



سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.



سازمان بنادر و دریانوردی





نهمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی
ICOPMAS 2010
 10-8 آذر ماه (تهران)



استفاده از سیستم استنتاج فازی در بهینه سازی الگوی مهاربندی سازه های شناور

وحید سلماسی، کارشناس ارشد، دانشگاه تبریز، v_salmasi@yahoo.com

محمدعلی لطف الهی یقین، دانشیار، دانشگاه تبریز، a_lotfolahi@yahoo.com

کلیدواژه: بهینه سازی، الگوی مهاربندی، سیستم استنتاج فازی

1. مقدمه

در میان مؤلفه های یک واحد شناور، سیستم مهاربندی اهمیت ویژه ای دارد. برای طراحی سیستم های مهاربندی نیز پارامترهای مختلفی وجود دارد؛ نظیر نوع آنکورها، مقاومت خط مهاربندی، الگوی بستر، شرایط محیطی و مدت زمانی که واحد شناور، مهار شده باقی خواهد ماند. از این رو برای تعریف سیستم مهاربندی بهینه، یعنی سیستمی که منجر به تغییر مکان های مینیمم واحد شناور شود جوانب متعددی می بایستی در نظر گرفته شود. در این پژوهش الگوی سیستم مهاربندی که تغییر مکان های سازه را مینیمم نماید به عنوان پارامتر بهینه سازی مورد توجه قرار می گیرد. موضوع حاضر، در برخی تحقیقات اخیر بصورت یک مسأله بهینه سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک مورد توجه قرار گرفته است (نظیر [1] و [2]). در برخی پژوهش های مشابه (نظیر [3]) بهینه سازی رایزرها با استفاده از الگوریتم ترکیبی فازی-ژنتیک مد نظر قرار گرفته است. همچنین در تحقیقات بسیاری، بهینه سازی سازه ها با توجه به جوانب مختلف طراحی با استفاده از منطق فازی بررسی شده است ([4] و [5]). لیکن در این تحقیق با استفاده از منطق فازی، الگویی بهینه برای سیستم مهاربندی شناور در مجموعه ای از شرایط محیطی نامتقارن بدست می آید که منجر به تثبیت بهتر و کاهش تغییر مکان های سیستم شناور می گردد. در یک بررسی برای بهینه سازی الگوی مهاربندی با استفاده از الگوریتم ژنتیک، الگوی مهاربندی بهینه بصورت یک مسأله بهینه سازی نامقید بصورت روابط 1 و 2 بیان گردیده است [1]:

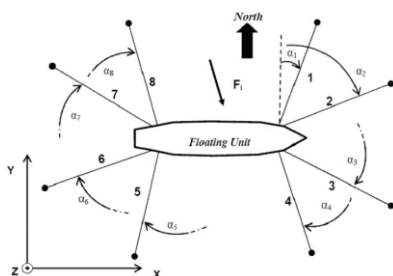
(1)

$$\sum_{i=1}^m \Delta_i^2(\alpha) = \sum_{i=1}^m [\Delta x_i^2(\alpha) + \Delta y_i^2(\alpha)]$$

(2)

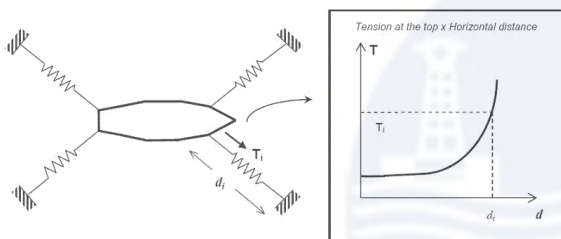
$$\alpha_{i_{\min}} \leq \alpha_i \leq \alpha_{i_{\max}} \quad i = 1, \dots, n$$

بطوریکه $\Delta_i(\alpha)$ جابجائی واحد شناور است (که به دو مؤلفه $\Delta x_i(\alpha)$ ، $\Delta y_i(\alpha)$ تجزیه می شود). برای یک مجموعه داده شده از شرایط محیطی، $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n)$ برداری است که متغیرهای طراحی (یعنی زاویه هر خط مهاربندی) را بیان می کند. n تعداد متغیرهای طراحی مستقل است. m تعداد مجموعه شرایط محیطی است و نامساوی های نشان داده شده در رابطه 2 قیدهای جانبی است. معادلات 1 و 2 یک نمونه مسأله بهینه سازی نامقید را ارائه می دهند. در شکل 1 یک واحد شناور مهار شده توسط 8 خط مهاربندی و نحوه توزیع آنها (α_i) نشان داده شده است.



شکل 1. مدلی از سیستم مهاربندی با 8 خط [1]

مجموعه نیروهای محیطی شامل امواج، باد و جریانات دریایی است که می‌تواند به نیروی استاتیکی معادل خارجی (F_i) تبدیل شود که بر روی واحد شناور عمل می‌کند. در این پژوهش واحد شناور در 8 جهت در معرض مجموعه شرایط محیطی قرار می‌گیرد که مطابق با روش خطی با هم ترکیب می‌شوند، یعنی تحت اثر جریانات، بادها و امواج که به طور هم زمان در جهت یکسان عمل می‌کنند قرار می‌گیرد. هنگام محاسبه جابجائی‌های واحد، خطوط مهاربندی به عنوان فنرهای غیرخطی در نظر گرفته می‌شوند که نیروهای نگهدارنده را بر واحد اعمال می‌کنند (شکل 2). چنین نیروهایی به عنوان تابعی از فاصله افقی مابین آنکور و نقطه اتصال در بالای خط بیان می‌شوند که از طریق منحنی‌های نیروی نگهدارنده هر خط مهاربندی با استفاده از معادله کانتاری محاسبه می‌شوند.



شکل 2. مدلی از خطوط مهاربندی با استفاده از فنرهای غیر خطی [1]

عموماً برای سیستم خطوط مهاربندی نیروی بازگرداننده می‌تواند با استفاده از چند جمله‌ای‌هایی بصورت تابع تغییر مکان تقریب زده شود. چنانچه نیروی بازگرداننده با $q(v)$ که v تغییر مکان شناور است نشان داده شود، چند جمله‌ای با مراتب فرد به فرم رابطه 3 پیشنهاد شده است [6]:

$$(3)$$

$$q(v) = c_1 v + c_3 v^3$$

که در این رابطه ضرایب C_1 و C_3 با توجه به هندسه شناور و مهاربندها، شرایط محیطی و غیره تعیین می‌شود. به عبارت دیگر بسته به مطالعه موردی مشخص، ضرایب این چند جمله‌ای تعیین می‌شوند. مؤلفان دیگر روابط و تقریب‌های مختلفی، نظیر روابط 4 و 5 پیشنهاد کرده‌اند (به ترتیب منابع [7] و [8]):

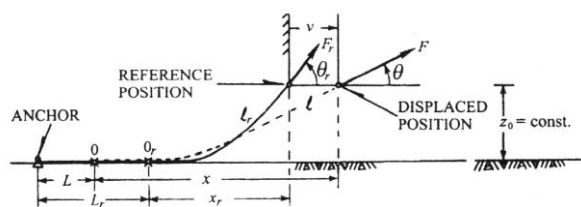
$$q(v) = c_1 v + c_2 v^2 + c_3 v^3 \quad (4)$$

$$q(v) = c_1 v + c_3 v^3 + c_5 v^5 \quad (5)$$

در پژوهشی دیگر برای بهینه‌سازی الگوی مهاربندی با استفاده از الگوریتم ژنتیک، تابع هدف مسأله توسط قید غیرخطی که به ضرایب اطمینان خطوط مهاربندی برمی‌گردد، مقید گردیده است [2]. با اعمال این قید یک مسأله الگوریتم ژنتیک مقید شده حاصل شده است.

2. سیستم مهاربندی

شناورهای تک بدنه و سکوه‌های نیمه مستغرق غالباً توسط سیستم‌های کانتاری گسترده مهاربندی می‌شوند که اتصال خطوط به شناور در محل‌های مختلف بر روی بدنه شناور انجام می‌شود. بطور رایج زنجیرهای فولادی و طناب‌های سیمی برای مهاربندی سکوه‌های شناور استفاده می‌شوند. خطوط مهاربندی گسترده برای عمل تثبیت شناور نیروی بازگرداننده غیرخطی تولید می‌کنند. این نیرو با افزایش جابجایی افقی شناور افزایش یافته و با نیروهای محیطی شبه استاتیکی که بر سکو عمل می‌کنند تعادل برقرار می‌نماید [9]. سازه شناور شکل 3، توسط کابل کانتاری منفرد، مقید شده است.



شکل 3. کابل منفرد متصل به یک واحد شناور [6]

حرکت سکو، با v نشان داده شده است و نیروی بازگرداننده کابل منفرد نشان داده شده در شکل در راستای تغییر مکان v ، $q(v)$ می‌باشد. برای حالت تعادل استاتیکی ($v=0$)، مبدأ مختصات کابل در نقطه O می‌باشد و طول افقی، طول معلق، و طول تصویر شده افقی به ترتیب l_r ، L_r و x_r می‌باشند و نیروی کششی در زاویه θ_r در بالاترین نقطه اتصال F_r می‌باشد. چون طول کابل غیر قابل افزایش فرض شده است و فاصله بین آنکور و مبدأ مختصات جابجایی سکو (L)، ثابت باقی می‌ماند، با انجام مقدراری محاسبات، جابجایی سکو با استفاده از رابطه 6 بدست می‌آید.

(6)

$$v = l_r - x_r + x - l$$

رفتار کلی سیستم می‌تواند با انجام آنالیز استاتیکی سیستم مهاربندی گسترده ارزیابی شود. این آنالیز با استفاده از معادلات پایه‌ای که از معادله اساسی کاتناری استخراج می‌گردد انجام می‌شود (معادلات 7 و 8).

$$l = \left(\frac{F_x}{w}\right) \sinh\left(\frac{wx}{F_x}\right) \quad (7)$$

(8)

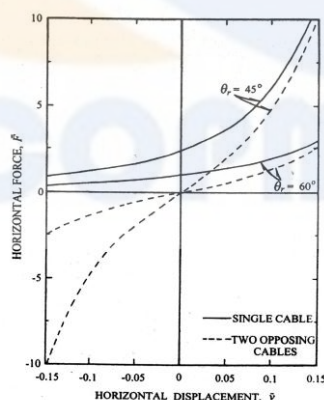
$$z_0 = \left(\frac{F_x}{w}\right) \left[\cosh\left(\frac{wx}{F_x}\right) - 1 \right]$$

که w وزن واحد طول خط کاتناری می‌باشد و $F_x = F \cos \theta$ نیروی بازگرداننده یک کابل منفرد نیز عبارت خواهد بود از:

(9)

$$q(v) = F_x = F_x(v)$$

برای یک مطالعه موردی [6] نتایج عددی برای 60° و 45° درجه در شکل 4 نشان داده شده است، که در آن خطوط توپر که مربوط به رفتار استاتیکی یک خط منفرد می‌باشد مورد توجه قرار خواهد گرفت (نیرو و تغییر مکان افقی در دیاگرام بدون بعد گردیده اند).



شکل 4. رفتار استاتیکی یک کابل منفرد و دو کابل متقابل در یک واحد شناور [6]

چنانچه مؤلفه ثابت نیروی محیطی ناشی از باد، جریان و موج (F_v)، محور قائم دیاگرام و مؤلفه استاتیکی برآیند جابجایی شناور (v)، از محور افقی بدست آید، شیب منحنی نیرو، سختی $C(v)$ معادل سیستم مهاربندی را در جهت مربوطه برای استفاده در معادله‌ای به فرم رابطه 10 بدست می‌دهد.

$$F_v = C(v).v$$

که در آن مختصات v درجه آزادی افقی است (Sway یا Surge). F_v نیرو بوده و همچنین سختی ناشی از هیدرواستاتیک شناور صفر می-باشد. مکانیسم‌های بارگذاری گوناگونی بر واحد شناور مهار شده عمل می‌کنند. نیروهای ناشی از جریان‌ها، باد و نیروی موج به عنوان نیروهای محیطی وارد بر شناور در نظر گرفته می‌شوند. یک شناور شش درجه آزادی دارد که سیستم مهاربندی فقط قادر به کنترل پاسخ‌های افقی شناور می‌باشد.

3. سیستم‌های قاعده-بنیاد فازی

منطق فازی با مفهوم مجموعه فازی آغاز می‌شود. برخلاف مجموعه‌های کلاسیک، درجه عضویت المان‌ها به مجموعه فازی الزاماً صفر و یک نبوده بلکه عددی بین صفر و یک می‌باشد. به تابعی که میزان درجه عضویت المان‌های مختلف را به یک مجموعه نشان دهد، تابع عضویت می‌گویند که مقدار فازی بودن یک مجموعه فازی را مشخص می‌کند. برای نشان دادن تابع عضویت فازی از حرف μ استفاده می‌شود. کاربرد تئوری مجموعه‌های فازی در مسایل تصمیم‌گیری یکی از مهمترین کاربردهای این تئوری در مقایسه با تئوری مجموعه‌های کلاسیک می‌باشد [10] و [11].

منطق فازی سعی می‌کند قواعد و قوانین موجود در یک سیستم را که در قالب عبارت‌ها و متغیرهای زبانی بیان می‌گردد به صورت سیستم‌های فازی مدل‌سازی نماید. چنین سیستم‌هایی به سیستم‌های قاعده بنیاد فازی معروف می‌باشند و کاربردهای زیادی در مسایل مهندسی دارند. این سیستم‌ها از عبارت‌های زبانی برای ارائه ارتباط بین ورودی‌ها و خروجی‌های مشاهده‌ای یک سیستم استفاده می‌نمایند. عبارت‌های زبانی ذاتاً به گونه‌ای می‌باشند که می‌توانند به وسیله مجموعه‌های فازی بیان گردند. رایج‌ترین شکل ارائه عبارت‌های زبانی برای بیان دانش و معلومات بشری، استفاده از عبارت‌های شرطی به صورت قواعد اگر-آن گاه می‌باشد. سیستم استنتاج فازی بر اساس قواعد اگر-آن گاه بنا نهاده شده است، به طوری که با استفاده از قواعد مزبور می‌توان ارتباط بین تعدادی متغیر ورودی و خروجی را به دست آورد [12]. مراحل ساختن سیستم استنتاج فازی (FIS) به ترتیب عبارتست از:

- تعیین یک سیستم قاعده-بنیاد فازی بر اساس داده‌های مشاهده‌ای
- فازی سازی بخش مقدم و تالی با استفاده از توابع عضویت مشاهده‌ای
- ترکیب قسمت‌های مختلف بخش مقدم هر یک از قواعد و به دنبال آن تعیین شدت و میزان قاعده مزبور در خروجی نهایی سیستم
- ترکیب بخش تالی قواعد، جهت به دست آوردن خروجی نهایی سیستم در قالب یک مجموعه فازی
- تبدیل خروجی نهایی سیستم به یک عدد کلاسیک با استفاده از روش‌های غیر فازی ساز (در صورتی که نیاز باشد خروجی سیستم در قالب یک عدد کلاسیک بیان گردد). در بسیاری از کاربردهای منطق فازی در مسایل مهندسی نظیر سیستم‌های استنتاج، لازم است که نتایج فازی به شکل کلاسیک بیان گردند.

4. مطالعه موردی

برای بررسی مسأله، واحدی شناور در آب عمیق به عنوان مطالعه موردی در نظر گرفته خواهد شد که تحت بارهای محیطی ناشی از جریان‌ها، باد و موج بر اساس مشخصات شرایط محیطی مطابق با جدول 1 قرار می‌گیرد. برای تثبیت موقعیت این شناور از 10 خط مهاربندی استفاده شده است. بارگذاری محیطی بر اساس مشخصات شرایط محیطی مندرج در جدول 1 محاسبه و بر واحد شناور اعمال خواهد شد. مشخصات شرایط محیطی از مرجع [2] برگرفته شده است که در آن به منظور محاسبه نیروی موج از طیف JONSWAP برای شرایط دریای خزر استفاده شده است. در این مطالعه برای مهاربندی شناور از طناب سیمی و زنجیر به قطر $\varphi = 120\text{mm}$ و وزن واحد طول معادل با $w = 2.4580\text{ kN/m} = 250.6\text{ kg/m}$ استفاده شده است.

جدول 1. مشخصات شرایط محیطی [2]

No.	Angle (deg)	Wave Height (m)	Wave Period (s)	Wind Speed (m/s)	Current Speed on Water Surface (m/s)
1	0	7	9.4	22	0.86
2	45	6.5	8.5	20.5	0.80
3	90	6.2	8.3	19.6	0.77

		5.4	7.2	17	0.67
5	180	4.9	6.7	15.5	0.61
6	225	5.5	7.3	17.3	0.68
7	270	5.4	8	18.7	0.73
8	315	6.7	9	21	0.82

فرض بر این است که کلیه قسمت‌های سیستم مهاربندی در مقابل بارهای وارده کفایت می‌کنند و با فرض کفایت کلیه بخشها، الگوی مهاربندی به عنوان موضوع بهینه سازی مورد توجه قرار خواهد گرفت. همچنین برای یافتن الگوی بهینه جهت طراحی خطوط مهاری، آنالیز استاتیکی با استفاده از حداکثر مقدار نیروهای ناشی از شرایط محیطی انجام خواهد شد. موضوع بهینه سازی مهاربندی شناور عموماً در شناورهای حفاری به منظور کاهش تغییر مکان‌های واحد شناور مورد توجه قرار می‌گیرد. زیرا در شناورهای مورد استفاده برای مقاصد حفاری، تغییر مکان‌های بیش از حد واحد شناور در سطح آب ممکن است منجر به خرابی تسهیلات حفاری بخصوص ستون‌های حفاری گردد.

4-1. تابع هدف مسأله

هدف، بهینه کردن طراحی سیستم مهاربندی به منظور مینیمم نمودن پاسخ‌های Sway و Surge شناور می‌باشد. Sway و Surge به ترتیب جابجایی‌های طولی و عرضی سازه شناور می‌باشند. اگر این دو جابجایی شناور از میزان معینی تجاوز نماید، فعالیت‌های طبیعی سکو (حفاری و تولید) مختل خواهد شد. این بدان معنی است که جابجایی‌های افقی شناور تأثیر قابل توجهی بر روی کارایی سازه‌های شناور فراساحل خواهد داشت. بنابراین مینیمم ساختن جابجایی‌های افقی شناور به عنوان تابع هدف مسأله بهینه سازی در نظر گرفته می‌شود و به صورت روابط 11 و 12 تعریف می‌شود.

(11)

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^m \Delta_i^2(\alpha) = \sum_{i=1}^m [\Delta x_i^2(\alpha) + \Delta y_i^2(\alpha)]$$

(12)

$$\alpha_{i_{\min}} \leq \alpha_i \leq \alpha_{i_{\max}} \quad i = 1, \dots, n$$

که در آن m تعداد شرایط محیطی اثر کننده بر واحد شناور، n تعداد متغیرهای طراحی یا زوایای خطوط مهاربندی و α زاویه هر یک از خطوط مهاربندی می‌باشد. در رابطه 11، Δ_i تغییر مکان واحد شناور در اثر هر یک از شرایط محیطی اثر کننده می‌باشد که Δx_i و Δy_i مؤلفه‌های این تغییر مکان در راستای x و y هستند که به ترتیب Sway و Surge شناور مورد مطالعه خواهند بود. نامساوی‌های نشان داده شده در رابطه 12 نیز بیانگر قیدهای جانبی است.

4-2. نیروی موج

با محاسبه طول موج و ضریب تفرق، با توجه به دیاگرام‌های ارائه شده در مراجع مختلف، مسأله محاسبه نیروی موج در محدوده اعتبار معادله موریسون بوده و نیروی در راستای امواج برای واحد طول قائم سازه با استفاده از معادله موریسون (رابطه 13) محاسبه می‌شود.

(13)

$$f = C_M \rho \frac{\pi D^2}{4} \dot{u} + C_D \rho \frac{D}{2} |u| u$$

D قطر سازه، f نیروی افقی در واحد طول، ρ چگالی آب دریا و u سرعت افقی ذره آب می‌باشد. ثوابت تجربی C_M و C_D ضرایب هیدرودینامیکی می‌باشند که به ترتیب ضریب دراگ و ضریب اینرسی نامیده می‌شوند. u نیز نشانگر شتاب می‌باشد. بر مبنای شرایط موجود، تئوری موج مناسب تئوری استوکس مرتبه دو انتخاب می‌شود و u و \dot{u} بر این اساس، بصورت توابعی از زمان بدست می‌آیند. معادله موریسون نیروی وارد بر شناور را بصورت جمع دو نیروی اینرسی و دراگ که به ترتیب تابع شتاب و سرعت ذرات آب می‌باشند، بدست می‌دهد. پس از محاسبه سرعت و شتاب بصورت توابع زمان، ماکزیمم نیروی ناشی از موج، برای هر 8 جهت اعمال نیروهای محیطی محاسبه می‌گردد.

4-3. نیروی جریان

جریان نیروی دراگ ثابتی را بر سازه واقع در جهت جریان وارد می‌کند (رابطه 15).

$$f = \frac{1}{2} \rho C_D A U^2 \quad (14)$$

که در آن ρ چگالی آب دریا، A مساحت سطحی از سازه که قائم بر جریان قرار گرفته است، U سرعت یکنواخت جریان و C_D ضریب دراگ است.

4-4. نیروی باد

اثر باد روی سازه فوقانی، یعنی بخشی از سازه دریایی که بالای سطح آب قرار گرفته است، بصورت یک نیروی میانگین بیان می‌شود. این نیرو توسط رابطه‌ای مشابه با رابطه نیروی ناشی از جریان، لیکن با ضریب دراگ باد به صورت رابطه 16 بیان می‌شود.

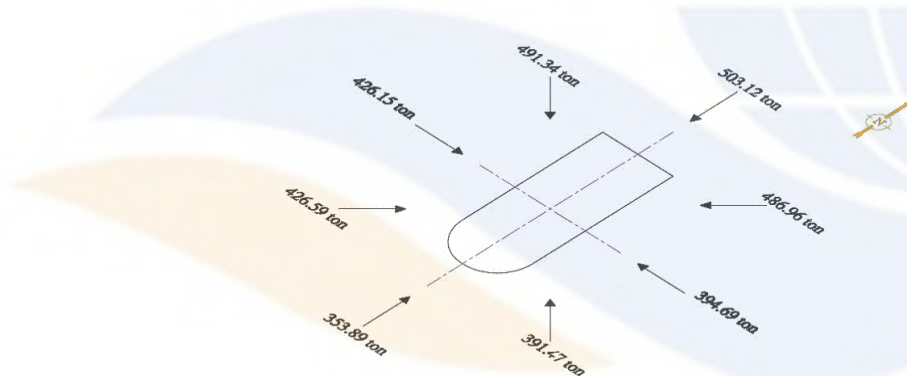
(15)

$$f = \frac{1}{2} \rho C_D A U_w^2$$

به طوری که: ρ چگالی هوا، A مساحت سطحی از سازه که قائم بر جریان باد قرار گرفته است، U_w سرعت متوسط باد است که عموماً در تراز 10 متری از سطح آب اندازه‌گیری می‌شود و C_D ضریب دراگ باد می‌باشد.

4-5. نیروهای محیطی وارد بر شناور

طبق روش جمع آثار نیروهای ناشی از شرایط محیطی که بر روی یک خط عمل می‌کنند، فرض می‌شود که هر سه نیروی موج، جریان و باد هم‌زمان و در یک جهت بر واحد شناور اعمال می‌شوند. نیروهای محیطی وارد بر شناور بصورت گرافیکی در شکل 5 نمایش داده شده است. تفاوت نیروهای وارد بر واحد شناور در جهت‌های مختلف که ناشی از تفاوت شرایط محیطی در زوایای مختلف می‌باشد، دلالت بر عدم تقارن شرایط محیطی دارد. اگرچه آرایش متقارن خطوط مهاربندی از لحاظ طراحی ساده‌ترین روش است؛ لیکن ممکن است به لحاظ عملکرد، حالت ایتیمم نباشد. سودمند است که خطوط مهاربندی در جهت برقراری تعادل با این نیروها جهت دهی شوند تا شناور به نحو مناسبتری تثبیت گردد.



شکل 5. نیروی کل وارد بر شناور در جهات مختلف

4-6. سختی خطوط

با استفاده از معادلات 6 تا 10 سختی هر یک از خطوط قابل محاسبه است. با معلوم بودن مشخصات فیزیکی و هندسی خط، نظیر وزن خط در واحد طول، طول معلق خط و طول تصویر شده افقی خط، دیاگرامی نظیر شکل 4 برای هر یک از خطوط بدست می‌آید. از دیاگرام به دست آمده برای مدل‌سازی نرم‌افزاری رفتار خطوط و محاسبه میزان جابجایی کلی شناور با استفاده از نرم‌افزار SAP 2000 استفاده شده است. در این پژوهش بدین لحاظ که خود زوایای خطوط مهاربندی پارامترهای بهینه‌سازی یا متغیرهای طراحی می‌باشند، بیان قواعد، نسبت‌ها و روابط موجود در سیستم در قالب عبارت‌ها و متغیرهای زبانی و مدل‌سازی سیستم با استفاده از سیستم استنتاج فازی بسیار سودمند و کارساز خواهد بود. در این مرحله پیش از پرداختن به توابع عضویت و سیستم استنتاج فازی، تناسبی بین زاویه مابین خطوط مهاربندی و جهت بارگذاری با مجموع سختی ایجاد شده برقرار می‌گردد.

برای سهولت در مدل کردن سختی فنرهای غیر خطی و بیان رابطه بین نیرو و تغییر مکان، از تقریب با توابع چند جمله‌ای استفاده می‌شود. منحنی سختی - جابجایی افقی با یک تابع دو جمله‌ای درجه 2 با جملات توان زوج به صورت $k(v) = a.v^2 + b$ تقریب زده می‌شود. دلیل منظور کردن عرض از مبدأ آن است که دیاگرام نیروی افقی - جابجایی افقی (به عنوان مثال شکل 4) همیشه دارای شیب مثبت است، لذا حتی در نقطه مربوط به جابجایی افقی صفر نیز سختی دارای مقدار می‌باشد.

به این ترتیب، چنانچه سختی خط منفرد با k نشان داده شود، می توان نوشت:

(16)

$$k \propto v^2$$

از سوی دیگر از مدل سازی سازه ها با استفاده از فنر می توان گفت که سختی عضو محوری که فاقد سختی خمشی است متناسب است با $\cos^2(\Delta)$ ، که Δ اختلاف زاویه بین راستای بارگذاری و راستای عضو می باشد. لذا چنانچه خطوط مهاربندی در صفحه افقی بصورت فشرده ای تصویر شود که در مقابل تغییر مکان های افقی ایجاد سختی می کنند، در اینصورت سختی هر یک از فنرهای شرکت کننده، در هر یک از جهت های بارگذاری متناسب با $\cos^2(\Delta)$ خواهد بود، که در آن Δ اختلاف در زاویه بارگذاری ناشی از شرایط محیطی و زاویه خط مهاربندی است. لذا می توان گفت:

$$k \propto \cos^2(\Delta)$$

(17)

با ترکیب دو رابطه می توان نوشت:

(18)

$$k \propto v^2 \cdot \cos^2(\Delta)$$

جابجایی افقی شناور با نیروی افقی وارده (F_v) متناسب است و نیروی افقی اعمال شونده به هر یک از خطوط، خود با تصویر نیروی ناشی از شرایط محیطی روی راستای خط متناسب است. لذا می توان گفت:

(19)

$$v \propto F_v \propto \cos(\Delta)$$

بنابراین با توجه به این تناسب ها می توان بیان نمود:

(20)

$$k \propto v^2 \cdot \cos^2(\Delta) \propto F_v^2 \cdot \cos^2(\Delta) \propto \cos^2(\Delta) \cdot \cos^2(\Delta)$$

و نتیجه گرفته می شود:

(21)

$$k \propto \cos^4(\Delta)$$

به عنوان دو حالت حدی از این تناسب زوایای صفر و نود درجه قابل توجه خواهد بود. بحث ارائه شده برای خطوطی است که در حالت بارگذاری معین، کشیده شوند. چرا که خطوط مهاربندی که در یک حالت بارگذاری معین فشرده می شوند در آن حالت بارگذاری نقش چندانی نخواهند داشت. به عبارت دیگر مسأله با فنرهای غیر خطی مواجه است که به کشش کار می کنند.

4-7. فازی سازی مسأله و تصمیم گیری فازی

4-7-1. تعیین سیستم قاعده - بنیاد فازی

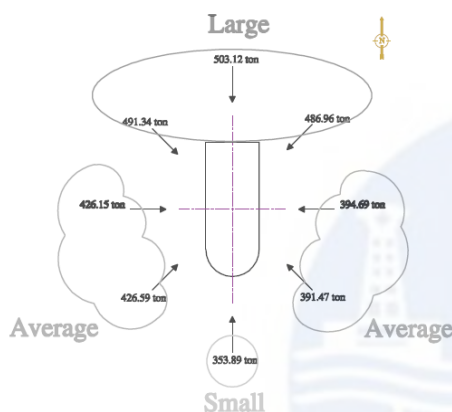
برای ساختن سیستم استنتاج فازی ابتدا سیستم قاعده - بنیاد فازی بر اساس داده های مشاهده ای تعیین می شود. یعنی گزاره های شرطی بین قسمت های مقدم و تالی بیان می شوند. بدین منظور در این پژوهش از هفت قاعده اگر - آنگاه برای ساختن مدل پیش بینی استفاده شده است. این قواعد در جدول 2 ارائه شده است.

جدول 2. سیستم قاعده - بنیاد فازی

k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	Displacement
Very Large	Large	Very Large	Average	Very Small	Very Large
Very Large	Average	Average	Very Large	Large	Small
Very Large	Average	Very Small	Average	Very Large	Large
Large	Very Large	Average	Average	Very Large	Average
Very Small	Large	Very Large	Large	Very Large	Small
Large	Very Large	Large	Very Large	Large	Very Small

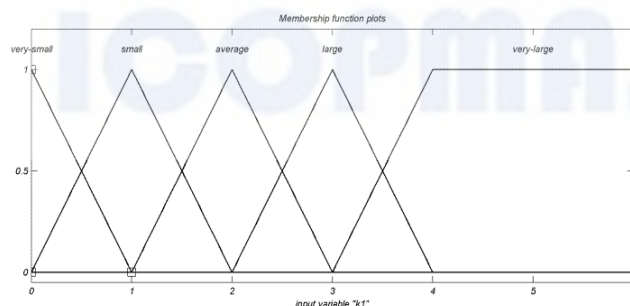
2-7-4. توابع عضویت و فازی سازی بخش مقدم و تالی

با توجه به محدوده نیروهای بدست آمده حاصل از شرایط محیطی، این نیروها در قالب عبارات زبانی کم، متوسط و زیاد بیان خواهد شد (شکل 6). در هر یک از حالات بارگذاری با توجه به آرایش‌هایی که خطوط مهاربندی می‌توانند داشته باشند، سختی خطوط شرکت کننده در برابر تغییر مکان و همچنین مقدار تغییر مکان شناور می‌تواند با عبارات خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد بیان شود. آنگاه توابع عضویت برای این عبارات زبانی تعریف شده و اختصاص داده می‌شود. با توجه به یکسان بودن جنس مصالح و قطر خطوط مهاربندی و تقارن عبارات زبانی بدست آمده برای شرایط محیطی نسبت به محور طولی شناور (شکل 6)، 5 خط مهاربندی با زوایای α_1 تا α_5 در ایجاد سیستم استنتاج فازی مورد توجه قرار می‌گیرد. بنابراین زوایای α_6 تا α_{10} متقارن با α_1 تا α_5 نسبت به محور طولی شناور بدست خواهد آمد.

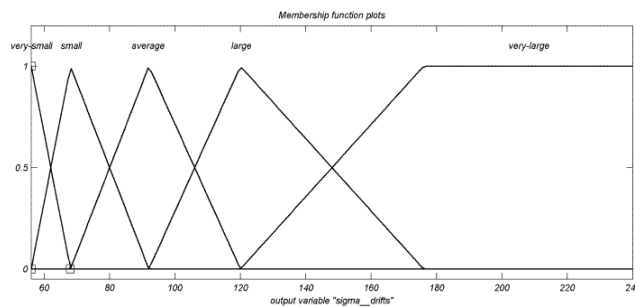


شکل 6. اختصاص عبارات زبانی برای مقادیر مشاهده‌ای شرایط محیطی

با توجه به مطالب بیان شده توابع عضویت بخش مقدم سیستم استنتاج یعنی توابع عضویت سختی ها و توابع عضویت بخش تالی سیستم استنتاج یعنی تغییر مکان افقی شناور، در 5 راستای بارگذاری به فرم مثلثی و دوزنقه‌ای ارائه می‌شود. سختی شرکت کننده در هر یک از حالات بارگذاری، متناسب است با کسینوس به توان 4 زاویه بین جهت بارگذاری و زاویه خط مهاربندی (Δ)، با لحاظ خطوطی که در ترکیب بار مربوطه به کشش کار می‌کنند و از این مفهوم برای ایجاد توابع عضویت سختی‌ها می‌توان استفاده نمود. به صورت تجربی و با استفاده از مقادیر زوایای مهاربندی متداول، توابع عضویت به متغیرهای زبانی خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد نسبت داده می‌شود. به عنوان نمونه شکل 7 توابع عضویت اختصاص داده شده به متغیر زبانی مربوط به سختی k_1 و شکل 8 توابع عضویت اختصاص داده شده به متغیرهای زبانی مربوط به تغییر مکان شناور را نشان می‌دهد.



شکل 7. توابع عضویت سختی k_1



شکل 8. توابع عضویت تغییر مکان شناور

3-7-4. ترکیب بخش مقدم و تالی قواعد، غیر فازی سازی

در ادامه مراحل ساخت FIS قسمت‌های مختلف بخش مقدم هر یک از قواعد ترکیب می‌شوند. سپس بخش تالی قواعد که در واقع بخش دوم گزاره‌های شرطی می‌باشند جهت به دست آوردن خروجی نهایی سیستم در قالب یک مجموعه فازی باهم ترکیب خواهند شد. نهایتاً خروجی نهایی سیستم با استفاده از یکی از روش‌های غیر فازی ساز به یک عدد کلاسیک تبدیل خواهد شد. سیستم استنتاج فازی بکار گرفته شده سیستم استنتاج بر اساس روش استلزام ماکزیمم - ضرب و ورودی‌های فازی می‌باشد و رابطه آن را برای یک سیستم شامل r قاعده فصلی که هر کدام از قواعد دارای دو ورودی و یک خروجی می‌باشد، می‌توان به صورت رابطه 29 نوشت [12].

$$\mu_{B^k}(y) = \max_k [\max [\mu_{A_1^k}(x_1) \wedge \mu_{I_1}(x_1)], \max [\mu_{A_2^k}(x_2) \wedge \mu_{I_2}(x_2)]] \quad (22)$$

به طوری که $k = 1, 2, \dots, r$.

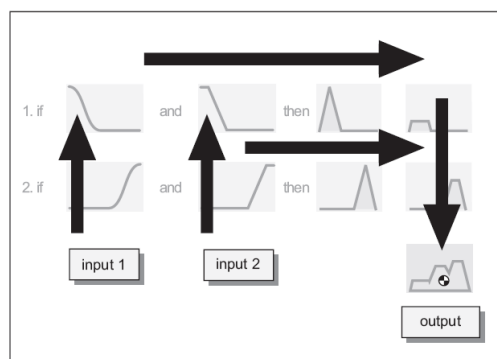
در این جا ماکزیمم اشتراک توابع عضویت $\mu_{A_1^k}(x_1), \mu_{I_1}(x_1)$ و همچنین ماکزیمم $\mu_{A_2^k}(x_2), \mu_{I_2}(x_2)$ به طور جداگانه محاسبه می‌گردد. سپس مینیمم مقادیر محاسبه شده مشخص و از آن یک خط افقی به سمت تابع عضویت خروجی رسم می‌گردد. نقطه‌ای که از تقاطع خط مزبور با خط قائم رسم شده از رأس تابع عضویت به دست می‌آید به دو کران تابع عضویت وصل می‌گردد. در واقع این قسمت جدا شده از تابع عضویت خروجی، میزان تأثیر قاعده مزبور را در خروجی نهایی سیستم مشخص می‌کند. سپس خروجی نهایی سیستم، از انتخاب ماکزیمم خروجی‌های قواعد مختلف به دست می‌آید. برای بیان خروجی سیستم به صورت یک عدد غیرفازی از روش‌های غیر فازی ساز استفاده می‌گردد. در این پژوهش روش غیرفازی ساز، روش مرکز سطح (رابطه 23) می‌باشد.

$$(23)$$

$$z^* = \frac{\int \mu_c(z).z dz}{\int \mu_c(z) dz}$$

4-7-4. تصمیم گیری فازی

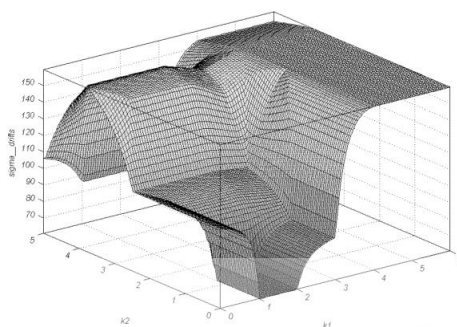
چنانچه بیان شد و در فلوجارت شکل 9 نیز ملاحظه می‌شود در فرآیندهای کنترلی ابتدا بخش‌های مقدم باهم ترکیب می‌شوند. آنگاه بخش‌های تالی حاصل از هر یک از قواعد نیز باهم ترکیب می‌شوند و حاصل، مجموعه‌ای فازی می‌شود که با روش‌های غیر فازی سازی مقدار عددی کلاسیک بدست می‌آید. در اینجا خروجی نهایی سیستم تغییر مکان واحد شناور می‌باشد که می‌بایستی مینیمم شود.



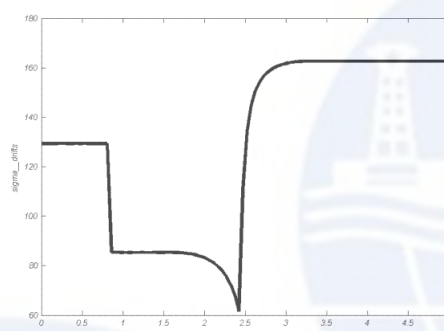
شکل 9. شمای کلی ترکیب بخش مقدم و تالی قواعد و غیر فازی سازی [13]

Archive of SID

با استفاده از MATLAB Fuzzy Logic Toolbox و با کمک تسهیلات Surface Viewer رویه‌هایی بدست می‌آیند که چگونگی تغییرات خروجی سیستم را با دو یا هریک از ورودی‌ها را نشان می‌دهند. به عنوان نمونه شکل 10 تغییرات خروجی سیستم را با k_1 و k_2 را نشان می‌دهد. در شکل 11 نیز به طور نمونه تغییرات خروجی سیستم با ورودی k_3 ، در نقطه حداقل شدن خروجی نمایش داده شده است.

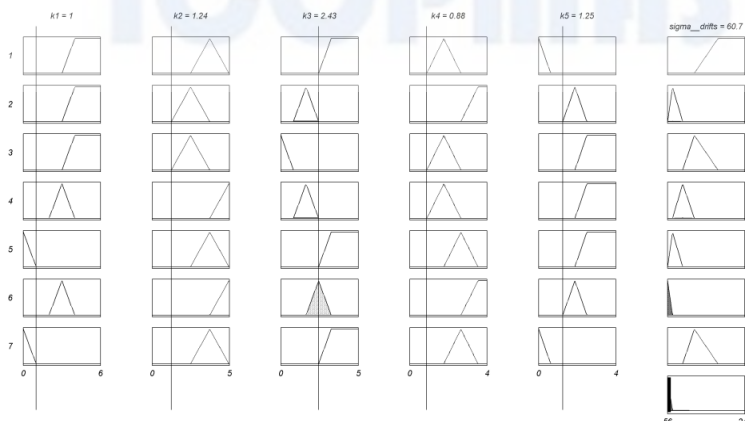


شکل 10. تغییرات خروجی سیستم با k_1 و k_2



شکل 11. تغییرات k_3 با تغییر مکان در نقطه حداقل تغییر مکان

شرایط و مقادیری از قسمت‌های مقدم سیستم که منجر به خروجی نهایی بهینه سیستم شده است، به عنوان حالت بهینه شناخته می‌شود. این روش مشابه روش λ -cut set level search method در حالت کلی غیر مقید به حل مسأله بهینه سازی می‌پردازد؛ به طوری که عدد غیر فازی سازی شده تغییر مکان شناور را مینیمم می‌نماید. نتایج به دست آمده در شکل 12 نشان داده شده است که پنجره Rule Viewer جعبه ابزار منطق فازی نرم افزار MATLAB می‌باشد. این 5 مقدار ورودی که مقادیر بهینه کننده سیستم می‌باشند، در بالای خطوط عمودی که توابع عضویت را قطع کرده‌اند بصورت عبارت های $k_i = \lambda_i$ قابل ملاحظه اند. این مقادیر بیانگر سطوح برشی از توابع عضویت سختی هستند که به بهترین نحو منجر به ارضاء تابع هدف می‌شوند.



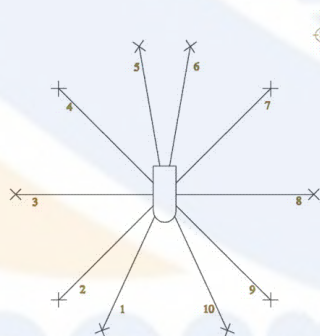
شکل 12. ترکیب بخش مقدم و تالی قواعد و مقدار غیر فازی شده تغییر مکان در حالت بهینه سختی‌ها

به این ترتیب مقادیر بدست آمده برای k_1 تا k_5 طرف دوم 5 معادله 5 مجهولی خواهند بود. لذا در این مرحله با مساوی کردن رابطه تابع عضویت سختی خطوط که توابعی به فرم $\sum \cos^4(\Delta_i)$ می‌باشند با مقدار سطح برش بهینه توابع عضویت (λ_i) ، دستگاه معادلاتی بصورت پنج معادله پنج مجهولی حاصل می‌شود که مجهولات آن زوایای خطوط مهاربندی می‌باشد. با حل این دستگاه معادلات، زوایای بهینه بدست خواهد آمد. بنابراین این پروسه در نهایت منجر به حل دستگاه معادلات چند معادله چند مجهولی غیر فازی می‌شود که حل و یافتن جواب‌های این دستگاه معادلات، معادل با بهینه سازی سیستم فازی مزبور می‌باشد.

با حل این دستگاه معادلات توسط نرم افزار MATLAB مجهولات مسأله یعنی زوایای بهینه خطوط مهاربندی نسبت به سینه شناور بدست آمده و در جدول 3 در مقایسه با حالت مهاربندی متداول ارائه شده است. شکل 13 شماره و زاویه خط را بطور شماتیک نشان می‌دهد.

جدول 3. زوایای نهایی خطوط

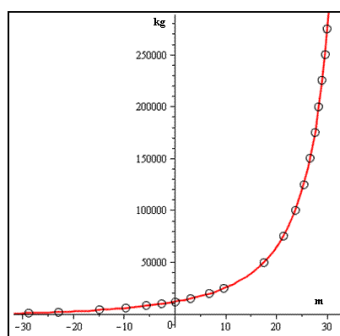
No. of Line	Ordinary Design (deg)	Optimized Design (deg)
1	20	25
2	40	45
3	60	90
4	120	135
5	150	170
6	210	190
7	240	225
8	300	270
9	320	315
10	340	335



شکل 13. زوایای مهاربندی بهینه

8-4. مقایسه تابع هدف مسأله

دیاگرام تغییر مکان - نیرو برای فنر غیر خطی خطوط مهاربندی با استفاده از نرم افزار Maple رسم گردیده است (شکل 14). نظیر دیاگرام شکل 4 محور افقی، تغییر مکان افقی و محور قائم، نیروی افقی می‌باشد. از دیاگرام به دست آمده برای مدل سازی نرم افزاری رفتار خطوط و محاسبه میزان جابجایی افقی کلی شناور با استفاده از نرم افزار SAP استفاده می‌شود.



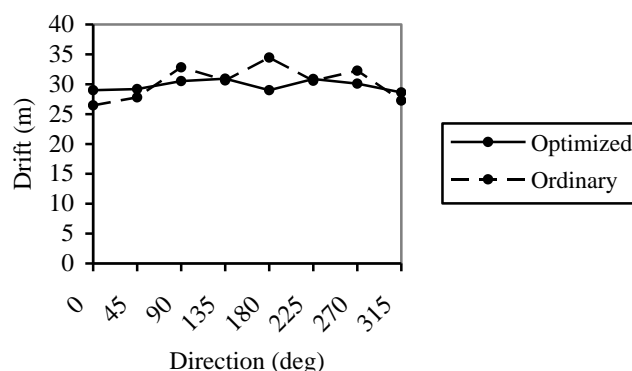
شکل 14. دیاگرام تغییر مکان - نیرو برای مدل فنر غیر خطی

در جدول 4 مقدار تغییر مکان واحد شناور در اثر اعمال هر یک از حالات ترکیب بارهای ناشی از شرایط محیطی و همچنین مقدار تابع هدف در هر دو حالت مهاربندی متداول و بهینه سازی شده ارائه می‌شود.

جدول 4. تغییر مکان‌های واحد شناور و تابع هدف

Direction of Environmental Conditions (deg)	Optimized Design			Ordinary Design		
	Surge (m)	Sway (m)	Total Offset (m)	Surge (m)	Sway (m)	Total Offset (m)
0	29.01	0	29.01	26.47	0	26.47
45	18.56	22.52	29.18	16.25	22.57	27.81
90	0.71	30.53	30.54	1.68	32.80	32.84
135	19.28	24.19	30.93	22.15	21.16	30.63
180	29.00	0	29.00	34.47	0	34.47
225	19.24	24.16	30.88	22.12	21.12	30.58
270	0.75	30.08	30.09	1.81	32.22	32.27
315	18.21	22.08	28.62	15.57	22.38	27.26
Objective Function	7102.03			7399.38		

نکته قابل توجه آنکه واریانس مقادیر تغییر مکان واحد شناور در حالت مهاربندی متداول نسبت به حالت بهینه سازی شده از 8/29 به 0/87 کاهش یافته است و تغییر مکان‌ها مقادیر یکنواخت‌تری یافته‌اند (شکل 15). در صورت استفاده از خطوط مهاربندی یکسان، پراکندگی و اختلاف زیاد در مقادیر تغییر مکان‌ها در الگوی مهاربندی متداول، ممکن است منجر به اعمال ضرایب اطمینان غیر اقتصادی در خطوط با تغییر مکان کمتر گردد. ماکزیمم مقدار تغییر مکان نیز که ممکن است منجر به اعمال محدودیت‌هایی در فعالیت‌های واحد شناور گردد، در حدود 10/3 درصد کاهش داشته است.



5. نتیجه گیری

با بهینه سازی الگوی سیستم مهاربندی، تابع هدف مسأله و حداکثر مقدار تغییر مکان نسبت به الگوی مهاربندی متداول کاهش یافت. واریانس مقادیر تغییر مکان واحد شناور در حالت بهینه سازی شده نسبت به حالت متداول به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. روشی که در این پژوهش ارائه گردید، در حالت کلی غیر مقید به حل مسأله بهینه سازی می‌پردازد به طوری که عدد غیر فازی شده تغییر مکان شناور را مینیمم می‌نماید. منطق فازی ابزار تصمیم گیری قدرتمند و سریعی را برای مقاصد مدیریتی ارائه می‌دهد که به کمک آن می‌توان با استفاده از داده‌های مشاهداتی، بر اساس فهم و استنباط بشری تصمیم گیری نمود.

مراجع

- [1]- Carbono, A. J. J., Menezes, I. F. M., and Martha, L. F. (2005), Mooring pattern optimization using genetic algorithms, 6th World Congresses of Structural and Multidisciplinary Optimization, Brazil.
- [2]- Shafieefar, M., Rezvani, A. (2007), Mooring optimization of floating platforms using a genetic algorithm, Ocean Engineering 34, 1413-1421.
- [3]- de Lima, B. S. L. P., Jacob, B. P., Ebecken, N. F. F. (2005), A hybrid fuzzy/genetic algorithm for the design of offshore oil production risers, International Journal for Numerical Methods in Engineering 64, 1459–1482.
- [4]- Kelesoglu, O., Ulker, M. (2005), Fuzzy optimization of geometrical nonlinear space truss design, Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences 29, 321 – 329.
- [5]- Pu, S. Y., Cheng, W. L. (2003), Fuzzy optimization design of offshore jacket platforms with consideration of corrosion, 13th International Offshore and Polar Engineering Conference, USA.
- [6]- Wilson, James F. (2003), Dynamics of Offshore Structures, Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons.
- [7]- Ellermann, K. (2005), Dynamics of a moored barge under periodic and randomly disturbed excitation, Ocean Engineering 32, 1420–1430.
- [8]- Datta, T. K., Umar, A. (2003), Nonlinear response of a moored buoy, Ocean Engineering 30, 1625–1646.
- [9]- Chakrabarti, S. K. (2005), Handbook of Offshore Engineering, Vol. 1 & 2, Plainfield, Illinois, USA, Elsevier.
- [10]- Passino, K. M., Yurkovich, S. (1998), Fuzzy Control, Addison Wesley Longman, Inc.
- [11]- Siler, W., Buckley, J. J. (2005), Fuzzy Expert Systems and Fuzzy Reasoning, Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons, Inc.
- [12]- کوره‌پزان دزفولی، ا. (1384)، اصول تئوری مجموعه‌های فازی، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر
- [13]- Fuzzy Logic Toolbox for Use with MATLAB (1995-2006), The MathWorks, Inc.

