1), 247-262.
- [9] Macaulay, B. M., & Rees, D. (2014). Bioremediation of oil spills: a review of challenges for research advancement. *Annals of environmental Science*, 8, 9-37.
- [10] Pete, A. J., Bharti, B., & Benton, M. G. (2021). Nano-enhanced bioremediation for oil spills: a review. *ACS ES&T Engineering*, 1(6), 928-946.
- [11] Kuttiyathil, M. S., Mohamed, M. M., & Al-Zuhair, S. (2021). Using microalgae for remediation of crude petroleum oil–water emulsions. *Biotechnology Progress*, 37(2), e3098.
- [12] Kalhor, A. X., Movafeghi, A., Mohammadi-Nassab, A. D., Abedi, E., & Bahrani, A. (2017). Potential of the green alga *Chlorella vulgaris* for biodegradation of crude oil hydrocarbons. *Marine pollution bulletin*, 123(1-2), 286-290.
- [13] El-Sheekh, M. M., Hamouda, R. A., & Nizam, A. A. (2013). Biodegradation of crude oil by *Scenedesmus obliquus* and *Chlorella vulgaris* growing under heterotrophic conditions. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 82, 67-72.
- [14] Ghavidel, A., Naji Rad, S., & Alikhani, H. A. (2017). Bioremediation of gasoil by indigenous bacterial strains. *Pollution*, 3(4), 553-560.
- [15] Adzibli, L., & Yuewen, D. (2018). Assessing the impact of oil spills on marine organisms. *J. Oceanogr. Mar. Res*, 6(179), 472-479.
- [16] Osuagwu, E. S., & Olaifa, E. (2018). Effects of oil spills on fish production in the Niger Delta. *PloS one*, 13(10), e0205114.
- [17] Conan, G. (1982). The long-term effects of the Amoco Cadiz oil spill. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 297(1087), 323-333.
- [18] Piatt, J. F., Lensink, C. J., Butler, W., Kendziorek, M., & Nysewander, D. R. (1990). Immediate impact of the 'Exxon Valdez' oil spill on marine birds. *The Auk*, 107(2), 387-397.
- [19] Smith, D. C. (1975, March). Rehabilitating oiled aquatic birds. In *International Oil Spill Conference* (Vol. 1975, No. 1, pp. 241-247). American Petroleum Institute.
- [20] Chang, S. E., Stone, J., Demes, K., & Piscitelli, M. (2014). Consequences of oil spills: a review and framework for informing planning. *Ecology and Society*, 19(2).
- [21] Sandifer, P. A., Ferguson, A., Finucane, M. L., Partyka, M., Solo-Gabriele, H. M., Walker, A. H., ... & Yoskowitz, D. (2021). Human health and socioeconomic effects of the Deepwater Horizon oil spill in the Gulf of Mexico. *Oceanography*, 34(1), 174-191.



- [22] Zock, J. P., Rodríguez-Trigo, G., Pozo-Rodríguez, F., Barberà, J. A., Bouso, L., Torralba, Y., ... & SEPAR-Prestige Study Group*. (2007). Prolonged respiratory symptoms in clean-up workers of the prestige oil spill. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 176(6), 610-616.
- [23] Atlas, R. M. (1995). Bioremediation of petroleum pollutants. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 35(1-3), 317-327.
- [24] Bragg, J. R., Prince, R. C., Harner, E. J., & Atlas, R. M. (1994). Effectiveness of bioremediation for the Exxon Valdez oil spill. *Nature*, 368(6470), 413-418.
- [25] Abatenh, E., Gizaw, B., Tsegaye, Z., & Wassie, M. (2017). The role of microorganisms in bioremediation-A review. *Open Journal of Environmental Biology*, 2(1), 038-046.
- [26] Bacosa, H. P., Ancla, S. M. B., Arcadio, C. G. L. A., Dalogdog, J. R. A., Ellos, D. M. C., Hayag, H. D. A., ... & Adhikari, P. L. (2022). From surface water to the deep sea: a review on factors affecting the biodegradation of spilled oil in marine environment. *Journal of marine science and engineering*, 10(3), 426.
- [27] San Martín, Y. B. (2011). Bioremediation: a tool for the management of oil pollution in marine ecosystems. *Biotecnología aplicada*, 28(2), 69-76.
- [28] Dave, D. A. E. G., & Ghaly, A. E. (2011). Remediation technologies for marine oil spills: A critical review and comparative analysis. *American Journal of Environmental Sciences*, 7(5), 423.
- [29] Eskander, S., & Saleh, H. E. D. (2017). Biodegradation: process mechanism. *Environ. Sci. & Eng*, 8(8), 1-31.