

## Design of a Floating Structure for Water Pumping from the Esteghlal Minab Dam: An Innovative Approach to Water Management in Hormozgan Province

Arefeh Emami<sup>1,2\*</sup>

1- Assistant professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

2- Assistant professor, Regional Water Company of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

### ABSTRACT

The Esteghlal Dam in Minab County, Hormozgan Province, is a primary source of drinking and industrial water for Bandar Abbas. Surplus water is allocated to irrigation networks for agricultural lands in Minab. However, the persistent decline in rainfall over recent years has led to a significant reduction in the dam's water level, thereby hindering efficient water withdrawal through the outlet structures. To address this issue, a floating structure has been proposed. This structure remains on the water surface and utilizes suction pumps to facilitate water transfer toward the outlet gates. It consists of two cylindrical pontoons with a diameter of 1.2 meters, placed 4.3 meters apart, connected via a deck and stiffeners, and stabilized using mooring cables anchored to the dam body, with the design validated numerically. After validating the proposed model, the hydrodynamic behavior of the structure—including buoyancy, righting moment curves, and righting arm responses under applied loads—was evaluated. Once satisfactory hydrodynamic performance was confirmed, the structural performance of the floating pumping platform was assessed through analysis of stress contours, forces acting on the structure (particularly at pump installation points), and deck deflection levels. The final results indicated that the proposed floating structure, with a freeboard of 0.45 meters, a deck deflection of less than 1.5 cm, and a stress ratio below 0.8, meets the criteria for an efficient floating pumping system. It can serve as an effective solution for sustainable water extraction from the dam.

### ARTICLE INFO

Receive Date: 10 May 2025

Revise Date: 24 July 2025

Accept Date: 01 September 2025

### Keywords:

Floating structure  
Esteghlal Dam  
Stability  
Water pumping  
Hydrodynamic

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/jsce.2025.518299.3702

\*Corresponding author: Arefeh Emami  
Email address: [emami@hormozgan.ac.ir](mailto:emami@hormozgan.ac.ir)

## طراحی یک سازه شناور برای پمپاژ آب از سد استقلال میناب: راهکاری نوین برای مدیریت منابع آبی استان هرمزگان

عارفه امامی<sup>۱\*</sup>

۱- استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

۲- اداره آب و منطقه ای استان هرمزگان، بندرعباس، ایران

### چکیده

سد استقلال میناب، واقع در شهرستان میناب از استان هرمزگان، یکی از منابع اصلی تأمین آب آشامیدنی و صنعتی شهر بندرعباس به شمار می‌رود. مازاد آب این سد به شبکه‌های آبیاری اراضی کشاورزی منطقه اختصاص می‌یابد. با این حال، کاهش میزان بارندگی در سال‌های اخیر موجب افت تراز آب مخزن شده و فرایند انتقال آب از طریق دریاچه‌های خروجی را با چالش‌هایی مواجه کرده است. برای مقابله با این مشکل، یک سازه شناور به عنوان راهکار پیشنهادی مطرح شده است که با استقرار بر سطح آب و استفاده از پمپ‌های مکشی، امکان انتقال آب به سوی دریاچه خروجی را فراهم می‌سازد. این سازه متشکل از دو پانتون استوانه‌ای به قطر ۱/۲ متر است که با فاصله ۴/۳ متر از یکدیگر قرار دارند و توسط عرشه و مهاربندها به هم متصل شده‌اند. تثبیت سازه از طریق کابل‌های مهاری که به بدنه سد متصل می‌شوند، انجام می‌گیرد. مدل‌سازی این سازه به صورت عددی انجام شد و پس از اعتبارسنجی مدل، ارزیابی‌هایی نظیر میزان شناوری، منحنی‌های ممان بازدارنده و بازوی ممان صورت گرفت. در ادامه، تحلیل عملکرد سازه‌ای شامل بررسی کانتورهای تنش، نیروهای وارد بر نقاط بحرانی به‌ویژه در محل نصب پمپ‌ها و میزان انحنای عرشه انجام شد. نتایج نشان داد که سازه شناور پیشنهادی، با داشتن هواخور برابر با ۰/۴۵ متر، انحنای عرشه کمتر از ۱/۵ سانتی‌متر، و نسبت تنش کمتر از ۰/۸، از پایداری و ایمنی مطلوبی برخوردار است. بنابراین، این سیستم می‌تواند به عنوان راهکاری مؤثر برای تأمین پایدار آب از سد استقلال میناب مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: سازه شناور، سد استقلال، پایداری، پمپاژ آب، هیدرودینامیک

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	10.22065/jsce.2025.518299.3702	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	10.22065/jsce.2025.518299.3702	۱۴۰۵/۰۱/۳۱	۱۴۰۴/۰۶/۱۰	۱۴۰۴/۰۶/۱۰	۱۴۰۴/۰۵/۰۲	۱۴۰۴/۰۲/۲۰
عارفه امامی <a href="mailto:emami@hormozgan.ac.ir">emami@hormozgan.ac.ir</a>				*نویسنده مسئول: پست الکترونیکی:		

## ۱- مقدمه

منابع آبی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به‌عنوان یکی از زیرساخت‌های حیاتی توسعه اقتصادی و اجتماعی، در معرض تهدیدهای فزاینده‌ای قرار دارند. در دهه‌های اخیر، پدیده‌هایی نظیر تغییرات اقلیمی، افزایش متوسط دما، و کاهش الگوهای بارشی منجر به کاهش دسترسی به منابع آب سطحی و زیرزمینی شده‌اند [۱]. این مسئله به‌طور خاص در استان هرمزگان و شهرستان میناب، که اقلیم خشک و نیمه‌خشک دارند، نمود بیشتری یافته و چالش‌های جدی برای مدیریت پایدار منابع آب به همراه داشته است. یکی از نمونه‌های بارز این چالش، کاهش شدید تراز آب در سد استقلال میناب است که نقش حیاتی در تأمین آب شرب و صنعتی شهر بندرعباس ایفا می‌کند. افت سطح آب در این سد نه تنها باعث اختلال در عملکرد دریاچه‌های خروجی شده، بلکه انتقال آب به مناطق پایین دست را نیز با مشکلات جدی مواجه کرده است. در چنین شرایطی، نیاز به راهکارهای مهندسی شده، نوآورانه و مبتنی بر تحلیل دقیق داده‌ها، برای بهره‌برداری بهینه و پایدار از منابع آبی، بیش از پیش احساس می‌شود.

یکی از روش‌های پیشنهادی برای مقابله با این چالش، استفاده از سازه‌های شناور است. در واقع سازه‌های شناور به دلیل انعطاف‌پذیری و قابلیت تطبیق با شرایط متغیر آب، به عنوان یک راهکار نوین در مدیریت منابع آبی مورد توجه قرار گرفته‌اند. این سازه‌ها می‌توانند با اهداف گوناگونی در داخل سدها و مخازن آب به کار گرفته شوند به عنوان نمونه: (۱) سازه‌های شناور پمپاژ آب: این سازه‌ها با هدف استخراج آب از مخازن، به‌ویژه در شرایطی که سطح آب پایین است، طراحی شده‌اند. پلتفرم‌های شناور مجهز به پمپ‌های قدرتمند هستند که می‌توانند آب را از عمق مخزن به سطح مورد نظر برای انتقال به شبکه‌های توزیع پمپاژ کنند. این سیستم‌ها به دلیل قابلیت تنظیم ارتفاع، می‌توانند در شرایط مختلف سطح آب عملکرد بهینه خود را حفظ کنند [۲]. (۲) سازه‌های آبگیر شناور: سازه‌های آبگیر شناور برای برداشت آب از مخازن و انتقال آن به سیستم‌های تصفیه یا توزیع مورد استفاده قرار می‌گیرند. این سازه‌ها مجهز به لوله‌های آبگیر هستند که می‌توانند با تغییر سطح آب تنظیم شوند. استفاده از این سازه‌ها به ویژه در سدهایی که با نوسانات شدید سطح آب مواجه هستند، بسیار مؤثر است [۳]. (۳) بویه‌ها و موانع شناور: بویه‌ها و موانع شناور برای کنترل آلودگی، زباله‌های شناور و گیاهان آبی در مخازن به کار می‌روند. این سازه‌ها سبک و مدولار هستند و می‌توانند به هم متصل شوند تا موانع مؤثری را در برابر آلودگی‌ها ایجاد کنند. استفاده از این سازه‌ها به حفظ کیفیت آب مخازن کمک شایانی می‌کند [۴، ۵]. (۴) سازه‌های شناور خورشیدی: پنل‌های خورشیدی شناور، که به عنوان "فتوولتائیک شناور" نیز شناخته می‌شوند، برای تولید انرژی تجدیدپذیر روی سطح آب نصب می‌شوند. این سازه‌ها علاوه بر تولید برق، به کاهش تبخیر آب از سطح مخازن کمک می‌کنند. استفاده از این فناوری در سدها می‌تواند به عنوان یک راهکار دوگانه برای تأمین انرژی و حفظ منابع آبی مورد توجه قرار گیرد [۶، ۷]. (۵) ایستگاه‌های پایش شناور: ایستگاه‌های پایش شناور مجهز به سنسورها و سیستم‌های ارتباطی هستند که به صورت خودکار داده‌های مربوط به کیفیت آب، هواشناسی و شرایط مخزن را جمع‌آوری می‌کنند. این داده‌ها برای مدیریت بهینه منابع آبی و تصمیم‌گیری‌های کلان بسیار حیاتی هستند [۸]. (۶) مزارع پرورش ماهی شناور: مزارع پرورش ماهی شناور شامل قفس‌ها یا تورهایی هستند که زیر سکوه‌های شناور آویزان می‌شوند. این سازه‌ها به حمایت از آب‌زی‌پروری در مخازن و کاهش فشار بر جمعیت ماهی‌های وحشی کمک می‌کنند [۹].

در این پژوهش، یک سازه شناور برای پمپاژ آب از سد طراحی شده است که در زمان کم آبی و پایین آمدن تراز آب از دریاچه می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. مطالعات پیشین در زمینه‌ی سامانه‌های پمپاژ آب، نشان داده‌اند که این راهکار می‌تواند نقش مؤثری در حفظ بهره‌وری منابع آبی در شرایط کاهش سطح آب ایفا کند. به عنوان مثال، مندل و کومار<sup>۱</sup> [۱۰] با توسعه‌ی و اجرای یک دستگاه پمپاژ آب در هند، توانستند ۸۰ درصد کارایی پمپاژ آب را بهبود دهند. کانت و همکاران<sup>۲</sup> [۱۱] نشان دادند که سیستم‌های پمپاژ آب پیشنهاد شده در کارشان یک سیستم اقتصادی در پمپاژ و حمل آب است به نحوی که دبی ۵۴۰۰ لیتر در روز را می‌تواند به ارتفاع ۰/۹۲ متر و طول ۶ متر پمپاژ کند. اینتریاگو زامبرانو و همکاران<sup>۳</sup> [۱۲] انواع پمپاژ آب به صورت شناور و غیر شناور در دریا، سد و رودخانه‌ها را تقسیم‌بندی کردند

<sup>1</sup> Mandal and Kumar

<sup>2</sup> Kant, et al

<sup>3</sup> Intriago Zambrano, et al

که دید مناسبی را به خواننده در این زمینه خواهد داد. همچنین یانپواس و همکاران<sup>۴</sup> [۱۳] جدول زمانی توسعه تاریخی پمپ‌های آب در سراسر جهان در طول ۵۵۰۰ سال گذشته تاریخ بشر را ارائه دادند که تاکید آنها بر رشد تمدن‌ها بود.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، مطالعات متعددی پیرامون پمپاژ آب از سدها و رودخانه‌ها انجام شده است؛ اما اغلب این پژوهش‌ها بر استفاده از پمپ‌های شناور متمرکز بوده‌اند [۱۴، ۱۵] و کمتر به بهره‌گیری از سازه‌های شناوری که با هدف پمپاژ آب ساخته شده باشد اختصاص یافته‌اند. در حالی که استفاده از یک سکوی شناور می‌تواند امکان به‌کارگیری هم‌زمان چندین پمپ را فراهم سازد، این تحقیق بر معرفی و بررسی عملکرد چنین سازه‌ای تمرکز دارد. بر همین مبنا نوآوری این پژوهش در ارائه یک مدل واقع‌گرایانه و قابل اجرا از سکوی شناور پمپاژ با امکان نصب هم‌زمان چند پمپ با ناهم مرکزی وزنی در شرایط افت شدید تراز آب است؛ مدلی که با بهره‌گیری از تحلیل رفتار استاتیکی و پایداری هیدرواستاتیکی در دو نرم‌افزار تخصصی و در نظر گرفتن بارهای واقعی شامل وزن پمپ، لوله‌ها، بار جلبک طراحی و ارزیابی شده است. این رویکرد می‌تواند مبنای طراحی سیستم‌های انعطاف‌پذیر پمپاژ برای شرایط ناپایدار منابع آبی در مخازن سدها قرار گیرد. بر این اساس، پس از مقاله حاضر؛ روند انجام کار به‌صورت مرحله‌ای و سیستماتیک دنبال شده است. ابتدا هندسه سازه شناور پیشنهادی براساس نیاز کارفرما طراحی و مشخصات فنی آن تعریف شد. در مرحله بعد، مدل‌سازی عددی سازه با استفاده از دو نرم‌افزار اجزا محدود و المان محدود انجام گرفت تا نتایج مورد ارزیابی متقابل قرار گیرند. سپس تحلیل‌های هیدرواستاتیکی و پایداری اولیه از جمله محاسبه شناوری، مرکز ثقل، بازوی بازگرداننده و منحنی‌های ممان بازدارنده صورت پذیرفت. پس از آن، تحلیل سازه‌ای شامل ارزیابی تنش‌ها، بررسی رفتار عرشه، تغییرشکل‌ها و کنترل نسبت تنش به تنش مجاز انجام شد. در ادامه، تحلیل دینامیکی برای استخراج پریود طبیعی سازه و ارزیابی امکان بروز تشدید ارتعاشی بررسی گردید. نهایتاً، کلیه نتایج در قالب بحث و جمع‌بندی ارائه شده و پیشنهادهای برای بهبود عملکرد سازه در مراحل ساخت و بهره‌برداری مطرح شده است.

## ۲- هندسه مدل پیشنهادی برای سازه شناور پمپاژ آب

در این مطالعه، یک سازه شناور با دو پانتون استوانه‌ای و یک عرشه مطابق با شکل ۱ در نظر گرفته شد که هندسه آن توسط کارفرمای آب و منطقه‌ای استان هرمزگان پیشنهاد شده است. ابعاد پانتون پیشنهادی استوانه‌ای با قطر ۱/۲ متر و طول ۵/۵ متر است که توسط دو مهاربند و یک عرشه به ابعاد ۴/۳ × ۵ متر به یکدیگر متصل شده‌اند. مدول الاستیسته ۲۱۰۰۰ کیلو نیوتن بر سانتی‌متر مربع، مدول برشی ۸۰۷۸ کیلو نیوتن بر سانتی‌متر مربع، ضریب پواسون ۰/۳ و چگالی فولاد در هوا بدون ضریب افزایش ۷/۸۵۰ تن بر مترمکعب در نظر گرفته شد که در فاز اول طراحی چگالی فولاد به میزان ۴٪ افزایش داده شد (با افزایش ۴٪ این مقدار ۸/۱۶۰ تن بر مترمکعب).

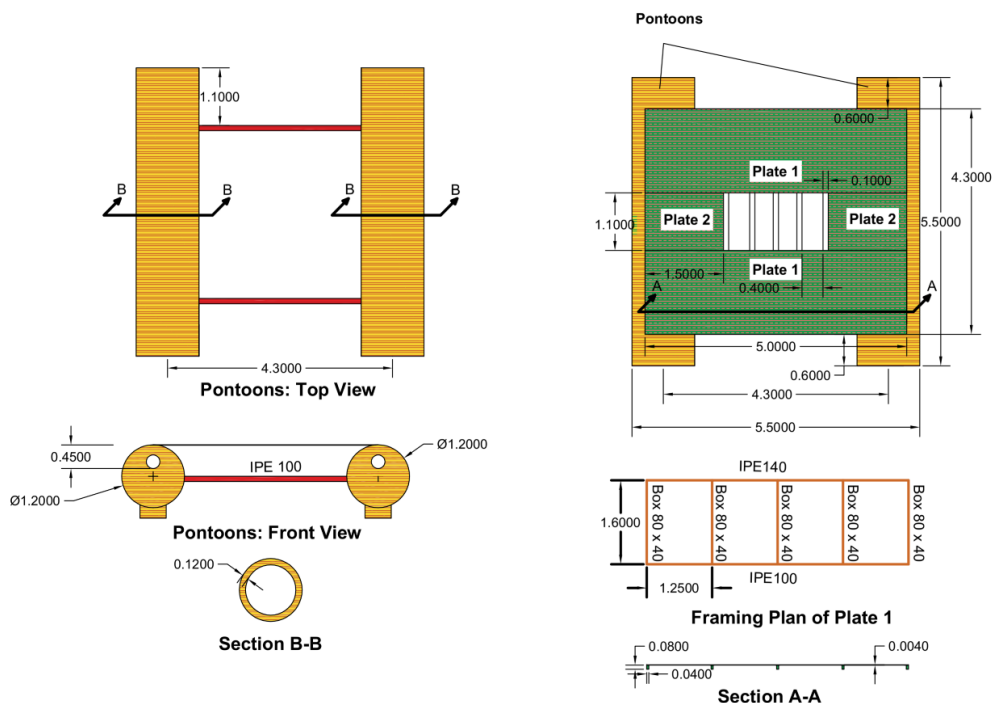
### ۲-۱- مدل‌سازی و فرضیات حاکم بر مسئله

برای طراحی سازه بدنه شناور، بر اساس اطلاعات ارائه‌شده از سوی شرکت آب منطقه‌ای استان هرمزگان، فرض بر این شد که پیش از وقوع بارش شدید و احتمال بروز سیلاب، سازه شناور به منطقه‌ای امن و خشک منتقل خواهد شد؛ بنابراین، این سازه در معرض شرایط سیلابی قرار ندارد. همچنین، به دلیل عمق کم آب در محدوده مورد نظر سد و مطابق با مستندات موجود، بار موج قابل توجهی نیز در این ناحیه رخ نمی‌دهد و در نتیجه اثرات موج در مدل‌سازی نادیده گرفته شده است. بر این اساس و با توجه به فرضیات حاکم، برای اطمینان از صحت فرآیند مدل‌سازی، هندسه سازه پیشنهادی در دو نرم‌افزار اجزای محدود SACS و المان محدود سسم<sup>۵</sup> پیاده‌سازی شد و نتایج ناشی از وزن آنها بایکدیگر مقایسه گردید. روش حل در SACS از روش اجزا محدود استفاده می‌کند که مبتنی بر حل ماتریسی معادلات تعادل نیرو و خمش در سازه‌ها است؛ در حالی که سسم از روش پتانسیل و تفکیک مرز برای محاسبه شناوری، مرکز شناوری و بازوی بازدارنده استفاده می‌کند. همچنین نرم افزار سسم برای تحلیل نیروهای وارد بر سازه، از تئوری پتانسیل برای بخش‌های حجیم و از فرمول موریسون برای اجزای باریک استفاده می‌کند [۱۶]. لازم به ذکر است که در مطالعه فوق، از نرم افزار SACS برای بررسی دقیق تر نیروی ناشی از وزن، مرکز

<sup>4</sup> Yannopoulos, et al

<sup>5</sup> SESAM

جرم استفاده شد. از نرم افزار سسم جهت مقایسه با نیروهای ناشی از وزن و مرکز جرم استخراج شده با نرم افزار SACS و همینطور بررسی پایداری سازه و بررسی رفتار سازه‌ای عرشه سازه استفاده گردید.



شکل ۱: هندسه سازه شناور در نظر گرفته شده همراه با ابعاد پیشنهادی

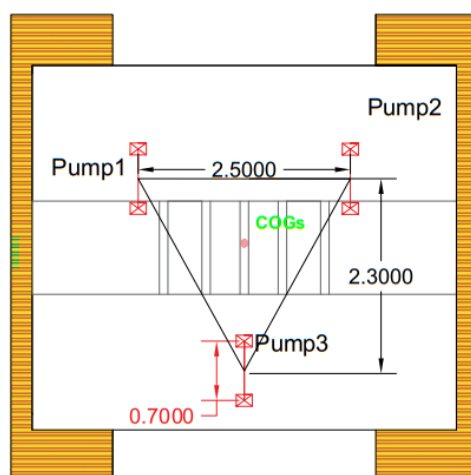


شکل ۲: سازه شناور مدل‌سازی عددی شده (الف) در نرم افزار SACS و (ب) در نرم افزار سسم

با توجه به فرضیات مطرح شده، بارهای مؤثر در این مسئله شامل بار مرده و بار زنده هستند. در این سازه، بار مرده شامل وزن سازه، تجهیزات و الحاقات نصب شده بر روی آن است. وزن سازه با استفاده از هندسه مدل در نرم افزار محاسبه می‌شود، اما بار ناشی از تجهیزات و اجزای الحاقی باید به صورت دستی به مدل افزوده شود. بار تجهیزات عمدتاً شامل وزن پمپ‌هاست. بر اساس پیشنهاد کارفرما، از پمپ گریز از مرکز مدل [۱۷] ۳۳-۲۰۰ با وزن ۵۵۰ کیلوگرم استفاده شد. بارهای الحاقی شامل وزن لوله‌های انتقال آب همراه با سیال درون آن‌ها و نیز شاسی‌های نگهدارنده لوله‌ها است. برای این منظور، سه شاسی با مقطع IPE100، به عرض ۱۴۰ میلی‌متر و طول ۱۹۰ میلی‌متر، با فاصله‌ی ۷۰۰ میلی‌متر از یکدیگر، بر روی عرشه نصب شده‌اند. وزن هر شاسی برابر با  $\frac{41}{3}$  کیلوگرم در نظر گرفته شده است. این شاسی‌ها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که وزن هر پمپ بین دو پایه تقسیم شده و به بدنه سازه منتقل شود.

لوله‌ها مستقیماً از دهانه خروجی پمپ‌ها به سمت بالا هدایت شده و به شاسی‌های نگهدارنده متصل می‌گردند. در مدل‌سازی، بار لوله‌ها همراه با وزن آب داخل آن‌ها لحاظ شده است. به طوری که ۲ متر از لوله‌ها از بخش زیرین سازه و ۱۲ متر از قسمت بالایی آن عبور می‌کنند. از این مقدار، تنها ۲ متر از پایین و ۶ متر از بالا به شاسی‌ها نیروی مستقیم وارد می‌کنند. بار کل ناشی از این لوله‌ها برابر با ۳۶۴ کیلوگرم محاسبه شده است. با توجه به امکان بروز لرزش ناشی از عملکرد دینامیکی پمپ‌ها در زمان راه‌اندازی، برای بار پمپ‌ها ضریب اطمینان ۱/۱ در نظر گرفته شد. محل قرارگیری پمپ‌ها به گونه‌ای انتخاب شد که مرکز جرم آن‌ها تا حد امکان بر مرکز جرم کلی سازه منطبق باشد. در این راستا، سناریوهای مختلف بررسی و مقایسه شدند. در نهایت، به دلیل محدودیت‌های ناشی از طول ورق‌های سازه‌ای، بهترین آرایش مطابق شکل ۳ انتخاب گردید. مطابق با شکل ۳، پمپ‌ها در امتداد محور Y دارای ۲۲ سانتی‌متر خروج از مرکزیت هستند.

علاوه بر موارد فوق، در این مدل‌سازی، بار ناشی از رشد جلبک‌ها که ممکن است در طول زمان به سازه بچسبند نیز در نظر گرفته شده است. برای این منظور، فرض گردیده که لایه‌ای به ضخامت ۶ میلی‌متر طی یک سال سطح سازه را بپوشاند. همچنین با توجه به اینکه ممکن است یک یا دو نفر از پرسنل گاه‌به‌گاه بر روی عرشه حضور داشته باشند، بار زنده‌ای به صورت گسترده و به میزان ۸ کیلوگرم بر مترمربع (معادل ۱۲۷/۵ کیلوگرم برای کل سطح عرشه) اعمال گردید. در نهایت، جهت اعمال بارها، از ترکیب بارگذاری بار زنده بعلاوه بار مرده (وزن خالص بدنه، بار پمپ، بار تجهیزات، بار جلبک‌ها) استفاده شد. با توجه به شرایط محل و فرضیات اولیه، بار موج در تحلیل سازه لحاظ نگردید.



شکل ۳: محل پیشنهادی قرارگیری پمپ‌ها (رنگ قرمز داخل شکل محل قرارگیری پایه‌هایی است که پمپ‌ها روی آن قرار می‌گیرد).

## ۲-۲- وزن و مرکز جرم سازه

مدل پیشنهادی ابتدا در نرم‌افزار SACS به طور کامل بررسی و تحلیل شد. بار دیگر به منظور کنترل نتایج حاصله، مدل در نرم‌افزار سسم شبیه‌سازی شد. مشاهدات نشان داد که در هر دو مدل‌سازی، وزن سازه بدون هیچ الحاقاتی با فرض افزایش ۰.۴٪، برابر با ۵۱۱۴/۶۰۶ کیلوگرم است که به میزان ۱۸۹/۹۱۲ کیلوگرم بار جلبک‌ها به آن اضافه شده است. در نتیجه وزن کل سازه بدون الحاقات و تجهیزات برابر با ۵۳۰۴/۵۱۹ کیلوگرم شد. همچنین مرکز جرم سازه بدون الحاقات و تجهیزات مشاهده می‌شود که در راستای قائم ۰/۱۱۵ متر بالاتر از تراز آب است. شناوری کل سازه، با فرض اینکه پانتون قابلیت شناور شدن تا عرشه را داشته باشد برابر با ۱۲۴۴۹/۱۴۵ کیلوگرم است که همراه با بار جلبک‌ها این مقدار به ۱۲۵۸۴/۷۹۷ کیلوگرم می‌رسد. البته بایستی توجه داشت که در واقعیت برای اجراء تنها ۷۵ سانتی‌متر از قطر پانتون اجازه پایین رفتن به زیر آب را دارد و عمق آبخور از این میزان نبایستی تجاوز کند. با توجه به اوزان و محل اثر آن‌ها، وزن کل سازه همراه با مرکز جرم کل به صورت جدول ۱ آورده شده است. از جدول فوق مشاهده می‌شود که حداکثر شناوری با توجه به وزن‌های وارده برابر با ۸۲۹۷/۹۵ کیلوگرم است. از مرکز جرم‌ها مشخص است که خروج از مرکزیت نسبت به نقطه مرکز صفر وجود دارد که در ادامه در بخش پایداری کنترل می‌شود که این خروج از مرکزیت چه میزان سازه را کج خواهد کرد.

جدول ۱: وزن کل اعمال شده به سازه همراه با مرکز جرم آن

Types	Weight	X	Y	Z
وزن خالص بنده	-۵۳۰۴/۵۲	۰	۰	۰/۱۱۵
بار زنده	-۱۲۷/۵	۰	۰	۰/۶
بار پمپ	-۱۶۵۰	۰	۰/۶۷	۰/۶
بار شاسی	-۱۲۳/۹۳	۰/۰۲	۰	۰/۶
بار لوله های متصل به شاسی	-۱۰۹۲	۰/۰۲	۰	۰/۶
وزن کل (کیلوگرم)	-۸۲۹۷/۹۵			
مرکز جرم		۰/۰۰۳	۰/۱۳	۰/۲۹

### ۳. نتایج و بحث

#### ۳-۱- رفتار هیدرودینامیکی و سازه ای سازه شناور پمپاژ آب

در این بخش، ابتدا ویژگی‌های شناوری سازه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد تا اطمینان حاصل شود که سازه توانایی حفظ تعادل و پایداری خود در شرایط قرارگیری در سد را دارد. این بررسی شامل محاسبه میزان شناوری، مرکز شناوری؛ میزان آب‌خور سازه و منحنی ممان بازدارنده و بازوه بازدارنده خواهد بود. سپس، به تحلیل رفتار سازه‌ای اعضا پرداخته می‌شود تا عملکرد آن‌ها تحت تأثیر بارهای وارده و تنش‌های داخلی مورد بررسی قرار گیرد. در این مرحله، میزان تغییرشکل‌ها و اندرکنش نیروها در نظر گرفته می‌شود. این تحلیل‌ها با هدف اطمینان از ایمنی و کارایی سازه در شرایط بهره‌برداری صورت می‌گیرد.

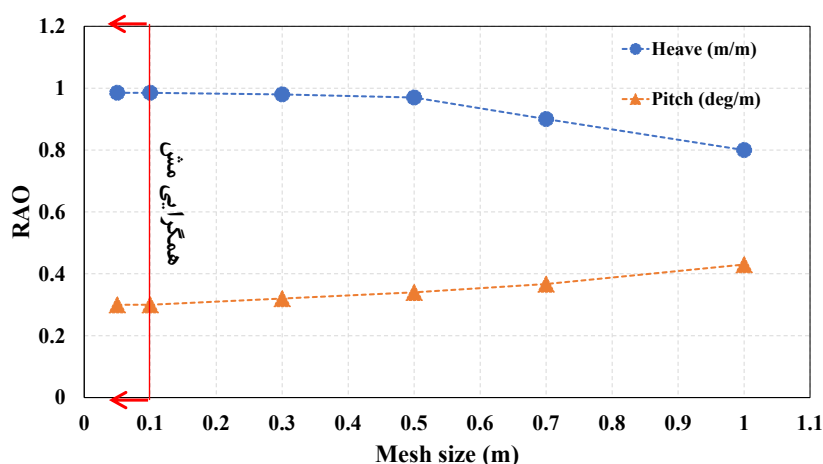
#### ۳-۱-۱- تحلیل پایداری هیدرودینامیکی سازه

به منظور بررسی پایداری سازه، مدل هیدرودینامیکی به صورت پنل در نرم افزار سسم مدل‌سازی شد. سسم رفتار را به روش BEM و به روش تابع پتانسیل حل می‌کند [۱۶]. در روش پنل سازه به صورت یک پوسته در نظر گرفته می‌شود. پوسته به کمک شرایطهای مرزی از جمله شرایط مرزی دینامیکی و استاتیکی شامل تراز آب، کف بستر، شرایط مرزی جانبی با تقسیم بندی شدن محدوده جسم، با حل معادله لاپلاس، تابع پتانسیل رامحاسبه می‌کند. با حل تابع پتانسیل نیروها، جرم اضافی، میرایی، فشار هیدرواستاتیکی و مرکز شناوری، بازو بازگرداننده و پایداری طولی و عرضی محاسبه می‌گردد.

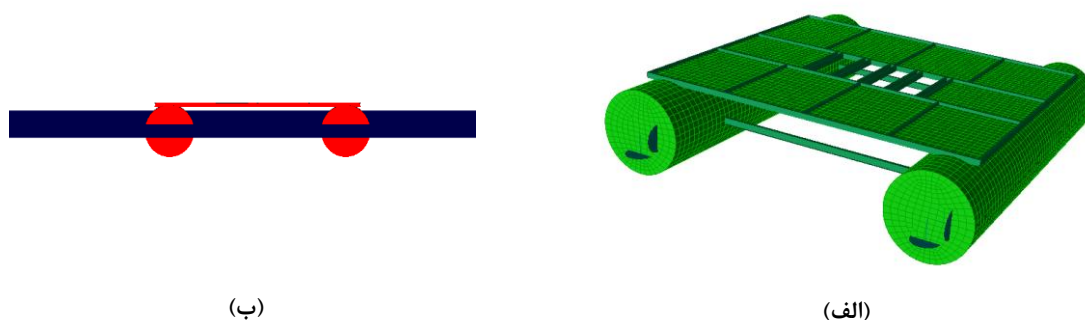
جهت تحلیل پایداری ابتدا سازه در نرم افزار سسم مش بندی شد. به منظور آنالیز حساسیت مش، شش اندازه متفاوت مش شامل ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۳، ۰/۵، ۰/۷ و ۱ در نظر گرفته شد. عملگر دامنه ی پاسخ<sup>۶</sup> (RAO) برای هیو و پیچ [۱۸، ۱۹] در فرکانس‌های طبیعی آن‌ها استخراج و منحنی مربوطه ترسیم گردید. همان‌طور که مشاهده می‌شود، برای مش‌های کوچک‌تر از ۰/۱، نتایج به همگرایی رسیده‌اند (شکل ۴). از آنجا که استفاده از مش‌های کوچک‌تر از ۰/۱ زمان مدل‌سازی را افزایش می‌دهد، مش بندی با ابعاد ۰/۱ متر به صورت مش مرجع در نظر گرفته شد (شکل ۵-الف). سپس مدل فوق در نرم‌افزار پایداری هایدرودی<sup>۷</sup> فراخوانی گردید (شکل ۵-ب). اطلاعات عمق (۱۰ متر)، ویژگی سیال آب (چگالی ۱۰۰۰)، وزن سازه و مرکز ثقل به دست آمده مطابق با جدول ۱ به مدل اعمال گردید.

<sup>۶</sup> Response Amplitude Operator

<sup>۷</sup> HydroD



شکل ۴. آنالیز حساسیت مش سازه شناور استقلال میناب



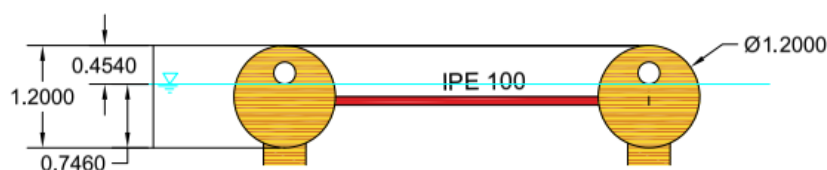
شکل ۵: (الف) مش بندی سازه و (ب) سازه منتقل شده به ماژول هیدرودی سازه شناور سد استقلال میناب در مدل هیدرودی

با توجه به شرایط بهره‌برداری سازه که طبق اعلام کارفرما تنها در زمان‌های آرام و بدون طوفان صورت می‌گیرد، و نیز با در نظر گرفتن ارتفاع بسیار ناچیز موج در مخزن سد، اثر نوسانات سطح آب در این مرحله از طراحی لحاظ نگردید. با این حال، برای بررسی شرایط مرزی مؤثر، اثر بار باد به صورت استاتیکی با سرعت ۱۵ متر بر ثانیه و در راستای طولی سازه اعمال گردید تا تأثیر آن بر میزان کج‌شدگی و پایداری سازه ارزیابی شود. با توجه به بهره‌برداری از سازه در شرایط جوی آرام مدل دینامیکی باد در این مرحله ضروری نبوده لذا بارگذاری دینامیکی مدنظر قرار نگرفته است. بر اساس موارد گفته شده، شناوری و مرکز شناوری با استفاده از نرم‌افزار محاسبه و استخراج گردید. محاسبات وزن شناوری [۲۰] را معادل با ۸۰۹۶ کیلوگرم نشان داد. همچنین مرکز شناوری در راستای X و Y و Z به ترتیب برابر با ۰/۰۰۳، ۰/۱۵ و ۰/۱۷ - متر بدست آمد. مدلسازی نشان داد که با اعمال وزن و مرکز ثقل به سازه، میزان آب خور از مرکز پانتون‌ها به میزان ۰/۱۴۶ متر است.

به دلیل اختلاف مرکز جرم با مرکز سازه، میزان کج‌شدگی سازه محاسبه گردید. درجه کج‌شدگی سازه که با تریم<sup>۸</sup> (انحراف طولی) و هیل<sup>۹</sup> (انحراف جانبی) نشان می‌دهند به ترتیب ۰/۰۲۳ و ۲/۱۷- درجه بدست آمد که به این معنی است از انتها؛ سازه در نهایت ۱۴ سانتی‌متر ممکن است کج می‌شود. این نتایج نشان می‌دهد که سازه تحت این شرایط نیز در محدوده پایدار باقی می‌ماند و انحراف‌ها در سطح مجاز هستند. برای درک بهتر، میزان آبخور و هواخور در شکل ۶ ترسیم شده است. مشاهده می‌شود که با توجه به میزان شناوری، سازه به میزان ۰/۷۴۶ متر در آب و ۰/۴۵۴ متر خارج از آب قرار داشته که به‌عنوان هوا خور شناخته می‌شود.

<sup>۸</sup> Trim

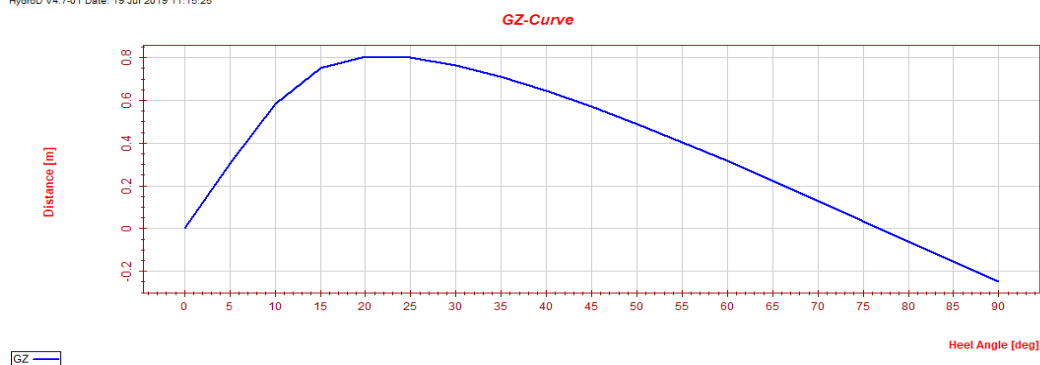
<sup>۹</sup> Heel



شکل ۶: میزان آبخور و هوا خور سازه

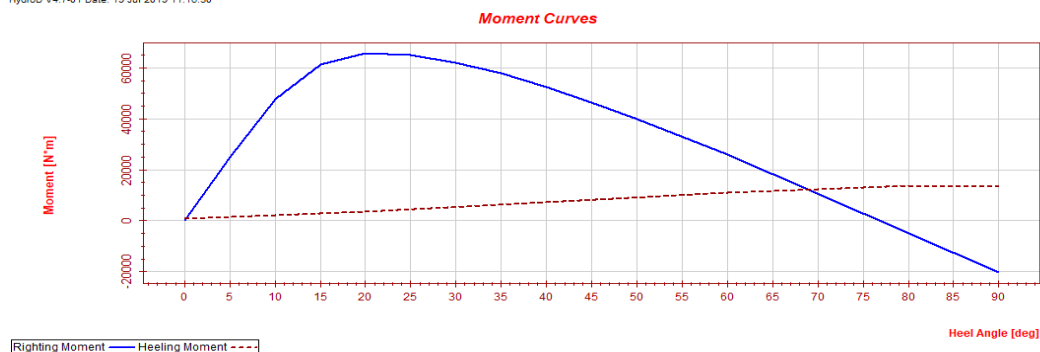
پس از انجام آنالیز داده‌های ورودی، پارامترهای کلیدی مرتبط با پایداری سازه مورد بررسی قرار گرفتند. در این راستا، بازوی ممان بازگرداننده (GZ)، ممان بازگرداننده (RM) و ممان ناشی از باد محاسبه و به صورت منحنی‌های ارائه شده در شکل‌های ۷ و ۸ نمایش داده شدند. بازوی بازدارنده به صورت فاصله افقی بین مرکز ثقل (G) و مرکز شناوری (B) در زاویه انحراف  $\theta$  تعریف می‌شود و ممان بازگرداننده برابر با حاصل ضرب وزن سازه (W) در بازوی بازدارنده است ( $RM = W \times GZ$ ). این منحنی‌ها نشان‌دهنده میزان پایداری و توانایی سازه در مقابله با نیروهای خارجی و بازگشت به وضعیت تعادل اولیه هستند. علاوه بر این، ارتفاع متاسنتر، که یکی از معیارهای مهم در تحلیل پایداری عرضی سازه‌های شناور محسوب می‌شود برابر با ۳/۴۷۶ متر استخراج شد که این میزان نشان‌دهنده پایدار ماندن سازه است. به منظور ارزیابی میزان پایداری ماندن سازه بر اساس اطلاعات فوق، نتایج به دست آمده بر اساس الزامات آیین‌نامه‌ای سازمان بین‌المللی دریانوردی (IMO) [۲۱] برای سازه‌های شناور مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، با وجود اعمال کج‌شدگی، سازه همچنان پایداری خود را حفظ کرده است. این موضوع نشان‌دهنده طراحی مناسب و توزیع متعادل نیروهای وارد بر سازه است که امکان بازگشت آن به وضعیت اولیه را فراهم می‌کند.

HydroD V4.7-01 Date: 19 Jul 2019 11:15:25

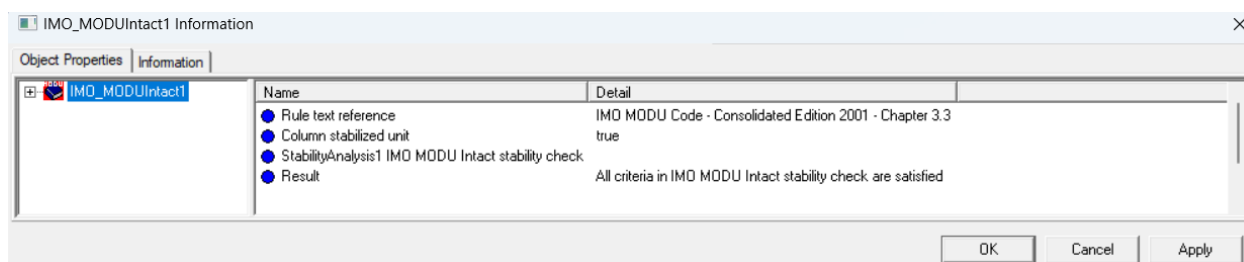


شکل ۷: بازوی ممان بازگرداننده برای سازه شناور سد میناب

HydroD V4.7-01 Date: 19 Jul 2019 11:16:30



شکل ۸: ممان بازگرداننده و ممان ناشی از باد برای سازه شناور سد میناب

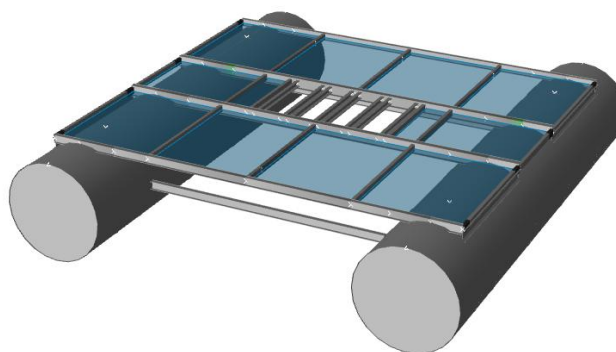


شکل ۹: کنترل پایداری سازه شناور سد میناب با آیین نامه IMODU\_MODAL

### ۳-۲- بررسی رفتار سازه ای شناور

#### ۳-۲-۱- کنترل تنش اعمالی به تنش مجاز سازه شناور

کنترل تنش سازه‌ای به‌ویژه در طراحی سازه‌های دریایی و شناور اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا اعضای سازه در معرض بارهای مختلف ممکن است قرار گیرند. بنابراین، کنترل نسبت تنش اعضای سازه برای اطمینان از عملکرد ایمن و پایدار بسیار حائز اهمیت است. نسبت تنش<sup>۱۰</sup> معمولاً به‌صورت نسبت تنش‌های اعمالی به تنش‌های مجاز یا تنش‌های تسلیم تعریف می‌شود. این نسبت باید در محدوده‌ای قرار گیرد که از تجاوز به تنش تسلیم ماده جلوگیری کند و ایمنی سازه را تضمین کند. در واقع، کنترل این نسبت می‌تواند از شکست‌های ناشی از بارگذاری بیش از حد جلوگیری کند و عمر مفید سازه را افزایش دهد. در این مطالعه با استفاده از نرم افزار SACS و بر اساس آیین نامه API [۲۲] نسبت‌های تنشی اعضا کنترل شد (شکل ۱۰). همانگونه که مشاهده می‌شود تمام اعضا دارای نسبت تنشی کمتر از ۰/۸ دارند که معادل با ضریب اطمینان ۱/۲۵ است لذا اعضا قابلیت سازه‌ای لازم را دارا می‌باشند.



شکل ۱۰: کنترل نسبت تنشی المانهای سازه با استفاده از نرم افزار SACS

#### ۳-۲-۲- پریود طبیعی سازه شناور

در این مطالعه، رفتار دینامیکی سازه با بررسی پریود طبیعی در ۱۰ مد ارتعاشی با استفاده از نرم افزار سسم ارزیابی شد. این اعداد که در جدول ۲ ارائه شده است، به درک بهتر عملکرد سازه قبل از ارزیابی نهایی پایداری کمک می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که مدهای ارتعاشی اول و دوم، که معرف اصلی‌ترین حالت‌های ارتعاشی سازه هستند، بالاترین مقدار پریود طبیعی را دارند که برابر با ۰/۱۱ ثانیه است. کوچک بودن پریود ناشی از ابعاد محدود و سختی بالای سازه می‌باشد و از آنجایی که این مقدار به‌طور قابل توجهی از پریود امواج آب (۵ تا ۲۰ ثانیه)

<sup>10</sup> Stress Ratio

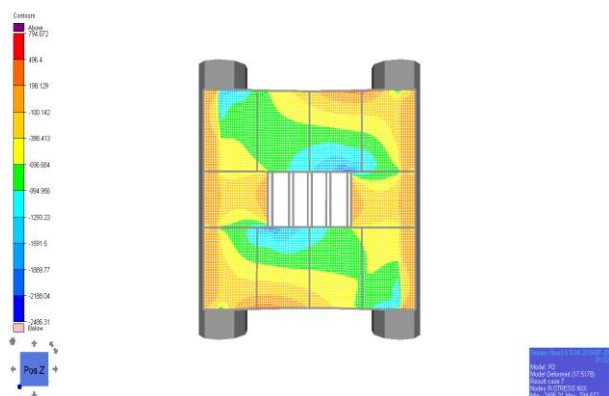
فاصله دارد و از سوی دیگر در این سد موج قابل توجه وجود ندارد لذا احتمال وقوع پدیده تشدید در این سازه وجود ندارد و خطر ایجاد ارتعاشات دینامیکی سازه فوق را تهدید نمی‌کند.

جدول ۲. مدهای ارتعاشی پریود و فرکانس طبیعی سازه شناور استقلال

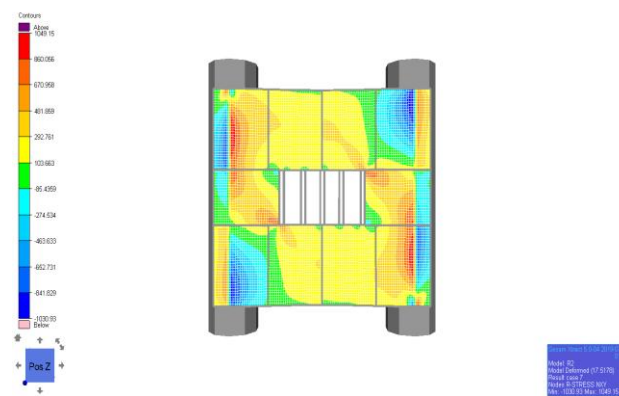
تعداد مدها	فرکانس (هرتز)	پریود (ثانیه)
۱	۸/۸۲۷	۰/۱۱۳۲۸
۲	۱۰/۵۳۱	۰/۰۹۴۹۵
۳	۱۰/۶۰۳	۰/۰۹۴۳۱
۴	۱۰/۶۰۳	۰/۰۹۴۳۱
۵	۱۶/۲۶۷	۰/۰۶۱۴۷
۶	۱۶/۲۸۰	۰/۰۶۱۴۳
۷	۱۷/۱۰۲	۰/۰۵۸۴۷
۸	۲۲/۲۱۹	۰/۰۴۵۰۱
۹	۲۲/۶۶۴	۰/۰۴۴۱۲
۱۰	۲۴/۵۹۳	۰/۰۴۰۶۶

### ۳-۲-۳- نیرو و ممان وارد بر ورق های عرشه سازه شناور

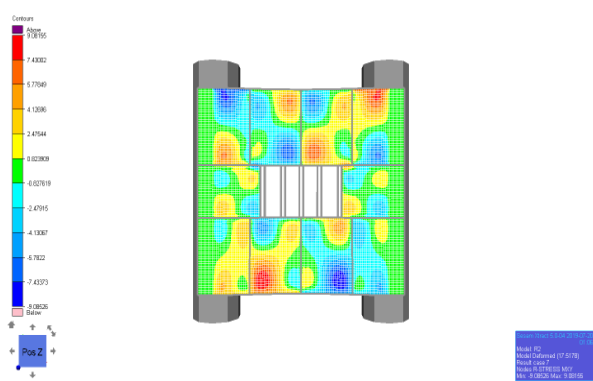
پس از بررسی پریودهای طبیعی سازه، نیروها و ممان وارد بر ورق‌های عرشه تحت ترکیب بار زنده و مرده در نرم افزار سسم مورد ارزیابی قرار گرفت (شکل ۱۱ تا ۱۶). بر اساس شکل ۱۱ بیشترین مقادیر نیروی برشی در نواحی اتصال ورق‌ها به اعضای سازه‌ای اصلی، به‌ویژه در نزدیکی پانتون‌ها با مقدار ۱/۰۵ کیلونیوتن، مشاهده می‌شود. در نواحی مرکزی ورق‌ها نسبتاً بارگذاری یکنواخت‌تری را تجربه می‌کنند. شکل ۱۲ و ۱۳ توزیع نیروی محوری در جهت X و Y در ورق‌ها را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین نیروی محوری در هر دو جهت X و Y کمتر از ۲/۹۸ کیلونیوتن است و مشاهده می‌شود که این مقدار در نواحی اتصال ورق به پانتون مشاهده می‌شود. همچنین تقارن نسبی توزیع نیروها در امتداد محور طولی سازه مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده تأثیر توزیع متقارن بار است.



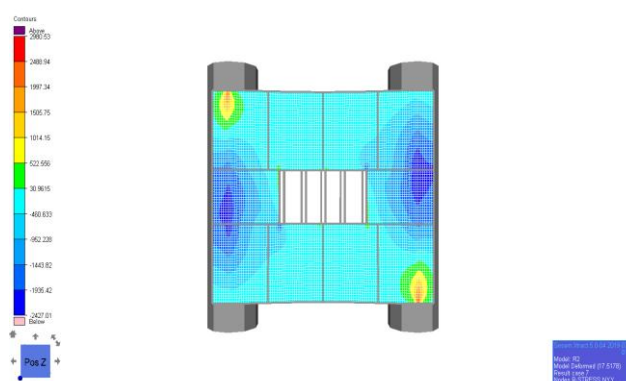
شکل ۱۲: نیروی محوری در راستای (NXX) وارد بر ورق



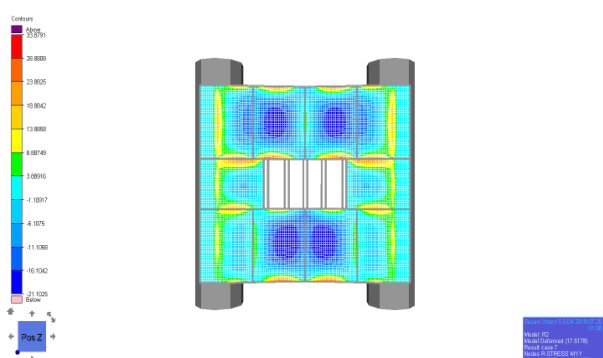
شکل ۱۱: نیروی برشی در راستای (NXY) وارد بر ورق



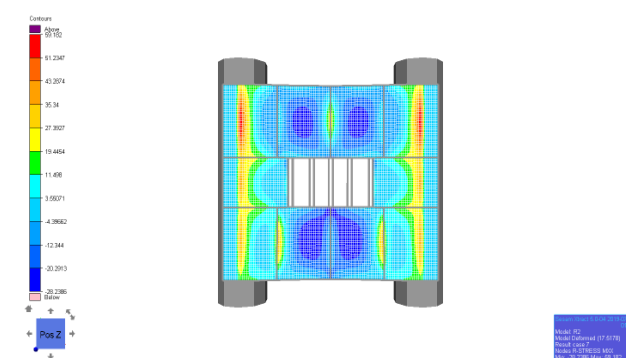
شکل ۱۴: ممان در راستای (MXY) وارد بر ورق



شکل ۱۳: نیروی محوری در راستای (NY Y) وارد بر ورق



شکل ۱۶: ممان در راستای (MYY) وارد بر ورق



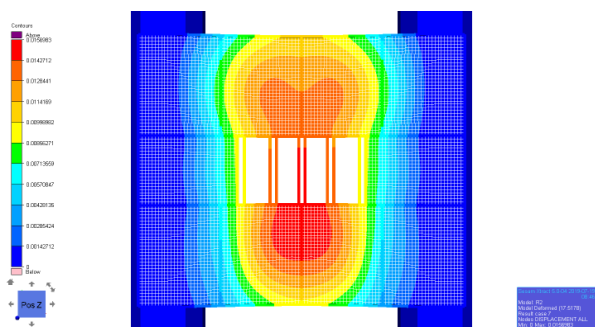
شکل ۱۵: ممان در راستای (MXX) وارد بر ورق

شکل ۱۴ مقدار ممان پیچشی وارده بر ورق‌ها تحت ترکیب بار نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود بیشترین مقدار ممان پیچشی در مناطق لبه‌ای و نزدیک به اتصالات با مقدار ماکزیمم قدرمطلق  $9/08$  نیوتن متر مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده اثر بارگذاری و سختی سازه در این نواحی است. ممان پیچشی در نقاط میانی ورق نسبتاً کمتر است (حدوداً  $0/8$  نیوتن متر) است، اما در محل اتصال به اعضای جانبی افزایش یافته است که می‌تواند نشان‌دهنده نیاز به تقویت این اتصالات باشد. شکل ۱۵ و ۱۶ ممان خمشی در جهت  $x$  و  $y$  را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود بیشترین توزیع لنگرها در محل اتصال ورق به پانتون با مقدار حداکثر  $59/18$  نیوتن متر در راستای  $x$  و  $13/8$  نیوتن متر در جهت  $y$  و همچنین در محل‌هایی که تیرها به ورق متصل شده‌اند با مقدار بالاتر از  $28$  نیوتن متر می‌باشد. در حالت کلی بررسی نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که میزان نیروها و ممان‌های وارد شده به ورق‌ها در محدوده‌ای قرار دارند که منجر به ایجاد تنش‌های بحرانی یا تغییر شکل‌های غیرمجاز نمی‌شوند. این موضوع حاکی از آن است که بارهای وارده، اگرچه در برخی نواحی منجر به تمرکز نیروها و لنگرهای موضعی می‌شوند، اما در مجموع تأثیر قابل توجهی در ایجاد تغییر شکل‌های نامطلوب یا کاهش استحکام سازه‌ای ورق‌ها ندارند.

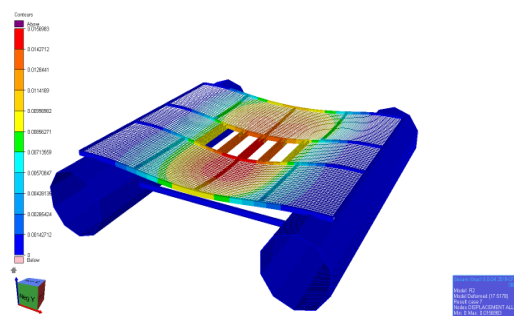
### ۳-۲-۴- تغییر شکل سازه

یکی از نکات مهمی که باید در طراحی و تحلیل سازه‌های دریایی و به‌ویژه عرشه‌های شناور به آن توجه ویژه شود، میزان تغییر شکل عرشه تحت تأثیر بارهای اعمالی مختلف است. در این راستا، بررسی تأثیر انواع بارها بر تغییر شکل سازه از اهمیت زیادی برخوردار است که در نرم افزار سسم مدلسازی و ارزیابی شد. شکل‌های ۱۷ و ۱۸ تغییر شکل سازه تحت بار همزمان پمپ و لوله‌ها را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که در اثر این بارها حداکثر تغییر شکل در حدود  $0/015$  متر در طول  $5$  متری ایجاد شده است. این مقدار نسبت تغییر شکل خمشی به دهانه مؤثر را معادل  $0/003$  در نظر می‌گیرد که با حدود مجاز آیین‌نامه‌های  $L/250$  تا  $L/360$  سازگار است لذا تغییر شکل قابل ملاحظه‌ای نیست و نگرانی ندارد. علاوه بر این، شکل ۱۹ تغییر شکل سازه تحت تأثیر بار پمپ‌ها و شکل ۲۰ تغییر شکل سازه را در اثر بار لوله و سیال درون آن نشان می‌دهد. بار لوله و سیال به دلیل اینکه فشار مستقیمی بر روی خود سازه وارد نمی‌کنند و اثر آن‌ها به‌طور غیرمستقیم از طریق

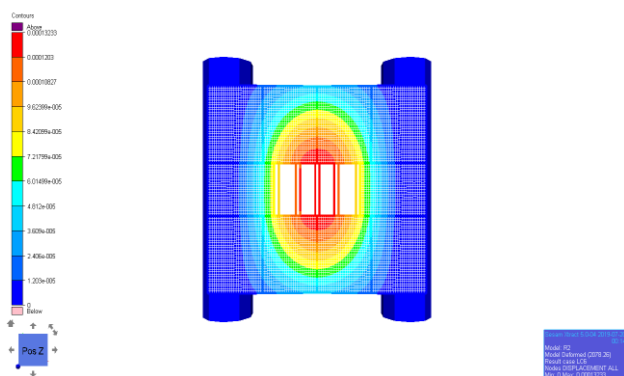
تماس با لوله‌ها اعمال می‌شود، تغییر شکل حداکثر ۰/۰۰۰۱۳ متر ایجاد می‌کند اما بار پمپ بیشترین تغییر شکل با مقدار ۰/۰۱۰ متر را به تنهایی ایجاد کرده است لذا تمهیدات لازم در این زمینه را بایستی انجام داد.



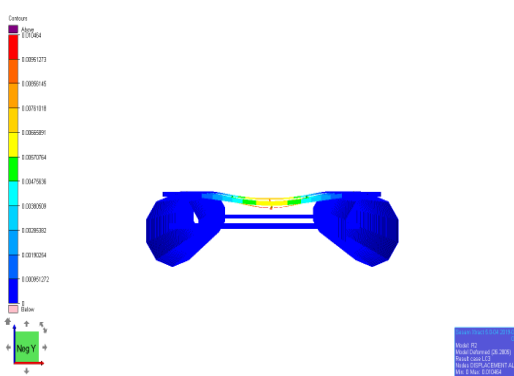
شکل ۱۸: نما از بالای تغییر شکل سازه تحت ترکیب بار لوله‌ها و پمپ‌ها



شکل ۱۷: تغییر شکل سازه تحت بار لوله‌ها و پمپ‌ها



شکل ۲۰: تغییر شکل سازه شناور تحت بار قرارگیری لوله‌ها و سیال درون آن



شکل ۱۹: تغییر شکل سازه شناور تحت بار قرارگیری بار پمپ‌ها

#### ۴- جمع بندی و پیشنهادات

سد استقلال میناب یکی از منابع اصلی تأمین آب شرب و صنعتی شهر بندرعباس محسوب می‌شود که در سال‌های اخیر با کاهش قابل توجه تراز آب مواجه بوده است. این افت سطح آب، مشکلاتی را در عملکرد دریچه‌های خروجی و انتقال آب به شبکه توزیع به وجود آورده است. در این راستا، مطالعه حاضر یک سازه شناور به عنوان راهکاری مؤثر برای پمپاژ آب از تراز پایین مخزن به شبکه توزیع پیشنهاد می‌کند. سازه پیشنهادی متشکل از دو پانتون استوانه‌ای و یک عرشه نگهدارنده است که به وسیله کابل‌های مهاری به بدنه سد متصل شده‌اند. هدف از این پژوهش، بررسی پایداری سازه در برابر نیروهای هیدرودینامیکی و تحلیل رفتار آن تحت بارهای مختلف با بهره‌گیری از نرم‌افزارهای تخصصی SACS و سسم بوده است. نتایج تحلیل‌ها حاکی از آن است که:

- با وجود محدودیت‌های ابعادی عرشه، آرایش پمپ‌ها به گونه‌ای انجام گرفت که میزان خروج از مرکزیت به حداقل برسد و پایداری کلی سازه حفظ شود.
- تحت اثر بارهای اعمالی، آبخور سازه برابر با ۰/۷۴۶ متر و هواخور آن برابر با ۰/۴۵۴ متر به دست آمد که نشان‌دهنده وضعیت شناوری پایدار است.
- تمامی اعضای سازه‌ای دارای نسبت تنش کمتر از ۰/۸ بوده و از منظر استحکام در محدوده ایمن قرار دارند.
- ارتفاعات ناشی از عملکرد پمپ‌ها ممکن است موجب ناپایداری جزئی و ایجاد حرکات ناخواسته برای پرسنل حاضر بر روی سازه شود. به منظور کاهش این اثرات، بهینه‌سازی سیستم مهار لوله‌ها و کاهش انتقال نیرو به عرشه ضروری است.

• بیشترین تغییر شکل ناشی از بار پمپ‌ها، معادل  $0/010$  متر در نقاط بحرانی سازه اندازه‌گیری شد که با حدود مجاز آیین‌نامه‌ای تطابق دارد. اگرچه پمپ‌ها در برخی نواحی موجب تمرکز تنش‌ها و لنگرهای موضعی می‌شوند، اما در مجموع تأثیر چشمگیری بر کاهش استحکام یا ایجاد تغییر شکل‌های نامطلوب در ورق‌های عرشه ندارند.

با توجه به تحلیل‌های انجام‌شده، استفاده از فوم داخلی در پانتون‌ها به منظور جلوگیری از نفوذ آب و حفظ شناوری پیشنهاد می‌شود. همچنین، نصب پمپ‌ها می‌بایست مستقیماً بر روی تیرهای سازه‌ای انجام گیرد تا از اعمال تنش‌های اضافی بر ورق‌های عرشه جلوگیری شود. در مجموع، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که طراحی پیشنهادی می‌تواند راهکاری مؤثر و پایدار برای پمپاژ آب از سد استقلال میناب ارائه دهد. با این حال، لازم است توجه شود که این تحلیل‌ها در مرحله طراحی مفهومی انجام گرفته‌اند. برای دستیابی به یک طرح اجرایی دقیق، انجام تحلیل‌های دینامیکی با در نظر گرفتن شرایط سیلابی و بالاروی موج ضروری است تا بتوان عملکرد سازه را در مراحل بهره‌برداری بهینه‌سازی و عمر مفید آن را افزایش داد.

#### ۵- سپاسگزاری

در اینجا برخود لازم می‌دانم از شرکت آب منطقه‌ای استان هرمزگان: خانم دکتر زارعی، آقای مهندس حامد ترکمندی، تیم اجرای شرکت آب منطقه‌ای و همچنین مهندس عیدانی، رئیس محترم آب منطقه‌ای استان هرمزگان، به خاطر همکاری صمیمانه و ارائه اطلاعات مفید از جمله ارائه نقشه‌ها، عکس‌ها و اطلاعات ارزشمند و حمایت‌های لازم تشکر و قدردانی نمایم.

#### ۶- مراجع

- [1] U. WWAP, "Water (2018) The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water," ed: UNESCO, Paris. <https://news.un.org/zh/> (accessed 10 May 2021).
- [2] J. Gamboa and M. Prado, "Review of electrical-submersible-pump surging correlation and models," *SPE Production & Operations*, vol. 26, no. 04, pp. 314-324, 2011.
- [3] T. Prayogo *et al.*, "Evaluation of floating water intake on the Citarum river for industrial needs in the Purwakarta industrial area, West Java," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2024, vol. 1436, no. 1: IOP Publishing, p. 012019 .
- [4] J. C. M. AGUIRRE, "Floating Barriers for Erosion Protection of Channel Banks of the Panama Canal", *Proceedings of the 38th IAHR World Congress (Panama, 2019)*, 2019. doi:10.3850/38WC092019-1532
- [5] H. Apel, N. Hung, H. Thoss, and T. Schöne, "GPS buoys for stage monitoring of large rivers," *Journal of Hydrology*, vol. 412, pp. 182-192, 2012.
- [6] A. Emami and M. Karimirad, "Further development of offshore floating solar and its design requirements," *Marine Structures*, vol. 100, p. 103730, 2025.
- [7] M. A. Mustapa, M. S. Kamil, R. H. Rozali, M. A. H. Ramli, and M. I. A. Jadi, "Development of a Floating Solar Platform for River Application," in *Design in Maritime Engineering: Contributions from the ICMAT 2021*: Springer, 2022, pp. 365-386.
- [8] S. T. ARIS, S. K. BASAH, D. FAKRURAZZI, S. ADIN, D. ADHI, and A. SUSILO, "Design and installation for Dam Monitoring Using Multi-sensors: A Case Study at Sermo Dam, Yogyakarta Province, Indonesia," *FIG Working Week'Knowing to Manage the territory, protect the environment, evaluate the cultural heritage*, pp. 6-10, 2012.
- [9] B. A. Costa-Pierce, *From farmers to fishers: developing reservoir aquaculture for people displaced by dams*. World Bank Publications, 1997.
- [10] S. K. Mandal and B. S. Kumar, "Development and performance evaluation of a water lifting device," 2023.
- [11] K. Kant, J. Sinha, F. Kumar, and J. Raj, "Development and Performance Evaluation of a Vacuum Drum Based Water Pumping System," *Journal of Scientific Research and Reports*, vol. 30, no. 3, pp. 68-75, 2024.
- [12] J. C. Intriago Zambrano, J. Michavila, E. Arenas Pinilla, J. C. Diehl, and M. W. Ertsen, "Water lifting water: a comprehensive spatiotemporal review on the hydro-powered water pumping technologies," *Water*, vol. 11, no. 8, p. 1677, 2019.

- [13] S. I. Yannopoulos *et al.*, "Evolution of water lifting devices (pumps) over the centuries worldwide," *Water*, vol. 7, no. 9, pp. 5031-5060, 2015.
- [14] J. Zhang, M. C. Ong, and X. Wen, "Dynamic analysis of the de-ballasting operations of a floating dock with a malfunctioning pump," *Journal of Marine Science and Application*, pp. 1-15, 2024.
- [15] M. I. J. Van Dijke and S. Van der Zee, "Removal by pumping of a LNAPL lens floating on the phreatic surface," *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, vol. 27, 2025.
- [16] A. Emami and A. R. M. Gharabaghi, "Application of poroelastic layers in a semi-submersible platform: Devising an efficient heave motion response reduction method," *Ocean Engineering*, vol. 201, p. 107148, 2020.
- [17] <https://tabrizpump.com/product/eta200-33/>
- [18] A. Emami, N. Pourjafari, and A. Parghi, "Effect of porous SBR composites on mitigating the heave motion response of a semi-submersible platform," *Ocean Engineering*, vol. 295, p. 116856, 2024.
- [19] P. Mohammadi, A. Emami, A. R. M. Gharabaghi, S. Tahmooresi, M. R. Chenaghloou, and H. B. Ghavifekr, "Evaluation of RAOs of a semi-submersible platform using field measurements: A full-scale model in Caspian sea environmental conditions," *Marine Structures*, vol. 91, p. 103467, 2023.
- [20] A. Emami and A. R. Mostafa Gharabaghi, "Introducing a simple and reliable multi-objective optimization method to estimate hull dimensions of a semi-submersible rig," *Journal Of Marine Engineering*, vol. 16, no. 31, pp. 29-40, 2020.
- [21] E. Mitropoulos, "Safety offshore-the work of IMO," *WIT Transactions on The Built Environment*, vol. 1, 2024.
- [22] A. Mangiavacchi, G. Rodenbusch, A. Radford, and D. Wisch, "API offshore structure standards: RP 2A and much more," in *Offshore Technology Conference*, 2005: OTC, pp. OTC-17697-MS .