

Influence of Stiffeners and their arrangement on frequency and seismic response of intake tower during construction

Ehsan Teymouri¹, Saeed Abbasi^{2*}, Amir Javad Moradloo³

- 1- PhD student, Dep. of Civil Engineering, University of Zanaj, Iran
2- Assistant Professor, Dep. of Civil Engineering, University of Zanaj, Iran
3- Associate Professor, Dep. of Civil Engineering, University of Zanaj, Iran

ABSTRACT

In this study, the effects of added stiffeners on the frequency and seismic response of an intake tower during construction period are investigated. For this purpose and in order to better investigate the effects of stiffeners, two types of circular and vertical stiffeners have been used in different numbers and height levels. It is also examined for situations where the weight of the structure is reduced in the amount of the added stiffeners' weight. In this study, the frequency response of these models after adding the stiffeners was compared with the original model. The results show that the initial frequency of the structures is reduced and increased by the use of circular and vertical stiffeners, respectively. This indicates the effects of type and number of stiffeners on the frequency response of the structure. In order to better investigate the effects of these types of stiffeners, examined intake towers have been subjected to seismic excitation. The results show that the displacements and stresses are increased for the states in which circular stiffeners are considered. Also, for the intake towers with the vertical stiffeners, the values of displacements are decreased and the stress values are adjusted depending on the level of stiffeners. The results indicate the importance of the effects of stiffeners on the frequency response and seismic response of the intake tower and indicate the necessity of investigating these states.

ARTICLE INFO

Receive Date: 26 November 2019

Revise Date: 08 May 2020

Accept Date: 11 June 2020

Keywords:

*Intake Tower
Circular Stiffener
Vertical Stiffener
Frequency Analysis
Seismic Analysis
Finite Element Method*

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.208652.2004>

*Corresponding author: Saeed Abbasi
Email address: abbasi.saeed@znu.ac.ir

تأثیر سخت‌کننده‌ها و نحوه‌ی چینش آن‌ها بر پاسخ فرکانسی و لرزه‌ای برج آبگیر در حین ساخت

احسان تیموری^۱، سعید عباسی^{۲*}، امیر جواد مرادلو^۳

۱- دانشجوی دکتری مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲- استادیار بخش مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۳- دانشیار بخش مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

چکیده

در این مطالعه روند اثرات افزودن سخت‌کننده بر پاسخ فرکانسی و لرزه‌ای برج آبگیر در زمان ساخت مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. بدین منظور و برای بررسی بهتر اثرات سخت‌کننده‌ها از دو نوع سخت‌کننده‌ی افقی و قائم در تعداد و ترازهای ارتفاعی مختلف استفاده شده است. همچنین این بررسی برای حالتی که وزن سازه به میزان وزن سخت‌کننده‌های اضافه شده، کاهش یافته نیز مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق ابتدا آنالیز فرکانسی این مدل‌ها پس از افزودن سخت‌کننده‌ها انجام گرفته و با مدل اصلی مقایسه شده است که نتایج نشان می‌دهد مقادیر فرکانس اول سازه با اعمال سخت‌کننده‌های طوقی و قائم به ترتیب کاهش و افزایش یافته است که نشان از تأثیرات نوع و تعداد سخت‌کننده‌ها بر پاسخ فرکانسی سازه دارد. در ادامه برای بررسی بهتر اثرات این نوع سخت‌کننده‌ها، برج‌های آبگیر ساخته شده تحت آنالیز لرزه‌ای قرار گرفته‌اند و نتایج حاصل نشانگر آن است که میزان تغییرمکان‌ها و تنش‌ها برای حالتی که سخت‌کننده‌ی افقی در نظر گرفته شده است، افزایش یافته و نیز برای حالات برج آبگیر با سخت‌کننده قائم مقادیر تغییرمکان‌ها کاهش یافته و مقادیر تنش بسته به تراز ارتفاعی سخت‌کننده‌ها روند نزولی به خود می‌گیرد. نتایج حاکی از اهمیت اثرات سخت‌کننده‌ها بر پاسخ فرکانسی و لرزه‌ای برج آبگیر داشته و ضرورت بررسی این حالات را نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: برج آبگیر، سخت‌کننده‌ی افقی، سخت‌کننده‌ی قائم، آنالیز فرکانسی، آنالیز لرزه‌ای، روش المان محدود

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:			
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.208652.2004
۱۳۹۸/۰۹/۰۵	۱۳۹۹/۰۲/۱۹	۱۳۹۹/۰۳/۲۲	۱۳۹۹/۰۳/۲۲	۱۴۰۰/۰۶/۳۱	doi: 10.22065/jsce.2020.208652.2004
سعید عباسی					*نویسنده مسئول:
abbasi.saeed@znu.ac.ir					پست الکترونیکی:

۱- مقدمه

تأسیسات ورودی و خروجی آب، بخشی از زیرساخت‌های حیاتی سد را تشکیل می‌دهد و جریان آب خارج شده از مخزن را تنظیم می‌کند. از این رو ارزیابی لرزه‌ای سد و تأسیسات وابسته به آن در زمان ساخت، اتمام ساخت و زمان آبدگیری از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. سالم ماندن و قابلیت بهره‌برداری از برج‌های آبدگیر پس از زلزله از اهمیت زیادی برخوردار است؛ زیرا این امر مستقیماً به تداوم تأمین آب مربوط می‌شود. در بعضی موارد این برج‌ها به صورت سازه‌ای مجزا بوده و در زیر مخزن پی‌گذاری شده‌اند در حالی که در موارد دیگر از نظر ساختاری به زمین اطراف یا سد بتنی پایین‌دست برج وصل می‌شوند [۱]. مطالعات بسیاری در حوزه بررسی عملکرد لرزه‌ای برج‌های آبدگیر انجام گرفته است [۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸]. گایول و چوپرا در سال ۱۹۸۹ اثرات جرم افزوده، اثرات هیدرودینامیکی و اثرات فونداسیون را بر پاسخ برج‌های آبدگیر مورد بررسی و مطالعه قرار دادند [۱۱، ۱۰، ۹، ۸، ۷]. ریچارد در سال ۱۹۹۶ آنالیز پارامتری برای چندین نوع برج آبدگیر را در مناطق با ضرایب مختلف خطر لرزه‌ای را انجام داد [۱۲]. ریچارد و داو در سال ۱۹۹۸ و ۲۰۰۰ عملکرد برج-آبدگیر با مقدار آرماتور کم (کم مسلح) را تحت بارهای لرزه‌ای مورد آنالیز و بررسی قرار دادند، آن‌ها در این مطالعه یک مدل آزمایشگاهی برج آبدگیر را با استفاده از تحریک لرزه‌ای در آزمایشگاه مورد بررسی و مطالعه قرار دادند. آن‌ها همچنین در این مطالعه مقادیر فرکانس طبیعی را پس از آنالیز و ترک خوردگی برج آبدگیر مدنظر را مورد بررسی قرار دادند که نشان از کاهش مقادیر این فرکانس‌ها پس از ترک خوردگی داشت [۱۳، ۱۴]. بسیاری از محققان رفتار لرزه‌ای برج‌های توخالی را با توجه به مؤلفه‌های مختلف مؤثر اعم از ضخامت، ارتفاع و هندسه-های مختلف اعم از برج آبدگیر باریک با مقطع دایره‌ای و غیر دایره‌ای بررسی کرده‌اند [۱۶، ۱۵، ۱۰، ۷]. برخی دیگر از محققان نیز عملکرد لرزه‌ای برج‌های آبدگیر را با در نظر گرفتن اثرات آب و بدون این پارامتر، اثرات انواع مختلف فونداسیون‌ها و اثرات سازه سد مورد بررسی و آنالیز قرار داده‌اند [۲۱، ۲۰، ۱۹، ۱۸، ۱۷]. عالم باقری در سال ۲۰۱۶ اثرات سد و فونداسیون را بر پاسخ لرزه‌ای برج‌های آبدگیر لاغر مورد بررسی قرار داد. نتایج کار او نشان از تأثیر قابل توجه سد و نوع فونداسیون بر پاسخ لرزه‌ای برج آبدگیر مورد مطالعه داشت [۲۲]. وانگ و همکاران در سال ۲۰۱۴ گروهی از برج‌های آبدگیر را با در نظر گرفتن اثرات اندرکنش میان آب و برج‌های آبدگیر مورد بررسی و آنالیز قرار دادند. آن‌ها برای این بررسی از فونداسیون بدون جرم استفاده کردند و نشان دادند که آب به علت نقش انتقال نیروی عادی در اتصالات انقباضی بین برج‌ها تأثیر کمی بر فرکانس تشدید در جهت عمود بر جریان دارد [۲۳]. مطالعات برج‌های آبدگیر در حوزه فرکانسی و لرزه‌ای جزو موارد مورد علاقه محققان می‌باشد و تحقیقات زیادی در این مورد به عمل آمده است؛ اما محققان در این حوزه توجه کمی به مقوله‌ی تأثیرات مثبت و احتمالی سخت‌کننده‌ها بر پاسخ فرکانسی و لرزه‌ای برج آبدگیر داشته‌اند. در مطالعه حاضر اثرات سخت‌کننده‌های افقی و قائم بر پاسخ فرکانسی و لرزه‌ای برج آبدگیر در شرایط مختلف اعم از سخت‌کننده‌های افقی و قائم، تعداد مختلف سخت‌کننده‌ها و ترازهای ارتفاعی مختلف آن‌ها انجام گرفته است. گایول و چوپرا در سال ۱۹۸۹ بر اساس توابع پاسخ فرکانس نشان دادند که تعامل برج-آب و تعامل برج-فونداسیون ممکن است تأثیر معنی داری در پاسخ پویای برج‌های ورودی-خروجی داشته باشد [۷]. عالم باقری در سال ۲۰۱۷ پاسخ دینامیکی سیستم کوپل شده سد، مخزن، برج آبدگیر و فونداسیون را با استفاده از پاسخ حوزه فرکانسی سد بتنی و برج آبدگیر تحت اثر مؤلفه‌های افقی و قائم زلزله مورد بررسی قرار داد. نتایج کار او نشان داد که ارتفاع اندک سد تا حد کمی و آن هم فقط در شرایط مخزن پر بر پاسخ برج آبدگیر تأثیر می‌گذارد؛ اما سد با ارتفاع زیاد باعث ایجاد تشدید قابل توجهی بر عملکرد پاسخ برج آبدگیر لاغر حتی در شرایط مخزن نیمه‌پر می‌گردد. همچنین او نشان داد که جذب کف مخزن به شدت بر این رزونانس‌های ایجاد شده توسط تعامل سد-برج و برج تأثیر می‌گذارد و تحت تحریک‌های عمودی دامنه‌های رزونانس اساسی را به شدت کاهش می‌دهد [۲۴]. برای بررسی اثرات سخت‌کننده-های افقی چندین مطالعه بر روی سازه‌های مختلف اعم از برج خنک‌کننده و دودکش انجام گرفته است که نتایج این تحقیقات بیان‌گر بهتر شدن رفتار کمانشی سازه‌های مزبور می‌باشد [۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸]. هرچند چندین نمونه برج آبدگیر با در نظر گرفتن سخت‌کننده‌های افقی و قائم و تقریباً با شرایطی مشابه مورد مطالعه ساخته شده‌اند که می‌توانند نمونه‌هایی از اجرای سخت‌کننده در برج‌های آبدگیر قلمداد شوند، اما همان طوری که در بالا ذکر شد این نوع سخت‌کننده‌ها به طور جدی مورد بررسی قرار نگرفته‌اند. در شکل ۱ دو مورد از برج‌های آبدگیر که تقریباً دارای شرایطی مشابه مدنظر می‌باشند، نشان داده شده است. شکل ۱ الف برج آبدگیر سد هورور است که با یک محور مرکزی برای آبدگیری و با تیر و ستون‌های کناری ساخته شده و شکل ۱ ب نشانگر سکوهایی است که در ترازهای مختلفی از برج آبدگیر نصب شده‌اند و می‌توانند به عنوان نوعی سخت‌کننده محسوب شوند. در مطالعه حاضر به منظور بررسی اثرات سخت‌کننده‌های ذکر شده،

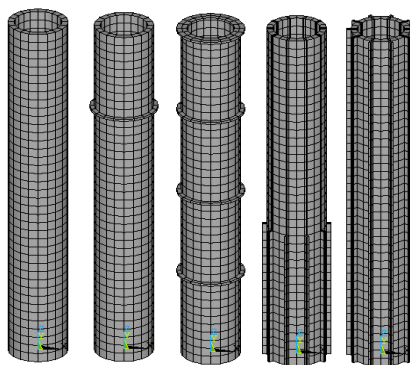
آنالیز فرکانسی و لرزه‌ای برج آبگیر با لحاظ نمودن سخت‌کننده‌های مدنظر در زمان ساخت مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور چندین نوع برج آبگیر با در نظر گرفتن این سخت‌کننده‌ها و بدون آن‌ها در نرم‌افزار المان محدود ANSYS مدل‌سازی شده است که شامل یک مدل اصلی بدون سخت‌کننده، ۳۰ مدل با افزودن سخت‌کننده‌های افقی و ۸۰ مدل با افزودن سخت‌کننده‌های قائم می‌باشد. مدل‌های ذکر شده تحت آنالیز فرکانسی قرار گرفته و سپس اثرات سخت‌کننده‌های مزبور بر تغییر فرکانس برج آبگیر مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. پس از آن برای بررسی بهتر اثرات این سخت‌کننده‌ها آنالیز لرزه‌ای برج‌های آبگیر شبیه‌سازی شده تحت بار لرزه‌ای انجام گرفته است.



شکل ۱. الف) برج آبگیر با المان‌های قائم ب) برج آبگیر با المان‌های افقی

۲- مدل اجزای محدود سیستم برج آبگیر

شکل ۲ مدلی از برج آبگیر مورد بررسی در این مطالعه را نشان می‌دهد. برای مدل‌سازی این برج‌ها از المان Solid 95 انسیس استفاده شده است. این سازه‌ها به طور کامل در پی فیکس شده‌اند و تراز پره‌ها و نیز تعداد آن‌ها مطابق مندرجات جدول ۱ منظور گردیده است. برای سخت‌کننده‌های افقی ضخامت سخت‌کننده به میزان ۰/۶ متر و نیز شعاع خارجی آن به اندازه یک متر بیش‌تر از شعاع خارجی برج آبگیر در نظر گرفته شده و برای سخت‌کننده‌های قائم میزان ضخامت و طول خارجی سخت‌کننده به ترتیب برابر با ۰/۶ و ۱ متر لحاظ شده است. مشخصات هندسی و خصوصیات ماده برای برج‌های آبگیر و سخت‌کننده‌ها در جداول ۱ الی ۵ ارائه شده است. وزن مصالح به کار رفته در سازه برج آبگیر و سخت‌کننده‌ها (مثلاً بتن) به عنوان معیاری برای بررسی مسئله از دیدگاه اقتصادی در نظر گرفته شده است. به این منظور و برای بررسی بهتر، سخت‌کننده‌ها در دو حالت مدل شده‌اند که در حالت اول وزن مربوط به آن‌ها از وزن برج آبگیر کسر نشده (WOROM) و در حالت دوم وزن مربوط به این سخت‌کننده‌ها از مدل اصلی برج کسر گردیده است (WROM). با کسر وزن سخت‌کننده‌ها مدل‌های مختلف برج‌ها از لحاظ هزینه‌ی ساخت (صرفاً حجم بتن ریزی مورد نیاز) در شرایط یکسانی مورد مقایسه قرار می‌گیرند. روند مدل‌سازی برای سخت‌کننده‌های قائم نیز مطابق جداول ۴ و ۵ با ۶، ۸ و ۱۰ پره و همانند مدل ۴ پره در دو حالت انجام گرفته است؛ در حالت اول شعاع برج آبگیر ثابت فرض شده و در حالت دوم به ازای حجم سخت‌کننده‌ها از شعاع خارجی برج آبگیر کاسته شده است. در مقاله حاضر در مجموع برای بررسی اثرات سخت‌کننده‌های افقی و قائم در زمان ساخت، ۱۱۱ مدل المان محدود برج آبگیر ساخته و مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل ۲. نمونه مدل اجزا محدود برج‌های آبگیر (از راست به چپ: با پره قائم تا H ، با پره قائم تا $0.4H$ ، با چهار پره افقی، با یک پره افقی در $0.75H$ و مدل اصلی بدون سخت کننده)

معادله دینامیکی سازه برای مدل ارائه شده در شکل ۲ می‌تواند به صورت زیر ارائه شود [۲۹]:

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = F(t) \quad (1)$$

که در رابطه بالا M ، C و K به ترتیب ماتریس‌های جرم، میرایی و سختی سیستم، \ddot{u} و \dot{u} بردارهای شتاب و سرعت و تغییر مکان و $F(t)$ بردار بارهای خارجی وارده بر سیستم می‌باشند.

جدول ۱. مشخصات هندسی برج‌های آبگیر با سخت کننده افقی بدون کسر وزن سخت کننده

ضخامت سخت کننده	شعاع سخت کننده (متر)		شعاع برج آبگیر (متر)		ارتفاع (متر)	مصالح	مدل
	پایین	بالا	خارجی	داخلی			
-	-	-	۶/۸۰	۵/۴۴	۱۰۰	بتن	بدون پره
۰/۶	۷/۸۰	۶/۸۰	۶/۸۰	۵/۴۴	۱۰۰	بتن	پره ۱
۰/۶	۷/۸۰	۶/۸۰	۶/۸۰	۵/۴۴	۱۰۰	بتن	پره ۲
۰/۶	۷/۸۰	۶/۸۰	۶/۸۰	۵/۴۴	۱۰۰	بتن	پره ۳
۰/۶	۷/۸۰	۶/۸۰	۶/۸۰	۵/۴۴	۱۰۰	بتن	پره ۴

جدول ۲. مشخصات مادی برج آبگیر

ضریب پواسون	مدول الاستیسیته GPA	چگالی (kg/m^3)
۰/۱۷	۳۴/۵	۲۴۸۰

جدول ۳. مشخصات هندسی برج‌های آبگیر با سخت کننده افقی با کسر وزن سخت کننده

ضخامت سخت کننده	شعاع سخت کننده (متر)		شعاع برج آبگیر (متر)		ارتفاع (متر)	مصالح	مدل
	پایین	بالا	خارجی	داخلی			
۰/۶	۷/۷۹۳۵	۶/۷۹۳۵	۶/۷۹۳۵	۵/۴۴	۱۰۰	بتن	پره ۱
۰/۶	۷/۷۸۷۰	۶/۷۸۷۰	۶/۷۸۷۰	۵/۴۴	۱۰۰	بتن	پره ۲
۰/۶	۷/۷۸۱۰	۶/۷۸۱۰	۶/۷۸۱۰	۵/۴۴	۱۰۰	بتن	پره ۳
۰/۶	۷/۷۷۴	۶/۷۷۴	۶/۷۷۴	۵/۴۴	۱۰۰	بتن	پره ۴

جدول ۴. مشخصات هندسی برج‌های آبگیر با ۴ سخت کننده قائم بدون کسر وزن سخت کننده

ضخامت سخت کننده	شعاع سخت کننده (متر)		شعاع برج آبگیر (متر)		ارتفاع (متر)	مصالح	تراز سخت کننده قائم
	پایین	بالا	خارجی	داخلی			
۰/۶	-	-	۶/۸۰	۵/۴۴	۱۰۰	بتن	0.1H
۰/۶	۷/۸۰	۶/۸۰	۶/۸۰	۵/۴۴	۱۰۰	بتن	0.2H
۰/۶	۷/۸۰	۶/۸۰	۶/۸۰	۵/۴۴	۱۰۰	بتن	0.3H
۰/۶	۷/۸۰	۶/۸۰	۶/۸۰	۵/۴۴	۱۰۰	بتن	0.4H
۰/۶	۷/۸۰	۶/۸۰	۶/۸۰	۵/۴۴	۱۰۰	بتن	0.5H
۰/۶	۷/۸۰	۶/۸۰	۶/۸۰	۵/۴۴	۱۰۰	بتن	0.6H
۰/۶	۷/۸۰	۶/۸۰	۶/۸۰	۵/۴۴	۱۰۰	بتن	0.7H
۰/۶	۷/۸۰	۶/۸۰	۶/۸۰	۵/۴۴	۱۰۰	بتن	0.8H
۰/۶	۷/۸۰	۶/۸۰	۶/۸۰	۵/۴۴	۱۰۰	بتن	0.9H
۰/۶	۷/۸۰	۶/۸۰	۶/۸۰	۵/۴۴	۱۰۰	بتن	H

جدول ۵. مشخصات هندسی برج‌های آبگیر با ۴ سخت کننده قائم و با کسر وزن سخت کننده

ضخامت سخت کننده	شعاع سخت کننده (متر)		شعاع برج آبگیر (متر)		ارتفاع (متر)	مصالح	تراز سخت کننده قائم
	پایین	بالا	خارجی	داخلی			
۰/۶	۷/۷۹۴	۶/۷۹۴	۶/۷۹۴	۵/۴۴	۱۰۰	بتن	0.1H
۰/۶	۷/۷۸۹	۶/۷۸۹	۶/۷۸۹	۵/۴۴	۱۰۰	بتن	0.2H
۰/۶	۷/۷۸۳	۶/۷۸۳	۶/۷۸۳	۵/۴۴	۱۰۰	بتن	0.3H
۰/۶	۷/۷۷۷	۶/۷۷۷	۶/۷۷۷	۵/۴۴	۱۰۰	بتن	0.4H
۰/۶	۷/۷۷۲	۶/۷۷۲	۶/۷۷۲	۵/۴۴	۱۰۰	بتن	0.5H
۰/۶	۷/۷۶۶	۶/۷۶۶	۶/۷۶۶	۵/۴۴	۱۰۰	بتن	0.6H
۰/۶	۷/۷۶۱	۶/۷۶۱	۶/۷۶۱	۵/۴۴	۱۰۰	بتن	0.7H
۰/۶	۷/۷۵۵	۶/۷۵۵	۶/۷۵۵	۵/۴۴	۱۰۰	بتن	0.8H
۰/۶	۷/۷۵۰	۶/۷۵۰	۶/۷۵۰	۵/۴۴	۱۰۰	بتن	0.9H
۰/۶	۷/۷۴۴	۶/۷۴۴	۶/۷۴۴	۵/۴۴	۱۰۰	بتن	H

۳- صحت سنجی مدل و آنالیز فرکانسی

در این مطالعه همانطوری که قسمت قبل اشاره شده است برای مدل‌سازی برج‌های آبگیر مورد مطالعه از نرم افزار ANSYS و روش المان محدود استفاده شده است، بدین منظور و برای اطمینان از روش مدل‌سازی سازه‌های مورد بررسی ابتدا یک مدل عددی از برج آبگیر استوانه‌ای با مقطع دایروی ثابت و ضخامت ثابت در کل ارتفاع برج آبگیر، مطابق مشخصات مرجع [۲۰] ساخته شده (که به عنوان مدل بدون سخت کننده در این مطالعه نیز مورد بررسی قرار گرفته است) و تحت آنالیز فرکانسی قرار گرفت و درصد اختلاف فرکانس آن با مرجع مزبور بررسی شد. نتایج حاصل از آنالیز فرکانسی برج آبگیر ساخته شده و فرکانس ارائه شده برای مدل اصلی در مرجع [۲۰] در جدول ۶ نشان داده شده است که نتایج نشان از دقت مناسب روش مدل‌سازی دارد. در ادامه سایر مدل‌های مورد مطالعه با افزودن سخت کننده‌های افقی و قائم با استفاده از روش مزبور استفاده شده در صحت‌سنجی شبیه‌سازی و مورد مطالعه قرار گرفتند. همانطور که در قسمت‌های قبلی اشاره شد هدف این مطالعه بررسی اثرات سخت کننده‌های افقی و قائم بر پاسخ فرکانسی و لرزه‌ای برج‌های آبگیر در زمان اتمام ساخت آن‌ها و قبل از آگیری مخزن می‌باشد. بدین منظور و پس از صحت‌سنجی مدل اصلی، ۱۱۱ مدل برج آبگیر اعم از برج آبگیر بدون سخت کننده، با سخت کننده‌های افقی، سخت کننده‌های قائم و نیز در حالات بدون کسر حجم بتن پرها از حجم بتن مدل اصلی و با کسر حجم آن‌ها مطابق جداول ۱ الی ۵ ساخته شده است. در ادامه اثرات این سخت کننده‌ها بر پاسخ فرکانسی و لرزه‌ای برج آبگیر مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۶. نتایج آنالیز فرکانسی و مقایسه با مدل اصلی (HZ)

تحلیل حاضر	مرجع [۲۰]	درصد خطا
۰/۸۸۸۵۲	۰/۹۰۷۱۸	۲/۰۵

۳-۱- پره‌های افقی

نتایج حاصل از در نظر گرفتن سخت‌کننده‌های افقی با تعداد و تراز قرارگیری مختلف سخت‌کننده‌ها بر پاسخ فرکانسی برج آنگیر با کسر وزن و بدون کسر وزن سخت‌کننده‌ها در جداول ۷ و ۸ ارائه شده است. با توجه به جداول مربوطه مشخص می‌شود که با قراردادن سخت‌کننده‌های افقی در ترازهای مختلف برج آنگیر مقادیر فرکانس اول سازه در کلیه مدل‌ها بجز مدل‌های A1 و E1 (مدل‌های تک‌پره با موقعیت استقرار پره در تراز ۰/۲۵H) افزایش می‌یابد به طوری که در دو مدل یاد شده، چه با کاهش وزن سخت‌کننده و چه بدون کاهش آن، مقدار فرکانس اول سازه از فرکانس اول سازه اصلی بیش‌تر می‌باشد. علت بروز این امر می‌تواند تمرکز جرم در ترازهای پایین و تأثیرات سخت‌کنندگی این پره‌ها در قسمت‌های پایین سازه باشد.

همچنین با توجه به جداول ذکر شده و شکل ۳ مشخص می‌شود که در باقی مدل‌های تک پره با افزایش تراز پره‌ها، فرکانس سازه کاهش می‌یابد. این امر به دلیل تمرکز جرم در ترازهای بالاتر، کاهش اثرات سخت‌کنندگی و همچنین افزایش اثرات جرم متمرکز بر افزایش پیرو سازه می‌باشد. برای مدل‌های برج آنگیر با دو سخت‌کننده هرچه تراز قرارگیری اولین سخت‌کننده پایین‌تر باشد و یا فاصله بین دو سخت‌کننده کم‌تر باشد، نرخ کاهش فرکانس سازه مزبور نسبت به سایر مدل‌ها کم‌تر خواهد بود. بعلاوه برای برج آنگیر با سه سخت‌کننده زمانی که موقعیت استقرار غالب سخت‌کننده‌ها در ترازهای پایین‌تر باشد، نرخ کاهش فرکانس سازه کم‌تر می‌باشد. با توجه به جداول ۷ و ۸ و شکل ۳ مشخص می‌شود که با اعمال کاهش وزن، فرکانس اول سازه نسبت به حالات بدون کاهش وزن کمتر است که نشان از تأثیر بیش‌تر سخت‌کننده‌های مزبور بر کاهش فرکانس اول سازه در شرایط یاد شده دارد. بنابراین در صورت وجود شرایطی که استفاده از این سخت‌کننده‌ها مدنظر باشد، بهتر است اولاً این پره‌ها در ترازهای پایین‌تر سازه و نیز در فواصل نزدیک به هم تعبیه گردند و ثانیاً تعبیه این پره‌ها بدون کاهش وزن مدل اصلی صورت گیرد تا نرخ کاهش فرکانس سازه اصلی کم‌تر شود.

جدول ۷. الف. طر حواره مدلسازی المان محدود برج آنگیر بدون کاهش وزن سخت‌کننده‌ها

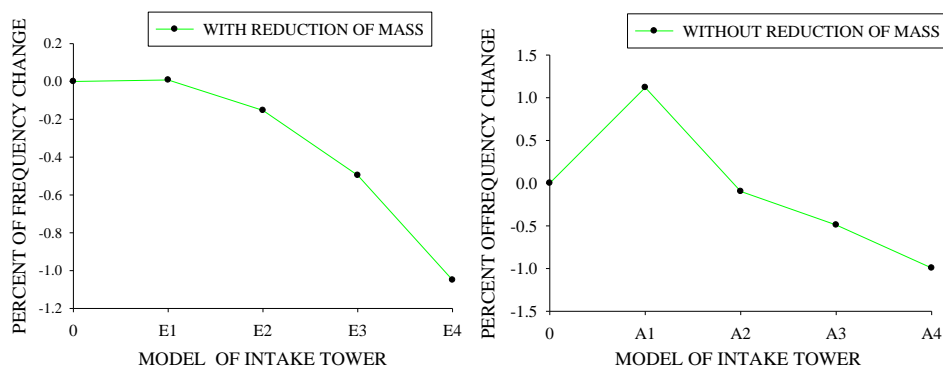
Elevation of Stiffeners	One stiffener				Two stiffeners						Three stiffeners				Four stiffeners
	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	B5	B6	C1	C2	C3	C4	D
0.25H	✓				✓	✓	✓				✓	✓	✓		✓
0.5H		✓			✓			✓	✓		✓	✓		✓	✓
0.75H			✓			✓		✓		✓	✓		✓	✓	✓
H				✓			✓		✓	✓	✓	✓	✓		✓

جدول ۷. ب. طر حواره مدلسازی المان محدود برج آنگیر با کاهش وزن سخت‌کننده‌ها

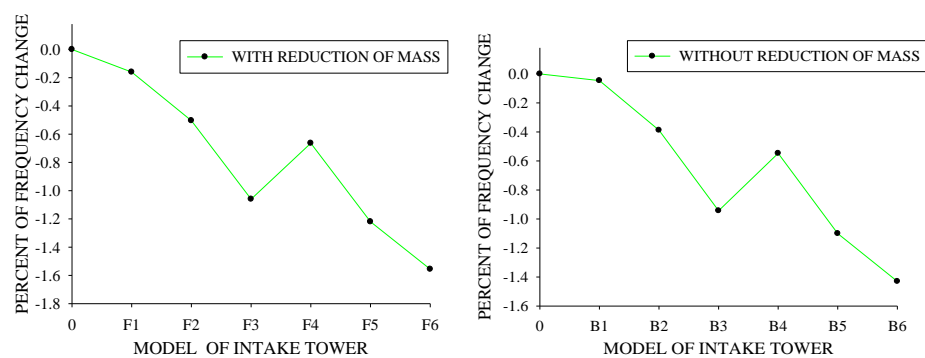
Elevation of Stiffeners	One stiffener				Two stiffeners						Three stiffeners				Four stiffeners
	E1	E2	E3	E4	F1	F2	F3	F4	F5	F6	G1	G2	G3	G4	H
0.25H	✓				✓	✓	✓				✓	✓	✓		✓
0.5H		✓			✓			✓	✓		✓	✓		✓	✓
0.75H			✓			✓		✓		✓	✓		✓	✓	✓
H				✓			✓		✓	✓	✓	✓	✓		✓

جدول ۸. پاسخ فرکانسی برج آگیر بدون پره و با پره‌های افقی در ترازهای مختلف (Hz)

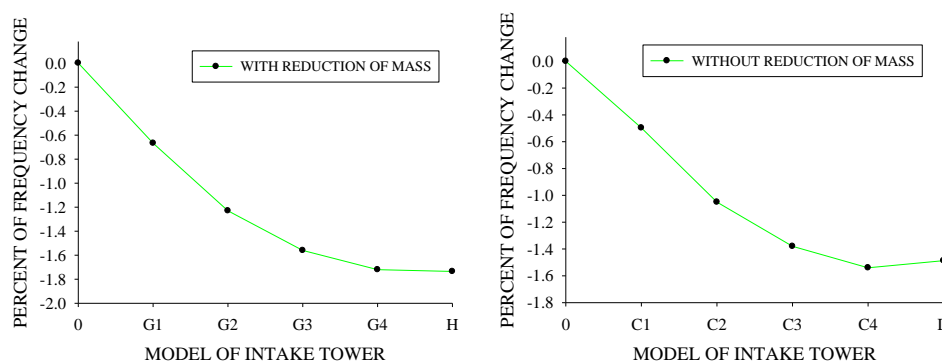
Main Model (MM)	Without Reduction Of Mass (WOROM)	With Reduction Of Mass (WROM)
۰/۸۸۸۵۲	A1	۰/۸۹۹۰۹
	A2	۰/۸۸۷۶۶
	A3	۰/۸۸۴۶۲
	A4	۰/۸۷۹۶۹
	B1	۰/۸۸۸۱۱
	B2	۰/۸۸۵۰۷
	B3	۰/۸۸۰۱۴
	B4	۰/۸۸۳۶۶
	B5	۰/۸۷۸۷۵
	B6	۰/۸۷۵۷۹
	C1	۰/۸۸۴۱۰
	C2	۰/۸۷۹۱۹
	C3	۰/۸۷۶۲۴
	C4	۰/۸۷۴۸۶
	D	۰/۸۷۵۳۱
	E1	۰/۸۸۸۵۹
E2	۰/۸۸۷۱۶	
E3	۰/۸۸۴۱۱	
E4	۰/۸۷۹۱۶	
F1	۰/۸۸۷۱۰	
F2	۰/۸۸۴۰۴	
F3	۰/۸۷۹۰۷	
F4	۰/۸۸۲۶۲	
F5	۰/۸۷۷۶۷	
F6	۰/۸۷۴۶۹	
G1	۰/۸۸۲۵۹	
G2	۰/۸۷۷۶۲	
G3	۰/۸۷۴۶۲	
G4	۰/۸۷۳۲۵	
H	۰/۸۷۳۱۰	



شکل ۳ الف. درصد تغییر فرکانس اول سازه با تعبیه یک پره افقی در ترازهای مختلف.



شکل ۳ ب. درصد تغییر فرکانس اول سازه با تعبیه دو پره افقی در ترازهای مختلف



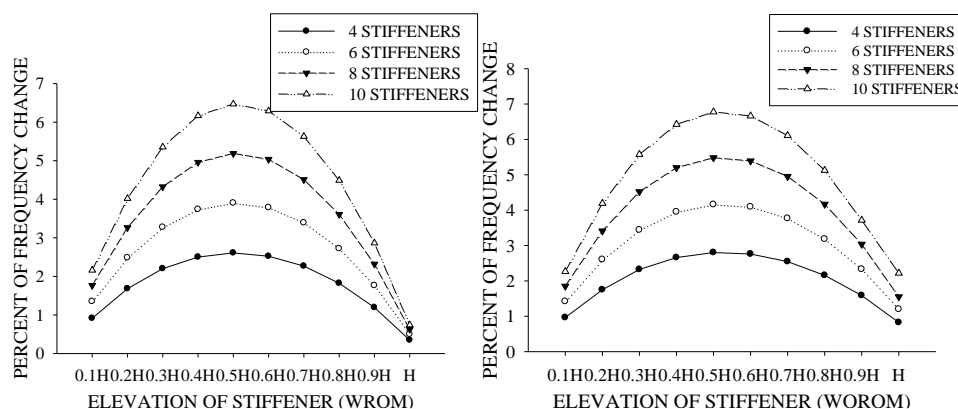
شکل ۳ پ. درصد تغییر فرکانس اول سازه با تعبیه سه و چهار پره افقی در ترازهای مختلف

۳-۲- پره‌های قائم

تغییرات پاسخ فرکانسی برج آبگیر در نتیجه الحاق سخت‌کننده‌های قائم با تعداد و ترازهای قرارگیری مختلف این سخت‌کننده‌ها در جدول ۹ ارائه شده است. در مجموع ۸۰ مدل برج آبگیر با سخت‌کننده‌های قائم و با ترازهای ارتفاعی، تعداد و محل‌های قرارگیری متفاوت مدلسازی شده است. برج‌های آبگیر مدلسازی شده با الحاق ۴، ۶، ۸ و ۱۰ سخت‌کننده در دو حالت "با کسر وزن سخت‌کننده از وزن مدل اصلی" که در شعاع خارجی برج آبگیر اعمال می‌شود و "بدون کسر وزن آن‌ها از وزن مدل اصلی" شبیه‌سازی شده است. با توجه به جدول مزبور مشخص می‌شود که با الحاق سخت‌کننده‌های قائم چه در حالت کسر وزن آن‌ها از وزن مدل اصلی و چه بدون آن، فرکانس اول سازه افزایش یافته و این امر منجر به کاهش پریود سازه می‌گردد. همچنین با توجه به شکل ۴ که بر پایه نتایج جدول ۹ ترسیم گردیده، مشخص می‌شود که با اعمال کاهش وزن نرخ افزایش فرکانس اول سازه نسبت به حالتی که تغییرات وزن در نظر گرفته نشده، کاهش یافته است. با توجه به شکل ۴ مشخص می‌شود که با اعمال سخت‌کننده‌ها فرکانس اول سازه دارای پره‌های قائم الحاقی با ارتفاع تا تراز $0.5H$ روند صعودی به خود گرفته و پس از عبور از این مرز دوباره روند نزولی پیدا می‌نماید. در ضمن فرکانس اول سازه در حالتی که پره‌ها تا تراز H ادامه یافته‌اند، نسبت به حالتی که این پره‌ها تا تراز $0.1H$ ادامه یافته‌اند کمتر بوده، لیکن با این وجود نیز فرکانس آن نسبت به فرکانس اول مدل اصلی بدون پره بیشتر می‌باشد. همچنین با توجه به شکل ۴ مشخص می‌شود که با کسر وزن پره‌ها از وزن برج آبگیر هرچند مقادیر فرکانس اصلی سازه نسبت به حالتی که وزن این پره‌ها کسر نشده‌اند کمتر است، اما آهنگ افزایش و کاهش شیب این نمودار برای مدل برج آبگیر با کسر وزن پره‌ها بیشتر می‌باشد. بعلاوه در حالتی که وزن سخت‌کننده‌ها از وزن مدل اصلی کسر شده است فرکانس اول سازه برای هر چهار مدل دارای سخت‌کننده تا تراز ارتفاعی H به یک مقدار تقریباً برابر رسیده و اختلاف درصد تغییرات فرکانس ناچیز است. ماکزیمم درصد افزایش فرکانس برای مدل با تعداد ۴، ۶، ۸ و ۱۰ سخت‌کننده بدون کاهش وزن به ترتیب برابر با $۲/۸۰۲$ ، $۴/۱۶۰$ ، $۵/۴۸۱$ و $۶/۷۷۶$ می‌باشد که این مقادیر برای همان مدل‌ها با کاهش وزن سخت‌کننده به ترتیب برابر با $۳/۹۰۳$ ، $۵/۱۸۸$ و $۶/۴۷۰$ است. مقادیر درصد اختلاف فرکانس بین حالتی که وزن سخت‌کننده‌ها از وزن مدل اصلی کم می‌شود نسبت به حالتی که وزن آن‌ها کسر نمی‌شود برابر با $۶/۱۷۷$ ، $۶/۱۸۵$ ، $۵/۳۴۶$ و $۴/۵۱۶$ می‌باشد. ملاحظه می‌گردد با افزایش تعداد سخت‌کننده‌ها اختلاف میان این فرکانس‌ها کاهش می‌یابد و فرکانس اصلی مدل با سخت‌کننده‌ی قائم با کاهش وزن به فرکانس اول مدل با سخت‌کننده قائم بدون کاهش وزن نزدیک می‌گردد که نشان از تأثیر قابل ملاحظه تعداد سخت‌کننده‌ها دارد.

جدول ۹. فرکانس اول برج آبیگر (مدل‌های با پره قائم) در حالات کسر وزن پره و بدون کسر وزن آن‌ها (Hz)

No. of Stiffeners		STIFFENERS ELEVATION									No Stiffener
		0.1H	0.2H	0.3H	0.4H	0.5H	0.6H	0.7H	0.8H	0.9H	
4	WOROM	۰/۸۹۷۰۸	۰/۹۰۴۲۰	۰/۹۰۹۱۷	۰/۹۱۲۱۸	۰/۹۱۳۴۲	۰/۹۱۳۰۵	۰/۹۱۱۱۳	۰/۹۰۷۶۸	۰/۹۰۲۶۲	۰/۸۹۵۸۴
	WROM	۰/۸۹۶۶۵	۰/۹۰۳۴۶	۰/۹۰۸۰۸	۰/۹۱۰۷۵	۰/۹۱۱۷۱	۰/۹۱۰۹۵	۰/۹۰۸۶۷	۰/۹۰۴۷۳	۰/۸۹۹۱۵	۰/۸۹۱۶۳
6	WOROM	۰/۹۰۱۱۲	۰/۹۱۱۶۷	۰/۹۱۹۰۹	۰/۹۲۳۶۱	۰/۹۲۵۴۸	۰/۹۲۴۸۹	۰/۹۲۱۹۸	۰/۹۱۶۷۸	۰/۹۰۹۲۱	۰/۸۹۹۱۶
	WROM	۰/۹۰۰۵۳	۰/۹۱۰۶۰	۰/۹۱۷۶۲	۰/۹۲۱۷۵	۰/۹۲۳۲۰	۰/۹۲۲۱۵	۰/۹۱۸۶۵	۰/۹۱۲۷۰	۰/۹۰۴۱۹	۰/۸۹۲۹۶
8	WOROM	۰/۹۰۴۹۵	۰/۹۱۸۸۴	۰/۹۲۸۶۹	۰/۹۳۴۷۳	۰/۹۳۷۲۲	۰/۹۳۶۴۳	۰/۹۳۲۵۱	۰/۹۲۵۵۵	۰/۹۱۵۵۰	۰/۹۰۲۲۸
	WROM	۰/۹۰۴۲۱	۰/۹۱۷۵۳	۰/۹۲۶۹۴	۰/۹۳۲۵۷	۰/۹۳۴۶۲	۰/۹۳۳۲۶	۰/۹۲۸۵۸	۰/۹۲۰۵۸	۰/۹۰۹۱۳	۰/۸۹۴۱۰
10	WOROM	۰/۹۰۸۶۲	۰/۹۲۵۷۶	۰/۹۳۸۰۴	۰/۹۴۵۶۰	۰/۹۴۸۷۳	۰/۹۴۷۷۱	۰/۹۴۲۷۸	۰/۹۳۴۰۵	۰/۹۲۱۵۴	۰/۹۰۵۲۴
	WROM	۰/۹۰۷۷۰	۰/۹۲۴۲۳	۰/۹۳۶۰۸	۰/۹۴۴۲۳	۰/۹۴۶۰۱	۰/۹۴۴۳۹	۰/۹۳۸۵۲	۰/۹۲۸۴۱	۰/۹۱۲۹۸	۰/۸۹۵۱۱



شکل ۴. درصد تغییر فرکانس اول سازه با افزایش تعداد سخت‌کننده‌ها و تغییر تراز ارتفاعی سخت‌کننده‌های قائم

۴- آنالیز لرزه‌ای

جهت بررسی بهتر و کامل‌تر اثرات این سخت‌کننده‌ها بر رفتار برج آبیگر اثرات سخت‌کننده‌های قائم و افقی بر پاسخ دینامیکی برج‌های آبیگر تحت اثر بار لرزه‌ای نیز مورد مطالعه قرار گرفته است. به این منظور تاریخچه زمانی شتاب زلزله طیس که مشخصات آن در جدول ۱۰ ارائه شده است به مدل‌های مورد بررسی اعمال گردیده و نتایج حاصل از آن شامل ماکزیمم تغییر مکان‌ها، ماکزیمم تنش‌های اصلی و بیشینه تنش‌های برشی با مدل اصلی بدون پره مقایسه شده است.

جدول ۱۰. مشخصات شتابنگاشت اعمال شده به مدل‌ها

سرعت موج برشی (m/s)	PGA(g)	مولفه ثبت شده	فاصله مرکز سطحی (km)	ایستگاه	تاریخ وقوع	زمین لرزه
۳۳۸/۶	۰/۰۸۵	BOS-V1	۷۴/۶۶	Boshrooye70	۱۳۵۷	طیس
	۰/۱۰۷	BOS-L1				
	۰/۰۸۹	BOS-T1				
	۰/۱۸۳	ALS-E				
	۰/۱۶۳	ALS-N				

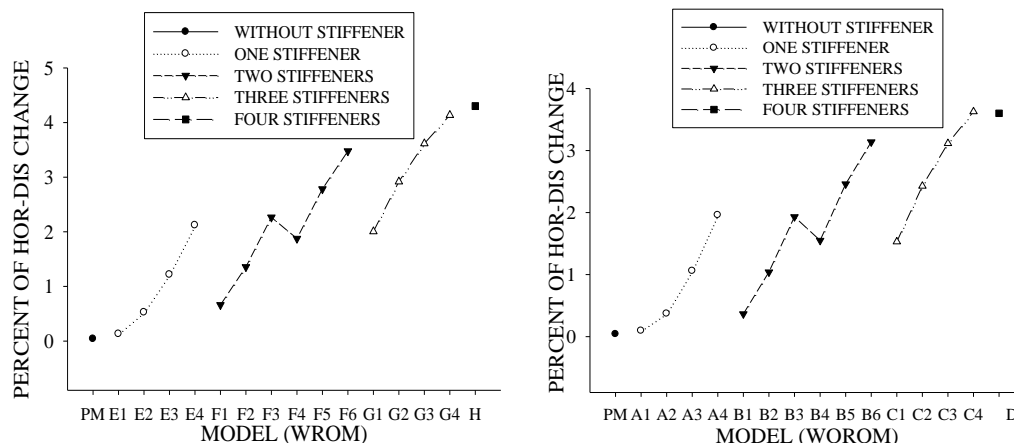
۴-۱- تحلیل لرزه‌ای برج آبیگر دارای پره‌های افقی

در این بخش نتایج آنالیز لرزه‌ای برج آبیگر با الحاق سخت‌کننده‌های افقی به تعداد مختلف، در ترازهای ارتفاعی متفاوت، بدون کاهش وزن سخت‌کننده‌ها از وزن مدل اصلی و با کاهش وزن آن‌ها ارائه شده است. در جدول ۱۱ ماکزیمم تغییر مکان‌های افقی و قائم ارائه شده است. روند تغییرات ماکزیمم تغییر مکان‌های افقی و قائم نیز به ترتیب در اشکال ۵ و ۶ ارائه شده است. با توجه به جدول ۱۱ و شکل

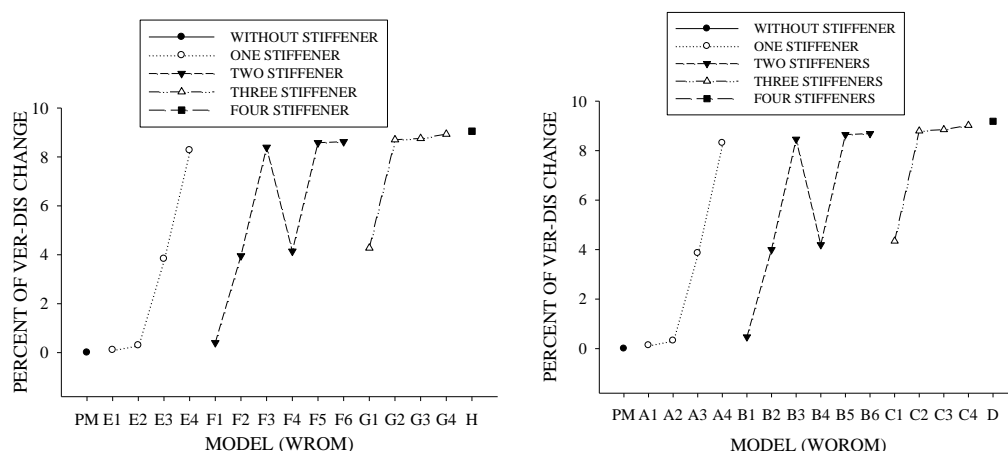
۵ مشخص می شود که با الحاق سخت کننده های افقی مقادیر ماکزیمم تغییر مکان های افقی افزایش پیدا می کند که این افزایش برای هر دو حالت با کسر وزن سخت کننده ها و بدون کسر وزن آن ها در برج آبنگیر با چهار سخت کننده دارای بیشترین مقدار می باشد. همچنین دیده می شود که مقادیر تغییر مکان افقی با کاهش وزن سخت کننده نسبت به حالتی که این کاهش صورت نگرفته است، بیش تر می باشد. می توان گفت که مقادیر تغییر مکان در حالت الحاق سخت کننده های افقی تقریباً تابع تراز آخرین سخت کننده الحاق شده می باشد. در ادامه با توجه به جدول ۱۱ و نیز شکل ۶ مشخص می گردد که با اعمال سخت کننده های افقی مقادیر ماکزیمم تغییر مکان قائم افزایش پیدا می کند که این افزایش برای حالت برج آبنگیر بدون کاهش وزن سخت کننده بیش تر از حالت برج آبنگیر با کاهش وزن سخت کننده می باشد. همچنین این افزایش برای حالت چهار پره از همه بیش تر می باشد که نشان گر تأثیر وزن سخت کننده های افزوده شده بر پاسخ لرزه ای برج آبنگیر است. به نظر می رسد که ماکزیمم تغییر مکان قائم برج آبنگیر با اعمال سخت کننده های افقی و برای هر دو حالت با کسر وزن سخت کننده و بدون کسر وزن آن، تابع تراز آخرین سخت کننده الحاقی می باشد و به عبارت دیگر هر چند تعداد پره ها در افزایش ماکزیمم تغییر مکان ها دخیل است، لیکن مهم ترین پارامتر کنترل کننده، تراز ارتفاعی پره های الحاقی می باشد.

جدول ۱۱. ماکزیمم تغییر مکان افقی و قائم برج آبنگیر با الحاق پره های افقی

عنوان مدل	ماکزیمم تغییر مکان تاج برج (m)		عنوان مدل	ماکزیمم تغییر مکان تاج برج (m)		
	افقی	قائم		افقی	قائم	
مدل اصلی	۰/۰۴۰۰۵	۰/۰۰۷۴۳۶				
بدون کسر وزن سخت کننده ها	A1	۰/۰۴۰۰۴۳	۰/۰۰۷۴۴۶	E1	۰/۰۴۰۰۵۷	۰/۰۰۷۴۴۴
	A2	۰/۰۴۰۱۵۳	۰/۰۰۷۴۶	E2	۰/۰۴۰۲۱۵	۰/۰۰۷۴۵۸
	A3	۰/۰۴۰۴۲۹	۰/۰۰۷۷۲۳	E3	۰/۰۴۰۴۹۲	۰/۰۰۷۷۲۱
	A4	۰/۰۴۰۷۸۸	۰/۰۰۸۰۵۴	E4	۰/۰۴۰۸۵۳	۰/۰۰۸۰۵۱
	B1	۰/۰۴۰۱۵۱	۰/۰۰۷۴۷۱	F1	۰/۰۴۰۲۷	۰/۰۰۷۴۶۶
	B2	۰/۰۴۰۴۲۱	۰/۰۰۷۷۳۴	F2	۰/۰۴۰۵۴۸	۰/۰۰۷۷۳
	B3	۰/۰۴۰۷۷۹	۰/۰۰۸۰۶۵	F3	۰/۰۴۰۹۱۱	۰/۰۰۸۰۶
	B4	۰/۰۴۰۶۲۵	۰/۰۰۷۷۴۸	F4	۰/۰۴۰۷۵۵	۰/۰۰۷۷۴۴
	B5	۰/۰۴۰۹۸۹	۰/۰۰۸۰۷۹	F5	۰/۰۴۱۱۱۸	۰/۰۰۸۰۷۴
	B6	۰/۰۴۱۲۶	۰/۰۰۸۰۸۲	F6	۰/۰۴۱۳۹۶	۰/۰۰۸۰۷۷
	C1	۰/۰۴۰۶۱۷	۰/۰۰۷۷۵۹	G1	۰/۰۴۰۸۰۷	۰/۰۰۷۷۵۳۸
	C2	۰/۰۴۰۹۷۶	۰/۰۰۸۰۹	G2	۰/۰۴۱۱۷۲	۰/۰۰۸۰۸۳
	C3	۰/۰۴۱۲۵۱	۰/۰۰۸۰۹۴	G3	۰/۰۴۱۴۵۱	۰/۰۰۸۰۸۷
	C4	۰/۰۴۱۴۵۶	۰/۰۰۸۱۰۷	G4	۰/۰۴۱۶۵۹	۰/۰۰۸۱
	D	۰/۰۴۱۴۴۷	۰/۰۰۸۱۱۹	H	۰/۰۴۱۷۲۶	۰/۰۰۸۱۰۹



شکل ۵. درصد تغییر مکان افقی با در نظر گرفتن سخت کننده های افقی، بدون کسر وزن سخت کننده و با کسر وزن آن ها



شکل ۶. درصد تغییر مکان قائم با در نظر گرفتن سخت کننده های افقی، بدون کسر وزن سخت کننده و با کسر وزن آن ها

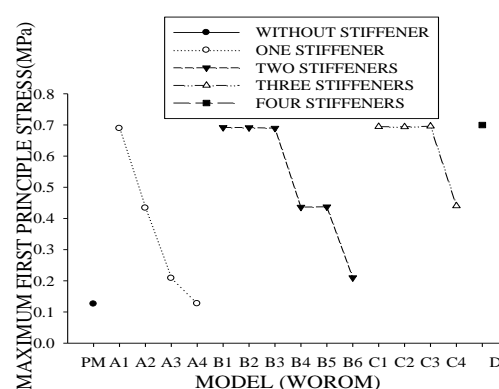
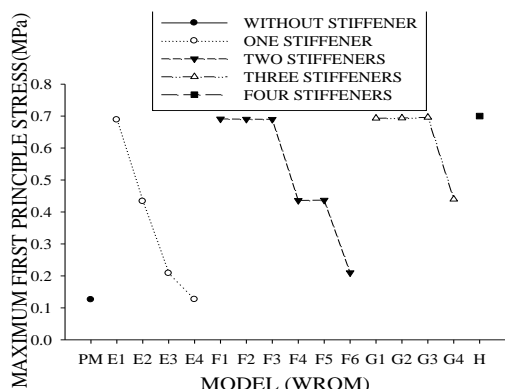
در جدول ۱۲ ماکزیمم تنش های اصلی و تنش های برشی ارائه شده است. روند تغییرات ماکزیمم تنش های اصلی و برشی نیز به ترتیب در اشکال ۷ و ۸ ارائه شده است. با توجه به جدول ۱۲ مشخص می شود که با در نظر گرفتن سخت کننده های افقی مقادیر تنش اصلی اول، تنش اصلی سوم و تنش برشی افزایش می یابد که در این میان مقادیر افزایش تنش اصلی سوم ناچیز می باشد. همچنین نرخ افزایش تنش ها برای حالات بدون کاهش وزن سخت کننده ها نسبت به حالاتی که وزن سخت کننده ها از وزن مدل اصلی کم شده است بیش تر می باشد. با توجه به جدول ۱۲ و شکل ۷ مشخص می شود که با الحاق پره های افقی چه در حالت کاهش وزن سخت کننده ها و چه در حالت بدون کاهش وزن آن ها، تنش اصلی اول در حالاتی که سخت کننده ها تعدادشان کم تر بوده و نیز در ترازهای پایین قرار دارند مقادیر بیش تری دارد و بالعکس. به عبارت بهتر می توان گفت در حالت استفاده از پره های افقی، ماکزیمم مقدار تنش را پره ای که در پایین ترین تراز قرار دارد کنترل می کند و تفاوت بین تنش ها در حالات یک پره، دو پره، سه پره و چهار پره ناچیز است و هر چقدر تراز پره ها بالاتر می رود، مقادیر تنش اصلی اول به مقادیر مشابه در حالت بدون پره نزدیک تر می گردد. همچنین با توجه به پوش تنش اصلی اول که در شکل ۹ نشان داده شده مشخص می گردد که با الحاق پره های افقی مقادیر ماکزیمم تنش اصلی اول در سخت کننده های افقی با پایین ترین تراز ایجاد می گردد و مقادیر تنش ها در بدنه برج آنگیر تغییر چندانی نمی کند. با توجه به جدول ۱۲ و شکل ۸ مشخص می شود که در کلیه مدل ها و به غیر از مدل های A1, E1 که مقدار فرکانس اول آن ها از فرکانس مدل اصلی بیش تر می باشد، هر چقدر تعداد پره های افقی بیش تر باشد و تراز قرارگیری آن ها نیز بالاتر باشد، مقادیر تنش برشی ماکزیمم بیش تر شده و این افزایش با تراز ارتفاعی بالاترین پره رابطه مستقیم دارد.

جدول ۱۲. مقادیر ماکزیمم تنش ها در برج آبیگر با پره های افقی

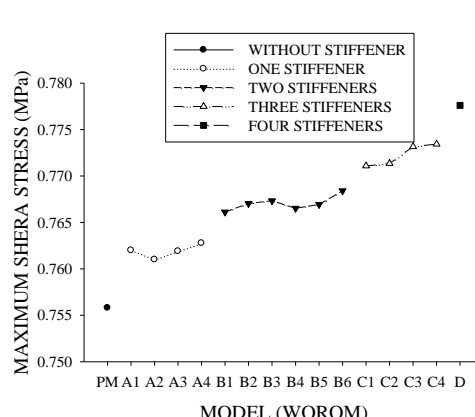
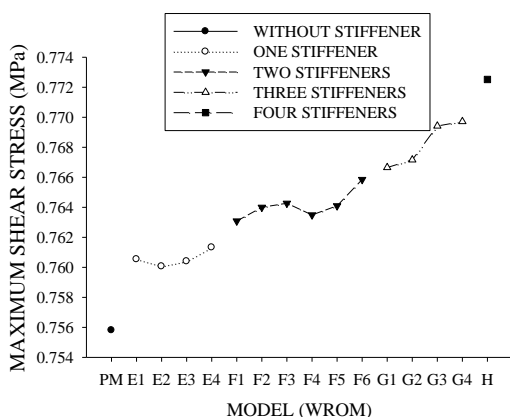
عنوان مدل	ماکزیمم تنش های برج آبیگر (مگاپاسکال)			عنوان مدل	ماکزیمم تنش های برج آبیگر (مگاپاسکال)		
	تنش اصلی اول	تنش اصلی سوم	تنش برشی		تنش اصلی اول	تنش اصلی سوم	تنش برشی
مدل اصلی	۰/۱۲۵۵۷۰	۷/۱۸	۰/۷۵۵۸				
A1	۰/۶۸۸۷۸۱	۷/۲۲	۰/۷۶۲	E1	۰/۶۸۸۳۳۶	۷/۲۲	۰/۷۶۰۵۳۴
A2	۰/۴۳۳۳۶۲	۷/۲۲	۰/۷۶۱	E2	۰/۴۳۳۱۷۷	۷/۲۲	۰/۷۶۰۰۶۰
A3	۰/۲۰۸۱۹۲	۷/۲۲	۰/۷۶۱۹	E3	۰/۲۰۸۰۶۴	۷/۲۲	۰/۷۶۰۳۹۶
A4	۰/۱۲۶۶۵۸	۷/۲۲	۰/۷۶۲۷۷	E4	۰/۱۲۶۳۲۶	۷/۲۲	۰/۷۶۱۳۲۵
B1	۰/۶۹۱۹۰۸	۷/۲۶	۰/۷۶۶۱۱۹	F1	۰/۶۹۱۰۳۴	۷/۲۵	۰/۷۶۳۰۸۴
B2	۰/۶۹۱۳۰۵	۷/۲۶	۰/۷۶۷۰۳۷	F2	۰/۶۹۰۴۰۷	۷/۲۵	۰/۷۶۳۹۹۵
B3	۰/۶۸۹۷۲۹	۷/۲۵	۰/۷۶۷۳۳۱	F3	۰/۶۸۹۷۸۹	۷/۲۵	۰/۷۶۴۴۶۸
B4	۰/۴۳۶۳۱۵	۷/۲۶	۰/۷۶۶۵۲۱	F4	۰/۴۳۶۰۰۵	۷/۲۶	۰/۷۶۳۴۸۹
B5	۰/۴۳۷۲۱۷	۷/۲۶	۰/۷۶۶۹۲۹	F5	۰/۴۳۶۹۰۶	۷/۲۵	۰/۷۶۴۰۹۲
B6	۰/۲۱۰۰۵۹	۷/۲۶	۰/۷۶۸۴۰۳	F6	۰/۲۰۹۸۰۴	۷/۲۵	۰/۷۶۵۸۴۸
C1	۰/۶۹۴۴۴۸	۷/۲۹	۰/۷۷۱۰۸۱۸	G1	۰/۶۹۳۲۸۰	۷/۲۹	۰/۷۶۶۶۴۸
C2	۰/۶۹۳۶۸۰	۷/۲۹	۰/۷۷۱۳۵۱	G2	۰/۶۹۳۸۱۹	۷/۲۸	۰/۷۶۷۱۵۶
C3	۰/۶۹۵۸۲۰	۷/۲۹	۰/۷۷۳۱۵۵	G3	۰/۶۹۵۹۹۴	۷/۲۸	۰/۷۶۹۴۱۲
C4	۰/۴۴۰۲۷۴	۷/۲۹	۰/۷۷۳۴۲۸	G4	۰/۴۳۹۸۴۴	۷/۲۹	۰/۷۶۹۷۱۳
D	۰/۶۹۹۷۷۸	۷/۳۳	۰/۷۷۷۶۰۵	H	۰/۷۰۰۰۸۳	۷/۳۲	۰/۷۷۲۵۱۶

بدون کسر وزن سخت کننده ها

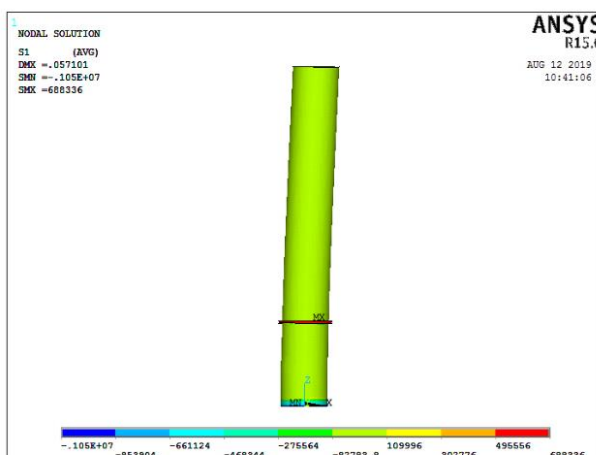
با کسر وزن سخت کننده ها



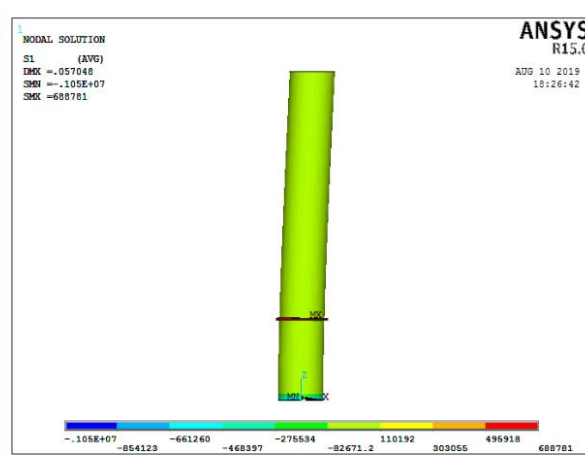
شکل ۷. مقادیر ماکزیمم تنش اصلی اول با در نظر گرفتن سخت کننده افقی ۱. بدون کسر وزن سخت کننده ۲. با کسر وزن سخت کننده



شکل ۸. مقادیر ماکزیمم تنش برشی با در نظر گرفتن سخت کننده افقی ۱. بدون کسر وزن سخت کننده ۲. با کسر وزن سخت کننده

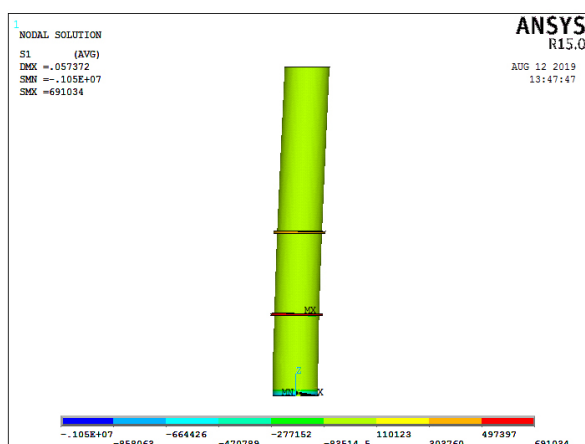


(ب)

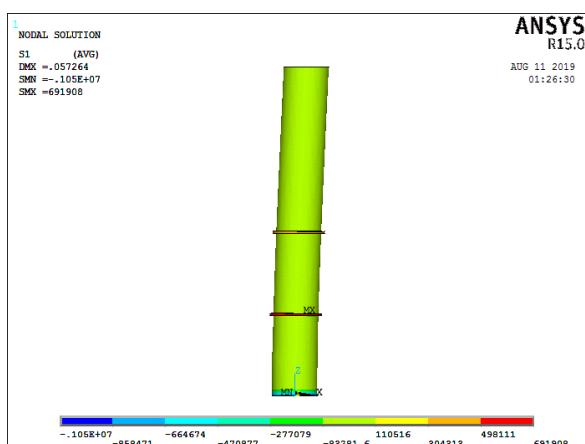


(الف)

شکل ۹. الف. برج آبگیر با یک پره در تراز ۲۵ متری

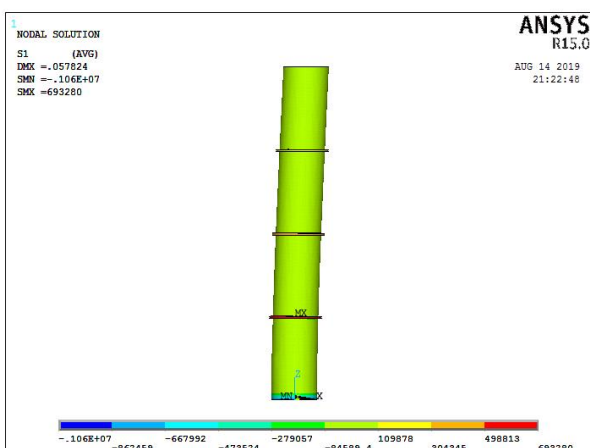


(ب)

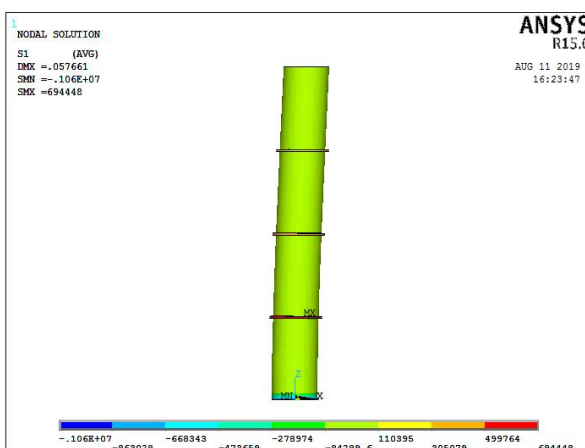


(الف)

شکل ۹. ب. برج آبگیر با دو پره در تراز ۲۵ و ۵۰ متری

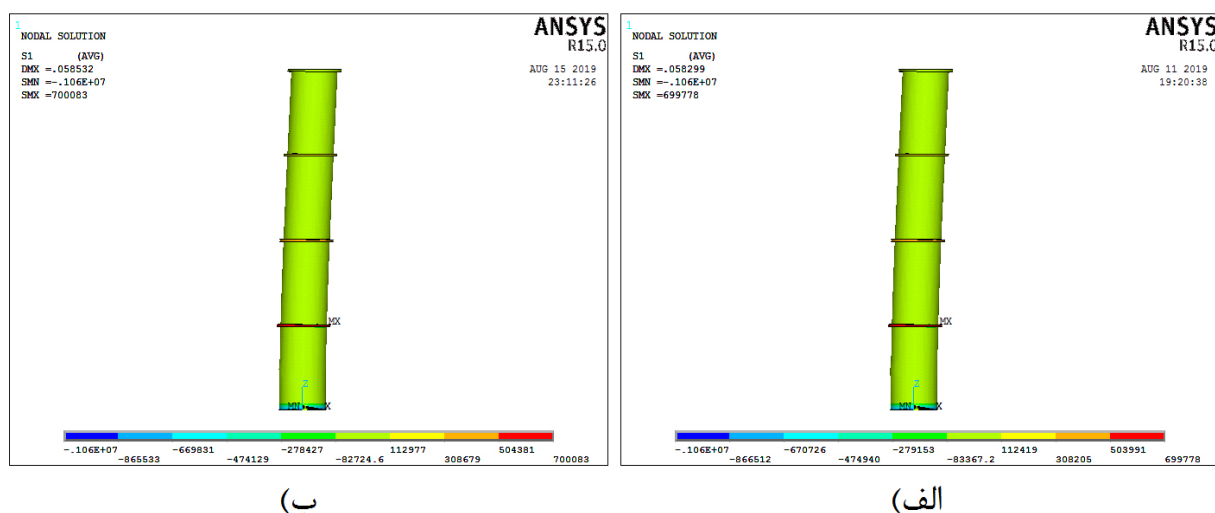


(ب)



(الف)

شکل ۹. ج. برج آبگیر با سه پره در تراز ارتفاعی ۲۵، ۵۰ و ۷۵ متری

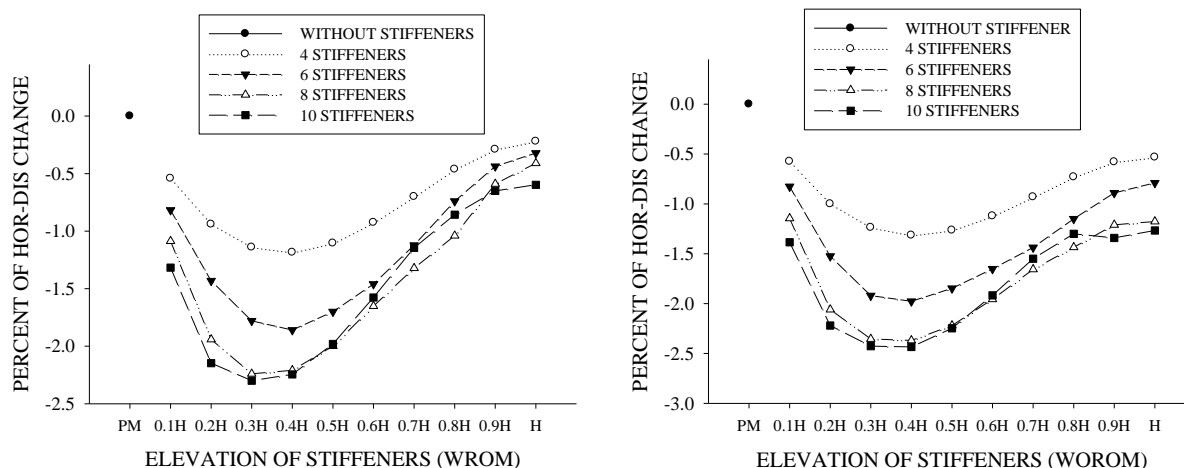


شکل ۹. د. برج آبگیر با چهار پره در تراز ارتفاعی ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ متری

شکل ۹. نمونه‌هایی از پوش تنش اصلی اول برج با سخت‌کننده‌های افقی الف) با کسر وزن سخت‌کننده ب) بدون کسر وزن سخت‌کننده

۲-۴- پره‌های قائم

نتایج آنالیز لرزه‌ای برج آبگیر با سخت‌کننده‌های قائم با تعداد مختلف و تا ترازهای مختلف تحت بارگذاری لرزه‌ای ناشی از زلزله‌ی طیس در این بخش مورد بررسی و آنالیز قرار گرفته است. با توجه به جدول ۱۳ و شکل ۱۰ مشخص می‌شود که با اعمال سخت‌کننده‌های قائم ماکزیمم تغییرمکان‌های افقی کاهش یافته است که با افزایش تعداد سخت‌کننده‌ها نرخ کاهش بیش‌تر می‌شود. همچنین نرخ کاهش تغییرمکان برای حالت بدون کسر وزن سخت‌کننده نسبت به حالت با کسر وزن بیش‌تر می‌باشد. به عنوان مثال این کاهش برای مدل دارای ۱۰ سخت‌کننده در حالات بدون کسر وزن و با کسر وزن به ترتیب به میزان تقریبی ۲/۴۳۵ و ۲/۳۰۰ درصد کاهش یافته است. این کاهش برای برج آبگیر با تعداد پره‌های ۴، ۶ و ۸ تا تراز ارتفاعی ۰.۴H و برای مدل ۱۰ پره تا تراز ۰.۳H روند نزولی خود را حفظ کرده است، همچنین با افزایش تعداد سخت‌کننده‌ها، ترازهایی که در آن کم‌ترین میزان تغییرمکان برای تعداد مختلف سخت‌کننده‌ها رخ می‌دهد به یکدیگر نزدیک می‌گردد که نشان از تاثیر تعداد سخت‌کننده‌ها دارد. بعد از آن ترازها هر چند نرخ تغییرمکان کم‌تر از مدل اصلی است، ولی این نرخ روند صعودی به خود گرفته است. با توجه به شکل ۱۰ مشخص می‌گردد که با افزایش تعداد پره‌ها، کم‌ترین مقدار نمودار تغییر مکان-تراز به ترازهای پایین‌تر متمایل می‌گردد.



شکل ۱۰. درصد تغییر مکان افقی با در نظر گرفتن سخت کننده های قائم در حالات بدون کسر وزن سخت کننده و با کسر وزن آن ها

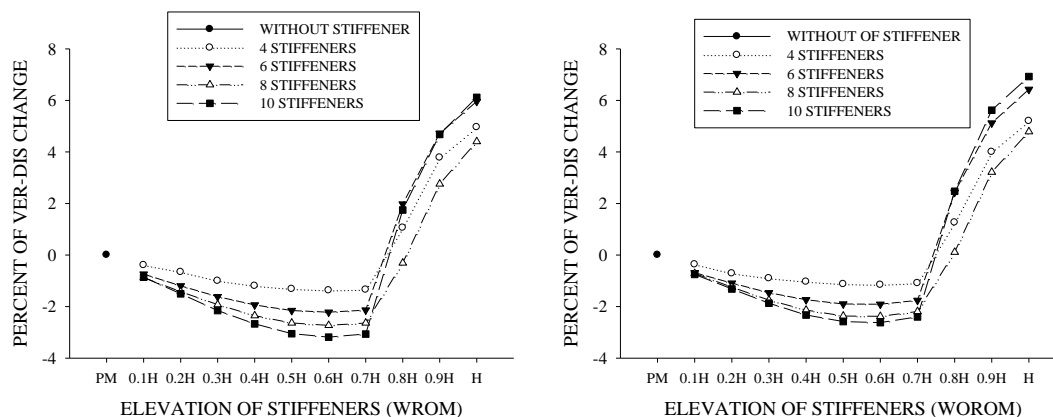
جدول ۱۳. مقادیر ماکزیمم تغییر مکان افقی با در نظر گرفتن برج آبیگر با پره های قائم در حالات کسر وزن پره و بدون کسر آن

No. of Stiffeners	STIFFENERS ELEVATION	STIFFENERS ELEVATION										No Stiffener
		0.1H	0.2H	0.3H	0.4H	0.5H	0.6H	0.7H	0.8H	0.9H	H	
4	WOROM	۰/۰۳۹۷۸	۰/۰۳۹۶۱	۰/۰۳۹۵۱	۰/۰۳۹۴۸	۰/۰۳۹۵۰	۰/۰۳۹۵۶	۰/۰۳۹۶۳	۰/۰۳۹۷۱	۰/۰۳۹۷۷	۰/۰۳۹۷۹	۰/۰۴۰۰۵
	WROM	۰/۰۳۹۷۹	۰/۰۳۹۶۳	۰/۰۳۹۵۵	۰/۰۳۹۵۳	۰/۰۳۹۵۶	۰/۰۳۹۶۴	۰/۰۳۹۷۳	۰/۰۳۹۸	۰/۰۳۹۸۹	۰/۰۳۹۹۲	
6	WOROM	۰/۰۳۹۶۶	۰/۰۳۹۴۰	۰/۰۳۹۲۴	۰/۰۳۹۲۱	۰/۰۳۹۲۷	۰/۰۳۹۳۴	۰/۰۳۹۴۳	۰/۰۳۹۵۵	۰/۰۳۹۶۵	۰/۰۳۹۶۹	
	WROM	۰/۰۳۹۶۸	۰/۰۳۹۴۳	۰/۰۳۹۲۹	۰/۰۳۹۲۶	۰/۰۳۹۳۳	۰/۰۳۹۴۲	۰/۰۳۹۵۶	۰/۰۳۹۷۱	۰/۰۳۹۸۳	۰/۰۳۹۸۸	
8	WOROM	۰/۰۳۹۵۵	۰/۰۳۹۱۸	۰/۰۳۹۰۶	۰/۰۳۹۰۶	۰/۰۳۹۱۲	۰/۰۳۹۲۲	۰/۰۳۹۳۴	۰/۰۳۹۴۳	۰/۰۳۹۵۲	۰/۰۳۹۵۳	
	WROM	۰/۰۳۹۵۷	۰/۰۳۹۲۳	۰/۰۳۹۱۱	۰/۰۳۹۱۲	۰/۰۳۹۲۰	۰/۰۳۹۳۴	۰/۰۳۹۴۸	۰/۰۳۹۵۹	۰/۰۳۹۷۷	۰/۰۳۹۸۴	
10	WOROM	۰/۰۳۹۴۵	۰/۰۳۹۱۲	۰/۰۳۹۰۳	۰/۰۳۹۰۳	۰/۰۳۹۱۱	۰/۰۳۹۲۴	۰/۰۳۹۳۸	۰/۰۳۹۴۹	۰/۰۳۹۶۷	۰/۰۳۹۵۰	
	WROM	۰/۰۳۹۴۸	۰/۰۳۹۱۵	۰/۰۳۹۰۸	۰/۰۳۹۱۰۷	۰/۰۳۹۲۱	۰/۰۳۹۳۷	۰/۰۳۹۵۵	۰/۰۳۹۶۶	۰/۰۳۹۷۵	۰/۰۳۹۷۷	

باتوجه به جدول ۱۴ و شکل ۱۱ مشخص می شود که با الحاق پره های قائم به برج آبیگر، مقادیر ماکزیمم تغییر مکان قائم تاج نیز کاهش می یابد که در این حالت بیشینه مقدار کاهش متعلق به مدل با کسر وزن سخت کننده می باشد. بیشینه کاهش تغییر مکان قائم برای مدل بدون کسر وزن سخت کننده و با کسر آن در تراز ارتفاعی 0.6H اتفاق می افتد و مقادیر آن به ترتیب برابر با ۲/۶۲۲ و ۳/۱۸۷ درصد می باشد. افزایش تراز سخت کننده به بیش از 0.6H سبب افزایش مقدار تغییر مکان قائم نسبت به مدل اصلی می شود که این افزایش در بیشترین مقدار خود به ترتیب برای مدل بدون کسر وزن و با کسر وزن برابر با ۶/۹۳ و ۶/۲ درصد می باشد.

جدول ۱۴. مقادیر ماکزیمم تغییر مکان قائم با در نظر گرفتن برج آبیگر با پره های قائم در حالات کسر وزن پره و بدون کسر آن

No. of Stiffeners	STIFFENERS ELEVATION	STIFFENERS ELEVATION										No Stiffener
		0.1H	0.2H	0.3H	0.4H	0.5H	0.6H	0.7H	0.8H	0.9H	H	
4	WOROM	۰/۰۰۷۴۰۹	۰/۰۰۷۳۸۳	۰/۰۰۷۳۶۹	۰/۰۰۷۳۵۹	۰/۰۰۷۳۵۲	۰/۰۰۷۳۵	۰/۰۰۷۳۵۵	۰/۰۰۷۳۵۳	۰/۰۰۷۳۳۳	۰/۰۰۷۸۲۳	۰/۰۰۷۴۳۶
	WROM	۰/۰۰۷۴۰۷	۰/۰۰۷۳۷۸	۰/۰۰۷۳۶۱	۰/۰۰۷۳۴۷	۰/۰۰۷۳۳۸	۰/۰۰۷۳۳۴	۰/۰۰۷۳۳۶	۰/۰۰۷۳۱۵	۰/۰۰۷۳۱۷	۰/۰۰۷۸۰۵	
6	WOROM	۰/۰۰۷۳۸۵	۰/۰۰۷۳۵۵	۰/۰۰۷۳۲۷	۰/۰۰۷۳۰۷	۰/۰۰۷۲۹۵	۰/۰۰۷۲۹۴	۰/۰۰۷۳۰۵	۰/۰۰۷۳۱۷	۰/۰۰۷۳۱۷	۰/۰۰۷۹۱۴	
	WROM	۰/۰۰۷۳۸۱	۰/۰۰۷۳۴۷	۰/۰۰۷۳۱۶	۰/۰۰۷۲۹۲	۰/۰۰۷۲۷۶	۰/۰۰۷۲۷۱	۰/۰۰۷۲۷۷	۰/۰۰۷۲۵۳	۰/۰۰۷۲۸۷	۰/۰۰۷۸۷۹	
8	WOROM	۰/۰۰۷۳۸۳	۰/۰۰۷۳۴۳	۰/۰۰۷۳۰۶	۰/۰۰۷۲۷۷	۰/۰۰۷۲۶	۰/۰۰۷۲۵۹	۰/۰۰۷۲۷۳	۰/۰۰۷۲۴۴	۰/۰۰۷۲۷۵	۰/۰۰۷۷۹۲	
	WROM	۰/۰۰۷۳۷۱	۰/۰۰۷۳۳	۰/۰۰۷۲۹۳	۰/۰۰۷۲۶۱	۰/۰۰۷۲۴	۰/۰۰۷۲۳۳	۰/۰۰۷۲۴	۰/۰۰۷۲۱۳	۰/۰۰۷۲۴۱	۰/۰۰۷۶۷۳	
10	WOROM	۰/۰۰۷۳۸	۰/۰۰۷۳۳۸	۰/۰۰۷۲۹۷	۰/۰۰۷۲۶۳	۰/۰۰۷۲۴۴	۰/۰۰۷۲۴۱	۰/۰۰۷۲۵۸	۰/۰۰۷۲۶۲	۰/۰۰۷۲۵۴	۰/۰۰۷۹۵۱	
	WROM	۰/۰۰۷۳۷۲	۰/۰۰۷۳۲۴	۰/۰۰۷۲۷۶	۰/۰۰۷۲۳۶	۰/۰۰۷۲۰۹	۰/۰۰۷۱۹۹	۰/۰۰۷۲۰۸	۰/۰۰۷۲۶۶	۰/۰۰۷۲۸۴	۰/۰۰۷۸۹۱	



شکل ۱۱. درصد تغییر مکان قائم با در نظر گرفتن سخت کننده های قائم در حالات بدون کسر وزن سخت کننده و با کسر وزن آن ها

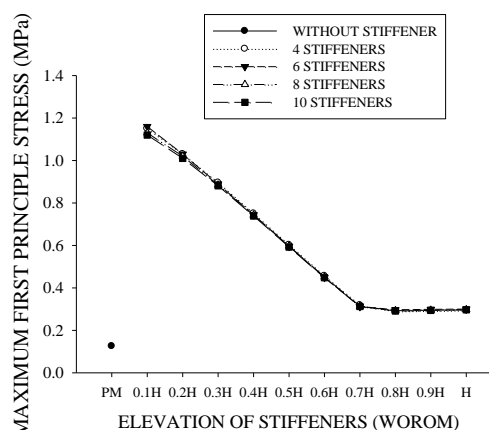
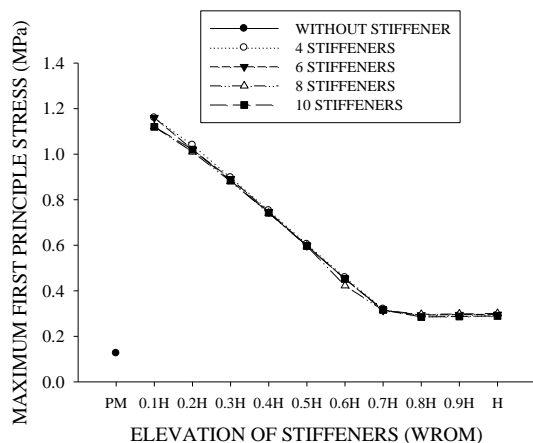
با توجه به اشکال ۱۲ و ۱۳ و جداول ۱۵ و ۱۶ مشخص می شود که با قرار دادن سخت کننده قائم چه در حالتی که وزن سخت کننده ها کسر شده است و چه در حالت بدون کسر وزن آن ها مقادیر تنش اصلی اول و تنش برشی نسبت به حالت بدون پره افزایش می یابد. این افزایش با تغییر تراز سخت کننده از تراز پایه تا 0.7 H روند نزولی دارد و پس از این تراز تقریباً مقدار ثابت به خود می گیرد. همچنین با توجه به شکل ۱۴ مشخص می شود که با الحاق سخت کننده قائم مقادیر ماکزیم تنش اصلی اول چه در حالت با کسر وزن و چه بدون آن نسبت به مدل اصلی افزایش یافته است. این افزایش تنش در محل سخت کننده ها رخ داده و هرچقدر تراز پره های مزبور افزایش می یابد مقدار تنش اصلی اول کم تر می شود به طوری که مقدار تنش اصلی در بدنه برج آبیگر با تعداد ۴، ۶، ۸، ۱۰ پره و بدون کاهش وزن سخت کننده به ترتیب به میزان ۱/۶۵، ۴/۵۹، ۵/۷۶ و ۶/۰۳ درصد کمتر از تنش اصلی در برج آبیگر بدون سخت کننده می باشد.

جدول ۱۵. مقادیر ماکزیم تنش اصلی اول با در نظر گرفتن برج آبیگر با پره های قائم در حالات کسر وزن پره و بدون کسر آن

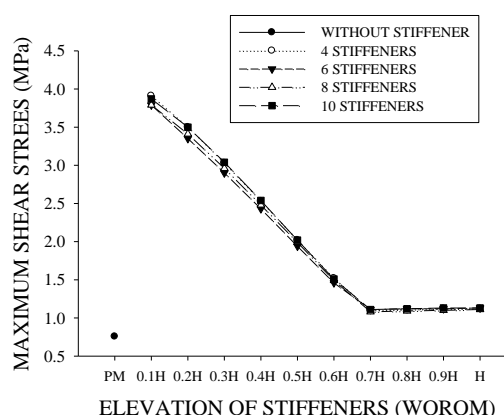
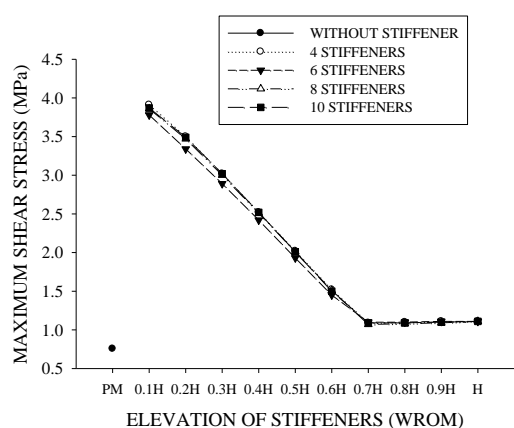
No. of Stiffeners		STIFFENERS ELEVATION									No Stiffener	
		0.1H	0.2H	0.3H	0.4H	0.5H	0.6H	0.7H	0.8H	0.9H		H
4	WOROM	۱/۱۵	۱/۰۳	-۰/۸۹۵۵۰	-۰/۷۵۰۱۱	-۰/۶۰۲۲۷	-۰/۴۵۶۳۷	-۰/۳۱۸۰۸	-۰/۲۸۹۷۷	-۰/۲۹۱۷۸	-۰/۲۹۳۹۰	-۰/۱۲۵۵۷۰
	WROM	۱/۱۶	۱/۰۴	-۰/۸۹۷۱۵	-۰/۷۵۲۰۸	-۰/۶۰۴۳۲	-۰/۴۵۸۲۹	-۰/۳۱۹۷۶	-۰/۲۸۷۸۹	-۰/۲۸۹۷۲	-۰/۲۹۱۶۴	
6	WOROM	۱/۱۶	۱/۰۳	-۰/۸۸۹۳۹	-۰/۷۴۴۱۰	-۰/۵۹۵۴۹	-۰/۴۴۹۱۲	-۰/۳۱۱۸۴	-۰/۲۹۶۹۰	-۰/۲۹۸۶۲	-۰/۳۰۰۳۶	
	WROM	۱/۱۶	۱/۰۳	-۰/۸۹۱۵۴	-۰/۷۴۶۷۶	-۰/۵۹۸۳۳	-۰/۴۵۱۹۹	-۰/۳۱۴۰۵	-۰/۲۹۳۴۳	-۰/۲۹۴۸۵	-۰/۲۹۶۳۱	
8	WOROM	۱/۱۳	۱/۰۲	-۰/۸۸۴۱۱	-۰/۷۴۲۶۷	-۰/۵۹۶۸۴	-۰/۴۵۱۷۵	-۰/۳۱۳۴۳	-۰/۲۹۳۱۹	-۰/۲۹۴۷۵	-۰/۲۹۶۸۶	
	WROM	۱/۱۲	۱/۰۱	-۰/۸۸۰۲۳	-۰/۷۴۰۷۲	-۰/۵۹۶۳۷	-۰/۴۲۲۳۳	-۰/۳۱۴۳۵	-۰/۲۹۶۰۶	-۰/۲۹۸۲۵	-۰/۳۰۰۱۹	
10	WOROM	۱/۱۲	۱/۰۱	-۰/۸۸۰۵۸	-۰/۷۳۸۵۴	-۰/۵۹۲۱۸	-۰/۴۴۸۰۲	-۰/۳۱۲۳۹	-۰/۲۹۰۹۰	-۰/۲۹۳۹۵	-۰/۲۹۶۸۱	
	WROM	۱/۱۲	۱/۰۲	-۰/۸۸۳۹۶	-۰/۷۴۲۷۶	-۰/۵۹۶۷۰	-۰/۴۵۲۰۴	-۰/۳۱۵۶۲	-۰/۲۸۴۷۳	-۰/۲۸۷۱۴	-۰/۲۸۹۵۰	

جدول ۱۶. مقادیر ماکزیم تنش برشی با در نظر گرفتن برج آبیگر با پره های قائم در حالات کسر وزن پره و بدون کسر آن

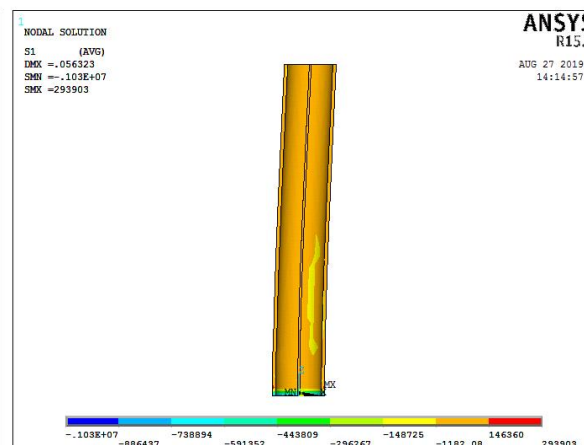
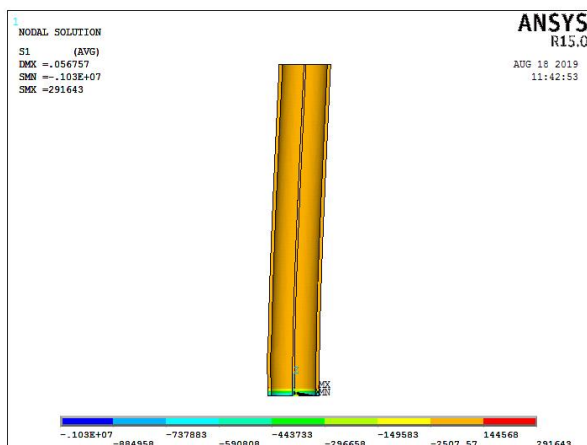
No. of Stiffeners		STIFFENERS ELEVATION									No Stiffener	
		0.1H	0.2H	0.3H	0.4H	0.5H	0.6H	0.7H	0.8H	0.9H		H
4	WOROM	۳/۹۱	۳/۵۰	۳/۰۳	۲/۵۳	۲/۰۲	۱/۵۲	۱/۱	۱/۱۱	۱/۱۲	۱/۱۲	-۰/۷۵۵۸
	WROM	۳/۹۱	۳/۵۰	۳/۰۲	۲/۵۲	۲/۰۲	۱/۵۲	۱/۰۹	۱/۱	۱/۱۱	۱/۱۱	
6	WOROM	۳/۷۹	۳/۳۵	۲/۹۰	۲/۴۳	۱/۹۴	۱/۴۶	۱/۱۱	۱/۱۲	۱/۱۲	۱/۱۳	
	WROM	۳/۷۸	۳/۳۴	۲/۸۹	۲/۴۲	۱/۹۳	۱/۴۵	۱/۱	۱/۱	۱/۱۱	۱/۱۱	
8	WOROM	۳/۷۹	۳/۴۱	۲/۹۶	۲/۴۸	۱/۹۹	۱/۴۹	۱/۰۸	۱/۰۹	۱/۱	۱/۱۱	
	WROM	۳/۸۶	۳/۴۷	۳	۲/۵۱	۲/۰۱	۱/۵۱	۱/۰۷	۱/۰۸	۱/۰۹	۱/۱۱	
10	WOROM	۳/۸۷	۳/۵۰	۳/۰۴	۲/۵۴	۲/۰۲	۱/۵۱	۱/۱۱	۱/۱۲	۱/۱۳	۱/۱۳	
	WROM	۳/۸۷	۳/۴۹	۳/۰۲	۲/۵۲	۲/۰۱	۱/۵۰	۱/۰۹	۱/۰۹	۱/۱	۱/۱۱	



شکل ۱۲. مقادیر ماکزیم تنش اصلی اول با در نظر گرفتن سخت کننده قائم. ۱. بدون کسر وزن سخت کننده. ۲. با کسر وزن سخت کننده

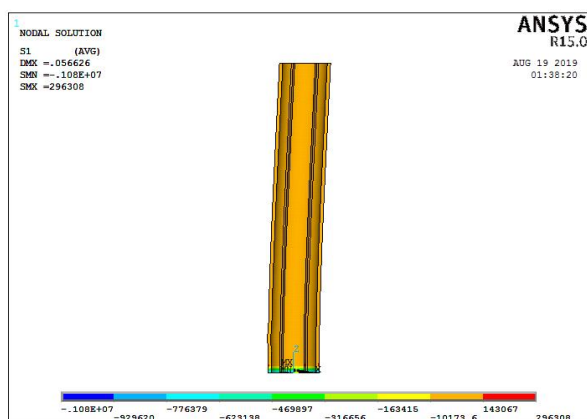


شکل ۱۳. مقادیر ماکزیم تنش برشی با در نظر گرفتن سخت کننده قائم. ۱. بدون کسر وزن سخت کننده. ۲. با کسر وزن سخت کننده

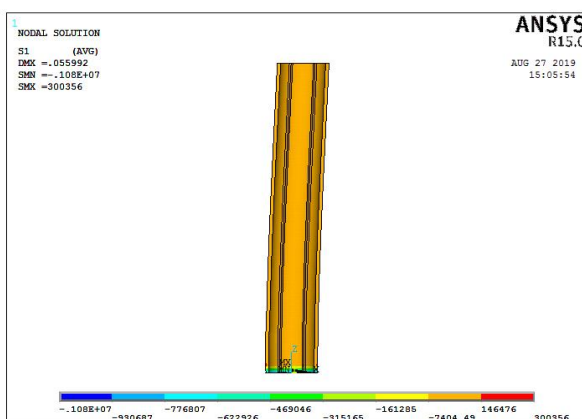


شکل ۱۴ الف. برج آبیگر با چهار سخت کننده قائم تا تراز ۱۰۰ متری (ب)

شکل ۱۴ الف. برج آبیگر با چهار سخت کننده قائم تا تراز ۱۰۰ متری (ف)

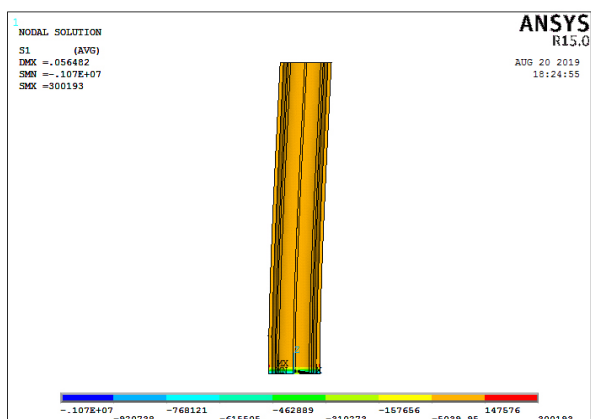


(ب)

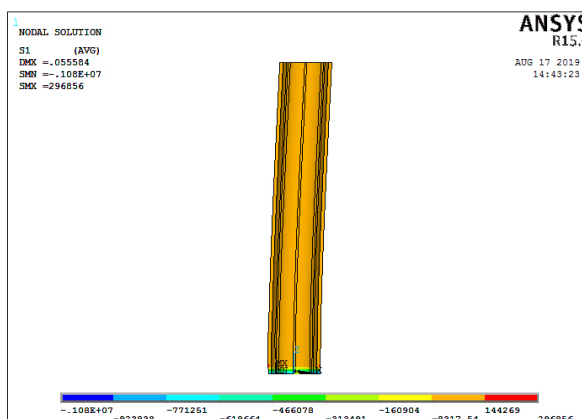


(الف)

شکل ۱۴. ب. برج آبگیر با شش سخت کننده قائم تا تراز ۱۰۰ متری

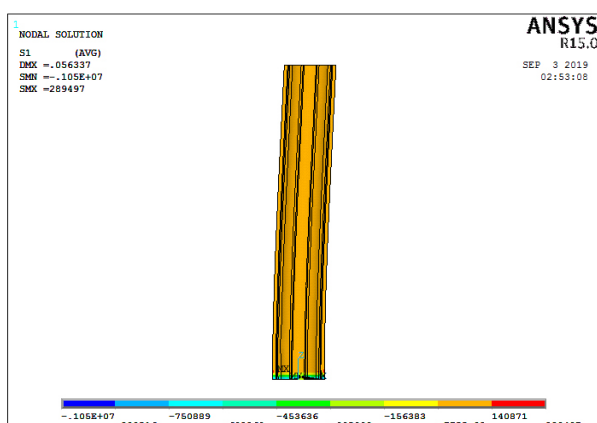


(ب)

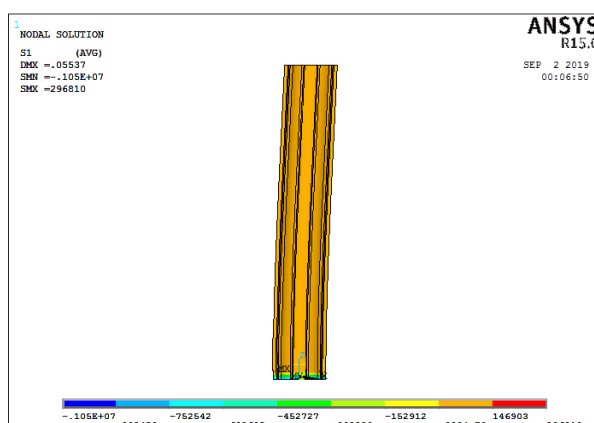


(الف)

شکل ۱۴. ج. برج آبگیر با هشت سخت کننده قائم تا تراز ۱۰۰ متری



(ب)



(الف)

شکل ۱۴. د. برج آبگیر با ده سخت کننده قائم تا تراز ۱۰۰ متری

شکل ۱۴. مقادیر پوش تنش اصلی اول با در نظر گرفتن سخت کننده قائم. (الف) بدون کسر وزن سخت کننده (ب) با کسر وزن سخت کننده

۵- نتایج

۱. نتایج حاکی از آن است که مقادیر فرکانس برج آبگیر با پره‌های افقی در حالات کسر وزن پره‌ها از وزن مدل اصلی نسبت به حالات بدون کسر وزن کم‌تر می‌باشد که این نشان از اثر بیش‌تر جرم‌های متمرکز اعمالی بر سازه در حالت کسر وزن مدل اصلی دارد از این رو چنانچه مجبور به استفاده از این پره‌ها باشیم ابتدا بهتر است که پره‌ها در قسمت‌های پایین‌تر سازه الحاق گردد و از طرف دیگر این اعمال پره‌ها بدون کاهش وزن مدل اصلی باشد.
۲. نتایج نشان داد که با اعمال پره‌های افقی مقادیر بیشینه‌ی تغییرمکان افقی و قائم افزایش پیدا می‌کند و این مقادیر بیشینه تابع تراز بالاترین سخت‌کننده می‌باشد؛ به عبارت بهتر هرچند تعداد سخت‌کننده‌ها در افزایش مقدار بیشینه تغییرمکان موثر می‌باشد اما پارامتر کنترل‌کننده بیشینه تغییرمکان، تراز ارتفاعی سخت‌کننده‌ها می‌باشد.
۳. با در نظر گرفتن پره‌های افقی مقادیر تنش اصلی اول، تنش اصلی سوم و تنش برشی افزایش یافته است و این افزایش برای حالات بدون کسر وزن سخت‌کننده‌ها از وزن مدل اصلی نسبت به حالات کسر وزن سخت‌کننده‌ها بیش‌تر می‌باشد. همچنین مقدار تنش را پره‌ای که در پایین‌ترین تراز قرار دارد کنترل می‌کند و هر چقدر تراز پره‌ها بالاتر رود مقادیر تنش به حالت بدون پره نزدیک می‌گردد.
۴. با اعمال سخت‌کننده‌های قائم چه در حالت کسر وزن آن‌ها از وزن مدل اصلی و چه بدون کسر وزن و در تمامی ترازهای اعمالی از تراز ۰ تا تراز H فرکانس اول سازه افزایش یافته که این افزایش برای حالات بدون کاهش وزن سخت‌کننده از وزن مدل اصلی، بیش‌تر بوده و این افزایش تا تراز 0.5 H روند صعودی گرفته و سپس حالت نزولی به خود می‌گیرد و همچنین با افزایش تعداد پره‌های قائم اختلاف میان فرکانس حالات کسر وزن پره از وزن مدل اصلی و بدون کسر وزن آن‌ها کاهش می‌یابد که نشان از تاثیر قابل ملاحظه سختی و تعداد سخت‌کننده‌ها دارد.
۵. با اعمال سخت‌کننده‌های قائم مقادیر ماکزیمم تغییرمکان افقی برای هر دو حالت مورد بررسی و در تمامی ترازهای اعمالی برای سخت‌کننده‌ها کاهش پیدا می‌کند که با افزایش تعداد سخت‌کننده‌ها مقادیر این کاهش افزایش می‌یابد و این افزایش برای حالات بدون کسر وزن سخت‌کننده بیش‌تر است. همچنین بیش‌ترین مقدار کاهش برای تراز ارتفاعی 0.4H اتفاق می‌افتد.
۶. با اعمال سخت‌کننده‌های قائم مقادیر ماکزیمم تغییرمکان قائم برای هر دو حالت مورد بررسی کاهش می‌یابد که در این حالت بیشینه مقدار کاهش برای مدل با کسر وزن سخت‌کننده می‌باشد. این مقدار ماکزیمم برای مدل بدون کسر وزن سخت‌کننده و با کسر وزن در تراز ارتفاعی 0.6H اتفاق می‌افتد و پس از آن افزایش ارتفاع سخت‌کننده سبب افزایش مقدار تغییرمکان قائم می‌گردد.
۷. با قرار دادن سخت‌کننده قائم در هر دو حالت کسر وزن سخت‌کننده‌ها و بدون کسر وزن آن‌ها مقادیر تنش اصلی اول و تنش برشی نسبت به حالت بدون پره افزایش یافته است که این افزایش با افزایش تراز سخت‌کننده تا ارتفاع 0.7 H روند نزولی داشته و سپس تقریباً مقدار ثابت به خود می‌گیرد و همچنین برای تنش اصلی اول ماکزیمم محل رخ دادن تنش اصلی اول در محل سخت‌کننده و در ترازهای پایه است که این موضوع سبب افزایش ایمنی بدنه اصلی برج خواهد شد.
۸. در نهایت نتایج آنالیز برای برج آبگیر با سخت‌کننده قائم و افقی نشان می‌دهد که در صورت استفاده از سخت‌کننده‌های افقی بهتر است وزن سخت‌کننده‌ها از وزن سازه کسر نگردد و سخت‌کننده‌ها در ترازهای پایینی برج آبگیر قرار گیرد در حالی که در حالت در نظر گرفتن سخت‌کننده‌های قائم و به دلیل عملکرد مناسب آن‌ها حتی در زمان کم کردن وزن آن‌ها از وزن سازه اصلی می‌توان به ازای سخت‌کننده‌های اضافه شده از وزن سازه اصلی کم کرد تا باعث ایجاد هزینه اضافی نگردد و همچنین این سخت‌کننده‌ها همانطوری که در نتایج قبلی ارائه شد نیز بهتر است که تا ترازهای پایینی سازه ادامه داشته باشند.

مراجع

1. Daniell, W. E. and Taylor, C. A. (2003). "Developing a numerical model for a UK intake tower seismic assessment". P. I. Civil Eng-water, 56(01), 63-72.
2. Goyal, A. and Chopra, A. K. (1989). "Simplified evaluation of added hydrodynamic mass for intake towers". Proceedings of ASCE, Journal of Engineering Mechanics, 115(7), 1393-1412.
3. Xiaoxi, Zh. and Zongmin. W. (2005). "The application of ANSYS software to the static and dynamic stress analysis of high intake tower". Water power, 31(3), 72-73
4. Wei, P. and Shuli, F. (2010). "The static and dynamic analysis of Guandi station intake tower structure". Design of Hydroelectric Power Station, 26(3), 25-27.
5. Lopez, F. J. and Chopra, A. K. (2012). "Response - History Analysis of the Moondarra Intake Tower: A Novel Approach Based on New Methodologies and Performance Requirements". In: *Proc. of the International Symposium on Dams for a Changing World, Kyoto*.
6. Gong Chenglin¹, A. Liu Huaw, B. and Zhang Jian. (2014). "Study on Dynamic Properties of the Intake Tower with Finite Element Method". Applied Mechanics and Materials, 501, 1888-1891.
7. Goyal, A. and Chopra, A.K. (1989)." Hydrodynamic and foundation interaction effects in dynamics of intake towers: frequency response functions". J Struct Eng, 115(6), 1371-1385.
8. Goyal, A. and Chopra, A.K. (1989b). "Hydrodynamic and foundation interaction effects in dynamic of intake towers: earthquake responses". J. Struct. Eng, 115(6), 1386-1395.
9. Goyal, A. and Chopra, A.K. (1989c). "Simplified evaluation of added hydrodynamic mass for intake towers". J. Eng. Mech, 115(7), 1393-1412.
10. Goyal, A. and Chopra, A.K. (1989)." Earthquake response spectrum analysis of intake-outlet towers". J Eng Mech, 115(7), 1413-1433.
11. Goyal, A. and Chopra, A.K. (1989d). "Simplified evaluation of added hydrodynamic mass for intake towers". J. Eng. Mech, 115(7), 1413-1433.
12. Dove. and Richard, C. (1996). "Structural Parameter Analysis of U.S. Army Corps of Engineers Existing Intake Tower Inventory". Vicksburg,: Technical Report SL-96-1, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, MS.
13. Dove. and Richard, C. (1998). "Performance of Lightly Reinforced Concrete Intake Towers under Selected Loadings". Vicksburg: Technical Report SL-98-1, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, MS.
14. Dove. and Richard, C. (2000). "Performance of Lightly Reinforced Concrete Intake Towers under Selected Loadings". Vicksburg : Technical Report ERDC/SL TR-00-6, U.S. Army Engineer Research and Development Center, MS.
15. Millan, M.A., Young. Y.L. and Prevost, J.H. (2009). "Seismic response of intake towers including dam-tower interaction". Earthq Eng Struct Dyn, 38(3), 307-329.
16. Jiang, Y.X., Yue, J.C. and Ye, L.M. (2014). "Static and dynamic analysis of intake tower structure". Appl Mech Mater, 444 - 445, 912-915.
17. Goyal, A. and Chopra, A.K. (1989). "Earthquake analysis of intake-outlet towers including tower-water-foundation-soil interaction". Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 18(3), 325-34.
18. Daniell, W.E. and Taylor, C.A. (1994). "Full-scale dynamic testing and analysis of a reservoir intake tower". Earthq. Eng. Struct. Dyn, 23(11), 1219-1237.
19. Vidot, A.L., Suárez, L.E., Matheu, E.E. and Sharp, M.K. (2004). "Seismic analysis of intake towers considering multiple-support excitation and soil-structure interaction effects". Vicksburg: US Army Corps of Engineers. ERDC/GSL TR-04-16.
20. Millán, M. A., Young, Y. L. and Prévost. J. H. (2009). "Seismic Response of Intake Towers Including Dam - Tower Interaction". Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 38(3), 307-329.
21. Wang, H. B., Li, D. Y. and Tang, B. H. (2014). "Experimental study of dynamic interaction between group of intake tower and water". Earthq. Struct, 6(02), 163-179.
22. Alembagheri, M. (2016). "Dynamics of submerged intake towers including interaction with dam and foundation". Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 84, 108-119.
23. Wang, H., Li, D and Tang, B. (2014). "Experimental study of dynamic interaction between group of intake towers and water". Earthquakes and Structures, 6(2), 163-179.

24. Alembagheri, M. (2017). "Frequency domain analysis of submerged tower-dam dynamic interaction". *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 54(4), 264-275.
25. Boseman, P. B. (1998). "Strengthening of Natural Draught Cooling Tower Shells with Stiffening Rings". *Engineering Structures*, 20(10), 909-914.
26. Form, J. (1986). "The Ring-Stiffened Shell of the ISAR II Nuclear Power Plant Natural – Draught Cooling Tower". *Engineering Structures*, 8(3), 99-207.
27. Sabouri-Ghomi, S., Kharrazi, M. H. K., Asghari, A. and Javidan, P. (2005). "Effect of stiffening rings on buckling stability of RC hyperbolic cooling towers". *International Journal of Civil Engineering*, 3(1).20-30.
28. Wolf, J. P. (1986). "Seismic analysis of cooling towers". *Engineering Structures*, 8(3), 191-198.
29. Bathe, K. J. (2007). "Finite element procedures", In *Engineering Analysis*. Prentice Hall. University of Michigan. 2th Edn, 768-769.