ISME2013-0883

استفاده از الگوریتم ژنتیک در تعیین بهترین استقرار یدک‌کش‌های پاکسازی نفت در غرب و شرق خلیج فارس

حسین منتظرالقائم[۱]، محمد علی بدری[۲]، احمد صداقت[۳]

[۱]کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان،h.montazerolghaem@me.iut.ac.ir
[۲]استادیار مهندسی مکانیک، پژوهشکده علوم و تکنولوژی زیر دریا، دانشگاه صنعتی اصفهان،malbdr@cc.iut.ac.ir
[۳]استادیار مهندسی مکانیک، دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان،sedaghat@cc.iut.ac.ir

چکیده

با توجه به استخراج بخش عمده‌ای از نفت خام از حوزه‌های فراساحلی امکان انتشار نفت به محیط‌های دریایی وجود دارد. به دلیل زیان‌بار بودن انتشار نفت در دریا، پاکسازی سریع نفت از محیط‌های دریایی بسیار ضروری است. از آنجا که یکی از راه‌کارها در جمع‌آوری اولیه نفت از سطح دریا استفاده از یدک‌کش‌های پاکسازی نفت می‌باشد، لذا بهینه‌سازی عملیات تمیزکاری توسط یدک‌کش‌ها و کاهش زمان عملیات پاکسازی در کاهش خسارات ناشی از نشت نفت بسیار موثر است. با توجه به وجود مناطق نفت‌خیز و پایانه‌های نفتی در منطقه خلیج فارس و امکان وقوع حوادث نفتی در این منطقه، هدف از پژوهش جاری بهبود روند پاسخ یدک‌کش‌های پاکسازی نفت به فرآیند انتشار نفت و کاهش زمان عملیات تمیزکاری نفت از سطح آب از طریق بهینه‌سازی مکان قرارگیری یدک‌کش‌ها می‌باشد. بدین منظور با توجه به اهمیت پاکسازی لکه نفتی در کمتر از ۳۶ ساعت و مقرون به صرفه نبودن پاکسازی نفت بعد از این زمان، یک مدل بهینه‌سازی براساس انتشار و استهلاک کوتاه مدت نفت در خلیج فارس توسعه داده شده است. سپس با به‌کارگیری مدل تهیه شده و استفاده از الگوریتم ژنتیک و بررسی تاثیر سرعت و ظرفیت پاکسازی یدک‌کش‌ها به تهیه چیدمان بهینه یدک‌کش‌های پاکسازی نفت در دو منطقه ویژه نفتی در شرق و غرب خلیج فارس مبادرت گردیده است.

واژه های کلیدی

آلودگی نفتی، یدک‌کش‌های پاکسازی نفت، الگوریتم ژنتیک، خلیج فارس

مقدمه

از آن‌جایی که بخش قابل توجهی از نفت خام از حوزه‌های فراساحلی استخراج شده و از طریق محیط‌های دریایی انتقال می‌یابد، مقدار قابل ملاحظه ای از نفت خام در اثر عوامل متعددی مانند نشت از چاه‌های نفتی یا تصادم تانکرهای حمل نفت به محیط‌های آبی انتشار می‌یابد. انتشار نفت در آب بسیار زیان‌بار بوده و خسارات اقتصادی و زیست محیطی فراوانی به محیط زیست و سلامتی انسان وارد می‌کند. بنابراین نقش تحقیقات در این زمینه و بررسی موضوعاتی همچون شبیه‌سازی فرآیندهای انتشار نفت در آب و پاکسازی و جمع‌آوری نفت از محیط‌های دریایی قابل توجه خواهد بود. هنگامی‌که نفت بر روی سطح دریا تخلیه می‌شود، فرآیندهای زیادی بر آن تاثیر می‌گذارد. این فرآیندها شامل انتشار، حرکت و گسترش افقی بر اثر توازن نیروها، جابه‌جایی وگسترش افقی بر اثر جریان باد و آب، تبخیر، حلالیت، امولسیون، اکسیداسیون در مقابل نور، رسوب‌گذاری و تغییرات بیولوژیکی توسط باکتری‌ها می‌باشند[۱].

یکی از اولین راهکارها در پاکسازی نفت رها شده به دریاها استفاده از یدک‌کش‌های پاکسازی نفت می‌باشد. با توجه به اهمیت پاکسازی نفت در کمتر از ۳۶ ساعت به علت کاهش ضخامت لکه نفتی و تبدیل شدن نفت به توده‌های قیری شکل در اثر عواملی مانند امولسیون، بنابراین بهبود در فرآیند پاسخ یدک‌کش‌ها و کاهش زمان پاکسازی نفت از سطح آب به حداقل مقدار ممکن بسیار ضروری است[۲]. در چند کار پژوهشی در حوزه خلیج فارس، مسئله انتشار موضعی نفت در نزدیکی برخی از جزایر خلیج فارس مورد بررسی واقع شده است. دریکی از این مطالعات، با استفاده از الگوریتم MPDATA که معمولا برای جریان‌های جوی به‌کار می‌رود، شبیه‌سازی میعانات گازی در منطقه عسلویه، واقع در شمال خلیج فارس برای حوادث نفتی انجام شده است. در این پژوهش خصوصیات آب در عمق، ثابت فرض شده و نتایج اعتباردهی شده است[۳]. در کار دیگری بر روی خلیج فارس[۴] در نزدیک جزیره سیری، صرفا اثرات تبخیر و نیز جزرومد به صورت دو بعدی به روش اویلری با فرض آب‌های کم‌عمق، بررسی گردیده است. در مطالعه دیگر، امواج بلند اقیانوسی موسوم به امواج کلوین که در واقع از اقیانوس هند و از طریق دریای عمان وارد خلیج فارس می‌شوند مبنای تهیه میدان جریان و سپس الگوی انتشار و استهلاک نفت قرار گرفته و در نهایت یک مدل کوتاه مدت برای انتشار، استهلاک و انتقال نفت در خلیج فارس تدوین شده است[۵]. اگرچه تاکنون مطالعاتی در زمینه انتشار آلودگی‌های نفتی در خلیج فارس صورت گرفته است، ولی تاکنون نگاه کاربردی به مدل‌های ارائه شده برای بهینه‌سازی قرارگیری یدک‌کش‌های پاکسازی نفت نشده است. بنابراین هدف از این پژوهش استفاده کاربردی از مدل‌های ارائه شده برای انتشار و استهلاک نفت، به‌منظور بهینه‌سازی مکان قرارگیری یدک‌کش‌های پاکسازی نفت می‌باشد. نتیجه تعیین استقرار بهینه یدک‌کش‌ها،

کاهش زمان عملیات تمیزکاری به حداقل مقدار ممکن و کاهش خسارات ناشی از نشت نفت در منطقه خلیج فارس می‌باشد.

مدل بهینه‌سازی براساس انتشار و استهلاک کوتاه مدت نفت

با توجه به اینکه n معرف تعداد یدک‌کش‌ها و m معرف تعداد بندرگاه‌ها می‌باشد، بنابراین بردار موقعیت یدک‌کش‌ها به صورت $v \in \{1,2,...,m\}^n$ نمایش داده می‌شود، که $v(i)$ درآن نشان‌دهنده بندرگاهی است که کشتی i ام در آن قرار گرفته است. بنابر این هر راه‌حل به صورت رشته‌ای از اعداد صحیح انتخاب شده است. طول هر رشته از n ژن تشکیل شده است که هر ژن آن نشان دهنده یک یدک‌کش می‌باشد. هدف در این مسئله بهینه‌سازی، یافتن بردار موقعیتی است که آسیب مورد انتظار را حداقل نماید[۶].

$$Min_v \sum_{c=1}^{N} P_c.D(c,v) \qquad (۱)$$

که P_c احتمال آلودگی در چاه c و $D(c,v)$ میزان آسیب در چاه c به ازای بردار موقعیت v می‌باشد. ابتدا راهی برای بیان آسیب $D(c,v)$ به صورت تابعی از چاه c و بردار موقعیت v جستجو شده است. با توجه به افزایش آسیب ناشی از نشت نفت با افزایش سطح لکه نفتی و مدت زمان حضور آلودگی در آب، میزان آسیب در این پژوهش به صورت مستقیم به زمان ریزش و سطح لکه نفت به صورت رابطه زیر ارتباط داده شده است:

$$D(t) = \int_0^t A(\tau)\, d\tau \qquad (۲)$$

که $A(\tau)$ مساحت لکه نفتی در زمان τ و $D(t)$ میزان آسیب تا زمان t می‌باشد. مقدار آسیب $D(c,v)$ برابر با حداقل آسیب محاسبه شده حاصل از تلفیق دستگاه‌های تمیزکاری خواهد بود. برای مثال اگر تعداد دستگاه‌ها برابر با سه باشد، تصمیم‌گیری منوط به استفاده از هر یک از سه دستگاه، تلفیقی از دو وسیله و حالتی که هر سه استفاده شوند خواهد بود، که در مجموع هفت حالت خواهد شد. بنابراین در حالتی که از n یدک‌کش استفاده می‌شود، تعداد حالات تلفیق دستگاه‌ها بصورت 2^n-1 محاسبه شده است. برای تغییرات مساحت لکه نفتی نسبت به زمان از مدل معروف ماکای استفاده شده است [۷].

$$\frac{dA}{dt} = KV^{\frac{4}{3}}.\frac{1}{A} \qquad (۳)$$

که K مقدار ثابت ۱۵۰ l/s می‌باشد. با توجه به اهمیت پاکسازی لکه نفت در کمتر از ۳۶ ساعت و با توجه به اینکه پاکسازی نفت بعد از زمان مورد نظر از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست، لذا برای تغییرات حجم نفت از یک مدل کوتاه مدت استفاده شده است. بدین منظور بر اساس یک مدل انتشار و استهلاک کوتاه مدت انتشار نفت در خلیج فارس و در نظر گرفتن تبخیر و امولسیون، رابطه تغییرات حجم نفت در خلیج فارس به صورت زیر در نظر گرفته شده است[۵]:

$$V = V_0 \exp(-\lambda t) \qquad (۴)$$

که λ بر اساس پژوهش‌های صحت سنجی شده در حادثه نفتی نوروز و حبش مقدار ثابت ۰/۱۱ انتخاب شده است. V_0 حجم اولیه نفت انتشار یافته می‌باشد[۵]. با استفاده از رابطه (۴) در معادله دیفرانسیل مربوط به تغییرات مساحت با زمان، در نهایت تغییرات مساحت لکه نفتی نسبت به زمان به صورت زیر بدست آمده است.

$$A = \sqrt{\frac{3K}{2\lambda}} V_0^{\frac{2}{3}} \left[1 - \exp(-\frac{4\lambda}{3}t)\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (۵)$$

در اینجا فرض شده است مساحت لکه نفتی با افزایش زمان تا رسیدن اولین یدک‌کش با ظرفیت پاکسازی Q_{vi} در زمان t_i افزایش یافته و پس از آن رشد لکه نفتی متوقف شده و به صورت خطی شروع به کاهش کند. بدین ترتیب با در نظر گرفتن ظرفیت پاکسازی تمامی وسایل (n وسیله) و زمان رسیدن هر یک از آن‌ها به منطقه آلوده شده، رابطه مساحت بعد از رسیدن تمامی یدک‌کش‌ها به صورت زیر در می‌آید.

$$A = \sqrt{\frac{3K}{2\lambda}} V_0^{\frac{2}{3}} \left[1 - \exp(-\frac{4\lambda}{3}t_i)\right]^{\frac{1}{2}} - Q_{vi}(t-t_i) - Q_{vj}(t-t_j) - ...Q_{vn}(t-t_n) \qquad (۶)$$

در نهایت پس از محاسبه زمان لازم برای توقف عملیات تمیزکاری از شرط $A(t_{stop})=0$، رابطه آسیب ناشی از نشت نفت در پایان عملیات تمیزکاری با انتگرال گیری از تابع مساحت (رابطه ۶) تا پایان عملیات تمیزکاری محاسبه خواهد شد. لازم به ذکر است علاوه برانیکه رابطه بدست آمده ، تابعی از مکان قرارگیری یدک‌کش‌ها می‌باشد، به دلیل اینکه تمامی چاه‌های نفتی در رابطه مذکور قرار می‌گیرند، این رابطه تابع چاه‌های نفتی نیز می‌باشد.

پس از مشخص شدن مدل بهینه‌سازی نوبت به روش بهینه‌سازی می‌رسد. با توجه به گسسته بودن راه‌حل‌ها و ماهیت تابع هدف مساله که دارای خواص دیفرانسیل پذیری نیست در اینجا از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. لازم به ذکر است که این الگوریتم امکان گرفتار شدن در بهینه موضعی را نیز کاهش می‌دهد [۸].

داده های ورودی خلیج فارس

حداکثر تعداد یدک‌کش‌هایی که در عملیات پاکسازی نفت از سطح دریا استفاده می‌شوند، ده عدد می‌باشد که اطلاعات آن‌ها شامل سرعت و ظرفیت پاکسازی در جدول ۱ آورده شده است[۹].

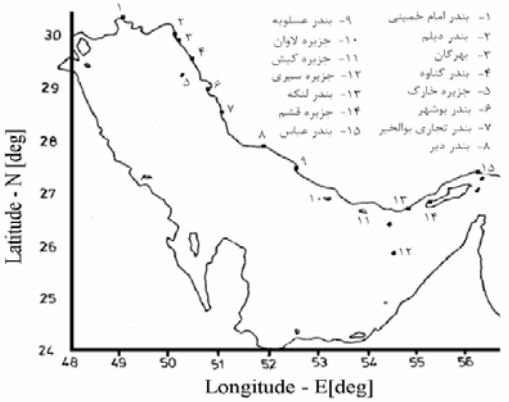
جدول ۱: اطلاعات مربوط به یدک‌کش‌های پاکسازی نفت

شماره کشتی	سرعت (Km/h)	ظرفیت پاکسازی (Km^2/h)
۱، ۳، ۵، ۶، ۷، ۸	۱۴	۰/۱۲
۲،۹	۱۲	۰/۰۶
۴	۱۳	۰/۱۲
۱۰	۱۳	۰/۰۶

تجهیزات پاکسازی این یدک‌کش‌ها شامل بوم و اسکیمر بر روی کشتی‌ها نصب بوده و لذا به سرعت به محل حادثه گسیل می‌شوند.

در غیر این صورت زمان آماده‌سازی کشتی‌ها در کل زمان عملیات تمیزکاری باید لحاظ گردد.

هم‌چنین از تعداد پانزده بندر و جزیره که قابلیت کشتیرانی داشته در امر بهینه‌سازی استفاده شده است. موقعیت این مکان ها بر حسب طول و عرض جغرافیایی در شکل ۱ نمایش داده شده است.

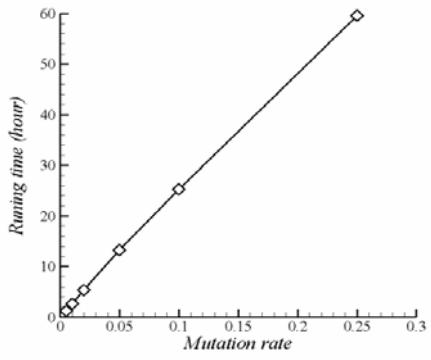


شکل۱ : موقعیت بنادر و جزایر خلیج فارس[۱۰]

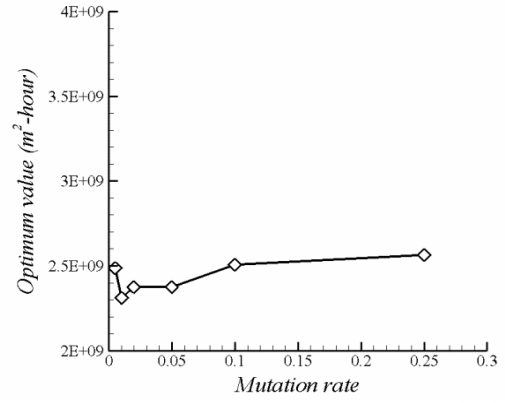
نتایج مربوط به حساسیت سنجی الگوریتم ژنتیک

از پارامترهای مهم و بسیار موثر در همگرایی الگوریتم ژنتیک می‌توان به نرخ جهش[1] و احتمال انتخاب بهترین عضو[2] نام برد. این دو پارامتر به ترتیب مشخص کننده تعداد ژن‌های جهش یافته در هر نسل و احتمال انتخاب بهترین عضو در هر نسل برای قرار گرفتن در نسل بعدی می‌باشد[۱۱]. از آنجا که این پارامترها تاثیر زیادی در همگرایی و رسیدن به پاسخ مطلوب دارند، حساسیت سنجی هر یک از این پارامترها براساس زمان اجرای برنامه و مقدار بهینه بدست‌آمده در برنامه به منظور دست‌یابی به مقدار مطلوب هر یک از این پارامترها امری ضروری است.

شکل ۲ و ۳ به ترتیب تاثیر نرخ جهش بر زمان اجرای برنامه و مقدار بهینه بدست آمده را نشان می‌دهد. نرخ جهش مشخص کننده تعداد ژن هایی است که در هر نسل جهش پیدا می کنند. به عنوان مثال نرخ جهش ۰/۱ بیانگر این است که تعداد ده درصد از ژن های هر نسل جهش پیدا کرده و مقدار جدیدی اختیار می کنند.



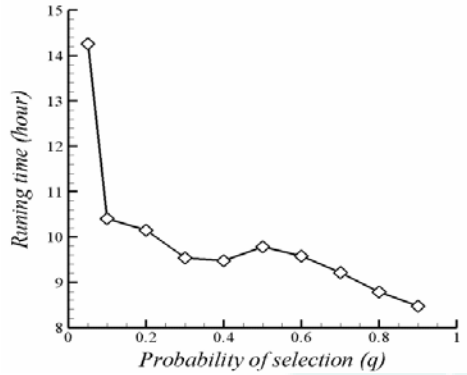
شکل۲: تاثیر نرخ جهش بر زمان اجرای برنامه



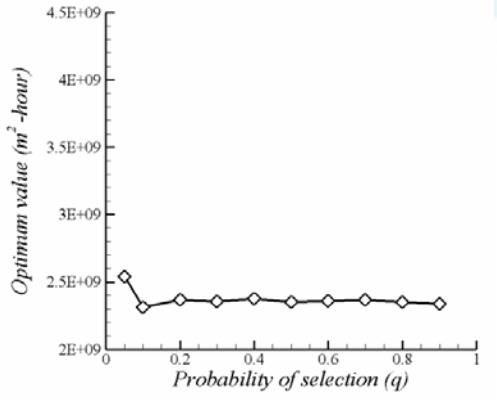
شکل۳: تاثیر نرخ جهش بر مقدار بهینه مساله

با توجه به نتایج بدست‌آمده برای نرخ جهش، مقدار ۰/۰۱ مطلوب‌ترین مقدار برای این کمیت شناخته شده است. زیرا این نرخ جهش بهترین مقدار بهینه در بین سایر مقادیر نرخ جهش را بدست داده است و از طرفی زمان اجرای برنامه نیز نسبت به سایر مقادیر نرخ جهش بسیار پایین می‌باشد. همچنین این مقدار نرخ جهش از ایجاد نوسانات در همگرایی برنامه جلوگیری کرده و امکان گرفتار شدن در بهینه موضعی را کاهش می‌دهد.

پارامتر احتمال انتخاب بهترین عضو (q) بیانگر احتمال انتخاب بهترین راه حل نسل جاری برای قرارگیری در نسل بعد می باشد. به عنوان مثال مقدار ۰/۵ این کمیت بیانگر این است که بهترین راه حل نسل حاضر با احتمال ۵۰ درصد می تواند در نسل بعد قرار بگیرد. با توجه به اشکال ۴ و ۵ مشاهده می شود این پارامتر تاثیر بسیار ناچیزی بر مقدار بهینه بدست آمده در مساله می‌گذارد. از طرفی زمان اجرای برنامه با افزایش این پارامتر کاهش می‌یابد.



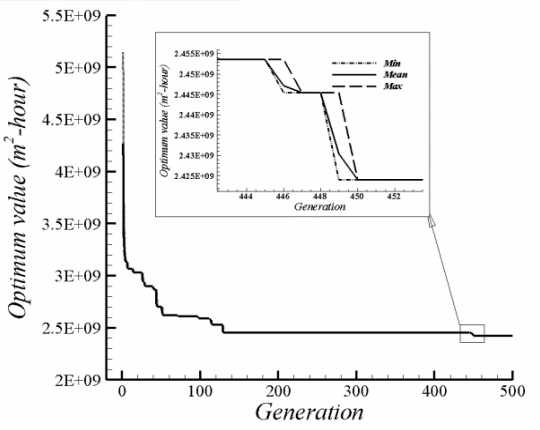
شکل۴: تاثیر احتمال انتخاب بهترین عضو (q) بر زمان اجرای برنامه



شکل۵: تاثیر احتمال انتخاب بهترین عضو (q) بر مقدار بهینه مساله

1. Mutation rate
2. Probability of selection (q)

بنابراین با توجه به مطالب بیان شده این‌گونه به نظر می‌رسد که مقدار بالای q برای این مسئله مطلوب باشد. اما با افزایش q تعداد رونوشت‌های یک‌شکل از بهترین عضو در جمعیت نسل بعد افزایش می‌یابد و درنتیجه احتمال یک شکل شدن رشته‌های متوالی افزایش می‌یابد (شکل ۶). از طرفی چون عملگر پیوند روی دو رشته متوالی عمل می‌کند، جهت دست‌یابی به مقدار بیشتری از راه‌حل‌های مناسب، نباید تعداد رونوشت‌های یک‌شکل در جمعیت رشته‌ها زیاد شود و چون مقدار بالای q باعث بوجود آمدن رونوشت‌های یک شکل شده و در نتیجه پس از عملگر پیوند رشته‌های جدیدی ایجاد نمی‌شوند و تنوع جمعیت از بین می‌رود، در نهایت مقدار مطلوب انتخاب شده برای این پارامتر مقدار ۰/۱ می‌باشد.

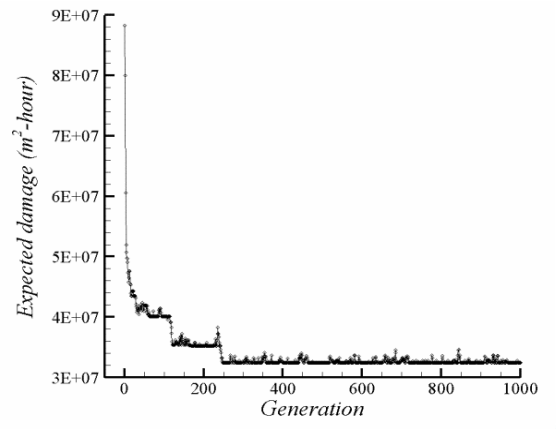


شکل۶: تاثیر مقدار بالای q در یک شکل شدن راه حل‌های ممکن

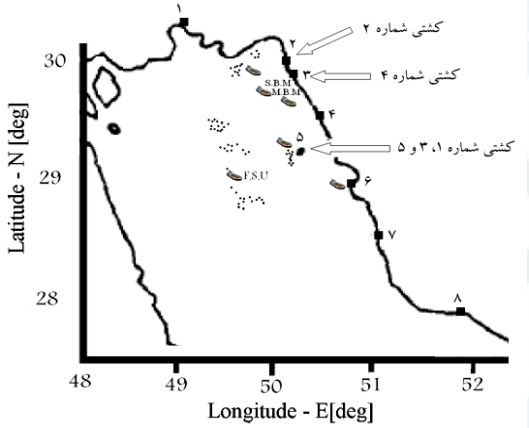
پس از مشخص شدن مقادیر مطلوب برای اجرای الگوریتم ژنتیک، در ادامه نتایج مربوط به استقرار بهینه یدک‌کش‌های پاکسازی نفت ارائه خواهد شد.

چیدمان بهینه یدک‌کش‌ها در منطقه غرب خلیج فارس

در منطقه غرب خلیج فارس دو حوزه اصلی مدیریتی شرکت نفت فلات قاره یعنی حوزه مدیریتی جزیره خارگ و بهرگان قرار دارند. برای بدست‌آوردن چیدمان بهینه کشتی‌ها در این منطقه با توجه به تعدد حوزه‌های فراساحلی و برداشت بیشتر نفت در این منطقه از پنج کشتی اول که در مجموع ظرفیت پاکسازی بیشتری دارند استفاده شده است. شکل ۷ همگرایی الگوریتم ژنتیک در این مطالعه موردی را نشان می‌دهد. محور افقی در این نمودار تعداد نسل‌های طی شده و محور عمودی میانگین آسیب اعضای جمعیت (راه‌حل‌های ممکن) را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود با گذشت نسل‌های متوالی آسیب حاصل از راه‌حل‌های مساله کاهش یافته و این به معنای رسیدن به یک حل بهینه می‌باشد. در این حالت میزان کاهش خسارت چیدمان بهینه کشتی‌ها نسبت به چیدمان اولیه الگوریتم ۶۲/۵ درصد است.
چیدمان بهینه کشتی‌ها در این حالت به فرم v=(۵ ۳ ۵ ۲ ۵) است. همانگونه که در شکل ۸ نشان داده شده است، این چیدمان به معنای قرارگیری کشتی‌های شماره ۱، ۳ و ۵ در جزیره خارگ، کشتی شماره ۲ در بندر دیلم و کشتی شماره ۴ در بهرگان می‌باشد.



شکل۷: روند همگرایی الگوریتم ژنتیک برای منطقه غرب خلیج فارس

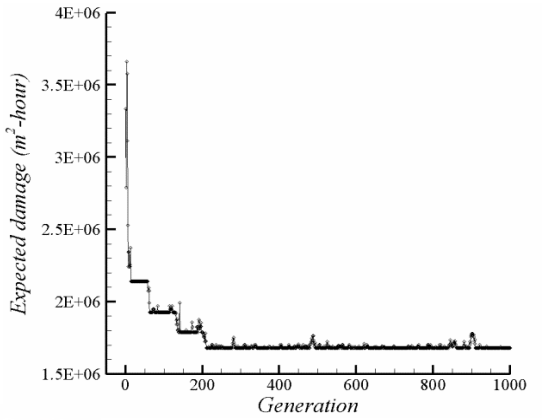


شکل ۸: چیدمان بهینه یدک‌کش‌ها در منطقه غرب خلیج فارس

علت قرارگیری سه کشتی شماره ۱، ۳ و ۵ با بالاترین سرعت و ظرفیت پاکسازی در جزیره خارگ تعدد حوزه‌های نفتی در این ناحیه می‌باشد. از طرفی در صورت بروز آلودگی بنادر دیلم و بهرگان امکان پشتیبانی از حوزه‌هایی نظیر بهرگانسر و هندیجان را دارا می‌باشند. به علت فاصله به نسبت کم این حوزه‌ها از خط ساحل، کشتی‌های قرار گرفته در این دو موقعیت بلافاصله می توانند به ناحیه حادثه دیده اعزام شوند و در این مدت کوتاه لکه نفتی در ابتدای رشد خود بوده و سطح وسیعی را آلوده نکرده است. به همین خاطر دو کشتی ۲ و ۴ که سرعت کمتر و ظرفیت پاک‌کنندگی کمتری دارند در این ناحیه قرار گرفته‌اند.

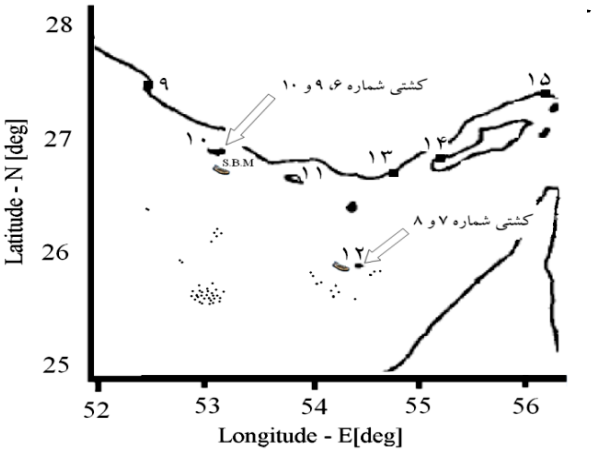
چیدمان بهینه یدک‌کش‌ها در منطقه شرق خلیج فارس

منطقه شرق خلیج فارس شامل مناطق مدیریتی لاوان و سیری و مناطق جدید کیش و قشم می‌باشد[۱۲]. برای بدست‌آوردن استقرار بهینه کشتی‌ها در شرق خلیج فارس از پنج کشتی دوم که ظرفیت پاکسازی کمتری نسبت به پنج کشتی اول دارند استفاده شده است. علت این امر برداشت کمتر نفت از این حوزه‌ها و تعداد کمتر چاه‌های نفتی در این منطقه می‌باشد. شکل ۹ همگرایی الگوریتم ژنتیک در مطالعه انجام شده مربوط به حوزه‌های فراساحلی منطقه شرق خلیج فارس را نشان می‌دهد. میزان کاهش خسارت استقرار بهینه در این حالت نسبت به راه‌حل اولیه الگوریتم ۵۴/۷ درصد است.



شکل۹: روند همگرایی الگوریتم ژنتیک برای منطقه شرق خلیج فارس

در نهایت چیدمان بهینه برای منطقه شرق خلیج فارس به فرم v=(۱۰ ۱۰ ۱۲ ۱۲ ۱۰) بدست آمده است. همانگونه که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود این استقرار بدان معناست که برای کاهش خسارت ناشی از آلودگی نفتی باید کشتی‌های شماره ۶، ۹ و ۱۰ در



شکل ۱۰: چیدمان بهینه یدک‌کش‌ها در منطقه شرق خلیج فارس

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

با توجه به اهمیت پاکسازی سریع لکه نفتی از سطح آب، در مطالعه حاضر ابتدا براساس انتشار و استهلاک کوتاه مدت نفت در خلیج فارس مدلی برای محاسبه میزان خسارات ناشی از نشت نفت توسعه و بسط داده شده است. سپس با استفاده از مدل بدست آمده و کاربرد الگوریتم ژنتیک به بهینه‌سازی مکان قرارگیری یدک‌کش‌های پاکسازی نفت در منطقه خلیج فارس مبادرت گردیده است. بدین منظور ابتدا پارامترهای تاثیرگذار در الگوریتم ژنتیک حساسیت سنجی شده و مقادیر مطلوب برای اجرای برنامه مشخص گردیده است. سپس پس از اجرای برنامه، چیدمان بهینه یدک‌کش‌ها برای دو منطقه ویژه نفتی خلیج فارس در شرق و غرب این منطقه ارائه شده است. این نتایج نشان می‌دهد که جزیره خارگ و بنادر دیلم و بهرگان بهترین مکان ها برای استقرار یدک‌کش‌ها در غرب و جزایر لاوان و سیری بهترین مکان‌ها برای قرارگیری یدک‌کش‌ها در شرق خلیج فارس می‌باشند.این چیدمان‌های بهینه بدست آمده به پاکسازی لکه نفتی در مدت زمان کوتاه‌تر منجر خواهند شد و در نتیجه آسیب ناشی از نشت نفت به حداقل مقدار خود خواهد رسید. همچنین نتایج بدست آمده از این مطالعه به تهیه سناریوهای مناسب گسیل یدک‌کش‌ها به مناطق آلوده شده در حوادث آینده منجر خواهد شد.

تشکر و قدردانی

در اینجا بر خود لازم میدانیم از مدیریت محترم شرکت نفت فلات قاره مهندس زیرکچیان و از پژوهشکده علوم و تکنولوژی زیردریا واقع در دانشگاه صنعتی اصفهان به جهت همکاری‌های لازم کمال تشکر و سپاس را داشته باشیم.

مراجع

[1] Fingas, F.M., Duval W. S., Stevenson, G.B., 1979. "*The basics of oil cleanup: part 1*", Environment Canada.

[2] "*Fate of marine oil spills*", 2002.ITOPF, Technical information paper, No. 1265.

[3] Habibi, S., Torabi Azad, M., Bidokhti, A.A, 2008. "A numerical model for the prediction of movement of gas condensate from spill accidents in the Assalouyeh marine region", *Indian Journal of Marine Science*, 37, pp. 233-242.

[4] SabbaghYazdi, S. R., 2006. "Couple solution of oil slick and depth averaged tidal currents on three dimensional geometry of Persian Gulf", *International Journal of Environmental Science &Technology*, 2, pp. 309-317.

[5] Badri, M. A., 2010. "*A Short Term Numerical Modeling for oil spill Simulation by a New Hydrodynamic model applying in the Persian Gulf*", PhD Thesis, Department of mechanical engineering, Isfahan University of Technology, Iran.

[6] Badri, M.A., Wilders, P., Azimian, A.R., 2010. "*Oil spill simulation for the Persian Gulf based on a new and efficient flow estimation procedure*". Report 10-07, Department of Mathematics, Delft University of Technology, the Netherlands.

[7] Mackay, D., Paterson, S., Trudel, k., 1980. "A mathematical model of oil spill behavior, environmental protection service", *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 51, pp. 434-43.

[8] Kumar, M., Husian, M., Upreti, N., Gupta, D., 2010. "Genetic Algorithm: review and application", *International Journal of Information Technology and Knowledge Management*, 2, pp. 451-454.

[9] Hanea, D., 2003. "*Minimizing the oil spill damage by optimizing the locations of the oil cleaning vessels*", Master thesis, Delft Universityof Technology, Netherlands.

[10] http://wikimapia.org/, March, 2012.

[11] Whitley, W., 2004. "*A Genetic Algorithm Tutorial*", Computer science Department, Colorado State University.

[12] http://iooc.ir/, February, 2012. Official website of Iranian Offshore Oil Company.