سومین کنفرانس سراسری توسعه محور
مهندسی عمران ، معماری ، برق و مکانیک ایران
گرگان ، ۶ خردادماه ۱۳۹۵

به نام خدا

بررسی اثر شمع در کاهش نشست ساختمان مجاور

(مطالعه موردی شهر آبادان)

محسن آقاهادی فروشانی[۱]، حمید مهرنهاد[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد خاک و پی دانشگاه یزد

۲- استادیار دانشکده فنی و مهندسی گروه عمران دانشگاه یزد

Mohsen.aghahadi68@gmail.com

چکیده :

سالیانه ساختمان‌های زیادی پس از احداث بنای سنگین در همسایگی آنها بدون در نظرگرفتن اثرمتقابل پی‌ها دچار آسیب و ترک‌خوردگی می‌شوند. با توجه به بررسی‌های به عمل‌آمده مشخص گردید آیین‌نامه خاصی برای به حداقل رساندن اثر سازه جدید بر نشست ساختمان‌های مجاور وضع نشده است. یکی از روش‌های عملی برای رفع این مشکل، انتقال تنش‌ها به لایه‌های زیرین توسط شمع می‌باشد. در این پژوهش یک ساختمان شش طبقه در مجاورت ساختمان یک طبقه در شهرآبادان به عنوان مطالعه موردی انتخاب گردید و با استفاده از نرم افزار PLAXIS 3D FOUNDATION اثر شمع و نقش آن درکاهش نشست ساختمان مجاور مورد بررسی قرارگرفت. نتایج نشان داد آرایش و چیدمان مناسب شمع‌ها در ردیف اول شمع گذاری و به فاصله محور به محور ۳ متر می‌تواند ترک‌های سازه‌ای را از بین ببرد.

واژه‌های کلیدی:

نشست، اثرمتقابل، ساختمان مجاور، شمع، شهرآبادان، PLAXIS

۱- مقدمه

هدف اساسی از ایجاد پی یک ساختمان انتقال بارهای ناشی از ساختمان به زمین در عمق مناسب هست به‌نحوی‌که تنش‌های ناشی از این بارها اثر نامطلوبی بر پی ساختمان مجاور نداشته باشد و فشار وارد بر خاک را بیش از ظرفیت باربری نکرده و موجب گسیختگی نگردد (شرایط ایمنی). از طرف دیگر تنش در توده خاک باید به نحوی باشد که اختلاف نشست‌های غیر قابل قبول پدید نیاورد. یعنی در دو نقطه از ساختمان اختلاف نشست نباید زیاد باشد تا در بدنه ساختمان اختلال ایجاد نماید (شرایط پایداری پی). هرگاه دو شرط فوق برقرار باشد و نیز خود ساختمان به طور صحیح محاسبه و اجرا شده باشد می‌توان حداکثر اطمینان را به پایداری و مقاومت ساختمان داشت و مطمئن بود که ساختمان صدمه نخواهد دید.[۱]

امروزه به علت ازدیاد و تنوع بناهای بزرگ و نبود زمین‌های مناسب و مقاوم، مهندسان بایستی پی‌های این بناها را نزدیک به هم احداث کنند. بنابراین، پی‌های بناها عموماً با یکدیگر برخورد دارند و به‌ندرت از هم جدا هستند. مطالعه تداخل بین پی‌ها، اهمیت بنیادی برای هر دو مهندسی سازه و خاک و پی دارد. برای طراحی مناسب و دقیق پی، اطلاعات مربوط به نشست، انحراف و ظرفیت خاک مورد نیاز است. [۲]

۲- مطالعات انجام شده

پژوهشگران مختلفی درباره تاثیر فاصله مجاز، ابعاد پی و عمق فونداسیون دو پی همجوار بر روی ظرفیت باربری و نشست پی یکدیگر مطالعاتی انجام دادند. داس و همکاران[۳] ظرفیت باربری پی‌های سطحی نزدیک به هم و تاثیر متقابل آن‌ها را بر روی ظرفیت باربری مورد مطالعه قرار دادند. کومار و ساران[۴] صحت نتایج بدست آمده از حل تحلیلی دو پی مستطیلی نزدیک به هم که بر روی ماسه با قانون رفتاری هذلولوی واقع شده اند را با نتایج آزمایشگاهی بر روی همان خاک بررسی نمودند. مطالعات صورت گرفته توسط گوردن و گریفیتس [۵] نشان می دهد مقدار ظرفیت باربری میانگین در حالت زهکشی نشده برای دو پی نواری مستقر روی خاک تصادفی فضایی نسبت به پی مجزا افزایش می یابد. در این تحقیق فرض شده است که هر پی بار سازه ای مجزا را تحمل می کند. عسکری و شوش پاشا [۶] در بررسی میزان فاصله مجاز بین دو ساختمان با تعداد طبقات مختلف به این نتیجه رسیدند که در صورتی که اختلاف طبقات ساختمان قدیم و جدید زیاد باشد عامل تعیین کننده برای رعایت حداقل فاصله مجاز بین دو ساختمان مجاور به هم، تغییر شکل ناشی از کج‌شدگی است.گوش و کومار [۷] با فراهم کردن مدل آزمایشگاهی نشان دادند که نشست و ظرفیت باربری پی تک در حضور پی دیگر نسبت به حالت عدم وجود پی مجاور به ازای یک مقدارفاصله بحرانی بین دو پی به بیشترین مقدار خود رسیده و از آن به بعد روند کاهشی پیدا می کند. محافظت‌کار و جمشیدی[۸] به این نتیجه رسیدند که در صورت استفاده از یک نوع سیستم پی سطحی

و عدم امکان در تغییر دادن سیستم روسازه، می‌توان با افزایش عمق استقرار پی ساختمان جدید باعث کاهش نشست‌های وارده به ساختمان قدیم شد. باسودهار و نانیگالی [۹] در مطالعات خود با روش اجزای محدود بر روی دو پی مجاور که مدول الاستیسیته خاک زیر آن‌ها با عمق تغییر می‌کرد، دریافتند که پیش‌بینی رفتار در خاک‌های غیر همگن شباهت زیادی به خاک-های همگن دارد. ردی و همکاران [۱۰] در بررسی مطالعات آزمایشگاهی پی‌های مجاور که به طور همزمان و تدریجی بر روی خاک ماسه‌ای بارگذاری شده بودند نشان دادندکه اثر تداخل برای پی‌های با فاصله بیشتر از ۶ برابر عرض قابل صرف نظر کردن می‌باشد.

۳- نشست مجاز شالوده‌ها

از آنجایی‌که در مناطق شهری، ساخت و سازهای جدید در یک طرف از ساختمان‌های موجود ساخته می‌شوند، نشست‌های حاصل از افزایش تنش ناشی از ساختمان جدید غیر یکنواخت می‌باشد. به همین دلیل توصیه شده است در منطقه ای که تنش داخلی به صورت ناگهانی تغییر می‌کند و افزایش می‌یابند، محدودیت‌هایی برای نشست مد نظر قرار گیرد.[۱۱]

پارامترهای تعریف شده برای نشست عبارتند از :

ω : دوران کل که برابر است با

$$\omega = \frac{\Delta ST(max)}{L} \qquad (۱)$$

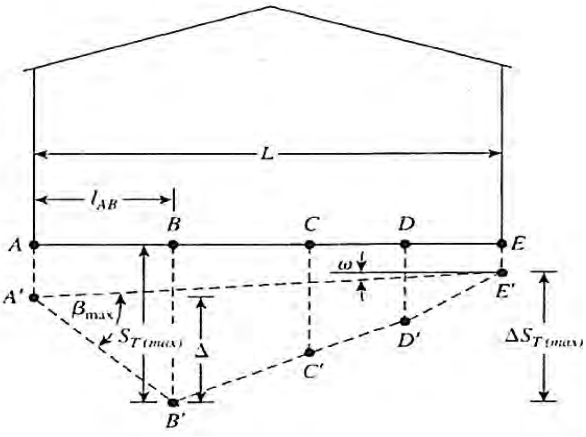
β : چرخش زاویه‌ای که برابر است با

$$\beta = \frac{\Delta}{lAB} \qquad (۲)$$

$\Delta S_{T(max)}$: نشست تفاضلی دو انتهای پی

$S_{T(max)}$: نشست ماکزیمم

L : بعد جانبی ساختمان



شکل(۱) پارامترهای تعریف شده برای مقادیر نشست مجاز

در شکل (۱) پارامترهای مربوط به نشست که موجب دوران و چرخش ساختمان می‌شود نشان داده شده است. انجمن ژئوتکنیک کانادا[1] در سال ۲۰۰۶ برای انواع ساختمان‌ها معیار خرابی و حد مجاز آن را مشخص می‌کند. جدول (۱) مقادیر بیان شده توسط این آیین نامه را نشان می دهد. [۱۲]

[1] - Canadian Geotechnical Society 2006

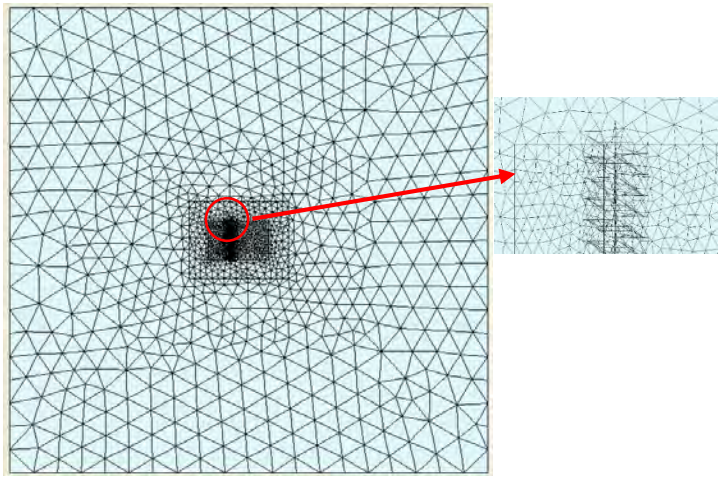
جدول (۱) مقادیر مجاز پارامترهای نشست براساس نوع ساختمان

نوع ساختمان	نوع آسیب	معیار	مقادیر مجاز
ساختمان های قاب بندی شده و دیوار باربر مسلح	آسیب سازه ای	چرخش زاویه ای	۱/۱۵۰ – ۱/۲۵۰
	ترک در دیوار و پارتیشن ها	چرخش زاویه ای	۱/۵۰۰
	جنبه ظاهری	دوران	۱/۳۰۰
	سرویس دهی	نشست کل	۵۰–۷۵ mm (ماسه ها)

۳- مدلسازی اجزاء محدود

در این مقاله از نرم افزار اجزا محدود سه بعدی Plaxis 3D Foundation استفاده شده است. این نرم افزار از سری نرم‌افزارهای اجزا محدود Plaxis ساخته شده در دانشگاه دلف می باشد که قابل استفاده در تحلیل پی گسترده، شمعی، رادیه – شمع و سازه های ساحلی می باشد.[۱۳]

۳-۱- شبکه اجزا محدود و شرایط مرزی

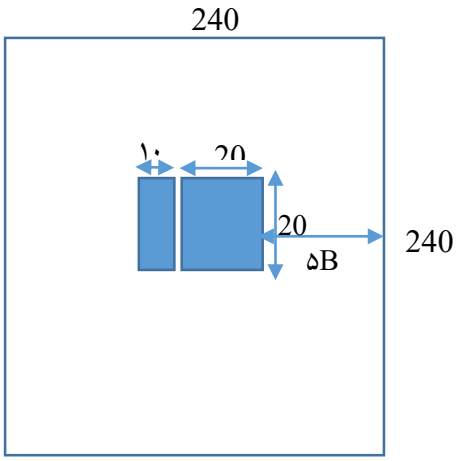


شکل (۲) مش بندی۲ بعدی

شکل (۲) نمونه ای از شبکه اجزا محدود به کار رفته در این مقاله را نشان می دهد. مطالعه پارامتریک برای ابعاد مختلف شمع و آرایش های مختلف انجام شد. ویژگی های مصالح خاک، شمع و رادیه در جدول‌های زیرآورده شده‌اند. خاک مورد بررسی، خاک رس منطقه ای در شهر آبادان می‌باشد. در این پژوهش ساختمان جدید با ابعاد ۲۰ ×۲۰ متر و پی رادیه آن با ضخامت ۸۰ سانتی‌متر و ساختمان قدیم با ابعاد ۱۰×۲۰ متر که بر روی یک پی با ضخامت ناچیز ۲۰ سانتی متر مدل‌سازی شده است که این دو پی به فاصله ۳۰ سانتی‌متر از هم قرار دارند. ابعاد مدل را از هر طرف به اندازه ۵ برابر عرض امتداد داده می‌شود. بنابراین ابعاد محیط شبیه سازی ۲۴۰ متر طول و با عمق ۱۰۰ متر در نظر گرفته می‌شود. شکل (۳) پلان موقعیت دو پی را نشان می‌دهد.

۳-۲- مشخصات مصالح در مدل

تراز آب‌های زیرزمینی در شهر آبادان در عمق یک متری سطح زمین می‌باشد، لذا خاک اشباع می‌باشد. مشخصات خاک این پژوهش با مدل موهرکولمب مدل‌سازی شده است. با توجه به آنکه اثر نشست نهایی ساختمان بر روی سازه مجاور بررسی می‌شود، لذا از پارامترهای زهکشی شده خاک استفاده می‌گردد.در جداول زیر مشخصات پی و خاک و شمع مورد استفاده با توجه به نتایج آزمایش مکانیک خاک و پی موجود در محل [۱۴] آورده شده است.



شکل(۳) پلان موقعیت و جانمایی پی‌ها

۳-۲-۱- مشخصات پی ساختمان

جدول(۲) مشخصات پی ساختمان

نوع پی	ضخامت (متر)	مدول الاستیسیته پی (کیلو پاسکال)	ضریب پواسون	وزن مخصوص (کیلونیوتن بر متر بر متر مکعب)
ساختمان جدید	۰.۸	$۲.۶۸۶e^{۷}$	۰.۱۵	۲۴
ساختمان قدیم	۰.۲	$۲.۶۸۶e^{7}$	۰.۱۵	۲۴

۳-۲-۲- مشخصات لایه‌های خاک

جدول(۳) مشخصات لایه‌های خاک

شماره لایه	نوع لایه	توصیف لایه	عمق لایه	C′ (kn/m²)	φ′	Υ (kn/m²)	Es (kn/m²)	υ	Rint
۱	Cl	رس قهوه‌ای	۶	۲۳	۲۲	۱۹	۶۰۰۰	۰.۳۵	1
۲	Cl	رس خاکستری	۶	۲۴	۱۹	۱۸	۸۰۰۰	۰.۴	1
۳	Ml	سیلت ماسه‌ای	۳	۱۴	۳۰	۱۹	۱۰۰۰۰	۰.۳	1
۴	SM	ماسه ریزدانه	۵	۱۰	۳۶	۲۰	۱۸۰۰۰	۰.۲۵	1
۵	SM	ماسه ریزدانه	۱۰	۷	۴۱	۲۰	۱۵۰۰۰	۰.۲۵	1
۶	CL	رس قهوه‌ای	۵	۲۶	۲۱	۲۰	۱۶۰۰۰	۰.۳۵	1

۷	CL	مارل متراکم	۶۵	۲۹	۲۰	۲۱	۳۵۰۰۰	۰.۳۵	1

۳-۲-۳- مشخصات شمع‌ها

مشخصات شمع‌ها در نرم‌افزار Plaxis 3D foundation در محیط غیر متخلخل و با رفتار الاستیک خطی مدل‌سازی شده است. مشخصات شمع‌های مدل اصلی مطابق جدول(۴) آورده شده است. مدول الاستیسیته شمع بتنی از رابطه زیر به‌دست می‌آید.[۱۵]

$$E = \left(۳۳۰۰\sqrt{f'_c} + ۶۹۰۰\right)\left(\frac{\gamma_c}{۲۳}\right)^{۱/۵} = \left(۳۳۰۰\sqrt{۴۵} + ۶۹۰۰\right)\left(\frac{۲۵}{۲۳}\right)^{۱/۵} \simeq ۳/۳e^7 kpa \qquad (۳)$$

جدول(۴) مشخصات شمع

قطرشمع (متر)	عمق مدفون شمع (متر)	فاصله مرکز به مرکز شمع (متر)	ضریب پواسون	مدول الاستیسیته شمع (کیلو پاسکال)	وزن مخصوص (کیلونیوتن بر متر بر متر مکعب)	R_{int}
0.۶	۱۵	۲	۰.۲	$۳.۳e^7$	۲۵	۰.۷

در جداول بالا C' ، φ' ، Υ ، E_s ، υ ، R_{int} به ترتیب چسبندگی زهکشی شده ، زاویه اصطکاک در حالت زهکشی شده، وزن مخصوص ، مدول الاستیسیته ، ضریب پواسون و ضریب اندرکنش خاک می‌باشد.

۳-۲-۴- مدل رفتاری

رفتار مصالح خاکی با استفاده از مدل موهر-کولمب که مدلی ساده و سریع در شبیه سازی رفتار خاک می باشد، انجام شد. از آنجا که ضریب کشسانی شمع ها و رادیه نسبت به خاک بسیار بالاتر می باشد، رادیه و شمع ها در محدوده کشسان باقی مانده و بنابراین از مدل خطی کشسان برای شبیه سازی رفتار آنها استفاده شد.

۴- صحت سنجی مدل نرم افزار

به منظور اطمینان از عملکرد نرم افزار و همچنین اعتبارسنجی مدل ساخته شده، اطلاعات آزمون‌های آزمایشگاهی همچون آزمایش سانتریفیوژ که توسط هوریکشی و رندولف [۱۶] در سال ۱۹۹۸ انجام شد، به‌کار رفت. در این آزمایش گروه شمع ۹ تایی با طول ۱۵ متر و

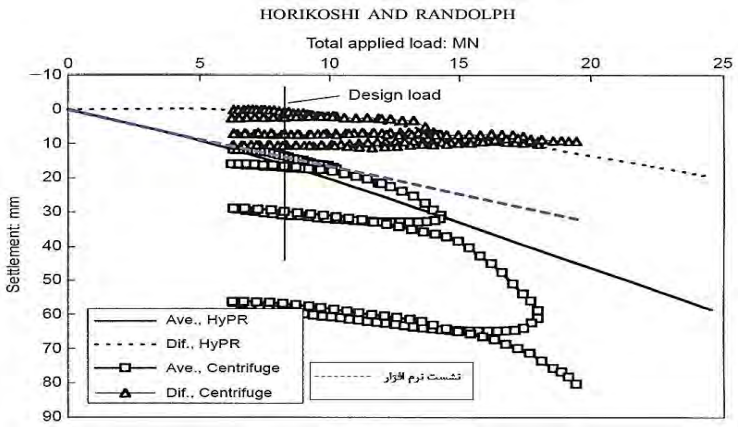
قطر 0..2 متر شبیه سازی شد و پی رادیه با ضخامت ۰.۰۵ متر و قطر ۱۴ متر به کار رفت و محدوده خاک تا ۲۵ متر در نظر گرفته شد. مقدار نشست میانگین شالوده رادیه – شمع از رابطه زیر که توسط دیویس و تیلور (۱۹۶۲) ارائه شد، محاسبه می گردد.

$$S_{avg} \approx 1/.\ \times (2\times S_{center} + S_{corner}) \qquad (۴)$$

که در آن S_{avg} مقدار نشست میانگین و S_{center} و S_{corner} مقادیر نشست در مرکز و گوشه رادیه در شالوده رادیه – شمع می‌باشند. در جدول (۵) مقدار عددی نشست میانگین حاصل از انجام مطالعه آزمایشگاهی و روابط تئوری توسط آقای هوریکشی تحت بار ۱۲ مگا نیوتن وارد بر کلاهک شمع آورده شده است و مقادیر آن با نرم افزار پلکسیس مقایسه گردید.

جدول (۵) مقایسه نتایج آزمایشگاهی با مدل عددی به‌کاررفته در مقاله

نشست میانگین حاصل از انجام مطالعه آزمایشگاهی	۲۲
نشست میانگین حاصل از روابط تئوری	۲۳
نشست میانگین حاصل از تحلیل نرم‌افزار	۲۱



شکل (۴) صحت‌سنجی و مقایسه تحلیل‌های نرم‌افزاری و آزمایشگاهی

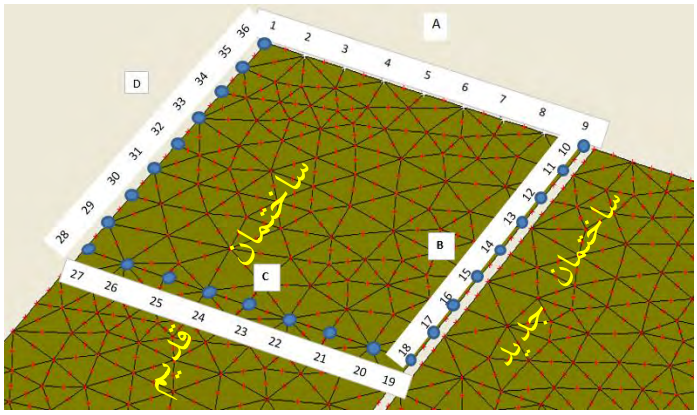
همچنین به منظور اطمینان از صحت تحلیل نرم افزار، مدل ساخته شده تحت بارهای ۵، ۱۰، ۱۲، ۱۵ و ۲۰ مگا نیوتن قرار گرفت و صحت جواب‌ها با مقایسه آن‌ها با توجه به مقاله هوریکشی و راندولف [۱۶] مورد بررسی قرار گرفت شکل(۴).

۵- نحوه محاسبات

با تقسیم راستای عرضی ساختمان قدیم به ۹ نقطه با محاسبه اختلاف نشست بین هر دو نقطه متوالی و تقسیم کردن آن بر فاصله بین آن (۱.۲۵متر) ، چرخش زاویه‌ای محاسبه می‌شود. برای محاسبه دوران نیز اختلاف نشست بین نقطه ابتدا و انتهای پی بر فاصله بین آن‌ها (۱۰ متر) تقسیم می‌شود. طبق آیین‌نامه کانادا مقدار مجاز چرخش β برای ترک سازه‌ای و ترک غیر سازه‌ای به ترتیب برابر با ۰/۰۰۴ و ۰/۰۰۲ می‌باشد. لذا اختلاف نشست مجاز بین دو نقطه به فاصله ۱/۲۵ برابر است با :

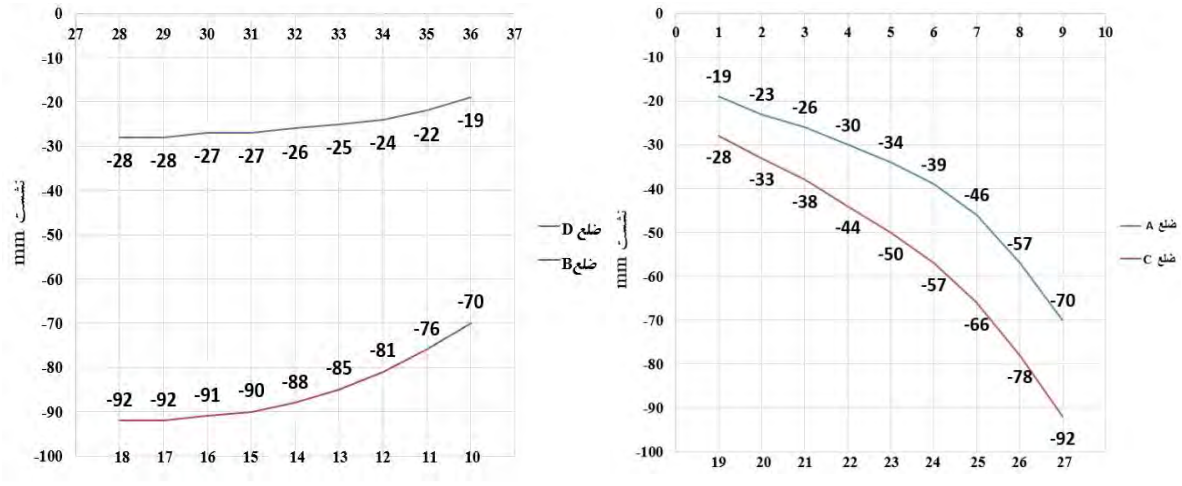
حد ترک سازه‌ای (۵) $\beta = ۱۸۰/\pi \times ۰/۰۰۴ = \tan^{-۱} \frac{x}{۱/۲۵} \rightarrow x =$ ۵ میلی‌متر

حد ترک معماری (۶) $\beta = ۱۸۰/\pi \times ۰/۰۰۲ = \tan^{-۱} \frac{x}{۱/۲۵} \rightarrow x =$ ۲/۵میلی‌متر



شکل (۵) نمایش شماره‌گذاری نقاط پی

میزان دوران مجاز طبق آیین نامه برابر با ۱/۳۰۰ ضلع ساختمان می‌باشد. با توجه به اینکه طول ضلع بحرانی برابر با ۱۰ متر می‌باشد، بنابراین مقداراختلاف مجاز بین دو انتهای ساختمان قدیم برابر با میلی متر ۳۳ = ۱/۳۰۰ × ۱۰ می‌باشد. به منظور بررسی بیشتر اثر ساختمان مجاور، به دلیل تقارن هندسی اضلاع نیمی از ساختمان قدیم با حروف A, B, C, D مشخص و به ترتیب شماره‌گذاری شد و میزان نشست ها در چهار ضلع از پی ساختمان قدیم تحت تاثیر بارگذاری ۶۰ کیلونیوتن بر متر مربع در ساختمان جدید رسم گردید. شکل(۵) نشست‌های ساختمان قدیم تحت اثر ساختمان جدید در نقاط نشان داده شده را نشان می‌دهد .



(ب) (الف)

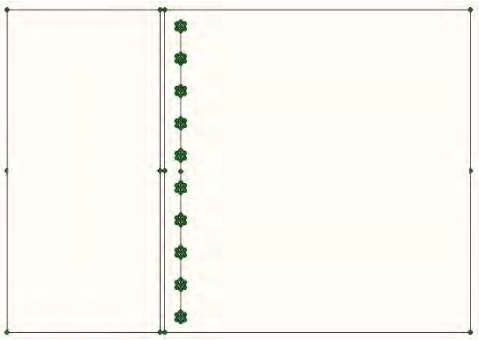
شکل (۶) منحنی نشست اضلاع ساختمان قدیم در مجاورت ساختمان

همانطور که در شکل (۶) مشخص است بیشترین مقدار دوران و چرخش زاویه ای در ساختمان قدیم در ضلع C که در وسط ساختمان اتفاق می‌افتد. همچنین با توجه به شکل مشخص می گردد که اختلاف نشست بین دو نقطه متوالی در تمامی این ضلع بیشتر از ۵ میلی‌متر می‌باشد. بنابراین در طول این ضلع شاهد ترک‌های سازه‌ای خواهیم بود. از طرف دیگر بیشترین اختلاف بین دو انتهای پی بر حسب میلی‌متر برابر با ۶۴ =۲۸-۹۲ می باشد و از آنجایی که حد مجاز برای دوران ۳۳ میلی‌متر می‌باشد، لذا این ضلع را به عنوان ضلع بحرانی انتخاب می گردد و اثر شمع بر نشست آن بررسی می‌شود.

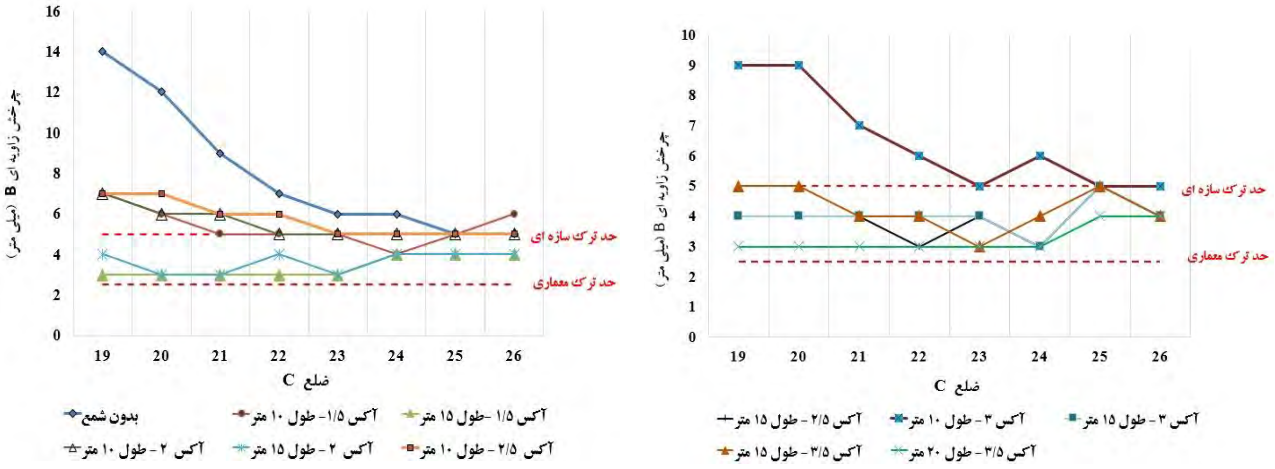
۶- نتایج عددی تحلیل و بحث

۶-۱- انتخاب حداقل طول قابل قبول شمع

به منظور انتخاب حداقل طول مناسب برای جلوگیری از ترک سازه‌ای در ساختمان قدیم، در ردیف اول شمع گذاری، شمع‌هایی با قطر ثابت ۶۰ سانتی‌متر و در فاصله محور تا محور ۱/۵، ۲، ۲/۵، ۳ و ۳/۵ متری در زیر پی ساختمان جدید و در مجاورت ۳۰ سانتی‌متری از پی ساختمان قدیم نصب می‌شود. نتایج تحلیل نرم‌افزاری به صورت زیر می‌باشد.



شکل (۷) نمای شماتیک محل قرارگرفتن شمع‌ها



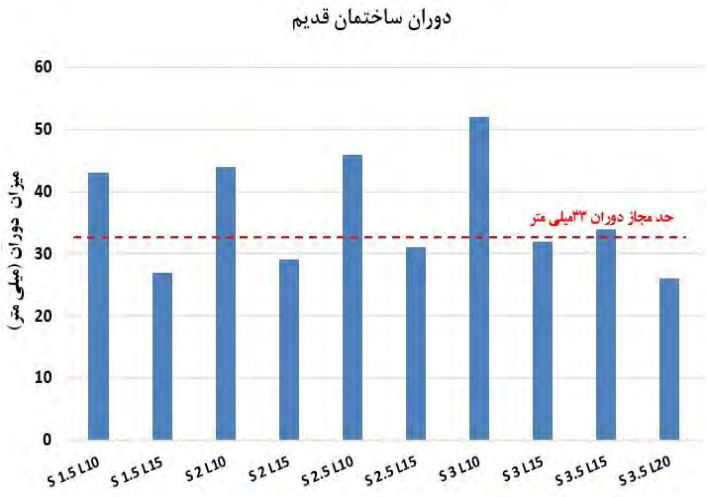
(الف) **(ب)**

شکل (۸) مقادیراختلاف نشست بر اساس معیار چرخش

با توجه به شکل (۷) و معیار چرخش، شمع‌های با طول ۱۰ متر با هر فاصله محور به محور جواب‌گوی معیار ترک سازه‌ای نمی‌باشد. جدول (۶) نشان دهنده مقادیر نشست دو انتهای ضلع C برای فواصل محور به محور ۱.۵، ۲، ۲.۵، ۳ و ۳.۵ متری می‌باشد. با توجه به آنچه ذکر شد، بر اساس معیار دوران حداکثر اختلاف مجاز بین دو انتهای پی ساختمان ۳۳ میلی‌متر بدست آمد. به همین دلیل حداقل طول انتخابی برای شمع‌ها ۱۵ متر انتخاب می‌گردد. همچنین می‌بینیم که برای شمع‌های با فاصله محور به محور بیش از ۳/۵ متر و طول ۱۵ متر معیار دوران جواب‌گو نیست (شکل ۸).

جدول (۶) مقادیر نشست دو انتهای ضلع C

نشست انتها	نشست ابتدا	طول شمع L	فاصله محور به محور شمع S
-۲۹	-۷۲	۱۰	۱/۵
-۲۹	-۵۶	۱۵	۱/۵
-۲۹	-۷۳	۱۰	۲
-۲۹	-۵۸	۱۵	۲
-۲۹	-۷۵	۱۰	۲/۵
-۲۹	-۶۰	۱۵	۲/۵
-۲۹	-۸۱	۱۰	۳
-۲۹	-۶۱	۱۵	۳
-۲۹	-۶۳	۱۵	۳/۵
-۲۸	-۵۴	۲۰	۳/۵



شکل (۹) دوران پی ساختمان قدیمی بر اساس شمع‌های با طول و فاصله

۶-۲- انتخاب فاصله بهینه مرکز به مرکز شمع‌ها

برای انتخاب فاصله بهینه از معیار بازدهی متوسط ردیف شمع استفاده می‌کنیم. طبق تعریف اگر میزان بازدهی متوسط هر ردیف شمع را به عنوان سهم باربری هر شمع از مقدار کاهش نشست معرفی کنیم، برای شمع‌های ۱۵ متر خواهیم داشت :

$$\text{بازدهی متوسط ردیف شمع} = \frac{\text{اختلاف نشست در حالت وجود شمع نسبت به حالت بدون شمع}}{\text{تعداد شمع}}$$

و اگر چیدمان شمع‌های قابل قبول را شمع‌هایی که دارای ترک سازه‌ای نباشند، نامیده شوند و میزان بازدهی را در نقطه ۱۹ که بحرانی‌ترین نقطه بر اساس نشست در ساختمان قدیم محسوب می‌گردد، برای این شمع‌ها محاسبه شود، جدول (۷) حاصل می‌شود. قابل ذکر است که در حالت بدون شمع مقدار نشست نقطه ۱۹ برابر با ۹۲ میلیمتر می‌باشد.

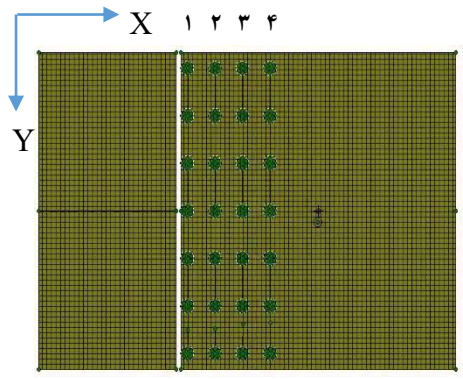
جدول (۷) مقادیر بازدهی متوسط ردیف شمع

بازدهی	میزان اختلاف نشست	نشست نقطه ۱۹	تعداد شمع در هر ردیف	فاصله بین شمع
۲/۷۶	-۳۶	-۵۶	۱۳	۱/۵
۳/۴	-۳۴	-۵۸	۱۰	۲
۴	-۳۲	-۶۰	۸	۲/۵
۴/۴۳	-۳۱	-۶۱	۷	۳

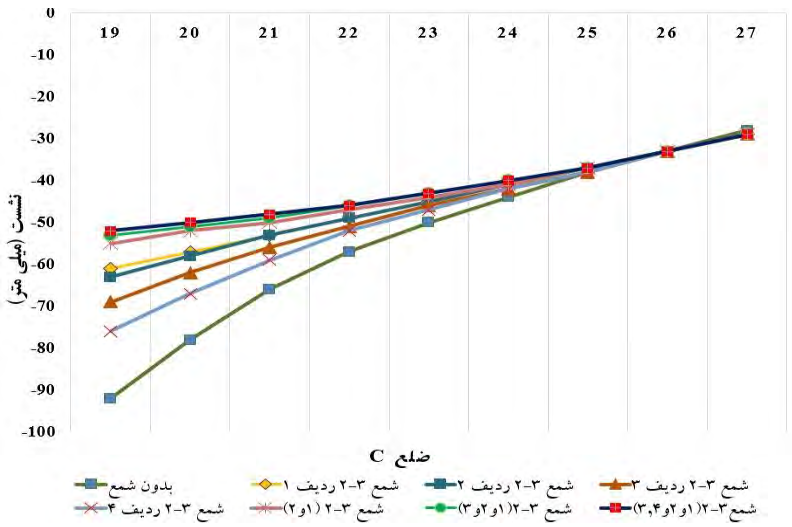
با توجه به جدول (۷) بیشترین سهم باربری هر شمع از مقدار کاهش نشست مربوط به شمع‌های با فاصله ۳ متر می‌باشد. بنابراین می‌توان از این چیدمان شمع به عنوان حالت بهینه نام برد که در تحلیل‌های بعد مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۶-۳- بررسی تأثیر افزایش ردیف و فاصله شمع‌ها

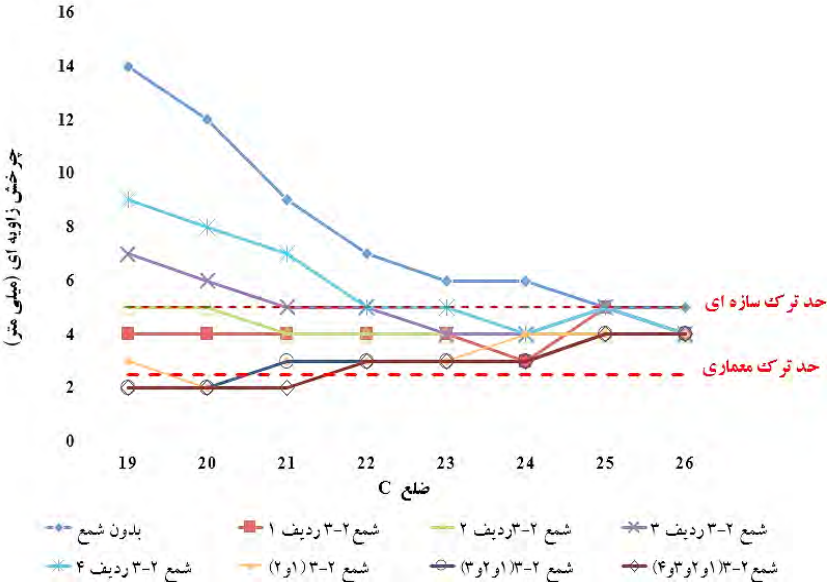
به منظور بررسی تأثیر افزایش ردیف شمع، ۴ ردیف شمع را به فاصله‌ی ۲ متر از هم مطابق شکل (۱۰) در نظرگرفته می‌شود و اثرات آن یک بار در ردیف ۱، ۲، ۳ و ۴ به صورت مستقل و بار دیگر به صورت گروهی در ردیف‌های ۱و۲، ۱و۲و۳، ۱و۲و۳و۴ بررسی می‌گردد.نمودار منحنی نشست در شکل (۱۱)،چرخش زاویه‌ای ساختمان قدیم در شکل (۱۲) و نمودار دوران در شکل(۱۳) ترسیم می‌گردد.



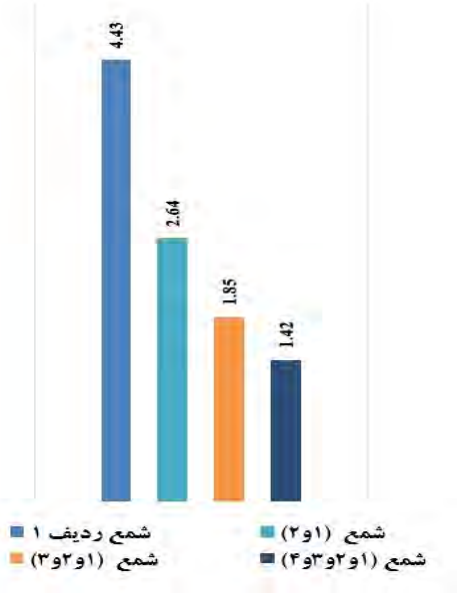
شکل(۱۰) پلان جانمایی شمع‌ها



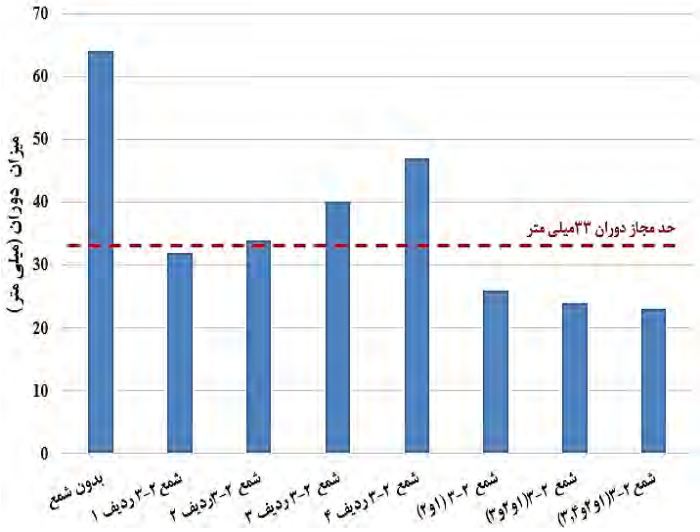
شکل (۱۱) منحنی نشست آرایش چیدمان شمع ۲-۳



شکل (۱۲) مقادیر اختلاف نشست براساس معیار چرخش شمع



شکل (۱۴) میزان بازدهی چیدمان شمع ۲-۳



شکل(۱۳) نمودار دوران ساختمان قدیم بر اساس چیدمان شمع ۲-۳

مطابق شکل(۱۱) چیدمان شمع‌ها به صورت گروهی در ۴ ردیف شمع اثر قابل توجهی بر مقادیر نشست ندارد و ناچیز است. همچنین همانطور که انتظار می‌رفت با افزایش فاصله محور شمع‌ها از بر ساختمان، تأثیر شمع بر نشست نقطه ۱۹ نیز کمتر می‌شود. عمق اثر گذاری شمع‌ها بر کاهش نشست تا نقطه ۲۵ می‌باشد(به فاصله‌ی ۵ الی ۶ متری از بر ساختمان قدیم). مطابق شکل(۱۲) هنگامی که شمع وجود نداشته باشد، شاهد ترک سازه‌ای در طول ساختمان خواهیم بود. در میان آرایش چیدمان شمع‌ها ردیف شمع ۴ و۳ باعث ترک خوردگی سازه‌ای می‌شود به این معنی که اثر ردیف‌های شمع تا ۲/۸ متری از بر ساختمان قدیم می‌باشد. در تمامی حالات چیدمان شمع شاهد ترک خوردگی معماری در ساختمان قدیم می‌باشیم. مطابق شکل (۱۳)، ردیف شمع‌های ۲، ۳ و۴ معیار دوران را ارضا نمی‌کنند. بنابراین آستانه مجاز قرار گیری ردیف شمع با توجه به معیار دوران به ۲/۸ متر می‌رسد. همچنین در شکل (۱۴) میزان بازدهی را بر اساس نشست در نقطه ۱۹ محاسبه شده است. بر اساس آن بیشترین بازدهی را آرایش شمع ۲-۳ ردیف شمع ۱ دارد(فاصله بین دو شمع ۵ برابر قطر).

۷- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به صورت مطالعه موردی مبتنی بر تحلیل عددی با استفاده از نرم‌افزار پلکسیس و نتایج آزمایشگاهی خاک منطقه آبادان انجام شد و هدف آن بررسی اثر شمع در زیر پی ساختمان ۶ طبقه جدید با ابعاد ۲۰×۲۰ بر روی نشست ساختمان مجاور یک طبقه قدیمی با ابعاد ۲۰×۱۰ بود و نتایج زیر حاصل شد:

۱- بیشترین میزان نشست در ساختمان قدیمی در وسط ضلع ۲۰ متر از ساختمان جدید (ضلع C در ساختمان قدیم و نقطه ۱۹) رخ می‌دهد(۹۲ میلی‌متر). به دلیل آنکه تنش وارده در این قسمت از پی سازه جدید بیشتر از سایر نقاط می باشد.

۲- حداقل طول قابل قبول شمع برای جلوگیری از نشست سازه‌ای ساختمان قدیمی ۱۵ متر بدست آمد. به دلیل انتقال بار سازه جدید به لایه‌های پایین‌تر تنش کمتری نیز به سازه مجاور القا می‌شود و نشست کمتری شاهد خواهیم بود. طبیعی است هر چه میزان بار سازه جدید بیشتر باشد نیاز به شمع با طول بیشتر خواهد بود.

۳- عمق اثرگذاری شمع‌های با طول ۱۵ متر، ۵ الی ۶ متر از بر ساختمان قدیم بدست آمد. در عمق‌های بیشتر اختلاف نشست با حالت بدون شمع ناچیز می‌باشد(شکل ۱۱).

۴- با استفاده از معیار دوران و معیار چرخش و پارامتر بازدهی، شمع‌های با فاصله محور به محور ۳ متر برای کاهش نشست ساختمان قدیمی انتخاب گردید (فاصله بین دو شمع ۵ برابر قطر).

۵- آستانه مجاز قرار گیری ردیف شمع با فاصله ۳ متر با توجه به معیار دوران به ۲/۸ متر از بر ساختمان قدیم می‌رسد.

۹- منابع

[1] Graham, J., Raymond, G.P., And Suppiah, A.,(1984), *Bearing Capacity Of Three Closely Spaced Footing On Sand*, Geotechnique 34(2), 173-182.
[2] Kumar, A., And Saran,S.,(2003), *Closely Spaced Rectangular Footings On Sand*, Geotech Geol Eng (84), 27-32.
[3] Das, B. M. and Larbi-Cherif, S., 1983, *Bearing capacity of two closely-spaced shallow foundations on sand*, Soils and Foundations, 1–7.
[4] Kumar, A. and Saran, S., 2003, *Closely spaced rectangular footnigs on sand*, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 660–664.
[5] Gordon A. Fenton , and Griffiths, D. V., 2005, *Three-Dimensional Probabilistic Foundation Settlement*, ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 232-239.

[۶] عسکری بیزکی، ف. و شوش پاشا، ع.، *بررسی اندرکنش پی ساختمانهای با طبقات غیر یکسان مجاور هم*، ۱۳۸۷، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران.

[7] Ghosh, P. and Kumar, P., 2009, *Interference Effect of Two Nearby Strip Footings on Reinforced Sand*, Contemporary Engineering Sciences, Vol. 2, no. 12, 577 – 592.

[۸] محافظت کار، ا. و جمشیدی ، ر.، *کاهش نشست القایی در ساختمان‌های مجاور ناشی از ساخت و سازهای شهری*، ۱۳۹۰، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، گیلان، رشت.

[9] Nainegali, L. S, and Basudha, P. K., 2011, *Interference of Two Closely Spaced Footings: A Finite Element Modeling*, Geo-Frontiers, ASCE, 3726-3735.

[10] Reddy, E. S. and Borzooei, S. and Reddy, G. V. N., 2012, *Interference Between Ajacent Footings On Sand,* International Journal of Advanced Engineering Research and Studies,Vol. I, Issue IV, 95-98.

[11] Kempfert, H. G. and Gebreselassie, B., *Excavations and Foundations in Soft Soils,* Springer, 2006, 302.

[12] Canadian Geotechnical Society, 2006, *Canadian Foundation Engineering Manual (CFEM), 4th ed.*, Published by The Canadian Geotechnical Society, Canada.

[13] Brinkgreve, R.B.J., Broere W., 2006, *Plaxis 3D Foundation – Version 1.6*., User manual, Delft University of Technology & plaxis bv, The Netherlands.

[11] نظام مهندسی آبادان ، *گزارش مطالعات ژئوتکنیک ساختمان ساختمان صانحی*، مهندسان مشاور ایمن خاک جنوب ، ۱۳۹۳

[۱۵] دفتر مقررات ملی ساختمان، *مبحث نهم طرح و اجرای ساختمان‌های بتن‌آرمه*، نشر توسعه ایران، ۱۳۹۲، صفحه ۱۸۴

[16] Horikoshi, K. and Randolph, M. F. 1998, *A Contribution to the Optimum Design of Piled Rafts,* Géotechnique, Vol. 48, No. 2, pp. 301-307.