



## ارزیابی اثر عدم قطعیت در نیمه‌گرداری اتصالات اسکله باز ساحلی بر اساس بهینه‌یابی مسئله به‌روزرسانی مدل المان محدود

مهدی قلیپور فیضی<sup>1</sup>، وحید نورانی<sup>2</sup>، علیرضا مجتهدی<sup>3\*</sup>، مجید برقیان<sup>4</sup>

1- دانشجوی دکتری، مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز

2- استاد، مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز

3- استادیار، مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز

4- دانشیار، مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز

\* تبریز، صندوق پستی 51666، mojtabehi@tabrizu.ac.ir

### اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: 18 شهریور 1395

پذیرش: 06 آبان 1395

ارائه در سایت: 21 آذر 1395

کلید واژگان:

تحلیل مودال

اسکله باز

نیمه‌گرداری اتصال

به‌روزرسانی مدل المان محدود

### چکیده

ارزیابی مشخصات و تغییر در خصوصیات مکانیکی سازه‌های مهندسی، مستلزم ردگیری دقیق رفتار دینامیکی این سازه‌ها به منظور شناخت و جلوگیری از آسیب‌های سازه‌ای احتمالی در طول عمر بهره‌برداری آنها می‌باشد. این مهم در ارتباط با قاب‌های فضایی مورد استفاده در ساخت سازه‌های ساحلی نظیر اسکله‌های باز، به علت قرارگیری در شرایط بارگذاری خاص محیط دریایی، از پیچیدگی و عدم قطعیت بیشتری برخوردار است. از جمله عوامل عدم قطعیت در شناخت عملکرد دینامیکی اسکله‌ها، مربوط به میزان نیمه‌گرداری اتصالات عرشه به پایه‌ها می‌باشد که با توجه به تمرکز عمده جرم در عرشه تأثیر به‌سزایی در پاسخ‌های سازه دارد. بنابراین، مطالعه روش‌های جدید کارآمد در شناسایی و ارزیابی دقیق این پارامتر عدم قطعیت، جهت ارتقای روش‌های به‌روزرسانی مدل‌های عددی، از اهمیت بالایی برخوردار است. در پژوهش حاضر رفتار مکانیکی مدل یک اسکله ساحلی به صورت عددی و آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گرفت. آزمایش‌های مربوط به تحلیل مودال تجربی جهت استخراج پاسخ‌های سازه صورت پذیرفت. همزمان، مدل عددی سازه در انسیس و متلب تهیه و براساس آن تحلیل مودال عددی انجام گرفت. سپس بر اساس حل مسئله بهینه‌سازی توسط الگوریتم کلونی مورچگان پیوسته (ACO<sub>R</sub>) نسبت به به‌روزرسانی مدل اجزای محدود سازه، با تعیین درصد‌های گرداری اتصالات اقدام گردید. نتایج حاصل مبین صحت فرض عدم گرداری کامل اتصالات عرشه به پایه‌ها بود. همچنین بر اساس حل مسئله توسط الگوریتم کلونی مورچگان مدل به‌روزرسانی شده انطباق‌پذیری خیلی بهتری با مدل آزمایشگاهی داشت.

## Evaluating the uncertainties in the semi-rigidity of connections of the pier base to optimization of finite element model updating

Mehdi Gholipour Feizi, Vahid Nourani, Alireza Mojtahedi\*, Majid Barghian

Department of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

\* P.O.B. 51666 Tabriz, Iran, mojtabehi@tabrizu.ac.ir

### ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper  
Received 08 September 2016  
Accepted 27 October 2016  
Available Online 11 December 2016

**Keywords:**  
Modal analysis  
Pier  
Semi-rigidity of connection  
Finite element model updating

### ABSTRACT

The detection of changes in the dynamic behavior of structures is an important issue in structural safety assessment. Deployment and servicing of marine and coastal structures such as piers in the marine environment constantly changing, requires understanding the dynamic behavior of these structures to prevent possible damage. Among the factors of uncertainty in understanding the dynamic performance of piers is uncertainties related to semi-rigid connection of deck to piles. According to this fact that the main mass of the structure is on deck, the connection of deck to piles is very important. In this study, experimental and numerical models of beach piers were studied. A test on experimental modal analysis was performed to determine the response of structures. A numerical model of the structure was prepared and theory of modal analysis was performed on it. Then, based on solution of optimization problem using Continuous Ant Colony Algorithm, the percentages of semi-rigid connections were determined and model was updated. Results show that the connection is not fully rigid. The present method can be used to determine the percentage of semi-rigidity of connections and prepare the finite element model to be more adaptable to the experimental model. Updated results with this method were very close to the real model.

### 1- مقدمه

مطالعه تأثیر عوامل عدم قطعیت<sup>1</sup> در رفتار مکانیکی سازه، در زمینه‌های

<sup>1</sup> Uncertainty Effect

مختلف مهندسی مرتبط با دینامیک سازه‌ها مورد توجه زیادی قرار گرفته است. در تحلیل دینامیکی قاب‌های سه‌بعدی فضایی پیچیده مورد استفاده در سیستم‌های سازه‌ای نظیر سازه‌های ساحلی و فراساحلی، عدم قطعیت

Please cite this article using:

M. Gholipour Feizi, V. Nourani, A. Mojtahedi, M. Barghian, Evaluating the uncertainties in the semi-rigidity of connections of the pier base to optimization of finite element model updating, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 16, No. 12, pp. 281-290, 2016 (in Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

دینامیکی غیرخطی دارای عدم‌قطعیت تصادفی را با استفاده از مدل احتمالاتی غیرپارامتری عدم‌قطعیت‌های تصادفی مربوط به حالت خطی بررسی نمودند. در این پژوهش خاصیت غیرخطی، ناشی از نیروهای بازگرداننده‌ای در نظر گرفته شدند که پارامترهای آنها دارای عدم‌قطعیت بوده و با رهیافت پارامتری مدل‌سازی می‌گردند [9].

ویردر و همکاران در سال 2005 به تحلیل بروز رسانی عدم‌قطعیت یک اسکله پرداختند. نویسندگان در این تحقیق چند متغیر تصادفی پایه‌ای سیستم مهار میله‌ها و سختی معادل خاک-میله از طریق یک روش معکوس و با استفاده از یک مدل دینامیکی تعیین کردند و برای تعیین خصوصیات آماری پارامترها، از شبیه‌سازی مونت-کارلو<sup>2</sup> و الگوریتم سیمپلکس استفاده نمودند [10]. سوایز و همکاران در سال 2008 برای شناسایی سیستم‌های دینامیکی پیچیده دارای عدم‌قطعیت با استفاده از داده‌های تجربی<sup>3</sup>، روش جدیدی را پیشنهاد نمودند که در آن عدم‌قطعیت‌ها با استفاده از روش احتمالاتی، غیرپارامتری در نظر گرفته می‌شوند. چنین مدل احتمالاتی از عدم‌قطعیت‌ها این امکان را فراهم می‌آورند که عدم‌قطعیت‌های مدل و پارامتری با استفاده از تعداد کمی از پارامترهای مجهول شناسایی و لحاظ گردند [11]. مجتهدی و همکاران در سال 2013 با استفاده از سیستم منطق فازی به تحقیق در مورد تأثیر پارامترهای عدم‌قطعیت در فرایند عیب‌یابی<sup>4</sup> سازه‌های فراساحلی پرداختند. آنها با استفاده از انجام آنالیز مودال برای یک سازه جک‌تی، دریافتند که دخالت دادن تأثیر عدم‌قطعیت در مطالعه تجربی و مدل‌سازی عددی، درصد موفقیت الگوریتم‌های مطالعه رفتار دینامیکی چنین سازه‌هایی را افزایش می‌دهد [12]. باتو در سال 2015 برای تحلیل عدم‌قطعیت‌های سازه‌ای، روش المان محدود اتفاقی را معرفی نمود. در این روش، در ابتدا توابع چگالی احتمالاتی بر روی داده‌های موجود برازش داده می‌شود و به دنبال آن پارامترهای مربوط به مدل‌سازی را می‌توان به صورت متغیر تصادفی نمایش داد [13].

یکی از اصلی‌ترین مشکلات اسکله‌ها نیروهای وارد بر عرشه اسکله در مواقع طوفانی است. در این میان نحوه اتصال عرشه به پایه‌ها می‌تواند نقش بسیار مهمی در مقاومت سازه در برابر نیروهای وارده داشته باشد [14]. اتصالات در سازه‌های مهندسی معمولاً نیمه‌گیردار هستند در نتیجه نیروهای داخلی و نمودارهای لنگر خمشی که با فرض اتصال کاملاً گیردار محاسبه شده‌اند باید با در نظر گرفتن خطاهای مربوط به گیرداری اصلاح شوند.

مطالعاتی هم با در نظر گرفتن این واقعیت در ارتباط با طبقه‌بندی انواع اتصالات در سازه‌های فولادی صورت پذیرفته است [15-17]. کوهوتیک در سال 2000 آزمایش نیمه‌گیرداری اتصالات را با استفاده از بررسی‌های دینامیکی غیرمخرب در یک اتصال گیردار بررسی کرد. در این بررسی آنالیز مودال تجربی با تحریک در نقاط مختلف طرح‌ریزی شد و تأثیر گیرداری اتصالات بر پاسخ دینامیکی با استفاده از روش تغییر شکل دینامیکی مورد ارزیابی قرار گرفت [18]. کاتال و اوزتورک در سال 2005 پاسخ دینامیکی اتصالات نیمه‌گیردار را به وسیله فتر دورانی الاستیک خطی<sup>5</sup> مورد بررسی قرار دادند. مقایسه نتایج پاسخ‌های پنج قاب چند طبقه نشان داد که نیمه‌گیرداری اتصالات پریود ارتعاشی را مخصوصاً در

مربوط به مدل‌های دینامیکی، بصورت جزء سیستم‌هایی مدل می‌شوند که به شکل تصادفی به سازه اصلی متصل می‌گردند. این عدم‌قطعیت در روش‌های مدل‌سازی عددی مرسوم در نظر گرفته نمی‌شوند. نمونه‌هایی از این نوع جزء سیستم‌ها عبارتند از لوله‌ها، کابل‌های کنترل، جرثقیل‌های متحرک، امواج و غیره که امکان تعیین کاملاً دقیق مقدار نوسانات احتمالی آنها وجود ندارد [1-3].

از جمله کاربردهای سیستم‌های قایب‌شکل که از اتصال المان‌های مختلف تشکیل می‌شوند در ساخت اسکله‌های باز در بنادر می‌باشد. بنادر یکی از گلوگاه‌های مهم اقتصادی، نظامی و سیاسی محسوب می‌شوند و این موضوع سازه‌های بندری را جزو سازه‌های با اهمیت ویژه قرار می‌دهد که تأثیر بسزایی در ادامه حیات کشورها دارند. در این میان اسکله‌ها، به دلیل داشتن نقش کلیدی در نقل و انتقال مسافر و کالا در مواقع عادی و طوفانی، از شریان‌های حیاتی حمل و نقل و کمک‌رسانی محسوب می‌شوند. این سازه‌ها به دلیل قرارگیری در محیط دریا، در طول مدت وقوع طوفان تحت نیروهای عظیمی از موج، باد و جریان قرار می‌گیرند. اسکله‌ها برای کاربردهای مختلفی از جمله لنگرگاه کشتی‌ها، مهاربندی ایمن برای پهلوگیری کشتی‌ها، تامین محل انتقال محموله‌ها و مسافران و سایر فعالیت‌های تخصصی توسعه یافته‌اند. جزئیات بیشتر از این نوع اسکله‌ها را می‌توان در مرجع [4] یافت.

درحین طوفان‌های بزرگ دریایی که به ساحل برخورد می‌کنند این سازه‌ها غالباً در معرض آسیب‌های شدید و تخریب کلی قرار می‌گیرند. اصل اساسی در نگهداری سازه‌های ساحلی همانند هر نوع سازه دیگر اطمینان از عملکرد ایمن در طول عمر سازه می‌باشد. مشاهده وقوع آسیب‌های ایجاد شده در اسکله‌ها در خلال طوفان‌های ساحلی در بخش‌های مختلف دنیا، اهمیت بررسی مسئله تعیین رفتار دینامیکی این نوع سازه‌ها را به وضوح نشان می‌دهد. اما پیچیدگی این مسئله به دلیل وجود عدم‌قطعیت‌های ناشی از طبیعت تصادفی بارهای هیدرودینامیکی و همچنین عدم‌قطعیت‌های موجود در مسائل اجرایی افزایش می‌یابد [5].

ایوان و هوانگ در سال 1996 روشی را برای دستیابی به پاسخ دینامیکی سیستم‌های غیرخطی با در نظر گرفتن عدم‌قطعیت‌های پارامتری ارائه نمودند که در آن پارامترهای عدم‌قطعیت به‌صورت متغیرهای تصادفی مستقل از زمان در نظر گرفته شده‌اند. به عنوان راه حل مبنا مجموعه‌ای از چندجمله‌ای‌های متعامد با تابع چگالی احتمالی مورد استفاده قرار گرفته و متغیرهای پاسخ برحسب مجموعی از تعداد جملات محدود از این چندجمله‌ای‌ها بیان شدند. در نهایت مجموعه‌ای از معادلات دیفرانسیل غیرخطی غیراحتمالاتی بر اساس روش باقیمانده‌های وزن‌دار حل گردید [6]. سوایز در سال 2000 یک مدل غیرپارامتری از عدم‌قطعیت‌های تصادفی برای مدل‌های کاهش یافته در دینامیک سازه ارائه کرد [7].

گوپتا و مانهور در سال 2001 مقوله‌ای محاسبه‌ای اعتمادپذیری سیستم‌های سازه‌ای خطی دینامیکی با عدم‌قطعیت‌های پارامتری که به طور تصادفی تحریک شده‌اند را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه، نوسانات آماری خواص سیستم به صورت میدان‌های تصادفی غیرگوسی<sup>1</sup> با کران‌های محدود شده و ساختار کوواریانس معلوم، مدل شدند [8]. دسیلرز و همکاران در سال 2004 در پژوهش خود پاسخ حالت گذرای یک سیستم

<sup>2</sup> Monte Carlo<sup>3</sup> Experimental Modal Data<sup>4</sup> Damage Detection<sup>5</sup> Linear Elastic Rotational Springs<sup>1</sup> Non-Gaussian Random

جدول 1 مشخصات فیزیکی و هندسی عرشه

پارامتر	مقدار
طول	400 (mm)
عرض	400 (mm)
ضخامت	10 (mm)
چگالی جرمی	7850 (kg/m <sup>3</sup> )
ضریب پواسون	0.3
مدول یانگ	200 (GPa)

جدول 2 آمده است. نسبت فاصله شمع‌ها ( $S/d$ ) برابر با 3.75 ( $S$  فاصله شمع‌ها از یکدیگر و  $d$  قطر شمع‌ها) بوده و قاب مدل دارای اعضای مهاري افقی و قطری 15 و 33.5 سانتی‌متر و قطر 10 میلی‌متر می‌باشد. هر 9 شمع سازه نیز به یک صفحه فلزی مربعی شکل صلب و سنگین فولادی به ابعاد 800 میلی‌متر جوش شده‌اند بطوری که امکان شبیه‌سازی اتصال گیردار در محل تکیه‌گاه را برای سازه فراهم می‌سازند.

## 2-2- نحوه انجام تحلیل مودال

برای انجام آنالیز مودال تجربی به منظور تعیین ویژگی‌های دینامیکی سازه، از آزمون ارتعاش با نیروهای محرک متغیر با زمان استفاده شد. خصوصیات دینامیک سازه‌ای برحسب ویژگی‌های طبیعی خود سازه توصیف می‌شوند که فرکانس‌های ویژه، بردارهای ویژه، ضرایب استهلاک و جرم‌های مودال هستند. با استفاده از این خصوصیات امکان ایجاد مدلی ریاضی برای رفتار دینامیکی سازه فراهم می‌گردد [22].

با انتخاب گوشه عرشه اسکله به عنوان نقطه مبدأ، تحریک کننده و شتاب‌سنج‌ها، مستقیم به گره‌ها متصل می‌شوند. در این مطالعه شتاب‌سنج‌ها به چند نقطه از سازه بنام‌های SP1، SL1، SL4 و SP2 متصل شده و مدل در نقطه  $f/l$  تحریک می‌شود (شکل 1). در جدول 3 مختصات این نقاط آورده شده است. از سیگنال‌های با خصوصیات نویز سفید به عنوان سیگنال‌های تحریک ورودی استفاده شدند. ابزاربندی سازه شامل دو عدد شتاب‌سنج تک محوری سبک وزن (از نوع B&K 4508) برای ثبت پاسخ‌های سازه‌ای و یک عدد نیروسنج مربوط به نیروی تحریک بود (شکل 2). با استفاده از گیره‌های تعبیه شده بر روی نقاط سازه‌ای، شتاب‌سنج‌ها در هر نقطه در دو راستای  $X$  و  $Y$  قرار می‌گرفتند تا بطور همزمان در هر دو راستا پاسخ‌های سازه را ثبت کنند. به منظور اندازه‌گیری پاسخ‌های سازه‌ای، 4 نقطه بر روی عرشه و پایه‌های اصلی در محل اتصالات گرهی مهاربندها در نظر گرفته شد. نظر به اینکه تعداد نقاط مطلوب بیش از تعداد کانال‌های دیتالاگر و حسگرهای موجود بودند، اندازه‌گیری در 50 مرحله با استفاده از روش شتاب‌سنج متحرک انجام گرفت. پاسخ‌های

جدول 2 مشخصات فیزیکی و هندسی شمع‌ها

پارامتر	مقدار
طول	600 (mm)
قطر خارجی	40 (mm)
ضخامت	5 (mm)
چگالی جرمی	7850 (kg/m <sup>3</sup> )
ضریب پواسون	0.3
مدول یانگ	200 (GPa)

مودهای پایین، بالا می‌برد [19]. پژوهش‌های مختلفی هم در سازه‌های فولادی به منظور تعیین درصد نیمه‌گیرداری اتصالات در سازه‌های قابی شکل صورت پذیرفته است [21,20].

خلاء تحقیقاتی که بصورت متمرکز به تعیین نیمه‌گیرداری اتصالات عرشه به پایه‌ها در اسکله‌ها پرداخته باشد بسیار واضح است. از اینرو در پژوهش حاضر، با معرفی روش جدید به ارزیابی اثر عدم قطعیت در نیمه‌گیرداری اتصالات عرشه به پایه‌ها در پاسخ دینامیکی اسکله‌ها پرداخته شده است. روش جدید ارایه شده در این پژوهش، با ترکیب دو نوع از روابط بیان کننده نیمه‌گیرداری اتصالات، و تبدیل آنها به یک مسئله بهینه‌سازی درصدهای نیمه‌گیرداری اتصالات عرشه به پایه‌ها را تعیین می‌کند. سازه اسکله تحت آنالیز مودال تجربی قرار می‌گیرد تا پاسخ سازه و فرکانس‌های طبیعی تجربی استخراج گردند. مدل عددی در محیط نرم‌افزار انسیس ساخته می‌شود. همزمان کدهای اجزای محدود در محیط نرم‌افزار متلب برای انجام آنالیز مودال نوشته می‌شوند. با ترکیب روابط و با در نظر گرفتن درصدهای گیرداری اتصالات به عنوان متغیرهای تصمیم، فرایند تعیین درصد نیمه‌گیرداری اتصال به صورت مسئله بهینه‌سازی مطرح می‌گردد. الگوریتم کلونی مورچگان پیوسته برای حل مسئله بکار گرفته می‌شود. بعد از مشخص شدن درصدهای گیرداری اتصالات، بر اساس روابط نیمه‌گیرداری سختی فنرهای پیچشی تعیین شده و در مدل عددی انسیس بکار گرفته می‌شوند. بدین ترتیب مدل به‌روزرسانی شده در محیط انسیس ساخته می‌شود.

## 2- تحلیل مودال تجربی

### 1-2- مشخصات سازه

در این مطالعه، برای بررسی رفتار دینامیکی اسکله ساحلی، یک مدل فیزیکی بر اساس ابعاد یک اسکله معمول برای انجام آزمایش‌ها در آزمایشگاه پردازش سیگنال مجهز به تجهیزات ارتعاشی و تحلیل مودال ساخته شد (شکل 1). مدل اولیه مورد بررسی به وزن 39.12 کیلوگرم از یک عرشه و 9 شمع فولادی تشکیل شده که شمع‌ها به‌صورت گیردار به عرشه و بستر متصل شده‌اند. خصوصیات فیزیکی و هندسی عرشه در جدول 1 آورده شده است.

شمع‌ها لوله‌های فولادی با قطر خارجی، ضخامت و طول به ترتیب 40، 5 و 600 میلی‌متر می‌باشند. خصوصیات فیزیکی و هندسی شمع‌ها در



Fig. 1 The model of pier for experimental modal analysis

شکل 1 مدل اسکله به منظور آنالیز مودال تجربی

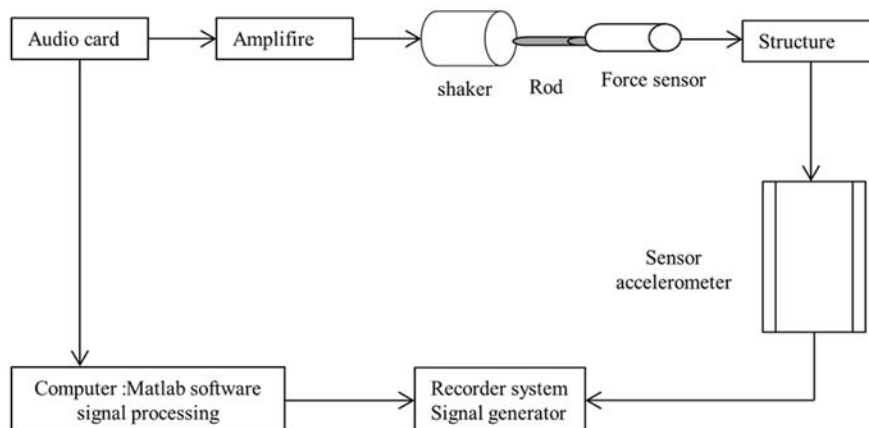


Fig. 2 Experimental modal measurement

شکل 2 چیدمان تجهیزات تحلیل مودال تجربی

انسیس به همراه شماره‌گذاری اتصالات عرشه و پایه‌ها در شکل 4 نشان داده شده است. جهت انجام آنالیز مودال عددی مدل‌سازی با فرض اتصال گیردار کامل صورت گرفته است. المان عرشه با در نظر گرفتن بحث استقلال مش به 64 بخش تقسیم‌بندی شده است. انجام تحلیل مودال در انسیس با استفاده از روش بلک لنگزوس<sup>3</sup> صورت گرفته است. فرکانس‌های طبیعی حاصل از انسیس در جدول 5 نشان داده شده است.

### 2-3- تحلیل مودال در متلب

برای انجام تحلیل مودال در متلب معادله حرکت سیستم بدون میرایی

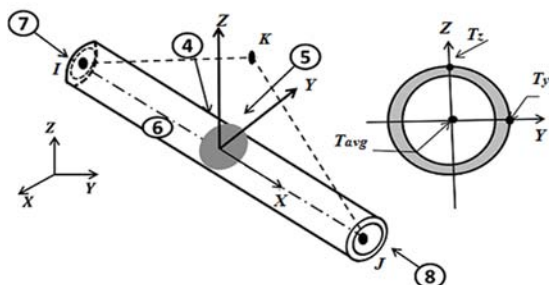


Fig. 3 Property of PIP288

شکل 3 مشخصات المان پایپ 288

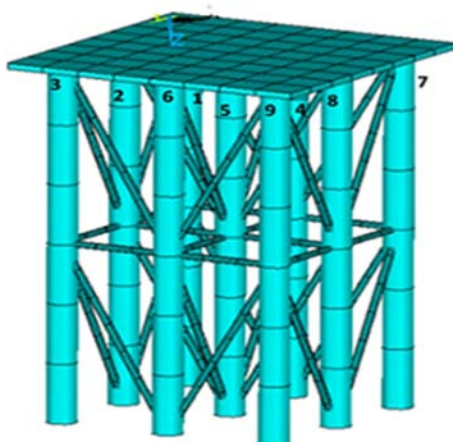


Fig. 4 Finite element model of pier in ansys

شکل 4 مدل اجزای محدود اسکله در انسیس

فرکانسی سازه با استفاده از تحلیلگر FFT ثبت و سیگنال‌های خروجی به نرم‌افزار پالس (2006) جهت انجام پردازش، ارسال گردید. نتایج فرکانس‌های طبیعی تجربی در جدول 4 نشان داده شده است.

### 3- تحلیل مودال عددی

#### 1-3- تحلیل مودال در انسیس

روش اجزای محدود ابزار بسیار قوی در تحلیل عددی مسائل مربوط به سازه‌های قابی و پیوسته می‌باشد، زیرا با استفاده از این روش می‌توان سازه‌های با خصوصیات پیچیده هندسی و شرایط بارگذاری‌های مختلف را به طور دقیق تجزیه و تحلیل نمود [23]. از جمله این سازه‌های پیچیده، سازه اسکله می‌باشد که هریک از اعضای سازه اسکله در معرض نیروی محوری، بارگذاری جانبی، گشتاورهای خمشی و پیچشی قرار می‌گیرند. در این مطالعه، ساخت مدل اجزای محدود سه بعدی اولیه اسکله و تحلیل ارتعاشی آن با استفاده از بسته نرم‌افزاری تحلیلی انسیس انجام می‌شود. برای مدل کردن عرشه اسکله از المان چهار گرهی پوسته‌ای 181<sup>1</sup> و برای شمع‌ها از المان لوله‌ای 288<sup>2</sup> استفاده شده است. المان پوسته‌ای 181، المانی با 4 گره و 6 درجه آزادی برای هر گره است (انتقال در راستای X، Y و Z و چرخش حول محورها X، Y و Z). همچنین المان لوله‌ای 288 نیز المانی با 2 گره و 6 درجه آزادی برای هر گره است. (انتقال در راستای X، Y و Z و چرخش حول محورها X، Y و Z). نمایی از المان لوله‌ای در شکل 3 نشان داده شده است. مدل ساخته شده در

جدول 3 مختصات نقاط اتصال شتاب‌سنج‌ها و نقطه تحریک

Table 3 The coordinate of accelerometers and excitation point

مختصات	نقطه
(0,5,0)	SL1
(0,20,0)	SL4
(0,20,5)	SP1
(5,20,30)	SP2
(5,5,15)	f1

جدول 4 مقادیر فرکانس‌های طبیعی تجربی

Table 4 The experimental natural frequency

شماره فرکانس	1	2	3	4
فرکانس طبیعی (HZ)	53.1	70.65	73.22	356.37

<sup>1</sup> Shell 4 node 181

<sup>2</sup> Pipe 288

<sup>3</sup> Black lanczos

اتصال با توجه به منحنی‌های لنگر- دوران تعیین می‌شود. این منحنی‌ها با یک برازش مناسب از داده‌های تجربی بدست می‌آیند. انواع مختلف منحنی لنگر - دوران ( $M-\theta_r$ ) توسط چن و لویی در سال 1987 بسط داده شده است [24]. از شکل 5 مشخص است میزان لنگر قابل تحمل بستگی به میزان دوران دارد و میزان دوران در ارتباط مستقیم با گیرداری اتصال می‌باشد.

همچنان که اشاره شد اتصال نیمه‌گیردار در محیط انسیس توسط فنر پیچشی خطی الاستیک صورت می‌گیرد. مهمترین بخش نیز تعیین میزان سختی این فنرها برای انطباق مدل اجزای محدود با مدل واقعی است. میزان سختی فنرها بر اساس حل مسئله بهینه‌سازی در محیط متلب با الگوریتم کلونی مورچگان بدست می‌آید. بنابراین اولین گام در تعیین سختی فنر پیچشی خطی، ارتباط دادن مناسب درصد گیرداری اتصال به این سختی می‌باشد. لذا لازم است مدل‌سازی اتصالات نیمه‌گیردار در محیط متلب انجام شده و با حل مسئله بهینه‌سازی درصد گیرداری اتصال تعیین و سختی فنرهای پیچشی نیز معین گردند. در این مطالعه برای ارتباط درصد گیرداری با سختی فنرها از روش جدیدی که با حل همزمان دو نوع از روابط بیان کننده نیمه‌گیرداری بدست می‌آید استفاده می‌شود.

$$[K_{\text{semi}}] = [\theta] * \begin{bmatrix} K_{jj} & K_{jk} \\ K_{kj} & K_{kk} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$[\theta]$  ماتریس ضرایب نیمه‌گیرداری می‌باشد که به صورت درایه به درایه در ماتریس سختی المان‌های متصل به عرشه ضرب می‌شود (نماد \*). به معنای ضرب درایه به درایه می‌باشد و به صورت روابط (6,7) قابل محاسبه است:

$$[\theta] = \begin{bmatrix} \theta_{jj} & \theta_{jk} \\ \theta_{kj} & \theta_{kk} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$[\theta_{jj}] = \begin{bmatrix} \theta_1 & & & & & \\ 1 & \theta_1 & & & & \\ 1 & 1 & 1 & & & \\ 1 & \theta_2 & 1 & \theta_4 & & \\ \theta_2 & 1 & 1 & 1 & \theta_4 & \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[\theta_{kk}] = \begin{bmatrix} \theta_1 & & & & & \\ 1 & \theta_1 & & & & \\ 1 & \theta_3 & 1 & \theta_6 & & \\ \theta_3 & 1 & 1 & 1 & \theta_6 & \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[\theta_{kj}] = \begin{bmatrix} \theta_1 & 1 & 1 & 1 & \theta_3 & 1 \\ 1 & \theta_1 & 1 & \theta_2 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & \theta_3 & 1 & \theta_5 & 1 & 1 \\ \theta_2 & 1 & 1 & 1 & \theta_5 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

مقدار  $[\theta_{jk}]$  نیز با تعویض جای سطر و ستون‌های  $[\theta_{kj}]$  بدست می‌آید. در رابطه بالا مقادیر  $\theta_i$  به صورت روابط (8) قابل محاسبه است [25]:

$$\theta_1 = \frac{\alpha_i + \alpha_j + \alpha_i \alpha_j}{4(3 + \alpha_j) + \alpha_i(4 + \alpha_j)}$$

$$\theta_2 = \frac{\alpha_i(2 + \alpha_j)}{4(3 + \alpha_j) + \alpha_i(4 + \alpha_j)}$$

$$\theta_3 = \frac{\alpha_j(2 + \alpha_i)}{4(3 + \alpha_j) + \alpha_i(4 + \alpha_j)}$$

$$\theta_4 = \frac{\alpha_i(3 + \alpha_j)}{4(3 + \alpha_i) + \alpha_j(4 + \alpha_i)}$$

سازه‌ای در نظر گرفته می‌شود. فلذا معادله دینامیکی سیستم به صورت رابطه (1) خواهد بود:

$$[M]\{\ddot{D}\} + [K]\{D\} = \{0\} \quad (1)$$

در رابطه فوق  $[M]$  ماتریس جرم و  $[K]$  ماتریس سختی سازه می‌باشد و  $\{D\}$  و  $\{\ddot{D}\}$  بردارهای متغیر با زمان، شتاب و جابجایی می‌باشند. طبق تئوری اجزای محدود ماتریس‌های جرم و سختی اعضای سازه از روابط (2,3) قابل استخراج هستند:

$$[K_e] = \begin{bmatrix} K_{jj} & K_{jk} \\ K_{kj} & K_{kk} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$[M_e] = \begin{bmatrix} M_{jj} & M_{jk} \\ M_{kj} & M_{kk} \end{bmatrix} \quad (3)$$

درایه‌های مربوط به ماتریس سختی به صورت روابط (4) می‌باشد. در مورد ماتریس جرم نیز می‌توان به مرجع [23] رجوع کرد.

$$K'_{jj} = \frac{E}{L^3} \begin{bmatrix} r_1 I_x & & & & & \\ 0 & 12 I_z & & & & \\ & & Sym. & & & \\ 0 & 0 & 12 I_y & & & \\ 0 & 0 & 0 & r_2 L^2 I_y & & \\ 0 & 0 & -12 I_y & 0 & 4 L^2 I_y & \\ 0 & 6 L I_z & 0 & 0 & 0 & 4 L^2 I_z \end{bmatrix}$$

$$K'_{kj} = \frac{E}{L^3} \begin{bmatrix} -r_1 I_x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -12 I_z & 0 & 0 & 0 & -6 L I_z \\ 0 & 0 & -12 I_y & 0 & 6 L I_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -r_2 L^2 I_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -6 L I_y & 0 & 2 L^2 I_y & 0 \\ 0 & 6 L I_z & 0 & 0 & 0 & 2 L^2 I_z \end{bmatrix}$$

$$K'_{kk} = \frac{E}{L^3} \begin{bmatrix} r_1 I_z & & & & & \\ 0 & 12 I_z & & & & \\ & & Sym. & & & \\ 0 & 0 & 12 I_y & & & \\ 0 & 0 & 0 & r_2 L^2 I_y & & \\ 0 & 0 & 6 L I_y & 0 & 4 L^2 I_y & \\ 0 & -6 L I_z & 0 & 0 & 0 & 4 L^2 I_z \end{bmatrix} \quad (4)$$

در روابط فوق  $r_1$  برابر  $AL^2/I_z$  و  $r_2$  برابر  $GI_x/EI_y$  می‌باشند.  $L$  طول المان،  $E$  مدول الاستیسیته و  $I_x, I_y, I_z$  به ترتیب ممان اینرسی حول محوره‌های  $x, y$  و  $z$  می‌باشند.

نتایج مربوط به تحلیل مودال در متلب در جدول 5 ارائه شده است. انطباق نتایج متلب با انسیس، مبین صحت کدنویسی در متلب می‌باشد.

#### 4- اتصال نیمه‌گیردار

تحلیل و طراحی سازه اسکله با فرض اتصال کاملاً گیردار عرشه به پایه‌ها یا شمع‌ها و اتصال کاملاً گیردار شمع‌ها به زمین صورت می‌پذیرد. در حقیقت به علت عدم قطعیت‌های موجود در اتصال جوشی عرشه به پایه‌ها، فرض کاملاً گیرداری این اتصال صحیح نخواهد بود. همچنین به علت تأثیرگذاری جرم بالای عرشه در پاسخ دینامیکی اسکله، این فرض مشکلاتی در هنگام مواجه با طوفان یا شرایط سخت دریایی به وجود خواهد آورد لذا لازم است میزان گیرداری اتصالات عرشه به پایه به دقت در بحث رصد مشخصات دینامیکی مورد توجه قرار گیرد. میزان گیرداری

جدول 5 فرکانس‌های عددی در انسیس و متلب

Table 5 Numerical frequency in matlab and ansys				
شماره مود	1	2	3	4
انسیس	73.58	73.58	84.87	363.4
متلب	73.681	73.681	84.91	363.29

می‌باشد. همچنین معین نمودن قیود مربوط به متغیرهای تصمیم و فضای جستجو از ارکان اساسی مسئله بهینه‌سازی هستند. در این بخش اجزای مربوط به مسئله بهینه‌سازی و الگوریتم کلونی مورچگان که برای حل تابع هدف بکار گرفته شده شرح داده می‌شود.

### 5-1- اجزای مسئله

در پژوهش حاضر با توجه به استخراج فرکانس‌های طبیعی اسکله و آماده‌سازی مدل عددی در محیط انسیس و متلب، تابع هدف را مبتنی بر تغییرات فرکانس طبیعی تجربی و فرکانس طبیعی عددی محاسبه شده توسط الگوریتم با اعمال درصد‌های نیمه‌گیرداری، طرح‌ریزی می‌کنیم. تابع هدف به صورت رابطه (13) اعمال می‌شود:

$$f(x) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_i^m - f_i^c)^2} \quad (13)$$

در تابع هدف فوق  $f_i^m$  فرکانس‌های طبیعی تجربی اسکله و  $f_i^c$  فرکانس‌های محاسبه شده توسط الگوریتم می‌باشد.  $n$  در رابطه بالا تعداد فرکانس‌های طبیعی می‌باشد که در این تحقیق برابر 5 در نظر گرفته شده است. متغیرهای تصمیم مسئله نیز درصد‌های گیرداری اتصالات ( $v_i$ ) می‌باشد. در واقع متغیرهای تصمیم با توجه به بررسی نیمه‌گیرداری در محل اتصال عرشه به پایه‌ها و فرض اتصال کاملاً گیردار پایه‌ها به زمین، در گره‌های اتصال عرشه به پایه‌ها (گره  $i$ ) بررسی می‌شوند. بنابراین تعداد متغیرهای تصمیم مسئله برابر تعداد گره‌های اتصال عرشه به پایه و برابر 9 است. در حقیقت الگوریتم با کمینه کردن تابع هدف،  $v_i$  های هر گره را محاسبه می‌کند. سپس بر اساس روابط 11 مقادیر ضرایب تصحیح و پس از آن مقادیر  $\theta_i$  ها محاسبه و روی سختی المان‌های پایه اعمال می‌گردند. سپس تحلیل مودال به عنوان زیر برنامه الگوریتم مورچگان انجام شده و فرکانس‌ها محاسبه می‌گردد. فضای جستجوی مسئله نیز بازه  $[0,1]$  می‌باشد.

### 5-2- الگوریتم کلونی مورچگان پیوسته (ACO<sub>R</sub>)

الگوریتم فرا ابتکاری کلونی مورچگان (ACO) بر اساس رفتار مورچه‌های طبیعی در پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر بین لانه و مواد غذایی شبیه‌سازی شده است. مشاهده شده است که مورچه‌ها در پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر با ترشح ماده‌ای بنام فرمون گونه‌ای از ارتباط و همکاری جمعی را برای انتقال سریعتر مواد غذایی به لانه به نمایش می‌گذارند. بر اساس همین ارتباط و همکاری جمعی در اوایل دهه 90 میلادی الگوریتم کلونی مورچگان ارایه شد [26]. نسخه اولیه الگوریتم مورچگان برای محیط‌های گسسته و مسائل با ماهیت گسسته بکارگیری می‌شد. نسخه دیگر این الگوریتم تحت عنوان الگوریتم کلونی مورچگان پیوسته برای حل مسائل پیوسته کارایی دارد [27]. در پژوهش حاضر ماهیت مسئله به‌روزرسانی و تعیین درصد‌های گیرداری اتصالات از نوع پیوسته می‌باشد و از الگوریتم مورچگان پیوسته برای حل استفاده می‌گردد. در الگوریتم مورچگان پیوسته جواب‌های بدست آمده توسط مورچه‌ها در یک آرشو بر اساس ارزش تابع هدف مرتب می‌شود ( $f_1 \leq f_2 \leq \dots \leq f_k$ ).

اندازه این آرشو یعنی  $k$  پارامتری ثابت و بزرگتر از ابعاد مسئله می‌باشد. در اینجا  $k$  را بزرگتر از تعداد درجات آزادی سازه انتخاب می‌کنیم. به هر جواب در آرشو یک وزن  $w$  تخصیص داده می‌شود. برای  $l$  امین حل (در واقع  $l$  امین سطر آرشو)،  $w_l$  به صورت رابطه (14) بدست

$$\theta_5 = \frac{\alpha_i \alpha_j}{4(3 + \alpha_i) + \alpha_j(4 + \alpha_i)}$$

$$\theta_6 = \frac{\alpha_j(3 + \alpha_i)}{4(3 + \alpha_i) + \alpha_j(4 + \alpha_i)} \quad (8)$$

که  $\alpha_i$  و  $\alpha_j$  شاخص‌های سختی هستند که به منظور دستیابی به سختی دورانی فنرها در محاسبات در نظر گرفته شده‌اند. در واقع شاخص سختی فنرها معین کننده نسبت سختی پایه‌های متصل شده به عرشه، به مقدار سختی معادل ( $EI/L$ ) می‌باشد. و به صورت روابط (9) در تعیین سختی فنرها اعمال می‌شود:

$$k_i = \alpha_i \frac{EI}{L}, \quad k_j = \alpha_j \frac{EI}{L} \quad (9)$$

که  $k_i$  و  $k_j$  به ترتیب سختی دورانی فنر در انتهای  $i$  و  $j$  عضو سازه‌ای هستند. همچنین مقادیر  $\theta_i$  به صورت روابط (10) قابل محاسبه می‌باشد [21]:

$$\theta_1 = \frac{r_i + r_j + r_{ij}}{3}, \quad \theta_2 = \frac{2r_i + r_{ij}}{3}, \quad \theta_3 = \frac{2r_j + r_{ij}}{3}$$

$$\theta_4 = r_i, \quad \theta_5 = r_{ij}, \quad \theta_6 = r_j \quad (10)$$

در روابط (10)،  $r_i$  و  $r_j$  و  $r_{ij}$  ضرایب تصحیح هستند. این ضرایب بر اساس کارهای آزمایشگاهی بدست آمده‌اند و از روابط (11) بدست محاسبه می‌گردند:

$$r_i = \frac{3v_i}{4 - v_i v_j}, \quad r_j = \frac{3v_j}{4 - v_i v_j}, \quad r_{ij} = \frac{3v_i v_j}{4 - v_i v_j} \quad (11)$$

$v_i$  و  $v_j$  فاکتور گیرداری بوده و بیانگر درصد نیمه‌گیرداری اتصال می‌باشد. روشی جدیدی که در این مطالعه برای تعیین درصد نیمه‌گیرداری استفاده می‌شود ترکیب و حل همزمان دو دسته از روابط مربوط به محاسبه  $\theta_i$  می‌باشد که با حل همزمان این دو دسته از روابط، سختی فنرها ( $k_{i,j}$ ) به درصد نیمه‌گیرداری اتصالات ( $v_{i,j}$ ) به صورت رابطه (12) ارتباط داده می‌شود:

$$v_{i,j} = \frac{k_{i,j} L}{3EI + k_{i,j} L} \quad (12)$$

### 5- بهینه‌سازی

مهمترین اجزای مسئله بهینه‌سازی تعریف مناسب تابع یا توابع هدف

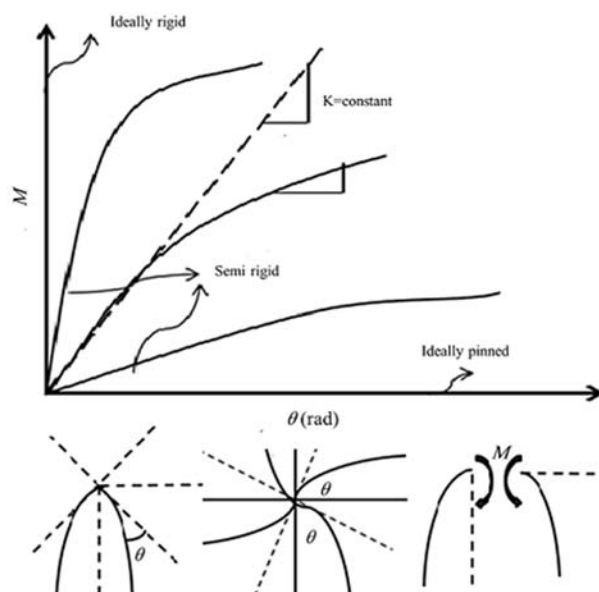


Fig. 5 Semi-rigid connection [24]

شکل 5 اتصال نیمه‌گیردار [24]

می‌آید:

$$w_l = \frac{1}{ql\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(l-1)^2}{2q^2k^2}} \quad (14)$$

در این رابطه  $q$  پارامتر ثابت الگوریتم می‌باشد. اگر  $q$  کوچک انتخاب شود، بهترین راه‌حل در انتخاب‌های بعدی در اولویت قرار می‌گیرد در حالیکه اگر  $q$  بزرگ باشد تابع احتمال انتخاب جواب، حالت یکنواخت‌تری پیدا می‌کند. در شروع الگوریتم بر اساس یک احتمال یکنواخت به صورت تصادفی آرشو ساخته می‌شود، اما در تکرارهای بعدی ساخت جواب در دو مرحله انجام می‌شود. مرحله اول شامل انتخاب یک جواب از آرشو برای تشکیل تابع گوسی<sup>1</sup> می‌باشد. چون جواب به یک فضای پیوسته تعلق دارد (درصدهای گیرداری بین صفر تا 100 درصد می‌باشد)، برای انتخاب هر مؤلفه از جواب بجای توزیع احتمال گسسته می‌بایست از تابع چگالی احتمال استفاده کرد که در این تحقیق از تابع گوسی ( $g$ ) استفاده می‌شود. در مرحله اول احتمال انتخاب  $l$  امین تابع گوسی،  $P_l$  با رابطه (15) حساب می‌شود:

$$P_l = \frac{w_l}{\sum_{j=1}^k w_j} \quad (15)$$

برای ارتباط و وابستگی بین متغیرها، انتخاب فوق در هر تکرار برای هر مورچه فقط یکبار انجام می‌شود. پس از انتخاب  $l$  امین سطر آرشو، تابع گوسی مربوطه  $(g_l^i, i = 1, 2, 3, \dots, n)$  برای تولید کلیه متغیرهای جواب (درصدهای گیرداری) استفاده می‌شود. در مرحله دوم از تابع گوسی انتخابی نمونه‌گیری می‌شود. تابع گوسی  $g_l^i(x)$  با رابطه (16) تعریف می‌گردد:

$$g_l^i(x) = \frac{1}{\sigma_l^i \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu_l^i)^2}{2\sigma_l^i{}^2}} \quad (16)$$

بر اساس رابطه بالا برای تعریف  $g_l^i$  مقادیر  $\mu_l^i$  و  $\sigma_l^i$  باید تعریف شود.  $\mu_l^i$  مقدار میانگین توزیع می‌باشد. و  $i$  امین متغیر جواب انتخابی به آن اختصاص داده می‌شود.  $\sigma_l^i$  انحراف معیار استاندارد توزیع است که بر اساس رابطه (17) محاسبه می‌شود:

$$\sigma_l^i = \xi \sum_{j=1}^k \frac{|a_j^i - a_l^i|}{k-1} \quad (17)$$

در این رابطه  $\xi$  به عنوان نرخ تبخیر فرمون عمل می‌کند و بر حافظه بلند مدت مورچه‌ها برای ساخت جواب تأثیر دارد. نرخ تبخیر فرمون برای در نظر گرفتن گوناگونی در جواب‌های مورچه‌ها و عدم توقف الگوریتم در بهینه‌های محلی بکار می‌رود. پس از هر تکرار مجموعه جواب‌های جدیدی که ساخته شده است، به آرشو اضافه می‌گردد. سپس آرشو مرتب‌سازی می‌شود و جواب‌های نامناسب کنار گذاشته می‌شود تا ابعاد آرشو بدون تغییر باقی بماند. تکرارها آنقدر ادامه پیدا می‌کند تا شرط توقف الگوریتم برآورده شود. مقادیر پارامترهای الگوریتم برای این مسئله به صورت جدول 6 تنظیم شده است.

## 6- به‌روزرسانی مدل اجزای محدود

از آنجا که مدل اجزای محدود بر اساس فرضیات ساده شده بدست می‌آید

جدول 6 مقادیر پارامترهای الگوریتم کلونی مورچگان

Table 6 The parameters of ant colony algorithm		
$k$	$\xi$	$q$
110	0.85	0.2

<sup>1</sup> Gaussian Function

امکان دارد نتواند تمام ویژگی‌های یک سازه واقعی را در خود جای دهد، به همین دلیل ممکن است نتایج آزمایش‌های دینامیکی که، برای کنترل صحت مدل انجام می‌شود مخصوصاً فرکانس‌های طبیعی و شکل مودی با نتایج بدست آمده از مدل تحلیلی هم‌خوانی نداشته باشد. این اختلاف از عدم قطعیت‌های همانند فرض اتصال کاملاً گیردار و همچنین خطاهای تجربی نشأت می‌گیرد. در نتیجه برای تصحیح مدل تحلیلی بر اساس نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های (آزمایشات) دینامیکی باید اقدام نمود که مجموعه این عملیات تحت عنوان "به‌روزرسانی مدل اجزای محدود" شناخته می‌شود. در مطالعه حاضر بحث به‌روزرسانی با تعیین درصد گیرداری اتصالات عرشه به پایه بر اساس حل مسئله بهینه‌سازی توسط الگوریتم مورچگان پیوسته و با تعیین سختی فنر پیچشی الاستیک خطی صورت می‌گیرد. بدین منظور در محل‌های اتصال عرشه به پایه‌ها در مدل عددی که در محیط نرم‌افزار اجزای محدود انسیس می‌باشد از فنرهای پیچشی الاستیک خطی استفاده خواهد شد. تا با تعیین سختی این فنرها مقادیر فرکانس‌های طبیعی حاصل از مدل عددی و مدل آزمایشگاهی به هم نزدیک گردند. نتایج مربوط به حل مسئله توسط الگوریتم کلونی مورچگان و درصدهای گیرداری تعیین شده توسط الگوریتم در جدول 7 نشان داده شده است. بر اساس درصدهای گیرداری تعیین شده توسط الگوریتم مورچگان با استفاده از رابطه (12) سختی فنرهای پیچشی برای شبیه‌سازی اتصالات عرشه به پایه‌ها در محیط نرم‌افزار انسیس محاسبه می‌گردد. برای مدل نمودن فنر در محیط انسیس از المان فنر 14 استفاده می‌گردد. نتایج مربوط به سختی فنرهای پیچشی الاستیک خطی محاسبه شده توسط الگوریتم در هر اتصال در جدول 7 نشان داده شده است. نتایج جدول 7 مبین نادرستی فرض گیرداری کامل اتصال عرشه به پایه‌ها در سازه اسکله می‌باشد. کمترین میزان گیرداری در گره شماره 9 و 7 به میزان 84.8% می‌باشد و تفاوت زیادی با اتصال کاملاً گیردار (حدود 16%) دارد. هر چند در پاره‌ای از گره‌ها همانند گره‌های 8 و 1 میزان گیرداری اتصال بالاست ولی هنوز با میزان 100% گیرداری اتصال تفاوت دارد. نتایج مربوط به مقایسه فرکانس‌های طبیعی سازه قبل و بعد از به‌روزرسانی در نمودارهای شکل‌های 6 و 7 نشان داده شده است. این نمودارها نشان دهنده تأثیر قابل توجه نیمه‌گیرداری اتصال بر پاسخ دینامیکی و مخصوصاً فرکانس‌های طبیعی می‌باشد. نتایج مربوط به فرکانس‌های به‌روزرسانی شده توسط الگوریتم مورچگان پیوسته بسیار نزدیک به مقادیر آزمایشگاهی می‌باشد. الگوریتم مورچگان با تغییراتی که در درصدهای گیرداری اتصال بوجود می‌آورد مدل عددی با قابلیت انطباق بیشتر با مدل آزمایشگاهی آماده می‌کند. برای بررسی تأثیر نیمه‌گیرداری اتصال بر پاسخ‌های اسکله

جدول 7 مقادیر سختی فنر و درصد نیمه‌گیرداری اتصالات

Table 7 Amount of spring stiffness and percentage of semi-rigid connection		
شماره گره (محل اتصال)	سختی فنر پیچشی (Nm/rad)	درصد گیرداری اتصال (%)
1	11.3E5	96.8
2	7.2E6	95.1
3	2.69E5	87.8
4	2.13E5	85.1
5	2.55E5	87.21
6	5.38E5	93.5
7	2.08E5	84.8
8	10.32E5	96.5
9	2.08E5	84.8



نمودارهای مربوط به پاسخ فرکانسی سازه در گره شماره 1 در راستای محور  $Y$  یا درجه آزادی دوم محاسبه و در شکل‌های 8 تا 11 آورده شده

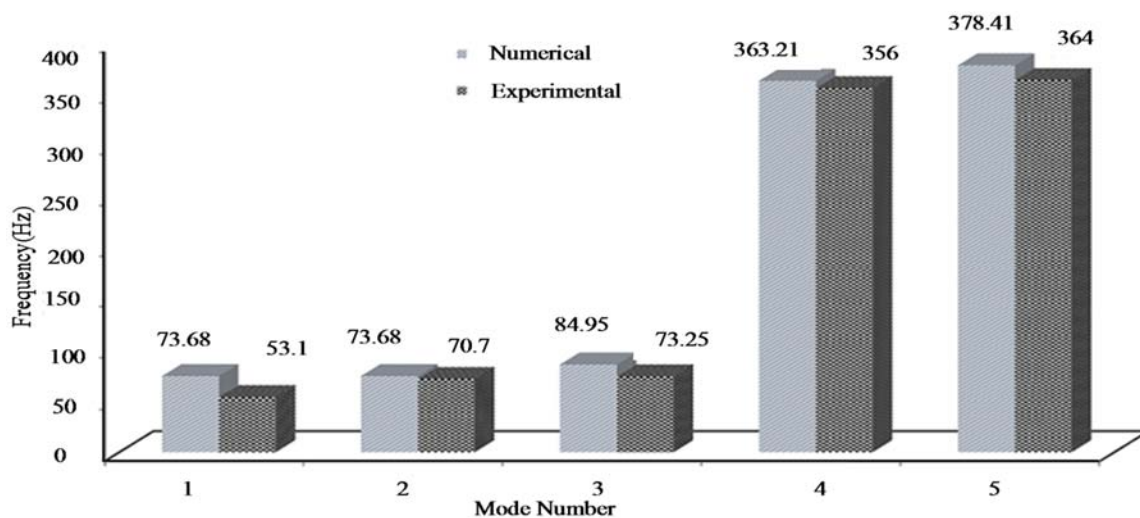


Fig. 6 Numerical and experimental frequency before model updating

شکل 6 فرکانس‌های عددی و تجربی قبل از بروز رسانی

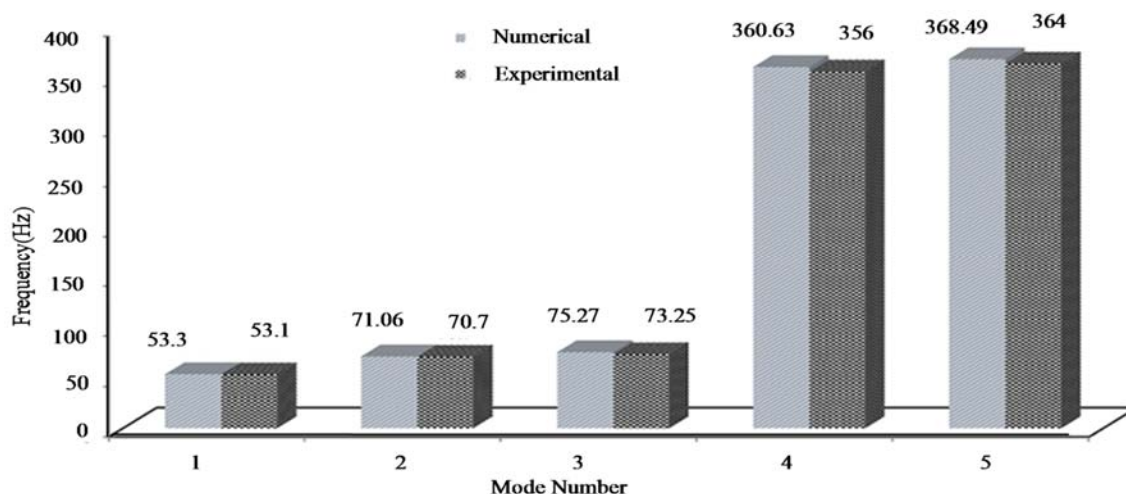


Fig. 7 Numerical and experimental frequency after model updating

شکل 7 فرکانس‌های عددی و تجربی بعد از بروز رسانی

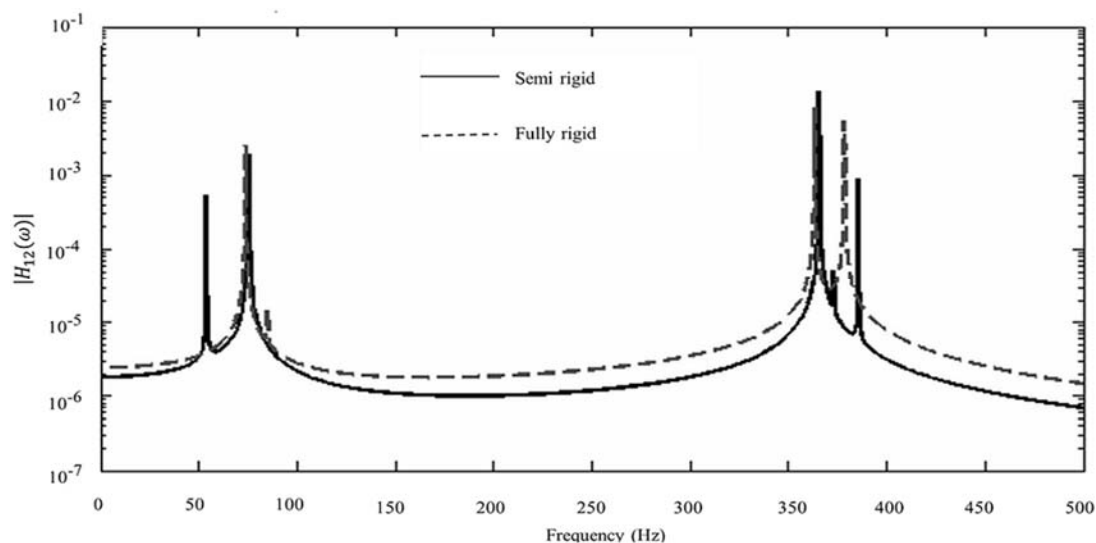


Fig. 8 First receptance frequency response function of structure in fully rigid and semi rigid

شکل 8 نمودار تابع پاسخ فرکانسی اول سازه در حالت گیرداری کامل و نیمه‌گیردار



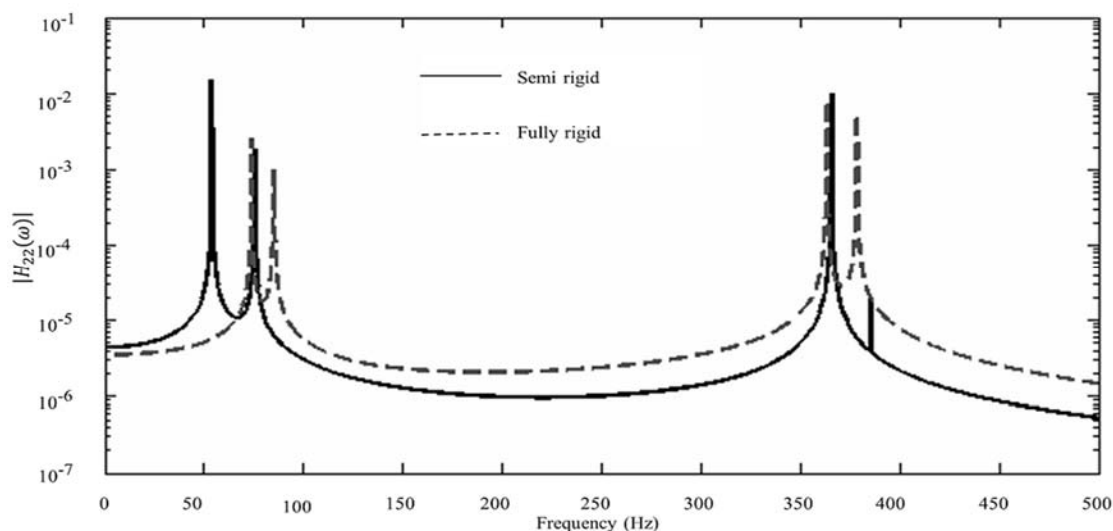


Fig. 9 Second receptance frequency response function of structure in fully rigid and semi rigid

شکل 9 نمودار تابع پاسخ فرکانسی دوم سازه در حالت گیرداری کامل و نیمه‌گیردار

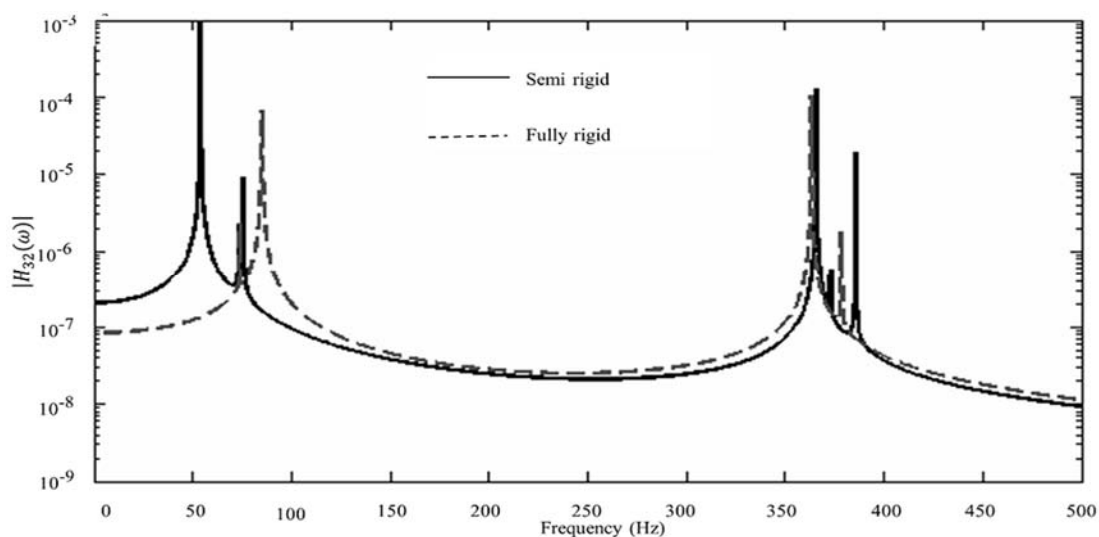


Fig. 10 Third receptance frequency response function of structure in fully rigid and semi rigid

شکل 10 نمودار تابع پاسخ فرکانسی سوم سازه در حالت گیرداری کامل و نیمه‌گیردار

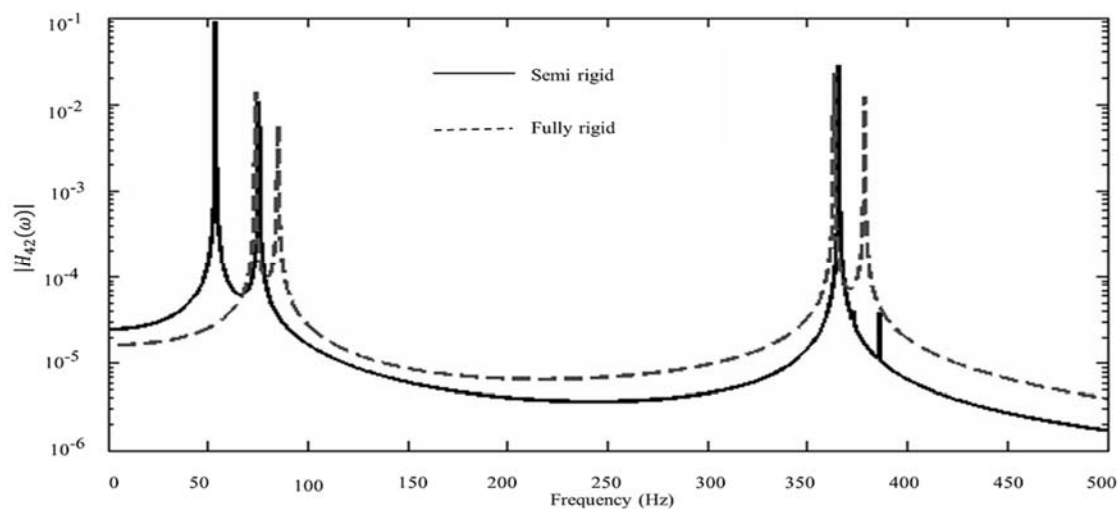


Fig. 11 Fourth receptance frequency response function of structure in fully rigid and semi rigid

شکل 11 نمودار تابع پاسخ فرکانسی چهارم سازه در حالت گیرداری کامل و نیمه‌گیردار

- [2] S. K. Choi, R. V. Grandhi, R. A. Canfield, Structural reliability under non-Gaussian stochastic behavior, *Computers and Structures*, Vol. 82, No. 13, pp. 1113-1121, 2004.
- [3] G. Christakos, *Random field models in earth sciences*, pp.73-82, New York: John Wiley, 1992.
- [4] S. Chakrabarti, *Offshore structure modelling*, pp. 35-41, New York: World Scientific Publishing Company, 1994.
- [5] M. Hayatdavoodi, *Nonlinear wave loads on decks of coastal structures*, PhD Thesis, University of Hawaii, Hawaii, 2013.
- [6] W. D. Iwan, C. T. Huang, On the dynamic response of non-linear systems with parameter uncertainties, *International Journal of Non-Linear Mechanics*, Vol. 31, No. 5, pp. 631-645, 1996.
- [7] C. Soize, A nonparametric model of random uncertainties for reduced matrix models in structural dynamics, *Probabilistic Engineering Mechanics*, Vol. 15, No. 3, pp. 277-294, 2000.
- [8] S. Gupta, C. S. Manohar, Reliability analysis of vibrating structures using stochastic finite element method and adaptive importance sampling, *Proceedings of National Symposium on Advances in Structural Dynamics and Design*, Structural Engineering Research Center, Madras, January 9-11, pp. 517-523, 2001.
- [9] C. Desceliers, C. Soize, S. Cambier, Non-parametric-parametric model for random uncertainties in non-linear structural dynamics: Application to earthquake engineering, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol. 33, No. 3, pp. 315-327, 2004.
- [10] L. Verdure, F. Schoefs, P. Casari, H. Yanes, Uncertainty updating of a on-pile wharf after monitoring, *International conference on structural safety and reliability 9th*, Rotterdam, pp. 1347-1354, 2005.
- [11] C. Soize, E. Capiez, J. F. Durand, C. Fernandez, L. Gagliardini, Probabilistic model identification of uncertainties in computational models for dynamical systems and experimental validation, *Computer Methods Applied Mechanics and Engineering*, Vol. 198, No. 1, pp. 150-163, 2008.
- [12] A. Mojtahedi, M. A. Lotfollahi Yaghin, M. M. Ettetfagh, M. Fujikubo, Detection of nonlinearity effects in structural integrity monitoring methods for offshore jacket-type structures based on principal component analysis, *Marine Structures*, Vol. 33, No. 2, pp. 100-119, 2013.
- [13] A. Batou, A global/local probabilistic approach for reduced-order robust modeling adapted to the low and mid-frequency structural dynamics, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Vol. 294, No. 3, pp. 123-140, 2015.
- [14] B. Seiffert, M. Hayatdavoodi, C. Ertekin, Experimental setup for a large-scale bridge superstructure model subjected to waves, *Journal of Mechanics B/Fluids*, Vol. 53, No. 2, pp. 191-205, 2015.
- [15] C. H. Yu, N. E. Shanmugam, Stability of frames with semi-rigid joints, *Computers & Structures*, Vol. 23, No. 5, pp. 639-648, 1986.
- [16] E. M. Lui, W. F. Chen, Effects of joint flexibility on the behaviour of steel frames, *Computers & Structures*, Vol. 26, No. 5, pp. 719-732, 1987.
- [17] C. A. Pogg, Finite element model for the analysis of flexibility connected steel frames, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Vol. 26, No. 3, pp. 2239-2254, 1988.
- [18] R. Kohoutek, Non-destructive and ultimate testing of semi-rigid connections, *Fourth international workshop on connections in steel structures*, Virginia, USA, pp. 454-463, 2000.
- [19] A. U. Ozturk, H. H. Catal, Dynamic analysis of semi-rigid frames, *Mathematical and Computational Applications*, Vol. 10, No. 1, pp. 1-8, 2005.
- [20] M. E. Kartal, *The effect of partial fixity at nodal points on the behaviour of the truss and prefabricated structures*, PhD Thesis, Zonguldak Karaelmas University, Turkey, 2004.
- [21] M. S. Filho, M. R. Guimarães, C. L. Sahlit, L. V. Brito, Wind pressures in framed structures with semi-rigid connections, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, Vol. 26, No. 2, pp. 180-192, 2004.
- [22] D. J. Ewins, *Modal Testing: Theory, practice and application*, Second Edition, pp. 85-92, England: Hertfordshire, 2000.
- [23] W. J. Weaver, P. R. Johnston, *Structural Dynamics by Finite Elements*, pp.123-134, New York: Prentice- Hall, 1994.
- [24] E. M. Lui, W. F. Chen, Effects of joint flexibility on the behaviour of steel frames, *Computers & Structures*, Vol. 26, No. 5, pp. 719-732, 1987.
- [25] W. Mc Guire, R. H. Gallagher, R. D. Ziemian, *Matrix Structural Analysis*, Second Edition, pp. 245-260, New York: John Wiley & Sons, 1999.
- [26] M. Dorigo, L. M. Gambardella, Ant colony system: A cooperative learning approach to the traveling salesman problem, *IEEE, Transactions on Evolutionary Computation*, Vol. 1, No. 1, pp. 53-66, 1997.
- [27] M. Dorigo, K. Socha, Ant colony optimization for continuous domain, *European Journal of Operational Research*, Vol. 185, No. 2, pp. 1155-1173, 2008.

است. تابع پاسخ سازه اسکله با تحریک فرکانسی در محدوده 1 تا 500 با گام‌های با فاصله 0.1 به صورت قدرمطلق جابجایی‌ها رسم شده است محور قائم در نمودارها به صورت نیمه‌لگاریتمی رسم شده تا تأثیر اثر گیرداری بر پاسخ سازه بهتر مشخص شود. این نمودارها حاکی از نقش مهم اتصالات در شیفت فرکانس طبیعی سازه در شرایط محیطی با ماهیت دینامیکی می‌باشند که عدم توجه به این مقوله باعث وارد شدن آسیب‌های جدی به سازه اسکله خواهد شد.

## 7- نتیجه‌گیری

همان‌طور که بیان شد، نیروهای وارده بر عرشه یا روسازه‌ی سازه‌های ساحلی، یکی از اصلی‌ترین مشکلات این سازه‌هاست که در مواقع طوفانی این مورد تبدیل به اصلی‌ترین عامل خرابی این سازه‌ها می‌شود. در این میان نحوه اتصال عرشه به پایه‌ها می‌تواند نقش بسیار مهمی در مقاومت سازه در برابر نیروهای وارده که عمدتاً ماهیت دینامیکی دارند، داشته باشد. از این‌رو هدف اصلی این تحقیق، به ارزیابی اثر عدم قطعیت‌های موجود در نیمه‌گیرداری اتصالات، در پاسخ دینامیکی اسکله‌های ساحلی معطوف شد. بدین منظور یک اسکله ساحلی به صورت عددی و آزمایشگاهی در شرایط مشخص مورد بررسی قرار گرفت. مسئله تعیین درصد گیرداری اتصالات عرشه به پایه‌ها به صورت مسئله بهینه‌سازی مبتنی بر فرکانس‌های طبیعی مطرح شد. سپس الگوریتم کلونی مورچگان پیوسته برای این مسئله بهینه‌سازی، پیاده شد. با حل مسئله توسط الگوریتم مورچگان و تعیین درصد نیمه‌گیرداری بر اساس روابط سختی و نیمه‌گیرداری استخراج شده در این مقاله، اتصالات عرشه به پایه به صورت فنرهای پیچشی الاستیک خطی در مدل اجزای محدود در نظر گرفته شدند. با انجام این مدل‌سازی فرایند به‌روزرسانی مدل اجزای صورت پذیرفت. نتایج حاصل از بروز رسانی مدل اجزای محدود بر مبنای راه‌کارهای الگوریتم مورچگان بیانگر عدم صحت فرض گیرداری کامل اتصالات عرشه به پایه بوده، و فرض نیمه‌گیرداری اتصال در بحث انطباق بین مدل عددی و تجربی و درک درست رفتار دینامیکی سازه اسکله فرض معقول و منطقی است. بر اساس روش ارایه شده در استخراج درصد گیرداری اتصال مشاهده گردید که در یک مورد در اتصال عرشه به پایه درصد گیرداری اتصال در گره 9 و 7 به میزان 16% با گیرداری کامل تفاوت دارد. با این حال اتصال عرشه به پایه در گره های 1 و 8 با گیرداری 96.8% و 96.5% را می‌توان به صورت تقریباً گیردار فرض نمود. لذا لازم است در طراحی این قبیل از سازه‌ها که دائم در معرض انواع بارگذاری دینامیکی قرار دارند و بارهای با ماهیت دینامیکی و ضربه‌ای را تحمل می‌کنند و همچنین به علت تمرکز بالای جرم در عرشه نسبت به عدم قطعیت در گیرداری کامل اتصال توجه لازم معطوف داشت.

## 8- مراجع

- [1] R. R. Clark, J. W. LaGrone, J. L. Koch, *Hurricane wilma-post-storm beach conditions and coastal impact report*, pp. 144-159, Florida: Department of Environmental Protection, Bureau of Beaches and Coastal Systems, 2006.