تاریخ:۱۴۰۲/۱۰/۱۷

شماره:۴۰۲/۱۸۷/متب

«بنام یگانه مهندس گیتی»

سرکار خانم مهندس زهرا مجیدی

با سلام:

برگزاری بیست وششمین همایش سالیانه انجمن علمی بین المللی بتن(ACI)-شاخه ایران با موضوع کنفرانس ملی بتن و زلزله مورخ ۵و۶ دیماه ۱۴۰۲، نشان از تلاش قابل تقدیر برگزار کنندگان این کنفرانس و موفقیت این صنعت در مدیریت دانش، مستند کردن دست مایه های ذهنی و تجربه های تاریخی می باشد.

از این رو مرکز تحقیقات بتن«متب» مجری همایش های سالیانه انجمن علمی بین المللی بتن(ACI)-شاخه ایران، مقاله شما با عنوان: **ارزیابی رفتارلرزه ای سازه لاگون خارج از مدار بهره برداری تصفیه خانه آب شرب** پس از ارزیابی توسط کمیته علمی داوران بیست و ششمین همایش ملی سالیانه انجمن علمی بین المللی بتن(ACI)-شاخه ایران، حائز شرایط لازم جهت درج در مجموعه چکیده مقالات در روز برگزاری کنفرانس تشخیص داده شده است.

با تشکر واحترام

دبیرخانه بیست و ششمین همایش ملی سالیانه انجمن علمی بین المللی بتن (ACI)-شاخه ایران

کنفرانس ملی سالیانه بتن وزلزله مرکز تحقیقات بتن«متب»

آریا احمدوند

ارزیابی رفتار لرزه ای سازه لاگون خارج از مدار بهره برداری تصفیه خانه آب شرب

زهرا مجیدی[1*]

۱- مدیر پروژه- شرکت مهندسی مشاور طوس آب، پژوهشگر مرکز پژوهشی مدیریت منابع محیط زیست ارم، مشهد، ایران

En.zmajidi@gmail.com

چکیده

استخرها یا لاگون‌های پیش ته نشینی در تصفیه خانه های آب شرب، با هدف حذف ذرات معلق نسبتا درشت که به سهولت قابل ته‌نشینی می‌باشند و همچنین ذرات ماسه و لای موجود در آب در مواقع بارندگی و یا افزایش کدورت آب رودخانه، در نظر گرفته می‌شوند. طراحی غیر اصولی و عدم اجرای صحیح سازه لاگون های پیش ته نشینی سبب می‌شود لاگون های مذکور در طی دوره بهره برداری تصفیه خانه ها کارایی لازم را نداشته و یا از مدار بهره برداری خارج شوند. در این تحقیق سازه لاگون پیش ته نشینی یکی از تصفیه خانه های آب شرب کشور که در حال حاضر خارج از مدار بهره برداری می‌باشد، مورد بررسی قرار گرفته که از ابتدای دوره بهره برداری، به دلیل مشکلات عدیده سازه ای و نشت آب کارایی لازم را نداشته است. لذا در این پژوهش سعی بر آن است ابتدا وضعیت موجود سازه ای لاگون خارج از مدار بهره برداری از لحاظ مقاومت و دوام، با توجه به آزمایشات مغزه گیری موجود بررسی شود، در ادامه رفتار لرزه ای سازه با مقاومت فشاری وضعیت موجود در برابر بارهای وارده و اندرکنش خاک با سازه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. نحوه مدلسازی پژوهش حاضر، بصورت المان محدود و نوع تحلیل، تحلیل استاتیکی معادل و دینامیکی طیفی با اعمال اثر اندرکنش خاک و سازه و بدون اعمال اثر اندرکنش خاک و سازه در نرم افزار SAP2000 انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که پس از اعمال اثر اندرکنش خاک و سازه به بتن با مقاومت فشاری ۱۰ مگاپاسکال حداکثر تنش های افقی ایجاد شده افزایش و حداکثر تنش های قائم ایجاد شده کاهش می‌یابد. همچنین بازه تغییرات تنش های افقی و قائم در بتن با مقاومت ۱۰ مگاپاسکال کاهش می‌یابد. در خصوص حداکثر تغییر مکان سازه پس از اعمال اثرات اندرکنش خاک و سازه می‌توان چنین نتیجه گیری نمود که حداکثر تغییر مکان وابسته به مقاومت فشاری بتن بوده و با کاهش مقاومت فشاری، تغییر مکان افزایش می‌یابد، که کلیه موارد نشان دهنده اثر غیرقابل چشم‌پوشی اندرکنش خاک و سازه در طراحی لاگون‌ها است.

واژه‌های کلیدی فارسی: لاگون پیش ته نشینی، نشت آب، آزمایشات مغره گیری بتن، رفتار لرزه ای، اندرکنش خاک با سازه

۱- مقدمه

به دلیل نیاز حیاتی استفاده از سازه های آبی، می‌بایست آن ها را باید با دقتی مضاعف طراحی و اجرا نمود. کیفیت بتن مورد استفاده در این سازه ها دارای اهمیت فوق العاده بوده و نیازمند کنترل ویژه است. بطور کلی پایداری، مقاومت و دوام کافی در برابر ترک خوردگی و تغییر شکل ویژگی‌های اصلی هر نوع سازه ای است که برای نگهداری مایعات طراحی می شود. همچنین طراحی باید به نحوی باشد که مایع نتواند از میان سازه نفوذ یا تراوش نماید. در سازه های معمولی، نقطه بحرانی طراحی، پایداری و دوام سازه در برابر بارهای وارده می‌باشد. بخش عمده ای از ضوابط طراحی سازه ای مستحدثات آبی بتنی با طراحی سازه ای سازه های غیر آبی یکسان است، با این تفاوت که این سازه‌ها جزو شریان های حیاتی و تاسیسات استراتژیکی هستند. لذا طراحی این گونه سازه ها حساس تر از سازه های معمولی است.

در تصفیه خانه های آب شرب که منبع تامین آب خام آن ها رودخانه است، واحد پیش ته نشینی یکی از واحدهای اصلی تصفیه فیزیکی جهت حذف ذرات معلق درشت، لای (سیلت) و ماسه می باشد. در طراحی لاگون های پیش ته نشینی استفاده از بتن مسلح و با هندسه مستطیل، مربع و دایره متداول‌تر است. لاگون یا استخر مورد نظر با ابعاد مفید حدود ۱۰ متر عرض در ۲۰۰ متر طول بصورت بتن مسلح اجرا شده است. لذا در ادامه به بررسی دو پارامتر مهم و تاثیر گذار در سازه های آبی یعنی مقاومت و دوام سازه مورد نظر پرداخته می‌شود. پس از آن رفتار لرزه ای سازه و اعمال ملاحظات فنی لرزه ای و اندرکنش خاک با سازه مورد بحث و بررسی کارشناسی قرار می‌گیرد. شایان ذکر است این مهم تاکنون برای سازه مذکور انجام نشده و مورد سنجش قرار نگرفته است.

۲- بررسی مقاومت و دوام سازه لاگون خارج از مدار بهره برداری تصفیه خانه آب شرب مورد نظر

با توجه به بازدید میدانی از محل تصفیه خانه آب شرب مورد نظر، بررسی گزارش مطالعات آزمایشگاهی مغره گیری انجام شده و ضوابط موجود در آبا، مقاومت و دوام سازه لاگون ته نشینی مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای ارائه بهتر بررسی‌های انجام‌شده (مطابق ضوابط و توصیه‌های آبا) سه بخش زیر ارائه شده است:

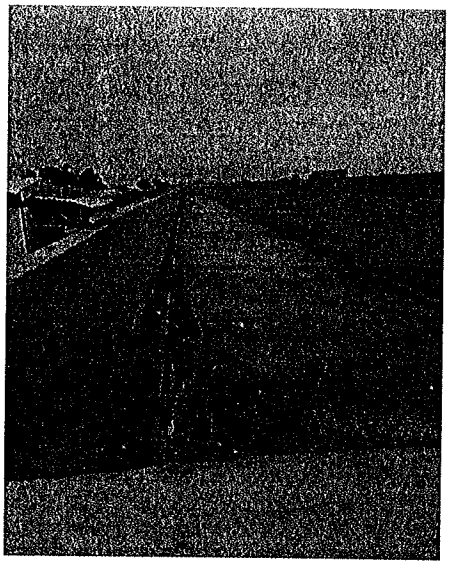
الف) مشاهدات میدانی

ب) بررسی بتن کم مقاومت

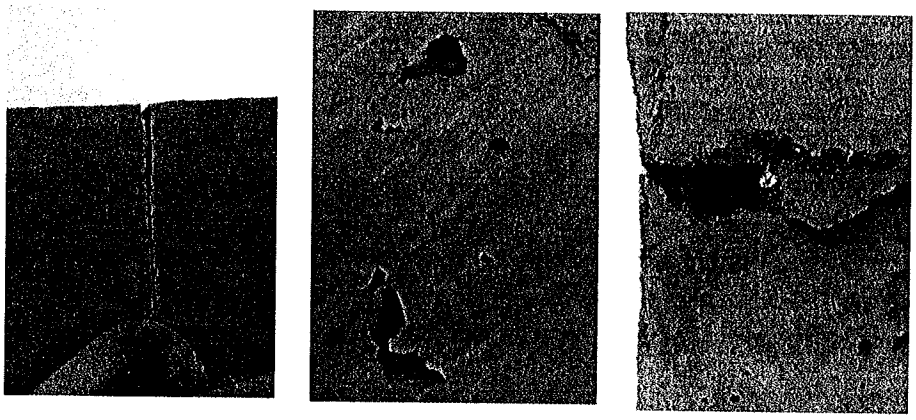
ج) بررسی بتن کم دوام

۱-۲. مشاهدات میدانی

مطابق بازدید میدانی انجام شده از تصفیه خانه آب شرب مورد نظر، سازه لاگون ته نشینی خارج از مدار بهره برداری مورد بررسی کارشناسی قرار گرفت. ترک های سرتاسری در کل عرض دیوار شمالی، جنوبی، فونداسیون سازه و روی درز انبساط در مرکز سازه مشاهده شد. همچنین حباب هوا در سرتاسر سازه که نشان از ویبره نامناسب هنگام بتن ریزی می باشد، مشاهده گردید. در شکل شماره ۱ وضعیت موجود سازه لاگون مورد نظر و همچنین در شکل شماره ۲ مشاهدات عینی از ترک ها و حباب های هوا در سازه نشان داده شده است. از دیگر موارد قابل توجه وجود یک خط مواج در دیوار جنوبی (از درز انبساط سوم تا چهارم) و در دیوار شمالی (از درز انبساط چهارم تا پنجم) از سمت غرب به شرق می باشد، که احتمالا به دلیل دو مرحله ای بودن بتن ریزی بوده است. همچنین بستر پشت دیوار سازه خاک رس و بستر زیر فونداسیون شن مخلوط است.



شکل ۱: وضعیت موجود سازه لاگون ته نشینی خارج از مدار بهره برداری



شکل ۲: وجود حباب هوا و ترک در سازه لاکون ته نشینی خارج از مدار بهره برداری

۲-۲. بررسی بتن کم مقاومت

مطابق آئین‌نامه آبا برای بررسی مقاومت بتن سخت‌شده مورد تردید، از ۳ روش زیر مطابق شرایط ذکر شده استفاده می‌گردد:

الف) روش تحلیلی

ب) روش مغزه‌گیری

ج) آزمایش بارگذاری

الف- روش تحلیلی

مطابق بند ۸-۵-۲ آئین‌نامه آبا، دو روش مجزا برای روش تحلیلی پیشنهاد شده است. در روش اول ظرفیت باربری سازه با استفاده از تحلیل موجود سازه و بازبینی طراحی مقاطع همسان‌سازی‌شده بررسی می‌گردد. شرط اولیه استفاده از این روش داشتن حداقل مقاومت و رده مجاز بتن مطابق بند ۵-۲-۱-۴ و تفسیر آن می‌باشد. درتفسیر بند ۴-۱-۲-۵ آبا اشاره شده است که "حداقل مقاومت فشاری مشخصه نباید از ۲۰ مگاپاسکال برای بتن مسلح کمتر باشد." مطابق نتایج آزمایشات مقاومت فشاری نمونه‌های کرگیری شده از بتن سخت‌شده توسط آزمایشگاه که در جدول شماره ۱ آورده شده است، همه نمونه‌های اخذشده مقاومت فشاری کمتر از ۲۰ مگاپاسکال دارند.

جدول ۱: گزارش نتایج آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌های کرگیری شده از بتن سخت‌شده

شماره نمونه	محل نمونه گیری	ابعاد نمونه(cm)			سطح مقطع نمونه (cm^2)	حجم نمونه (cm^3)	جرم نمونه (gr)	دانسته نمونه (cm^2)	نسبت طول به قطر نمونه l/D	ضریب تبدیل l/d نسبت به l/D=2	بار واقعی در لحظه شکست (KG)	مقاومت فشاری نمونه($kg\ cm^2$)	
		قطر	ارتفاع قبل از کپینگ	ارتفاع بعد از کپینگ								قبل از اعمال ضریب	بعد از اعمال ضریب
۱	دیوار جان پناه	۱۴,۵	۱۹,۲	۲۰,۷	۱۶۵,۰	۳۴۱۶	۷۴۹۰	۲,۱۹	۱,۳۲	۰,۹۴	۱۲۵۰۰	۷۶	۷۱
۲	دیوار	۱۴,۵	۱۸,۵	۲۰,۱	۱۶۵,۰	۳۳۱۷	۷۲۷۱	۲,۱۹	۱,۲۸	۰,۹۳	۱۷۰۰۰	۱۰۳	۹۶
۳	پاشنه	۱۴,۵	۱۹,۴	۲۰,۹	۱۶۵,۰	۳۴۴۹	۷۷۳۵	۲,۲۴	۱,۳۴	۰,۹۴	۱۱۳۰۰	۶۸	۶۴
۴	فنداسیون	۱۴,۵	۲۰,۲	۲۱,۵	۱۳۵,۰	۳۵۴۸	۸۰۴۳	۲,۲۷	۱,۳۹	۰,۹۵	۱۸۰۰۰	۱۰۹	۱۰۴
۵	فنداسیون	۱۴,۵	۱۸,۵	۲۰,۱	۱۶۵,۰	۳۳۱۷	۷۴۸۷	۲,۲۶	۱,۲۸	۰,۹۳	۱۹۷۰۰	۱۱۹	۱۱۱

ب- روش مغزه گیری

مطابق بند ۸-۵-۳ جلد دوم آبا، اعضایی که احتمال می‌رود بتن کم‌مقاومت در آن‌ها باشد، مغزه‌گیری می‌شود. از هر منطقه مشکوک، حداقل سه مغزه باید تهیه و آزمایش شود. مغزه‌ها باید طبق استاندارد ملی ۱۲۳۰۶ تهیه و آماده شود. با فرض رعایت بند ۸-۵-۳-۱ تا ۸-۵-۳-۳ آبا با عنوان روش مغزه‌گیری در نمونه‌گیری انجام‌شده، مطابق بند ۸-۵-۳-۴ آبا نباید میانگین مقاومت فشاری مغزه‌ها کمتر از ۸۵ درصد مقاومت فشاری مشخصه باشد. همچنین مقاومت فشاری هر مغزه نیز نباید کم‌تر از ۷۵ درصد مقاومت فشاری مشخصه باشد. با توجه به نتایج آزمایش ۵ نمونه ارائه شده در جدول شماره ۱، بررسی‌های ذیل انجام گردید:

میانگین مقاومت فشاری بدون اعمال ضریب	$f'_{c_{average}} = \frac{76+103+68+109+119}{5} = \frac{475}{5} = 95\ {}^{kg}/_{cm^2}$
میانگین مقاومت فشاری با اعمال ضریب	$f'_{c_{average}} = \frac{71+96+64+104+111}{5} = \frac{446}{5} = 89.2\ {}^{kg}/_{cm^2}$
حداقل مقاومت مشخصه طراحی برای سازه‌های آبی	$f'_{c_{Design}} = 300\ {}^{kg}/_{cm^2}$
$95\ {}^{kg}/_{cm^2} < 0.85 \times 300 = 95\ {}^{kg}/_{cm^2} < 255\ {}^{kg}/_{cm^2} \rightarrow Not\ Ok$ (1 $89.2\ {}^{kg}/_{cm^2} < 0.85 \times 300 = 89.2\ {}^{kg}/_{cm^2} < 255\ {}^{kg}/_{cm^2} \rightarrow Not\ Ok$ (2	
همچنین مقاومت فشاری تمامی نمونه‌های اخذ شده از $0.75 \times 300 = 225\ {}^{kg}/_{cm^2}$ کمتر می‌باشد.	

ج- آزمایش بارگذاری

مطابق بند ۸-۵-۴ آبا در مواردی که ظرفیت باربری سازه بعد از انجام روش‌های ذکرشده در بالا مورد تردید باقی بماند و نتوان مقاومت بتن را از نظر سازه‌ای پذیرفت، می‌توان آزمایش بارگذاری را روی اعضای خمشی مشکوک انجام داد. مطابق تفسیر ت-۸-۵-۴ آبا آزمایش بارگذاری نمی‌تواند کیفیت بتن را از نظر مقاومت مشخص کند، بلکه تنها می‌تواند مشخص نماید که آیا اعضای خمشی با توجه به ابعاد آن‌ها، کیفیت بتن موجود، قطر، نوع و محل قرارگیری میلگردهای درون بتن می‌توانند باربری لازم را داشته باشند یا خیر؟ به هرحال طراحی محافظه‌کارانه، اجرای بتن با ابعاد بیشتر یا مصرف میلگرد بیشتر و با مقاومتی بالاتر و غیره می‌تواند موجب شود تا عضو مورد نظر علی‌رغم مصرف بتن کم مقاومت، بتواند از ظرفیت باربری مناسبی برخوردار شود. آزمایش بارگذاری باید به‌گونه‌ای انجام شود که مشخص کند آیا عضو مشکوک می‌تواند در زیر بارهای آزمایش رفتار قابل قبولی به نمایش بگذارد یا خیر؟ مجدداً تاکید می‌شود که این روش مربوط به اعضای خمشی است و برای اعضای فشاری و یا فشاری- خمشی باید از روش‌های تحلیلی یا مغزه‌گیری استفاده نمود.

۳-۲. بررسی بتن کم دوام

مطابق آئین‌نامه آبا برای بررسی دوام بتن سخت‌شده مورد تردید، از ۳ روش زیر با توجه به شرایط ذکر شده استفاده می‌گردد:

الف) روش تحلیلی

ب) روش مغزه‌گیری

ج) سایر اقدامات

الف- روش تحلیلی

در ارتباط با بررسی بتن کم دوام می‌توان بررسی رده بتنی لازم برای مقابله با شرایط محیطی را بررسی نمود. مطابق جدول ۶-۱ جلد دوم آبا با عنوان "رده بندی شرایط محیطی از دیدگاه دوام بتن"، شرایط محیطی مفروض طراحی XCD2 بوده و بتن در معرض خوردگی ناشی از یون‌های کلرید می‌باشد. مطابق جدول ۶-۲ جلد دوم آبا، حداقل رده بتنی مورد نیاز برای مقابله با این حملات با فرض رعایت حداقل پوشش بتنی روی میلگردها، C35 می‌باشد و حداقل مقاومت فشاری مشخصه رده مذکور ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع است. لذا با توجه به بررسی‌های انجام شده در بندهای بالا مقاومت فشاری نمونه‌های اخذشده کم‌تر از این مقدار می‌باشد.

ب- روش مغزه گیری

مطابق بند ۸-۶-۳-۵ جلد دوم آبا، بتن کم دوام در صورت برآورده شدن ضوابط «الف» و «ب» زیر قابل پذیرش است، مگر آن‌که در مشخصات فنی پروژه ضابطه دیگری ارایه شده باشد:

الف) میانگین نتایج مغزه‌ها نباید از ۸۰ درصد معیار حداقل آزمایش دوام مشخصه کمتر یا از ۱/۲۵ برابر معیار حداکثر آزمایش دوام مشخصه بیشتر شود.

ب) نتیجه هیچ‌یک از مغزه‌ها نباید از ۶۷ درصد معیار حداقل آزمایش دوام مشخصه کمتر یا از ۱/۵ برابر معیار حداکثر آزمایش دوام مشخصه بیشتر شود.

فرض می‌شود که نقیصه‌های روش ریختن، تراکم، پرداخت و عمل‌آوری بتن تا حد مندرج در این بند برای بتن موجود در عضو سازه قابل قبول باشد. در اغلب آیین‌نامه‌ها چنین تغییراتی در کیفیت بتن موجود قابل پذیرش تلقی شده است. برخلاف مقاومت، معیارهای دوام گاه به‌صورت حداقل و گاه به‌صورت حداکثر تعریف شده است. بنابراین با توجه به ماهیت آزمایش و معیار آن، هر ضابطه به‌صورت کمتر یا بیشتر از دوام مشخصه مطرح شده است. با توجه به در دسترس نبودن آزمایشات دوام سازه، براساس ترک‌های موجود در نمونه‌های گرفته‌شده از سازه و مشاهده حباب‌های هوا متعدد در بتن اجرا شده، بحث دوام بتن اجرا شده مورد تردید می‌باشد.

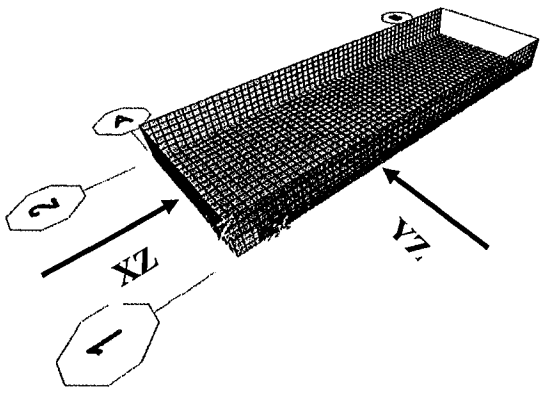
ج- سایر اقدامات

در مواردی‌که در هیچ‌یک از روش‌های تحلیلی و مغزه‌گیری نتوان بتن موجود را از نظر دوام پذیرفت، می‌توان با استفاده از روش‌های خاصی مانند به‌کارگیری پوشش‌های محافظ سطحی یا اصلاحات و ترمیم‌های سطحی، عملکرد بتن عضو را از نظر دوام، به سطح قابل قبولی رساند. نتیجه عملکرد این تدابیر باید بر اساس نتایج آزمایشگاهی و یا میدانی به اثبات برسد.

۲- معرفی مدلسازی

نحوه مدلسازی بصورت المان محدود و نوع تحلیل، تحلیل استاتیکی معادل و دینامیکی طیفی با اعمال اثر اندرکنش خاک و سازه و بدون اعمال اثر اندرکنش خاک و سازه انجام شده است. همچنین ارزیابی لرزه ای برای بتن با مقاومت فشاری ۱۰ مگاپاسکال (وضعیت موجود سازه) در نظر گرفته شده است. سایر داده های ورودی تحلیل به شرح ذیل می‌باشد:

طول سازه تا اولین درز اجرایی: ۲۸ متر، عرض سازه: ۱۰ متر، ضخامت دیواره ها: ۳۰ سانتیمتر، ضریب رفتار لاگون (Ri): ۳,۵، نسبت شتاب مبنای طرح، A : ۰,۳، نوع زمین: خاک متراکم تا متوسط،تیپ III ، ضریب اهمیت ساختمان، I: ۱,۴، تراز آب: ۲,۷ متر، زمان تناوب سازه، T : ۰,۳۶، ضریب بازتاب سازه،B : ۲,۷۵، شدت لرزه خیزی: پهنه با خطر نسبی زیاد، ضریب عکس‌العمل بستر (Ks): ۱۲۰۰۰ kg/m2، مطابق شکل شماره ۳ دیواره های سازه در دو راستای YZ و XZ در تحلیل ها مورد بررسی قرار گرفته اند.



شکل ۳: دیواره های مورد بررسی سازه در تحلیل استاتیکی معادل و دینامیکی طیفی

۳- تحلیل داده‌ها و نتایج

تحلیل استاتیکی معادل و تحلیل دینامیکی طیفی در بتن با مقاومت فشاری ۱۰ مگاپاسکال در دو حالت با در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه و بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه انجام گرفت. پس از انجام تحلیل های مذکور، پارامترهای حداکثر تنش ایجاد شده در دو جهت مختصات محلی صفحات، اثر اندرکنش خاک و سازه در توزیع تنش داخل صفحه دیواره‌ها و حداکثر تغییر مکان در دو راستای اصلی (X,Y) با یکدیگر مقایسه گردید.

۳-۱. نتایج حاصل از حداکثر تنش ایجاد شده در دو جهت مختصات محلی صفحات در تحلیل استاتیکی معادل و تحلیل دینامیکی طیفی

پارامتر حداکثر تنش ایجاد شده در دو جهت مختصات محلی در دو حالت بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه و با در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه در تحلیل های استاتیکی معادل و دینامیکی طیفی برای بتن با مقاومت ۱۰ مگاپاسکال بررسی و نتایج آن در جداول شماره ۲ و ۳ ارائه گردیده است.

جدول ۲: حداکثر تنش ایجاد شده در بتن با مقاومت فشاری ۱۰ مگاپاسکال در تحلیل استاتیکی معادل و تحلیل دینامیکی طیفی بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه

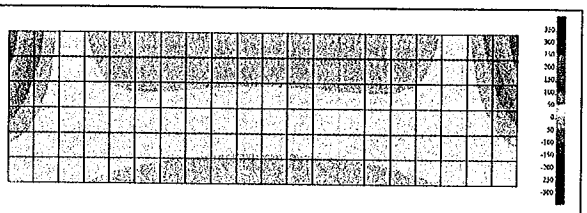
مقاومت بتن (Mpa)	تنش های افقی و قائم دیواره ها	حداکثر تنش ($Ton.f/m^2$)			
		X		Y	
		ESTATIC	SPECTRUM	ESTATIC	SPECTRUM
۱۰	S11	۳۲۶	۳۶۰	۳۲۸	۳۶۶
۱۰	S22	۴۶۶	۵۱۶	۵۵۵	۶۳۵

جدول ۳: حداکثر تنش ایجاد شده در بتن با مقاومت فشاری ۱۰ مگاپاسکال در تحلیل استاتیکی معادل و تحلیل دینامیکی طیفی با در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه

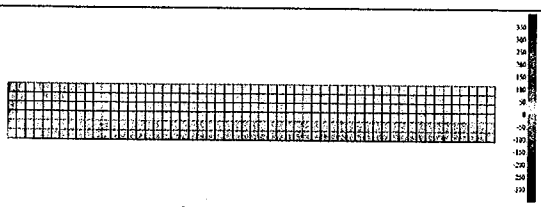
مقاومت بتن (Mpa)	تنش های افقی و قائم دیواره ها	حداکثر تنش ($Ton.f/m^2$)			
		X		Y	
		ESTATIC	SPECTRUM	ESTATIC	SPECTRUM
۱۰	S11	۳۶۴	۵۸۲	۴۱۷	۶۰۶
۱۰	S22	۲۲۹	۳۴۲	۵۹۵	۶۳۲

۳-۲. نتایج حاصل از توزیع تنش داخل صفحه دیواره‌ها در تحلیل استاتیکی معادل و تحلیل دینامیکی طیفی

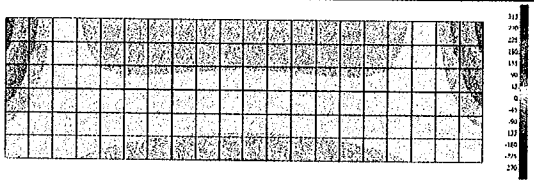
در این بخش خطوط تراز توزیع تنش داخل صفحه دیواره ها در دو حالت بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه و با در در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه در تحلیل های استاتیکی معادل و دینامیکی طیفی برای دو جهت تنش های افقی و قائم (S11 و S22) در شکل شماره ۴ ارائه شده است.



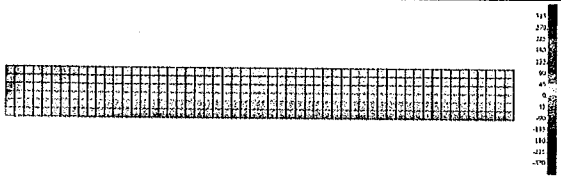
توزیع تنش داخل صفحه دیواره ها (S11) بدون در نظر گرفتن اندر کنش خاک و سازه در تحلیل دینامیکی طیفی- راستای X



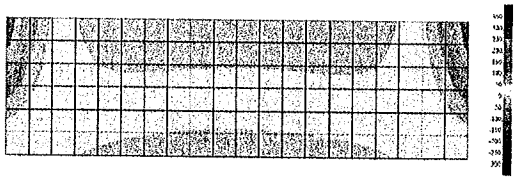
توزیع تنش داخل صفحه دیواره ها (S11) بدون در نظر گرفتن اندر کنش خاک و سازه در تحلیل دینامیکی طیفی- راستای Y



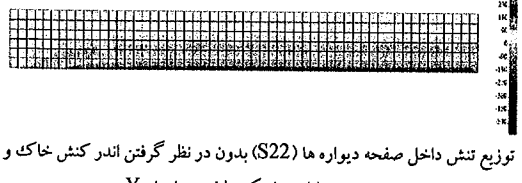
توزیع تنش داخل صفحه دیواره ها (S11) بدون در نظر گرفتن اندر کنش خاک و سازه در تحلیل استاتیکی معادل- راستای X



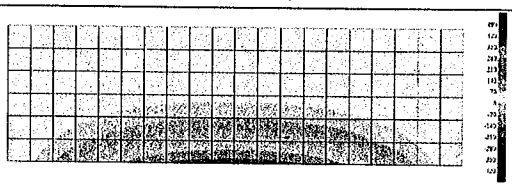
توزیع تنش داخل صفحه دیواره ها (S11) بدون در نظر گرفتن اندر کنش خاک و سازه در تحلیل استاتیکی معادل- راستای Y



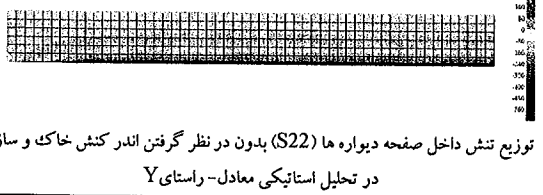
توزیع تنش داخل صفحه دیواره ها (S22) بدون در نظر گرفتن اندر کنش خاک و سازه در تحلیل دینامیکی طیفی- راستای X



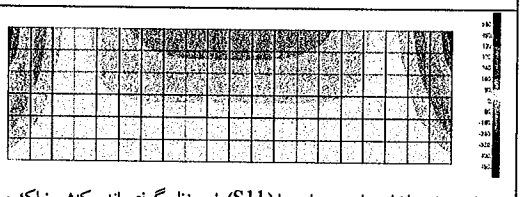
توزیع تنش داخل صفحه دیواره ها (S22) بدون در نظر گرفتن اندر کنش خاک و سازه در تحلیل دینامیکی طیفی- راستای Y



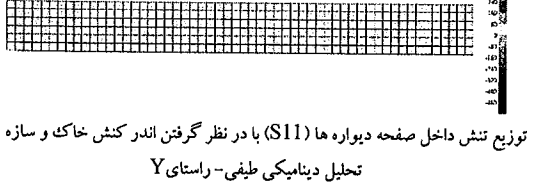
توزیع تنش داخل صفحه دیواره ها (S22) بدون در نظر گرفتن اندر کنش خاک و سازه در تحلیل استاتیکی معادل- راستای X



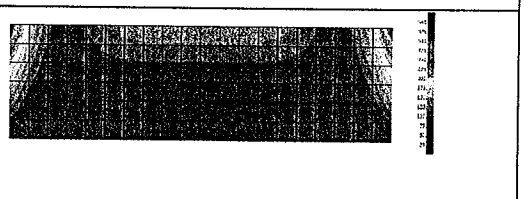
توزیع تنش داخل صفحه دیواره ها (S22) بدون در نظر گرفتن اندر کنش خاک و سازه در تحلیل استاتیکی معادل- راستای Y



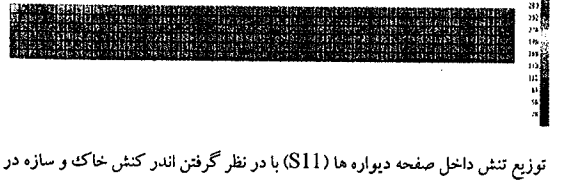
توزیع تنش داخل صفحه دیواره ها (S11) با در نظر گرفتن اندر کنش خاک و سازه در تحلیل دینامیکی طیفی- راستای X



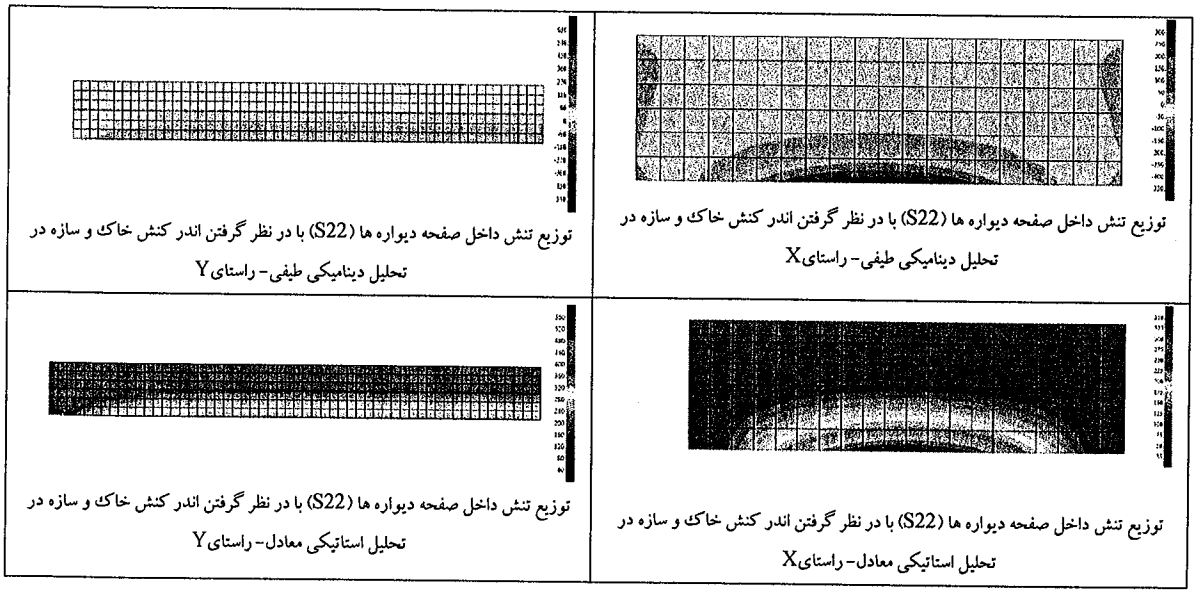
توزیع تنش داخل صفحه دیواره ها (S11) با در نظر گرفتن اندر کنش خاک و سازه در تحلیل دینامیکی طیفی- راستای Y



توزیع تنش داخل صفحه دیواره ها (S11) با در نظر گرفتن اندر کنش خاک و سازه در تحلیل استاتیکی معادل- راستای X



توزیع تنش داخل صفحه دیواره ها (S11) با در نظر گرفتن اندر کنش خاک و سازه در تحلیل استاتیکی معادل- راستای Y



توزیع تنش داخل صفحه دیواره ها (S22) با در نظر گرفتن اندر کنش خاک و سازه در تحلیل دینامیکی طیفی- راستای X

توزیع تنش داخل صفحه دیواره ها (S22) با در نظر گرفتن اندر کنش خاک و سازه در تحلیل دینامیکی طیفی- راستای Y

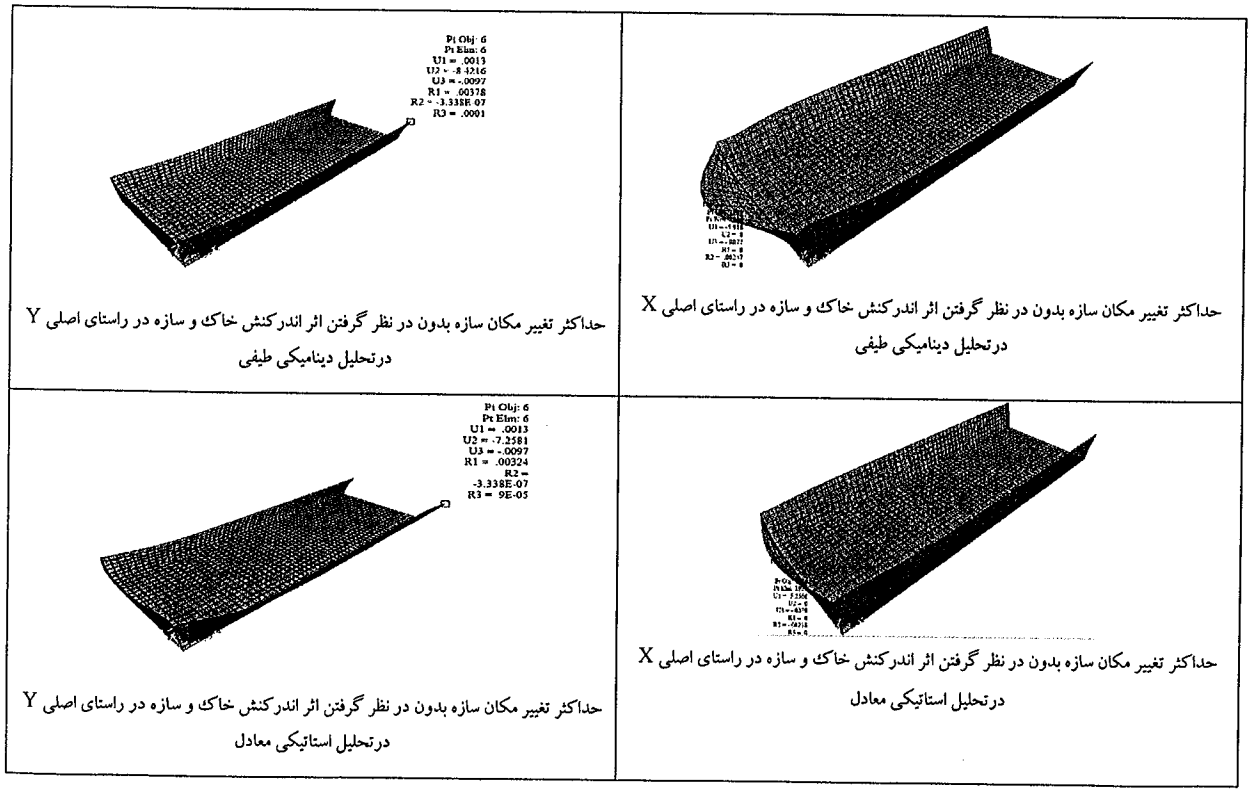
توزیع تنش داخل صفحه دیواره ها (S22) با در نظر گرفتن اندر کنش خاک و سازه در تحلیل استاتیکی معادل- راستای X

توزیع تنش داخل صفحه دیواره ها (S22) با در نظر گرفتن اندر کنش خاک و سازه در تحلیل استاتیکی معادل- راستای Y

شکل ٤: توزیع تنش های افقی و قائم داخل صفحه دیواره‌ها با و بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه در دو راستای اصلی X و Y در تحلیل های استاتیکی معادل و دینامیکی طیفی

۳-۳. نتایج حاصل از حداکثر تغییر مکان در دو راستای اصلی (X,Y) در تحلیل استاتیکی معادل و تحلیل دینامیکی طیفی

پارامتر حداکثر تغییر مکان در دو راستای اصلی (X,Y) در دو حالت بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه و با در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه در تحلیل های استاتیکی معادل و دینامیکی طیفی برای بتن با مقاومت ۱۰ مگاپاسکال بررسی گردید. در شکل شماره ۵ حداکثر تغییر مکان سازه بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک سازه و با در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک سازه در دو راستای اصلی X,Y در تحلیل های دینامیکی طیفی و استاتیکی معادل نشان داده شده است.

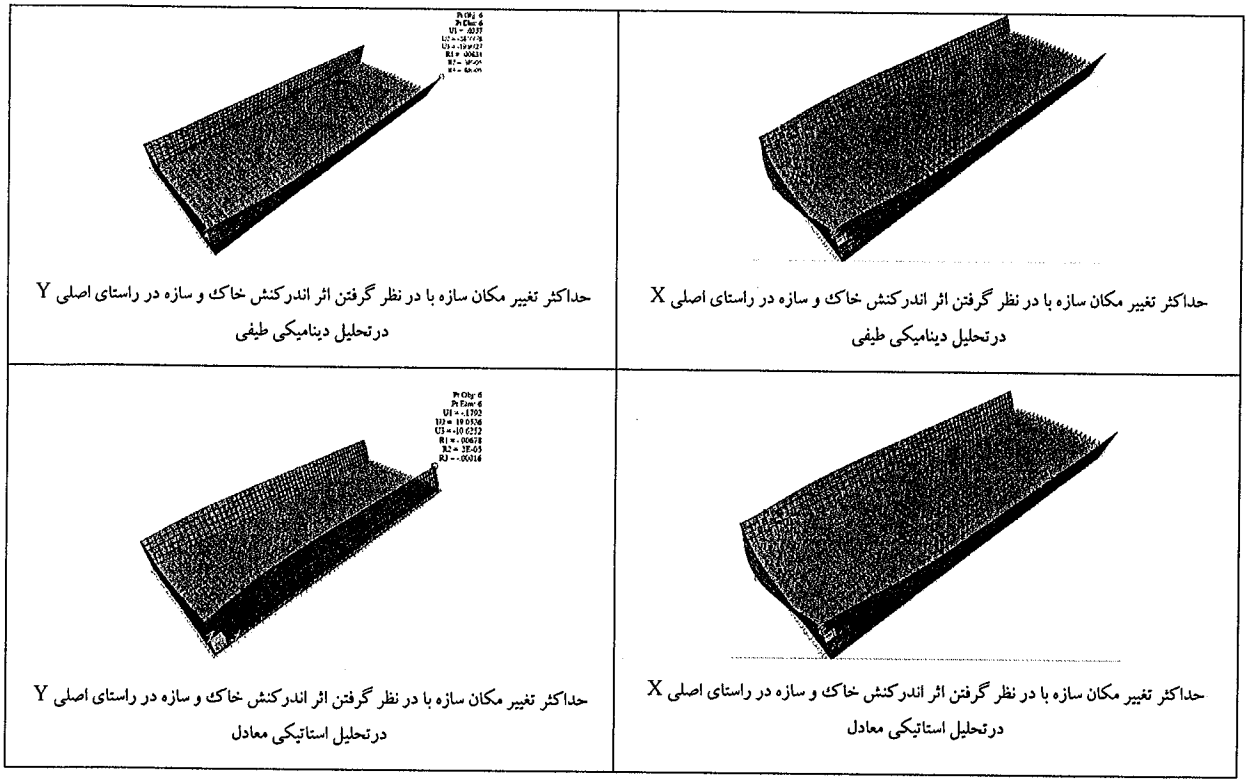


حداکثر تغییر مکان سازه بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه در راستای اصلی X درتحلیل دینامیکی طیفی

حداکثر تغییر مکان سازه بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه در راستای اصلی Y درتحلیل دینامیکی طیفی

حداکثر تغییر مکان سازه بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه در راستای اصلی X درتحلیل استاتیکی معادل

حداکثر تغییر مکان سازه بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه در راستای اصلی Y درتحلیل استاتیکی معادل



حداکثر تغییر مکان سازه با در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه در راستای اصلی X درتحلیل دینامیکی طیفی

حداکثر تغییر مکان سازه با در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه در راستای اصلی Y درتحلیل دینامیکی طیفی

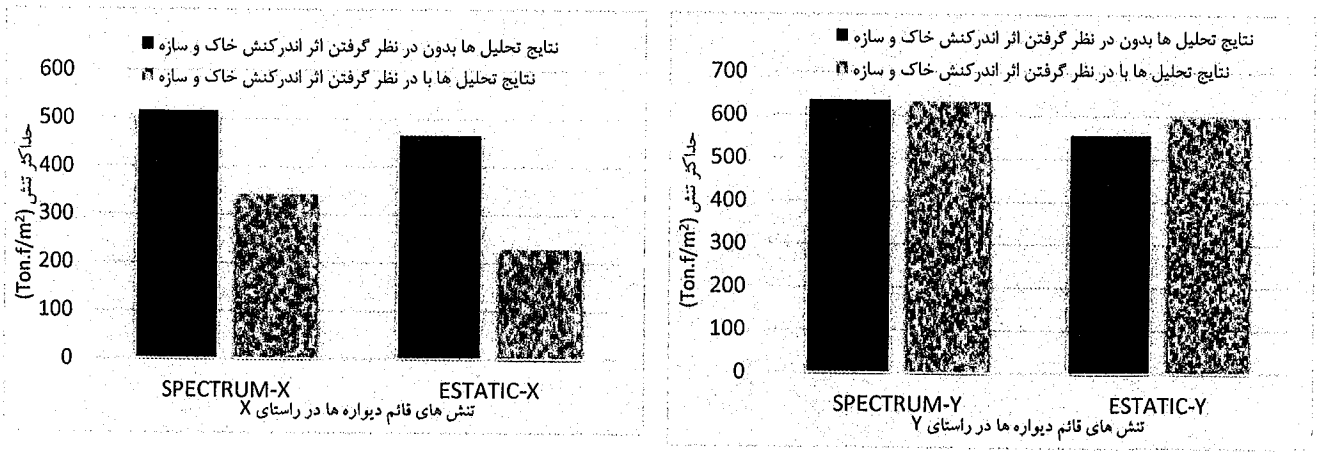
حداکثر تغییر مکان سازه با در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه در راستای اصلی X درتحلیل استاتیکی معادل

حداکثر تغییر مکان سازه با در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه در راستای اصلی Y درتحلیل استاتیکی معادل

شکل ۵: حداکثر تغییر مکان سازه با و بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه در دو راستای اصلی X و Y در تحلیل های استاتیکی معادل و دینامیکی طیفی

٤-۳. مقایسه نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی معادل و تحلیل دینامیکی طیفی در بتن با مقاومت فشاری ۱۰ مگاپاسکال با و بدون در نظر اثر اندرکنش خاک و سازه

در بخش قبل نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی معادل و دینامیکی طیفی در سازه با بتن مقاومت فشاری ۱۰ مگاپاسکال در دو حالت با و بدون در نظر گرفتن اثر اندر کنش خاک و سازه ارائه گردید. در این بخش نتایج حاصل از بخش قبل در خصوص پارامترهای حداکثر تنش ایجاده شده در دو جهت مختصات محلی صفحات، بازه توزیع تنش داخل صفحه دیواره‌ها و پارامتر حداکثر تغییر مکان در دو راستای اصلی (X,Y) در دو حالت بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه و با در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه در تحلیل های استاتیکی معادل و دینامیکی طیفی برای بتن با مقاومت ۱۰ مگاپاسکال مقایسه گردید.



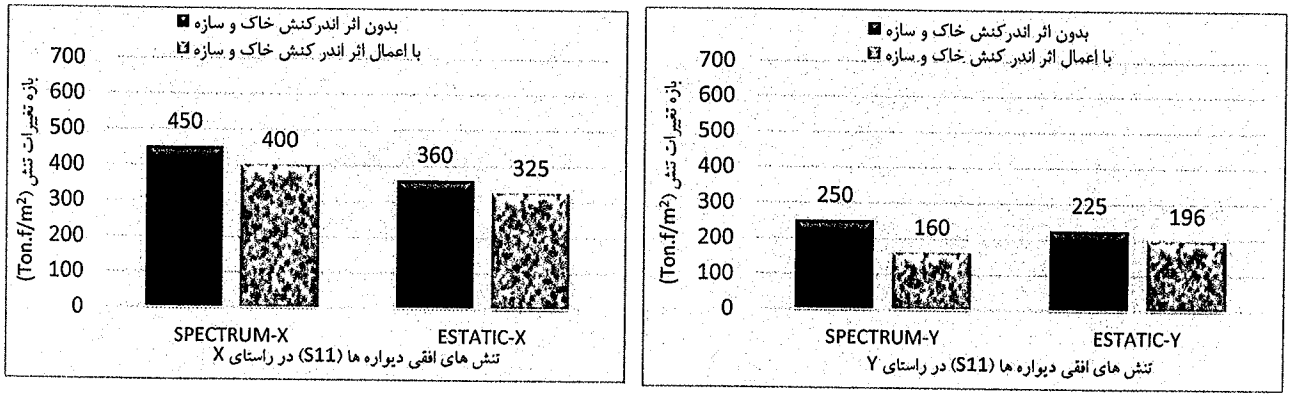
شکل۷: مقایسه حداکثر تنش های قائم دیواره ها با و بدون نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه در بتن با مقاومت ۱۰ مگاپاسکال

جدول ٤: مقایسه حداکثر تنش های قائم و افقی در دو حالت با در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه و بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنش در بتن با مقاومت ۱۰ مگاپاسکال

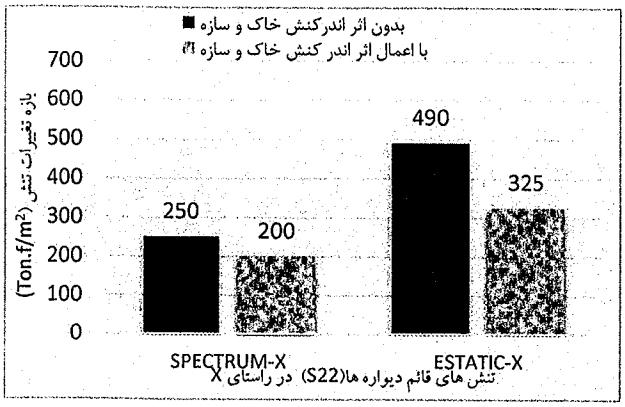
مقاومت بتن (Mpa)	تنش های افقی و قائم دیواره ها	مقایسه حداکثر تنش (٪)			
		X		Y	
		ESTATIC	SPECTRUM	ESTATIC	SPECTRUM
۱۰	S11	۱۰,۴	۳۷,۹	۲۱,۳	۳۹,۶
۱۰	S22	۱۰۳,۵-	۵۰,۹-	۶,۷	۰,۵-

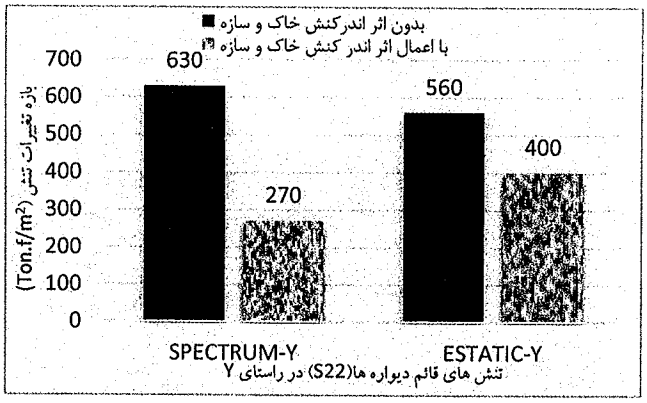
جدول ٥: مقایسه بازه تغییرات تنش های قائم و افقی در دو حالت با در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه و بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنش در بتن با مقاومت ۱۰ مگاپاسکال

مقاومت بتن (Mpa)	تنش های افقی و قائم دیواره ها		بازه تغییرات تنش ($Ton.f/m^2$)			
			X		Y	
			ESTATIC	SPECTRUM	ESTATIC	SPECTRUM
۱۰	S11	بدون اثر اندرکنش خاک و سازه	۳۶۰	۴۵۰	۲۲۵	۲۵۰
		با اعمال اثر اندر کنش خاک و سازه	۳۲۵	۴۰۰	۱۹۶	۱۶۰
	S22	بدون اثر اندرکنش خاک و سازه	۴۹۰	۲۵۰	۵۶۰	۶۳۰
		با اعمال اثر اندر کنش خاک و سازه	۳۲۵	۲۰۰	۴۰۰	۲۷۰

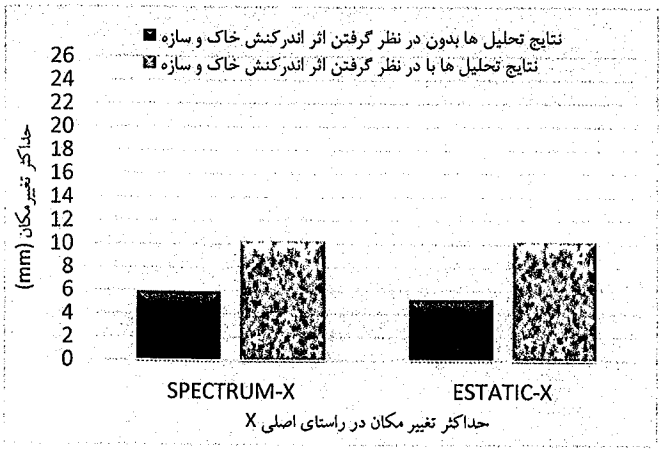


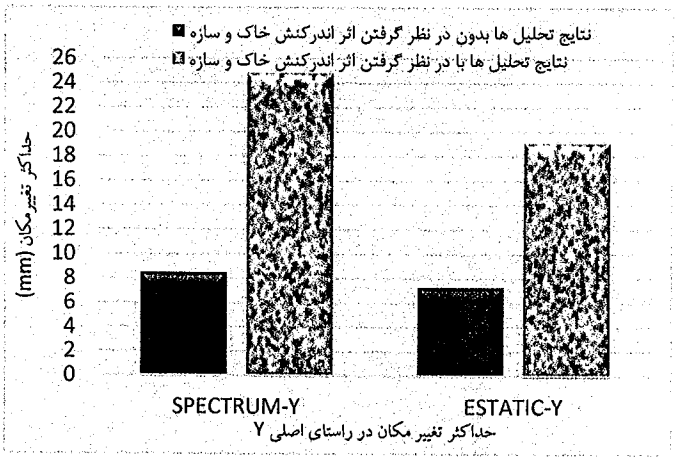
شکل۷: مقایسه بازه تغییرات تنش های افقی دیواره ها با و بدون نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه در بتن با مقاومت ۱۰ مگاپاسکال





شکل۸: مقایسه بازه تغییرات تنش های قائم دیواره ها با و بدون نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه در بتن با مقاومت ۱۰ مگاپاسکال





شکل۹: مقایسه حداکثر تغییر مکان در دو راستای اصلی X,Y با و بدون نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه در بتن با مقاومت ۱۰ مگاپاسکال

جدول ٦: مقایسه حداکثر تغییر مکان در دو راستای اصلی X,Y با و بدون نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه در بتن با مقاومت ۱۰ مگاپاسکال

مقاومت بتن (Mpa)		حداکثر تغییر مکان (mm)			
		X		Y	
		ESTATIC	SPECTRUM	ESTATIC	SPECTRUM
۱۰	بدون نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک	۵,۲۵	۵,۹	۷,۲۵	۸,۴۲
۱۰	با نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک	۱۰,۱۷	۱۰,۲۴	۱۹,۰۵	۲۴,۷۷

۳-۵. نتایج

به طور کلی نتایج مطالعات انجام شده در این پژوهش را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

۱- حداکثر تنش های افقی ایجاد شده پس از اعمال اثر اندرکنش خاک وسازه به بتن با مقاومت ۱۰ مگاپاسکال افزایشی بوده است و حداکثر تنش های قائم ایجاد شده در این حالت کاهشی می‌باشد و تنها در تحلیل استاتیکی معادل تنش های قائم در جهت محور Y ، ۶,۷ درصد افزایش داشته است.

۲- بازه تغییرات تنش های قائم و افقی داخل صفحه دیواره ها پس از اعمال اثر اندرکنش خاک و سازه به بتن با مقاومت ۱۰ مگاپاسکال کاهش یافته است. این میزان کاهش در ماکزیمم حالت در تنش های قائم دیواره ها و در نتایج تحلیل دینامیکی طیفی حدود ۵۷ درصد بوده است.

۳- حداکثر تغییر مکان در دو راستای اصلی X,Y پس از اعمال اثر اندرکنش خاک و سازه در بتن با مقاومت ۱۰ مگاپاسکال به صورت افزایشی بوده است، که این تغییر در بیشترین حالت به میزان ۶۶ درصد افزایش و حدود ۲۵ میلیمتر در تحلیل دینامیکی طیفی در راستای Y می‌باشد

بطور کلی می توان چنین اذعان نمود پس از اعمال اثر اندرکنش خاک و سازه به بتن با مقاومت فشاری ۱۰ مگاپاسکال حداکثر تنش های افقی ایجاد شده افزایش و حداکثر تنش های قائم ایجاد شده کاهش می‌یابد. بازه تغییرات تنش های افقی و قائم در بتن با مقاومت ۱۰ مگاپاسکال کاهش می‌یابد،که این موضوع نشان دهنده اثر غیرقابل چشم‌پوشی اندرکنش خاک و سازه در طراحی لاگون‌ها است. در خصوص حداکثر تغییر مکان سازه پس از اعمال اثرات اندرکنش خاک و سازه می‌توان چنین نتیجه گیری نمود که حداکثر تغییر مکان وابسته به مقاومت فشاری بتن بوده و با کاهش مقاومت فشاری تغییر مکان افزایش می‌یابد.

٤- منابع و مراجع

۱. سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور. ۱۳۸۴. ضوابط عمومی طراحی سازه‌های آبی بتنی، نشریه ۳۱۲.
۲. زاکری و همکاران. ۱۳۹۱. مقایسه عددی تیر بر روی بستر ارتجاعی در دو حالت پیوسته و مجزا (تئوری وینکلر) از منظر تغییر مکان. چهاردهمین همایش بین المللی حمل و نقل ریلی.
۳. معاونت فنی و توسعه امور زیر بنایی. ۱۳۹۵. ضوابط و معیارهای طرح و محاسبه مخازن آب زمینی (تجدید نظر اول).
۴. معاونت نظارت راهبردی. امور نظام فنی. ۱۳۹۱. راهنمای طراحی لرزه‌ای سامانه آبرسانی، نشریه شماره ۶۰۴.
۵. معاونت فنی، امور زیر بنایی و تولیدی. ۱۴۰۰. آئین نامه بتن ایران (تجدید نظر دوم)، جلد اول و دوم.
۶. کیخا و همکاران. ارائه راهکار بهسازی لرزه‌ای مخازن آب بتنی مدفون با استفاده از روش تحلیل استاتیکی به کمک مدلسازی. ۱۳۹۳. دومین همایش ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی. تهران.
۷. سلیمی، امیر رضا. ۱۴۰۰. بررسی عوامل موثر بر دوام و مقاومت بتن در سازه‌های هیدرولیکی. نشریه اختصاصی معماری و شهرسازی ایران.
۸. سازمان ملی استاندارد ایران. ۱۳۹۴. استاندارد ملی ایران، ۶۰۴۷ و ۶۰۴۸، بتن-تعیین مقاومت کششی و فشاری دو نیم کردن آزمونه‌های استوانه ای بتن-روش آزمون.
۹. مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان. ۱۳۹۳. آئین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، ۲۸۰۰.

10. Aparna S Pillai and Eby Eldos. 2019. Hydraulic and Structural Design of Water Treatment Plant. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET).
11. American Concrete Institute. 2006. Seismic Design of Liquid-Containing Concrete Structures and Commentary(ACI 350.3-06).
12. Engineering Structures. 2023. Towards next generation design of sustainable, durable, multi-hazard resistant, resilient, and smart civil engineering structures.
13. S. Leon and Eduardo A. M. Kausel. 1986. SEISMIC ANALYSIS OF FLUID STORAGE TANKS.
14. Praveen K. Malhotra,l Member, ASCE. 1997. SEISMIC RESPONSE OF SOIL-SUPPORTED UNANCHORED LIQUID-STORAGE TANKS.
15. Franz G Rammerstorfer and Knut Scharf. 1990. Storage tanks ynder earthquake loading. Technical University of Vienna, Vienna, Austri.