

تأثیر شمع مایل بر رفتار استاتیکی گروه شمع در اسکله‌های شمع و عرشه

حسن امیدعلی^{۱*}، سهیل محمدی^۲ و علی فاخر^۳

^۱ کارشناس ارشد عمران، گرایش خاک و پی دانشکده فنی، دانشگاه تهران

^۲ استاد دانشکده عمران، دانشگاه تهران

^۳ دانشیار دانشکده عمران، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۸۶/۰۶/۲۴، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۱۳۸۹/۰۸/۲۵، تاریخ تصویب ۱۳۹۰/۰۴/۱۱)

چکیده

گروه شمع، به‌طور گسترده در سازه‌های دریایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بارهای وارد بر این سازه‌ها به دو گروه اصلی بارهای قائم و جانبی تقسیم می‌شوند. استفاده از شمع‌های قائم برای تحمل بارهای قائم، مورد توافق همه محققان می‌باشد. ولی برای استفاده از شمع‌های مایل تردید وجود دارد. عده‌ای از دانشمندان استفاده از شمع مایل را برای مقابله با بارهای جانبی توصیه می‌کنند در حالی که عده‌ای دیگر فقط به استفاده از ظرفیت باربری جانبی شمع‌های قائم اعتقاد دارند. شمع مایل در گروه شمع رفتار و عملکرد دوگانه‌ای دارد: با استفاده از شمع مایل، از یک طرف تغییر مکان جانبی گروه شمع و عرشه بر اثر بارهای جانبی کاهش می‌یابد و از طرف دیگر تمرکز تنش زیادی در محل اتصال این شمع به سرشمع به‌وجود می‌آید. بنابراین درک صحیح رفتار شمع‌های مایل و قائم از اهمیت بالایی برخوردار است. تحقیق حاضر بر اساس روش عددی تفاضل‌های محدود استوار است، خاک به‌صورت محیط پیوسته و با مدل رفتاری موهر-کولمب در نظر گرفته شده و شمع‌ها و سرشمع از جنس بتن و با مدل رفتاری الاستیک فرض شده‌اند. برای صحت‌سنجی تحلیل‌ها، بین نتایج به‌دست آمده از مدل‌سازی عددی و نتایج حاصل از آزمایش‌های بارگذاری شمع و فرمول‌های تجربی موجود مقایسه صورت گرفته است.

کلید واژه‌ها: گروه شمع، شمع مایل، بارگذاری قائم و جانبی، تمرکز تنش، تغییر مکان قائم و جانبی، FLAC^{3D}.

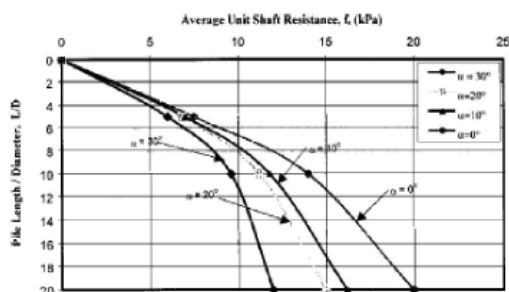
مقدمه

دو دسته مثبت و منفی تقسیم شده‌اند. در شمع‌های مایل مثبت، لغزش گوه‌گسیختگی به سمت بالا و در شمع‌های مایل منفی، لغزش این گوه به سمت پایین می‌باشد. در نتایج تحقیقات چبوتاریف اشاره شده است که شمع‌های مایل منفی در مقابل بارهای جانبی مقاومت بیشتری دارند. پراکاش و سابرامانیام^۲ [۳] در سال ۱۹۶۵، نیز با انجام تعدادی آزمایش اعلام کردند که مقاومت شمع‌های مایل منفی تحت اثر بارهای جانبی بیشتر از مقاومت شمع‌های مایل مثبت است و به این ترتیب نتیجه تحقیقات قبلی را تأیید کردند. طبق گزارش رجاشیری و سبتارام^۳ [۲]، بررسی نظری شمع‌های مایل بر اثر بارهای جانبی به وسیله ریس و متلوک^۴ در سال ۱۹۵۶ انجام شد و به وسیله علیزاده و دیویسون^۵ [۴] در سال ۱۹۷۰ تکمیل گردید. بر پایه همین گزارش، پولوس و مدهاو^۶ در سال ۱۹۷۱ پس از بررسی رفتار شمع‌های مایل بر اثر بارهای جانبی نشان دادند که تغییر مکان جانبی به زاویه شمع مایل بستگی دارد. پولوس و دیویس^۷ [۵] در سال ۱۹۸۰، تغییر مکان شمع مایل انعطاف‌پذیر قرار گرفته در گروه شمع را در محیط الاستیک همگن مطالعه کردند. بر اساس بررسی‌های ابراهیمیان^۸ [۶]، کویو^۹ در سال ۱۹۶۵ چند آزمایش مدل شمع مایل در خاک رس انجام داد و نیز ادوارد و پتراسوتیس^{۱۰} در سال ۱۹۶۸

نیروهای وزنی وارد شده به اسکله‌های شمع و عرشه، وزن سازه و جرثقیل‌ها و ماشین‌آلات و بار قرار گرفته روی آنها می‌باشد. روش انتقال این نیروها به زمین، استفاده از شمع‌های قائم می‌باشد. نیروهای جانبی زلزله، امواج دریا و نیروهای ضربه کشتی‌ها نیز نیروهایی هستند که برای تحمل آنها روش‌های متفاوت و متنوعی ارائه شده است. در میان این روش‌ها، استفاده از شمع‌های مایل در اسکله‌های شمع و عرشه از روش‌های متداول و رایج است. عملکرد شمع‌ها به دلیل فاصله مرکز به مرکز نسبتاً کوچک و صلبیت عرشه قرار گرفته بر روی آنها، به‌صورت گروهی می‌باشد. در نتیجه در بارگذاری قائم گروه شمع، مقداری بارهای قائم به‌وسیله شمع‌های مایل و در بارگذاری جانبی، مقداری از بارهای جانبی توسط شمع‌های قائم تحمل می‌شود. پیدا کردن سهم تقسیم بار بین هر کدام از این شمع‌ها (شمع‌های قائم و مایل) موضوع مهمی است که می‌تواند در اقتصادی‌تر کردن پروژه‌ها نقشی مهمی را ایفا کند. در نتیجه به کمک این روش می‌توان از حداکثر توان و ظرفیت شمع‌ها استفاده کرد. اولین آزمایش برای درک رفتار شمع‌های مایل در سال ۱۹۵۳ توسط چبوتاریف^۱ [۱] انجام شد. در این آزمایش شمع‌های مایل بسته به نوع گسیختگی خاک به

مایل مثبت، مقاومت جانبی خاک در سطح زمین به دلیل ایجاد فاصله بین شمع و خاک کاهش می‌یابد. راجاشیری و سیتارام [۲] در سال ۲۰۰۱ برای بررسی رفتار غیرخطی شمع‌های مایل بر اثر بارهای جانبی یک مدل عددی المان محدود ارائه کردند. در این تحقیق خاک به صورت فنر مدل گردیده است. برای مدل کردن مقاومت نوک از یک فنر در راستای شمع در نوک شمع استفاده شده است و برای مدل نمودن مقاومت جداره از فنرهایی در راستای عمود بر راستای شمع استفاده گردیده است. در این بررسی برای شمع‌ها اثر $P - \Delta$ نیز منظور شده است. در نتایج این تحقیق آمده است که ظرفیت باربری جانبی شمع‌های مایل منفی تحت بارهای جانبی استاتیکی و سیکلیک بیشتر از شمع‌های قائم و شمع‌های مایل مثبت است که دلیل این موضوع، ترمیم سریع‌تر فاصله ایجاد شده بین خاک و شمع در شمع‌های مایل منفی می‌باشد. در سال ۲۰۰۳ عادل هتا و نیگین^{۱۵} [۱۱] تعداد ۳۰ آزمایش مدل شمع در ماسه جهت بررسی مقاومت اصطکاکی تک‌شمع قائم و مایل ترتیب دادند. این مطالعه آزمایشگاهی بر روی دو نوع شمع فولادی به قطر ۷۶ میلی‌متر و ۳۸ میلی‌متر و در ماسه با تراکم نسبی ۶۵/۳ درصد انجام شد. برای محاسبه مقاومت نهایی شمع در این آزمایش‌ها نمودار بار - تغییر مکان رسم گردید و نقطه‌ای از نمودار که در آن شیب نمودار تغییر می‌کند به عنوان مقاومت نهایی شمع در نظر گرفته می‌شود. از تقسیم کردن مقاومت نهایی شمع به طول شمع، مقدار نهایی مقاومت اصطکاکی واحد طول شمع f_s به دست می‌آید.

شکل ۱ نشان می‌دهد که با افزایش L/D مقاومت اصطکاکی واحد طول f_s تا عمق بحرانی افزایش می‌یابد و بعد از این عمق، افزایش این مقاومت با سرعت کمی ادامه می‌یابد. علاوه بر این می‌توان در این شکل مشاهده کرد که با افزایش زاویه تمایل شمع نسبت به راستای قائم (α) ، مقاومت اصطکاکی واحد طول کاهش می‌یابد. در این تحقیق، اشاره شده است که در شمع مایل با افزایش زاویه تمایل شمع از صفر تا ۳۰ درجه، مقاومت جانبی شمع کاهش می‌یابد.



شکل ۱- مقاومت اصطکاکی واحد بر حسب L/D برای شمع مدل به طول ۷۶ میلی‌متر [۱۱]

همان آزمایش‌ها را بر روی خاک دانه‌ای انجام دادند. براساس گزارشی که هر دو گروه ارائه دادند، نتایج تحقیقات قبلی در مورد کمتر بودن تغییرمکان جانبی شمع‌های مایل منفی نسبت به شمع‌های مایل مثبت بر اثر بارهای جانبی، تأیید گردید. در سال ۱۹۷۰ علیزاده و دیویسون [۴]، تعدادی آزمایش بارگذاری شمع بر روی شمع‌های مایل در خاک دانه‌ای انجام دادند. مایرهوف و رنجان^{۱۰} [۷] در سال ۱۹۷۳ ظرفیت باربری جانبی شمع‌های مایل مثبت و منفی در خاک‌های دانه‌ای را بررسی کردند. همچنین در سال ۱۹۸۰ رنجان و همکاران [۸] با انجام تعدادی آزمایش مدل نشان دادند که بر اثر بارهای جانبی مقاومت شمع‌های مایل منفی از مقاومت شمع‌های مایل مثبت بیشتر است، همچنین اعلام کردند که تغییرمکان جانبی گروه دوتایی شمع شامل یک شمع قائم و یک شمع مایل (چه مثبت و چه منفی) از تغییرمکان جانبی گروه دوتایی شمع قائم کمتر است. بر اساس گزارش راجاشیری و سیتارام [۲]، لو^{۱۱} در سال ۱۹۸۱ با ارائه معیارهایی برای ظرفیت باربری جانبی شمع‌های مایل نتیجه گرفت که دلیل تفاوت در باربری جانبی شمع‌های مایل مثبت و منفی، مقدار عکس‌العمل بسیج شده خاک در سطح زمین می‌باشد. به این ترتیب که برای شمع مایل مثبت، عکس‌العمل خاک در سطح زمین صفر است در صورتی که این عکس‌العمل برای شمع‌های مایل منفی بیشترین مقدار است و در نتیجه جنس لایه سطحی در مقدار ظرفیت باربری جانبی شمع مایل بسیار تأثیرگذار است. صبری [۹] گزارش می‌دهد که هتا و افرام^{۱۲} در سال ۱۹۸۶ آزمایش‌هایی برای محاسبه مقاومت شمع قائم و مایل منفرد تحت اثر بارهای کششی ترتیب دادند. در این آزمایش‌ها دو شمع با دو طول متفاوت مورد بررسی قرار گرفتند. در این نتایج مشاهده می‌شود که ظرفیت کششی شمع‌های مایل با افزایش زاویه تمایل شمع کاهش می‌یابد ولی تأثیر زاویه تمایل شمع بر روی مقاومت اصطکاکی کششی شمع مایل کم است. مایرهوف و یالسین^{۱۳} [۱۰] در سال ۱۹۹۲ با انجام چند آزمایش مدل رفتار شمع‌های مایل انعطاف‌پذیر در خاک‌های لایه‌ای بر اثر بارهای مایل را مطالعه کردند. در این آزمایش‌ها زاویه تمایل شمع‌ها نسبت به راستای قائم صفر، ۳۰ و ۳۰- درجه انتخاب شده و بار نیز با زاویه‌های مختلف نسبت به راستای قائم وارد گردیده است. خاک مورد آزمایش، دانه‌ای و شمع‌های مدل با قطر ۱۲/۵ میلی‌متر و به طول ۱۹۰ میلی‌متر از جنس نایلون می‌باشند. در این تحقیق بیشتر به بررسی رفتار سازه‌ای شمع انعطاف‌پذیر پرداخته شده است. یعنی محور اصلی این پژوهش، نیروهای محوری، خمشی و برشی و نیز تغییر شکل ایجاد شده در شمع است. بر اساس گزارش راجاشیری و سیتارام [۲]، ویرش^{۱۴} در سال ۱۹۹۶ با انجام تعدادی آزمایش مدل بر روی شمع مایل بر اثر بارهای جانبی سیکلیک گزارش داد که در شمع قائم و شمع

شمع ۱ به طول ۸ متر و قطر ۰/۳۶ متر در خاک ۱ و شمع ۲ به طول ۱۵ متر و قطر ۰/۳ متر در خاک ۲ قرار گرفته‌اند مشخصات مکانیکی شمع‌ها و خاک در جدول شماره ۱ مشاهده می‌شود. و نتایج حاصل از مدل‌سازی آن‌ها در شکل ۳ و ۲ ارائه شده است.

در اشکال ۲ و ۳، نتایج تحلیل حاضر، نتایج تحلیل‌های عددی گزارش شده توسط مؤمن [۱۲] و نتایج به‌دست آمده از رابطه (۱) مشاهده می‌شود. دلیل اختلاف در نتایج رابطه (۱) و بقیه نتایج در بارهای بزرگ این است که رابطه مذکور برای پیش‌بینی نشست در محدوده الاستیک می‌باشد، پس نتایج آن در محدوده پلاستیک قابل اعتماد نمی‌باشد. با توجه به اشکال و توضیحات بالا می‌توان نتیجه گرفت که نتایج به‌دست آمده تطابق خوبی با روابط و دیگر تحلیل‌ها دارند.

اثر آرایش قرارگیری شمع مایل در گروه

برای بررسی تأثیر محل قرارگیری شمع مایل در گروه، چند گروه شمع مدل گردید. گروه اول شامل ۴ شمع، گروه دوم شامل ۸ شمع و گروه سوم شامل ۱۶ شمع می‌باشد. محیط خاکی به‌صورت یک لایه همگن و همسانگرد و بدون حضور آب مدل شده است. عمق سنگ بستر ۱۲ متر (برای گروه شمع ۴ تایی) و ۱۶ متر (برای گروه شمع ۸ تایی و ۱۶ تایی) مدل شده است. تکیه‌گاه‌های محیط همگی از نوع غلتکی می‌باشند که تغییر مکان در راستای عمود بر وجه مورد نظر را مقید می‌کنند. شمع‌ها از جنس بتن و به طول ۱۱ متر (برای گروه ۴ تایی) و ۱۲ متر (برای گروه ۸ تایی و ۱۶ تایی) و قطر ۰/۳۶ متر و با فاصله ۰/۹ متر (SD) مدل شده‌اند. زاویه تمایل شمع‌های مایل ۳۰ درجه نسبت به راستای قائم می‌باشد. در این تحلیل‌ها از مشخصات مکانیکی شمع ۱ و خاک ۱ مندرج در جدول شماره ۱ استفاده شده است.

به منظور ایجاد امکان لغزش شمع نسبت به خاک، در سطح تماس آن‌ها از المان درزه^{۱۸} با مدل رفتاری موهر-کولمب استفاده شده است که مشخصات مکانیکی پارامترهای آن بر اساس مشخصات مکانیکی خاک اطراف تعیین گردیده است.

بارگذاری

برای بارگذاری گروه شمع، بار قائم و یا جانبی به‌صورت تنش یکنواخت بر روی سطوح مورد نظر عرشه وارد می‌شود.

بارگذاری در راستای قائم

برای وارد کردن بار در راستای قائم از یک تنش یکنواخت بر سطح بالایی عرشه استفاده می‌شود، یعنی $P_z = \sigma_{zz} \times A$. پس از اعمال بار، نشست و میزان بار جذب شده برای هر کدام از شمع‌های گروه اندازه‌گیری و مقایسه می‌شوند. برای اینکه این مقایسه‌ها در مقدار بارهای مختلف قابل استفاده باشد، بار به‌صورت پله‌ای افزایش داده می‌شود.

مدل‌سازی عددی

برای انجام تحلیل‌ها در این تحقیق، از نرم‌افزار FLAC^{3D} استفاده شده است. این نرم‌افزار بر اساس روش عددی تفاضل‌های محدود^{۱۶} استوار است و برای تحلیل محیط‌های ژئومکانیک مناسب می‌باشد.

صحت‌سنجی^{۱۷}

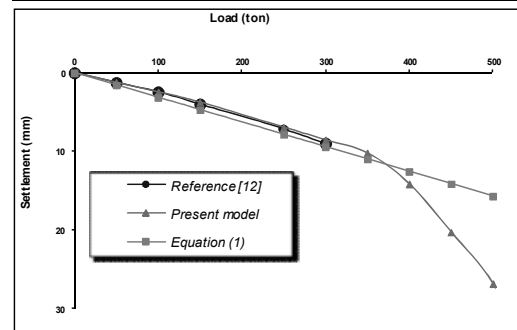
برای اطمینان از صحت روند مدل‌سازی، دو شمع مدل شده و نتایج عددی حاصل با نتایج رابطه (۱) مقایسه شده است. رابطه (۱) برای پیش‌بینی نشست شمع تحت اثر بار قائم در محدوده الاستیک کاربرد دارد.

$$\rho = \frac{PI}{E_s d} \quad (1)$$

در این رابطه، ρ نشست شمع، P بار محوری وارده، d قطر شمع و E_s مدول الاستیسیته خاک است. ضریب I به مشخصات خاک و شمع بستگی دارد که نحوه محاسبه آن در مرجع [۵] ارائه شده است.

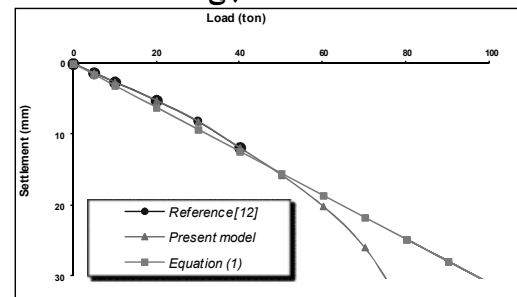
جدول ۱ مشخصات مکانیکی خاک و شمع

شمع ۲	شمع ۱	خاک ۲	خاک ۱
E=20GPa	E=22GPa	E=4MPa	E=90MPa
$\nu=0.2$	$\nu=0.3$	$\nu=0.45$	$\nu=0.48$
-	-	C=34kPa	C=400kPa
-	-	$\phi=17$	$\phi=0$



شکل ۲- نمودار بار- تغییر مکان برای شمع ۱ جهت

صحت‌سنجی



شکل ۳- نمودار بار- تغییر مکان برای شمع ۲ جهت

صحت‌سنجی

بارگذاری در راستای جانبی

برای بارگذاری در راستای جانبی، بار به صورت تنش یکنواخت بر سطح جانبی عرشه اعمال می شود، یعنی $P_x = \sigma_{xx} \times A$. بار قائم در این قسمت برای گروه شمع ۴ تا ۷۵۰ ton، برای گروه شمع ۸ تا ۱۲۰۰ ton و برای گروه شمع ۱۶ تا ۱۹۲۰ ton می باشد که به صورت ثابت و بدون تغییر در همه مراحل بارگذاری جانبی وجود دارد. در این تحلیل ها، ابتدا بار جانبی بر سطح جانبی عرشه وارد می شود و سپس تغییر مکان جانبی و بار جانبی جذب شده توسط هر شمع در آرایش های مختلف اندازه گیری و مقایسه می شوند. در این قسمت نیز بار جانبی به صورت پله ای افزایش پیدا می کند. در نتیجه با مراجعه به نمودارها و مشخص بودن بار جانبی می توان تغییر مکان جانبی و بار جذب شده توسط این شمع ها را معین کرد.

گروه ۴ تایی شمع

در این بخش ۴ شمع در یک گروه در آرایش های مختلف قرار می گیرند و نتایج به دست آمده برای تغییر مکان و نیروی ایجاد شده در هر شمع با هم مقایسه می شوند. در هر مدل تعداد ۴۵۴۹ گره و ۳۷۴۱ المان استفاده شده است. منظور از آرایش های مختلف، محل قرارگیری شمع مایل در گروه می باشد. در شکل ۴ ابعاد محیط در نظر گرفته شده و طول و قطر شمع ها و در شکل ۵ ابعاد سرشمع و نیز آرایش های مختلف برای قرارگیری شمع مایل نشان داده شده است.

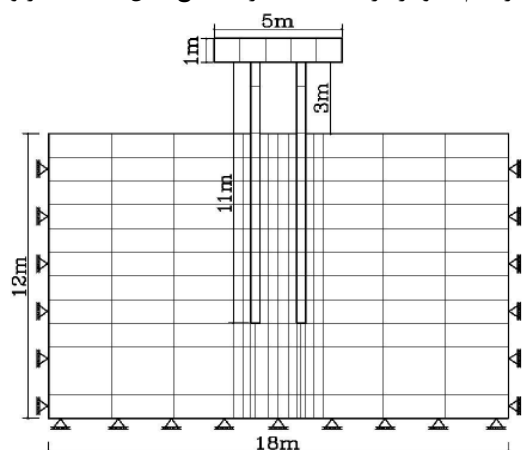
همان گونه که در شکل ۴ مشاهده می شود، محیط خاکی مدل شده ۱۸ متر طول و ۱۸ متر عرض و ۱۲ متر عمق و سرشمع ۵ متر طول و ۵ متر عرض و ۱ متر ضخامت دارد. در شکل ۵، ۴ آرایش مختلف برای قرارگیری شمع مایل ارائه شده است که با هم مقایسه می شوند. در آرایش شماره ۱ تعداد ۴ شمع قائم وجود دارد، آرایش شماره ۲ شامل ۳ شمع قائم و ۱ شمع مایل می باشد، آرایش شماره ۳ شامل ۲ شمع مایل و ۲ شمع قائم می باشند. آرایش شماره ۴ شامل ۴ شمع مایل می باشد که به صورت متقارن قرار گرفته اند.

بارگذاری در راستای قائم

بارگذاری قائم به روشی که در قبل توضیح داده شد بر گروه اعمال گردید. در شکل ۶ نشست آرایش های مختلف گروه شمع بر اثر بارهای قائم مشاهده می شود. با دقت در شکل نتیجه می شود که مایل کردن شمع ها تأثیر قابل ملاحظه ای در نشست قائم گروه شمع تحت اثر بار قائم ندارد. مقدار نشست افزایش یافته برای گروه های شمع دارای شمع مایل به دلیل تغییر شکل خمشی شمع های مایل در قسمت آزاد زیر عرشه است. در این قسمت به علت اینکه شمع در

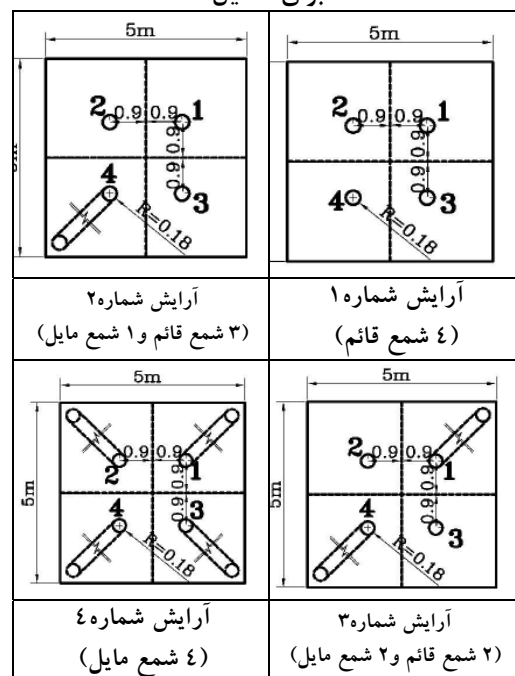
خاک احاطه نمی باشد و بار اعمالی بر شمع مایل در راستای محور شمع نیست، مقداری لنگر خمشی در شمع مایل ایجاد می شود که این لنگر خمشی سبب تغییر شکل خمشی و در نتیجه افزایش اندک نشست عرشه می شود. این توضیح لازم است که نشست های محاسبه شده در این مقاله در واقع نشست آنی است زیرا نشست تحکیم مدل نشده است.

در شکل های ۷ تا ۹ مقدار بار قائم جذب شده به وسیله شمع های مختلف گروه شمع در آرایش های مختلف نشان داده شده است. در این شکل ها مشاهده می شود که بر اثر بار قائم، نمودار بار جذب شده برای شمع مایل حالت مقعر و



شکل ۴- ابعاد محیط و نوع تکیه گاه های مدل شده

برای تحلیل



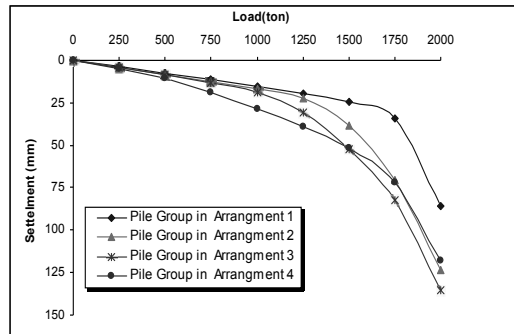
شکل ۵- آرایش های مختلف قرارگیری شمع مایل و ابعاد سرشمع

برای شمع قائم حالت محذب دارد، دلیل این موضوع این است که شمع قائم ابتدا و در بارهای کم، بار قائم بیشتری به خود اختصاص می‌دهد و در مقابل در این محدوده، بار جذب شده به وسیله شمع مایل کمتر می‌باشد. با افزایش مقدار بار، شمع قائم به دلیل رسیدن به محدوده گسیختگی با کاهش باربری و افت شدید باربری مواجه است و در مقابل شمع مایل که تا این مرحله بار کمتری به خود اختصاص داده است، با مقدار بار زیادی مواجه می‌شود، در نتیجه بار وارده به شمع مایل در این محدوده با نرخ شدیدی رشد پیدا می‌کند. در میان آرایش‌های بررسی شده، آرایش‌های ۱ و ۴ تقارن هندسی کامل دارند. در این دو آرایش بار قائم جذب شده به وسیله همه شمع‌ها برابر است. در اینجا می‌توان نتیجه گرفت که تقارن هندسی باعث می‌شود که از ظرفیت همه شمع‌ها به یک اندازه استفاده شود.

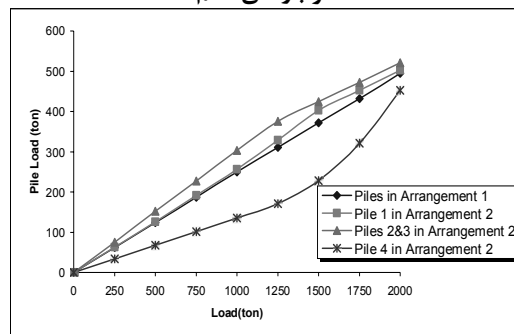
بارگذاری در راستای جانبی

بارهای جانبی به روشی که در قبل ذکر شد و در راستای خط فرضی واصل بین شمع شماره ۱ به ۲ بر گروه اعمال گردید و نتایج آن در اینجا ارائه می‌شود. شکل ۱۰ تغییر مکان جانبی آرایش‌های مختلف گروه شمع تحت اثر بارهای جانبی را نشان می‌دهد. با بررسی این شکل مشاهده می‌شود که استفاده از شمع مایل باعث کاهش تغییر مکان جانبی عرشه متکی بر گروه شمع می‌شود. آرایش شماره ۱ که همه شمع‌های گروه قائم هستند، بیشترین تغییر مکان جانبی را دارد. در آرایش‌های شماره ۲ تا ۴ که دارای شمع مایل هستند، تغییر مکان جانبی عرشه کمتر از تغییر مکان جانبی آرایش شماره ۱ می‌باشد. به عبارت دیگر، با افزایش تعداد شمع مایل، تغییر مکان جانبی عرشه نیز کاهش پیدا می‌کند. کمترین تغییر مکان جانبی مربوط به آرایش شماره ۴ می‌باشد که همه شمع‌های استفاده شده در آن مایل می‌باشند.

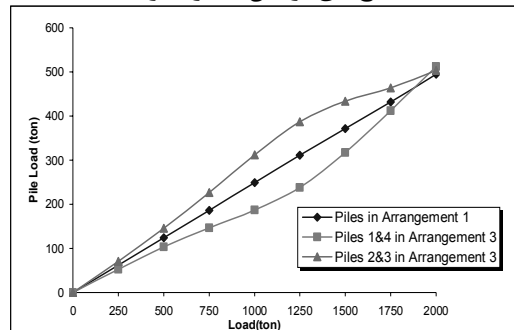
در اینجا مقدار بارهای جانبی جذب شده به وسیله شمع‌های گروه در آرایش‌های مختلف ارائه می‌شود. بر اساس شکل‌های ۱۱ تا ۱۳ و مقایسه آرایش ۱ با سایر آرایش‌ها ملاحظه می‌شود که استفاده از شمع مایل در گروه باعث ایجاد تمرکز تنش در محل اتصال این شمع با سرشمع می‌شود. مشکل تمرکز تنش در محل اتصال شمع مایل با سرشمع را می‌توان با به‌کارگیری فیوز سازه‌ای تا حدودی حل کرد، ولی این موضوع نیازمند تحقیقات بیشتر است که نمونه‌ای از این تحقیقات توسط رضوی [۱۳] انجام شده است. در آرایش‌های شماره ۱ و ۴ به دلیل تقارن هندسی گروه شمع، در محل اتصال همه شمع‌ها با سرشمع تنش یکسانی به وجود می‌آید. این موضوع در اعمال بارهای قائم نیز مشاهده گردید. می‌توان نتیجه گرفت تقارن هندسی باعث ایجاد شرایط تنشی یکسان در همه شمع‌ها در اثر بارهای قائم و جانبی می‌شود و نیز با توجه به تغییر مکان جانبی کمتر در آرایش ۴ می‌توان این آرایش را به بقیه آرایش‌ها ترجیح داد.



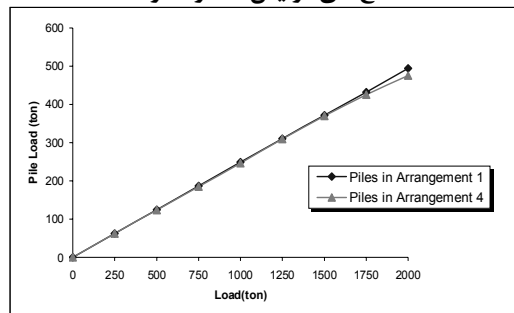
شکل ۶- نشست آرایش‌های مختلف گروه شمع تحت اثر بارهای قائم



شکل ۷- مقایسه بار قائم جذب شده به وسیله شمع‌های آرایش شماره ۱ و ۲



شکل ۸- مقایسه بار قائم جذب شده به وسیله شمع‌های آرایش شماره ۱ و ۳



شکل ۹- مقایسه بار قائم جذب شده به وسیله شمع‌های آرایش شماره ۱ و ۴

گروه ۸ تایی شمع

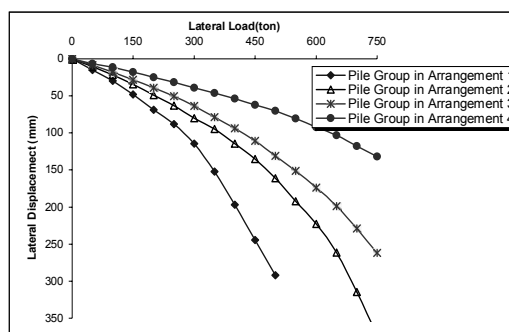
در این بخش ۸ شمع در یک گروه در آرایش‌های مختلف قرار می‌گیرند و تغییر مکان و نیروی ایجاد شده در هر شمع با هم مقایسه می‌شوند. در هر مدل تعداد ۹۴۶۱ گره و ۸۲۴۰ المان استفاده شده است. آرایش‌های مدل شده در اینجا تقارن کامل دارند و در عمل می‌توان از آنها استفاده کرد. در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود که محیط مدل شده برای تحلیل، ۲۲ متر طول و ۱۸ متر عرض و ۱۶ متر عمق دارد و نیز طول شمع‌ها ۱۲ متر می‌باشد. شکل ۱۵ سه آرایش‌های مختلف برای قرارگیری شمع‌های مایل و قائم و ابعاد سرشمع و قطر شمع‌ها را نشان می‌دهد.

در آرایش شماره ۱ تعداد ۸ شمع قائم وجود دارد. آرایش شماره ۲ شامل ۴ شمع قائم و ۴ شمع مایل می‌باشد. در آرایش شماره ۳ تعداد ۸ شمع مایل قرار گرفته‌اند، شمع‌های مایل در این آرایش ۲ دسته‌اند، دسته اول، شمع‌های مایلی هستند که در گوشه‌های سرشمع قرار گرفته‌اند (شمع‌های شماره ۱ و ۴). تصویر این شمع‌ها در صفحه افق دارای زاویه ۴۵ درجه نسبت به محورهای مختصات می‌باشد. دسته دوم، شمع‌های مایلی هستند که در کناره‌های سرشمع قرار گرفته‌اند (شمع‌های شماره ۲ و ۳). تصویر این شمع‌ها در صفحه افق در راستای محورهای مختصات می‌باشد. جهت صرفه‌جویی در زمان تحلیل از تقارن استفاده گردیده است، محور تقارن مورد نظر (C.L.) در شکل ۱۵ مشخص شده است.

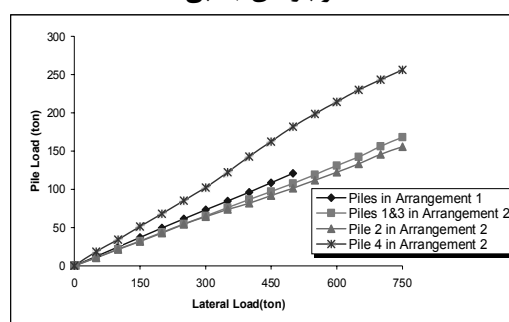
بارگذاری در راستای قائم

نحوه وارد شدن بارهای قائم در قبل توضیح داده شده است. در شکل ۱۶ نشست آرایش‌های مختلف گروه شمع بر اثر بارگذاری قائم مشاهده می‌شود. با بررسی این شکل نتیجه می‌شود که تأثیر استفاده از شمع مایل در نشست گروه بر اثر بار قائم کم است. استفاده از شمع مایل در گروه شمع باعث افزایش اندکی در نشست گروه شمع می‌شود. در واقع این افزایش نشست می‌تواند مربوط به تغییر شکل خمشی شمع‌های مایل گروه باشد. به دلیل کوچک بودن ممان اینرسی شمع‌ها، در صورت ایجاد لنگر خمشی، تغییر شکل خمشی زیادی در آنها به وجود می‌آید، که این تغییر شکل خمشی باعث افزایش جزئی نشست قائم گروه می‌شود.

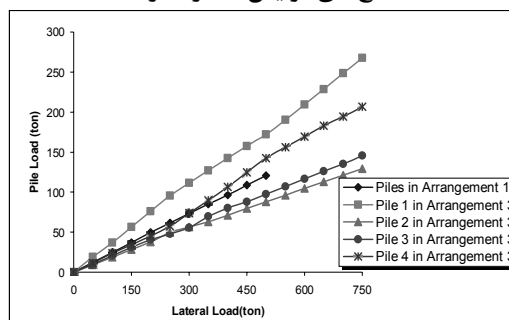
در اینجا مقدار بار قائم جذب شده به وسیله شمع‌های گروه در آرایش شماره ۱ با بقیه آرایش‌ها مقایسه می‌شود. در شکل ۱۷ مشاهده می‌شود که الگوی جذب بار قائم برای شمع‌های قائم و مایل که در قسمت قبل به دست آمد، در اینجا نیز تکرار شد. در این قسمت بار جذبی شمع‌های آرایش شماره ۱ نیز به دلیل تفاوت در سطح بارگیر با هم متفاوت می‌باشد. در شکل ۱۸ الگوی به دست آمده در قسمت‌های قبل تکرار نشده است دلیل این مطلب این است که در آرایش



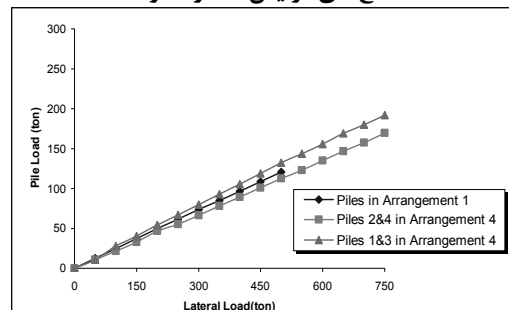
شکل ۱۰- تغییر مکان جانبی آرایش‌های مختلف تحت اثر بارهای جانبی



شکل ۱۱- مقایسه بار جانبی جذب شده به وسیله شمع‌های آرایش شماره ۱ و ۲



شکل ۱۲- مقایسه بار جانبی جذب شده به وسیله شمع‌های آرایش شماره ۱ و ۳



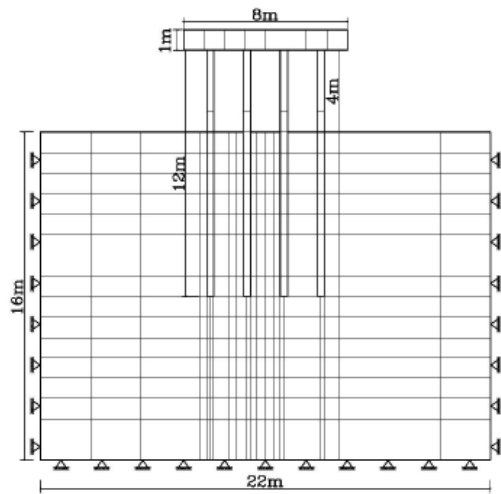
شکل ۱۳- مقایسه بار جانبی جذب شده به وسیله شمع‌های آرایش شماره ۱ و ۴

با دقت در شکل ۱۵ دلیل این مطلب مشخص می‌شود، زاویه تمایل شمع‌های مایل شماره ۳ و ۲ در آرایش شماره ۳ عمود بر جهت وارد شدن بار جانبی می‌باشد، در نتیجه این شمع‌ها در مقابل بار جانبی عمود همانند شمع‌های قائم عمل می‌کنند. بیشتر بودن تغییرمکان جانبی آرایش شماره ۳ نسبت به ۲ نیز به علت کمتر بودن طول قائم معادل شمع‌های شماره ۳ و ۲ می‌باشد.

در شکل ۲۰ بار جانبی جذب شده به وسیله شمع‌های آرایش‌های ۱ و ۲ با هم مقایسه شده‌اند. در این شکل مشاهده می‌شود که بار جانبی جذب شده به وسیله شمع‌های مایل (شمع‌های شماره ۱ و ۲) بیشتر از بار جانبی جذب شده به وسیله شمع‌های قائم (شمع‌های شماره ۳ و ۲) است. در نتیجه در محل اتصال شمع مایل به سرشمع تمرکز تنش زیادی به وجود می‌آید. در شکل ۲۱ مشاهده می‌شود که شمع‌های مایلی که نیروی داخلی ایجاد شده در آنها مؤلفه‌ای در جهت اعمال بار دارند (شمع‌های شماره ۱ و ۲)، بار جانبی بیشتری به خود جذب می‌کنند. شمع‌های شماره ۳ و ۲ با وجود اینکه مایل هستند ولی به دلیل اینکه زاویه تمایل آنها در جهت عمود بر راستای اعمال بار است، مقدار بار جانبی کمتری به خود اختصاص می‌دهند. نکته دیگر اینکه مقدار بار جانبی جذب شده توسط شمع‌های مایل به فاصله از محل اعمال بار بستگی دارد، در نتیجه شمع شماره ۲ که نسبت به شمع شماره ۳ به محل اعمال بار نزدیکتر است، بار بیشتری به خود جذب می‌کند.

گروه ۱۶ تایی شمع

در این بخش ۱۶ شمع در یک گروه در دو آرایش مختلف مدل‌سازی می‌شوند و نتایج تغییرمکان و نیروی ایجاد شده در هر شمع با هم مقایسه می‌شوند. در هر مدل تعداد ۱۶۴۹۹ گره و ۱۴۹۲۸ المان استفاده شده است. آرایش‌های مدل شده در این قسمت تقارن هندسی کامل دارند. ابعاد محیط مدل‌سازی شده و طول شمع‌ها همانند قسمت قبل است و در شکل ۱۴



شکل ۱۴- ابعاد محیط و نوع تکیه‌گاه‌های مدل شده

شماره ۳ شمع‌ها همگی مایل هستند و در این آرایش شمع قائم وجود ندارد. تفاوت در مقدار بار قائم جذب شده به وسیله این شمع‌ها ناشی از تفاوت در سطح بارگیر و نیز تفاوت در زاویه تصویر این شمع‌ها در صفحه افق می‌باشد.

بارگذاری در راستای جانبی

بار جانبی طبق روشی که قبل از این توضیح داده شد، در راستای خط تقارن (C.L.) بر گروه اعمال گردید. در شکل ۱۹ تغییرمکان جانبی آرایش‌های مختلف گروه شمع بر اثر بارهای جانبی مشاهده می‌شود. با بررسی این شکل نتیجه می‌شود که تغییرمکان جانبی آرایش‌های شماره ۳ و ۲ تحت اثر بار جانبی کمتر از تغییرمکان جانبی آرایش شماره ۱ می‌باشد. به عبارت دیگر استفاده از شمع مایل در گروه شمع باعث کاهش تغییرمکان جانبی گروه شمع تحت اثر بار جانبی می‌شود. تغییرمکان جانبی آرایش شماره ۳ (شامل ۸ شمع مایل) تقریباً برابر تغییرمکان جانبی آرایش شماره ۲ (شامل ۴ شمع مایل و ۴ شمع قائم) است.

آرایش شماره ۳ (۸ شمع مایل)	آرایش شماره ۲ (۴ شمع قائم و ۴ شمع مایل)	آرایش شماره ۱ (۸ شمع قائم)

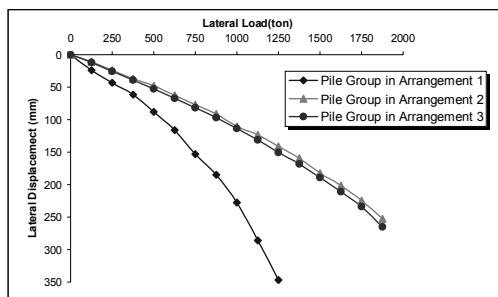
شکل ۱۵- آرایش‌های مختلف قرارگیری شمع‌های مایل و ابعاد سرشمع

بارگذاری در راستای قائم

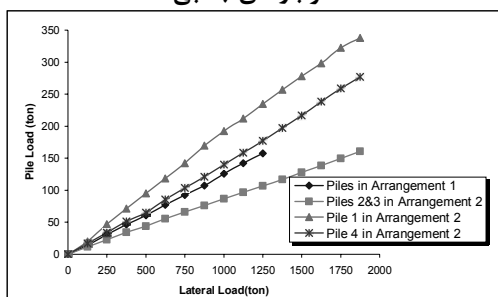
طبق توضیحاتی که قبل از این ارائه گردید، بارگذاری در راستای قائم انجام شد. شکل ۲۳ نشست گروه شمع در دو آرایش شماره ۱ و ۲ را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که نشست آرایش شماره ۲ بیشتر از آرایش شماره ۱ است و مقدار زیادی تفاوت بین نشست این دو آرایش دیده می‌شود. در قسمت‌های قبل نیز این تفاوت وجود داشت ولی به دلیل کوچک بودن این تفاوت بررسی نشد و علت آن تغییر شکل‌های خمشی شمع‌های مایل عنوان گردید. در این قسمت به بررسی دلیل این تفاوت نشست پرداخته می‌شود.

نشست آرایش شماره ۲ گروه شمع تحت اثر بار قائم ۶۴۰۰ تن در شکل ۲۴ مشاهده می‌شود. نشست نشان

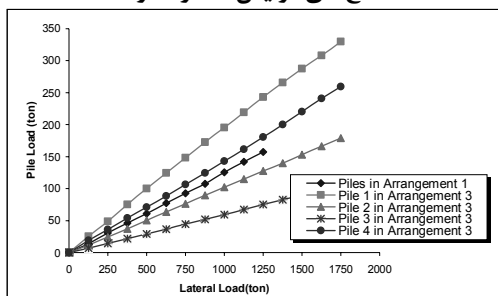
مشاهده می‌شود. در شکل ۲۲ دو آرایش مختلف برای فرارگیری شمع‌های مایل و قائم و نیز قطر شمع‌ها و ابعاد سرشمع مشاهده می‌شود. در آرایش شماره ۱ تعداد ۱۶ شمع قائم وجود دارد. آرایش شماره ۲ شامل ۴ شمع قائم و ۱۲ شمع مایل می‌باشد. شمع‌های مایل در این آرایش، ۲ دسته‌اند، دسته اول، شمع‌های مایلی هستند که در گوشه‌های سرشمع قرار گرفته‌اند (شمع‌های شماره ۱ و ۴). تصویر این شمع‌ها در صفحه افق دارای زاویه ۴۵ درجه نسبت به محورهای مختصات می‌باشد. دسته دوم، شمع‌های مایلی هستند که در کناره‌های سرشمع قرار گرفته‌اند (شمع‌های شماره ۲ و ۳ و ۵ و ۸). تصویر این شمع‌ها در صفحه افق در راستای محورهای مختصات می‌باشد. جهت صرفه‌جویی در زمان تحلیل از تقارن استفاده گردیده است، محور تقارن مورد نظر (C.L.) در شکل ۲۲ مشخص شده است.



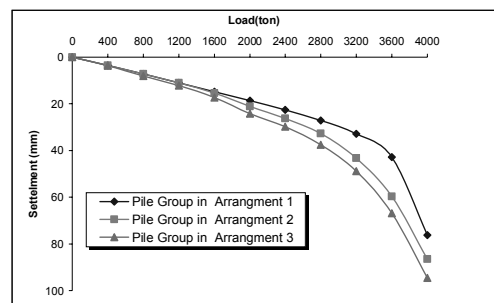
شکل ۱۹- تغییر مکان جانبی آرایش‌های مختلف تحت اثر بارهای جانبی



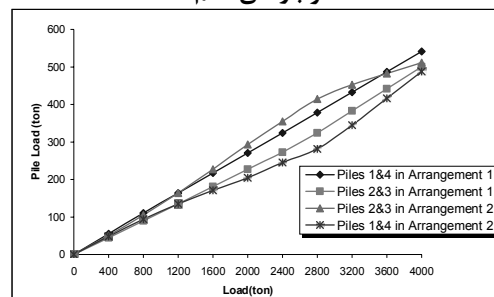
شکل ۲۰- مقایسه بار جانبی جذب شده به وسیله شمع‌های آرایش شماره ۱ و ۲



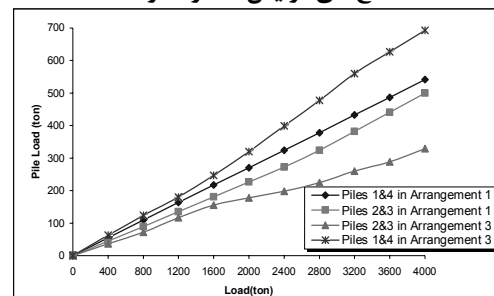
شکل ۲۱- مقایسه بار جانبی جذب شده به وسیله شمع‌های آرایش شماره ۱ و ۳



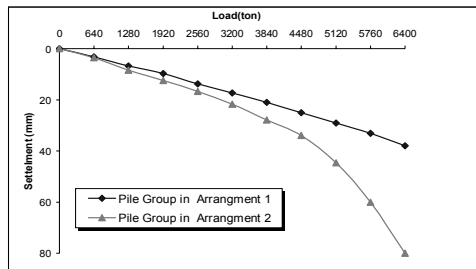
شکل ۱۶- نشست آرایش‌های مختلف گروه شمع تحت اثر بارهای قائم



شکل ۱۷- مقایسه بار قائم جذب شده به وسیله شمع‌های آرایش شماره ۱ و ۲



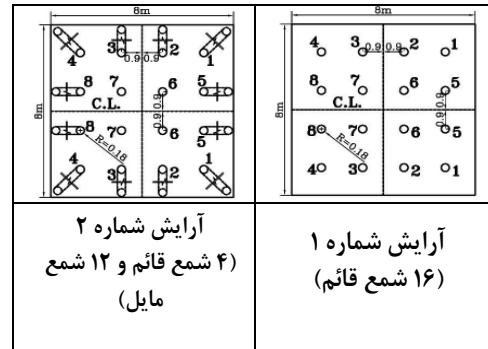
شکل ۱۸- مقایسه بار قائم جذب شده به وسیله شمع‌های آرایش شماره ۱ و ۳



شکل ۲۳- نشست آرایش‌های مختلف گروه شمع تحت اثر بارهای قائم

گرفت که تفاوت نشست آرایش ۱ و ۲ (شکل ۲۲) ناشی از تغییر شکل خمشی شمع‌های مایل آرایش شماره ۲ می‌باشد. تغییر مکان جانبی ارائه شده در این شکل نشان می‌دهد که تغییر مکان جانبی سرشمع به دلیل صلب بودن و تقارن گروه شمع صفر است که این موضوع باعث می‌شود شمع مایل در درون خاک تغییر مکان جانبی بدهد.

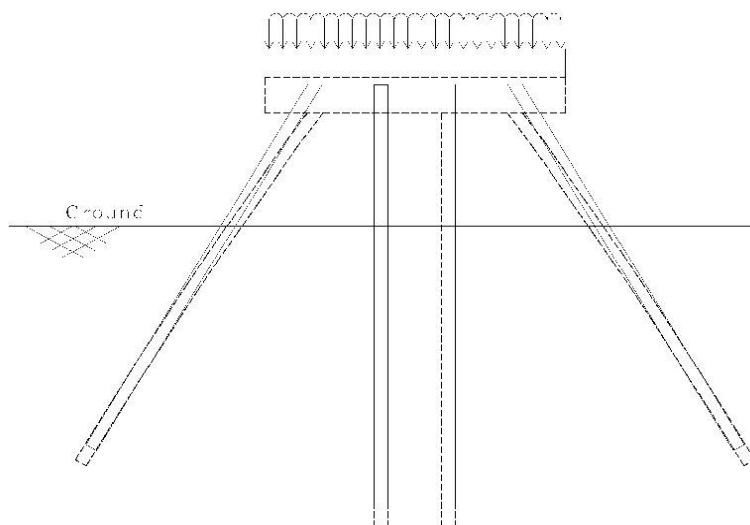
شکل ۲۴ بار قائم جذب شده توسط هر شمع گروه را نشان می‌دهد. در این شکل مشاهده می‌شود که در آرایش شماره ۱ که کل شمع‌ها قائم هستند، مقدار بار قائم جذب شده توسط هر کدام از شمع‌های گروه به نسبت سطح بارگیر هر شمع است. به عبارت دیگر شمع‌های شماره ۱ و ۴ که بیشترین سطح بارگیر ($A=4/84m^2$) را دارند، بیشترین بار قائم را به خود جذب می‌کنند و شمع‌های شماره ۲ و ۳ و ۵ و ۸ دارای سطح بارگیر کوچک‌تر ($A=3/96m^2$) هستند، پس بار قائم جذب شده توسط آنها کمتر است و شمع‌های شماره ۶ و ۷ که کمترین سطح بارگیر ($A=3/24m^2$) را دارند، کمترین بار قائم جذبی را به خود اختصاص می‌دهند. ولی در آرایش شماره ۲ با قرار دادن شمع‌های قائم و مایل در کنار هم، این قاعده به هم می‌خورد. با دقت در نمودار قابل استنباط است که شمع‌های قائم شماره ۶ و ۷ با وجود اینکه



شکل ۲۲- آرایش‌های مختلف قرارگیری شمع‌های مایل و ابعاد سرشمع

داده شده مربوط به برشی است که از خط تقارن (C.L.) در شکل ۲۲ می‌گذرد. در این شکل نشست‌ها با مقیاس ۱۰ برابر رسم شده است. در شکل مشخص است که قسمت بزرگی از نشست گروه در این آرایش مربوط به ناحیه‌ای از شمع است که بیرون خاک قرار گرفته است. تغییر شکل‌ها در این ناحیه بیشتر خمشی است. این تغییر شکل‌های خمشی در شمع‌های مایل به دلیل کوچک بودن سختی خمشی شمع‌ها می‌باشد، سختی شمع‌ها بیشتر محوری می‌باشد و در مقابل لنگر خمشی تغییر شکل غیر محوری زیادی در آن ایجاد می‌شود.

در شکل ۲۵ تغییر مکان‌های قائم و جانبی یکی از شمع‌های مایل آرایش شماره ۲ بر اثر بار قائم ۶۴۰۰ تن مشاهده می‌شود. همان‌گونه که در شکل مشخص است مقدار بیشتر تغییر مکان قائم شمع در قسمت آزاد شمع (جایی که شمع از خاک بیرون است) اتفاق می‌افتد. تفاضل تغییر مکان قائم بین نوک شمع و سر شمع، نشان دهنده مقدار تغییر شکل خمشی و تراکم مصالح شمع است و با توجه به کوچک بودن تراکم مصالح شمع، می‌توان نتیجه



شکل ۲۴- نشست آرایش شماره ۲ و تغییر شکل خمشی شمع‌های مایل تحت اثر بار قائم ۶۴۰۰ تن

ابتدا شیب ملایمی دارد ولی در انتها شیب این نمودار تند می‌شود. نقطه تغییر شیب منطبق بر نقطه تغییر شیب نمودار مربوط به شمع قائم است. در اینجا همان فرضیه قبلی می‌تواند مطرح شود که در صورت قرارگیری شمع مایل و قائم در یک گروه در کنار هم، شمع قائم به علت سختی بیشتر نسبت به شمع مایل بار قائم بیشتری جذب می‌کند، این مطلب تا جایی ادامه پیدا می‌کند که خاک اطراف شمع قائم در محدوده گسیختگی قرار بگیرد که در این شرایط با کاهش سختی این شمع، بار قائم جذبی توسط شمع مایل، به سرعت افزایش می‌یابد. مقدار بار قائم جذب شده در شمع‌های مایل شماره ۲ و ۳ و ۵ کمتر از مقدار مورد انتظار بر اساس سطح بارگیر است و تا انتها با یک شیب ملایم ادامه دارد.

بارگذاری در راستای جانبی

بارگذاری در راستای جانبی نیز همانند قسمت‌های قبل و در راستای خط تقارن (C.L.) انجام گردید. شکل ۲۷ مربوط به تغییر مکان جانبی آرایش‌های ۱ و ۲ بر اثر بارهای جانبی است. در این شکل مشاهده می‌شود که استفاده از شمع مایل در گروه شمع (آرایش شماره ۲) باعث کاهش تغییر مکان جانبی گروه شمع تحت اثر بارهای جانبی می‌شود. تفاوت تغییر مکان‌های جانبی در این قسمت زیاد می‌باشد و دلیل آن تعداد زیاد شمع مایل در گروه می‌باشد، به عبارت دیگر تعداد ۱۲ شمع از ۱۶ شمع کل استفاده شده در آرایش شماره ۲ مایل هستند، پس باید انتظار کاهش شدید تغییر مکان جانبی گروه را داشت.

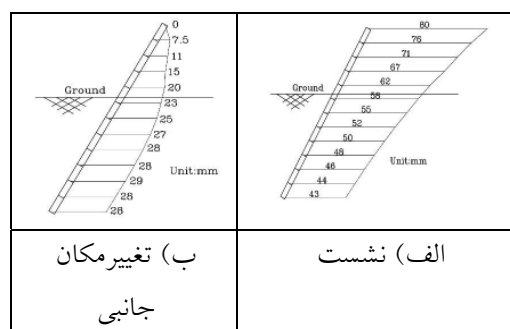
برای درک بهتر تغییر مکان جانبی گروه شمع، در شکل ۲۸ تغییر مکان جانبی آرایش شماره ۲ تحت اثر بار جانبی ۴۸۰۰ تن مشاهده می‌شود. در این شکل تغییر مکان‌ها با مقیاس ۱۰ برابر رسم شده است. تغییر مکان جانبی نشان داده شده مربوط به برشی است که از خط تقارن (C.L.) در شکل ۲۲ می‌گذرد.

در شکل ۲۹ تغییر مکان‌های قائم و جانبی یکی از شمع‌های آرایش شماره ۲ تحت اثر بار جانبی ۴۸۰۰ تن مشاهده می‌شود. در این شمع تغییر مکان قائم به سمت بالا می‌باشد و مقدار تغییر مکان جانبی زیادی در آن در جهت بار وارد شده به وجود می‌آید.

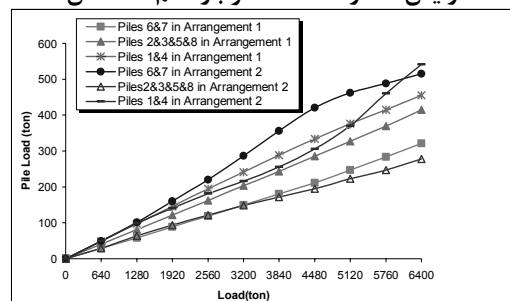
در شکل ۳۰ مشاهده می‌شود که شمع‌های مایل زاویه‌دار در صفحه افق (شمع‌های شماره ۴ و ۷) بیشترین بار جانبی و شمع‌های قائم (شمع‌های شماره ۶ و ۷) کمترین بار جانبی را به خود جذب می‌کنند. شمع‌های مایلی که راستای تمایل آنها در راستای اعمال بار است (شمع‌های شماره ۸ و ۵) نسبت به شمع‌های مایلی که زاویه تمایل آنها در جهت عمود بر راستای اعمال بار است (شمع‌های شماره ۲ و ۳)، بار جانبی بیشتری به خود اختصاص می‌دهند.

کمترین سطح بارگیر دارند بیشترین بار قائم را به خود جذب می‌کنند، به عبارت دیگر بار قائم جذب شده به وسیله این شمع‌ها بیشتر از مقدار مورد انتظار است و در مقابل مقدار بار قائم جذب شده شمع‌های مایل کمتر از مقدار پیش‌بینی شده بر اساس سطح بارگیر است.

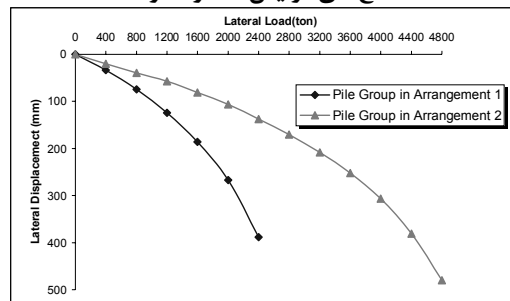
با توجه به نمودار، الگوی به دست آمده برای باربری قائم شمع‌های قائم و مایل در اینجا نیز تکرار شده است. در نمودار باربری مربوط به شمع‌های قائم شماره ۶ و ۷ ابتدای نمودار دارای شیب تند است و در ادامه شیب نمودار ملایم می‌شود، می‌توان نقطه تغییر شیب را نقطه گسیختگی در نظر گرفت. در نمودار شمع‌های مایل شماره ۴ و ۱ نیز همانند تحلیل‌های قبلی مشاهده می‌شود که نمودار بار قائم جذبی



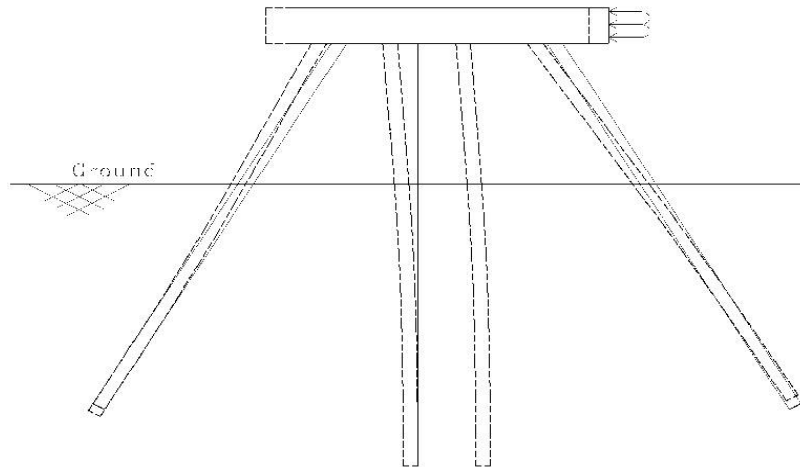
شکل ۲۵- تغییر شکل قائم و جانبی شمع شماره ۵ از آرایش شماره ۲ تحت اثر بار قائم ۶۴۰۰ تن



شکل ۲۶- مقایسه بار قائم جذب شده به وسیله شمع‌های آرایش شماره ۱ و ۲



شکل ۲۷- تغییر مکان جانبی آرایش‌های مختلف تحت اثر بارهای جانبی



شکل ۲۸- تغییر شکل جانبی آرایش شماره ۲ تحت اثر بار جانبی ۴۸۰۰ تن

نتیجه گیری

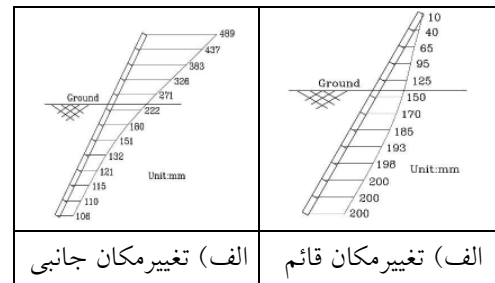
استفاده از شمع مایل در کنار شمع قائم در یک گروه شمع، باعث بروز رفتاری متفاوت از گروه شمع‌های قائم می‌شود. در گروه شمع‌های فقط قائم و یا فقط مایل در صورت مساوی بودن سطح بارگیر شمع‌ها تحت اثر بارگذاری قائم، مقدار بار قائم جذب شده در هر شمع برابر می‌باشد ولی اگر از شمع‌های مایل در ترکیب با شمع‌های قائم در یک گروه استفاده شود این قاعده دیگر معتبر نمی‌باشد. اگر نمودار تغییرات بار قائم کل گروه در مقایسه با بار قائم هر شمع (مثل شکل ۱۷) ترسیم شود، نمودار بار قائم جذب

شده برای شمع مایل دارای تقعر می‌باشد، اما نمودار شمع قائم دارای تحدب است. وقتی کل بار قائم کوچک است، شمع مایل نقش چندانی ایفا نمی‌کند ولی با افزایش بار، مقدار کارایی شمع مایل افزایش می‌یابد و در عوض، بار جذب شده شمع قائم کاهش پیدا می‌کند.

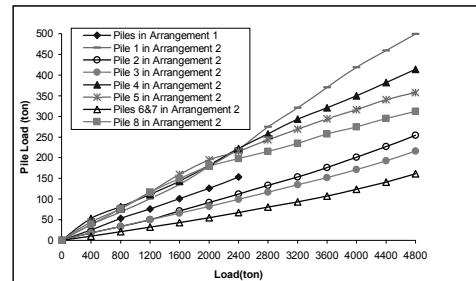
در صورت استفاده از شمع مایل، نشست آنی گروه شمع تحت اثر بارهای قائم مقداری افزایش پیدا می‌کند. این افزایش نشست به دلیل تغییر شکل خمشی شمع‌های مایل بر اثر بارهای قائم است. مقدار این تغییر شکل خمشی به ممان اینرسی شمع و مقدار بارهای قائم و تعداد شمع‌های مایل بستگی دارد. هرچه زاویه تمایل و تعداد شمع‌های مایل در مقایسه با تعداد شمع‌های قائم بیشتر باشد، مقدار تغییر شکل خمشی بیشتر خواهد شد. استفاده از شمع مایل باعث می‌شود تغییر مکان جانبی گروه شمع بر اثر بارهای جانبی کاهش پیدا کند. مقدار این کاهش به تعداد و زاویه تمایل و آرایش قرارگیری شمع‌های مایل بستگی دارد.

در گروه شمع‌های فقط قائم یا فقط مایل، بار جانبی جذب شده در هر شمع برابر می‌باشد ولی در صورت استفاده از شمع مایل و قائم در کنار هم در یک گروه، شمع مایل نسبت به شمع قائم بار جانبی بیشتری جذب می‌کند و این مطلب باعث ایجاد تمرکز تنش در محل اتصال این شمع به سر شمع می‌گردد. لذا در صورتی که ناچار به استفاده از شمع‌های قائم و مایل در کنار هم باشیم، آرایش قرارگیری شمع‌های مایل و نیز سختی سر شمع در محل این شمع‌ها می‌بایست با دقت بسیار تعیین گردد. به کارگیری فیوز سازه‌ای نیز در این حالت قابل مطالعه می‌باشد.

در مجموع می‌توان پیشنهاد نمود که به منظور توزیع یکنواخت بار اعمال شده بین کل شمع‌های گروه خصوصاً در مناطق لرزه‌خیز بهتر است از استفاده شمع‌های مایل و قائم در کنار هم در یک گروه احتراز شود و در ضمن پیشنهاد می‌گردد جهت کاهش تغییر مکان جانبی از شمع مایل استفاده شود.



شکل ۲۹- تغییر شکل شمع شماره ۵ از آرایش شماره ۲ تحت اثر بار جانبی ۴۸۰۰ تن



شکل ۳۰- تغییر مکان جانبی آرایش‌های مختلف تحت اثر بارهای جانبی

منابع

- 1-Tschebotarioff, G. P. (1953). "The resistance to lateral loading of single piles and pile Group." ASTM, Spec. Publ. No 154, PP. 38-48.
- 2-Rajashree, S. S. and Sitharam, T. G. (2001). "Nonlinear finite element modeling of batter piles under lateral load." ASCE, J. of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, No. 127, PP. 604-612.
- 3- Prakash, S. and Subramanyam, G. (1965). "Behavior of battered piles under lateral loads." J. Indian Nat. Soc of Soil Mech. and Found. Eng., New Delhi, No. 4, PP. 177-196.
- 4- Alizadeh, M. and Davisson, M. T.(1970). "Lateral loads test on piles- Arkansas River Project." ASCE, J. of Soil Mech. and Found. No. 96, PP. 1583-1603.
- 5- Poulos, H. G. and Davis, E. H. (1980). Pile foundation analysis and design. 2th. Ed. Chapter 7, John Wiley and Sons Pub. Co.
- 6- Ebrahimian, M. (1997). Numerical analysis of piles under lateral loading considering nonlinear behavior of soil. M.sc. Thesis, Civil Eng. Dep., Sharif Univ., Tehran, Iran.
- 7- Meyerhof, G. G. and Ranjan, G. (1973). "The bearing capacity of rigid piles under inclined loads in sand II: batter piles," Can. Geotech. J., No. 10, PP. 71-85.
- 8- Ranjan, G., Ramasamy, G. and Tyagi, R P. (1980). "Lateral response of batter piles and pile bents in clay," Indian Geotech. J., New Delhi, No. 10(2), PP. 135-142.
- 9- Sabry, M. (2001). Shalt resistance of a single vertical or batter pile in sand subjected to axial compression or uplift loading. M.Sc. Thesis, The Department of Building, Civil and Environmental Engineering, Concordia University, Montreal, Quebec, Can.
- 10- Meryerhof, G. G. and Yalcin, A. S. (1992). "Behavior of flexible batter piles under inclined loads in layered soil." Can. Geotech. J., No. 30, PP. 247-256.
- 11- Hanna, A. and Nguyen, T. G. (2003). "Shaft resistance of single vertical and batter piles driven in sand." ASCE, J. of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, No. 129, PP. 601-607.
- 12- Momen, M. (2003). Dynamic analysis of pile foundation using numerical methods. M.Sc. Thesis, Civil Dep., Elmosanat Univ., Tehran, Iran.
- 13- Razavi, S. A., Fakher, A. and Mirghaderi, R. (2007). " Study on use of structural fuse for improvement seismic application in pile and deck wharfs." Proc., 5rd Int. Conf. on seismology and Earthquake Engineerin., SEE5, Tehran, Iran, PP. 90-99.
- 14- Omidali, H., Mohammadi, S. and Fakher, A. (2006). " Study on behavior of batter pile under vertical and lateral loading." Proc., 7th Int. Conf. on Coastal & Port & Marin Structure, ICOPMAS, Tehran, Iran, No. 384.
- 15-Omidali, H. (2007). Effect of batter piles on behavior of pile groups. M.Sc. Thesis, Civile Dep., Univ. of Tehran, Tehran, Iran.

واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- | | |
|--------------------------|-----------------------|
| 1- Tscheborarioff | 10- Meyerhof & Ranjan |
| 2- Prakash & Subramanyam | 11- Lu |
| 3- Rajashree & Sitharam | 12- Hanna & Afram |
| 4- Reese & Matlock | 13- Meyerhof & Yalcin |
| 5- Alizadeh & Davisson | 14- Veeresh |
| 6- Poulos & Madhav | 15- Hanna & Nguyen |
| 7- Poulos & Davis | 16- Finite Difference |
| 8- Kubo | 17- Validation |
| 9- Award & Petrasovits | 18- Interface |