

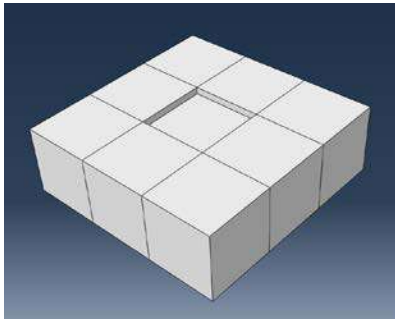
به نام یزدان

گزارش فنی مهندسی تهیه شده توسط دکتر فرزاد مویدیان

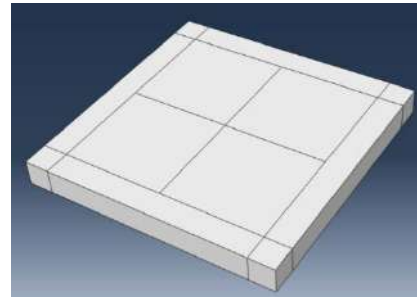
استفاده از حلگرهای قدرتمند Frequency و Modal Dynamics در نرم افزار کارآمد آباکوس جهت بررسی تاثیر شرایط خاک بر عملکرد فونداسیون بتنی در یک ساختمان

ابتدا مواردی که در محیط Part آباکوس رسم شده اند توضیح داده می شوند:

۱- خاک با ابعاد سطح مقطع: ۳۰ متر در ۳۰ متر و عمق ۱۰ متر. در وسط سطح مقطع خاک، مکان قرار گرفتن فونداسیون در نظر گرفته شده است. برای خاک از مدل Solid استفاده شده است، شکل (۱).



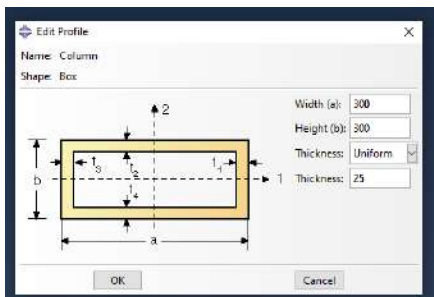
شکل (۱) خاک



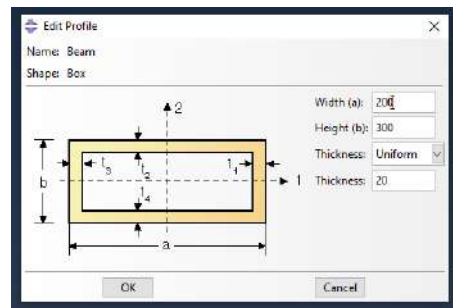
شکل (۲) فونداسیون بتونی

۲- فونداسیون بتونی با سطح مقطع: ۱۰ متر در ۱۰ متر و عمق ۱ متر. که ۷ ستون روی آن تعبیه خواهد شد. برای فونداسیون بتونی از مدل Solid استفاده شده است، شکل (۲).

۳- ستونی به طول سه متر و با سطح مقطع box در شکل (۳) با مشخصات عرض و ارتفاع ۳۰۰ میلیمتر و همچنین ضخامت ۲۵ میلیمتر رسم شده است. برای ستون از مدل Wire استفاده شده است.



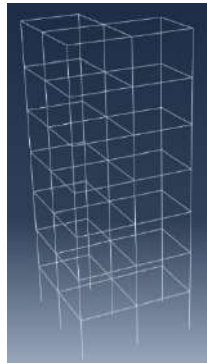
شکل (۳) سطح مقطع ستون



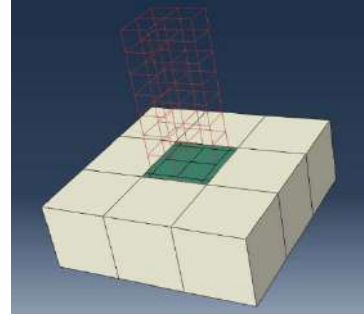
شکل (۴) سطح مقطع تیر

۴ تیری به طول ۴ متر با سطح مقطع box در شکل (۴) با مشخصات عرض ۲۰۰ میلیمتر، ارتفاع ۳۰۰ میلیمتر و ضخامت ۲۰ میلیمتر رسم شده است. برای ستون از مدل Wire استفاده شده است.

۵- ساختمان ۷ طبقه که از تیر و ستون ها تشکیل شده است به صورت زیر قابل نمایش می باشد:



شکل (۳) ساختمان ۷ طبقه تشکیل شده از تیرها و ستون ها که با wire رسم شده اند.



شکل (۴) شکل مونتاژ شده

در ماژول Assembly هندسه شکل با تفکیک رنگ قابل مشاهده است:

همانطور که در شکل (۴) مشاهده می شود، ساختمان ۷ طبقه با رنگ قرمز، فونداسیون بتنی با رنگ سبز و خاک با رنگ کرم قابل مشاهده هستند.

در ادامه وارد ماژول Property می شویم، در این ماژول جنس هر کدام از این اجزاء می تواند به تفکیک وارد شود:

جنس خاک با در نظر گرفتن حالت تسلیم پلاستیسیته مور کولمب با مشخصات زیر در آباکوس در نظر گرفته شده است:

جدول (۱) مشخصات خاک در آباکوس

Mass Density (Kg/m ³)	Young's Modulus (MPa)	Poisson's Ratio	Friction Angle	Dilation Angle	Cohesion Yield Stress (KPa)	Abs Plastic Strain
۱۱۹۰	۶۰	۰/۴۵	۰	۰	۱۵۰	۰

جنس تیر و ستون از ماده Q345 با مشخصات زیر استفاده شده است:

چگالی: ۷۸۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب،

مدول یانگ: ۱۹۹ گیگاپاسکال،

نسبت پواسون: ۰/۳،

تنش تسلیم و کرنش پلاستیک مطابق با جدول زیر:

جدول (۲) مشخصات مکانیکی پلاستیسیته فونداسیون بتنی در آباکوس

Yield Stress (MPa)	۳۴۵	۳۸۰	۴۵۴/۱	۵۲۰	۵۰۱/۴۶
Plastic Strain	۰	۰/۰۰۱۸۴۵	۰/۰۳۸۷۵	۰/۱۱	۰/۱۷

فونداسیون بتنی، از بتن CDP با مقاومت فشاری ۲۵ مگاپاسکال در آباکوس با خصوصیات زیر استفاده شده است:

جدول (۳) مشخصات فونداسیون بتنی CDP با استحکام فشاری ۲۵ مگاپاسکال در آباکوس

Mass Density (Kg/m ³)	Young's Modulus (Mpa)	Poisson's Ratio	Dilation Angle	Eccentricity	$\frac{f_{bo}}{f_{co}}$	K	Viscosity Parameter
۲۴۰۰	۲۳/۵	۰/۲	۳۰	۰/۱	۱/۱۶	۰/۶۶۷	۰/۰۰۱

جدول (۴) رفتار فشاری فونداسیون بتونی CDP با استحکام فشاری ۲۵ مگاپاسکال در آباکوس

(Mpa) Yield Stress	Inelastic Strain	(Mpa) Yield Stress	Inelastic Strain
۷/۵	۰	۱۶/۳۷	۰/۰۰۳۲
۱۵/۲۱	۰/۰۰۰۰۵۲	۱۵/۸۸	۰/۰۰۳۳
۱۹/۸۶	۰/۰۰۰۱۵	۱۵/۴۰	۰/۰۰۳۵
۲۲/۹۳	۰/۰۰۰۳۲	۱۴/۹۴	۰/۰۰۳۶
۲۴/۵۴	۰/۰۰۰۵۵	۱۴/۵۰	۰/۰۰۳۸
۲۵	۰/۰۰۰۸۳	۱۴/۰۸	۰/۰۰۳۹
۲۴/۸۱	۰/۰۰۰۹۶	۱۳/۶۷	۰/۰۰۴۰
۲۴/۵۲	۰/۰۰۱۰	۱۳/۲۸	۰/۰۰۴۲
۲۴/۱۴	۰/۰۰۱۲	۱۲/۹۱	۰/۰۰۴۳
۲۳/۶۸	۰/۰۰۱۳	۱۲/۵۵	۰/۰۰۴۴
۲۳/۱۷	۰/۰۰۱۵	۱۲/۲۰	۰/۰۰۴۶
۲۲/۶۲	۰/۰۰۱۶	۱۱/۸۷	۰/۰۰۴۷
۲۲/۰۵	۰/۰۰۱۸	۱۱/۵۵	۰/۰۰۴۸
۲۱/۴۶	۰/۰۰۱۹	۱۱/۲۴	۰/۰۰۵۰
۲۰/۸۶	۰/۰۰۲۰	۱۰/۹۵	۰/۰۰۵۱
۲۰/۲۷	۰/۰۰۲۲	۱۰/۶۶	۰/۰۰۵۲
۱۹/۶۷	۰/۰۰۲۳	۱۰/۳۹	۰/۰۰۵۴
۱۹/۰۹	۰/۰۰۲۵		
۱۸/۵۲	۰/۰۰۲۶		
۱۷/۹۶	۰/۰۰۲۸		
۱۷/۴۱	۰/۰۰۲۹		
۱۶/۸۸	۰/۰۰۳۱		

جدول (۵) رفتار کششی فونداسیون بتونی CDP با استحکام فشاری ۲۵ مگاپاسکال در آباکوس

Yield Stress (MPa)	۳/۱۵	۲/۰۸	۱/۷۰	۱/۴۹	۱/۳۵	۱/۲۴
Cracking Strain	۰	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۱۲

در ماژول Step به دو تحلیل زیر خواهیم پرداخت:

۲- تحلیل فرکانسی با انتخاب گزینه Frequency

۳- تحلیل مودال دینامیکی با انتخاب گزینه Modal Dynamics

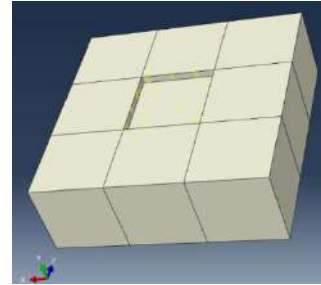
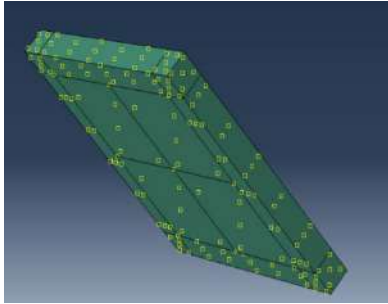
در مورد هر دو تحلیل بالا نیاز به اعمال اندرکنش ها در ماژول Interaction می باشد.

در آباکوس دو نوع اندرکنش قابل اعمال است:

۱- اندرکنش بین خاک و فونداسیون بتنی،

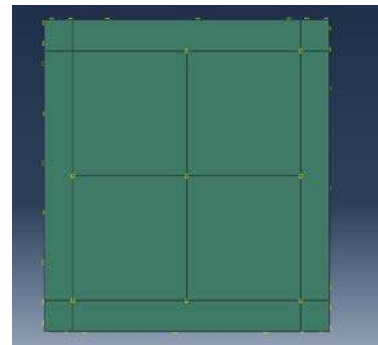
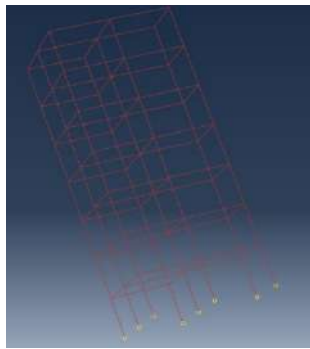
۲- اندرکنش بین ستون ها و فونداسیون بتنی،

در شکل (۷) اندرکنش خاک و فونداسیون بتونی در این ماژول تعریف شده است:



شکل (۷) تعریف اندرکنش بین خاک و فونداسیون بتنی

در شکل (۸) اندرکنش بین سازه و فونداسیون بتونی در آباکوس تعریف شده است:

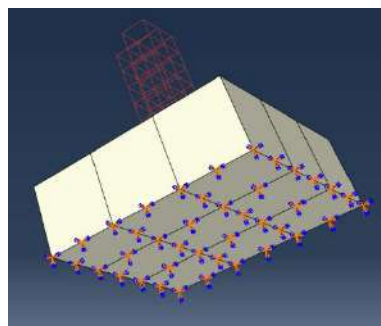


شکل (۸) تعریف اندرکنش بین خاک و فونداسیون بتنی

اندرکنش در ۷ نقطه که در شکل (۶) سمت راست وجود دارد در راستای ضخامت نیز در آباکوس لحاظ شده است. در خصوصیات رفتار مماسی اندرکنش، ضریب اصطکاک پنالتی، 0.33 در نظر گرفته شده و رفتار عمودی **Hard Contact** در نظر گرفته شده است.

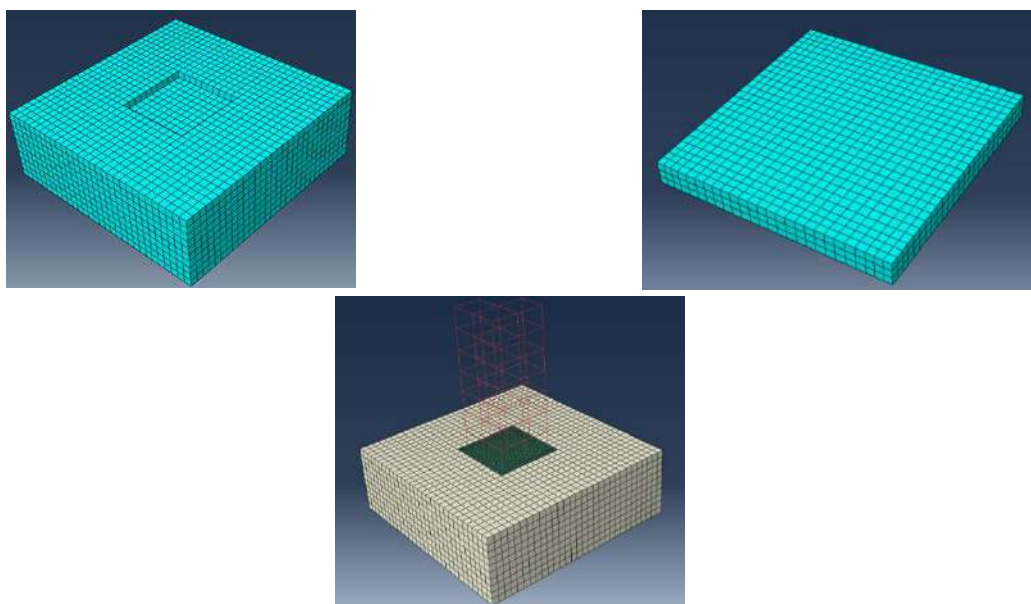
اکنون وارد ماژول **Load** شده و بارگذاری و شرایط مرزی بررسی می شوند.

شرایط مرزی در این ماژول مطابق شکل (۷) قابل تعریف کردن است. در شکل (۸) خاک، فونداسیون و شکل اسمبل شدن پس از مش زدن نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می شود مش ها نظم مناسبی دارند و مش زدن ستون و تیر با توجه به اینکه از با حالت **wire** کشیده شده اند بسیار مطلوب می باشد.



شکل (۹) شرایط مرزی گیردار انتهای خاک

در ماژول مش، می توان مش بندی را انجام داد و این موضوع با وسواس زیادی در آباکوس انجام شده است.



شکل (۱۰): مش خاک، فونداسیون و شکل مونتاژ شده در ماژول Mesh

۱- در تحلیل فرکانسی با انتخاب گزینه Frequency، در ماژول step فرکانس های طبیعی و مد شیپ ها را می توان به دست آورد. در این مسئله نمایش تعداد ۲۰ فرکانس طبیعی اول سازه انتخاب شده است. با توجه به در نظر گرفتن جرم موثر، ۶ مود اول حائز اهمیت هستند.

جدول (۶) جرم موثر

EFFECTIVE MASS						
MODE NO	X-COMPONENT	Y-COMPONENT	Z-COMPONENT	X-ROTATION	Y-ROTATION	Z-ROTATION
1	134.11	2.09039E-03	134.11	4.18455E+10	7.12002E-10	4.18455E+10
2	138.54	9.45543E-24	138.54	4.21238E+10	1.29472E+11	4.21238E+10
3	2.9793	7.11901E-26	2.9793	5.86839E+08	2.16673E+10	5.86839E+08
4	4038.5	8.71041E-05	4038.5	2.29395E+11	1.17505E-08	2.29395E+11
5	4030.8	3.10474E-19	4030.8	2.28419E+11	3.56603E+12	2.28419E+11
6	0.56934	1.02482E-17	0.56934	2.09707E+07	1.30387E+12	2.09707E+07
7	2.63582E-12	1.75991E-19	2.63630E-12	1.24956E-04	1.28162E-03	1.24600E-04
8	1.07305E-11	1.32287E-19	1.07314E-11	4.86529E-04	5.24347E-03	4.86921E-04
9	2.12272E-11	2.89033E-20	2.12246E-11	9.69214E-04	1.03848E-02	9.70093E-04
10	3.38559E-11	5.81376E-23	3.38693E-11	1.55726E-03	1.65993E-02	1.55644E-03
11	4.17428E-11	5.16855E-19	4.17266E-11	1.93533E-03	2.04841E-02	1.93824E-03
12	4.14490E-11	1.66125E-20	4.14420E-11	1.94010E-03	2.03768E-02	1.94102E-03
13	2.85907E-11	7.13556E-20	2.85893E-11	1.34822E-03	1.40733E-02	1.34887E-03
14	9.63569E-12	1.05117E-19	9.63528E-12	4.56584E-04	4.74598E-03	4.57063E-04
15	6.38215E-19	1.13816E-18	3.26330E-19	4.95582E-10	1.36330E-09	8.27285E-10
16	8.39945E-20	8.53190E-20	2.51848E-19	1.46607E-10	2.83810E-10	2.14417E-10
17	8.58204E-23	1.45713E-23	1.00940E-23	2.58183E-14	6.10242E-13	9.73259E-14
18	1.63061E-24	1.04666E-21	4.08924E-22	2.20303E-13	4.03010E-13	7.93748E-14
19	4.92494E-24	5.33208E-23	8.60307E-24	6.21685E-14	1.21097E-13	6.84068E-14
20	1.65815E-23	4.15573E-25	7.52142E-24	1.14018E-17	2.32486E-15	7.15667E-16
TOTAL	8345.5	2.17750E-03	8345.5	5.42391E+11	5.02104E+12	5.42391E+11

THE ANALYSIS HAS BEEN COMPLETED

با توجه به مقادیر جرم موثر ۶ مود اول مهم هستند و ما بقی مدها اهمیتی ندارند. با توجه به اینکه مولفه جرم موثر در جهت محور y بسیار کوچک است می توان جرم موثر را در ۶ حالت اول به صورت زیر محاسبه کرد:

با توجه به اینکه جرم کل ۱۰۹۲۷ کیلوگرم است و محور عمود y بر سطح است:

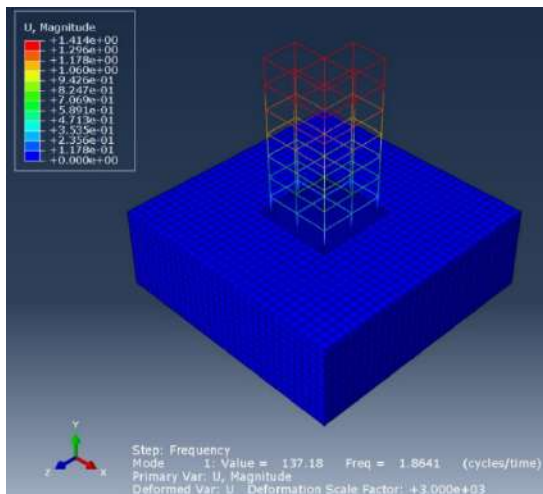
$$\text{Participation of Mass Percentage} = \frac{\sqrt{m_x^2 + m_z^2}}{m_{total}} \times 100 \quad (1)$$

در جدول (۷) درصد مشارکت جرمی در ۶ مود اول حساب شده اند:

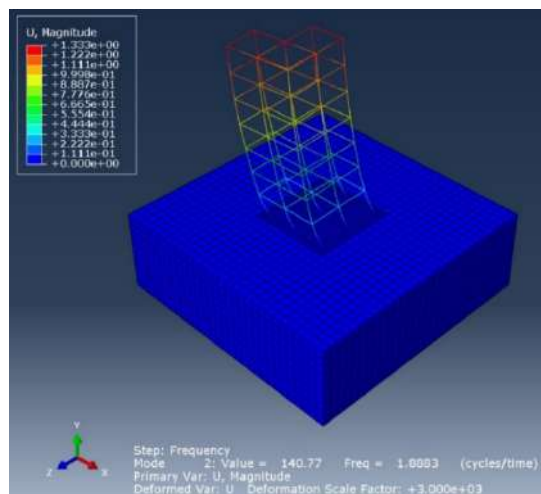
جدول (۷) درصد مشارکت جرمی

مود	۱	۲	۳	۴	۵	۶
درصد مشارکت جرمی	۱/۷۳	۱/۷۹	۰/۰۳۸	۵۲/۲۶	۵۲/۱۶	۰/۰۰۷۴

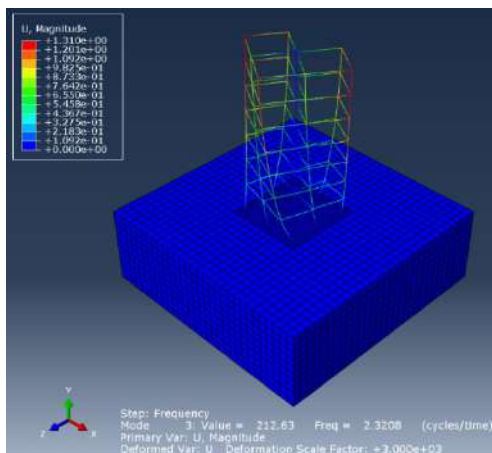
همانطور که مشاهده می شود مود چهارم از همه مهم تر می باشد. در شکل (۱۱) ۶ مود اول نمایش داده شده اند، توجه شود که جهت نمایش واضح تر مودها مقیاس ۳۰۰۰ در نظر گرفته شده است.



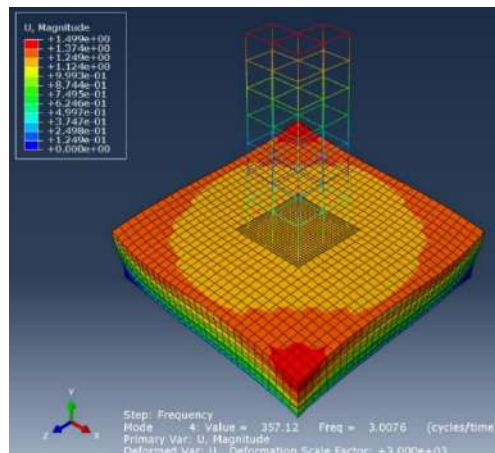
نمایش مود اول



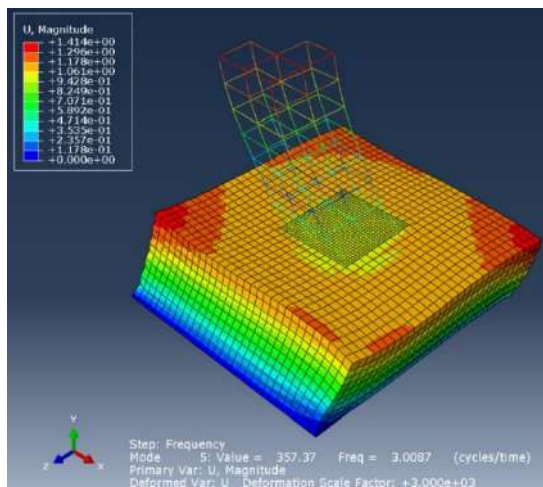
نمایش مود دوم



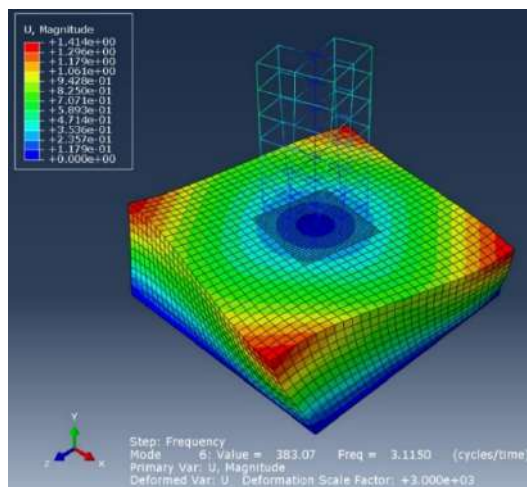
نمایش مود سوم



نمایش مود چهارم



نمایش مود پنجم



نمایش مود ششم

شکل (۱۱) نمایش ۶ مود اول

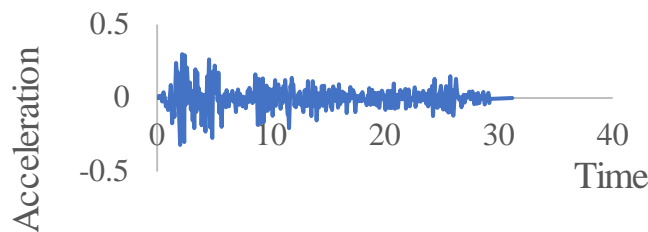
در جدول (۸) فرکانس های طبیعی در ۶ مود اول با واحد هرتز نشان داده شده اند.

جدول (۸) فرکانس های طبیعی

مود	۱	۲	۳	۴	۵	۶
فرکانس طبیعی (هرتز)	۱/۸۶۴۱	۱/۸۸۸۳	۲/۳۲۰۸	۳/۰۰۷۶	۳/۰۰۸۷	۳/۱۱۵۰

۲- تحلیل مودال دینامیکی با انتخاب حلگر Modal Dynamics

بعد از حل مساله در ماژول Frequency و به دست آوردن فرکانس های طبیعی، می توان از ماژول Modal Dynamics استفاده کرد و شتاب نگاشت دلخواه را اعمال کرد. در این پایان نامه در قسمت Amplitude زلزله ال سنتر و وارد شده است. این زلزله در شکل (۱۲) قابل مشاهده است:



شکل (۱۲) شتاب نگاشت زلزله ال سنتر و

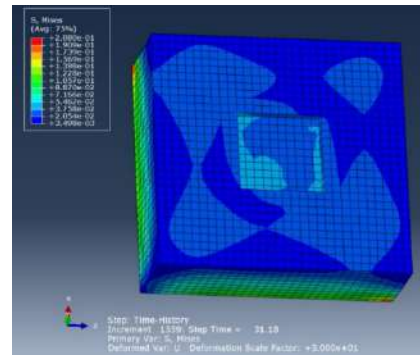
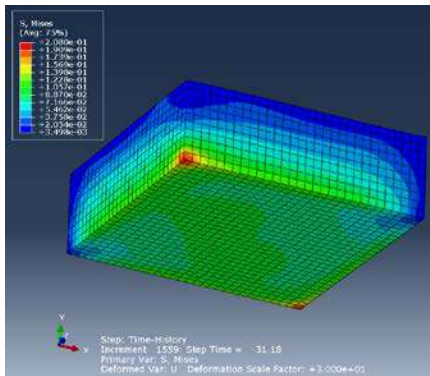
سپس در ماژول Step، گزینه Modal Dynamics را انتخاب می کنیم و وروی های زیر را در این Step مطابق جدول (۸) وارد می کنیم:

جدول (۸) ورودی های حلگر در آباکوس

Time Period	Time Increment	Start Mode	End Mode	Critical Damping Fraction
۳۱/۱۸	۰/۰۲	۴	۴	۰/۰۵

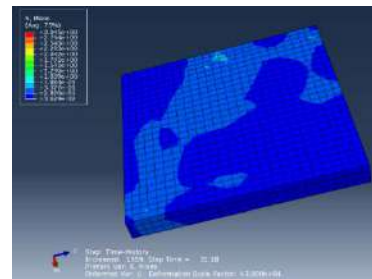
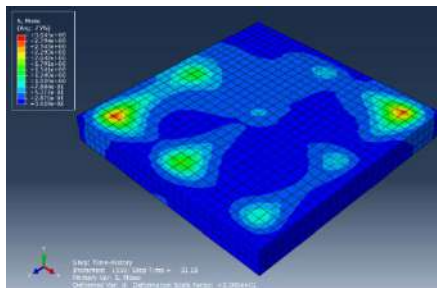
اکنون در ماژول Load و سربرگ شرایط مرزی، گزینه Step تعریف شده است که در آن Modal Dynamics را انتخاب نموده و در حالت Mechanical گزینه Acceleration Base Motion را انتخاب می کنیم. در این پنجره از طریق Amplitude شتاب ال سنتر و وارد کرده و با توجه به دستگاه مختصات انتخابی این زلزله را در جهت z اعمال می کنیم. اکنون مساله در ماژول Job قابل حل است.

پس از حل، همانطور که مشاهده می شود در شکل (۱۳) توزیع تنش ون مایز در خاک قابل مشاهده است. در طبقه های زیرین خاک بیشترین مقدار تنش مشاهده می شود به قسمی که در دو گوشه نمایش داده شده تنش ون مایز قرمز رنگ بوده و بیشترین مقدار خود را دارد.

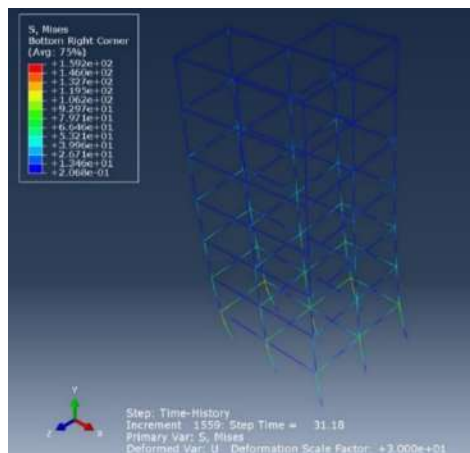


شکل (۱۳) توزیع تنش ون مایز در خاک

در قسمتی از خاک که فونداسیون وجود دارد نیز توزیع تنش در اثر اندرکنش بین خاک و فونداسیون بتنی نشان داده شده است. در شکل (۱۴)، توزیع تنش ون مایز در فونداسیون بتنی نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می شود در دو گوشه با رنگ قرمز بیشترین مقدار تنش وجود دارد.



شکل (۱۴) توزیع تنش ون مایز در فونداسیون بتنی

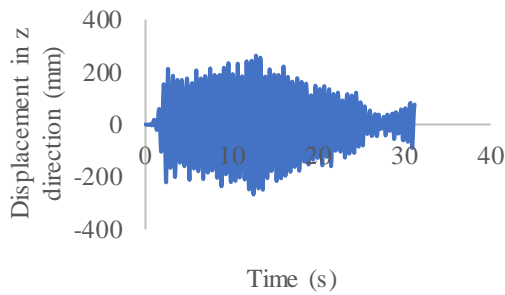


شکل (۱۵) توزیع تنش در سازه ۷ طبقه

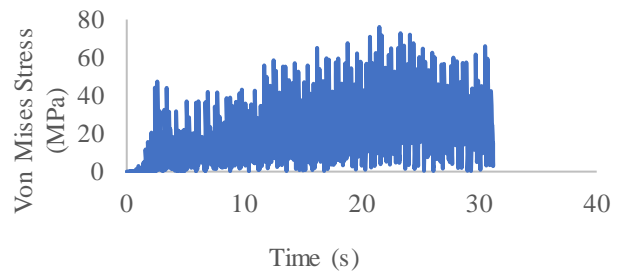
در شکل (۱۵) سازه نمایش داده شده است و بیشترین مقدار تنش ون مایز در پایین ترین طبقات مشاهده می شود. رسم نمودارهای خروجی ها مساله:

۱- بررسی بالاترین نقطه سازه:

زلزله به صورت شتاب نگاشت در جهن محور z اعمال شده است لذا می توان تغییر مکان بالاترین نقطه سازه را در راستای z بر حسب زمان مشاهده کرد و نظر داد که آیا این دریفیت در ناحیه مجاز قرار دارد یا خیر.

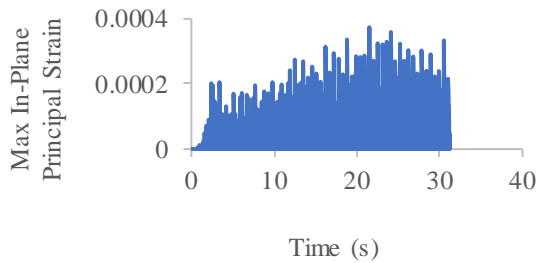


شکل (۱۶) تغییر مکان در جهت زلزله بالاترین نقطه سازه

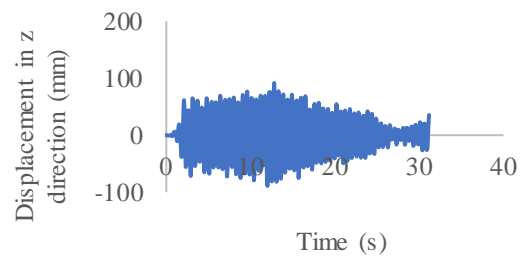


شکل (۱۷) تنش ون مایز بر حسب زمان

همانطور که مشاهده می شود ماکزیمم این دررفت در بالاترین نقطه سازه حدود ۲۵۰ میلیمتر است. در ادامه تنش تغییرات تنش ون مایزر را در این نقطه و در شکل (۱۷) مشاهده می کنیم که بین ۰ تا حدود ۷۰ مگاپاسکال بر حسب زمان در طول زلزله تغییر می کند. در شکل (۱۸)، تغییرات ماکزیمم کرنش درون صفحه ای اصلی بر حسب زمان مشاهده می شود. این تغییرات کمتر از ۰/۰۰۰۴ می باشند.



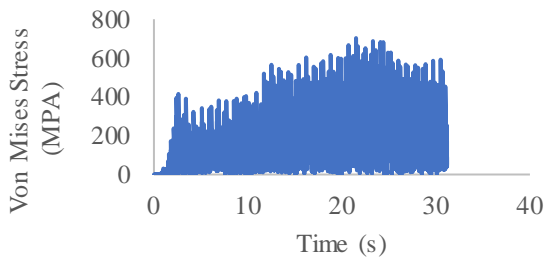
شکل (۱۸) نمودار ماکزیمم کرنش صفحه ای اصلی بر حسب زمان



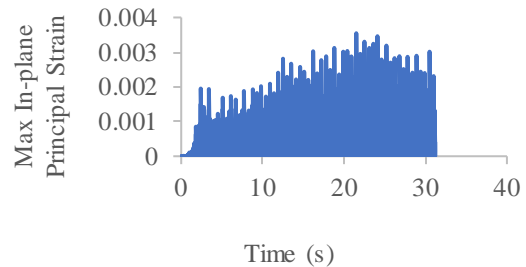
شکل (۱۹) تغییر مکان در جهت زلزله بالاترین نقطه سازه

۲- بررسی بحرانی ترین نقطه سازه در طبقه اول:

در شکل (۱۵) مشاهده می شود که بحرانی ترین نقطه سازه در کف طبقه اول وجود دارد. اکنون تغییرات جابه جایی در راستای اعمال زلزله (دررفت در جهت Z) در این نقطه مورد بررسی قرار می گیرد، شکل (۱۹): همانطور که مشاهده می شود ماکزیمم این دررفت حدود ۱۰۰ میلیمتر است که در مقایسه با بالاترین نقطه کمتر می باشد.



شکل (۲۰) تنش ون مایزر بر حسب زمان

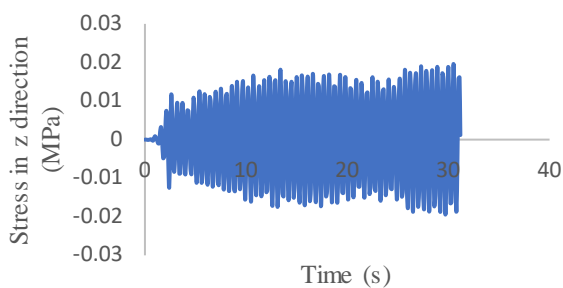


شکل (۲۱) نمودار ماکزیمم کرنش صفحه ای اصلی بر حسب زمان

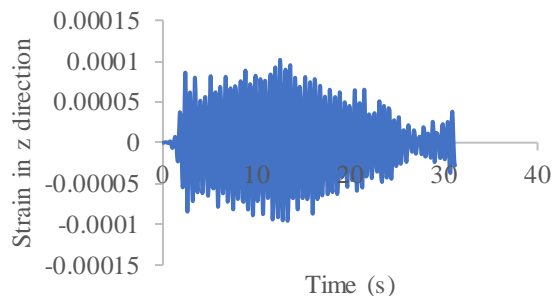
در شکل (۲)، تغییرات تنش ون مایزر بر حسب زمان در این نقطه بررسی شده است. ماکزیمم تنش ون مایزر حدود ۷۰۰ مگاپاسکال است که در مقایسه با حالت قبل بسیار بیشتر می باشد.

۳- بررسی اندرکنش خاک و پی

اکنون تماس بین خاک و فونداسیون بررسی می شود، بدین منظور برای المانی در قسمتی از خاک که فونداسیون روی آن قرار دارد تغییرات تنش در جهت محور Z (نسبت به زلزله) نسبت به زمان رسم شده است که ماکزیمم آن حدود ۰/۰۲ می باشد، شکل (۲۲):



شکل (۲۲) تغییرات تنش در جهت اعمال زلزله نسبت به زمان



شکل (۲۳) تغییرات تنش در جهت اعمال زلزله نسبت به زمان

در شکل (۲۳)، تغییرات کرنش در جهت محور Z نسبت به زمان رسم شده است و ماکزیمم آن کمتر از ۰/۰۰۰۱ می باشد.