

## مدلسازی جمع آوری بهینه لکه نفتی با استفاده کاربردی از الگوریتم ژنتیک

محدودبودن منابع طبیعی و حفظ این میراث برای آیندگان، بهینه‌سازی روش‌های استفاده از منابع طبیعی و به حداقل رساندن آلودگی ایجاد شده را ضروری نموده است. در بعضی مناطق دستگاه‌های آب شیرین کن یا ایستگاه‌های پرورش ماهی مستقر می‌باشند و بنابراین علاقمندی زیادی به محافظت این مناطق و انجام عملیات تمیزکاری با سرعت زیاد وجود دارد. یکی از روش‌های نوین بهینه‌سازی برای تهیه نقشه‌های ریسک که با الهام گرفتن از طبیعت ابداع شده است الگوریتم ژنتیک می‌باشد. بهینه‌سازی عملیات تمیزکاری، به کوتاه‌ترین زمان ممکن پاک-سازی و حداقل نمودن هزینه تمیزکاری بر مبنای حجم نفت ریخته شده، مربوط می‌شود. در این مقاله، به کارگیری مدل بهینه‌سازی براساس انتشار و استهلاک کوتاه مدت نفت در خلیج فارس و استفاده از الگوریتم ژنتیک به تعیین بهترین استقرار یک کشتی پاک‌سازی نفت از نقطه نظر سرعت و ظرفیت پاک‌سازی با استفاده از این روش منجر شده و نتایج کیفی ارائه گردیده است.

محمدعلی بدری<sup>۱</sup>

استادیار

واژه‌های راهنما: الگوریتم ژنتیک، توزیع احتمالی وی بول، خلیج فارس، مدل جمع آوری بهینه لکه نفت

### ۱- مقدمه

الگوریتم ژنتیک<sup>۲</sup> یکی از روش‌های جست‌وجو است که بر اساس مکانیزم انتخاب طبیعی و ژنتیک طبیعی پایه‌ریزی شده است. برخلاف روش‌های مرسوم جست‌وجو، الگوریتم ژنتیک با مجموعه‌ای از راه‌حل‌های تصادفی اولیه که جمعیت<sup>۳</sup> نامیده می‌شوند شروع می‌گردند. هر جزء از این جمعیت یک کروموزوم نامیده می‌شود که در واقع یکی از راه‌حل‌های ممکن برای مسئله است. کروموزوم‌ها از طریق تکرارهای متوالی که نسل<sup>۴</sup> نامیده می‌شوند گسترش می‌یابند. در طول هر نسل کروموزوم‌ها با اندازه‌گیری کارآیی‌شان ارزیابی می‌شوند. برای تولید نسل بعدی، کروموزوم‌های جدید (فرزند<sup>۵</sup>) به دو صورت به وجود می‌آیند:

۱- ترکیب دو کروموزوم از نسل موجود توسط عملگر پیوند

۲- اصلاح یک کروموزوم توسط عملگر جهش [ ۱ ] و [ ۲ ]

<sup>۱</sup> نویسنده مسئول، استادیار، پژوهشکده علوم و تکنولوژی زیر دریا، دانشگاه صنعتی اصفهان malbdr@cc.iut.ac.ir

<sup>۲</sup> GA

<sup>۳</sup> Population

<sup>۴</sup> Generation

<sup>۵</sup> Offspring

نسل جدید با انتخاب برخی از کروموزوم‌های والدین و برخی از کروموزوم‌های جدید که کارآتر هستند و با از بین بردن سایر کروموزوم‌ها تشکیل می‌شود. کروموزوم‌های برانده‌تر شانس بیشتری برای انتخاب دارند. بدین طریق پس از چند نسل، بهترین کروموزوم‌ها فراهم کننده‌ی راه حل بهینه می‌باشند. در الگوریتم ژنتیک، ایجاد نسل جدید و انتخاب و جایگزینی کروموزوم‌های جدید به جای کروموزوم‌های نسل قبل تا رسیدن به معیار نهایی مشخص ادامه می‌یابد. در این تحقیق از معمول‌ترین معیار برای پایان دادن به این روند، یعنی حداکثر تعداد مشخص شده برای دفعات ایجاد نسل جدید استفاده شده است.

رایج‌ترین روش برای ایجاد جمعیت اولیه تولید راه حل‌های تصادفی است. اما چون الگوریتم ژنتیک میتواند مکرراً راه حل‌های ایجاد شده را بهبود بخشد جمعیت اولیه می‌تواند به گروه راه‌حل‌هایی که به نظر مناسب می‌رسند تقسیم بندی شده و اجزای باقی‌مانده از جمعیت نیز در راه‌حل‌های تصادفی ایجاد شده قرار می‌گیرند. در بعضی مراجع [۳] و [۴]، تعیین نرخ پیوند<sup>۱</sup> و نرخ جهش<sup>۲</sup> با استفاده از روش‌های گوناگون مبتنی بر استفاده از رشته‌های دودویی، برنامه‌نویسی عدد حقیقی<sup>۳</sup> و برنامه‌نویسی عدد صحیح برای مسائل بهینه سازی ترکیبی انجام می‌پذیرد. اساس استفاده از الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل کاربردی انتخاب روشی مناسب برای بیان مسئله از میان روش‌های موجود است [۵].

در این مقاله نیز که از یک روش ترکیبی و جدید استفاده شده، ترتیب بخش‌های مختلف از این قرار است: در بخش دوم معادلات حاکم و مدلسازی الگوریتم ژنتیک توصیف شده است. بخش سوم به ارائه مدل‌های هیدرودینامیکی، مدلسازی باد و بالاخره مدلسازی انتقال و انتشار آلودگی آمده است تا امکان تهیه پایگاه داده‌ها در بخش چهارم و ارائه نتایج در بخش پنجم میسر شود. چنانچه مشاهده شده است، تهیه پایگاه داده‌ها شامل اطلاعات میدان باد و محیط فیزیکی، تخمین حجم باقیمانده بر روی آب و مقدار تبخیر، امولسیون و نفوذ در داخل آب و بنابراین تهیه اطلاعات به منظور مدلسازی در راستای بهینه سازی مورد نظر را امکان پذیر نموده است.

## ۲- معادلات حاکم و مدلسازی

تأثیرات اقتصادی ریزش نفت در محیط‌های دریایی معمولاً بوسیله هزینه تمیزکاری و ضررهای ناشی از آلودگی نفت محاسبه و اندازه‌گیری می‌گردد. معمولاً در نظر گرفتن دو جنبه ملاحظات مربوط به اکوسیستم و نیز ملاحظات اقتصادی کار مشکلی است اما چنانچه هر دو جنبه مورد نظر باشد که در بیشتر مواقع چنین است، هزینه به عنوان یک عامل اندازه‌گیری ضررهای ناشی از دو جنبه کفاف نمی‌دهد و باید روش‌های اندازه‌گیری دیگری بررسی شود. در هر حال خرابی‌های اقتصادی حاصل از ریخته شدن نفت تابعی از تاریخچه ریزش آن شامل زمان و حجم نفت ریخته شده است. بنابراین می‌توان هزینه مربوط به آثار منفی آلودگی نفت را بطور مستقیم به زمان ریزش و سطح لکه ارتباط داد. لذا انتگرال‌گیری کل سطح پوشش داده شده توسط نفت بر روی زمان، عامل کمی مناسبی در این زمینه می‌باشد که در اینجا معرفی شده است.

<sup>1</sup> Grossover-rate

<sup>2</sup> Mutation-rate

<sup>3</sup> Real number coding

بنابراین بهینه سازی عملیات تمیز کاری به کوتاهترین زمان ممکن مربوط شده است. در عین حال، حداقل نمودن هزینه تمیزکاری بر مبنای حداکثر حجم نفت ریخته شده و مساحت لکه به عنوان نمودی از هزینه زیان های اکولوژیکی و هزینه های اقتصادی در این مدل، مورد ملاحظه قرار گرفته است. در این زمینه به سؤالات زیر نیز پاسخ داده شده است:

- با داشتن محل / محل های مشخص از استقرار وسایل تمیزکاری، چه نوع یدک کش / یدک کش هایی باید برای این عملیات با توجه به سطح آلوده شده استفاده گردد؟

- به سادگی می توان دید که اگر بیش از یک وسیله برای عملیات تمیز کاری استفاده شود، زمان تمیزکاری کاهش یافته و ضررهای ناشی از آلودگی نیز کاهش خواهد یافت. بنابراین به این سؤال نیز پاسخ داده شده که چه تعداد و چه نوع وسیله از لحاظ سرعت و ظرفیت باید برای این منظور به منطقه آلودگی گسیل شود؟

با توجه به اینکه حالات مختلف دخالت فقط یک دستگاه، دخالت کلیه دستگاه های در دسترس و تلفیقی از دستگاه ها در مطالعه های موردی انجام شده مطرح می باشد، حالت تلفیق دستگاه ها در اینجا مورد بررسی قرار گرفته است. طبیعی است در حالتی که از چند دستگاه استفاده می شود، ظرفیت کل سیستم تمیزکاری مجموع ظرفیت های دستگاه های استفاده شده خواهد بود.

بنابراین، بررسی استفاده بیش از یک وسیله، ارتباط آنها به لحاظ ملاحظات عملیاتی در تمیزکاری مناسب می باشد. آیا باید هر وسیله منتظر رسیدن وسیله های دیگر بماند یا به محض رسیدن به منطقه تمیزکاری می تواند عملیات را شروع کند؟ گرچه از جنبه واقعی<sup>۱</sup> بهتر است هر وسیله به مجرد رسیدن به منطقه، عملیات را شروع کند. لیکن در اینجا، از نقطه نظر محاسباتی فرض شده است همه وسایل جمع شوند و در یک لحظه عملیات تمیز کاری شروع شود.

## ۲-۱- مدل عمومی محاسبه خرابی ناشی از ریزش نفت

اگر  $n$  تعداد وسایل و دستگاه ها،  $m$  تعداد بندرگاه ها،  $v(j) = \{1, 2, \dots, m\}^n$  بردار موقعیت بندرگاهی که وسیله  $j$  ام در آن مستقر شده است،  $D(t)$  خرابی به عنوان تابعی از بردار موقعیت  $v$  و برابر با حداقل مقدار خرابی محاسبه شده حاصل از تلفیق دستگاه های تمیزکاری در نظر گرفته شده است. برای مثال اگر کل تعداد دستگاه های مورد استفاده سه تا باشد، تصمیم گیری منوط به استفاده هر یک از سه دستگاه، تلفیقی از دو وسیله و حالتی که هر سه استفاده شوند که هفت حالت می باشد خواهد بود. بنابراین برای سیستمی با تعداد  $n$  دستگاه تعداد حالات به صورت  $2^n - 1$  در نظر گرفته شده است.

## ۲-۲- خرابی

در اینجا خرابی به زمان و حجم آلودگی ارتباط داده شده است. هر چه زمان حضور آلودگی در آب بیشتر باشد خرابی و ضرر و زیان حاصله بیشتر خواهد بود. راه مناسب و ساده ایجاد ارتباط بین زمان و حجم

<sup>۱</sup> Realistic point of view

آلودگی استفاده از رابطه محاسباتی سطح لکه نفت خواهد بود. مثلاً سطح بزرگتر لکه نفت به مرگ تعداد بیشتری از موجودات دریایی منجر خواهد شد. این رابطه به صورت زیر بیان شده است :

$$D(t) = \int_0^t A(\tau).d\tau \quad (1)$$

که  $D(t)$  میزان خرابی تا زمان  $t$  و  $A(t)$  مساحت لکه نفت در لحظه  $t$  می باشد. طبیعی است اگر زمان بینهایت شود میزان خرابی نیز بی نهایت می شود که غیر واقعی است و لذا این رابطه برای زمان های طولانی استفاده نشده است.

### ۲-۳- تغییرات مساحت لکه نفت

در اینجا از رابطه مک - کی استفاده شده است [۶].

$$\frac{dA}{dt} = K.V^{\frac{4}{3}} \cdot \frac{1}{A} \quad (2)$$

که  $A$  مساحت لکه نفت  $[m^2]$ ،  $V$  حجم لکه نفت  $[m^3]$  و  $K$  مقدار ثابت  $[sec^{-1}]$   $150$  می باشد. همچنین در پژوهش حاضر بر اساس مطالعات موردی بسیاری که با توجه به مدل هیدرودینامیکی و مدل انتشار و استهلاك نفت انجام شده، نحوه تغییرات حجم لکه به صورت  $V = V_0 \exp(-\lambda.t)$ ،  $\lambda = 0.11$  برای نفت سبک و متوسط معادل سازی شده است  $[V]$  و  $[\lambda]$ .  $V_0$  حجم اولیه نفت ریخته شده است. با فرض  $\lim_{t \rightarrow 0} A(t) = 0$  خواهیم داشت:

$$A = \sqrt{\frac{3K}{2\lambda}} \cdot V_0^{2/3} \cdot [1 - \exp(-\frac{4\lambda}{3}t)]^{1/2} \quad t \geq 0 \quad (3)$$

هنگامی که یک وسیله تمیزکاری به منطقه آلوده از نفت میرسد ظرفیت تمیزکاری  $Q_v (Km^2/hr)$  باید مورد ملاحظه قرار گیرد. در اینجا فرض شده مساحت لکه نفت شروع به تغییر نموده و افزایش یافته تا وسیله از راه برسد، سپس رشد آن متوقف شده و پس از عملیات شروع به کاهش نماید.

$$A = \sqrt{\frac{3K}{2\lambda}} \cdot V_0^{2/3} \cdot [1 - \exp(-\frac{4\lambda}{3}t)]^{1/2} - Q_v(t - t_{ar}), \quad t \geq t_{ar} \quad (4)$$

منظور از  $t_{ar}$  زمان رسیدن وسیله تمیزکاری به منطقه آلوده و زمان توقف تمیزکاری  $t_{stop}$  از شرط  $A(t_{stop}) = 0$  محاسبه شده است. از آنجا که علاقمند به تعیین میزان خرابی در انتهای عملیات تمیزکاری هستیم بنابراین :

$$D(t_{stop}) = \int_0^{t_{stop}} A(\tau).d\tau = \int_0^{t_{ar}} A(\tau).d\tau + \int_{t_{ar}}^{t_{stop}} A(\tau).d\tau \quad (5)$$

این فرمول مربوط به وقتی است که عملیات تمیزکاری در هنگامی شروع شود که کندترین وسیله نیز مهبای عملیات تمیزکاری شود، بنابراین  $t_{ar}$  به این زمان اشاره دارد و  $Q_v$  برابر مجموع ظرفیت همگی وسایل برای عملیات تمیزکاری است. در اینجا فرض شده هر وسیله بوسیله دو مشخصه سرعت و ظرفیت تمیزکاری تعیین شود. اگر ماتریس  $vess$  ماتریس مربوط به مشخصه وسایل تمیزکاری باشد این ماتریس دارای  $n$  سطر (هر یک برای یکعدد وسیله) و دو ستون (ستون اول مشخصه سرعت وسیله و مشخصه دوم

مشخصه ظرفیت تمیزکاری) خواهد بود. بنابراین،  $vess(i,1)$  به سرعت وسیله  $i$  ام و  $vess(i,2)$  به ظرفیت تمیزکاری وسیله  $i$  ام اشاره خواهد داشت. حال اگر ماتریس  $dist$  فاصله بین سلول و محل استقرار وسیله باشد، این ماتریس دارای  $N$  سطر (تعداد سلول ها) و  $m$  ستون (تعداد بندرگاه ها یا موقعیت های استقرار وسایل تمیزکاری) خواهد بود و  $dist(c,k)$  فاصله بین سلول  $C$  و محل استقرار  $k$  می باشد.

برای محاسبه زمان رسیدن وسیله دو زمان  $t_i = \frac{dist(c, v(i))}{vess(i,1)}$  و  $t_j = \frac{dist(c, v(j))}{vess(j,1)}$  مورد توجه قرار گرفته است. با فرض  $t_i \leq t_j$ ، یعنی وسیله  $i$  ام اول میرسد.

$$A(t) = \sqrt{\frac{3K}{2\lambda}} \cdot V_0^{2/3} \cdot [1 - \exp(-\frac{4\lambda}{3}t)]^{1/2} \quad (۶)$$

$$A(t) = \sqrt{\frac{3K}{2\lambda}} \cdot V_0^{2/3} \cdot [1 - \exp(-\frac{4\lambda}{3}t_i)]^{1/2} - Q_{vi}(t - t_i) \quad (۷)$$

$$A(t) = \sqrt{\frac{3K}{2\lambda}} \cdot V_0^{2/3} \cdot [1 - \exp(-\frac{4\lambda}{3}t_i)]^{1/2} - Q_{vi}(t - t_i) - Q_{vj}(t - t_j) \quad (۸)$$

مساحت لکه در روابط (۶)، (۷) و (۸) به ترتیب برای بازه های  $0 \leq t \leq t_i$ ،  $t_i \leq t \leq t_j$  و  $t_j \leq t \leq t_{stop}$  محاسبه شده است. ظرفیت تمیزکاری وسیله  $i$  ام و  $j$  ام به ترتیب  $q_i = Vess(i,2)$  و  $q_j = Vess(j,2)$  میباشد و زمان لازم برای اتمام عملیات تمیزکاری با توجه به  $A(t_{stop})=0$  از طریق

$$t_{stop} = \frac{1}{Q_{vi} + Q_{vj}} \left\{ \sqrt{\frac{3K}{2\lambda}} V_0^{2/3} \cdot [1 - \exp(-\frac{4\lambda}{3}t_i)]^{1/2} + Q_{vi}t_i + Q_{vj}t_j \right\}$$

محاسبه شده است.

فرض شده است عملیات گسترش و پخش لکه در زمانی که اولین وسیله به محدوده آلوده می رسد قطع شده است. بنابراین میزان خرابی درانتهای عملیات تمیزکاری اگر همه دستگاه ها استفاده شوند از رابطه زیر محاسبه گردیده است.

$$t_{stop} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n Q_{vi}} \left\{ \sqrt{\frac{3K}{2\lambda}} \cdot V_0^{2/3} \cdot [1 - \exp(-\frac{4\lambda}{3}t_{min})]^{1/2} + \sum_{i=1}^n Q_{vi}t_i \right\} \quad (۹)$$

$$D(t_{stop}) = \frac{-3}{2\lambda} \sqrt{\frac{3K}{2\lambda}} V_0^{2/3} \cdot [1 - \exp(-\frac{4\lambda}{3}t_{min})]^{1/2} + \frac{3}{4\lambda} \sqrt{\frac{3K}{2\lambda}} V_0^{2/3} \cdot \ln \left\{ \frac{1 - [1 - \exp(-\frac{4\lambda}{3}t_{min})]^{1/2}}{1 + [1 - \exp(-\frac{4\lambda}{3}t_{min})]^{1/2}} \right\} \\ + \sqrt{\frac{3K}{2\lambda}} V_0^{2/3} \cdot [1 - \exp(-\frac{4\lambda}{3}t_{min})]^{1/2} (t_{stop} - t_{min}) - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n Q_{vi} (t_{stop} - t_i)^2 \quad (۱۰)$$

در اینجا هدف عبارتست از تعیین بردار بهینه موقعیت که خرابی مورد انتظار حداقل شود. یک روش کلاسیک استفاده از روش گرادیان می باشد. اما بدلیل اینکه ماهیت مسئله ناپیوسته است و تابعیت مسئله دارای خصوصیات دیفرانسیل پذیری نیست به دلیل خطی نبودن مسئله از طریق خطی سازی نیز نمی توان به مسئله بهینه سازی اقدام نمود، لذا در اینجا به استفاده از الگوریتم ژنتیک توجه شده است.

## ۲-۴- چگونگی استفاده از الگوریتم ژنتیک

از آنجا که کارایی الگوریتم ژنتیک تا حدود زیادی به عملکرد پیوند استفاده شده در آن بستگی دارد، نرخ پیوند به صورت نسبت تعداد فرزندان تولید شده در هر نسل به تعداد کل افراد جمعیت تعریف شده است. این نسبت تعداد کروموزوم‌هایی را که می‌خواهیم عمل پیوند روی آن‌ها انجام شود مشخص می‌کند. با انتخاب نرخ پیوند بزرگتر، دستیابی بیشتری به فضای راه‌حل ممکن شده و احتمال باقی ماندن در یک نقطه بهینه موضعی کاهش یافته است. با این حال مقدار زیاد آن نیز زمان محاسبات را افزایش داده است. عملکرد جهش، یک عملگر جانبی است که تغییراتی تصادفی را به صورت داخلی در کروموزوم‌های مختلف حاضر به وجود آورده است. این عمل از طریق یک یا چند ژن (بیت) در کروموزوم موجود صورت گرفته است. عملکرد جهش دو نقش حیاتی ایفا نموده است: ژن‌هایی را که در طی فرایند انتخاب حذف شده‌اند جایگزین کرده و بدین صورت امکان حضور در نسل‌های جدید برای آن‌ها فراهم شده است و ژن‌هایی که در جمعیت اولیه حضور نداشته‌اند به وجود آورده شده است. نرخ جهش به صورت درصدی از ژن‌های حاضر در جمعیت که تغییر یافته‌اند تعریف شده است. نرخ جهش میزان ژن‌های جدیدی را که به سیستم اضافه میشوند مشخص نموده است. مقدار نرخ جهش کم باعث شده بسیاری از ژن‌هایی که می‌توانند سودمند باشند هرگز شانس حضور در فضای راه‌حل را پیدا ننمایند و مقدار بیش از حد زیاد آن انحراف زیادی در روند الگوریتم ایجاد نموده که باعث عدم تشابه فرزندان به کروموزوم‌های والد و از بین رفتن قابلیت استفاده الگوریتم از ویژگی‌های مناسب نسل قبل شده است. از آنجا که مقدار بهینه‌ی پارامترهای مؤثر در الگوریتم ژنتیک، از جمله نرخ پیوند و نرخ جهش، با توجه به نوع مسئله بهینه‌سازی مشخص می‌شود، بیان قاعده‌ای کلی برای آن امکان پذیر نیست. رابطه‌ی مناسب بین این پارامترها پس از تجربه‌ی اثر حالت‌های مختلف آن‌ها بر عملکرد الگوریتم تعیین شده و لذا در این کار پژوهشی مطالعات موردی بسیاری برای بهینه‌سازی نرخ پیوند و نرخ جهش انجام پذیرفته است. پیاده‌سازی این الگوریتم توسط نرم افزار MATLAB صورت گرفته است. داده‌های اولیه‌ای که حل مسئله با آن‌ها شروع می‌گردد به صورت تصادفی انتخاب شده‌اند. همچنین روش تبدیل راه‌حل مناسب مسئله به کروموزوم‌ها بسیار مهم می‌باشد. مسئله‌ی دیگری که مد نظر قرار گرفته آن است که روند حل به گونه‌ای طراحی شده تا برای هر نوع دیگر از داده‌ها مانند هر تعداد از کشتی‌ها، هر تعداد از بندرگاه‌ها و هر تعداد از چاه‌های نفت نیز قابل استفاده باشد. جهت بهینه‌سازی تابع هدف با استفاده از الگوریتم ژنتیک از جمعیتی برابر با ۲۰ کروموزوم استفاده شده که هر کروموزوم از  $n$  ژن که به صورت تصادفی انتخاب شده‌اند تشکیل شده است. همچنین برای هر ژن یک عدد صحیح تصادفی از بازه  $\{1, 2, \dots, m\}$  انتخاب شده است. با استفاده از عملگر تلفیقی پیوند به تولید افراد نسل جدید پرداخته شده و سپس عملیات به فرم زیر ادامه یافته است:

- انتخاب یک عدد تصادفی  $(r)$  از بازه  $[0, 1]$  برای هر جفت از کروموزوم‌ها.

- انتخاب جفت کروموزوم برای عمل پیوند.

کروموزوم‌های انتخابی به صورت تصادفی جفت شده‌اند. برای هر جفت از کروموزوم‌ها یک عدد صحیح تصادفی از بازه  $[1, n]$  انتخاب گردیده است. این عدد تصادفی مکانی که کروموزوم‌ها برش زده می‌شوند را نشان می‌دهد. دو کروموزوم اولیه پیوند خورده و فرزندان جای آن‌ها را گرفته‌اند. با اتکاء به نتایج مطالعات موردی، در این جا احتمال پیوند ۷۵ درصد در نظر گرفته شده و بنابراین انتظار است به طور متوسط ۷۵٪ از

کروموزوم ها (به عبارت دیگر ۱۵ عدد از جمعیت ۲۰ نفری) در عمل پیوند شرکت کنند. شیوه عملکرد به این صورت است که برای هر جفت کروموزوم از جمعیت عدد تصادفی  $r$  از بازه  $[0, 1]$  انتخاب شده و اگر  $r < 0.75$  باشد جفت کروموزوم انتخابی تحت عمل پیوند قرار گرفته و کروموزومها به صورت تصادفی جفت گردیده‌اند. عملگر بعدی، عملگر جهش است و احتمال جهش<sup>۱</sup> یکی دیگر از پارامترهای سیستم ژنتیکی است که تعداد بیت های مورد انتظار برای جهش را بدست می دهد. در این مورد به شیوهی زیر عمل گردیده است :

- انتخاب یک عدد تصادفی  $r$  در بازه  $[0, 1]$

- انتخاب بیت به منظور جهش . به عبارت دیگر یک عدد صحیح تصادفی در بازه  $[1, n]$  به نام  $r$

انتخاب شده که نشان دهندهی مقدار جدید بیت جهش یافته خواهد بود.

با فرض احتمال جهش  $0.1$  ، بطور میانگین  $10\%$  از بیت ها تحت عمل جهش قرار گرفته اند . از آنجا که تعداد کل بیت ها برابر  $200$  عدد است، بنابراین انتظار است بطور میانگین  $20$  عدد از آن ها در هر نسل جهش یابند . همه بیت ها شانس یکسانی برای جهش یافتن دارند. بنابراین برای هر کدام از آن ها یک عدد تصادفی  $r$  در بازه  $[0, 1]$  انتخاب شده و اگر  $r < 0.1$  بود، آن بیت جهش می یابد . با این وصف  $200$  عدد تصادفی انتخاب گردیده است.

### ۳- مدلسازی الگوی جریان، میدان باد و انتشار نفت

مهمترین منبع آلودگی های نفتی در خلیج فارس مربوط به حمل و نقل نفت توسط تانکرها و استخراج، تخلیه و انتقال نفت به وسیله پالایشگاه های فعال در بنادر می باشد. بعلاوه چون پارامتر باد به عنوان عامل مهم انتقال آلودگی مطرح می باشد، میدان باد از طریق یک توزیع احتمالی برای کالیبره نمودن باد غالب با توجه به داده های اندازه گیری مورد توجه قرار گرفته است. به منظور تعیین پارامترهای توزیع احتمالی وی بول از روش حداقل نمودن اختلاف مربعات استفاده شده است. میدان باد محاسبه شده با سایر داده های میدانی مقایسه و انطباق خوبی ملاحظه شده است. میدان دینامیکی آب توسط یک مدل هیدرودینامیکی جدید و از طریق تلفیق با میدان باد بدست آمده تا انتقال و انتشار آلودگی برای تعیین نحوه حرکت ابر آلودگی بر روی سطح آب تخمین زده شود. برای مدلسازی پدیده جابه جایی و نفوذ در آبهای خلیج فارس به عنوان آبهای کم عمق از روش پیمایش اتفاقی استفاده شده است.

#### ۳-۱- مدلسازی هیدرودینامیکی

برای بدست آوردن معادلات حاکم و مدلسازی هیدرودینامیکی، از شکل خطی معادلات بدون در نظر گرفتن جملات رتبه دوم معادلات آبهای کم عمق که در مورد خلیج فارس صدق می نماید یعنی

$$\frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} = C_0^2 \nabla^2 \eta, \text{ موج، کلاسیک}$$

استفاده شده است. با مقایسه معادله کلاسیک موج،  $\frac{\partial}{\partial t} \left\{ \left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} + f^2 \right) \cdot \eta - C_0^2 \cdot \nabla^2 \eta \right\} = 0$  رابطه فوق می توان دریافت که در واقع یک اختلال یعنی  $f^2 \eta$  حاصل از نیروهای ژئوفیزیکی اضافه گردیده

<sup>1</sup> Probability of mutation

است. با در نظر گرفتن شرط مرزی  $\frac{\partial^2 \eta}{\partial y \partial t} - f \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0, y = 0, L$ ، حل در حالت  $\sigma^2 = C_0^2 k^2$  در نظر گرفته

شده است. این حل بنام موج کلونین<sup>۱</sup> خوانده می‌شود. به عبارت دیگر، حل طوری بدست آمده که بتواند جواب معادلات حاکم  $\eta = f_1(y).e^{\pm i(kx - \sigma t)}$ ،  $u = f_2(y).e^{\pm i(kx - \sigma t)}$  و  $v = f_3(y).e^{\pm i(kx - \sigma t)}$  باشد. در این روابط،  $\eta$  ارتفاع موج کلونین،  $f$  عامل کوریولیس،  $\eta_0$  دامنه موج،  $C_0 = \sqrt{g \cdot h_0}$  سرعت انتشار موج،  $\sigma = C_0 k$  فرکانس زاویه ای موج،  $\phi$  فاز،  $x$  فاصله از مبدأ در جهت طول و  $h_0$  عمق متوسط دامنه محاسباتی می‌باشند. به منظور محاسبه میدان دینامیکی، مقادیر دامنه و فاز مولفه های جزر و مدی بر اساس داده های اندازه گیری نوسانات سطح آب و سرعت جریان سطحی قابل محاسبه اند و در چارتهایی به صورت خطوط هم دامنه یا هم فاز تهیه گردیده اند [۸]. طبیعتاً در این داده های اندازه گیری، مشخصات هندسی واقعی حوزه مورد بررسی از جنبه مرزهای خشکی و پستی و بلندی بستر دریا لحاظ گردیده اند. در سری زمانی بدست آمده تاثیرات مشخصات هندسی، آثار اصطکاک، شیب بستر و خط ساحلی موجود می باشد. نوسانات سطح آب و سرعت سطحی آب، با توجه به کاربرد تئوری امواج پیشرونده کلونین به وسیله برنامه ای که تهیه شده است بدست آمده و با نتایج اندازه گیری و نرم افزار مایک مقایسه شده است [۸]. در واقع، بخشی از سرعت افقی جریان که حاصل از جریانات جزر و مدی می باشد، به عنوان جمع آثار مولفه های اصلی  $K_1$ ،  $S_2$ ،  $M_2$  و  $O_1$  به صورت  $\eta = Z_0 + \sum_{j=1}^4 \eta_j$ ،  $u = \sum_{j=1}^4 u_j$  به دست آمده است. در این رابطه  $j$  اندیس مربوط به مولفه های اصلی گفته شده می‌باشد.

محاسبه نوسانات سطح آب و سرعت سطح آب از طریق داده های اندازه گیری به ترتیب به صورت

$$u_{\text{tidal stream}} = \sum_{j=1}^4 [(\eta_{0j} C_0 / h_0).e^{\frac{-f y}{C_0}} \cos(kx - \sigma t + \phi_j)] \quad \text{و} \quad \eta_{\text{WSL}} = Z_0 + \sum_{j=1}^4 [\eta_{0j}.e^{\frac{-f y}{C_0}} \cos(kx - \sigma t + \phi_j)]$$

دهی گردیده است [۸]. برای استفاده از این مدل، با توجه به اینکه دو حامل اطلاعاتی  $\eta$  و  $\phi$  که نقش اساسی در تعیین میدان دینامیکی دارند خود از طریق خطوط هم دامنه و هم فاز که داده های معتبر اندازه گیری می باشند آماده سازی و استفاده شده اند، در واقع آثار میدان واقعی ذاتاً به همراه این اطلاعات میدانی وارد معادله مشخصه شده و به علاوه عامل کوریولیس نیز به عنوان یک عامل اغتشاشی موجی در معادله مشخصه وارد شده است. بنابراین علیرغم ساده سازی، استفاده از یک تقریب ژئوستروفیک در حوزه خلیج فارس با اعمال داده های اندازه گیری و میدانی در کل شبکه حل به تعیین میدان دینامیکی منجر گردیده است.

### ۳-۲- مدلسازی میدان باد با استفاده از یک توزیع احتمالی

به منظور تعیین بهترین توزیع باد به نحوی که با احتمال وزیدن و بر اساس داده های استخراج شده میدانی در بازه های شرح داده شده در جدول (۱) همخوانی داشته باشد از توزیع وی بول<sup>۲</sup> استفاده شده است.

<sup>۱</sup> Kelvin wave

<sup>۲</sup> Weibull



**جدول ۱- اطلاعات میدان باد و احتمال توزیع آن (احتمال وقوع)**

| ردیف | سرعت باد (متر بر ثانیه) | احتمال وقوع |
|------|-------------------------|-------------|
| ۱    | ۰-۴                     | ٪۳۳         |
| ۲    | ۵-۹                     | ٪۵۰         |
| ۳    | ۱۰-۱۴                   | ٪۱۵         |
| ۴    | >۱۴                     | ٪۲          |

میدان باد حاصله در مدل هیدرودینامیکی به منظور تهیه الگوی جریان آب استفاده شده است. تابع توزیع چگالی وی بول مربوط به متغیر اتفاقی  $V$  با پارامترهای  $A_p$  و  $C_p$  بطور ریاضی بصورت زیر تعریف شده است [۹]. در این جا  $V$  سرعت باد به متر بر ثانیه می باشد.  $A_p$  یک پارامتر مقیاس<sup>۱</sup> با واحد متر بر ثانیه و  $C_p$  یک پارامتر اندازه و بدون بعد می باشد.

$$f(V, A_p, C_p) = \frac{C_p}{A_p} \left( \frac{V}{A_p} \right)^{C_p-1} \exp \left[ - \left( \frac{V}{A_p} \right)^{C_p} \right] \quad V \geq 0, A_p, C_p > 0 \quad (11)$$

تابع توزیع جمعی<sup>۲</sup> بوسیله انتگرال گیری از رابطه  $p(V, A_p, C_p) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{V}{A_p} \right)^{C_p} \right]$  بدست آمده است.

برای برآورد پارامترهای توزیع وی بول از روند محاسبه می نیموم مربعات<sup>۳</sup> استفاده شده و از طریق تابع توزیع جمعی رابطه  $\sum_{j=1}^k (E)^2 = \sum_{j=1}^k \{ [\ln(A_p^{-C_p}) + C_p \ln V_j - b_j]^2 \}$  می نیموم گردیده است. در این رابطه،  $k$  تعداد نقاطی است که برای فیت نمودن منحنی در رابطه  $b_j = \ln[-\ln[1 - p(V_j)]]$  استفاده می شود.

با داده های میدانی جدول (۱) بردار احتمال

$$R_1 = [p(0 \leq V < 4) \quad p(4 < V \leq 9) \quad p(9 < V \leq 14) \quad p(V > 14)]^T$$

اساس داده های اندازه گیری بردار  $R = [0.33 \quad 0.50 \quad 0.15 \quad 0.02]^T$  تشکیل و اختلاف بین دو بردار

$$g(A_p, C_p) = \|R - R_1\|^2$$

تا بردار  $R$  با استفاده از مقادیر محاسبه شده  $C_p, A_p$  بصورت  $R_1 = [0.33 \quad 0.54723 \quad 0.16660 \quad 0.02]^T$

نتیجه گردد.

<sup>1</sup> Scaling parameter

<sup>2</sup> Cumulative distribution function (CDF)

<sup>3</sup> Least square approach

### ۳-۳- مدل انتشار، نفوذ و استهلاک نفت

کل حجم نفت پخش شده بر روی سطح دریا بوسیله تعداد  $N$  بسته که خود از ذرات ریز تشکیل شده و تحت تأثیر حرکت محیط با سرعت  $\vec{U}(u, v, w)$  و مؤلفه های  $u(x, y, z, t)$ ،  $v(x, y, z, t)$  و  $w(x, y, z, t)$  باشد مورد توجه قرار گرفته است. در اینجا  $w, v, u$  مؤلفه های سرعت در جهات  $z, y, x$  بوده و  $t$  زمان می باشد. نوسانات اغتشاشی سرعت  $u'_k$ ،  $v'_k$  و  $w'_k$ ، براساس روش پیمایش اتفاقی<sup>۱</sup> محاسبه گردیده اند. به طور خلاصه موقعیت سه بعدی بسته  $k$ م پس از زمان  $\Delta t$  با توجه به روابط زیرمدلسازی گردیده است.

$$X_k = X_k^0 + u\Delta t + [R_1]_0^1 \cdot \sqrt{2D_h} \cdot \Delta t \quad (12)$$

$$Y_k = Y_k^0 + v\Delta t + [R_2]_0^1 \cdot \sqrt{2D_h} \cdot \Delta t \quad (13)$$

$$Z_k = Z_k^0 + w\Delta t + [R_3]_0^1 \sqrt{2D_v} \cdot \Delta t + 5.04 \left( \frac{\Delta_1 \cdot v_w}{g} \right)^{1/3} \cdot \Delta t \quad (14)$$

که  $[R_1]_0^1$ ،  $[R_2]_0^1$  و  $[R_3]_0^1$  اعداد تصادفی با متوسط صفر و واریانس یک هستند. انتخاب ضرایب نفوذ افقی و عمودی  $D_h$  و  $D_v$  از طریق مطالعات موردی زیاد به منظور تهیه الگوی جریان استخراج شده اند [۷].

مؤلفه عمودی قطرات نفت  $w_b$  و اندازه قطرات از روابط  $d_k = \frac{9.52v_w^{2/3}}{g^{2/3} \cdot \Delta^{1/3}}$ ،  $w_b = \frac{gd_k \cdot \Delta}{18v_w}$  بدست آمده است.

در این روابط،  $g$  شتاب ثقل،  $\Delta = (\rho_w - \rho_o) / \rho_w$ ،  $\rho_w$  و  $\rho_o$  به ترتیب چگالی نفت و آب و  $v_w$  لزجت مولکولی آب می باشد. سرعت جابه جایی برای هر نقطه  $\vec{U}(U_x, U_y)$  با لحاظ نمودن آثار باد، موج و جزر و مد از طریق رابطه  $\vec{U} = k_t \vec{U}_{tide} + k_w (\vec{U}_{wind} + \vec{U}_{wave})$  محاسبه گردیده است. که  $\vec{U}_{wind}$  و  $\vec{U}_{wave}$  به ترتیب سرعت های باد و موج هستند.  $\vec{U}_{tide}$  سرعت جریان در اثر جزر و مد می باشد.  $k_t$  عامل جزر و مد و  $k_w$  عامل باد می باشد. مجموع  $(\vec{U}_{wind} + \vec{U}_{wave})$  بر مبنای سرعت باد در ۱۰متری بالای سطح آب یعنی  $\vec{U}_{wind-10m}$  و ضریب  $k_w$  تعریف می شود. بنابراین مدلسازی انتشار بر روی سطح آب به واسطه رابطه  $\vec{U} = k_t \vec{U}_{tide} + k_w \vec{U}_{wind-10m}$  بدست آمده است.  $k_t$  ضریب جریان توده آب (دریافت) بوده و ۰/۰۳ انتخاب شده است،  $k_t$  برابر یک انتخاب گردیده است.  $k_w$  ضریب جریان توده آب (دریافت) بوده و ۰/۰۳ انتخاب شده است. در مورد پدیده های موثر بر استهلاک نفت، تبخیر و امولسیون در نظر گرفته شده است [۶] و [۱۰].

### ۴- تهیه پایگاه داده ها

به منظور انجام یک تحقیق کاربردی، پایگاه داده ها برای اطلاعات مربوط به چاه های نفتی، بنادر و کشتی ها تهیه و مورد استفاده قرار گرفته است. میدان جریان، باد و انتشار نفت نیز به خدمت گرفته شده است. با توجه به ماهیت اتفاقی بودن الگوریتم ژنتیک مرسوم است که در هنگام پیاده سازی الگوریتم ژنتیک بهترین

<sup>۱</sup> Random walk

عضو در مکانی جداگانه ذخیره شود. در انتهای الگوریتم، بهترین مقداری که در کل فرآیند ظهور یافته است گزارش شده تا بردارهای مکان بهینه به دست آیند.

در این تحقیق کاربردی تمامی راه حل‌های بهینه موردسنجش قرار گرفته است. در اغلب موارد راه حل‌های بهینه تشابهات زیادی با یکدیگر دارند، بنابراین برخی از کشتی‌های تمیزکننده باید در بندرگاه‌های مشخصی قرار گیرند و بدین صورت نتیجه حاصل از به کارگیری هر کدام از آن‌ها یکسان خواهد بود. به عنوان مثال در یک مطالعه موردی و به منظور قلق گیری برای ۱۰ کشتی در ۱۰ بندرگاه مشاهده شد که کشتی‌های ۱۰، ۸، ۷، ۴، ۳، ۲، ۱ باید به ترتیب در بندرگاه‌های ۶، ۲، ۵، ۵، ۵، ۳، ۳ قرار گیرند. کشتی ۵ میتواند در هر کدام از بندرگاه‌های ۱ یا ۲، کشتی ۶ در بندرگاه‌های ۵، ۴ و ۶ یا ۶ و کشتی ۹ در بندرگاه‌های ۲ یا ۵ قرار گیرند. در هنگام ارائه نتایج، چهار کشتی در چهار بندرگاه مستقر شده و الگوریتم پیاده سازی گردیده است (جدول ۳).

اطلاعات چاه‌ها و موقعیت مکانی آنها در جدول (۲) ارائه شده است. داده های چهار حادثه نفتی به منظور شبیه سازی آماده گردید. این حوادث عبارتند از حادثه حوزه فراساحلی حبش در ۲۷/۷۵ درجه عرض شمالی و ۵۰/۱۵ درجه طول شرقی، حوزه نفتی نوروز در شمال خلیج فارس در ۲۸/۹۰ درجه عرض شمالی و ۴۹/۳۵ درجه طول شرقی، حادثه حوزه نفتی الاحمدی در ۲۹/۲۵ درجه عرض شمالی و ۴۸/۳۷ درجه طول شرقی و چاه نفتی البکر در ۲۹/۱۵ درجه عرض شمالی و ۴۸/۸۰ درجه طول شرقی. قبل از استفاده از الگوریتم ژنتیک و به منظور اعتبار دهی، مسیر لکه نفتی با نتایج موجود مقایسه شده است.

**جدول ۲ - نام و موقعیت چاه‌های نفتی مورد بررسی**

| ردیف | نام               | عرض جغرافیایی | طول جغرافیایی |
|------|-------------------|---------------|---------------|
| ۱    | حوزه نفتی نوروز   | ۲۸ ۵۴ شمالی   | ۴۹ ۲۱ شرقی    |
| ۲    | حوزه نفتی الاحمدی | ۲۹ ۱۵ شمالی   | ۴۸ ۲۲ شرقی    |
| ۳    | حوزه فراساحلی حبش | ۲۷ ۴۵ شمالی   | ۵۰ ۹ شرقی     |
| ۴    | چاه نفتی البکر    | ۲۹ ۹ شمالی    | ۴۸ ۴۸ شرقی    |

لازم به ذکر است که از طول و عرض جغرافیایی بنادر و چاه‌ها برای محاسبه فاصله میان آن‌ها استفاده شده است. بدین صورت که هر درجه معادل ۶۰ دقیقه و هر دقیقه برابر با ۱۸۳۰ متر در نظر گرفته شده است. فواصل میان بنادر و چاه‌های مورد بررسی در جدول (۳) و مشخصات کشتی‌ها از قبیل سرعت و ظرفیت پاک کنندگی براساس دسته‌بندی صورت گرفته در جدول (۴) ارائه شده است.

**جدول ۳ - فواصل میان بنادر و چاه‌های مورد بررسی (فواصل برحسب کیلومتر)**

| حادثه           | حادثه             | حادثه    | حادثه          |             |
|-----------------|-------------------|----------|----------------|-------------|
| حوزه نفتی نوروز | حوزه نفتی الاحمدی | حوزه حبش | چاه نفتی البکر | حادثه       |
| ۱۱۵/۲۳          | ۲۱۵/۹۵            | ۱۶۷/۷۴   | ۱۶۸/۸۵         | جزیره خارک  |
| ۱۶۱/۰۵          | ۲۷۱/۷۴            | ۱۴۵/۹۵   | ۲۲۳/۱۳         | بندر بوشهر  |
| ۳۰۶/۸۸          | ۴۲۱/۳۸            | ۱۹۶/۰۲   | ۳۷۳/۱۸         | بندر دیر    |
| ۴۹۹/۲۹          | ۶۱۳/۰۰            | ۳۷۰/۰۳   | ۵۶۵/۵۴         | جزیره لاوان |

**جدول ۴- مشخصات یدک کش های پاکسازی**

| موقعیت اولیه | سرعت (km/h) | ظرفیت پاک کنندگی (km <sup>2</sup> /h) |
|--------------|-------------|---------------------------------------|
| ۱            | ۱۲/۵        | ۰/۰۶                                  |
| ۲            | ۱۴/۵        | ۰/۰۸                                  |
| ۳            | ۱۶/۰        | ۰/۱۰                                  |
| ۴            | ۱۶/۰        | ۰/۱۲                                  |

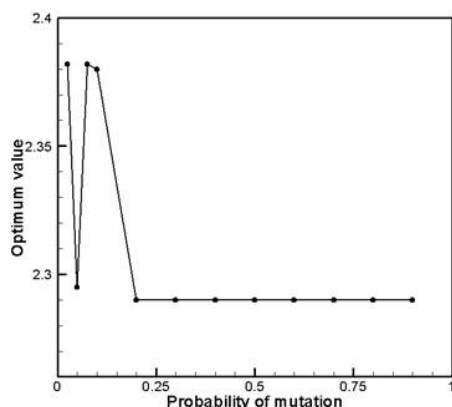
براساس روش مطالعات موردی انجام شده، در منطقه غرب خلیج فارس چیدمان بهینه کشتی‌ها به فرم  $v = (1, 2, 1, 3)$  بدست آمده است. این چیدمان به معنای قرارگیری کشتی‌های شماره ۱ و ۳ در جزیره خارگ، کشتی شماره ۲ در بندر بوشهر و کشتی شماره ۴ در بندر دیر می‌باشد. در منطقه شرق خلیج فارس چیدمان بهینه به فرم  $v = (4, 2, 1, 4)$  بدست آمده است. این استقرار بدان معناست که برای کاهش خسارت ناشی از آلودگی نفتی باید کشتی‌های شماره ۱ و ۴ در جزیره لاوان و کشتی‌های شماره ۲ و ۳ به ترتیب در بندر بوشهر و جزیره خارک قرار بگیرند.

**۵- نتایج**

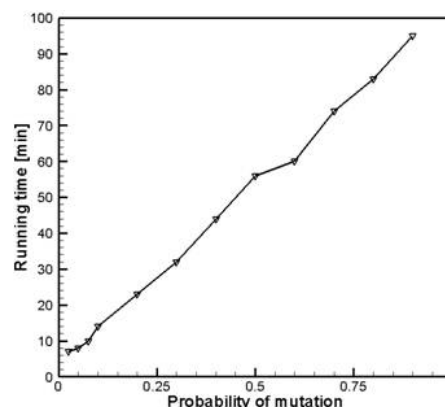
کد تهیه شده به زبان MATLAB در این تحقیق به ازای ۱۰ گونه متفاوت از اطلاعات ورودی اجرا شده و نتایج مربوطه اخذ شده است. به وسیله الگوریتم ژنتیک و با مقایسه میان نتایج حاصله از کلیه آن‌ها بهینه‌ترین حالت برای چیدمان کشتی‌ها انتخاب شده است. از پارامترهای مهم و بسیار موثر در همگرایی الگوریتم ژنتیک می‌توان به نرخ جهش و احتمال انتخاب بهترین عضو 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. 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 انجام گردیده است. شکل‌های (۱) و (۲) به ترتیب تاثیر نرخ جهش بر زمان اجرای برنامه و مقدار بهینه بدست آمده را نشان می‌دهد. بنابراین شرط خاتمه از طریق انجام مطالعات موردی و انتخاب این ضرایب (نرخ جهش و نرخ پیوند) تعیین شده است. بنابراین از طرفی شرط همگرایی و از طرف دیگر تنوع آزمایشها در اینجا با استفاده از روش گفته شده به استحکام و درستی روش کمک نموده است. بنابراین، شکل‌های (۱) و (۲) نشان می‌دهند که مدت زمان اجرای برنامه با افزایش احتمال جهش به صورت تقریباً خطی افزایش می‌یابد و همچنین با افزایش مقدار احتمال جهش به بیش از ۰/۲ تمامی محاسبات، مقدار بهینه یکسانی را نتیجه می‌دهند. شکل‌های (۳) و (۴) به ترتیب تغییرات زمان اجرای الگوریتم ژنتیک را برحسب مقادیر مختلف احتمال پیوند و میزان خرابی به ازای دو مقدار متفاوت احتمال پیوند نمایش می‌دهند. چنانچه مشاهده می‌شود زمان اجرای الگوریتم ژنتیک برحسب مقادیر مختلف احتمال پیوند نوسانی بوده و مقدار خرابی نسبت به روند رشد الگوریتم ژنتیک نزولی و پس از ۸

انتخاب تقریباً ثابت می ماند. به منظور تهیه داده های مسیر آلودگی و استفاده در الگوریتم ژنتیک، یک مدل تک ذره ای سه بعدی نیز در کار حاضر تولید و استفاده شده است.

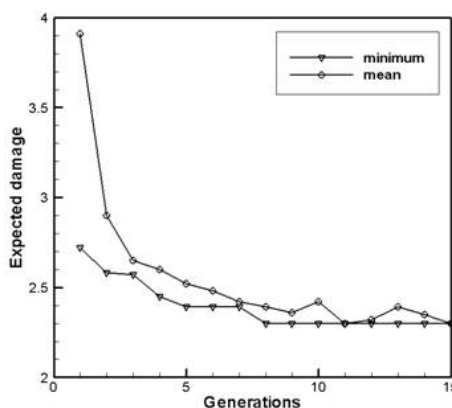
این مدل، شبیه سازی مسیر آلودگی تحت تاثیر انتشار، نفوذ و استهلاک لکه در حوزه خلیج فارس در نزدیکی جزیره کیش را مورد اعتبار سنجی قرار داده است. به تاثیرات میدان باد، اثرات جریان آب و جزر و مد در هنگام بررسی پدیده انتشار توجه شده و نیز تبخیر و امولسیون به عنوان پارامترهای غالب استهلاک لحاظ شده اند.



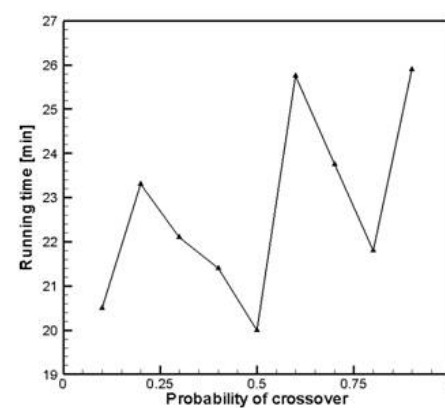
شکل ۲- حساسیت مقدار بهینه در اثر تغییر نرخ جهش



شکل ۱- حساسیت زمان اجرا در اثر تغییر نرخ جهش



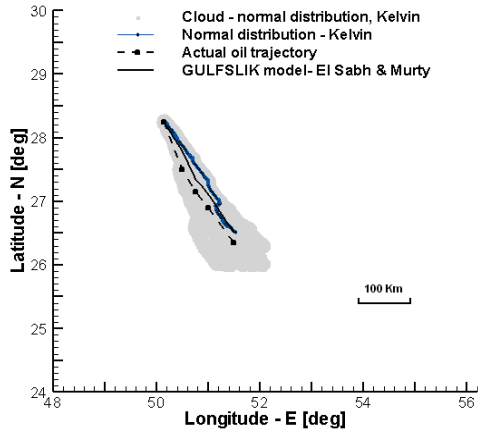
شکل ۴- تاثیر مقادیر مختلف نرخ پیوند بر میزان خرابی



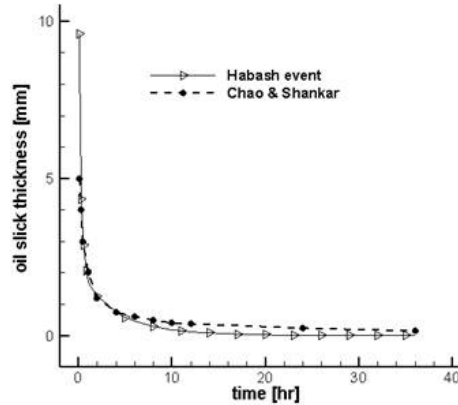
شکل ۳- حساسیت زمان اجرا در اثر تغییر نرخ پیوند

تولید پایگاه داده ها شامل اطلاعات مربوط به سرعت و جهت باد، مولفه های دامنه و فاز جزرومدی، ارتفاع متوسط آب و سرعت افقی جزر و مد و عمق مربوط به نقاط شبکه بندی خلیج فارس مورد نظر قرار گرفته اند. به منظور نمایش توانمندی مدل هیدرودینامیکی، ضخامت انتشار لکه آلودگی نفت در شکل (۵) آورده شده است. در این شکل مقایسه ضخامت لکه نفت برای ۳۶ ساعت با نتیجه مطالعات Chao نشان داده شده است. چنانچه مشاهده می شود، این محاسبات ضخامت آلودگی را بدلیل در نظر گرفتن عامل امولسیون علاوه بر تبخیر در کار حاضر کمتر از پژوهش های Chao پیش بینی مینماید. زیرا امولسیون باعث می شود آلودگی قبل از اینکه تبخیر شود به داخل ستون آب نفوذ نماید.

این مطالعه موردی برای چهار حادثه به نام های الاحمدی، البکر، حبش و نوروز که به منظور مقایسه، همزمان و در بدترین شرایط آب و هوایی خلیج فارس فرض گردیده‌اند انجام شده‌اند. شکل (۶) به مقایسه مسیر لکه نفت با داده های واقعی برای حادثه حبش می پردازد. اختلاف جزئی در نتایج بدلیل ساده سازی های انجام شده در هنگام حذف جملات غیرخطی در معادله ممنتوم در مدل هیدرودینامیکی جدید می باشد. این مدل از لحاظ سادگی و سرعت محاسباتی امکان انجام مطالعات موردی زیاد به منظور تهیه نقشه ریسک را میسر نموده است.



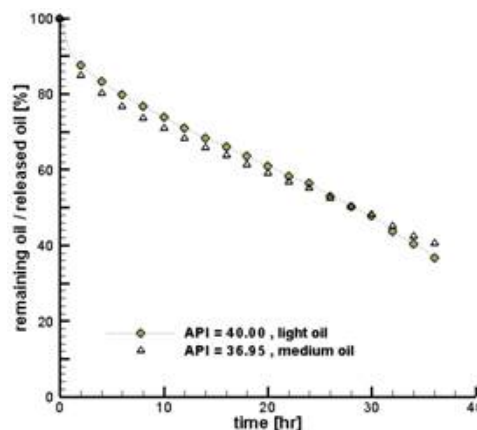
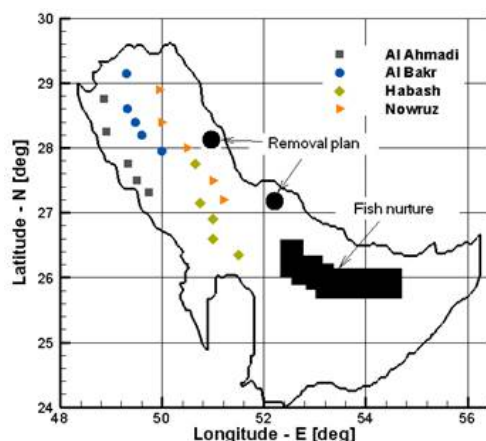
شکل ۶ - مقایسه مسیر لکه نفت برای حادثه حبش



شکل ۵ - مقایسه ضخامت انتشار لکه نفت با کار

دیگران

شکل (۷) مقدار نفت باقیمانده در طول ۱/۵ روز برای حادثه چاه نوروز که در خلیج فارس اتفاق افتاده را نمایش می دهد. در این شکل نتایج مربوط به دو نمونه نفت نیز مقایسه شده اند. چنانچه در این شکل نشان داده شده است، پس از ۱/۵ روز حدود ۶۳/۵ درصد از نفت رها شده به آلودگی هوا و آب منجر می گردد. حدود ۲۴/۷ درصد از نفت تبخیر، ۱۸/۸ درصد به امولسیون تبدیل و ۲۰٪ در داخل ستون آب نفوذ مینماید. شکل (۸) نتایج کیفی مطالعات ارزیابی ریسک را نشان می دهد. چنانچه نمایش داده شده است، دو مکان به نام های بوشهر و دیر از بین سایر مکانها بهترین مناطق برای مستقر نمودن چهار یدک کش حامل وسایل جمع آوری آلودگی پیش بینی شده اند. همچنین مساحتی به اندازه ۲ طول جغرافیایی و ۵ عرض جغرافیایی در نزدیکی جزایر سیری و ابوموسی جهت برپایی مزارع پرورش ماهی مناسب تشخیص داده شده است.



شکل ۷- تغییرات نفت سطحی باقیمانده برای دو نوع نفت  
شکل ۸- بررسی کیفی اثر آلودگی در ۴ مکان در خلیج فارس

### جمع بندی و نتیجه گیری

استفاده کاربردی از الگوریتم ژنتیک در مدلسازی بهینه نمودن محل استقرار یدک کش های پاکسازی نفت با کمک مدل های جانبی الگوی جریان، میدان باد و انتشار نفت مورد توجه قرار گرفته است. در واقع، این پیش بینی با ایجاد رابطه ای بین افزایش مساحت لکه و خرابی ناشی از آلودگی، به تعیین یک سناریوی جمع آوری لکه از روی آب منجر گردیده که می تواند در بخش مدیریت سواحل و بنادر به طور کاربردی استفاده گردد. توانایی استفاده از میدان باد و داده های میدانی به ایجاد سهولت در بهره برداری از این روش ساده و پر سرعت منجر شده است. همچنین سهولت و ارائه کاربردی مجموعه مدلسازی های انجام شده برای تهیه نقشه های ریسک در نواحی شمالی خلیج فارس از جنبه انتشار آلودگی نفتی با استفاده از الگوریتم ژنتیک بر اهمیت این پژوهش می افزاید.

### مراجع

- [1] Fogel, D. B., "Evolutionary Computation Toward a New Philosophy of Machine Intelligence", IEEE Press, Piscata Way, NJ. 3rd ed., (2006).
- [2] Holland, J. H., "Adaptation in Natural and Artificial Systems", University of Michigan Press, (1975).
- [3] Poli, R., Langdon, W. B., and Mcphee, N. F., "A Field Guide to Genetic Programming", ISBN, University of ESSEX, UK, 978-1-4092-0073-4, (2008).
- [4] Schmitt, L. M., "Theory of Genetic Algorithms", Theoretical Computer Science, Vol. 259, No. 1-2, pp. 1-61, (2001).
- [5] Schmitt, Lothar M., "Theory of Genetic Algorithms II: Models for Genetic Operators over the String-tensor Representation of Populations and Convergence to Global Optima for Arbitrary Fitness Function under Scaling", Theoretical Computer Sci., Vol. 310, No. 1-3, pp. 181-231, (2004).

- [6] Mackay, D., Paterson, S., and Trudel, k., "A Mathematical Model of Oil Spill Behavior", Environmental Protection Service, Fisheries and Environmental Canada, (1980).
- [7] Badri, M.A., and Azimian, A.R., "An Oil Spill Model Based on the Kelvin Wave Theory and Artificial Wind Field for the Persian Gulf", Indian Journal of Marine Sciences, Vol. 39, No. 2, pp. 165-181, (2010).
- [8] Badri, M.A., Wilders, P., and Azimian, A.R., "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, (2010).
- [9] Wojtaszek, K., "Application of Transport Model for Building Contingency Maps of Oil Spills on the North Sea", Master thesis, TUDELFT, The Netherlands, (2003).
- [10] Xie, H., Yapa, P.D. and Nakata, K., "Modeling Emulsification after an Oil Spill in the Sea", Journal of Marine Systems, Elsevier, Vol. 68, No. 3-4, pp. 489-506, (2007).

### فهرست نمادهای انگلیسی

|               |  |
|---------------|--|
| A             | : مساحت سطح ریزش نفت                   |
| $A_p$         | : پارامتر مقیاس                        |
| $C_p$         | : پارامتر اندازه                       |
| $C_0$         | : سرعت انتشار موج                      |
| $D_v$ و $D_h$ | : ضریب نفوذ افقی                       |
| $D(t)$        | : خرابی تا زمان $t$                    |
| $D(t_{stop})$ | : خرابی در انتهای عملیات تمیز کاری     |
| $Dist$        | : فاصله بین سلول و محل استقرار وسیله   |
| $f$           | : عامل کوریولیس                        |
| $g(A_p, C_p)$ | : اختلاف دو بردار احتمال میدان باد     |
| $K_1$         | : مولفه جزر ومد روزانه برای کره ماه    |
| $k_w$ و $k_t$ | : عامل جزر و مد و باد                  |
| $M_2$         | : مولفه جزر ومد نیمروزانه برای کره ماه |
| $O_1$         | : مولفه های روزانه برای کره ماه        |
| $Q_v$         | : ظرفیت تمیز کاری                      |
| $[R]_0^1$     | : عدد تصادفی با متوسط صفر و واریانس یک |
| $t_{stop}$    | : زمان توقف تمیز کاری                  |
| $U_x$         | : سرعت افقی انتشار در جهت X            |
| $U_y$         | : سرعت افقی انتشار در جهت Y            |



|   |               |
|---|---------------|
| : سرعت افقی جریان آب در اثر جزر و مد        | $U_{tide}$    |
| : سرعت باد در ۱۰ متری بالای سطح آب          | $U_{wind}$    |
| : حجم اولیه نفت ریخته شده                   | $V_0$         |
| : سرعت وسیله $i$ ام                         | $vess(i,1)$   |
| : ظرفیت تمیز کاری وسیله $i$ ام              | $vess(i,2)$   |
| : بردار موقعیت                              | $V(j)$        |
| : موقعیت اولیه لکه در راستای محور طول و عرض | $Y_0$ و $X_0$ |

### نمادهای یونانی

|  |             |
|--|-------------|
| : فاز مولفه جزر و مدی مربوطه در هر گره   | $\varphi_j$ |
| : ارتفاع موج کلومین                      | $\eta$      |
| : دامنه مولفه جزر و مدی مربوطه در هر گره | $\eta_{0j}$ |
| : فرکانس زاویه ای موج                    | $\sigma$    |
| : چگالی آب                               | $\rho_w$    |
| : چگالی نفت                              | $\rho_0$    |

**Abstract**

Limited resources and necessity of keeping this heritage for the future is being as an important point of view to minimize the environmental contaminants. In some regions, desalination plants are installed and fast cleaning procedures are of interest. One of the new optimization methods is Genetics Algorithm which is used to prepare pollution contingency maps. The optimization problem is related to minimum arrival time of vessels leading to minimum cleaning costs based on oil slick volume. By using the optimization model based on oil spill spreading and decay, optimization of the oil contaminant on the Persian Gulf and the characteristics of the vessels such as speed and cleaning capacity are being possible to present the qualitative results.