

## بررسی رفتار هیدرو استاتیکی و هیدرو دینامیکی اسکله‌های شناور تحت اثر بارهای محیطی

رضا بادپا<sup>۱</sup>، عباس قاسمی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> مهندس عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی دامغان، دامغان، ایران

### چکیده

اسکله‌های شناور یکی از انواع اسکله‌ها است که امروز استفاده از آن‌ها در کاربری‌های متفاوت بسیار رایج گردیده است. این اسکله‌ها اصولاً از یک بدنه اصلی، پل دسترسی، سیستم مهاربندی و سیستم ضربه‌گیری تشکیل شده‌اند. بارهای رایج در طراحی آن‌ها شامل بارهای مرده و زنده، بارهای حاصل از سیستم مهاربندی، بارهای حاصل از پهلوگیری کشتی و همچنین عوامل محیطی چون باد، جریان و موج می‌باشند. به منظور ارزیابی رفتار این اسکله‌ها در برابر بارهای فوق‌الذکر، نمونه‌ای از آن‌ها در سه رده کاربری با عرض‌ها و طول‌های متفاوت، بصورت زنجیره‌ای از پانتون‌های شناور با نرم افزار SAP2000 مدل شده و مورد تحلیل کامپیوتری قرار گرفته است. بعد از تعیین دامنه تاثیر این نیروها و دستیابی به ترکیبات بحرانی بارگذاری و ضمن توجه به معیارهای کاربری ایمن و پایدار، در قالب سه پارامتر فرو رفت حداکثر و شیب حداکثر و عدم جدا شدن شناور از آب، ابعاد مناسب قطعات شناور در این اسکله‌ها تعیین شده‌اند.

**واژه‌های کلیدی:** اسکله شناور، پانتون، سازه‌های پهلوگیر، مدلسازی عددی.

## ۱- مقدمه

اسکله‌های شناور که در قرن حار به عنوان رقبای اصلی اسکله‌های ثابت شناخته شده‌اند در حقیقت ماحصل تلاش طراحان در رفع مشکلات موجود در کاربرد اسکله‌های ثابت می‌باشند. سرویس دهی مناسب در شرایط جزر و مد شدید، امکان توسعه در بنادر با فضای محدود، مدت زمان کوتاه‌تر در ساخت، تعمیر و توسعه و همچنین هزینه اجرایی کمتر در بسیاری شرایط از جمله عواملی بوده‌اند که کاربرد اسکله‌های شناور را روز افزون نموده‌اند. اکنون با وجود کیلومترها مرز آبی در ایران و اهمیت حمل و نقل دریایی در رشد توسعه اقتصادی کشور و از سوی دیگر تجربیات عملی بسیار اندک در طراحی و ساخت این اسکله‌ها در کشورمان، مطالعه و تحقیق در طراحی و ساخت این اسکله‌ها بسیار حائز اهمیت به نظر می‌رسد. در تحقیق حاضر سعی شده است ضمن معرفی عوامل موثر بر طراحی اسکله‌های شناور دامنه تاثیر آن‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد و در نهایت برای کاربری‌های متفاوت، ابعاد اولیه‌ای از بدنه اصلی این اسکله‌ها ارائه گردد.

## ۲- اسکله‌های شناور و عوامل موثر بر طراحی آن‌ها (ادبیات تحقیق)

### ۲-۱- اجزای اسکله‌های شناور

#### ۲-۱-۱- بدنه اصلی

بدنه اصلی اسکله‌های شناور از بهم متصل شدن قطعات شناوری که خود به یکی از اشکال پانتون تکی، پانتون دوقلو و قطعات نیمه مغزوق می‌باشند، تشکیل می‌شود. نحوه اتصال این قطعات شناور می‌تواند به صورت اتصال پانتون‌های بزرگ، اتصال پانتون‌های کوچک با عرشه فولادی و یا اتصال پانتون‌های کوچک با عرشه یکپارچه باشد.

#### ۲-۱-۲- پل دسترسی

این سازه به منظور اتصال بدنه اصلی اسکله به ساحل احداث می‌شود و انواع گوناگونی دارد که مهمترین آن‌ها پل‌های مفصلی، پل‌های شناور پایه‌ای و گوه‌ای، پل‌های متحرک و پل‌های قائم بالارونده می‌باشند.

#### ۲-۱-۳- سیستم مهاربندی

مجموعه عناصری هستند که از یک سو تامین کننده ایمنی لازم حین عملیات نقل و انتقال کالا بوده و از سوی دیگر اجازه حرکات قابل قبولی را نیز در جهات طولی و عرضی به اسکله می‌دهند. این عناصر خود به گونه‌های مختلفی می‌باشند که مهمترین آن‌ها عبارتند از: سیستم مهاربندی فقط درون ساحلی، سیستم مهاربندی با کابل‌های درون ساحلی و برون ساحلی، سیستم مهاربندی شامل دلفین‌های مهاربندی و سیستم مهاربندی شامل کابل‌های زیر سطحی دو طرفه.

#### ۲-۱-۴- سیستم ضربه گیر

مجموعه عناصری هستند که انرژی ضربه حاصل از پهلوگیری کشتی را جذب می‌کنند.

### ۲-۲- عوامل موثر بر طراحی اسکله‌های شناور

عوامل موثر بر طراحی را می‌توان به شرح زیر تعریف کرد:

۱- بارهای مرده: شامل وزن بدنه اصلی اسکله و کلیه تاسیسات و تجهیزات ثابت روی آن.

۲- بارهای زنده: شامل وزن کلیه ماشین‌آلات متحرک بر اسکله، کالاها و افراد.

۳- بارهای محیطی: که خود به چند شکل می‌تواند بر اسکله اثر کند. مهمترین آن‌ها باد، جریان و موج می‌باشند که نیروهای حاصل از باد و جریان غالباً بصورت نیروهای وارده از کشتی بر بولاردهای اسکله در نظر گرفته می‌شود. حساسیت اسکله‌های شناور نسبت به موج ایجاب می‌کند که غالباً آن‌ها را در حوضچه‌های حفاظت شده احداث نمایند.

۴- نیروهای مهار: این نیروها توسط خطوط مهار کشتی به پایه‌های ثابت روی اسکله (بولاردها) وارد می‌شوند و مقادیر آن‌ها تابع وزن کشتی، باد و جریان است. در این تحقیق از جداول نیروی بولارد برای کشتی‌های با تناژ مختلف از مراجع ژاپنی استفاده شده است.

۵- نیروی حاصل از ضربه کشتی در پهلوگیری: این نیروها در هنگام پهلوگیری کشتی به فنرها وارد می‌شوند. برای محاسبه نیروها ابتدا انرژی وارده را از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌کنند:

$$E = \frac{(W_1 + W_2)V_n^2}{2g} K \quad (1)$$

که در آن  $E$  کل انرژی ضربه‌ای،  $V_n$  مولفه عمود بر اسکله‌ی سرعت کشتی،  $K$  ضریب خروج از مرکزیت،  $g$  شتاب گرانش،  $W_1$  وزن کشتی و  $W_2$  جرم افزوده که خود از رابطه زیر بدست می‌آید:

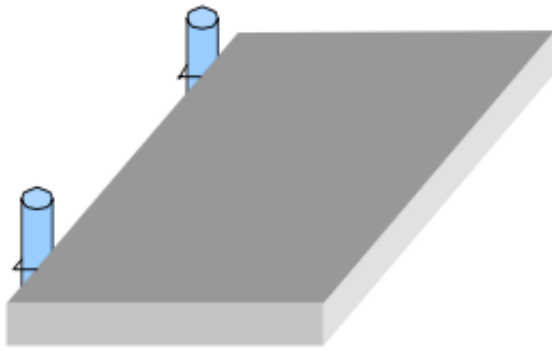
$$W_2 = \frac{\pi}{4} \gamma L D^2 \quad (2)$$

که در آن  $D$  آب‌خور کشتی،  $L$  طول کشتی و  $\gamma$  وزن مخصوص آب است. نهایتاً با استفاده از جدول طراحی فنرها که در این تحقیق جداول شرکت بریجستون است می‌توان نیروهای وارده را بدست آورد.

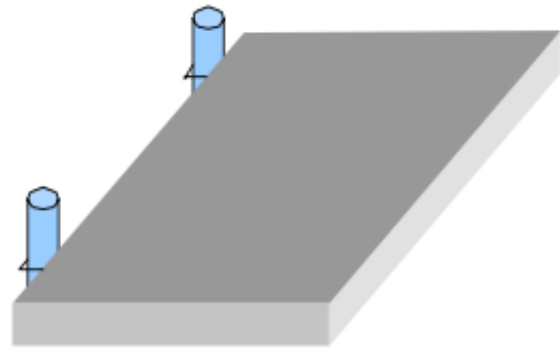
### ۳- انتخاب یک سیستم شناور به منظور مدل سازی (مدل و فرضیه‌های تحقیق)

جنس اسکله از فولاد انتخاب می‌شود که این بدلیل سهولت ساخت و اجرای آن نسبت به انواع بتنی یا لاستیکی است. اجزای تشکیل دهنده بدنه اصلی بدلیل ساخت آسان‌تر و پایداری بهتر، از پانتون‌های ساده انتخاب می‌شوند. ارزیابی مدل‌های مختلف بهم بستن این قطعات شناور بهم نشان می‌دهد که سری پانتون‌های بزرگ بهم مفصل شده با توجه به اینکه بدنه اصلی خود شامل عرشه نیز است از نظر اقتصادی و هزینه ساخت بهینه‌تر می‌باشند. از سویی در مواقع آسیب دیدگی نیز، تعویض قطعه معیوب به راحتی صورت گرفته و اسکله را از سرویس دهی مختل نمی‌کند [Tsinker. G.P. 1986].

سیستم مهاربندی انتخاب شده، مدل دولفین‌های مهار است. در این روش اسکله به کمک شمع‌هایی که در یک ظرف پانتون یا در چهار گوشه آن نصب می‌شوند مهار می‌گردد (شکل ۱). این روش مهاربندی بدلیل عدم نیاز به تکنولوژی پیچیده و مصالح قابل دسترس در ایران کاربرد بیشتری دارد و معمولاً شمع کوبی در یک طرف پانتون‌ها هم از نظر سهولت اجرایی و هم سهولت تعمیرات در مواقع آسیب دیدگی بر شمع کوبی در چهار گوشه ترجیح داده می‌شود. در این روش معمولاً پانتون‌ها توسط اتصالات طوقه‌ای شکل به شمع‌ها وصل می‌گردند.



شکل ۱-ب- مهاربندی چهارگوشه پانتون‌ها با شمع



شکل ۱-الف- مهاربندی یکطرفه پانتون‌ها با شمع

### ۳-۱-۱- تیپ بندی اسکله‌های شناور

با توجه به اینکه اسکله‌های شناور برای طیف وسیعی از شناورها کاربرد دارند، سه تیپ خاص از آن‌ها به منظور ارزیابی رفتار انتخاب شده و بارگذاری لازم نیز بر همین اساس صورت گرفته است.

#### ۳-۱-۱-۱- اسکله مسافری

برای سرویس دهی به کشتی‌های با حداکثر تناژ ۵۰۰ تن با عرض پیشنهادی ۳، ۴ و ۵ متر بدون عبور ماشین آلات بر عرشه آن.

#### ۳-۱-۱-۲- اسکله باربری سبک

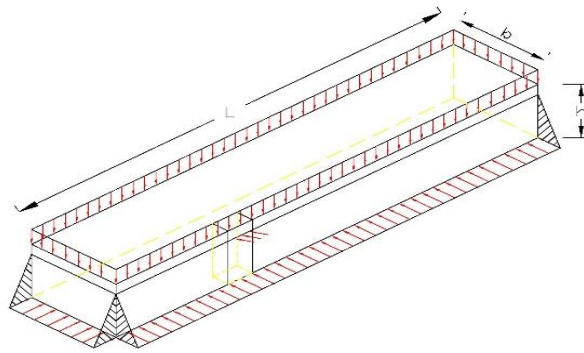
برای سرویس دهی کشتی‌های با حداکثر تناژ ۵۰۰۰ تن با عرض پیشنهادی ۵، ۶ و ۷ متر که اجازه عبور وانت بر آن داده می‌شود.

#### ۳-۱-۱-۳- اسکله باربری نیمه سنگین

برای سرویس دهی به کشتی‌های با حداکثر تناژ ۱۵۰۰۰ تن با عرض پیشنهادی ۶، ۷ و ۸ متر که مجهز به یک چرثقیل متحرک ۵ تن بوده و اجازه عبور کامیون ۱۰ تن بر آن داده می‌شود.

### ۳-۲- بارهای وارد شده

بر اساس مطالب گفته شده در بند (۲-۲) نیروی بولارد و ضربه پهلویی بدست می‌آیند. بارهای مرده برابر ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مربع و بارهای زنده بسته به نوع اسکله به ترتیب ۱۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوگرم بر متر مربع در نظر گرفته شده است. اثرات جریان و باد نیز در نیروی بولارد لحاظ شده است.



شکل ۲- نمای یک پانتون و بارهای وارد شده به آن

### ۳-۳- انتخاب مدول‌های مناسب

با توجه به ملاحظات اجرایی در ساخت پانتون‌ها از ورق‌های فولادی، طول پانتون‌ها مضارب ۳ در نظر گرفته شده و به طول‌های ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸، ۲۱، ۲۴، ۲۷، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ متری در نظر گرفته شده است. بدین ترتیب با فرض نیاز به حداقل ۳ پانتون به منظور رفتار سنجی، طول اسکله بر اساس طویل‌ترین پانتون بکار رفته حدود ۱۸۰ متر خواهد بود.

### ۳-۴- جانمایی شمع‌های مهار

در این تحقیق ظرفیت باربری شمع‌ها و بررسی نیاز به استفاده از شمع یا گروه شمع در رفتار سنجی نقشی نداشته و فقط محل قرارگیری آن‌ها در هر پانتون مهم می‌باشد. برای این منظور کفایت هر پانتون را بصورت یک تیر با حداقل دو تکیه‌گاه غلطکی فاصله‌دار از دو سر آزاد (Overhang) فرض کنیم که فاصله‌ی دو تکیه‌گاه ابتدا و انتهای بر اساس ماکزیمم لنگر قابل تحمل بدنه پانتون‌ها که قبلاً از ساختار سازه‌ای آن‌ها و نیروی عرضی وارده بر فندرها تعیین می‌گردند، بدست می‌آید و در هیچ حال با توجه به ملاحظات اجرایی از ۱/۵ متر کمتر فرض نمی‌گردد. سپس تیر تحت بارهای عرضی وارده تحلیل می‌گردد و لنگر ماکزیمم درون دهانه آن بدست می‌آید که در صورت بزرگتر بودن از لنگر قابل تحمل لازم است تعداد شمع‌ها بصورت متقارن اضافه گردد. به عنوان مثال در اسکله تیپ اول برای عرض ۳ متر و پانتون‌های ۲۱ متری، دو تکیه‌گاه با فاصله ۳/۵ متر از سر آزاد (۱۴ متر فاصله خالص بین دو شمع) بزم خواهد بود.

### ۳-۵- اتصالات

اتصالات بین پانتون‌ها در مدل مورد بحث این تحقیق غالباً به دو شکل می‌باشند. کلید برشی بصورت کام و زبانه‌ی استوانه‌ای که عملاً امکان تغییر مکان را بصورت لولایی امکان پذیر می‌سازد و در دو محور عرضی و ارتفاعی جابجایی ندارد و دیگری مفصل ارتباطی که دو پانتون توسط رابط‌های مفصلی که از نظر اجرایی در نصب و تعمیر مناسب‌تر هستند به هم متصل می‌شوند. در هر دو مدل حداقل یک فاصله ۳۰ سانتیمتر بین دو پانتون ایجاد می‌شود که توسط ورق‌های فولادی برای سهولت در تردد پوشیده خواهند شد [Tsinker, G.P. 1986].

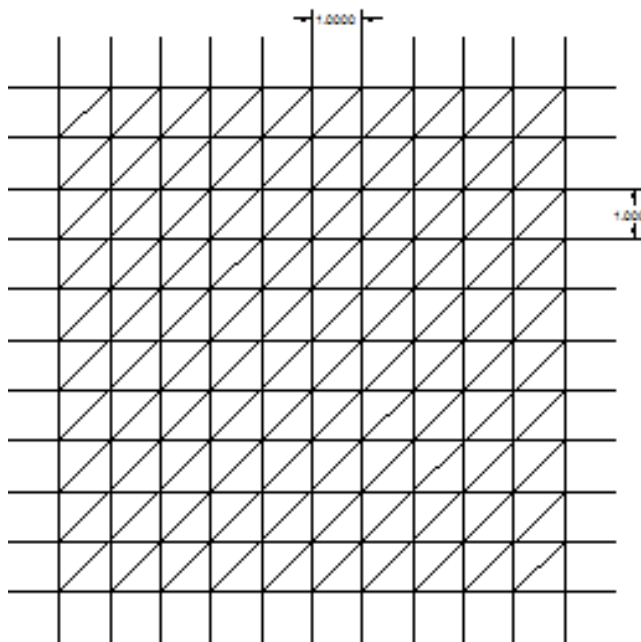
### ۴- مدل سازی کامپیوتری اسکله و بارهای وارد بر آن (روش تحقیق)

هدف از این تحقیق بررسی تغییر مکان‌های پانتون‌ها تحت اثر بارگذاری‌های تعریف شده به منظور دستیابی به ابعاد اولیه مناسب برای آن‌ها است. بدین ترتیب مدل کامپیوتری مورد نیاز بایستی پانتون‌ها را بشکل یک جسم صلب شناور مهار شده از یک طرف نشان دهد که تحت اثر بارهای وارده جابجا می‌شوند. بنابراین در بحث مدلاسیون ابعاد نیازی به نیروهای درونی سازه و همچنین نیروی درون شمع‌ها نیست.

در این مدل سازی پانتون‌ها به صورت قاب‌های صفحه‌ای مشبکی با طول المان ۱ متری مدل شده‌اند که توسط دو دسته المان اتصالی (بصورت مفصل) بهم متصل شده‌اند (شکل ۳). آب به صورت فنر در زیر گره‌های قاب‌های مورد نظر مدل شده است و سختی آن وابسته به وزن مخصوص آب و سطح باربر فنر می‌باشد.

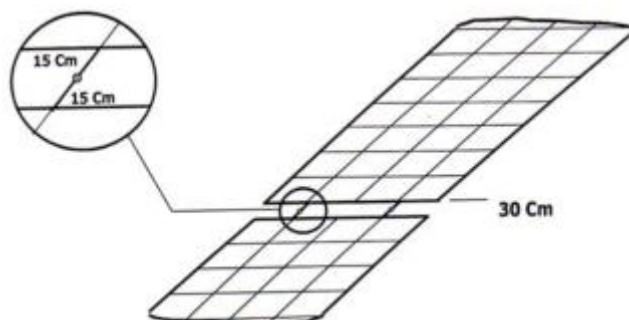
$$K = \gamma A \quad (3)$$

که در رابطه اخیر  $K$  سختی فنر،  $\gamma$  وزن مخصوص آب و  $A$  سطح باربر فنر می‌باشند.



شکل ۳- شبکه قابی پانتون‌های مدل شده برای برنامه کامپیوتری

با توجه به عدم نیاز به نیروهای درون شمع‌ها در رفتار سنجی، این اعضا در مدل آورده نشده و اثر آن‌ها فقط در قالب اتصالات شمع به اسکله به صورت المان‌های سه گانه‌ای مدل شده است که قابلیت حرکت تحت نوسانات قائم فرضی روی آب را داشته و ضمناً نیروهای عرضی و طولی وارده به اسکله را تحمل می‌نمایند.



شکل ۴. مدل سازی پانتون‌های متوالی و اتصالات بین آن‌ها

بارهای مرده در قالب وزن المان‌های قاب، بارهای زنده بصورت بار گسترده بر المان‌ها و سایر بارها شامل نیروی بولارد، نیروی وارده به فنדר، وانت، کامیون و جرثقیل بصورت نیرو یا گشتارهای متمرکز بر اسکله وارد شده‌اند.

##### ۵- تحلیل و نتایج حاصل از آن (یافته‌های تحقیق)

با توجه به مدل انتخاب شده برای تحلیل از نرم‌افزار SAP2000 استفاده شده است. برای این کار زنجیره پانتون‌های مدل شده تحت بارگذاری‌های مختلف مورد آنالیز قرار گرفته است تا رفتار این زنجیره در برابر هر بار مشخص شود.

پارامترهای مورد سنجش در این آنالیز، حداکثر فرو رفت اسکله‌های تیپ اول ۵۰ سانتیمتر و برای تیپ دوم و سوم حداکثر فرو رفت نسبی در اعمال بارهای مختلف ثقلی ۵۰ سانتیمتر در نظر گرفته شده است. ضمناً پانتون‌هایی که تحت هر بارگذاری از آب جدا شده باشند مردود تلقی شده‌اند [Tsinker. G.P. 1986].

بدین ترتیب ترکیبات بحرانی بارگذاری تعیین شده و تحلیل نهایی زنجیره پانتون‌ها تحت این بارها صورت گرفته است. با استفاده از نتایج حدود ۱۲۰۰ اجرای آزمایشی و نهایی برنامه بر تیپ‌های مختلف اسکله با عرض‌ها و بارهای تعریف شده، طول پیشنهادی مناسبی برای پانتون‌های هر تیپ اسکله تعیین شده است. جدول ۱ نتایج نهایی مربوط به یک تحلیل را برای اسکله تیپ سوم با عرض ۷ متر نشان می‌دهد.

جدول ۱: نتایج بارگذاری ترکیبی بر پانتون تیپ سوم با عرض ۷ متر

وضعیت	شیب (درصد)	حداکثر فرو رفت (cm)	طول پانتون (m)
از آب جدا شده	۱۹/۳۴	۲۱۰/۵	۹
از آب جدا شده	۱۴/۴۲	۲۰۶/۱	۱۲
از آب جدا شده	۱۱/۱۲	۲۰۳/۸	۱۵
همه نقاط در آب	۹/۲	۱۹۳/۴	۱۸
همه نقاط در آب	۷/۵	۱۹۳/۹	۲۱
همه نقاط در آب	۶/۳	۱۸۶/۹	۲۴
همه نقاط در آب	۵/۳	۱۸۷/۳	۲۷
همه نقاط در آب	۴/۸	۱۷۹/۶	۳۰
همه نقاط در آب	۳/۶	۱۷۳/۷	۴۵
همه نقاط در آب	۲/۴۸	۱۶۳/۱	۶۰

ارتفاع مناسب پانتون‌ها نیز از بررسی پایداری یک جسم مکعب مستطیل شکل شناور یدست آوردن حداقل نسبت عرض به ارتفاع لازم برای پایداری بدست آمده است.

$$\frac{b}{h} \geq \frac{\sqrt{6}}{2} \quad (۴)$$

در نهایت با لحاظ کردن یک ارتفاع آزاد اندازه آن افزوده شده است. جدول زیر نتایج نهایی کلیه‌ی تحلیل‌ها را برای هر سه تیپ اسکله بصورت ابعاد پیشنهادی به منظور استفاده در طراحی مقدماتی نشان می‌دهد:

جدول ۲: ابعاد پیشنهادی پانتون‌ها در تیپ‌های مختلف اسکله‌های شناور

ارتفاع پیشنهادی پانتون (cm)	طول پیشنهادی پانتون (m)	عرض (m)	نوع اسکله
۱۰۰	۱۲ متر به بالا	۳	تیپ اول
۱۰۰	۱۲ متر به بالا	۴	
۱۰۰	کلیه طول‌ها	۵	
۱۶۰	۱۸ متر به بالا	۵	تیپ دوم
۱۶۰	۱۸ متر به بالا	۶	
۱۵۰	۱۸ متر به بالا	۷	
۲۴۰	۴۵ و ۶۰ متر	۶	تیپ سوم
۲۳۰	۲۴ متر به بالا	۷	
۲۲۰	۲۴ متر به بالا	۸	

#### ۶- بحث و نتیجه‌گیری

مدل سازی یک نوع اسکله شناور از زنجیره پانتون‌های بهم مفصل شده در سه تیپ متفاوت از نظر کاربری و تحلیل این مدل تحت بارهای متناسب با آن‌ها، ابعاد پیشنهادی پانتون‌ها برای عرض‌های مورد نظر، حاصل شده است که می‌توان از آن‌ها به عنوان ابعاد اولیه در طراحی و ساخت این نوع اسکله‌ها بهره برد. نتیجه گیری کلی را می‌توان به شکل زیر ارائه کرد:

- ۱- بارهای موثر بر اسکله‌های شناور متنوع بوده و هر یک به گونه‌ای می‌توانند شرایط بحرانی را در طراحی ایجاد کنند که الگوی تاثیر گذاری هر یک از این بارها در این تحقیق به طور کلی ارزیابی گردید.
- ۲- عرض مناسب برای هر نوع اسکله بر اساس نوع کاربری تعیین شد.
- ۳- با داشتن نیروهای جانبی وارد بر اسکله و در نظر گرفتن مقاومت قابل تحمل سیستم سازه‌ای بدنه می‌توان صرف نظر از مسائل مربوط به طراحی عناصر نیروبر جانبی، تعداد و موقعیت آن‌ها را نسبت به هم پیش بینی کرد.
- ۴- با اتخاذ یک سری بارهای الگو برای سه تیپ اسکله تعریف شده و ایجاد ترکیبات تعیین کننده می‌توان با تحلیل کامپیوتری حداقل طول‌های لازم برای پانتون‌های هر نوع اسکله با عرض‌های متفاوت را یافت.
- ۵- ارتفاع پانتون در هر حالت بر اساس ماکزیمم فرو رفت مشاهده شده در نتایج حاصل از تحلیل تحت ترکیب‌های بارگذاری، در نظر گرفتن یک ارتفاع آزاد و تامین حداقل ارتفاع لازم برای پایداری بدست می‌آید.

#### منابع

1. BERGEWABAM Engineers Inc. "PLANNING AND DESIGN OF FLOATING BERTHS FOR PASSENGER ONLY FERRY TERMINALS".
2. Bridgestone Fender Manual, (1992).
3. Japan Port and Harbour Association, (1999). "The Technical Standards and Commentaries of Port and Harbour Facilities in Japan".
4. Shixiao Fu, Torgeir Moan, Xujun Chen, Weicheng Cui. (2007). "Hydroelastic analysis of flexible floating interconnected structures". Ocean Engineering.



5. Tsinker. G.P. (1986). "Floating ports – Design and construction practices". Gulf Publishing Company, HoustonTexas.
6. Tsinker. G.P. (2004). "Port Engineering - Planning, Construction, Maintenance and Security". John Wiley & sons, inc.