

بررسی ظرفیت باربری شمع‌های فلزی لوله‌ای کوبشی

عیسی شوش پاشا، استادیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه مازندران، بابل^(۱)
مبین افزلی راد، دانشجوی کارشناسی ارشد خاک و پی دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان^(۲)
کاوه خطیبی، کارشناس ارشد خاک و پی

تلفن: ۰۱۱۱-۳۲۳۱۷۰۷، نامبر: ۰۱۱۱-۳۲۳۴۲۰۱، پست الکترونیکی: shooshpasha@nit.ac.ir

تلفن: ۰۹۱۱۳۱۳۴۷۹۱، پست الکترونیکی: mobin_afzalirad@yahoo.com

چکیده

جهت تعیین ظرفیت باربری شمع‌ها، روش‌های استاتیکی و دینامیکی مختلفی وجود دارد، که دقت نتایج حاصل از هر کدام در شرایط مختلف خاک و بسته به نوع شمع و اطلاعات در دسترس متفاوت می‌باشد. در این تحقیق ظرفیت باربری شمع‌های فلزی لوله‌ای کوبشی در خاک‌های چسبنده و روند کوبش آنها، در یک پروژه کاربردی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. شایان ذکر است در این مطالعه از اطلاعات مربوط به کوبش ۲۰۸ شمع اجرا شده در منطقه‌ای به وسعت ۱۵۰۰ مترمربع استفاده گردید. با بهره‌گرفتن از این اطلاعات، روابط دینامیکی (حین کوبش) حاکم بر ظرفیت باربری شمع‌ها در خاک‌های ریزدانه بررسی و با نتایج حاصل از روابط استاتیکی مقایسه گردید. نهایتاً ارتباط بین آنها با در نظر گرفتن تاثیر عواملی مانند: عمق کوبش لایه‌های مختلف خاک و تشکیل نوپی خاک در شمع لوله‌ای مورد ارزیابی قرار گرفته است. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد روابط دینامیکی ENR اصلاح شده و ENR اصلاح شده جدید حاکم بر ظرفیت باربری شمع‌ها، تطابق بسیار خوبی با روشهای استاتیکی دارند.

کلید واژه‌ها: شمع فلزی، ظرفیت باربری استاتیکی، ظرفیت باربری دینامیکی، روشهای ENR

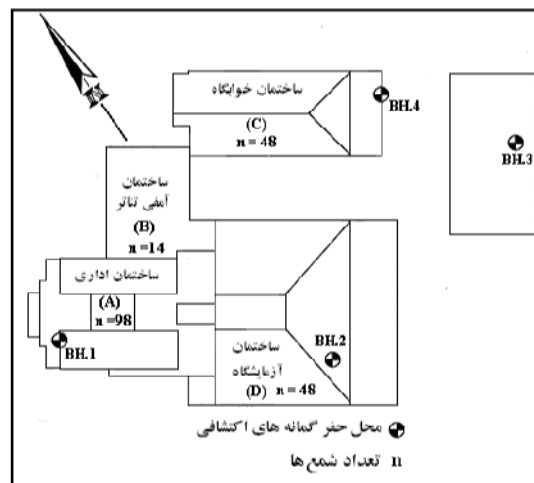
۱- مقدمه

روابط کوبش شمع بطور وسیعی برای تعیین ظرفیت باربری استاتیکی شمع‌ها بکار رفته‌اند. تحقیقات زیادی توسط مهندسين در گسترش فرمول‌های کوبش شمع انجام شده است، که منجر به فرمول‌های مختلفی در این زمینه شده است. این حقیقت که مهندسين قادر به وفق دادن خود با یکی از فرمول‌های کوبش شمع نیستند، قابل درک می‌باشد، زیرا تا بحال ریاضیات کوبش شمع برای همه حالات عملی حل نشده است. کوبش شمع یک مسئله ساده ضربه نیست که بتوان آن را مستقیماً توسط قوانین نیوتن حل کرد، بلکه یک مسئله انتقال موج طولی می‌باشد که در یک راه حل کلی توسط معادله موج پوشش داده

می‌شود. علاوه بر آن کوبش شمع مستلزم در نظر گرفتن پیچیدگی‌هایی همچون کلاهک‌ها، کلاهک-های سرشمع، بالشتک‌ها، شمع‌های مرکب و شمع‌های باریک شونده در راستای رفتار الاستیک-پلاستیک خاک و دیگر مسائل در مکانیزم آن می‌باشد. نتیجه‌ای که از وجود این مشکلات حاصل می‌شود این است که همه فرمول‌های کوبش شمع تا اندازه‌ای تجربی بوده و در نتیجه برای نوع و طول‌های مشخصی از شمع قابل استفاده می‌باشند.

یکی از روش‌های تعیین ظرفیت باربری شمع حین کوبش کاربرد اصل انرژی می‌باشد. روابط متعددی که در این زمینه به وجود آمده است، مقاومت نفوذ شمع حین کوبش را برابر با ظرفیت باربری در نظر می‌گیرند. برای شمع‌هایی که با استفاده از سیستم‌های ضربه‌ای کوبیده می‌شوند، مقاومت نفوذ با تعداد ضربه جهت فرو رفت شمع به میزان مشخص، برابر است. این معیار به شکل ضربه/سانتی‌متر یا ضربه/متر سنجیده می‌شود. اما توجه به این نکته ضروری می‌باشد که طولی از شمع که مقاومت نفوذ روی آن سنجیده می‌شود بسیار مهم است.

در این تحقیق ظرفیت باربری شمع‌های فلزی لوله‌ای کوبشی در خاک‌های چسبنده و روند کوبش آنها در یک پروژه کاربردی در شهرستان آمل، در منطقه‌ای به وسعت ۱۵۰۰ مترمربع مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. برای بررسی و مطالعات ژئوتکنیک، منطقه مورد مطالعه به ۴ ناحیه تقسیم بندی شده است و در هر ناحیه گمانه اکتشافی حفر شد، که در شکل (۱) پلان جانمایی و همچنین تعداد شمع‌ها در هر ناحیه مشخص شده است.



شکل ۱: پلان ناحیه بندی و موقعیت حفر گمانه‌های اکتشافی

۲- روابط حاکم بر ظرفیت باربری شمع

روابط حاکم بر ظرفیت باربری شمع‌ها را بطور کلی می‌توان به دو دسته، روابط استاتیکی و دینامیکی تقسیم بندی نمود.

- اساس تمام روابط استاتیکی بر این اصل استوار است که ظرفیت باربری شمع مجموع مقاومت نوک و مقاومت جداره آن می باشد که سهم هر یک بر اساس نوع خاک، وضعیت لایه ها، عمق بستر یا لایه مقاوم و موارد دیگر تامین می گردد. در این تحقیق ظرفیت باربری نوک شمع های کوبیده شده از روش های استاتیکی *Janbu, Vesic, Meyerhof, Hansen, Terzaghi* محاسبه گردید [1,2]. همچنین برای تمامی شمع های منطقه مورد مطالعه مقاومت جلدی آن قسمت از شمع که در لایه خاک چسبنده قرار داشت از روش α ، مقاومت جلدی آن قسمت از شمع که در خاک غیر چسبنده قرار داشت از روش β و نیز مقاومت جلدی کل طول شمع از روش λ محاسبه شده اند؛ به عبارتی مقاومت حاصل از روش λ قابل مقایسه و ارزیابی با مجموع دو مقاومت α و β می باشد [1,3].

- روابط دینامیکی کوبش بر این اساس استوار است که ظرفیت باربری خاک برای شمع مستقیماً تابع مقاومتی است که شمع در مقابل فرو رفتن در زمین تحت اثر ضربه نشان می دهد. در اثر سقوط چکش روی سرشمع و انتقال قسمتی از انرژی جنبشی به آن، سرشمع حرکت می کند، این حرکت به تمام طول شمع منتقل می شود و انرژی ناشی از این حرکت صرف فرو رفتن نوک شمع در خاک می گردد. روش های متعدد دینامیکی برای محاسبه ظرفیت باربری شمع ها وجود دارد؛ ولی با توجه به نکات ذکر شده و نیز متداول و رایج تر بودن، از روابط ENR^1 برای محاسبه ظرفیت باربری از روش دینامیکی استفاده شده است. رابطه پیشنهادی ENR بشرح ذیل می باشد [4,5]:

$$P_u = \frac{e_h w_r h}{S + \frac{1}{2}(K_1 + K_2 + K_3)} \frac{w_r + n^2 w_p}{w_r + w_p} \quad (1)$$

با صرف نظر کردن از افت انرژی ضربه و در نظر گرفتن راندمان مکانیکی سیستم برابر یک، رابطه زیر بدست می آید:

$$P_u = \left[\frac{e_h E_h}{S + C} \right] \quad \text{رابطه } ENR \quad (2)$$

رابطه فوق بصورت زیر اصلاح شد:

$$P_u = \left[\frac{e_h E_h}{S + C} \right] \left[\frac{w_r + n^2 w_p}{w_r + w_p} \right] \quad \text{رابطه } ENR \text{ اصلاح شده} \quad (3)$$

و سپس ضریب ۱/۲۵ به آن اضافه گردید:

$$P_u = \left[\frac{1.25 e_h E_h}{S + C} \right] \left[\frac{w_r + n^2 w_p}{w_r + w_p} \right] \quad \text{رابطه } ENR \text{ اصلاح شده جدید} \quad (4)$$

که: W_r وزن چکش که برای شمع کوب مورد استفاده ۱۲۶۶ کیلوگرم، H ارتفاع کل کوبش برابر ۲/۶۲ متر، K مقدار نفوذ نوک شمع در هر ضربه که برای شمع ها و عمق های کوبش مختلف، اعداد متفاوتی است و در جدول های مربوطه برای هر یک از شمع ها به طور جداگانه محاسبه شده و واحد آن

¹ Engineering News Records

ضربه/میلی متر می‌باشد. e_{ii} کارایی چکش برابر $0/85$ ، N ضریب بازگشت برابر $0/4$ و P_u ظرفیت باربری شمع می‌باشد.

۴- مشخصات فنی شمع، شمعکوب و اطلاعات حاصل از عملیات شمع کوبی

در پروژه مذکور از شمع‌های فلزی لوله‌ای با انتهای باز با قطر ۱۴ اینچ و ضخامت جدار $0/312$ اینچ استفاده شده و شمع کوب مورد استفاده از نوع دلماک ۱۲ با وزن رام تقریبی ۱۲۶۶ کیلوگرم و ارتفاع سقوط $2/62$ متر می‌باشد [6]. اطلاعات شمع‌های کوبیده شده در مناطق مطالعاتی به شرح ذیل می‌باشد:

الف) ناحیه مطالعاتی A: ضخامت لایه‌های رسی در این گمانه حدود $6/7$ متر می‌باشد. نوک شمع‌ها بعد از طول $19/5$ متر در خاک غیر چسبنده (لای با ماسه) قرار می‌گیرد. همانطور که در شکل (۲) نشان داده شده است بعد از $1/5$ متر اول تعداد ضربات کوبش با افزایش عمق نفوذ، روند صعودی با شیب ملایم دارد و جهش‌های ناگهانی نیز در تعداد ضربات دیده نمی‌شود. این شیب ملایم می‌تواند نشان دهنده آن باشد که در اعماقی که گزارش شمع کوبی ثبت شده است بعلت عدم تغییر لایه خاک، مقاومت نوک شمع ثابت مانده و در این لایه خاک مقاومت جلدی نیز ناچیز بوده و بعبارتی مقاومت کلی شمع از مقاومت نوک شمع و مقاومت جلدی در لایه‌های بالاتر خاک بدست آمده است.

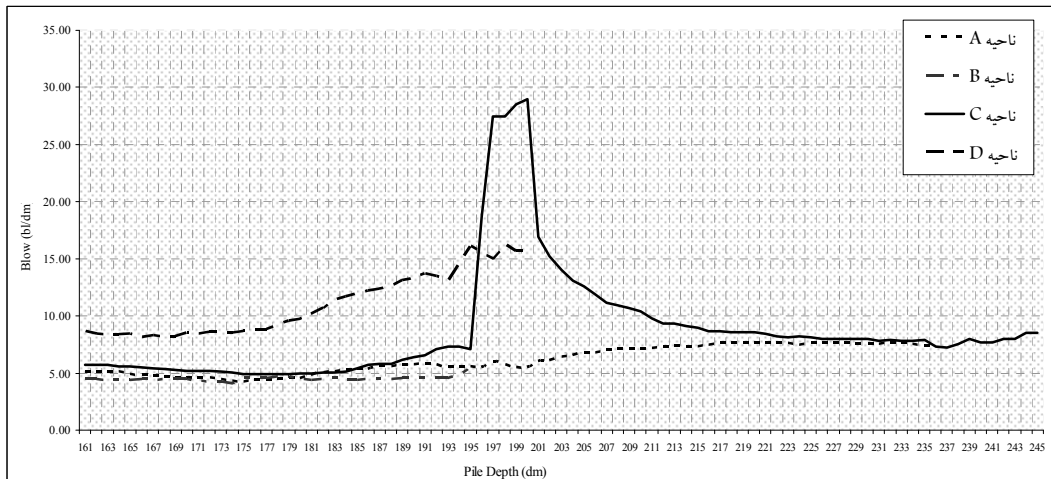
ب) ناحیه مطالعاتی B: ضخامت لایه‌های رسی در این گمانه حدود $6/7$ متر می‌باشد. نوک شمع‌ها بعد از طول $19/5$ متر در خاک غیر چسبنده (لای با ماسه) قرار می‌گیرد. تغییرات ضربه بر حسب عمق ارائه شده در شکل (۲) نشان می‌دهد، به غیر از عمق $17/0$ تا $17/5$ متری تعداد ضربات کوبش با افزایش عمق نفوذ روند صعودی دارد و جهش‌های ناگهانی نیز در تعداد ضربات دیده نمی‌شود.

ج) ناحیه مطالعاتی C: ضخامت لایه‌های رسی در این گمانه برای شمع‌های با عمق نفوذ $19/5$ متر حدود ۲ متر و برای شمع‌های با عمق نفوذ $23/5$ متر حدود ۶ متر می‌باشد. نوک شمع‌ها بعد از طول $19/5$ متر در خاک چسبنده رسی قرار می‌گیرد. همانطور که شکل (۲) نشان می‌دهد بعد از عمق $19/5$ تعداد ضربات کوبش افزایش و سپس در عمق ۲۱ متری بطور ناگهانی کاهش می‌یابد و در بقیه عمق‌ها با افزایش عمق نفوذ روند صعودی با شیب بسیار ملایم دارد. با توجه به این نکته که مقاومت جلدی شمع اولاً یک تابع تجمعی است و ثانیاً تغییرات آن تدریجی است، افزایش و کاهش ناگهانی تعداد ضربات کوبش به ازای میزان ثابت نفوذ در یک عمق خاص نشان دهنده افزایش مقاومت نوک شمع و بعبارتی وجود لایه‌ای سخت‌تر در قسمتی از عمق نفوذ شمع می‌باشد.

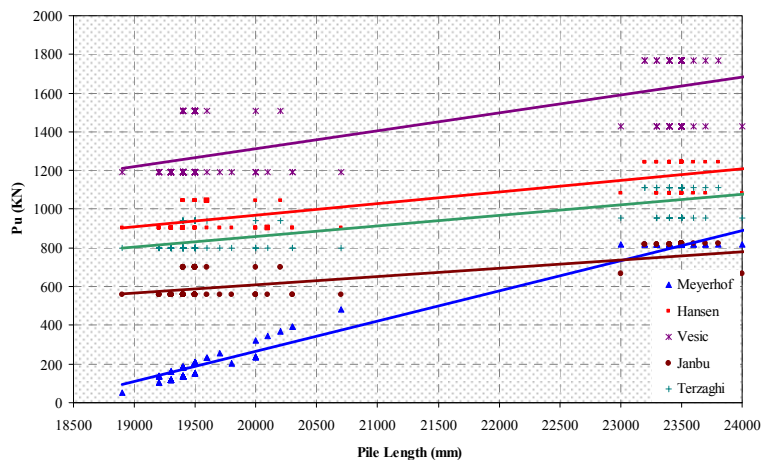
د) ناحیه مطالعاتی D: ضخامت لایه‌های رسی در این گمانه حدود $12/7$ متر است که بیشترین ضخامت لایه رسی در بین گمانه‌های اکتشافی می‌باشد. نوک شمع‌های با طول $19/5$ متر در خاک غیر چسبنده قرار دارد.

۴- مقایسه مقاومت نوک شمع

در این قسمت تغییرات مقاومت نوک شمع‌ها بر حسب طول شمع به روشهای مختلف (مایر هوف، هسن، وسیک، جانبو، ترزاقی) برای ۴ ناحیه مطالعاتی بصورت یکجا در شکل (۳) نمایش داده شده‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود، ترتیب تغییرات مقادیر ظرفیت باربری شمع‌ها بر اساس روابط گوناگون به شرح ذیل است: $Vesic > Hansen > Terzaghi > Janbu$



شکل ۲: تعداد ضربات میانگین شمع کوب به ازای ۱۰ سانتیمتر نفوذ شمع- های نواحی مطالعاتی در عمق‌های مختلف



شکل ۳: تغییرات مقاومت نوک شمع‌ها بر حسب طول برای نواحی چهارگانه به روش‌های مختلف

۵- ارزیابی مشارکت سطح مقطع در مقاومت نوک شمع

مقاومت نوک شمع‌ها با استفاده از روابط ذکر شده در دو حالت با فرض تشکیل تویی خاک و فرض عدم تشکیل تویی خاک محاسبه شده‌اند. البته واضح است با توجه به جداره نازک شمع لوله‌ای در حالت فرض عدم تشکیل تویی خاک مقاومت‌های حاصل بسیار کوچک می‌باشند یعنی با توجه به آنکه در تمامی روابط ذکر شده به غیر از سطح مقطع سایر پارامترها برای هر دو حالت یکسان می‌باشند، لذا نسبت دو مقاومت برابر با نسبت مساحت شمع توپر به شمع توخالی است. البته قضاوت در این مورد می‌بایست با

مقایسه مقاومت کل شمع از روابط استاتیکی و دینامیکی صورت گیرد. در ناحیه مطالعاتی C در عمق مشخصی از خاک (عمق ۱۹/۵ تا ۲۱/۰ متری)، تعداد ضربات شمع کوب برای هر ۱۰ سانتیمتر نفوذ ابتدا افزایش و سپس بطور ناگهانی کاهش می‌یابد و همچنین بر طبق گمانه متناظر، شمع‌های این ناحیه از پروژه قبل از نفوذ به لایه سخت از لایه‌ای رسی به ضخامت تقریبی ۲/۵ متر عبور کرده‌اند. لذا با توجه به میزان افزایش مقاومت نوک و مشخصات لایه خاک سخت می‌توان مساحتی از نوک شمع‌ها را که در این افزایش مقاومت سهم داشته است را تخمین زد و تشکیل یا عدم تشکیل توبی خاک در نوک شمع را بررسی نمود. همانطور که در شکل (۲) ملاحظه می‌گردد، حداکثر اختلاف تعداد ضربات کوبش ۱۹ ضربه به ازای یک دسیمتر نفوذ برای ناحیه C می‌باشد، البته لازم به ذکر است ملاک محاسبه ظرفیت باربری شمع از روابط ENR میانگین تعداد ضربات کوبش برای یک متر نفوذ شمع می‌باشد، لذا اختلاف میانگین تعداد ضربات کوبش در دو حالت واقعی و فرض عدم جهش ناگهانی در لایه مورد بحث تقریباً برابر ۸/۵ ضربه است، این اختلاف در تعداد ضربه بر اساس روابط ENR معرف افزایش ظرفیت باربری شمع به اندازه مقادیر نشان داده شده در جدول (۱) می‌باشد.

در جدول (۱) مشاهده می‌شود که بر اساس رابطه ENR اصلاح شده جدید اختلاف ظرفیت باربری شمع‌ها ۱۰۳۵ کیلونیوتن می‌باشد، حال آنکه بیشترین مقاومت نوک شمع از بین تمامی روابط ذکر شده در این تحقیق با فرض عدم تشکیل توبی خاک کوچکتر از ۲۰۰ کیلونیوتن می‌باشد، که نمایانگر این مطلب است که سطح مقطعی بزرگتر از لوله توخالی شمع در ایجاد مقاومت نوک مزبور دخیل بوده است، جالب آنکه اختلاف مقاومت نوک شمع‌ها با فرض تشکیل توبی خاک در لایه‌های سست و لایه سخت این ناحیه چیزی حدود ۱۰۰۰ کیلونیوتن می‌باشد، که این مساله نشان دهنده تشکیل توبی خاک بطور کامل قبل از نفوذ شمع به داخل لایه سخت می‌باشد.

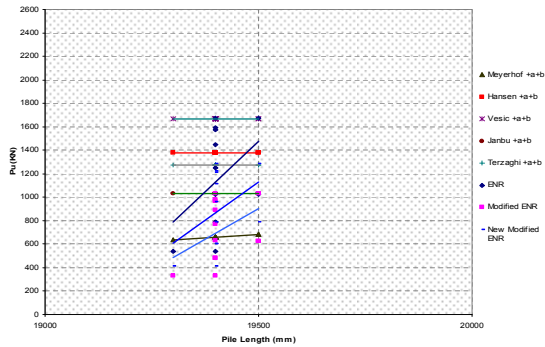
جدول ۱: افزایش ظرفیت باربری شمع‌ها در لایه خاک سخت به روش‌های دینامیکی در ناحیه مطالعاتی C

روابط محاسبه ظرفیت باربری	ENR (KN)	Modified ENR (KN)	New Modified ENR (KN)
میزان افزایش ظرفیت باربری شمع در لایه خاک مورد بحث	1365	830	1035

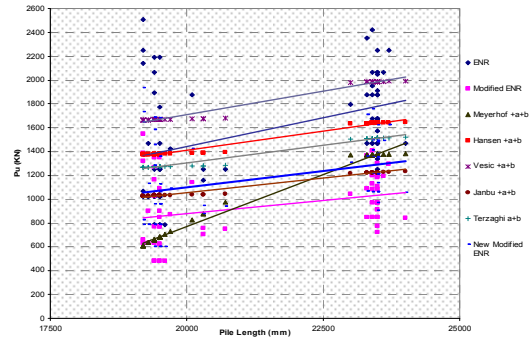
۶- مقایسه نتایج حاصل از روابط استاتیکی با روابط دینامیکی

آنچه برای مقایسه روابط قابل بحث و استفاده می‌باشد، مقایسه مقاومت حاصل از روابط دینامیکی و مجموع مقاومت نوک شمع و مقاومت جلدی از روابط گوناگون استاتیکی می‌باشد. این مقایسه برای تک تک نواحی بر حسب طول کوبش شمع انجام گرفته است، که در شکل‌های (۴)، (۵)، (۶) و (۷) آمده است. از بررسی نمودارهای ذیل مشخص می‌شود که روابط دینامیکی مورد استفاده در این تحقیق بصورت کلی همخوانی بسیار خوبی با روابط استاتیکی کلاسیک دارند، بدین معنی که تقریباً تمامی اعداد حاصل از روابط

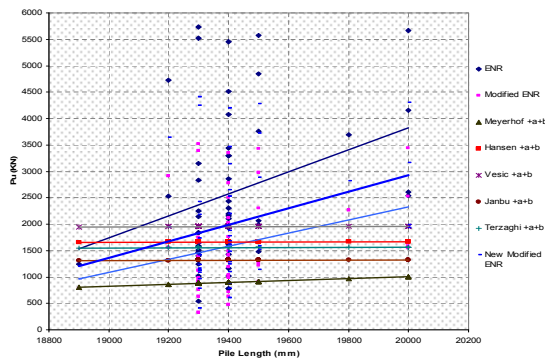
دینامیکی در بازه میانی روابط مختلف استاتیکی قرار می‌گیرند. نکته قابل تأمل دیگر حساسیت روابط دینامیکی نسبت به عمق نفوذ است، یعنی شیب افزایش ظرفیت باربری شمع‌ها نسبت به افزایش عمق نفوذ در این روابط در مقایسه با روابط استاتیکی به غیر از رابطه مایر هوف بیشتر می‌باشد.



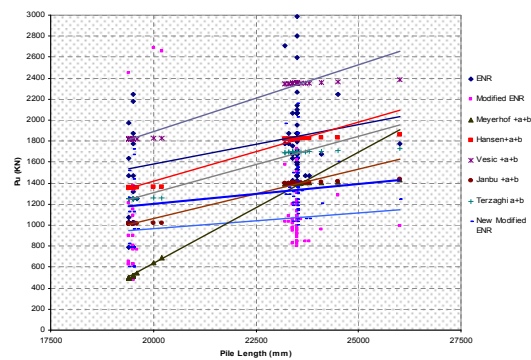
شکل ۵: نمودار تغییرات ظرفیت باربری شمع‌ها بر حسب عمق برای ناحیه مطالعاتی B با روشهای استاتیکی و دینامیکی



شکل ۴: نمودار تغییرات ظرفیت باربری شمع‌ها بر حسب عمق برای ناحیه مطالعاتی A با روشهای استاتیکی و دینامیکی



شکل ۷: نمودار تغییرات ظرفیت باربری شمع‌ها بر حسب عمق برای ناحیه مطالعاتی D با روشهای استاتیکی و دینامیکی

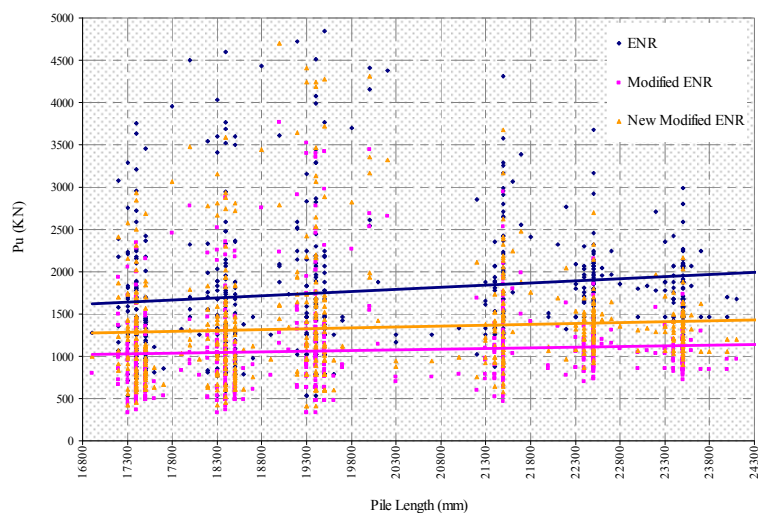


شکل ۶: نمودار تغییرات ظرفیت باربری شمع‌ها بر حسب عمق برای ناحیه مطالعاتی C با روشهای استاتیکی و دینامیکی

۷- بررسی و مقایسه روابط ENR

برای استفاده از روابط ENR در محاسبه ظرفیت باربری شمع‌های کوبشی توصیه می‌شود از اطلاعات یک متر آخر کوبش استفاده گردد، که در این تحقیق نیز چنین شده است. لذا با اطلاعات ارزشمندی که برای ظرفیت باربری شمع‌ها از روابط ENR حاصل می‌گردد، می‌توان ظرفیت باربری شمع‌ها با طولهایی تا ۳ متر کوتاهتر را نیز از روابط ENR محاسبه نمود که بدین ترتیب ظرفیت‌های باربری شمع‌هایی با طول‌های ۱۶۵۰۰ تا ۲۳۵۰۰ میلیمتر و تقریباً بصورت پیوسته در دسترس خواهد بود. در شکل (۸) ظرفیت باربری شمع‌ها از سه روش ENR، ENR اصلاح شده و ENR اصلاح شده جدید برای شمع‌هایی با طولهای متفاوت برای نواحی چهار گانه مطالعاتی با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

همانطور که تا حدودی در روابط روشهای ENR مشخص است اعداد حاصل از روش ENR از دو روش دیگر بزرگتر و اعداد حاصل از روش ENR اصلاح شده جدید از روش ENR اصلاح شده بزرگتر می باشند. همچنین تأثیر پذیری روشهای ENR اصلاح شده و ENR اصلاح شده جدید نسبت به افزایش عمق نفوذ شمع در مقایسه با روش ENR اصلاح شده کمتر است یعنی شیب نمودار آنها ملایم تر می باشد.



شکل ۸: نمودار تغییرات ظرفیت باربری شمع‌ها بر حسب عمق برای تمامی نواحی مطالعاتی با روش‌های مختلف دینامیکی ENR

۸- نتایج

- پژوهش حاضر نشان داده است، از میان روشهای مختلف استاتیکی تعیین ظرفیت باربری نوک شمع، روابط مایر هوف و جانبو محافظه کارانه و رابطه وسیک بسیار دست بالا می باشد.
- در نوک شمع‌های لوله‌ای فلزی با انتهای باز که قبل از نفوذ به لایه خاک سخت، از لایه رسی عبور کرده‌اند، توبی خاک تشکیل می شود یعنی شمع لوله‌ای بصورت توپر عمل کرده و موجب افزایش مقاومت نوک شمع می گردد.
- نتایج حاصل از روابط دینامیکی ظرفیت باربری شمع که در این تحقیق از آنها استفاده شده است تطابق بسیار خوبی با روش‌های استاتیکی دارند و در قسمتهایی که ضخامت لایه‌های رسی نسبتاً بالا است، ظرفیت باربری حاصل از روابط دینامیکی نسبت به روابط استاتیکی بزرگتر می باشد.

۹- مراجع

- 1- Bowles.J.E., 1988, "Foundation Design and Analysis". fifth edition, Mac Graw-Hill publisher, United state, P.1175.
- 2- Terzaghi, K. and Peck, R. 1967, "Soil Mechanics in Engineering Practice", 2nd ed., John Wiley and Sons, Inc., New York, NY, pp. 729.
- 3- Poulos.H.G., 1980, "Foundation and Design", 2nd Edition, MC Graw-Hill.
- ۴- کریمپور فردم، اسلامی.الف، شریعتمداری.ن، ۱۳۸۱، "تعیین ظرفیت باربری شمع‌ها با استفاده از آزمایشهای درجا - ارائه روش جدید"، سومین همایش بین المللی مهندسی ژئوتکنیک و مکانیک خاک ایران.

5- Dinesh Mohan, (1998), "Pile Foundations", A.A. Balkema, Rotterdam.

۶- گزارش ثبت عملیات شمع کوبی در پروژه احداث مرکز توسعه منابع انسانی - کشاورزی هراز، ۱۳۸۰.