Archive of SID


# کاربرد الگوریتم ژنتیک ساده در طراحی بهینه الگوی مهاربندی

مهدی شفیعی فر [۱] ، آیدین رضوانی [۲]

۱- دانشیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس تهران
۲-کارشناس ارشد مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس تهران

## چکیده

در این مقاله، چگونگی توسعه یک برنامه به منظور بهینه سازی الگوی مهاربندی سازه های شناور، بر اساس استفاده از الگوریتم ژنتیک ساده یا نامقید ارائه گردیده است. توزیع خطوط مهار پیرامون سکو و کشش این خطوط، از جمله عواملی هستند که بطور مستقیم در پاسخ (حرکات) شناور - هنگامیکه در معرض شرایط محیطی همچون باد، موج و جریان های دریایی قرار می‌گیرد - مؤثر هستند. از اینرو، الگوریتم ژنتیک به جستجوی توزیع بهینه و کشش خطوط مهار، با هدف کمینه ساختن جابجایی های شناور می پردازد. در این مقاله، برای نخستین بار از تحلیل دینامیکی جهت تعیین پاسخ های سازه در روند بهینه سازی الگوی مهاربندی استفاده شده است. موج و باد بصورت طیفی تعریف شده و تحلیل در دامنه فرکانس انجام شده است. هدف از بهینه‌سازی، کمینه ساختن یک تابع هدف می باشد، که در اینجا به صورت مجموع مربعات جابجایی‌های شناور در شرایط محیطی مشخص، تعریف شده است. کمیت های بهینه‌سازی که در این مسأله مورد توجه قرار گرفته‌اند، عبارتند از موقعیت قرارگیری لنگرها، طول خطوط مهار و زاویه قرارگیری سکوی شناور نسبت به شرایط محیطی اعمال شده. همچنین، فرض بر این است که قطر خطوط مهار، جنس و مقاومت آنها ثابت بوده و بعلاوه بویه یا وزنه‌ای نیز به آنها متصل نمی باشد. ضمن توضیح در رابطه با برنامه الگوریتم ژنتیک توسعه یافته، کاربرد آن در یک مطالعه موردی و تحلیل کیفی نتایج بدست آمده، ارائه شده است.
**کلمات کلیدی:** الگوی مهاربندی، بهینه‌سازی، الگوریتم ژنتیک، سازه‌های شناور

# Simple Genetic Algorithm Application in Optimum Design of Mooring Patterns

## Abstract

In this paper, the procedure of developing an unconstrained Genetic Algorithm code to solve mooring pattern optimization problems for floating structures is described. How to spread mooring lines around the offshore structures and tension level of these lines are the factors that have direct effect on response or offset of floating units which experience environmental conditions such as waves, wind and current. A GA may be used to search optimum mooring pattern and the best tension of lines to minimize floating structures offset. In this work, dynamic analysis is used to estimate floating units responses in a mooring optimization problem. Waves and wind are defined by appropriate spectra and analysis is performed in frequency domain. The goal for optimization is to minimize the objective function which is the sum of squares of the floating unit's displacements for each set of environmental conditions. The considered variables of optimization are: position of anchors, line lengths and vessel heading relative to environmental conditions. Also size of mooring lines, and their material and strength are considered to be constant. It is assumed that all lines are from the same size and material and no buoy or counter weight is attached to the lines. To demonstrate the capability of the developed code, its application in a case study is presented and some conclusions are derived.
**Keywords:**Mooring pattern, Optimization, Genetic Algorithm, Floating Structures


www.SID.ir

Archive of SID


## ۱- مقدمه

نیاز روز افزون به نفت و مشتقات آن از یکسو و تخلیه مخازن موجود در خشکی و آب های کم عمق از سوی دیگر، سبب شده است تا انجام عملیات اکتشاف و بهره برداری در آبهای عمیق، به صورت جدی تری مورد توجه قرار گیرد. استفاده از سکوهای ثابت نوع شابلونی در آب های عمیق، غیراقتصادی بوده و حتی با افزایش عمق غیرعملی می‌گردد. در حوزه‌های نفتی کوچک نیز، استفاده از این نوع سکوها - مستقل از عمق آب - غیراقتصادی و پرهزینه است. بنابراین، بکارگیری سازه‌های شناور جهت اکتشاف و بهره‌برداری در آب های عمیق و همچنین حوزه‌های کوچک نفت و گاز در آب های کم‌عمق، ضروری به نظر می‌رسد. حرکات و و بارهای وارد بر سازه، نقش مهمی در عملکرد سکو داشته و معمولاً حرکات بیش از حد، مانع از ادامه عملیات مورد نظر می‌گردد. بنابراین در طراحی سازه های شناور، حداقل حرکت و حداکثر میل پابرجایی در حالت مورد نظر، از معیارهای اساسی می‌باشند. یکی از عوامل تأثیرگذار بر حرکات شناور - که در عین حال تأثیر چندانی نیز بر هزینه‌ها ندارد - نوع و الگوی مهاربندی آن است. زیرا با طراحی مناسب مهاربندی، می‌توان بدون ایجاد تغییرات در طرح شناور و تحمیل هزینه‌های زیاد به پروژه، دامنه حرکات آن را به اندازه مناسبی کاهش داد. با توجه به مطالب یاد شده، دستیابی به ابزاری که امکان ارزیابی طرح و در نتیجه، افزایش کارایی و کاهش هزینه‌ها را فراهم آورد، ضروری به نظر می رسد.

امروزه، استفاده از سکوهای شناور بسیار رایج شده است. تثبیت موقعیت این سازه ها در حین عملیات اکتشاف، حفاری یا تولید، اغلب توسط خطوط مهار[1] انجام می‌شود. این خطوط، سازه‌های انعطاف‌پذیری هستند که معمولاً از کابل فولادی، زنجیر و یا کابل های مصنوعی ساخته می شوند. توزیع این خطوط، یکی از عواملی است که مستقیماً بر روی جابجائی های سکو تأثیر می‌گذارد. بنابراین، تعیین الگوی مناسب مهاربندی از اهمیت ویژه ای برخوردار بوده و منجر به تعریف یک مسأله بهینه‌سازی می‌گردد. تابع هدف این مسأله، کمینه ساختن جابجائی های سکوی شناور است.

استفاده از الگوریتم ژنتیک به عنوان یک روش بهینه‌سازی جهت حل مسأله مذکور، مناسب به نظر می‌رسد. این الگوریتم، در واقع زیر مجموعه محاسبات تکاملی[2] بوده و از روشهای جستجوی ترکیبی - که بر پایه تئوری تکامل داروین و ژنتیک شکل گرفته‌اند - استفاده می‌کند.

به طور کلی، هنگامیکه جستجو جهت یافتن بهینه عمومی یک مسأله - به خصوص در مسائلی که دارای بهینه‌های محلی فراوانی هستند - با استفاده از روش های بهینه‌سازی معمول، از کارایی مناسبی برخوردار نباشد، استفاده از الگوریتم ژنتیک به عنوان یک جایگزین مناسب در بدست آوردن بهینه عمومی یک تابع هدف با متغیرهای زیاد، مطرح می‌گردد. اولین الگوریتم های ژنتیک در دهه ۱۹۶۰ توسعه یافتند. هالند[3] در کتاب جامع خود با نام تطابق در طبیعت و سیستم های مصنوعی که در سال ۱۹۷۵ به چاپ رسید، به مطالعه جستجوی تطبیقی[4] در هوش مصنوعی پرداخت و الگوریتم ژنتیک را به عنوان یک الگوریتم معتبر جستجو معرفی نمود [۱].

در تحقیق حاضر، از الگوریتم ژنتیک ساده استفاده شده است که در واقع، به معنی حل یک مسأله بهینه‌سازی نا مقید با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک می‌باشد. عملگرهای اصلی بکار رفته در این الگوریتم پیوند[5] و جهش[6] هستند.

## ۲- طراحی سیستم مهاربندی

عوامل متعددی در طراحی یک سیستم مهاربندی در نظر گرفته می‌شوند. به طور مثال نوع لنگرها، موقعیت لنگرها، مقاومت خطوط مهار، شرایط محیطی

[1] Mooring line

[2] Evolutionary Computation
3 Holland
[4] Adaptive Search
[5] Crossover
[6] Mutation


www.SID.ir

Archive of SID


مختلفی که سکوی شناور را تحت تأثیر قرار می‌دهند، شکل بستر دریا و مدت زمانی که سکوی شناور به صورت مهار شده در جای خود باقی خواهد ماند، از جمله این موارد می‌باشند. خطوط مهار، معمولاً از جنس‌های مختلفی ساخته می‌شوند که هر کدام، خصوصیات فیزیکی و مکانیکی متفاوتی دارند. این امکان نیز وجود دارد که بویه‌ها یا وزنه‌هایی به این خطوط متصل شوند، تا بر محدودیت هایی که از سوی سیستم مهاربندی تحمیل می‌گردد، فائق آیند. در تحقیق حاضر، هدف کمینه‌سازی پاسخ شناور با استفاده از بهینه‌سازی الگوی مهاربندی و کشش خطوط مهار می‌باشد. کمیت‌هایی که در این مسأله مورد توجه قرار گرفته‌اند عبارتند از: موقعیت قرارگیری لنگرها، طول خطوط مهار و زاویه قرارگیری سکوی شناور نسبت به شرایط محیطی اعمال شده. در واقع قطر خطوط مهار، جنس و مقاومت آنها ثابت در نظر گرفته شده و فرض بر این است که بویه یا وزنه‌ای نیز به آنها متصل نخواهد شد. تحلیل مهاربندی نیز با در نظر گرفتن حالت کتنری برای تمام خطوط انجام شده است. بنابراین، اگر سیستم مهاربندی دارای $n$ خط مهار باشد، تعداد کمیت های مسأله بهینه‌سازی $(3n+1)$ خواهد بود. ضریب سه، با توجه به سه عامل زاویه قرارگیری هر لنگر نسبت به شناور $(\beta)$، فاصله افقی هر لنگر تا چرخ لنگر متناظر روی شناور $(X)$ و طول هر خط مهار $(S)$، در این رابطه ظاهر شده است. به علاوه، عدد ثابت یک متناظر با زاویه قرارگیری شناور $(\theta)$ می‌باشد. در شکل (۱)، نمونه‌ای از یک سیستم مهاربندی کتنری[7] که در این تحقیق نیز مورد استفاده قرار گرفته است، مشاهده می شود.

## ۳- تعریف تابع هدف و فرمول‌نویسی مسأله بهینه‌سازی

هر سازه شناور دارای شش درجه آزادی می‌باشد، که عبارتند از : جابجایی طولی[8]، جابجایی عرضی[9]، جابجایی قائم[10]، غلتش عرضی[11]، غلتش طولی[12] و غلتش قائم[13]. در این میان، جابجایی طولی، جابجایی عرضی و غلتش قائم به پاسخ های افقی و بقیه درجات آزادی به پاسخ های عمودی معروف هستند.

سیستم مهاربندی تنها قادر به کنترل و کاهش پاسخهای افقی یک سکوی شناور می‌باشد و تأثیر عمده‌ای در پاسخهای عمودی آن ندارد. در حقیقت جهت کنترل پاسخهای عمودی شناور عامل تعیین‌کننده ابعاد و شکل بوده و به منظور کاهش این پاسخ ها باید به بهینه سازی هندسه سکو پرداخت. بنابراین، منظور از کمینه‌سازی پاسخ در این تحقیق، کاهش پاسخ های افقی بوده و از آنجائیکه دو درجه آزادی جا بجایی طولی و جا بجایی عرضی تأثیر عمده‌ای بر کارایی سکوهای شناور دارند ( در صورتیکه جابجایی های افقی سکو از حدی بیشتر شود، شناور دیگر قادر به ارائه فعالیت نیست) این حرکات انتقالی افقی به عنوان تابع هدف مسأله انتخاب شده و کمینه می‌شوند.

بنابراین، بهینه‌سازی الگوی مهاربندی به عنوان یک مسأله پیوسته نامقید، به صورت زیر بیان می‌شود:

$$Minimize: \sum_{i-1}^{m} \Delta_i^2(\alpha) = \sum_{i=1}^{m} \left[\Delta x_i^2(\alpha) + \Delta y_i^2(\alpha)\right] \quad (۱)$$

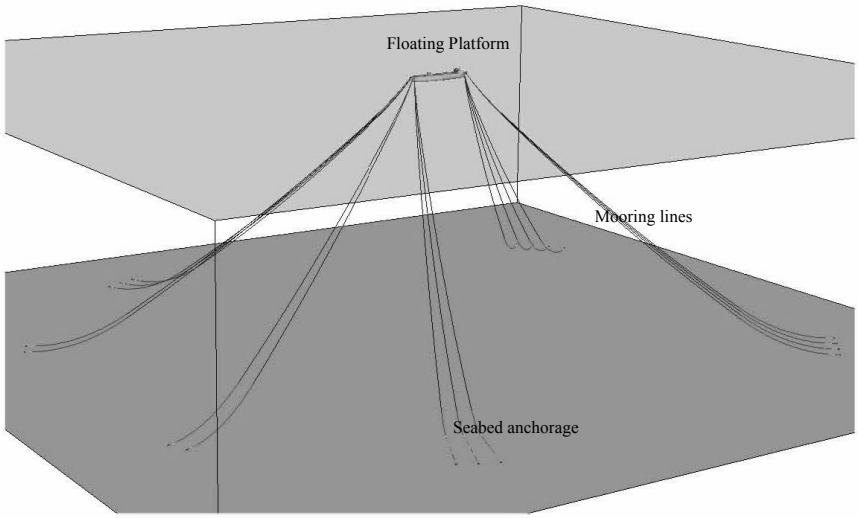
$$Subjected\ to: \alpha_{j\min} \le \alpha_j \le \alpha_{j\max} \quad j = 1,...,n \quad (۲)$$

در این روابط $\Delta_i(\alpha)$ بیانگر جابجایی سکوی شناور است و می‌تواند به مؤلفه های $\Delta x_i(\alpha)$ و $\Delta y_i(\alpha)$ که متناظر با پاسخهای sway و surge برای یک دسته مشخص از شرایط محیطی است تجزیه گردد. $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, ..., \alpha_n)$ بردار کمیت های بهینه‌سازی است. $n$ تعداد متغیرهای مستقل طراحی و $m$ تعداد دسته‌های شرایط محیطی - شامل باد، موج و جریان -

[7] Catenary
[8] Surge
[9] Sway
[10] Heave
[11] Roll
[12] Pitch
[13] Yaw


www.SID.ir

Archive of SID


**شکل ۱- نمایی از سیستم مهاربندی کتنری**

است که بر سازه اعمال می‌شود. همچنین، منظور از نام مساوی‌ها، قیود کمیت های متغیر است. روابط (۱) و (۲) یک مسأله بهینه‌سازی نامقید را تعریف می‌کنند. منظور از مسأله بهینه‌سازی نامقید آن است که به غیر از کمینه‌سازی تابع هدف - که در اینجا جابجایی های افقی شناور می باشد - شرایط کمیت های دیگر مانند نیروی عمودی لنگرها و ضریب اطمینان خطوط مهاری کنترل نمی‌گردد. قیود رابطه (۲) نیز، بیانگر دامنه تغییرات کمیت های بهینه‌سازی بوده و با اعمال این قیود نیز، مسأله حاضر تبدیل به یک مسأله بهینه‌سازی مقید نمی‌گردد.

هدف تحقیق حاضر، توسعه الگوریتمی است که بتواند با تنظیم کمیت های طراحی، جابجائی های افقی سکوی شناور را در معرض شرایط محیطی مختلف کمینه سازد. بر این اساس، نیاز به طراحی الگوی مهاربندی مناسب، به منظور کمینه ساختن پاسخ های $\Delta x$ و $\Delta y$ نمایش داده شده در شکل (۲) وجود دارد.

## ۴- الگوریتم ژنتیک

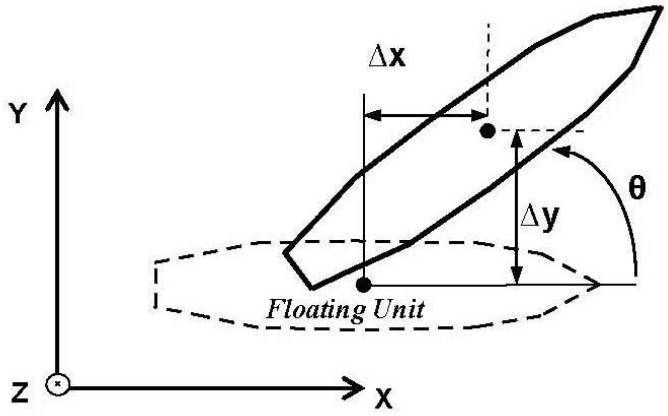
همانگونه که بیان گردید، ایده‌های اولیه استفاده از الگوریتم ژنتیک به دهه ۱۹۶۰ باز گشته و تاکنون، تحقیقات قابل ملاحظه‌ای در این زمینه صورت گرفته است. مفاهیم اصلی الگوریتمی را که در تحقیق حاضر توسعه داده شده است، می‌توان در کتاب هالند که براساس رویه تکامل طبیعی می‌باشد، یافت [۱].

تاکنون از الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌سازی مسائل مهندسی بسیاری استفاده شده است، در این میان می‌توان به کارهای وو و چو[14] [۲] و یه[15] [۳] در زمینه بهینه سازی خرپاها اشاره کرد. همچنین و راجیو و کریشناموسی[16] در مورد بهینه‌سازی سازه‌ها تحقیقات ارزشمندی انجام داده‌اند [۴]. در تمام این موارد، هدف بهینه‌سازی هندسه به منظور دستیابی به مقاومت بالاتر با وزن کمتر بوده است. در رابطه با استفاده از الگوریتم ژنتیک در کارهای دریایی می‌توان به مقاله بیرک[17] از دانشگاه برلین، که در زمینه بهینه‌سازی هندسه سکوهای نیمه مستغرق است، اشاره کرد [۵]. در مورد حل مسأله بهینه‌سازی مهاربندی سکوهای شناور نیز، فرایی و مروسکا[18] مقاله‌ای ارائه نمودند که طی آن الگوی مهاربندی و مقدار کشش خطوط مهاری با استفاده از روش های

[14] Wu and Chow
[15] Yeh
[16] Rajeev and Krishnamoorthy
[17] Birk
[18] Ferrai and Moroska


www.SID.ir

Archive of SID


**شکل ۲- پاسخ های افقی یک سکوی شناور**

معمول ریاضی بهینه شده است [۶]. بطور مثال، جهت بهینه‌سازی مقدار کشش خطوط مهار از مفهومی مشابه روش همگرایی نیوتن - رافسون استفاده شده است. مفرا[19] و همکارانش در سال ۲۰۰۱ برای نخستین بار مقاله‌ای در مورد استفاده از الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی مهاربندی ارائه کردند [۷]. از آنجائیکه کلیه نویسندگان مقاله از محققان رشته‌های کامپیوتر و الکترونیک بودند، تنها از نظر بهینه‌سازی به تحقیق پرداختند. با آنکه به علت فرضیات و ساده سازی های انجام شده در مورد مسأله مهاربندی کار آنها ارزش عملی ندارد، در انتهای مقاله نتیجه گرفته شده است که با اعمال تغییرات و ادامه تحقیق می‌توان جواب های بسیار مناسبی جهت حل مسأله بهینه‌سازی مهاربندی سکوهای دریایی با استفاده از الگوریتم ژنتیک گرفت. بدین ترتیب، الگوریتم ژنتیک به عنوان یک ابزار مناسب در این زمینه معرفی گردید.

الگوریتم ژنتیک، مکانیزم جستجوی بسیار قدرتمندی را در فضاهای طراحی پیچیده و ناپیوسته در اختیار می گذارد، که بهینه‌سازی با روشهای معمول حساب دیفرانسیل و انتگرال در آنها بسیار مشکل و یا حتی غیر ممکن است. به طور کلی عبارت « الگوریتم ژنتیک » اشاره به هر مدل جمعیتی دارد که از عملگرهای مختلفی مانند انتخاب، پیوند و جهش، جهت استنتاج و حل مسأله استفاده می‌کند. در الگوریتم ژنتیک ابتدایی و ساده، هر عضو می‌تواند یک رشته از اعداد حقیقی یا دو دویی باشد و معمولاً با نام کروموزوم یا ژنوتایپ[20] شناخته می‌شود. اصول الگوریتم ژنتیک ساده بوده و بر اساس تئوری تکامل داروین استوار است. اصل انتخاب، به اعضاء شایسته‌تر برتری می‌دهد تا شانس بقاء بیشتری داشته باشند. در نتیجه، اعضاء یاد شده از شانس بیشتری جهت حضور در مرحله بازتولید یا تولید نسل های بعدی برخوردار خواهند بود. بنابراین، عضوی با فرزندان بیشتر، شانس بیشتری جهت نگه‌داشتن و انتقال رمزهای ژنتیک خود به نسل های بعدی دارد. این رمزها، هویت هر عضو بوده و در کروموزومها نمایش داده می‌شوند.

خصوصیات مهم الگوریتم ژنتیک را می توان به صورت زیر بیان نمود [۸]. این الگوریتم، به جای کار بر روی متغیرها، در فضای رمزگذاری شده متغیرهای طراحی یا همان ژنوتایپ ها کار می‌کنند. الگوریتم ژنتیک بر اساس استفاده از نقاط جستجوی چندگانه همزمان کار نموده و از اینرو، احتمال گرفتار شدن در کمینه‌های محلی کاهش می یابد. بدین ترتیب، این امکان فراهم می آید که بدون داشتن اطلاعات گسترده از یک مسأله طراحی مشخص، آن مسأله بهینه شود. همچنین الگوریتم ژنتیک از قوانین انتقال تصادفی به جای روش های معین استفاده می‌کند. موارد یاد شده،

[19] Maffra

[20] Genotype


www.SID.ir

Archive of SID


الگوریتم ژنتیک را قادر نموده است، تا در مسائل متنوع و گوناگون، به صورت مؤثری بکار برده شود.
یه در سال ۱۹۹۹، مراحل اصلی اجرای الگوریتم ژنتیک را به ترتیب ذیل پیشنهاد نمود [۴]:
- **مرحله دوم**، باز تولید[21] نام دارد. در این مرحله، از نسلی از اعضاء - براساس مقادیر شایستگی که بوسیله تابع هدف معین گردیده است - جمعیت جدیدی تولید می‌شود.
- **مرحله دوم**، باز ترکیب[22] می‌باشد. در این مرحله نسل جدید ایجاد می‌گردد. عملگرهای پیوند و جهش به اعضاءی که به صورت تصادفی، از یک نسل انتخاب شده‌اند اعمال می‌گردند. پیوند، عملگری است که مسئول ایجاد اعضاء شایسته‌تر بوسیله تعویض و جابجایی ژنتیکی می‌باشد. انواع مختلفی از این عملگر، پیوند تک نقطه‌ای (1X) ، پیوند دو نقطه‌ای (2X)، پیوند سه نقطه‌ای (3X) و پیوند یکنواخت می‌باشند. عملگر جهش در مرحله باز ترکیب سبب ایجاد یک کروموزوم جدید بوسیله تغییر ارزش ژنها در یک کپی از کروموزوم اصلی می‌گردد. این عملگر وظیفه تضمین پراکندگی اعضاء و جلوگیری از شناسایی یک بهینه محلی به عنوان پاسخ مسأله را بر عهده دارد.
- **مرحله سوم**، جایگزینی[23] است. در این مرحله، جمعیت جدید جایگزین جمعیت موجود می‌گردد. روند ایجاد جمعیت جدید از جمعیت موجود، توسط رویه تکامل کنترل می‌گردد. در نهایت معیار همگرایی باید ارضاء شود و در غیر این صورت مرحله اول دوباره تکرار می‌گردد.

## ۵- روند حل مسأله بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

در این بخش، ویژگی‌های اصلی الگوریتم پیشنهادی و روند حل مسأله بهینه‌سازی به همراه جزئیات انجام کار شرح داده شده است.

### ۵-۱- رمز گذاری متغیرهای طراحی

راههای مختلفی جهت نمایش متغیرهای طراحی وجود دارد. برخی از این راه ها نمایش بوسیله رشته‌های اعداد دو دویی، نمایش با اعداد اعشاری و لیست های تبدیلی می‌باشد. در این تحقیق، متغیرهای طراحی یا کروموزوم ها با استفاده از رشته‌های اعداد دو دویی با طول ثابت تعریف شده‌اند. این کروموزوم‌ها از الفبای دو دویی (ترکیبی از ۰ و ۱) جهت ساختن یک رشته بلند از ارقام ۰ و ۱ با طول ثابت تشکیل شده‌اند. بدین ترتیب، هر کروموزوم معرف (در بر گیرنده) کلیه متغیرهای طراحی خواهد بود.

### ۵-۲- رمز گشایی

جهت بدست آوردن مقادیر حقیقی متغیرهای طراحی در بازه مورد نظر، هر کروموزوم باید رمزگشایی شود. به عنوان مثال کروموزوم

C = {b7 b6…b2 b1b0 a7 a6…a1 a0}

را در نظر بگیرید. در ابتدا مقدار اعشاری متعلق به رشته که باالمانهای " b " مشخص شده است محاسبه می‌گردد.

$$x_{decimal} = \sum_{i=0}^{m-1} b_i \times 2^i \qquad (۳)$$

سپس مقدار حقیقی متغیر طراحی به شکل زیر محاسبه می‌شود.

$$x = x_{\min} + x_{decimal} \times \frac{x_{\max} - x_{\min}}{2^{\lambda} - 1} \qquad (۴)$$

که در رابطه فوق $x_{\min}$ و $x_{\max}$ به ترتیب مرزهای بالایی و پایینی قیود مسأله هستند و $\lambda$ طول رشته دودویی می‌باشد.

### ۵-۳- محاسبه تغییر مکان شناور

جهت محاسبه تغییر مکان شناور از نرم‌افزار MIMOSA از بسته نرم‌افزاری SESAM استفاده شده است [۱۰]. تحلیل انجام شده دینامیکی بوده و از روش حل در دامنه فرکانس استفاده شده است. در تحقیق حاضر، برای اولین بار جهت محاسبه پاسخ های

[21] Reproduction
[22] Recombination
[23] Replacement


www.SID.ir

Archive of SID


شناور در یک مسأله بهینه‌سازی مهاربندی تحلیل دینامیکی بکار برده شده است. طیف انتخاب شده جهت محاسبه نیروی ناشی از امواج، طیف جانسواپ[۲۴] بوده و جهت تعریف مؤلفه متغیر با زمان باد طیف پیشنهادی API مورد استفاده قرار گرفته است [۱۱].
در ابتدا، برای شناور مهار شده موقعیت تعادل[۲۵] محاسبه می‌گردد. در موقعیت تعادل، نیروهای تثبیت موقعیت، نیروی استاتیکی و لنگر ناشی از شرایط محیطی را خنثی می نمایند. این امکان نیز وجود دارد که یک شناور، بیش از یک موقعیت تعادل داشته باشد و همچنین، موقعیت تعادل الزاماً از لحاظ دینامیکی پایدار نباشد. نرم‌افزار MIMOSA موقعیت تعادل را با حل عددی معادله زیر محاسبه می‌کند.

$$F_{Mo}\left(\Delta x, \Delta y, \theta\right) + F_{Cu}\left(\theta\right) + F_{Wi}\left(\theta\right) + F_{Wa}\left(\theta\right) = 0 \qquad (۵)$$

در رابطه (۵)، $\Delta x$ و $\Delta y$ بیانگر موقعیت مرکز جرم شناور، $\theta$ زاویه قرارگیری شناور، $F_{Mo}$ نیروی مهاربندی، $F_{Cu}$ نیروی جریان، $F_{Wi}$ نیروی باد و $F_{Wa}$ نیروی موج می‌باشند.
نتیجه حل معادله فوق، موقعیت تعادل استاتیکی شناور خواهد بود که در بر گیرنده پاسخ های افقی شناور نسبت به شرایط محیطی می باشد. با توجه به اینکه شناور با هر الگوی مهاربندی، یک موقعیت تعادل متناظر دارد و نظر به اهمیت بسیار بالای زاویه قرارگیری در میزان بارگذاری سازه، جهت محاسبه پاسخ های شناور ناشی از اعمال شرایط محیطی، ابتدا برای هر الگوی مهاربندی پیشنهادی، موقعیت تعادل محاسبه گردیده است. سپس با توجه به زاویه قرارگیری بدست آمده ($\theta$) متناظر با موقعیت تعادل استاتیکی) بارگذاری انجام شده و پاسخ سکو محاسبه می‌گردد.
همانگونه که پیشتر نیز اشاره گردید، در محاسبه پاسخ های شناور در تحقیق حاضر، تنها درجات آزادی جابجایی طولی و جابجایی عرضی مورد توجه قرار گرفته اند. بعلاوه، تحلیل از نوع دینامیکی بوده و نیروهای موج، باد و جریان به عنوان شرایط محیطی اعمال شده اند. پاسخ های شناور از دو بخش اصلی فرکانس بالا[۲۶] یا فرکانس موج و فرکانس پایین[۲۷] تشکیل شده است. پاسخ فرکانس بالا، در دامنه فرکانس امواج قابل محاسبه است. پاسخ فرکانس پایین نیز، که در واقع حرکات افقی سازه شناور می‌باشد، با حل معادله خطی زیر محاسبه می‌شود.

$$M\,\ddot{x}_{LF} + C\,\dot{x}_{LF} + K\,x_{LF} = F_{LF} \qquad (۶)$$

در رابطه فوق، $x_{LF}$ بردار جابجایی فرکانس پایین، $\dot{x}_{LF}$ بردار سرعت فرکانس پایین، $\ddot{x}_{LF}$ بردار شتاب فرکانس پایین و $F_{LF}$ بردار نیروی فرکانس پایین هستند. $M$، $C$ و $K$ نیز به ترتیب ماتریس های جرم، میرایی و سختی سکو می‌باشند.
پس از محاسبه پاسخ های حدی[۲۸] و عمده[۲۹] شناور در فرکانس های بالا و پایین، با استفاده از رابطه (۷) حداکثر پاسخ شناور محاسبه می‌شود:

$$x^{tot} = \max\left(x^{LF}_{Sign} + x^{HF}_{ext}\,,\, x^{HF}_{Sign} + x^{LF}_{ext}\right) \qquad (۷)$$

در رابطه فوق $x^{LF}_{Sign}$ و $x^{HF}_{Sign}$ متناظر با مقادیر جابجایی عمده در فرکانس های پایین و بالا می‌باشند. همچنین، $x^{LF}_{Sign}$ و $x^{HF}_{Sign}$ متناظر با مقادیر جابجایی حدی در فرکانس های پایین و بالا می‌باشند.
در تحقیق حاضر، هدف کمینه ساختن $x^{tot}$ می‌باشد که معرف حداکثر جابجایی شناور در درجات آزادی جابجایی طولی و جابجایی عرضی است. در واقع مقدار $x^{tot}$ برای درجه آزادی جابجایی طولی برابر $\Delta x$ و برای درجه آزادی جابجایی عرضی برابر $\Delta y$ می‌باشد که در رابطه (۱) آمده است.

[24] JONSWAP
[25] Equilibrium Position
[26] High Frequency
[27] Low Frequency
[28] Extreme Response
[29] Significant Response


www.SID.ir

Archive of SID


### ۴-۵- تابع شایستگی

شایستگی[30] کیفیتی است که امکان بازتولید اعضاء یک نسل را - با توجه به اصل بقاء شایسته‌ترین عضو - محاسبه می‌کند. این بدان معناست که کروموزومی با مقدار شایستگی بیشتر، از شانس بالاتری جهت انتخاب شدن به عنوان والدین[31] در روند بازتولید برخوردار خواهد بود. بنابراین، مسأله کمینه‌سازی به یک مسأله بیشینه‌سازی تابع شایستگی تبدیل می گردد. جهت انجام این کار از روابط زیر استفاده می‌شود:

$$F_i = 1 - \frac{\varphi_i}{\varphi_{\max}}$$
$$\varphi = \frac{\Delta_i^2}{\Delta_{avg}^2} \qquad (۸)$$

در روابط فوق $\Delta_i^2$ تابع هدف تعریف شده مطابق رابطه (۱) می‌باشد. همچنین $\Delta_{avg}^2$، متوسط مقادیر تابع هدف در یک نسل است. تابع شایستگی جهت جلوگیری از ایجاد مقادیر منفی نرمال‌سازی شده است.

### ۵-۵- انتخاب

در روند انتخاب، برخی از کروموزوم ها به عنوان والدین انتخاب می‌شوند تا فرزندانی جهت نسل بعدی تولید کنند. این انتخاب، بستگی به مقادیر شایستگی کروموزم ها دارد. در تحقیق حاضر جهت انتخاب از روش چرخ گردان[32] استفاده شده است. اگرچه روش های دیگری مثل رتبه‌بندی[33] و یا مسابقه[34] نیز قابل استفاده می باشند، اما روش چرخ‌گردان به علت عملکرد بهتر در الگوریتم پیشنهادی به عنوان روش انتخاب برگزیده شده است.

### ۶-۵- عملگر پیوند

عملگر استاندارد پیوند، پیوند ساده یا پیوند تک نقطه‌ای است. پیوند تک نقطه، منجر به پراکندگی زیاد در پاسخ ها شده و به همین دلیل، در تحقیق حاضر استفاده نشده است. در پیوند ساده، یک نقطه قطع به صورت تصادفی در طول رشته انتخاب می‌گردد. سپس دو کروموزوم انتخاب شده به عنوان والدین، قسمتی از اطلاعات ژنتیکی خود را حول نقطه قطع به منظور ایجاد فرزندان جدید با یکدیگر تعویض می‌کنند. برای مثال رشته‌های « ۰۰۰۰۰۰ » و « ۱۱۱۱۱۱ » را در نظر بگیرید و فرض نمایید که نقطه قطع انتخاب شده، نقطه سه است. فرزندان جدید « ۰۰۰۱۱۱ » و « ۱۱۱۰۰۰ » خواهند بود. در پیوند دونقطه‌ای، دو نقطه قطع انتخاب شده و سپس جابجایی صورت می‌گیرد. برای مثال، برای همان والدین قبلی و با انتخاب نقاط قطع دو و چهار، فرزندانی به شکل « ۰۰۱۱۰۰ » و « ۱۱۰۰۱۱ » بوجود خواهند آمد. همانگونه که مشاهده می شود، پیوند دو نقطه ای - در مقایسه با پیوند تک نقطه ای - در رشته‌های با طول های زیاد، سبب پراکندگی کمتری در اعضاء می‌گردد، چون کروموزوم والدین با دستخوردگی کمتری مواجه می شود. عملگر پیوند با احتمال مشخصی ( $Pc$ ) به اعضاء انتخاب شده اعمال می‌گردد. در تحقیق حاضر $Pc = 0.7$ است. به بیان دیگر، عملگر پیوند به صورت تصادفی به ۷۰٪ از اعضاء انتخاب شده جهت بازتولید اعمال می‌گردد. بعلاوه، از پیوند دو نقطه‌ای جهت بازتولید و ایجاد اعضاء (نسل) جدید استفاده شده است.

### ۷- ۵ - عملگر جهش

در نمایش دودویی کروموزوم‌ها، عملگر جهش بیت های یک کروموزوم را از ۱ به ۰ و یا بالعکس، تبدیل می‌کند. احتمال جهش، ( $P_m$ )، باید با دقت زیادی تعیین گردد. طبق تحقیقات انجام گرفته، اگر مقدار $P_m$ کوچک باشد، معمولاً الگوریتم گرفتار یک بهینه محلی شده و اگر مقدار بزرگی را اختیار کند، الگوریتم تبدیل به یک روش جستجوی تصادفی

[30] Fitness
[31] Parents
[32] Roulette wheel
[33] Ranking
[34] Tournament


www.SID.ir

Archive of SID


غیرهوشمند می‌گردد. معمولاً مقدار پیشنهادی برای احتمال جهش، $0.1\% < P_m < 1\%$ می‌باشد. جهش، علاوه بر جلوگیری از همگرایی زودرس، منجر به آغاز مجدد روند تکاملی در اعضاءی که ظاهراً به جواب بهینه عمومی رسیده‌اند، می‌گردد. در مقاله حاضر $P_m = 0.01$ در نظر گرفته شده است. به بیان دیگر، عملگر جهش به صورت تصادفی بر 1 ٪ از اعضاء انتخاب شده جهت بازتولید اعمال می‌شود.

### ۸-۵- گپ نسل الگوریتم

گپ[35] بیانگر درصد جمعیتی است که در هر نسل جایگزین می‌گردد. در الگوریتم های ژنتیک معمولی، اغلب این پارامتر برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود. بدین معنی که تمام اعضاء هر جمعیت توسط اعضاء جدید جایگزین می‌گردند. این راهبرد به علت نیاز به تعداد زیاد تکرار در روند حل مسأله و ارزیابی تابع هدف، ممکن است سبب ایجاد مشکل محاسباتی و طولانی شدن روند بهینه‌سازی گردد. بعلاوه، این امکان نیز وجود دارد که اعضاء شایسته و با ارزش ژنتیک از دست بروند. جهت جلوگیری از این مشکل، استفاده از گپ ( $G$ ) پیشنهاد می‌گردد. در تحقیق حاضر $G=0.9$ در نظر گرفته شده است. بدین ترتیب، ۱۰٪ از بهترین اعضاء هر نسل بصورت مستقیم جهت مرحله بازتولید انتخاب شده و در نتیجه، تأثیر بهترین اعضاء هر نسل در نسل بعدی تضمین می شود.

## ۶- دستورالعمل محاسباتی

گام های اصلی الگوریتم ژنتیک پیشنهادی به قرار زیر است:

۱- شروع

- مشخص کردن پارامترهای اولیه از قبیل درصد احتمال عملگرهای پیوند، جهش و غیره...

۲- رده بندی

- نسل یا جمعیت اولیه به صورت تصادفی ایجاد می‌گردد.
- مقادیر شایستگی هر عضو، به کمک نرم‌افزار MIMOSA و پس از تحلیل دینامیکی سیستم مهاربندی، تعیین می‌گردد.

۳- بازتولید

- به اندازه $(1-G)\%$ از بهترین اعضاء نسل قبلی بطور مستقیم جهت مرحله بازتولید انتخاب می‌گردند.
- دیگر اعضاء مرحله بازتولید، براساس روش چرخ گردان، انتخاب می‌شوند.
- اعمال عملگر پیوند.
- اعمال عملگر جهش.

۴- ارزیابی

- کروموزوم های اعضاء نسل جدید رمزگشایی می‌گردند.
- مقدار شایستگی این کروموزوم ها به کمک نرم‌افزار MIMOSA و پس از تحلیل دینامیکی سیستم مهاربندی، تعیین می‌گردد.

۵- ارضاء معیار همگرایی

- پس از محاسبه معیار همگرایی، اگر این معیار ارضاء گردد، باید به مرحله ۶ رفت و در غیر این صورت، باید به مرحله ۳ بازگشت.

۶ - گزارش شایسته‌ترین عضو

۷- پایان

در کلیه تحقیقات قبلی انجام شده در مورد بهینه‌سازی الگوی های مهاربندی، از تحلیل استاتیکی یا شبه استاتیکی جهت تخمین پاسخ های شناور استفاده شده است. با توجه به روش های بهینه‌سازی سنتی بکار رفته در تحقیقات یاد شده، بکارگیری روش های دینامیکی جهت محاسبه پاسخ های شناور بسیار دشوار به نظر می رسد. لذا در تحقیق حاضر، با توسعه برنامه ای بر اساس الگوریتم ژنتیک، و مرتبط ساختن آن با نرم‌افزار توانمند MIMOSA، امکان بهینه‌سازی الگوی مهاربندی جهت کاهش پاسخ های دینامیکی شناور به گونه مناسبی فراهم آمده است.

[35] Gap


www.SID.ir

Archive of SID


## ۷- مطالعه موردی

با توسعه برنامه الگوریتم ژنتیک در زبان برنامه‌نویسی MATLAB جهت حل مسأله بهینه‌سازی الگوی مهاربندی و ایجاد ارتباط خودکار میان برنامه و نرم‌افزار تحلیل مهاربندی MIMOSA، یک مسأله مشخص مورد بررسی قرار گرفته است. جمعیت هر نسل برابر ۵۰ عضو، احتمال پیوند و جهش ژنتیک به ترتیب ۰/۷ و ۰/۰۱ ، گپ برابر ۰/۸ در نظر گرفته شده است. در نهایت، معیار همگرایی یا خاتمه روند بهینه‌یابی، تولید ۲۰۰۰ نسل در نظر گرفته شده است.

مسأله انتخاب شده جهت حل، بهینه‌سازی مهاربندی یک سکوی FPSO می باشد. این سکو با شرایط دریای شمال طراحی شده است. طول این سکو ۲۰۰ متر و عرض آن ۳۴ متر می‌باشد. همچنین تعداد خطوط مهاری این سکو ۱۰ عدد است که ۶ خط آن در جلو و بقیه در عقب شناور قرار دارند. نیروهای محیطی وارد بر سکو، مطابق با شرایط یکساله دریای خزر و به صورت تک جهته، با استفاده از آئین نامه DNV استخراج شده است [۱۲]. همچنین، عمق آب در نقطه مورد نظر برابر ۴۰۰ متر در نظر گرفته شده است. شرایط محیطی اعمال شده به شرح زیر است:

ارتفاع موج: $۷\ m$

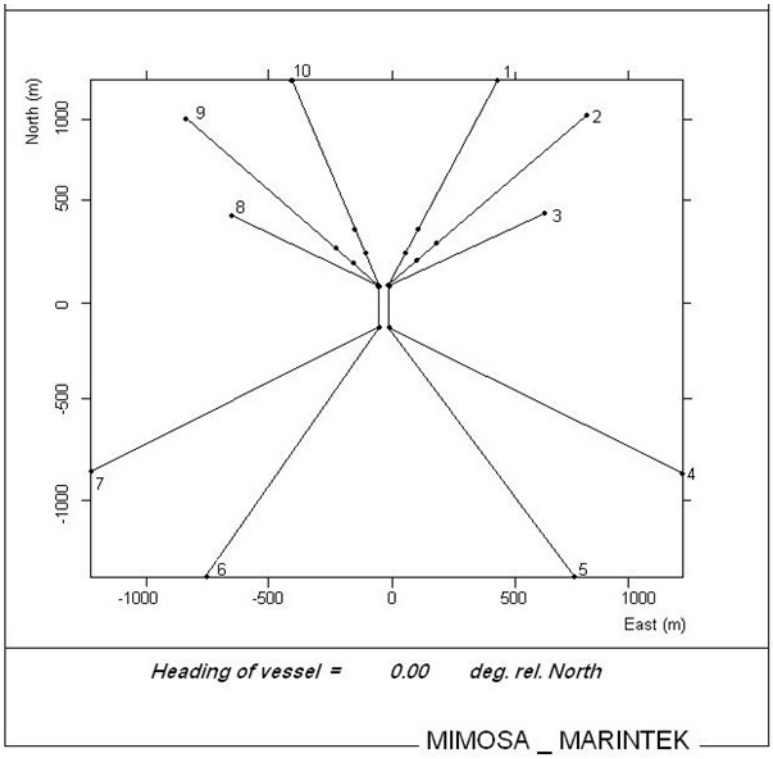
پریود موج: $۹/۴\ s$

سرعت باد: $۲۲\ m/s$

سرعت جریان: $۰/۸۶\ m/s$

هدف از انتخاب شرایط محیطی شدید و تک جهته فوق آن است که، برای یک جهت مشخص از شرایط محیطی (در اینجا موج، باد و جریان به سمت شمال) شکل بهینه مهاربندی به منظور کاهش پاسخ های شناور قابل پیش بینی بوده و با مقایسه آن با الگوی مهاربندی حاصل از حل مسأله بهینه‌سازی، می توان به ارزیابی کیفی از الگوریتم پرداخت.

شکل (۳)، سکوی مورد نظر با ۱۰ خط مهاری را نشان می‌دهد. تمام خطوط از یک جنس زنجیر با قطر $۰/۱۰۱۶\ m$ می‌باشند. این ۱۰ خط به ۴ دسته تقسیم شده‌اند، که در جدول (۱) ارائه گردیده است.




**شکل ۳- نمای الگوی مهاربندی کتنری حول یک سکوی FPSO شامل ۱۰خط مهار**


www.SID.ir

Archive of SID


جدول ۱ - مشخصات خطوط مهاری

| گروه | خطوط | محدوده زاویه قرارگیری خط ( درجه) | محدوده قرارگیری لنگر نسبت به Fairlead درصفحه افقی (متر) |
|---|---|---|---|
| ۱ | ۱،۲،۳ | ۰ تا ۹۰ | ۱۰۰ تا ۱۶۰۰ |
| ۲ | ۴،۵ | ۹۰ تا ۱۸۰ | ۱۰۰ تا ۱۶۰۰ |
| ۳ | ۶،۷ | ۱۸۰ تا ۲۷۰ | ۱۰۰ تا ۱۶۰۰ |
| ۴ | ۸،۹،۱۰ | ۲۷۰ تا ۳۶۰ | ۱۰۰ تا ۱۶۰۰ |

متغیرهای بهینه سازی شامل زاویه قرار گیری شناور و طول خط مهار می باشند. زاویه قرار گیری محدوده ای از ۰تا ۳۶۰ درجه دارد، ولی طول خط مهار متغیری مستقل نبوده و برای هر خط بستگی به موقعیت قرارگیری لنگر دارد. طول خط از عوامل بسیار تأثیرگذار در مهاربندی بوده و کشش هریک از خطوط و در نتیجه نیروی بازگرداننده آنها را تعیین می کند.

پاسخ بدست آمده به عنوان الگوی بهینه مهاربندی، با اعمال شرایط محیطی یکساله دریای خزر با جهت شمال ( زاویه صفر درجه )، در شکل (۴) ترسیم شده است. این پاسخ در عضو ۴۳ از نسل ۱۳۱۵ الگوریتم پیشنهادی بدست آمده است.

همانطور که از شکل (۴) و جدول (۲) مشخص است، آرایش خطوط مهاری به صورتی بهینه شده است که کلیه خطوط، در امتداد بارهای وارده قرار دارند. همچنین، از آنجائیکه شرایط محیطی اعمال شده همگی از سمت جنوب و به سوی شمال هستند، شش خط از ده خط مهاری در امتداد جنوب قرار گرفته‌اند تا موجب افزایش سختی سکو در این امتداد و در نتیجه کاهش پاسخ شناور شوند. مطالعه موردی انجام شده، تنها به منظور صحت‌سنجی کیفی برنامه توسعه یافته صورت گرفته و در صورت در اختیار داشتن مشخصات هیدرودینامیکی هر سکوی شناور و با اعمال شرایط محیطی در جهات مختلف، می توان الگوی بهینه مهاربندی را بدست آورد.

پس از بهینه‌سازی الگوی مهاربندی، پاسخ شناور در درجه آزادی جابجایی طولی برابر $2/9\,m$ و درجه آزادی جابجایی عرضی برابر $0/14\,m$ بوده است. در نتیجه مقدار پاسخ افقی کل شناور حدود $2/9\,m$ می‌باشد. با توجه به عمق ۴۰۰ متری دریا در نقطه مورد نظر و شرایط شدید محیطی، این پاسخ در حدود ۰/۷٪ عمق آب بوده و بنابراین، کاملاً مناسب به نظر می‌رسد. این در حالیست که اعمال شرایط محیطی مشابه به سکوی ترسیم شده در شکل (۳)، پاسخ $27/3\,m$ در درجه آزادی جابجایی طولی و $0/63\,m$ در درجه آزادی جابجایی عرضی و جابجایی کل در حدود ۶/۸ ٪ عمق را بدنبال خواهد داشت.

## ۸- نتیجه گیری

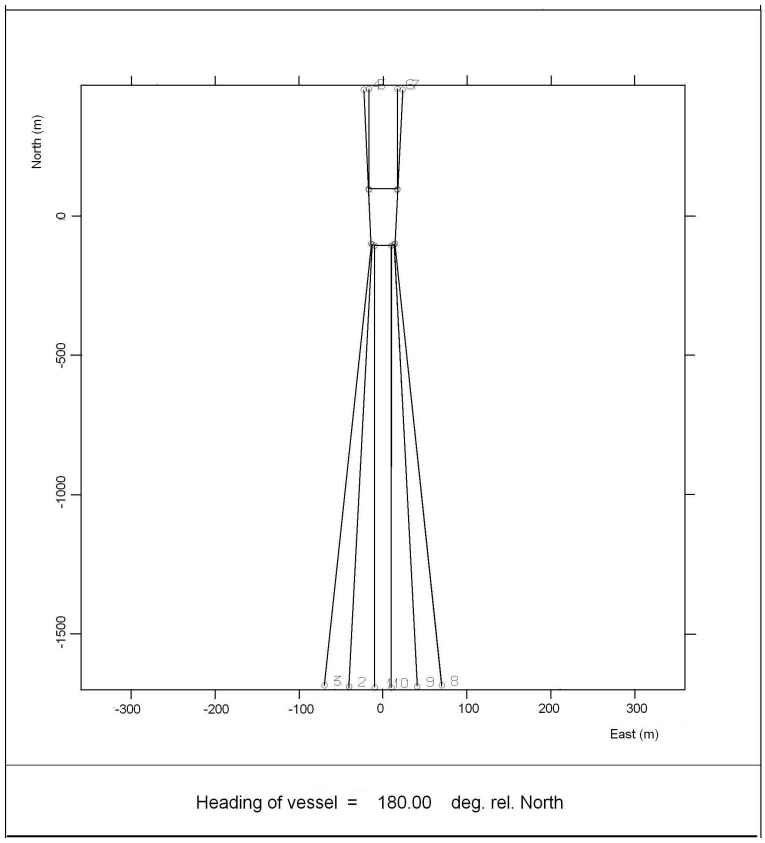
جهت حل مسأله بهینه‌سازی الگوی مهاربندی سکوهای شناور، یک برنامه الگوریتم ژنتیک توسعه یافته است. الگوریتم پیشنهادی دارای عملکرد بسیار مناسبی بوده و در مثال حل شده و نتایج جدول ۲ کاملاً مشهود است. زاویه قرارگیری محل سکو به صورتی است که کمترین سطح بادگیر یا موجگیر را داشته باشد، زیرا قسمت جلوی شناور در مقابل نیروهای محیطی اعمال شده قرار گرفته است. خطوط نیز تماماً در جهت نیروهای اعمال شده قرار گرفته‌اند. همچنین این خطوط تا حد امکان در حالت کشیده قرار دارند، تا نیروی بازگرداننده بیشتری بوجود آورده و با افزایش سختی سازه در امتداد مورد نظر سبب کاهش پاسخ های شناور شوند. می توان جهت تحقیقات بعدی، عوامل تأثیرگذار دیگری مانند جنس و قطر خطوط مهار را به متغیرهای مهاربندی افزود. بعلاوه، باید توجه داشت که این مسأله بصورت نامقید حل شده و تأثیر عواملی مانند حداکثر کشش مجاز خطوط یا حداکثر نیروی عمودی وارد بر لنگر، در نظر گرفته نشده است. لذا اعمال این قیود و توسعه یک برنامه الگوریتم ژنتیک مقید از زمینه‌های مناسب جهت ادامه تحقیق حاضر بشمار می‌رود.


www.SID.ir

Archive of SID


**جدول ۲- مقدار متغیرهای بدست آمده در حل مسأله بهینه سازی الگوری مهار بندی در شرایط محیطی تک جهته**

| متغیر بهینه سازی | زاویه (درجه) | فاصله قرارگیری لنگر نسبت به Fairlead در صفحه افقی (متر) | طول خط مهار (متر) |
|---|---|---|---|
| زاویه قرار گیری شناور | ۱۸۰ | --- | -- |
| خط مهار ۱ | ۰ | ۱۵۹۲ | ۱۶۴۴ |
| خط مهار ۲ | ۱ | ۱۵۹۲ | ۱۶۴۴ |
| خط مهار ۳ | ۲ | ۱۵۹۲ | ۱۶۴۴ |
| خط مهار ۴ | ۱۷۹ | ۳۵۳ | ۵۲۲ |
| خط مهار ۵ | ۱۸۰ | ۳۵۳ | ۵۲۲ |
| خط مهار ۶ | ۱۸۰ | ۳۵۳ | ۵۲۲ |
| خط مهار ۷ | ۱۸۱ | ۳۵۳ | ۵۲۲ |
| خط مهار ۸ | ۳۵۸ | ۱۵۹۲ | ۱۶۴۴ |
| خط مهار ۹ | ۳۵۹ | ۱۵۹۲ | ۱۶۴۴ |
| خط مهار ۱۰ | ۳۶۰ | ۱۵۹۲ | ۱۶۴۴ |




**شکل ۴- نمای الگوی مهاربندی بهینه شده برای شرایط محیطی تک جهته به سمت شمال**


www.SID.ir

Archive of SID


## ۹- مراجع

1-Holland, J. (1975) “Adaptation in Natural and Artificial Systems” University of Michigan Press, Ann Arbor.

2-Wu, S.J. And Chow, P.T. (1995) “Steady-State Genetic Algorithms for Discrete Optimization of Trusses” Computers & Structures Vol. 56, No.6, 979-991.

4-Yeh, I.C. (1999) “Hybrid Genetic Algorithms for Optimization of Truss Structures” Computer–Aided Civil and Infrastructure Engineering 14, 199-206.

5-Rajeev, S. and Krishnamoorthy, C.S. (1997) “Discrete Optimization of Structures using Genetic Algorithms”.

6-Birk, L. and Clause F. (1993) “Minimizing the Motions and Forces of Large Offshore Structures” OMAE-93-421.

7-Ferrai Jr. and Moroska. C, (1994) “Optimization and Automation of the semi-submersible Platforms Mooring Design” OMAE, Volume J, Offshore Technology, ASME.

8-Maffra. S, and Pacheco. C, and Menezes. I. (2001) “Genetic Algorithm Optimization for Mooring Systems” Artigo Conference.

9-Goldberg, D. (1989) “Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning” Addison-Wesley, Reading, MA.

10-MIMOSA-User's Documentation (April 2004) “MIMOSA Version 5.6”.

11-American Petroleum Institute, (1997). "Recommended Practice for Design and Analysis of Stationkeeping Systems for Floating Structures." API.

12- Det Norske Veritas. (20070, "Environmental Conditions and Environmental Loads", DNV-RP-C205 October 2007.


www.SID.ir