

اثر اندرکنش خاک-سازه در رفتار لرزه‌ای مجموعه سازه پدستال آنتن‌های بشقابی بزرگ

بهادر پورحاتمی^۱، سید محمود حسینی^{۲*}، امیر محمودزاده^۳

۱- کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، سازمان فضائی، تهران، ایران
 ۲- دانشیار، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران
 ۳- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

چکیده

با توجه به پیشرفت روزافزون فناوری فضایی در سطح جهان و نیز کشور ایران، طراحی و بهره‌برداری از تجهیزات مخابراتی جهت ارسال و دریافت اطلاعات در ایستگاه‌های زمینی مربوطه دارای اهمیت بسزایی می‌باشد. با پیشرفت هر چه بیشتر علوم مرتبط با فناوری فضایی از جمله مهندسی مخابرات و باتوجه به حساسیت بسیار زیاد آنتن‌های بشقابی مورد استفاده در این خصوص، لازم است طراحی مربوط به سازه‌های مرتبط با این حوزه با دقت بیشتری نسبت به گذشته در دستور کار قرار گیرد. تاکنون در کشور بررسی و پژوهش مشخصی در خصوص این موضوع، خصوصاً تاثیر اندرکنش خاک-سازه جهت بررسی رفتار لرزه‌ای و نیز جابه‌جایی مجاز برای سازه‌های مربوط به آنتن‌های بشقابی بزرگ و نحوه صحیح محاسبه و اعمال بارهای گوناگون به سازه انجام نشده است؛ لذا در پژوهش حاضر که با هدف بررسی تاثیر اندرکنش خاک-سازه در رفتار لرزه‌ای مجموعه سازه پدستال صورت گرفته، پس از محاسبه جابه‌جایی قابل قبول برای یک نمونه عملیاتی از آنتن‌های مخابراتی (مهمترین عامل در بررسی عملکرد مناسب مجموعه سازه پدستال برای آنتن) در ابتدا در قالب مدل‌سازی همزمان مجموعه سازه پدستال آنتن و پی، با لحاظ نمودن اندرکنش خاک-سازه و نیز اعمال بارگذاری مربوطه به مجموعه سازه، جابه‌جایی حاصل شده در دو حالت عملیاتی و دوام، استخراج و در ادامه میزان اختلاف جابه‌جایی در حالات مذکور با جابه‌جایی حاصل از مدل‌سازی پدستال آنتن بدون در نظر گرفتن اندرکنش خاک-سازه مقایسه شده است. در نهایت با توجه به نتایج حاصله از مدل‌سازی‌های انجام شده مشخص می‌گردد که اعمال اندرکنش خاک-سازه در حالت دوام بیش از ۵۰ درصد و در حالت عملیاتی بیش از ۵۰۰ درصد در جابه‌جایی اثرگذار می‌باشد.

کلمات کلیدی: آنتن مخابراتی، پدستال، سازه حساس، جابه‌جایی مجاز، اندرکنش خاک-سازه.

* نویسنده مسئول: سید محمود حسینی

پست الکترونیکی: hosseini@iiees.ac.ir

DOI: 10.22065/jsce.2017.78895.1103

شناسه دیجیتال

<http://dx.doi.org/10.22065/jsce.2017.78895.1103>

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۰۹، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۴/۱۰

۱- مقدمه

در این پژوهش با توجه به این که در ماموریت‌های هدایت و کنترل، پایش سرویس، اخذ تصاویر و داده‌های ماهواره‌ای عموماً بیشینه قطر مربوط به آنتن‌ها برابر ۱۰ متر می‌باشد؛ سازه پدستال منعکس کننده آنتن و نیز سازه نگهدارنده پدستال مربوط به یک آنتن بشقابی متحرک، با قطر منعکس کننده ۸٫۲۱ متر، در باند X، جهت استقرار در جنوب کشور، با لحاظ نمودن بارهای وارد بر مجموعه سامانه مدل‌سازی شده و تحت بررسی قرار می‌گیرد. همچنین پی و اثر اندرکنش خاک-سازه به صورت همزمان با مجموعه‌ی مذکور، مدل‌سازی شده و پاسخ‌های لرزه‌ای مربوطه بررسی خواهد شد. مهمترین کار پس از انجام طراحی، کنترل جابه‌جایی می‌باشد که برای آنتن‌های مخابراتی در هر دو حالت دوام و عملیاتی صورت می‌گیرد. مجموعه سازه پدستال آنتن‌ها شامل دو قست، تحت عناوین سازه پدستال منعکس کننده آنتن و سازه نگهدارنده پدستال می‌باشد که در پژوهش حاضر به اختصار به موارد مذکور، مجموعه سازه پدستال آنتن گفته می‌شود. سازه نگهدارنده مربوط به استقرار پدستال آنتن‌های بشقابی به دو گروه تحت نام‌های تک منظوره و چند منظوره تقسیم می‌شوند. سازه‌های چند منظوره عموماً جهت استقرار آنتن‌های با قطر کمتر از ۴٫۵ متر بوده و مطابق با شکل ۱ می‌باشند. سازه‌های تک منظوره (شکل‌های ۲ و ۳) جهت استقرار آنتن‌های با قطر بیش از ۵ متر بوده و عموماً به شکل یک استوانه و یا اتافک هستند که سازه پدستال آنتن بر روی آن نصب می‌گردد. با توجه به قرار داشتن مجموعه‌ای از تجهیزات مکانیکی در داخل سازه پدستال آنتن، جنس آن در اغلب موارد از فولاد است (در برخی مواقع از سایر فلزات) ولی سازه‌های نگهدارنده پدستال آنتن می‌توانند فولادی و یا بتنی باشند. در پژوهش حاضر با توجه به ضوابط مربوط به کنترل جابه‌جایی مجاز که ذکر خواهند شد؛ بررسی قیاسی مربوط به پاسخ‌های لرزه‌ای سازه پدستال آنتن‌های بشقابی در مدل‌سازی همزمان و غیر همزمان سازه و پی با لحاظ نمودن اندرکنش خاک-سازه بر روی نمونه مطالعاتی ذکر شده با استفاده از نرم‌افزار SAP2000 نسخه 17.3 صورت گرفته و در نهایت با توجه به نتایج حاصل شده لزوم طراحی و تحلیل سازه با توجه به ضوابط و معیارهای استفاده شده در این پژوهش مشخص شده است.



شکل ۱: سکوی چند منظوره جهت استقرار پدستال آنتن.

۲- پیشینه پژوهش و مبانی نظری

۲-۱- پیشینه پژوهش

با توجه به اهمیت بررسی رفتار لرزه‌ای سازه‌های آنتن‌های بزرگ، تنها واکاوی بین‌المللی صورت گرفته که در دسترس می‌باشد تحلیل لرزه‌ای صورت گرفته بر روی یک آنتن ۷۰ متری است. در قسمت اول جنبه‌های ایمنی سازه آنتن بررسی شده است. بر اساس مطالب ذکر شده در مقاله مذکور رویکرد اول که به صورت رایج توسط مهندسين عمران استفاده می‌شود استفاده از طیف پاسخ طرح بوده و رویکرد دوم تحلیل تاریخچه زمانی می‌باشد. در نهایت نتایج حاصله نشان‌دهنده تطابق قابل ملاحظه نتایج هر دو رویکرد است [۱]. در قسمت دوم این مقاله بر اساس توابع میرایی و تحلیل دینامیکی میزان جابه‌جایی در مودهای مختلف بررسی شده و در پایان با توجه به متفاوت بودن پتانسیل لرزه‌خیزی مناطق مختلف بیان می‌دارد که بررسی موردی دقیق برای تمامی سازه‌های مشابه لازم است صورت پذیرد [۲]؛ اما در عرصه داخلی تاکنون پژوهشی در این خصوص به صورت مشخص صورت نگرفته است.

۲-۲- مبانی نظری

۲-۲-۱- تقسیم‌بندی آنتن‌ها بر اساس مکانیزم حرکتی پدستال

پدستال‌های مربوط به آنتن‌های بشقابی مورد بحث در این پژوهش به دو دسته ثابت و متحرک تقسیم می‌شوند که به اختصار به آنها آنتن‌های ثابت و متحرک (موتوردار) گفته می‌شود. آنتن‌های ثابت همانگونه که در شکل ۲، نشان داده شده است؛ شامل منعکس کننده آنتن و پدستال هستند که اعضایی به شکل هندل دستی و یا یک گرداننده الکتریکی کوچک در قسمت پدستال قرار گرفته است و امکان تنظیم آنتن در جهت مورد نیاز، در راستای قائم و یا در صفحه آزیموت را میسر می‌سازد.



شکل ۲: آنتن بشقابی ثابت.

آنتن‌های موتوردار (متحرک) دارای قسمت‌هایی همانند آنتن‌های ثابت هستند؛ با این تفاوت که در داخل سازه پدستال دارای مجموعه‌ای از موتورها، جعبه دنده و غیره می‌باشند. اجزای مذکور به منظور ایجاد امکان رهگیری ماهواره توسط آنتن در زمان عبور ماهواره از محدوده دید آنتن می‌باشند که در طول این زمان، آنتن با سرعت زاویه‌ای ثابت، در راستای قائم و نیز در صفحه آزیموت زاویه‌ای در حدود

۳۶۰ درجه را طی و اطلاعات را از ماهواره اخذ و یا به آن ارسال می‌نماید. با توجه به این که در داخل سازه پدستال آنتن‌های متحرک (موتوردار) مجموعه‌ای از اجزاء مکانیکی قرار گرفته‌اند، جرم این نوع از آنتن‌ها در مقایسه با آنتن‌های ثابت (با فرض برابر بودن قطر آنتن در هر دو نوع) به دلیل وجود مجموعه مکانیکی مذکور به مراتب بیشتر می‌باشد. در شکل ۳، یک نمونه از این گروه نشان داده شده است.



شکل ۲: آنتن بشقابی موتوردار

۲-۲-۲- اثرات اندرکنش خاک-سازه

اندرکنش لرزه‌ای خاک-سازه می‌تواند بر نیروهای وارد بر سازه و عملکرد سازه‌ای آن موثر باشد. در صورتی که سازه دارای پی گسترده یا عمیق بوده و در عمقی از سطح زمین قرار گیرد و ابعاد سازه و پی آن به میزانی باشد که انتشار و بازگشت موج زلزله از بدنه سازه به داخل خاک، با توجه به سختی نسبی سازه و خاک پی امکان‌پذیر باشد؛ می‌توان با استفاده از روش‌های مناسب اندرکنش لرزه‌ای خاک-سازه را در نظر گرفت.

اثرات اندرکنش خاک-سازه عموماً به سه گروه اصلی به شرح ذیل طبقه‌بندی می‌شوند.

- افزایش پریرود اصلی سیستم خاک و سازه (که بر خاک انعطاف‌پذیر و نرم ساخته شده باشد).
 - تغییر (معمولاً افزایش) در میرایی مؤثر سیستم خاک و سازه (که وابسته به ظرفیت جذب و استهلاک انرژی در خاک زیرین سازه و میرایی مصالح و تشعشعی است).
 - تغییر در آن دسته از پاسخ‌های لرزه‌ای سیستم که مستقیم یا غیر مستقیم وابسته به دو آیتهم فوق هستند؛ مانند تغییرات برش پایه و تغییر در نیروی درونی اعضا و جابه‌جایی‌ها.
- نمود این اثرات معمولاً هنگامی بیشتر است که پاسخ لرزه‌ای دو سازه را، یکی با پایه گیردار و دیگری با تکیه‌گاه دارای رفتار ارتجاعی در تراز پایه سازه، مقایسه کرده باشیم.

۲-۲-۳- پهنای پرتو آنتن

گلبرگ اصلی الگوی تشعشی آنتن را بیم آنتن گویند که ارسال و یا دریافت داده‌ها توسط آنتن، متأثر از این این مشخصه می‌باشد. الگوی تشعشی، مشخصه ذاتی هر آنتن است که رابطه مستقیم با هندسه و شرایط فیزیکی آن آنتن دارد [۳]. شایان ذکر است در صورت بروز هرگونه ارتعاش تعریف نشده برای سامانه به دلیل اختلال در نشانه‌روی آنتن، در دریافت و یا ارسال داده اختلال صورت می‌گیرد.

۲-۲-۴- جابه‌جایی مجاز

جابه‌جایی مجاز برای آنتن‌های مخابراتی شامل جابه‌جایی مجاز سامانه در حالت عملیاتی و جابه‌جایی مجاز در حالت دوام می‌باشد. در کنترل جابه‌جایی سازه در شرایط دوام، میزان زاویه انحراف در راس سازه نسبت به راستای قائم نباید از ۰٫۲۵ درجه فزونی یابد [۴] و [۵]. کنترل جابه‌جایی در شرایط عملیاتی می‌باید بر اساس پهنای پرتو صورت پذیرد. میزان این جابه‌جایی با توجه به طراحی سامانه (قطر آنتن، فرکانس کاری و راندمان آنتن) بین $\theta/5$ تا $\theta/10$ می‌باشد. θ پهنای پرتو آنتن و بر حسب درجه می‌باشد [۶] و [۷].

در کنترل جابه‌جایی در شرایط عملیاتی، ترکیبات بار دارای بار برف و باران در نظر گرفته نمی‌شوند. همچنین با توجه به تعریف دو نوع سرعت باد (عملیاتی و دوام) برای سامانه، محاسبات مربوط به برآورد بار حاصل از هر کدام به صورت مجزا صورت گرفته و در نهایت جابه‌جایی مربوط به هر کدام کنترل خواهد شد.

۲-۲-۵- روش طراحی و آیین‌نامه‌های مورد استفاده در طراحی و بارگذاری

روش طراحی مورد استفاده، حالات حدی و یا ضرایب بار و مقاومت (LRFD) می‌باشد [۷]. آیین‌نامه‌های مورد استفاده برای طراحی در این پژوهش به شرح ذیل می‌باشند [۸]، [۹]، [۱۰] و [۱۱].

- آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش ۴
 - دفتر مقررات ملی ساختمان ایران مبحث ششم بارهای وارد بر ساختمان، ویرایش ۱۳۹۲
 - مقررات ملی ساختمان ایران مبحث دهم طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی، ویرایش ۱۳۹۲
- ACI 318-14

۳- مدلسازی و تحلیل

۳-۱- ملاحظات و نحوه بارگذاری

۱- با توجه به مطالب ذیل می‌باید در بارگذاری زلزله، صد درصد نیروی زلزله در هر امتداد را با سی درصد نیروی زلزله در امتداد عمود بر آن ترکیب نمود. همچنین لازم است اثر مولفه قائم شتاب زلزله در طراحی لحاظ گردد [۹].

- با توجه به نحوه قرار گیری آنتن در حالت پارک و استمرار طولانی مدت این شرایط در طول شبانه روز و با توجه به اختلاف قابل ملاحظه سطح مقطع سازه نگهدارنده آنتن و سطح مقطع منعکس کننده آنتن که همانند پس‌رفتگی همزمان در دو جهت می‌باشد، سازه دارای نامنظمی در پلان می‌باشد.

- با توجه به جرم بسیار زیاد مجموعه آنتن (اختلاف ۵۰ درصدی توزیع جرم هر طبقه با جرم‌های طبقه مجاور)، سازه دارای نامنظمی جرمی در ارتفاع می‌باشد.
- ۲- سازه‌ها و کلیه اجزاء آنها می‌باید برای اثر ناشی از باد، طراحی شوند. این اثر باید با توجه به سرعت باد تعریف شده برای سامانه در حالت‌های عملیاتی و دوام محاسبه شود. نحوه اعمال صحیح بار باد به شرح ذیل می‌باشد.
- بار باد در تمامی جهات در دو حالت ذیل می‌باید به سازه اعمال شود.
- الف- بار باد محاسبه شده، هم در حالت رو به باد و هم در حالت پشت به باد و نیز مکش و فشار داخلی، مطابق با روابط ۱ و ۲ محاسبه و به سازه پدستال اعمال می‌گردد.

$$p_i p_i \frac{\left(\pi \left(\frac{D_D + D_U}{2}\right) h\right)}{2} \quad (1)$$

$$p_i \frac{(\pi D_U^2)}{4} \quad (2)$$

در روابط ۱ و ۲ (p) فشار خارجی باد، (p_i) فشار داخلی باد، (D_D) قطر مقطع پایین سازه (پدستال)، (D_U) قطر مقطع بالای سازه (پدستال) و (h) ارتفاع کل سازه می‌باشد.

ب- بار باد محاسبه شده، هم در حالت رو به باد و هم در حالت پشت به باد، مطابق با رابطه ۳ به فوقانی‌ترین قسمت مجموعه (محل نصب منعکس کننده آنتن) اعمال می‌گردد.

$$p \left(\frac{\pi D^2}{4}\right) \quad (3)$$

در رابطه ۳ (D) قطر منعکس کننده آنتن می‌باشد.

- گشتاور حاصل از بار باد به فوقانی‌ترین قسمت مجموعه (محل نصب منعکس کننده آنتن) اعمال می‌گردد.

۳- بار حاصل از جرم سامانه (آنتن و ملحقات پدستال) به عنوان بار مرده در نظر گرفته می‌شود.

۴- همانگونه که در شکل ۴ مشخص است؛ بر روی سطح منعکس کننده برخی از آنتن‌ها یک حفره زهکش تعبیه شده است و برخی دیگر فاقد این حفره هستند. با توجه به امکان مسدود شدن حفره زهکش لازم است بار حاصل از انباشت آب باران در سطح منعکس کننده آنتن، در طراحی لحاظ گردد.



شکل ۴: حفره زهکش سطح منعکس کننده.

۵- میزان اختلاف گرمترین و سردترین دمای سال (ΔT) به عنوان بار تغییرات درجه حرارت، به مجموعه سازه اعمال می‌گردد.

۲-۳- مشخصات کلی سازه

سازه مد نظر شامل سازه بتنی نگهدارنده پدستال آنتن و سازه فولادی پدستال منعکس کننده آنتن می‌باشد. جرم منعکس کننده آنتن به انضمام سازه (خرپا) نگهدارنده و وزنه‌های تعادلی برابر ۵ تن و جرم سازه و ملحقات پدستال نگهدارنده آنتن برابر ۱۳ تن می‌باشد.

۳-۳- مشخصات مدل

ابعاد سازه و مشخصات مصالح استفاده شده در مدل سازی به شرح ذیل می‌باشند.

- قطر سطح مقطع و ضخامت دیواره سازه بتنی نگهدارنده پدستال آنتن: ۴ متر - ۵۵ سانتیمتر

- ارتفاع سازه بتنی نگهدارنده پدستال آنتن: ۶ متر

- قطر سطح مقطع و ضخامت دیواره سازه فولادی پدستال آنتن: ۱,۵ متر - ۳ سانتیمتر

- ارتفاع سازه فولادی پدستال آنتن: ۲,۵ متر

- مقاومت فشاری بتن: ۳۵۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع

- میلگرد مصرفی: AIII

- فولاد مصرفی برای سازه پدستال آنتن: ST-52

- ابعاد و شکل پی: ۸ ضلعی (۴ ضلع ۳ متر و ۴ ضلع ۲,۱۲ متر)

- عمق پی: ۲ متر

- ابعاد بازشو در سازه نگهدارنده پدستال: ارتفاع برابر ۲ متر و عرض ۱,۲۵ متر
- ارتفاع مرکز منعکس کننده آنتن از تراز زمین: ۹ متر

۳-۴- محاسبات و ورودی‌های نرم افزار

محل ایستگاه نصب سامانه در جنوب کشور ایران و زمین آن تیپ III در نظر گرفته شده است و سرعت باد تعریف شده برای سامانه در حالت‌های عملیاتی و دوام به ترتیب عبارت‌اند از ۷۵ و ۱۵۰ کیلومتر در ساعت.

$$A = 0.3 \quad I = 1.4 \quad R_u = 2.5$$

$$T = 0.05H^{0.75} \rightarrow T = 0.05 \times 10^{0.75} = 0.281 \quad T_0 < T < T_s \rightarrow B_1 = S + 1 \quad N = 1$$

$$\rightarrow B_1 = 1.75 + 1 = 2.75$$

$$B = B_1 N \rightarrow B = 2.75 \quad C = \frac{ABI}{R_u} \rightarrow C = 0.462T < 5 \text{ sec} \rightarrow K = 1$$

$$D = 18 \text{Tonf} \quad R = 25 \text{Tonf} \quad D_{total} = 33 \text{Tonf}$$

$$W_p = D + R = 33 + 25 = 58 \text{Tonf} \quad F_v = 0.6AIW_p = 0.6 \times 0.3 \times 1.4 \times 58000 = 14616 \text{kgf}$$

$$I_w = 1.25$$

$$\text{حالت دوام } q = 1.38 \frac{kN}{m^2} \quad \text{حالت عملیاتی } q = 0.344 \frac{kN}{m^2}$$

$$C_e = \left(\frac{h}{10}\right)^{0.2} \cong 1 \quad C_g = 2.0 \quad C_p = 1.5 \text{ و } 0.7 \text{ و } 0.45$$

$$p = I_w q C_e C_g C_p \rightarrow \text{رو به باد عملیاتی } p = 129 \frac{kg}{m^2}$$

$$p_{i-Pedestal} = 39 \frac{kg}{m^2} \text{ مکش - عملیاتی و } p = 64.5 \frac{kg}{m^2} \text{ پشت به باد عملیاتی}$$

$$p_{i-Pedestal} = 155.25 \frac{kg}{m^2} \text{ مکش - دوام و } p = 258.75 \frac{kg}{m^2} \text{ پشت به باد دوام و } p = 517.5 \frac{kg}{m^2} \text{ رو به باد دوام}$$

$$WLOAD = 5012 \text{kgf} \text{ رو به باد : سازه نگهدارنده پدستال و آنتن - عملیاتی} \rightarrow \frac{p \left(\pi \left(\frac{D_D + D_U}{2} \right) h \right)}{2} \text{ سازه}$$

$$WLOAD = 69 \text{kgf} \text{ مکش و } WLOAD = 1469 \text{kgf} \text{ مکش و } WLOAD = 2506 \text{kgf} \text{ پشت به باد}$$

$$WLOAD = 20108 \text{kgf} \text{ رو به باد : سازه پدستال نگهدارنده و آنتن - دوام}$$

$$WLOAD = 274 \text{kgf} \text{ مکش , } WLOAD = 5849 \text{kgf} \text{ مکش و } WLOAD = 10054 \text{kgf} \text{ پشت به باد}$$

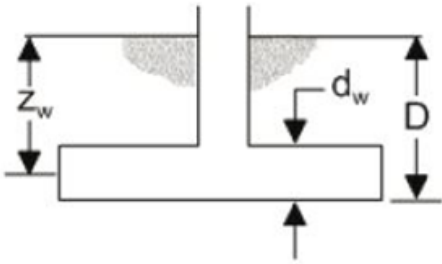
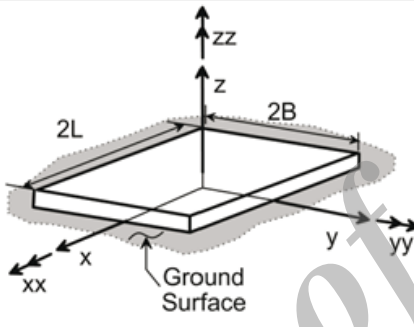
$$WLOAD = 27315 \text{kgf} \text{ رو به باد : حالت دوام آنتن} \rightarrow p \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) \text{ آنتن}$$

$$M_{Antenna} = 40972 \times 9 = 368748 \text{kgf.m} \text{ و } WLOAD = 13657 \text{kgf} \text{ پشت به باد}$$

$$WLOAD = 3404 \text{kgf} \text{ پشت به باد و } WLOAD = 6809 \text{kgf} \text{ رو به باد : حالت عملیاتی آنتن}$$

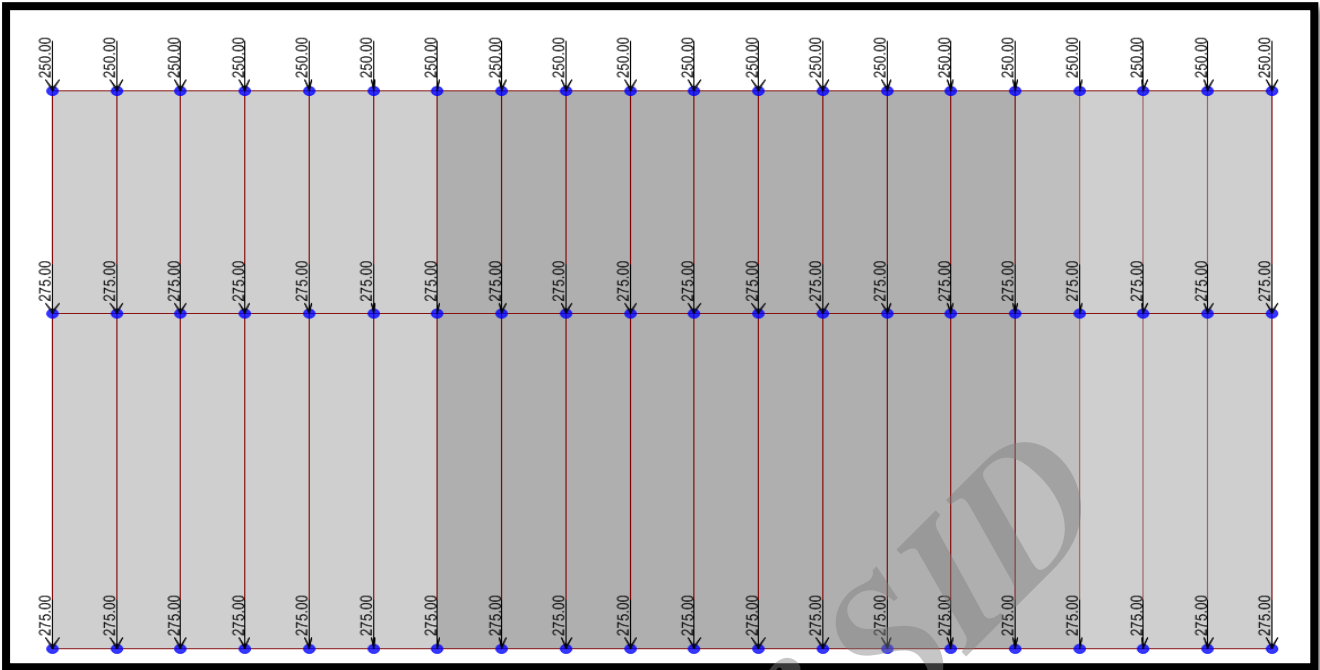
$$M_{Antenna} = 10213 \times 9 = 91917 \text{kgf.m} \text{ و } \Delta T = 40^\circ$$

محاسبات صورت گرفته با استفاده از روش تک فنر خطی برای اثر اندرکنش خاک-سازه در شکل ۵ نشان داده شده است [۱۳]. با توجه به عدم در اختیار بودن اطلاعات کامل مربوط به مکانیک خاک، محاسبات برای یک نمونه معمول صورت گرفته و در نرم افزار SAP2000 نیز به صورت فنر خطی منظور گردیده است.

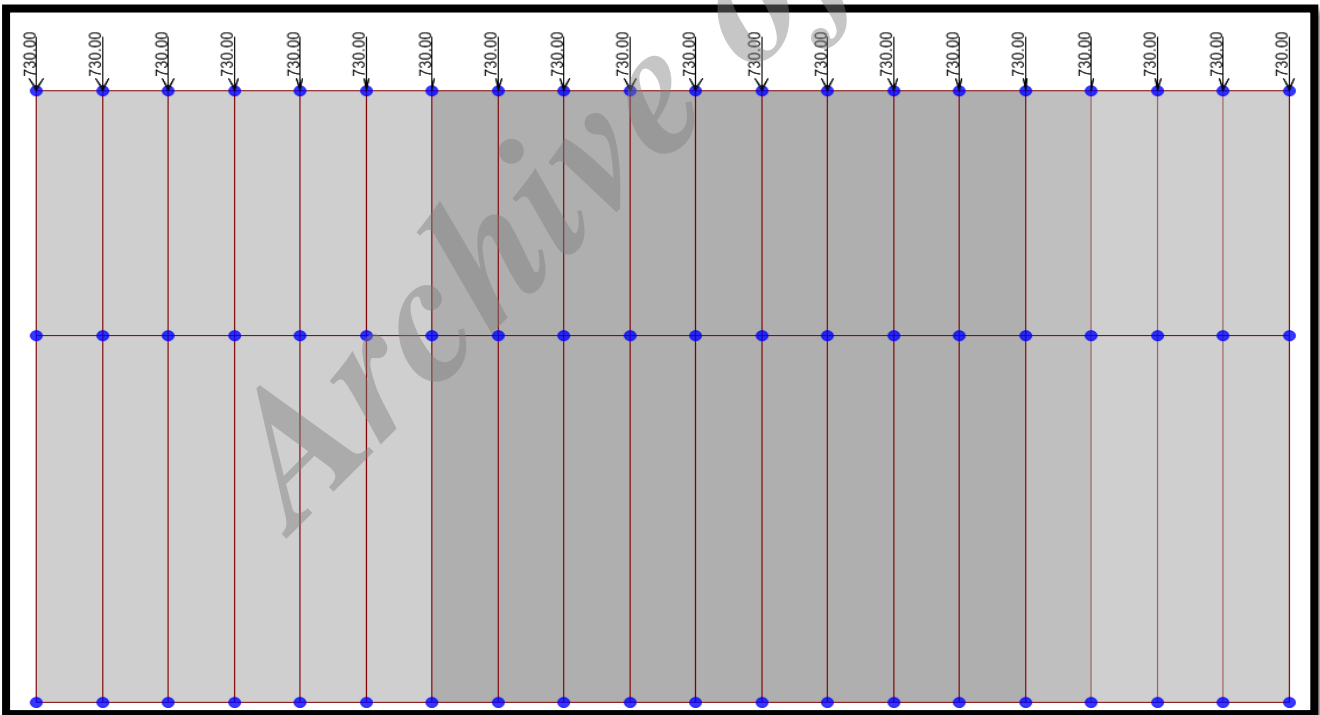
| | | | |
|---------------------|--|---|----------------------------|
| $V_s = 375$ |  | Elastic Solutions for Static Stiffness of Rigid Footings at the Ground Surface | |
| $P = 2000$ | | $k_{z,sur} = 5472321429$ | $k_{y,sur} = 4466911765$ |
| $G = 281250000$ |  | $k_{x,sur} = 4466911765$ | $k_{zz,sur} = 63385925493$ |
| $\omega = 8$ | | $k_{yy,sur} = 28267122565$ | $k_{xx,sur} = 27324885146$ |
| $dw = 2$ | | Dynamic Stiffness Modifiers and Radiation Damping Ratios for Embedded Footings (adapted from Pais and Kausel, 1988) | |
| $Z = 2$ | | $\beta_z = 0.006883342$ | $\beta_y = 0.033677112$ |
| $D = 2$ | | $\beta_x = 0.070451283$ | $\beta_{zz} = 0.00017191$ |
| $B = 3$ | | $\beta_{yy} = 0.00092745$ | $\beta_{xx} = 0.004426977$ |
| $L = 3$ | INPUT | | |
| $A_w = 48$ | RESULT | | |
| $I_x = 108$ | | | |
| $I_y = 108$ | | | |
| $J = 216$ | | | |
| $\Psi = 1.87082869$ | | | |
| $\nu = 0.3$ | | | |
| $a_0 = 0.064$ | | | |

شکل ۵: محاسبات اندرکنش خاک-سازه.

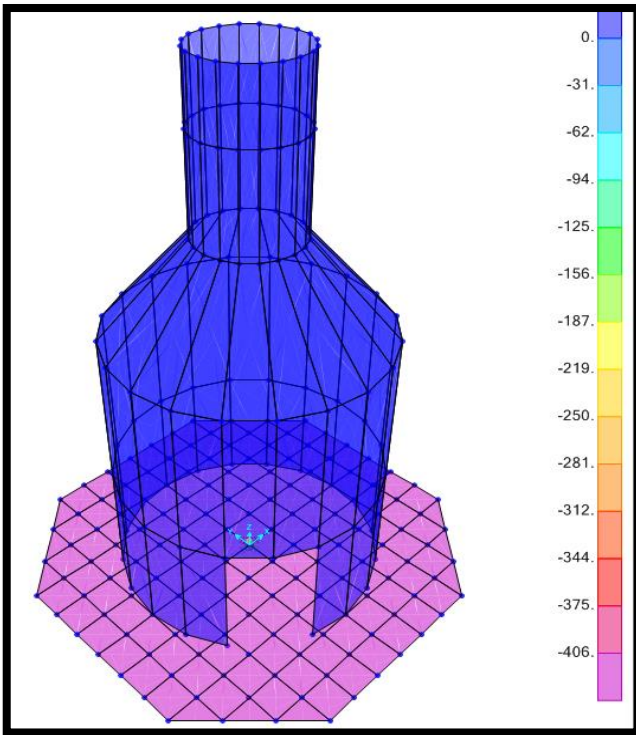
با توجه به وجود محدودیت، برخی از مدل‌سازی‌ها و بارگذاری‌های انجام شده در هر دو حالت عملیاتی و دوام در تصاویر ۶ تا ۱۴ نشان داده شده است. مجموعه کامل نتایج در گزارش اصلی این پژوهش آورده شده است [۱۴].



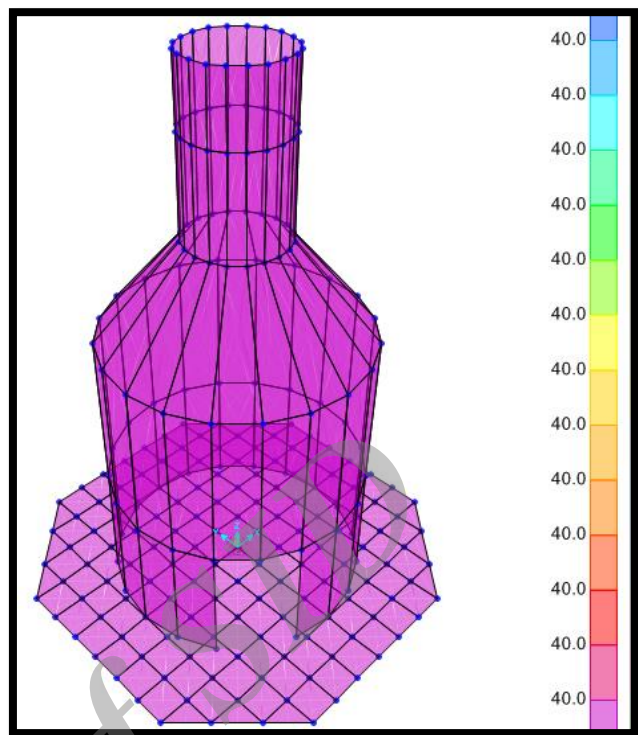
شکل ۶: بار مرده حاصل از جرم پدستال و منعکس کننده آنتن.



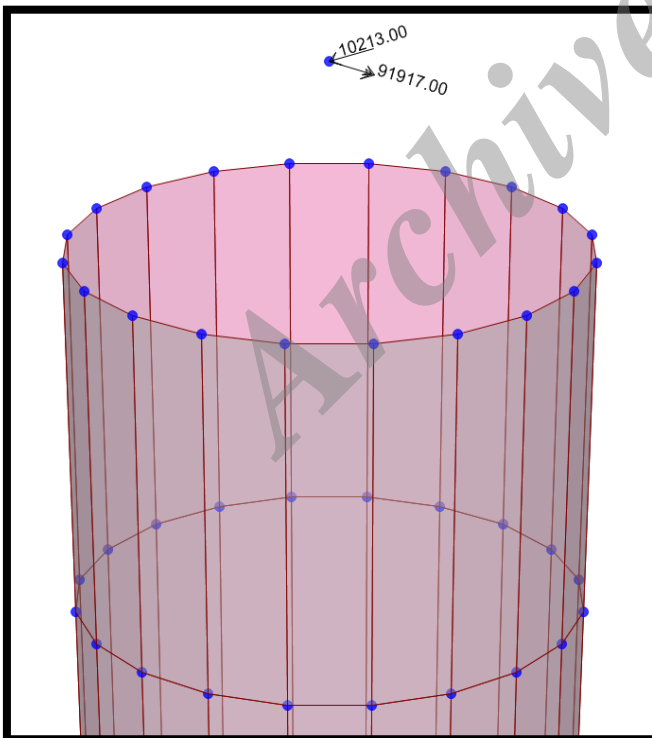
شکل ۷: بار مولفه قائم زلزله برای سازه و پدستال.



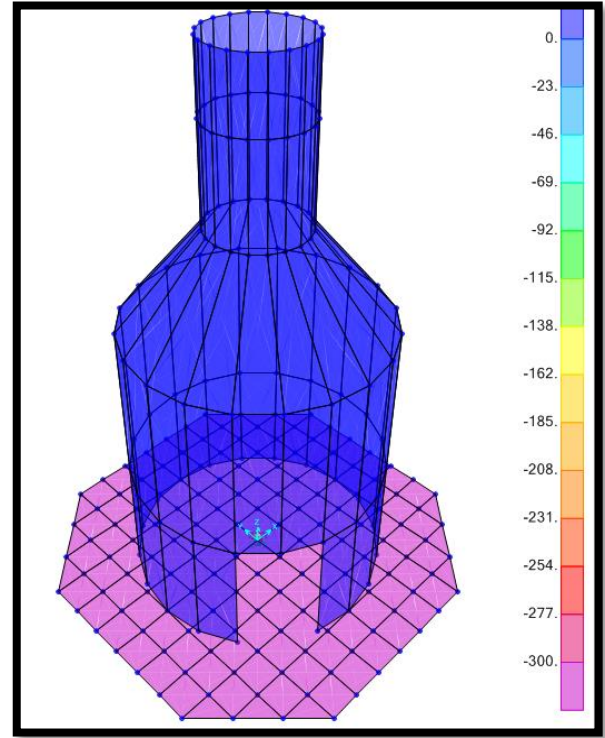
شکل ۹: بار مولفه قائم زلزله بر روی پی.



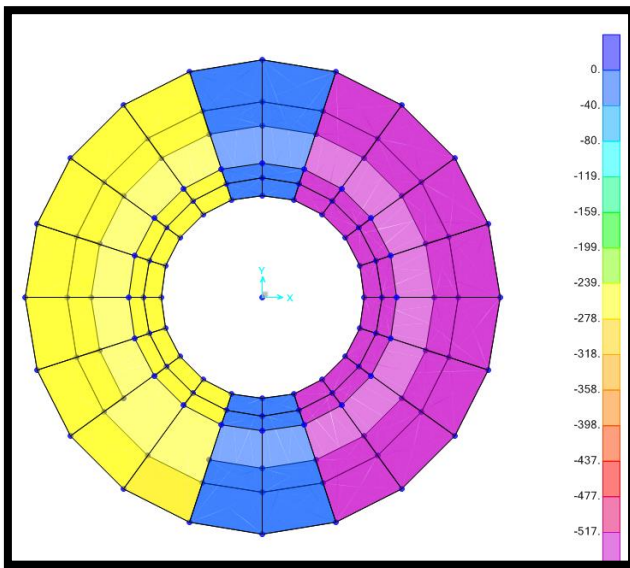
شکل ۸: بار تغییرات درجه حرارت برای سازه و پی.



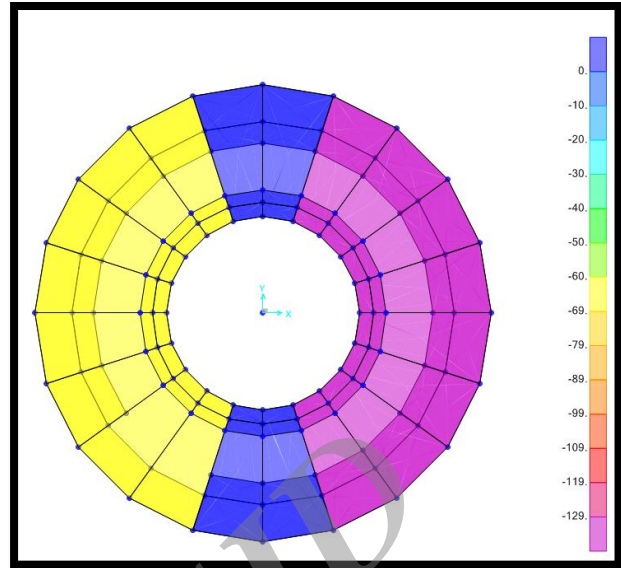
شکل ۱۱: بار باد حاصل از منعکس کننده آنتن در راس پدستال در حالت عملیاتی (WNX).



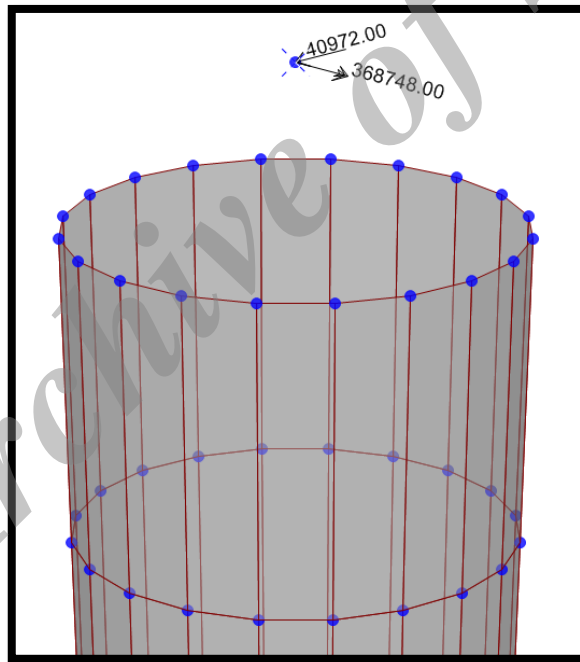
شکل ۱۰: بار زنده بر روی پی.



شکل ۱۳: بار باد وارد بر بدنه در حالت دوام (WNX).



شکل ۱۲: بار باد وارد بر بدنه در حالت عملیاتی (WNX).



شکل ۱۴: بار باد حاصل از منعکس کننده آنتن در راس پدستال در حالت دوام (WNX).

۳-۵- محاسبه جابه‌جایی مجاز و کنترل آن در مدل‌سازی همزمان سازه و پی با لحاظ نمودن اندرکنش خاک-سازه

محاسبه پهنای پرتو در آفتاب ۱ دسی‌بل در باند X جهت محاسبه جابه‌جایی مجاز در حالت عملیاتی در شکل ۱۵ نشان داده شده

است [۱۵].

| Antenna beamwidth calculator | | | |
|---|----------------------|-----------------------|------------|
| Diameter of your satellite dish | | Frequency | Efficiency |
| 8.2 metres | | 8 GHz | 0.65 |
| <input type="button" value="Click to calculate result"/> <input type="button" value="Click to default values"/> | | | |
| Enter the diameter of your parabolic dish in m (metres) and the operating frequency in GHz (Gigahertz) | | | |
| A typical VSAT is 1.2m diameter and transmits at 14 - 14.5 GHz | | | |
| The calculation results are: | | | |
| . The total side to side beamwidth of the antenna main beam. . Half the side to side beamwidth, if you are concerned to determine the offset angle from the beam centre. . Antenna gain. dBi means relative to an isotropic omni-directional antenna. . The antenna gain shown in top line of the results is the on-axis gain. | | | |
| The results are increasingly approximate beyond the -3 dB contour. The first null may appear at an angle off the boresight similar the the -3 dB full beamwidth. | | | |
| Default values: Maximum main beam gain calculation assumes an efficiency of 0.65 The shape of the main beam assumes parabolic illumination with level at dish edge = -10 dB down. | | | |
| dB contour down | Full beam width deg. | Half beam width degr. | Gain dBi |
| 0 | 0 | 0 | 54.87 |
| 0.25 | 0.09 | 0.04 | 54.62 |
| 0.5 | 0.13 | 0.06 | 54.37 |
| 1 | 0.18 | 0.09 | 53.87 |
| 2 | 0.25 | 0.13 | 52.87 |
| 3 | 0.31 | 0.15 | 51.868 |
| 4 | 0.36 | 0.18 | 50.87 |
| 4.5 | 0.38 | 0.19 | 50.37 |
| 5 | 0.4 | 0.2 | 49.87 |
| 6 | 0.44 | 0.22 | 48.87 |
| 7 | 0.47 | 0.24 | 47.87 |

شکل ۱۵: محاسبه پهنای پرتو در آفست ۱ دسی بل (باند X).

همانگونه که در شکل ۱۵ مشخص شده است، پهنای پرتو در آفست ۱ دسی بل در باند X (باند فرکانسی X از ۸ GHz آغاز می شود). برابر ۰٫۱۸ درجه می باشد.

$$\frac{\theta}{5} = \frac{0.18^\circ}{5} = 0.036^\circ$$

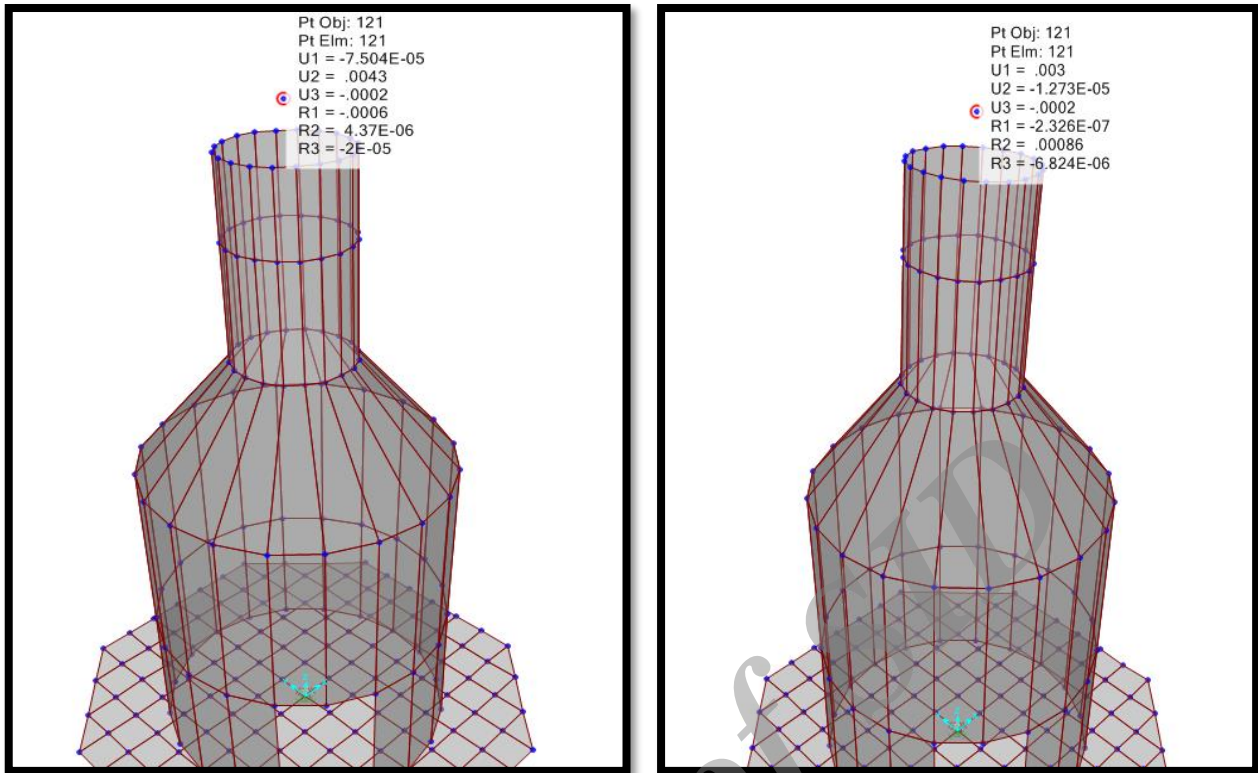
$$\text{حالت عملیاتی} : Z^2 = 9^2 + 9^2 - 162\cos 0.036 \rightarrow Z \cong 0.0056 \text{ m}$$

$$\text{حالت دوام} : 0.005H = 0.045\text{m}$$

$$\text{حالت دوام} : Z^2 = 9^2 + 9^2 - 162\cos 0.25 \rightarrow Z = 0.039\text{m}$$

پس از تکمیل مدل سازی و بارگذاری، کنترل جابه جایی، تنش ها و ممان ها صورت می پذیرد. در شکل های ۱۶ و ۱۷ بحرانی ترین جابه جایی ها تحت ترکیبات بار در هر دو حالت عملیاتی و دوام نشان داده شده است. شایان ذکر است پس از انجام تحلیل دینامیکی (روش طیفی) و استخراج ضریب مقیاس، با توجه به اختلاف قابل ملاحظه برش پایه دینامیکی و استاتیکی، پس از هم پایه نمودن برش پایه مشخص گردید که امکان بهینه سازی سازه وجود دارد ولی با توجه به اهمیت سازه، از انجام این موضوع خودداری شد.

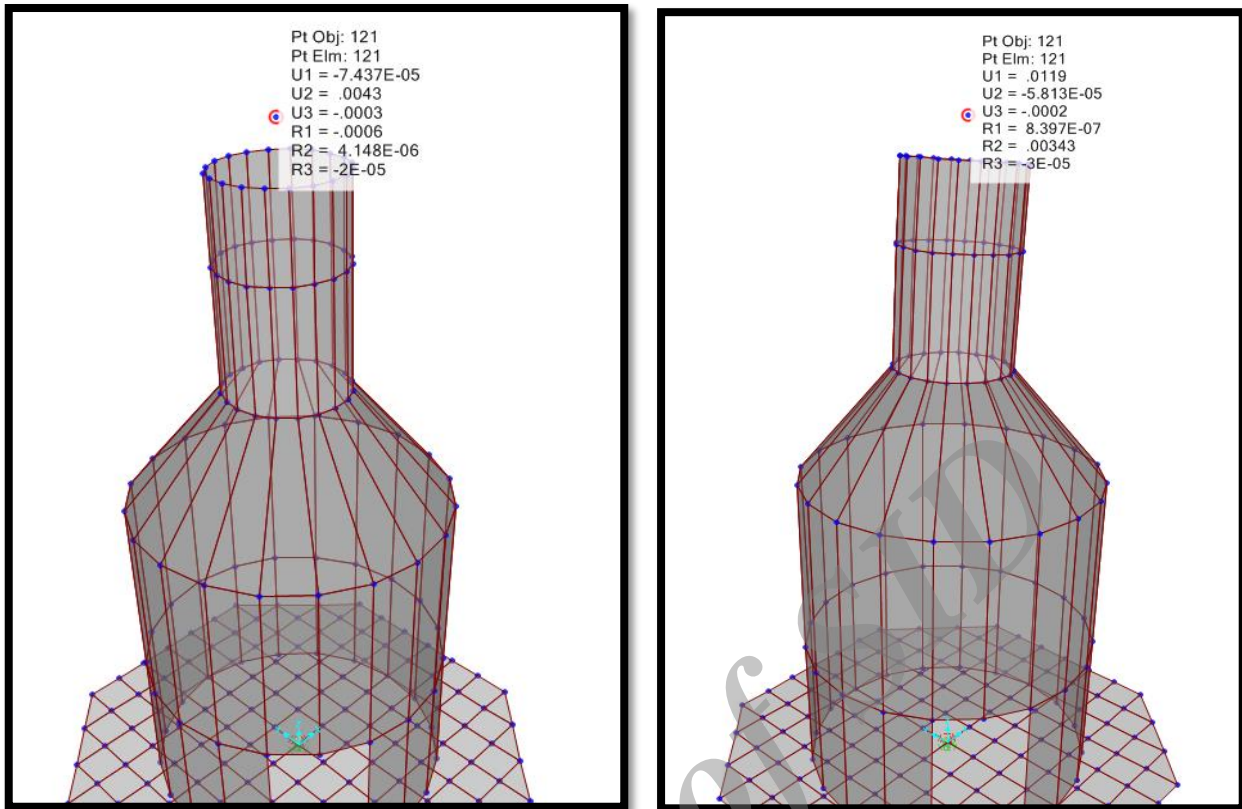
ابتدا در شکل ۱۶ کنترل جابه جایی تحت بحرانی ترین ترکیبات بار در حالت عملیاتی نشان داده شده است.



شکل ۱۶: پیشینه جابه‌جایی در حالت عملیاتی تحت ترکیب بار $0.9D+1.4WPX$ (شکل راست) و $D+1.2S+EY+0.3EX+FV+1.2L$ (شکل چپ).

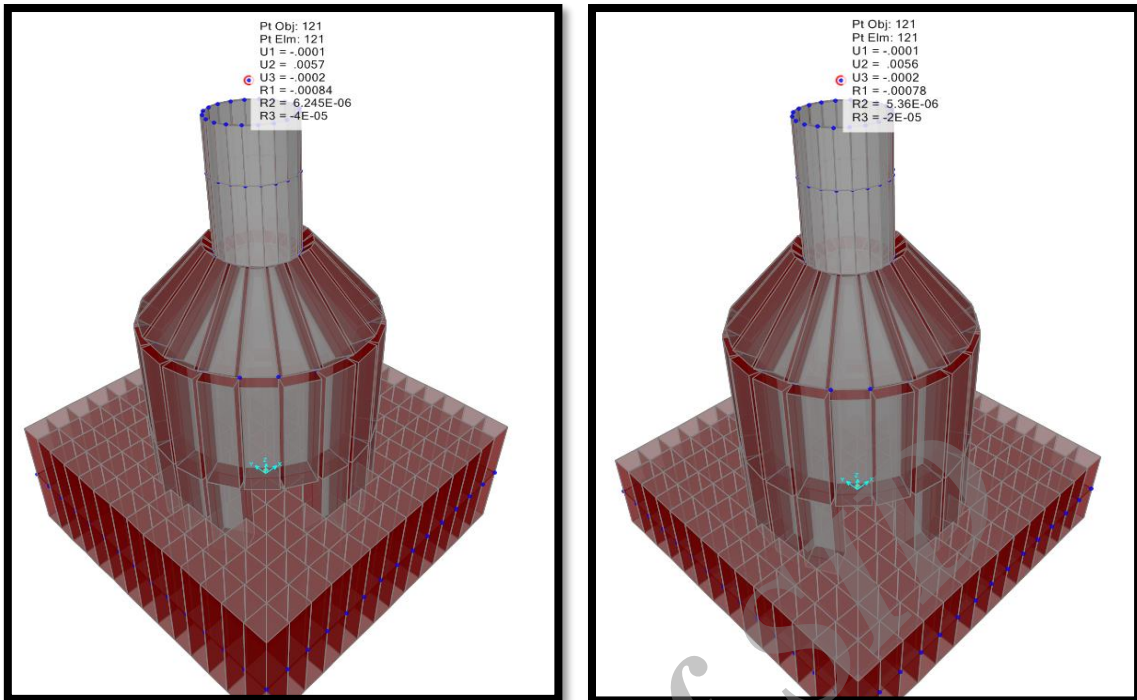
با توجه به اینکه محل نصب سامانه در جنوب کشور فرض شده است بار حاصل از انباشت برف در مدل‌سازی لحاظ نشده لذا ترکیب بار ذیل شکل ۱۶ (چپ) به عنوان بحرانی‌ترین ترکیب بار در حالت عملیاتی می‌باشد.

در ادامه در شکل ۱۷ پیشینه جابه‌جایی تحت بحرانی‌ترین ترکیبات بار در حالت دوام مشاهده می‌شود.



شکل ۱۷: بیشینه جابه‌جایی در حالت دوام تحت ترکیب بار 0.9D+1.4WPX (شکل راست) و D+1.2R+EY+0.3EX+FY+1.2L (شکل چپ).

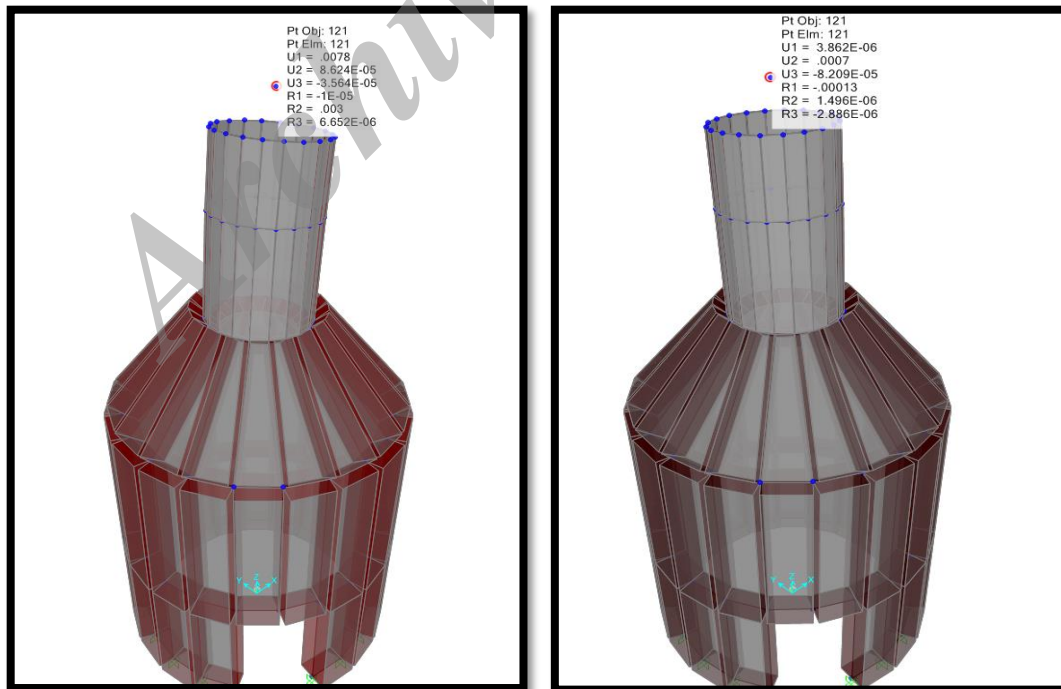
برای کنترل جابه‌جایی در حالت غیرعملیاتی (دوام) همانگونه که مشاهده می‌شود ترکیب بار ذکر شده در ذیل شکل ۱۷ (چپ)، به دلیل وجود بار حاصل از انباشت باران در سطح منعکس‌کننده آنتن بحرانی‌ترین ترکیب بار با حضور نیروی زلزله، می‌باشد. در جریان طراحی مشخص شد که ابعاد و عمق پی با لحاظ نمودن اندرکنش خاک-سازه در کنترل جابه‌جایی امری بسیار مهم می‌باشند؛ این تاثیر در حالت عملیاتی سامانه و به خصوص تحت ترکیبات بار زلزله بسیار تعیین کننده و دارای اهمیت می‌باشد؛ به صورتی که با افزایش ابعاد و یا عمق پی جابه‌جایی سازه در اثر نیروی زلزله افزایش می‌یابد؛ لذا بررسی رفتار لرزه‌ای سازه تحت اثر نیروی جانبی زلزله در حالت عملیاتی دارای اهمیت بسیار زیادی است [۱] و [۲]. همچنین انتخاب ابعاد مناسب برای سازه فوقانی زمین دارای اهمیت زیادی است که می‌باید انتخاب ابعاد پی و سازه فوقانی زمین در جریان یک روند منطقی صورت پذیرد تا عملکرد صحیحی از سازه حاصل گردد. در شکل ۱۸ اثر تغییر شکل و ابعاد پی ، در مدل‌سازی همزمان پدستال آنتن و پی با لحاظ نمودن اندرکنش خاک-سازه برای جابه‌جایی نشان داده شده است.



شکل ۱۸: بیشینه جابه‌جایی در حالت عملیاتی تحت ترکیب بار $D+1.2S+EY+0.3EX+FV+1.2L$ (ابعاد پی 7×7 متر - شکل راست) و جابه‌جایی غیر مجاز در حالت عملیاتی تحت ترکیب بار $D+1.2S+EY+0.3EX+FV+1.2L$ (ابعاد پی 7×7 متر - شکل چپ).

۳-۶- کنترل جابه‌جایی سازه بدون مدل‌سازی پی و لحاظ نمودن اندرکنش خاک-سازه

در شکل ۱۹ اختلاف زیاد جابه‌جایی در مدل‌سازی پدستال آنتن بدون پی و لحاظ نمودن اندرکنش خاک-سازه مشخص می‌باشد.



شکل ۱۹: بیشینه جابه‌جایی سازه بدون مدل‌سازی بستر در حالت عملیاتی تحت ترکیب بار $D+1.2S+EY+0.3EX+FV+1.2L$ (شکل راست) و در حالت دوام تحت ترکیب بار $0.9D+1.4WPX$ (شکل چپ).

در خاتمه با توجه به اینکه در حالت عملیاتی ترکیبات بار دارای نیروی زلزله و در حالت دوام ترکیبات بار دارای نیروی باد دارای بحرانی‌ترین جابه‌جایی می‌باشند؛ در جدول ۱، بیشینه مقادیر جابه‌جایی در مدلسازی‌های انجام شده (مدلسازی همزمان و غیر همزمان سازه و پی) تحت بحرانی‌ترین ترکیبات بار ارائه شده است.

جدول ۱: بیشینه جابه‌جایی مدل‌ها تحت بحرانی‌ترین ترکیبات بار در حالت‌های عملیاتی و دوام

| نوع مدلسازی | وضعیت | ترکیب بار | بیشینه جابه‌جایی (میلیمتر) |
|--|---------|-------------------------|----------------------------|
| مدلسازی همزمان سازه، پی و اندرکنش خاک-سازه | عملیاتی | D+1.2S+EY+0.3EX+FV+1.2L | ۴,۳ |
| عدم مدلسازی همزمان سازه و پی | | | ۰,۷ |
| مدلسازی همزمان سازه، پی و اندرکنش خاک-سازه | دوام | 0.9D+1.4WPX | ۱۱,۹ |
| عدم مدلسازی همزمان سازه و پی | | | ۷,۸ |

طبق جدول ۱، اندرکنش خاک-سازه در حالت عملیاتی (تحت ترکیب بار دارای نیروی زلزله) جابه‌جایی را بیش از ۵۰۰ درصد و در حالت دوام (تحت ترکیب بار دارای نیروی باد) جابه‌جایی را بیش از ۵۰ درصد افزایش داده است.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش که بر بررسی اثر اندرکنش خاک-سازه برای مجموعه سازه پدستال آنتن‌های بشقابی بزرگ متمرکز بود، پاسخ تغییر مکان سازه به عنوان پارامتر اصلی در نظر گرفته شده است. از مقایسه نتایج مربوط به مدلسازی‌های انجام شده با و بدون اندرکنش خاک-سازه نتایج ذیل حاصل شده است.

- جابه‌جایی سازه در مدلسازی انجام شده با لحاظ نمودن اندرکنش خاک-سازه با پی به شکل چند ضلعی در مقایسه با مدلسازی بدون لحاظ نمودن اندرکنش خاک-سازه در حالت عملیاتی می‌تواند تا بیش از ۵۰۰ درصد تفاوت داشته باشد (مطابق با خروجی‌های ذکر شده در زیربخش ۳-۶).
- جابه‌جایی سازه در مدلسازی انجام شده با لحاظ نمودن اندرکنش خاک-سازه با پی به شکل چند ضلعی در مقایسه با مدلسازی بدون لحاظ نمودن اندرکنش خاک-سازه در حالت دوام می‌تواند تا بیش از ۵۰ درصد تفاوت داشته باشد (مطابق با خروجی‌های ذکر شده در زیربخش ۳-۶).
- جابه‌جایی سازه در مدلسازی انجام شده با لحاظ نمودن اندرکنش خاک-سازه با پی به شکل چند ضلعی در مقایسه با مدلسازی با پی به شکل مربع با عمق مشابه، در بحرانی‌ترین حالت می‌تواند تا ۳۰ درصد تفاوت داشته باشد (مطابق با خروجی‌های ذکر شده در شکل ۱۶ از زیربخش ۳-۵ و شکل ۱۹ از زیربخش ۳-۶).
- با توجه به اهمیت بسیار زیاد جابه‌جایی در سازه‌های مورد بحث، طراحی همزمان سازه فوقانی زمین و پی و در نتیجه لحاظ نمودن اثر اندرکنش خاک-سازه امری الزامی می‌باشد. لذا جهت حصول به نتیجه هر چه دقیقتر لازم است در جریان مطالعات مکانیک خاک، رفتار غیر خطی خاک به منظور مدلسازی هر چه دقیقتر پی، بررسی گردد.
- با توجه به اهمیت جابه‌جایی برای سامانه‌های مورد بحث در پژوهش حاضر، همانگونه که از نتایج مدل‌سازی‌ها مشخص گردید؛ پی‌هایی که به شکل چند ضلعی و یا دایره هستند برای این دسته از سامانه‌ها مناسب‌تر هستند.

مراجع

- [1] Kiredron, K. Chain, C.T. (1985). Seismic Analysis of the Large 70-meter Antenna Part I. Pasadena: NASA. Available at: http://ipnpr.jpl.nasa.gov/progres_report/42-82/82D.PDF.
- [2] Kiredron, K. Chain, C.T. (1985). Seismic Analysis of the Large 70-meter Antenna Part II. Pasadena: NASA. Available at: http://ipnpr.jpl.nasa.gov/progress_report/42-83/83B.PDF.
- [3] Maral, G. Bousquet, M. (2009) Satellite Communications Systems Fifth Edition. West Sussex: A John Wiley and Sons Ltd Publication.
- [4] TELECOMMUNICATIONS INDUSTRY ASSOCIATION., (2005). Structural Standard for Antenna Supporting Structures and Antennas, ANSI/TIA-222-G. Arlington: TELECOMMUNICATIONS INDUSTRY ASSOCIATION.
- [5] TELECOMMUNICATIONS INDUSTRY ASSOCIATION., (1996) Structural Standards for Steel Antenna Towers and Antenna Supporting Structures, TIA/EIA-222-F. Arlington: TELECOMMUNICATIONS INDUSTRY ASSOCIATION.
- [6] Pattan, B. (1996) Satellite Systems Principles and Technologies. Springer
- [7] Grace, D. Mohorci, M. (2011) Broadband Communications Via High-Altitude Platform. West Sussex: A John Wiley and Sons Ltd Publication, Pages: 292-311.
- [8] Azhari, M. etc. (2014). Limit States Design of Steel Structures (LRFD) (in Persian), Volume 5, Members Design. Isfahan: Arkan Danesh Publication.
- [9] Research center of Roads, House & Urban Development., (2014). Seismic Code for Buildings Design (in Persian), Standard 2800. Forth Edition. Tehran: Research center of Roads, House & Urban Development.
- [10] National Building Regulations Institute, (2013). National Building Regulations of Iran, Sixth Topic: Loads Design for Buildings (in Persian). Tehran: Tose'e Iran Publication.
- [11] National Building Regulations Institute, (2013). National Building Regulations of Iran, Tenth Topic: Steel Structures Design (in Persian). Tehran: Tose'e Iran Publication.
- [12] American Concrete Institute, (2014). Building Code Requirements for Structural Concrete, ACI 318-14. Farmington Hills: American Concrete Institute.
- [13] NEHRP Consultants Joint Venture, (2012). Soil-Structure Interaction for Building Structures. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology.
- [14] Pourhatami, Bahador, (2016), Guidelines for Design of Delicate Structures of Earth Stations of Space Payloads (in Persian), MSc Thesis submitted to Shakhes Pajouh Research Center on Natural Disasters Engineering.
- [15] www.Satsig.net (accessed in February 21, 2017).