رویکردهای نوین در مهندسی عمران
ISSN ONLINE: 2588-7122- ISSN PRINT: 2588-6886 ، دوره سوم، شماره ۴، ۱۳۹۸، صفحه: ۳۶- ۴۷

بررسی تاثیر تغییرات وزن و عمق مدفون شدگی فونداسیون بر تغییر مکان جانبی سازه در سیستم اندرکنش خاک – سازه

منصور نوری[*1]، حمیدرضا توکلی[2]

[*1] دانشجوی دکتری مهندسی عمران- سازه، گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران

(Nuri671@yahoo.com).

[2] دانشیار، گروه مهندسی عمران، گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران.

(تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۹/۰۲، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۱۱/۱۲)

چکیده

یکی از پارامترهای بسیار مهم در آنالیز دینامیکی و طراحی سازه ها ، تغییر مکانهای ایجاد شده ناشی از بارگذاری و تحریکات وارده به سازه میباشد که در روند محاسبات و تعیین مقاطع و پارامترهای دینامیکی سازه بسیار حائز اهمیت میباشد.در گذشته در مرحله آنالیز سازه و تعیین نیروها و تنش ها و پاسخ سازه به تحریکهای موجود، سیستم های خاک و فونداسیون و سازه بصورت مجزا و تفکیک شده و با ساده سازی های فراوان ، تحت بررسی و مطالعه و آنالیز قرار میگرفت.این مطالعات با در نظر گرفتن قرار گرفتن سازه بر روی یک پی صلب بر روی خاکی با مقاومت کافی برای مقاومت در برابر نشستها و نیروهای منتقله از فونداسیون سازه به آن ، مدل شده و آنالیز میگردید.مطالعات میدانی و نتایج و مشاهدات بدست آمده از بازدید مناطق آسیب دیده و تخریب شده از زلزله های پیش آمده نشان داد که حتی در یک محل مشخص و در بین سازه های مشابه از نظر شکل و هندسه و مشخصات دینامیکی ، خرابی های ناشی از زلزله میتواند بسیار متفاوت باشد و این امر تنها میتواند ناشی از تاثیر اندرکنش سازه –خاک و فونداسیون باشد.مطالعات بعدی نشان داد که این اندرکنش میتواند بشدت پاسخهای لرزه ای ایجاد شده در سیستم را تحت تاثیر قرار داده و حتی دستورالعمل ها و فرمولهای مورد استفاده را از اعتبار خارج کرده و یا دچار تغییرات فاحش نماید. تحقیقات بیشتر نشان داد که مسئله اندرکنش خاک و فونداسیون و سازه نیز خود ، بشدت تحت تاثیر پارامترهای بسیار زیادی از قبیل عوامل محیطی،خواص مکانیکی مصالح و خاک و شکل فونداسیون و جنس و عمق خاک بستر و مشخصات لرزه ای پهنه بندی محل قرارگیری سازه و مشخصات ژئوتکنیکی و نظیر آن باشد. نمونه ای از این پارامترهای موثر در پاسخ دینامیکی سیستم اندرکنش،عمق مدفون شدگی فونداسیون سازه و نیز وزن فونداسیون میباشد. در این تحقیق تلاش میگردد که با بررسی این دو پارامتر و مدلسازی آن در نرم افزار قدرتمند Abaqus و با در نظر گرفتن تعداد کافی مدلهای مورد نیاز که در هر یک از آنها ، یکی از پارامترهای تحت بررسی تغییر میکند ، میزان تاثیر آنها بر پاسخ دینامیکی سازه ، مورد مطالعه قرار گیرد .

کلمات کلیدی

تغییر مکان، اندرکنش خاک و سازه، عمق مدفون شدگی، وزن فونداسیون.

رویکردهای نوین در مهندسی عمران
ISSN ONLINE: 2588-7122- ISSN PRINT: 2588-6886 ، دوره سوم، شماره ۴، ۱۳۹۸، صفحه: ۳۶- ۴۷

Investigating the Effect of Weight Changes and Foundation Burial Depth on structural Lateral Displacement in Soil-Structure Interaction System

Mansur Nuri [1*], *Hamidreza Tavakoli* [2]

[*1] *Ph.D. Candidate of Structural Engineering, Department of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran.*

(Nuri671@yahoo.com)

[2] *Associate Professor, Department of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran.*

(Date of received: 23/11/2019, Date of accepted: 01/02/2020)

ABSTRACT

One of the most important parameters in dynamic analysis and design of structures is the lateral displacements caused by loading and incitement instigations to the structure which is very important in the process of computation calculation and determination of the structure sections and dynamic parameters of the structure. In the past, in the process stage of structural analysis and determination of forces and stresses tensions and the response of the structure to existing investigations stimulus, soil and foundation and structure systems were investigated and studied and analyzed with districted and separated forms and numerous great simplifications. These studies were modeled and analyzed by with considering consideration of placing the structure on a rigid solid foundation on a soil with sufficient resistance to resist the session's summits and forces, which is transmitted from the structural foundation of the structure to it. Field studies and the results and observations obtained by from visiting the damaged and damaged areas of the earthquake, showed that, even at a certain location and among similar structures for in terms of shape and geometry and dynamic characteristics, the damage caused by the earthquake can could be very different, and this can only be due to the effect attributed to the impact of structure interaction - soil and foundation and such as that. The next Subsequent studies showed that the interaction of soil and foundation and structure themselves are highly strongly influenced by many parameters such as environmental factors, mechanical properties of material and soil, and the seismic characteristics form of foundation and gender, and the depth of soil and substrate seismicity of the zoning of the site of the structure and the geotechnical characteristics of the structure specifications and the like.In this study research, it tries by investigating of the is attempted to investigate these two parameters and modeling it them in the powerful software "Abaqus" software and considering the sufficient taking into account the number of required models needed that in each of them, One of the parameters under investigation changes, the value of their effect on the dynamic response of the structures are should be studied.

Keywords:
Displacement, Soil-Structure Interaction, Embedding Depth, Weight, Basement.

۱- مقدمه

یکی از مهمترین عوامل موثر در تعیین بارهای دینامیکی وارد بر سازه ، مسئله اندرکنش خاک-فونداسیون-سازه میباشد که دارای حساسیت بسیار زیادی در طراحی و تعیین پارامترهای دینامیکی موثر بر آن است.لذا مطالعه هر چه دقیقتر این مسئله و بررسی ویژه آن از مهمترین شاخه های مسائل مهندسی زلزله و ارزیابی لرزه ای سازه ها میباشد. بدیهی است که تعیین نیروها و تنشهای ایجاد شده در سازه تحت تاثیر عوامل دینامیکی ، از مهمترین گامهای آنالیز سازه میباشد . از آنجاییکه این عوامل بشدت با تغییر شرایط مکانیکی بستر قرارگیری سازه و نیز پارامترهای دینامیکی آن و نحوه ارتباط خاک و فونداسیون و سازه و نوع عملکرد هر آنها در انتقال نیروها و تنشها از خاک به فونداسیون و سپس از فونداسیون به سازه و بالعکس ، دچار تغییر میگردند لذا ضروری است که وضعیت خاک موجود در زیر پی و نیز اطراف آن و اطراف سازه و نیز شکل و میزان بارهای و تنشهای وارده بر آن و نیز تغییرات پارامترهای مکانیکی آن تحت تاثیر این تنشها و نیروها در آنالیزها مورد توجه و دقت نظر قرار گیرد [۱]. تاثیر اندرکنش خاک-سازه در ایجاد تنشها و نیروها در خاک و سازه بسیار زیاد و حساس بوده و تحت تاثیر عوامل بسیار زیادی نظیر میزان صلبیت فونداسیون و حتی تعداد لایه های خاک زیر پی و حتی نوع آرایش آنها میباشد. کاهش پاسخ سازه ناشی از پراکندگی امواج از فونداسیون و انتشار انرژی لرزه ای سازه به درون خاک می باشد. هنگامی که خاک اطراف فونداسیون، پاسخ های غیرخطی کم تا متوسط را تجربه می کند، اندرکنش خاک - سازه باعث جذب انرژی امواج ارتعاشی شده و بنابراین باعث کاهش انرژی محرک سازه میگردد . مهمترین چالش در مورد طراحی لرزه ای در آینده این است که این مقدار اتلاف انرژی به صورت دقیق مشخص گردد و در طراحی سیستم خاک-سازه وارد شود[۲]. تحقیقات دقیقتر و بررسی های بیشتر توسط محققان نشان داده است که در نظر رفتن مسئله اندرکنش خاک- سازه باعث افزایش میرایی سیستم[۳]و بالارفتن پریود موثر سازه [۴] میگردد.ضمنا این پدیده موجب کم یا زیاد شدن پاسخ سیستم به تحریکات دینامیکی وارده میگردد که مقدار آنها بستگی به پارامترهای دینامیکی و مشخصات سازه دارد[۵] . در اثر لحاظ کردن اندرکنش خاک و سازه میتوان میرایی کل سیستم را به دو میرایی سازه و پی تقسیم کرد که میرایی سازه در اثر لحاظ کردن اندرکنش خاک وسازه با ضریبی که بستگی به مشخصات خاک و سازه دارد،کاهش می یابد ولی میرایی پی باعث افزایش میرایی کل سیستم خواهد شد[۶]. پژوهشهای پیشین نشان داده اند که میرایی پی بین صفر تا 25 درصد میباشد[۷].

۲- مسئله اندرکنش خاک و سازه در آئین نامه های ساختمانی

در طول سه دهه اخیر تحقیقات گسترده ای روی مسئله اندرکنش خاک سازه انجام گرفته و ضوابط ساده شده این مطالعات- در آیین نامه های ساختمانی نظیر FEMA ۴۴۰ آمریکا و NEHRP مکزیک و آیین نامه ۲۸۰۰ ایران وارد شده است.پارامترهای زیادی ازجمله مشخصات خاک ، مشخصات امواج ورودی ، مشخصات سازه و پی، ،فاصله سازه ها از همدیگر و ... روی مسئله اندرکنش خاک- سازه تاثیر دارند اما هنوز نقش و میزان تاثیر هر یک از این پارامترها بر روی مسئله اندرکنش به تفصیل و بطور دقیق معلوم نیست. به هر حال با در نظر گرفتن اثرات ساختگاه و اثر اندرکنش خاک سازه می توان مطالعات آسیب پذیری لرزه ای و تهیه طیفهای پاسخ غیر- خطی سازه ها را بیش از پیش به واقعیت نزدیک کرد [۸] .

۳- مسئله اندرکنش خاک و سازه در طراحی‌های مهندسی

رفتار دینامیکی خاک بعنوان محیطی نامحدود ،متفاوت با رفتار دینامیکی سازه بعنوان یک محیط محدود میباشد.حرکات موجی پی،که در فصل مشترک سازه و خاک رخ میدهد،منجر به انتشار امواج در تمام جهات میگردد.بدینصورت مقداری از انرژی لرزه ای رسیده به سازه،مجددا به خاک بر میگردد.اینگونه رفتار به نوعی از میرایی منجر میگردد که به میرایی تابشی (تشعشعی یا هندسی) موسوم است.مقدار این میرایی به عواملی نظیر نوع خاک و لایه بندی آن ،نوع پی و شکل و ابعاد آن و رفتار دینامیکی خاک بستگی دارد. در تحلیل لرزه‌ای سازه‌ها ، حرکت میدان آزاد زمین ، که در آن وجود سازه در حرکت زمین منظور نمیشود، به تکیه گاه‌های موجود اعمال می‌شود. در صورتی که سختی سازه و پی در نظر گرفته شود، حرکت خاک در مجاورت سازه با حرکت میدان آزاد متفاوت خواهد بود، این اثر اندرکنش جنبشی نامیده می‌شود. همچنین پاسخ دینامیکی سازه نسبت به شتاب پایه، سبب تغییر شکل خاک خواهد شد. این پدیده اندرکنش اینرسی نامیده می‌شود. مجموع دو اندرکنش جنبشی و اینرسی، اندرکنش خاک و سازه نام دارد و نشانگر اثر حرکت خاک بر پاسخ سازه و حرکت سازه بر پاسخ خاک است. در تحلیل‌های متداول دینامیکی یک سازه، روش معمول به این صورت است که حرکت میدان آزاد زمین در محل ساخت تعیین شود و حرکت به دست آمده به پای سازه، به صورت صلب، اعمال می‌شود. این مورد در حالتی صحیح است که ساختمان بر روی سنگ بنا شده باشد. در حالت قرار گرفتن سازه بر روی خاک نرم، وضعیت کاملاً متفاوت است و یک مولفه دورانی ناشی از انعطاف پذیری تکیه گاه بر حرکات افقی پی اضافه می‌شود. قسمتی از انرژی ارتعاشی سازه می‌تواند با انتقال به خاک زیر پی، بر اثر میرائی تشعشعی حاصل از انتشار موج و میرائی هیسترسیس مصالح خاک تلف شود. در صورتی که در حالت کلاسیک با صلب فرض کردن خاک زیر سازه این اتلاف انرژی در نظر گرفته نمی‌شود. در این حالت در هنگام وقوع زلزله، رفتار غیرخطی خاک زیرین و وقوع پدیده اندرکنش خاک و سازه، در پاسخ سازه‌ای به صورتی نتیجه می‌دهد که می‌تواند کاملاً متفاوت از پاسخ یک سازه با پای صلب قرار گرفته تحت اثر حرکت میدان آزاد زمین باشد. در تمامی این روشها ، بدلیل عدم قطعیت موجود در مقادیر و نوع پارامترهای موجود بویژه در بخش خاک ، نتایج بدست آمده دارای عدم اعتماد زیادی میباشند و در نظر گرفتن هر چه دقیقتر پارامترهای و نیروها و تنشهای دینامیکی خاک زیر بستر ، میتواند منجر به نتایج هر چه دقیقتر گردد. یکی از بهترین روشها ، در نظر گرفتن خاک به روش اجزای محدود و مطالعه و در نظر گرفتن وضعیت دینامیکی خاک بستر درمحیط تحت انتشار امواج لرزه ای با این متد میباشد.در این روش المان خاک را در حجم مشخص و محدود ، المان بندی کرده و با استفاده از روش اجزای محدود دینامیکی و تعریف مرزهای انتقال انتشار امواج لرزه ای به داخل محدود نیمه بینهایت خارج از این مرز و جدا کردن رفتار محیط دور از سازه از رفتار سازه و در نظر گرفتن یک حجم انعطاف پذیر در فاصله این مرز نیمه بینهایت تا محل استقرار سازه، تا حدی زیادی به دقت محاسبات و امکان اطمینان به آنها افزوده میشود. در این روش ، المانها را میتوان بصورت دو بعدی یا سه بعدی و با تعداد وجوه و رئوس مختلف در نظر گرفت.بدیهی است که هر چه ابعاد کوچکتر و تعداد رئوس آنها که محل انتقال تنشها و نیروها و تغییر مکانهای المان خاک میباشد ،بیشتر باشد ، دقت نتایج بدست آمده بالاتر میباشد.

کاملا واضح است که در نظر گرفتن چنین مدلهایی بصورت دستی غیرممکن بوده و نیازمند پردازش گرها و نرم افزارهای بسیار قوی میباشد و هر چه این تجهیزات سخت افزاری و نرم افزاری قویتر و پیش رفته تر و هوشمندانه تر باشند نتایج بسیار بهتری در زمان کمتری بدست می آید. امروزه با در اختیار داشتن امکانات بسیار پیشرفته سخت افزاری و نرم افزاری ، بسادگی میتوان عوامل و پارامترهای بسیار بیشتر و جزئی تر را با دقت بسیار زیادتری تحت مطالعه و بررسی قرار داد و تا احد امکانات نتایج حاصل از محاسبات را به نتایج واقعی و قابل انتظار نزدیک کرد. یکی از بهترین این نرم افزارها ، نرم افزار Abaqus میباشد.در این تحقیق از این نرم افزار قدرتمند برای بررسی مسئله و استخراج نتایج حاصله استفاده میگردد.

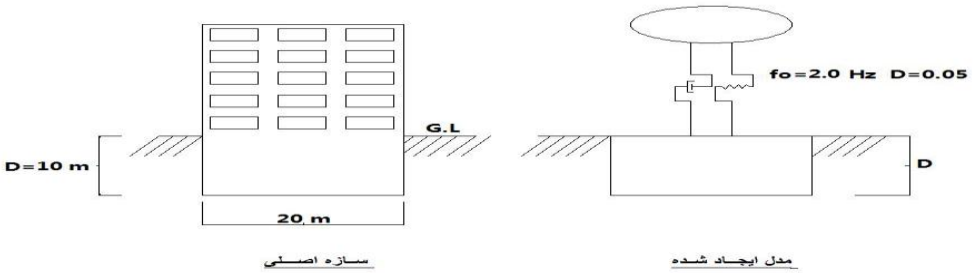
رویکردهای نوین در مهندسی عمران
ISSN ONLINE: 2588-7122- ISSN PRINT: 2588-6886 ، دوره سوم، شماره ۴، ۱۳۹۸، صفحه: ۳۶- ۴۷

۴- شرح مدل

در این مدلسازی ، سازه ای با مشخصات مفروض به نوعی در نظر میشود که فرکانس طبیعی آن برابر ۲ Hz باشد.این سازه تحت تحریک یک بار دینامیکی مفروض بصورت $p(t) = p_0 * \sin(2\pi f t)$ قرار دارد..شکل (۱). نوع و شکل این بار دینامیکی کاملا اختیاری بوده و میتواند به صورت هر نوع بار هارمونیک و غیر هارمونیک و یا تاریخچه زمانی باشد. این سازه بصورت یک سیستم دینامیکی یک درجه آزادی بر روی یک فونداسیون صلب در نظر گرفته شده است. در این تحقیق موارد زیر بررسی و کنترل میگردد:

الف:تاثیر تغییر وزن فونداسیون(سبک و سنگین شدن) بر روی پاسخ سیستم در راس سازه یکدرجه آزادی (تغییر مکان مرکز ثقل جرم متمرکز فوقانی)

ب- تاثیر تغییر عمق فونداسیون(ارتفاع مدفون شدگی) بر روی پاسخ سیستم در راس سازه یکدرجه آزادی (تغییر مکان مرکز ثقل جرم متمرکز فوقانی)

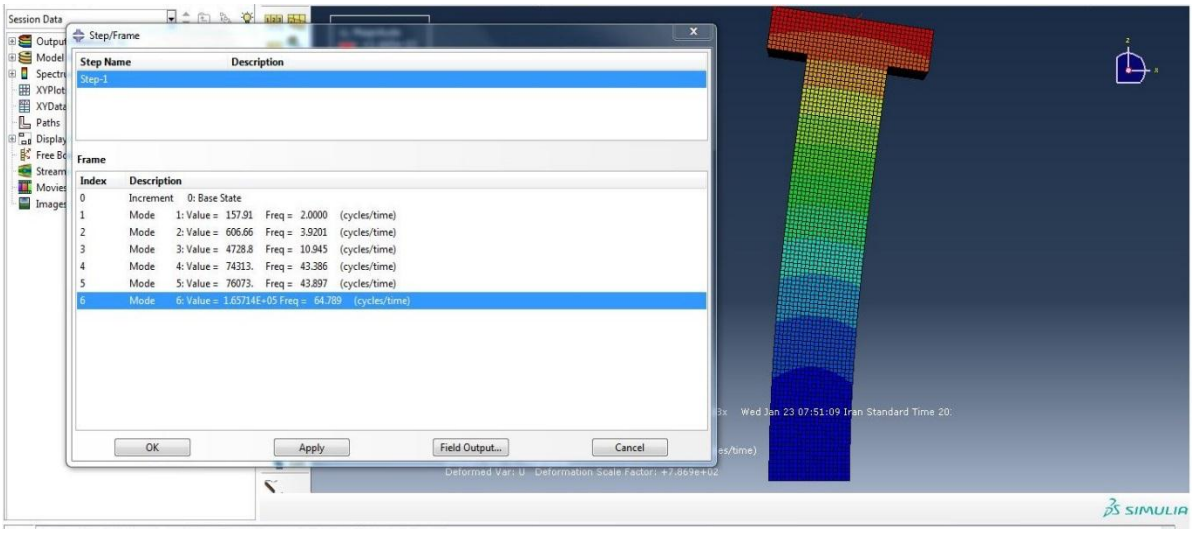


شکل ۱: مدل ایجاد شده جهت معرفی به نرم افزار و مدل سازه اصلی.

برای بررسی موضوع ، ابتدا باید سازه بصورتی مدل میشود که فرکانس طبیعی آن طبق صورت مسئله برابر HZ ۲ باشد. در مدل کردن مسئله سازه بصورت یک سیستم یکدرجه آزادی با جرم متمرکز در راس سازه در نظر گرفته میشود. در این مدل ، برای ستون سازه از مقطعی بصورت ۱×۲ متر مربع و به ارتفاع ۱۰ متر در نظر گرفته میشود.دمپینگ سازه برابر ۰،۰۵ در نظر گرفته میشود.از آنجاییکه فرض گردیده است که کل جرم سیستم بصورت متمرکز در راس سازه باشد لذا از جرم ستون فلزی صرفنظر شده و در تحلیل نیز مقدار صفر در نظر گرفته شده است.با توجه به مفروضات صورت مسئله در نظر است که فرکانس مدل برابر ۲ Hz باشد لذا مشخصات سازه بصورتی در نظر گرفته میشود که این مورد رعایت گردد. زمان آنالیز سازه برابر ۲۰ ثانیه و با گامهای برابر ۰/۰۱ ثانیه در نظر گرفته میشود. در این پژوهش ، جهت انجام آنالیزهای مربوطه ، از نرم افزار مهندسی Abaqus ۲۰۱۸ ver استفاده میگردد.

۴-۱- مدلسازی اولیه و کنترل فرکانس طبیعی سازه

در این مرحله سازه اولیه ، بصورت یک جرم متمرکز در راس یک عضو دارای سختی و میرایی و بدون جرم مدل با اتصال گیردار در پای سازه مدل کرده و و جهت اطمینان از صحت مدل ، توسط نرم افزار Abaqus ،فرکانسهای طبیعی سازه بدست آورده میشود که نتایج در شکل (۲) قابل مشاهده میباشد. در شکل مذکور ، ردیف اول که شامل کوچکترین فرکانس میباشد،فرکانس طبیعی سیستم میباشد که برابر Hz ۲ محاسبه گردیده است :



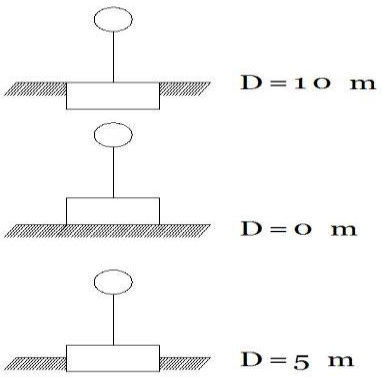
شکل۲: محاسبه وکنترل فرکانس طبیعی سازه توسط نرم افزار.

۴-۲- حالتهای تحت بررسی مدفون شدگی و وزن فونداسیون و فرکانس بارگذاری خارجی

هدف از این تحقیق ، بررسی میزان تغییر مکان راس سازه مفروض و نقش تغییرات وزن فونداسیون و عمق مدفون شدگی فونداسیون و فرکانس بارگذاری خارجی بر آن در سیستم اندرکنشی خاک و و فونداسیون و سازه میباشد.در این بررسی دامنه تغییرات پارامترهای مذکور عبارتند از:

۴-۲-۱- تغییرات مدفون شدگی فونداسیون

برای در نظر گرفتن اثرات مدفون شدگی ، از سه حالت مدفون شدگی برابر D=0 (سازه و فونداسیون بر روی خاک سطحی) ،m D=5 (سازه با مدفون شدگی کم) و D=10 m (سیستم اندرکنشی با عمق مدفون شدگی زیاد) در نظر گرفته شده است.این حالات در شکل (۳) قابل مشاهده میباشد:



شکل۳: حالتهای مختلف مدفون شدگی فونداسیون در سیستم اندرکنش خاک و سازه.

۴-۲-۲- تغییرات وزن فونداسیون سیستم

جهت بررسی حالتهای مختلف تغییرات وزن فونداسیون بر پاسخ اندرکنش سیستم، سه حالت مختلف وزن سازه با وزن مخصوص واحد وزن برابر مقادیر $\gamma_1 = 2500\ \frac{Kg}{m^3}$ ، $\gamma_2 = 1500\ \frac{Kg}{m^3}$ ، $\gamma_3 = 500\ \frac{Kg}{m^3}$ در نظر گرفته شده است.

۴-۲-۳- تغییرات فرکانس بارگذاری خارجی وارد بر سیستم

در این تحقیق ، سیستم تحت یک بارگذاری هارمونیک بصورت $p(t)=p0.\sin(2\pi f.t)$ قرار میگیرد که در آن f فرکانس بارگذاری خارجی می باشد. برای بررسی تاثیر فرکانس بارگذاری خارجی بر پاسخ سیستم ، ۱۰ حالت مختلف فرکانسی از ۰ تا ۵ Hz برابر مقادیر f=0,0.5,0.5,1,1.5,2,2.5,3,3.5,4,5 در نظر گرفته شده است. بدین ترتیب تحلیل مورد نظر دارای ۱۱ حالت فرکانسی مختلف میباشد.

۴-۲-۴- جمع بندی حالت های مختلف تحلیل

با توجه به تعداد حالتهای در نظر گرفته شده در تغییرات وزن پی و مدفون شدگی و تغییرات فرکانس بارگذاری خارجی ، تعداد کل مودهای تحلیل عبارت است از :

$$n = n_d \times n_\gamma \times n_f = 3 \times 11 \times 3 = 99$$

که در آن:

n_γ =تعداد حالتهای موجود در وزن فونداسیون= ۳

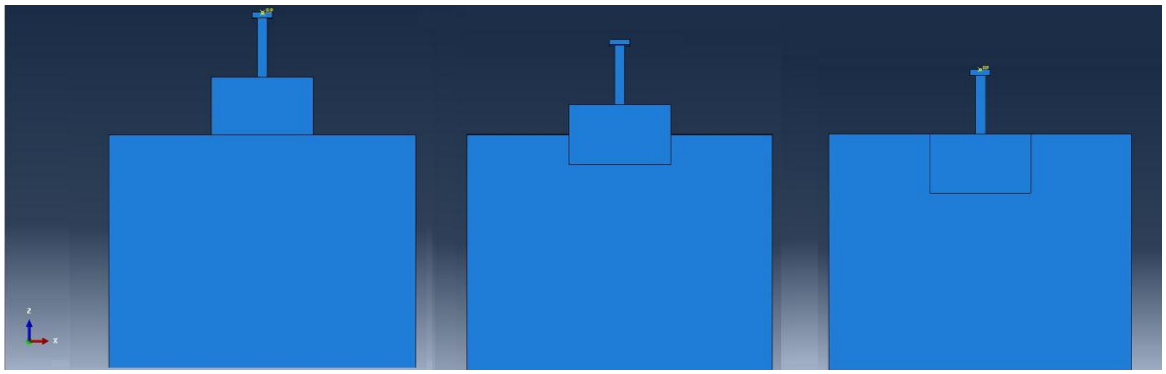
n_d =تعداد حالتهای موجود در عمق فونداسیون= ۳

$n_{\gamma f}$ =تعداد حالتهای موجود در فرکانس سیستم بارگذاری= ۱۱

بدین ترتیب در این تحقیق ۹۹ حالت مختلف ترکیبات سیستم اندرکنشی خاک و سازه و فونداسیون وجود دارد که فایلهای ورودی آنها، تهیه شده و تحت آنالیز قرارگرفته و نتایج آنها تحت بررسی قرار گرفته است.در هر یک از این آنالیزها ، سازه تحت تاثیر یک حالت از هر یک از متغیرهای موجود موثر بر پاسخ آن، قرار گرفته و خروجیهای مورد نظر بدست می آید.

۴-۳- تشریح مدل اولیه مورد بررسی

در این مرحله ، با توجه به نوع مدفون شدگی فونداسیون در خاک و نیز ابعاد پی، ۳ مدل سیستمی تهیه گردیده است. در این مدلها ابعاد خاک از هر سمت ، بمیزان ابعاد فونداسیون و از عمق نیز بمقدار ۳۰ متر طبق مفروضات صورت مسئله در نظر گرفته شده است. بدین ترتیب ۳ مدل اولیه با عمق مدفون شدگی مختلف ، تهیه میگردد که هر یک از این مدلها تحت ۳۳ حالت مختلف شامل (۳ حالت وزن مخصوص مختلف پی * ۱۱ حالت فرکانس بارگذاری خارجی) و جمعا ۹۹ ترکیب مختلف تحت آنالیز قرار میگیرند. در شکل (۴) وضعیت کلی مدلها در سه حالت عمق مدفون شدگی قابل مشاهده است:



شکل ۴: حالتهای مختلف مدفون شدگی فونداسیون در سیستم اندرکنشیِ D= 0 و D= 5 و D= 10 متر.

۴-۴- تهیه اطلاعات ورودی مورد نیاز نرم افزار جهت انجام آنالیز و بدست آوردن نتایج

همانطور که اشاره شد ، در این مرحله با توجه به حالتهای مختلف متغیرهای موثر بر پاسخ سازه، باید به تعداد ۹۹ فایل ورودی تنظیم و تحت آنالیز و بررسی قرار گیرد. در این بخش،این ۹۹ حالت فایل ورودی تهیه شده است که هر فایل در برگیرنده اطلاعات یک حالت مدل با اطلاعات ورودی اولیه مجزا با فرکانس بارگذاری خارجی و وزن فونداسیون و عمق مدفون شدگی متفاوت میباشد. بطور نمونه فایل با نام om2d5f500 بیانگر فایل ورودی برای سیستم دارای فرکانس بارگذاری خارجی برابر ۲ Hz و عمق مدفون شدگی برابر ۵ متر و وزن فونداسیون برابر ۱۵۰۰ کیوگرم بر متر مکعب میباشد.در زیر مشخصات مکانیکی مواد مختلف موجود در سیستم آورده شده است.

خاک γ =1900 $\frac{Kg}{m^3}$, $\psi = 2^0$,$\Theta=33^0$, C=4 kPa , υ=0.28 , E=40e^6 Pa

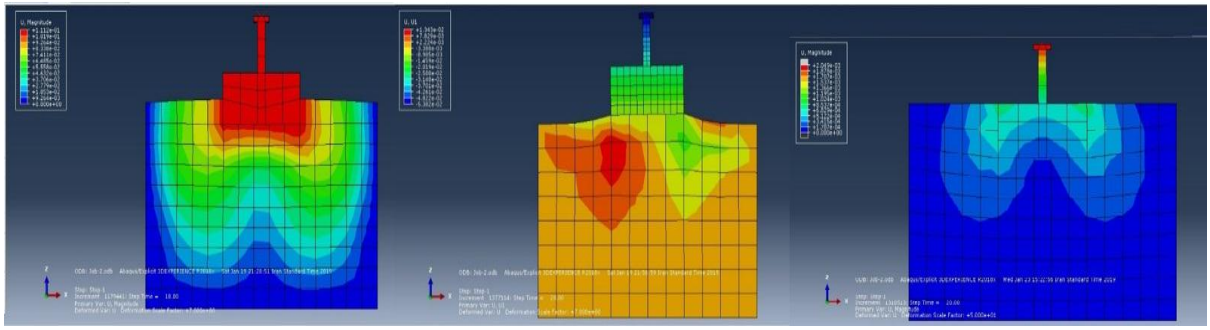
فولاد γ =7850 $\frac{Kg}{m^3}$, υ=0.30 , E=2.1e^{11} Pa

بتن γ =..... $\frac{Kg}{m^3}$, υ=0.20 , E=2.059e^{10} Pa

که در آن ρ چگالی حجمی و ψ ضریب تورم خاک ، Θ زاویه اصطکاک خاک ، C تنش چسبندگی خاک و υ ضریب پواسون و E مدول الاستیسیته مواد میباشد.جرم حجمی بتن با نوجه به مفروضات مسئله متفاوت فرض شده است که متناسب با نوع مدل ، متغیر است. بدین ترتیب ۹۹ فایل ورودی برای در نظر گرفتن تمام حالتهای ورودی متغیرها تهیه و تنظیم میگردد.

۵- آنالیز فایل‌های ورودی و گرفتن نتایج

کلیه ۹۹ فایل ورودی مذکور توسط نرم افزار آباکوس تحت آنالیز قرار گرفته و خروجیهای آنها استخراج میگردد. در شکل (۵) نمونه هایی از آنالیز انجام شده توسط نرم افزار آباکوس ، قابل مشاهده میباشد:



شکل۵: نمونه آنالیز انجام شده توسط نرم افزار Abaqus در یکی از حالتهای ورودی با D=5 و D=0 و D=10.

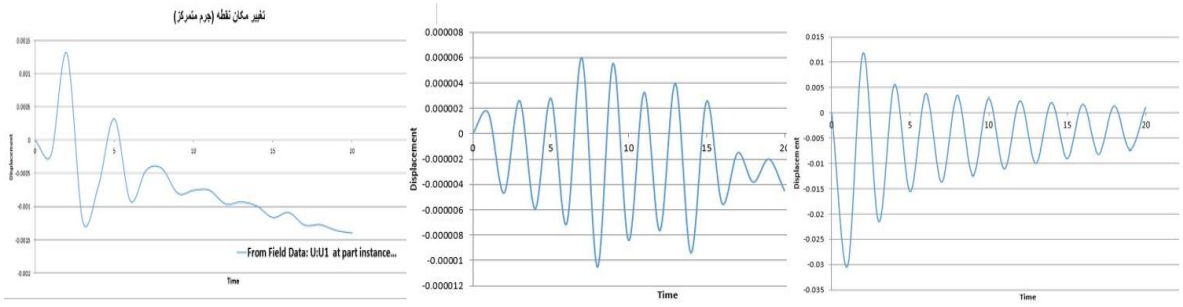
در این اشکال بخوبی ، وضعیت مدفون شدگی و نیز میزان تغییر شکل جانبی سیستم در تمام نقاط سیستم اندرکنشی قابل مشاهده بوده و مقادیر آنها قابل استخراج از نرم افزار میباشد. به جهت صحت سنجی نتایج ، کلیه آنالیز ها با مقادیر متفاوت اندازه مش بندی ، از بزرگترین تا کوچکترین اندازه ممکن مش بندی ، در چندین وضعیت در هر یک از مودها انجام میگیرد.بدیهی است که هر چه شبکه بندی ها ریز تر باشد ، زمان بیشتری جهت آنالیز سازه مورد نیاز است. در آباکوس میتوان طیف وسیعی از اطلاعات خروجی را بصورت گرافیکی و متنی ، تهیه نمود. با توجه به اینکه هدف از این تحقیق، بررسی تغییرات تغییر مکان جانبی راس سازه میباشد لذا با تعیین یک نقطه مرجع در بالاترین نقطه مدل و گرفتن خروجی های مختلف برای این نقطه برای تمامی فایلهای تحت آنالیز، اطلاعات خروجی مورد نظر استخراج میگردد.این اطلاعات عبارتند از:

الف- مقادیر عددی تغییر مکان جانبی نقطه مرجع:

این خروجیها توسط نرم افزار برای تمام ۹۹ مدل مورد نظر ، بدست آمده و در یک فایل اکسل جهت انجام تحلیلهای آماری مورد نیاز ذخیره میگردد.

ب- تهیه نمودار گرافیکی تغییر مکان نقطه مرجع:

این نمودارها توسط نرم افزار برای تمام ۹۹ مدل مورد نظر ، بدست آمده و ذخیره میگردد. در شکل (۶) تا نمونه هایی از این گراف ها برای تغییر مکان راس سازه در حالتهای مختلف ، قابل مشاهده میباشد:



شکل ۶: تغییر مکان راس سازه.

تاثیر زیاد میرایی سیستم در کاهش دامنه پاسخ سیستم ، بخوبی در این اشکال مشخص است. برای تمام ۹۹ حالت ترکیبی ، این گرافها و مقادیر عددی آنها تهیه میگردد.

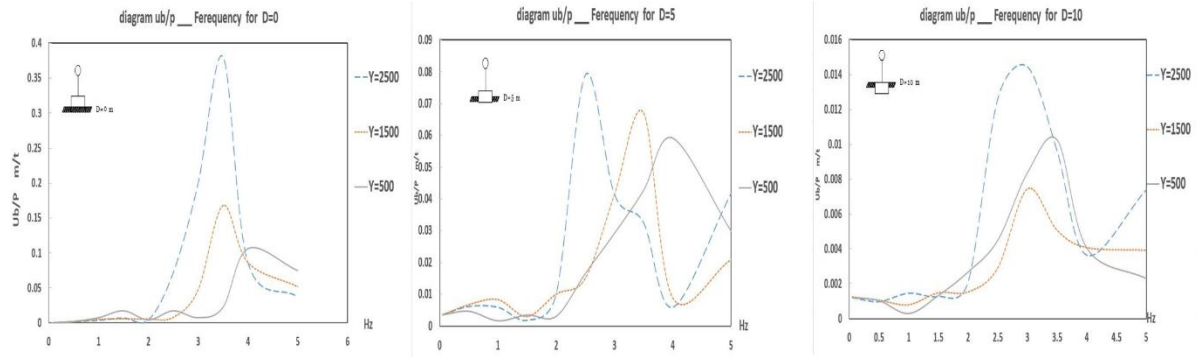
ج- تهیه دیاگرامهای مقایسه ای:

در این مرحله ، از هر یک از ۹۹ فایل عددی پاسخ سازه در مقابل تحریکها در ترکیبات مختلف، مقادیر ماکزیمم این پاسخها استخراج شده و نتایج برای مقایسه در حالتهای مختلف تحت مطالعه مرتب و بهینه سازی شده اند و مقادیر عددی و دیاگرامهای مقایسه ای مربوطه بدست میایند.این حالتها عبارتند از:

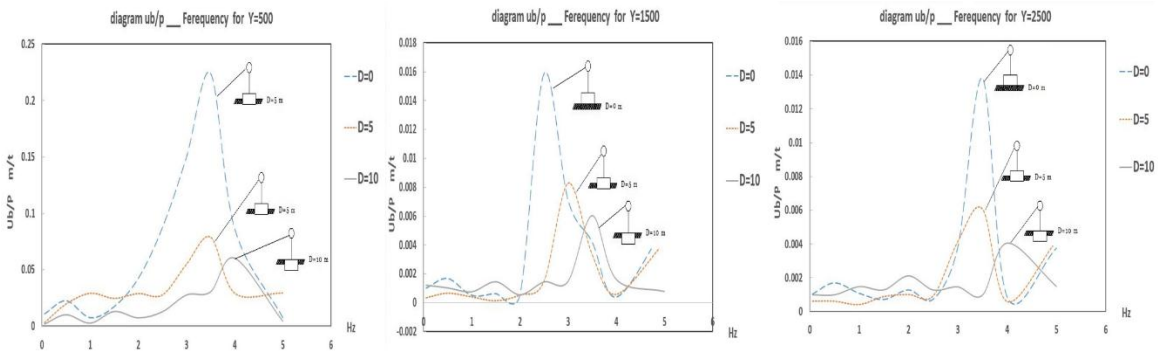
۱- تغییرات پاسخ سیستم در برابر تغییرات فرکانس بار گذاری در هر یک از حالتهای مدفون شدگی پی با فرض وزن فونداسیون ثابت

۲- تغییرات پاسخ سیستم در برابر تغییرات فرکانس بار گذاری در هر یک از حالتهای وزن فونداسیون با فرض عمق مدفون شدگی مفرض

این تغییرات از خروجی های نرم افزار استخراج شده و دیاگرامهای مقایسه ای تهیه گردیده اند که نتایج در اشکال (۷) و (۸) قابل مشاهده است:



شکل ۷: نمودار تغییرات تغییر مکان راس سازه در فرکانس های مختلف با توجه به تغییرات چگالی فونداسیون(وزن) در حالت عمق مدفون شدگی ثابت برابر D=0 و D=5 و D=10



شکل ۸: نمودار تغییرات تغییر مکان راس سازه در فرکانس های مختلف با توجه به تغییرات عمق مدفون شدگی فونداسیون در حالت چگالی ثابت فونداسیون برابر Y=500 و Y=1500 و Y=2500.

۶- نتیجه گیری

الف-اثر مدفون شدگی بر سیستم:

از بررسی این تحقیق نتیجه گیری میشود که هر چه عمق مدفون شدگی فونداسیون یک سازه بیشتر باشد ، بدون توجه به نوع سازه ، میرایی سیستم و در نتیجه تاثیر آن بر پاسخ سیستم به تحریک وارده بیشتر شده و تغییر مکان ماکزیمم سازه ، کاهش میابد. هر چه عمق مدفون شدگی بیشتر گردد ، فرکانس تشدید سیستم و در نتیجه پریود آن کاهش یافته و سازه زودتر به حالت سکون میرسد. با افزایش عمق مدفون شدگی ، میرایی سیستم بسرعت افزایش میابد و سازه بسرعت بحالت سکون میرسد. اثراندرکنش روی سازه های قرر گرفته روی سطح زمین ،بیشتر از سازه های مدفون در خاک است.

ب- اثر وزن فونداسیون بر سیستم:

هرچه وزن فونداسیون کمتر بشود ، فرکانس تشدید سیستم افزایش یافته و پریود طبیعی سیستم کاهش میابد و هر چه وزن فونداسیون کاهش یابد ، پاسخ سیستم و در نتیجه تغییر مکان ماکزیمم سازه کاهش میابد.

۷- مراجع

[۱]-گتمیری، ب. و حائری، س.م.، ۱۳۸۵، **راهنمای تحلیل برهم کنش دینامیکی خا ک-ســازه و اثرات آن بر واکنش دینامیکی ساز ه**، بنیاد مسکن انقلاب اسلامی، مرکز مطالعات مقابله با سوانح طبیعی ایران ، ویرایش چاپ اول.

[2]-Trifunac, M. D., Hao, T.Y., and Todorovska, M. I., 2001, **Full-scale experimental studies of soil-structure interaction**, Tsukuba, Japan.

[3]- Aviles J, and Perez-Rocha L. E., 1996, **Evaluation of interaction effects on system period and the system damping due to foundation embedment and layer depth**, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 15, pp.11-27.

[4]- Stewart, J. P., Kim, S., Bielak, J., Dobry, R., and Power, M., 2003, **Revisions to soil structure interaction procedures in NEHRP design provisions**, Earthquake Spectra, 19, pp.677–696.

[5]-Jennings, P. C., and Bielak, J., 1973, **Dynamics of building-soil interaction**, Bulletin of the Seismological Society of America, 63, pp.9-48.

[۶]-فرقانی خیاوی.آ.محبی،.م، ۱۳۹۷، **بررسی اثر اندرکنش خاک و سازه در طراحی سازه ها طبق استاندارد۲۸۰۰ ایران**، کنفرانس بین المللی عمران , معماری و مدیریت توسعه شهری.دانشگاه تهران.

[7]-Stewart, J. P., Fenves, G. L., and Seed, R. B., 1999, **Seismic soil-structure interaction in buildings, II: Empirical findings**, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 125, pp.38-48.

[۸]- حسین زاده،ن.، ناطق الهی،ف.و بهنام فر،ف.، ۱۳۸۳، **مطالعه آزمایشگاهی (میز لرزان) اثرات اندرکنش خاک سازه در پاسخ لرزه ای ساختمانهای مجاور هم**،نشریه مهندسی استقلال، سال ۲۲ ،شماره ۲ .