

ظرفیت باربری پی‌های سطحی در زمین‌های ضعیف بهسازی شده با ترانشه‌ی دانه‌ای

محمد متقی شهپیر^۱، حسن شعبانی^۲

^۱ کارشناس ارشد رشته مهندسی عمران - گرایش خاک و پی دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان

^۲ کارشناسی ارشد رشته مهندسی معماری جهاد دانشگاهی واحد همدان

چکیده

فعالیت‌های توسعه یافته در شهرها باعث افزایش قابل توجه ساخت‌وسازهای بزرگ روی خاک‌های ضعیف و نرم انجام بگیرد. این موضوع باعث ایجاد دغدغه برای مهندسان ژئوتکنیک شده است و همواره دنبال راه‌حل برای افزایش ظرفیت باربری پی‌های قرار گرفته روی این نوع خاک‌ها هستند. در حال حاضر، تکنیک‌های زیادی برای بهبود ظرفیت باربری پی‌ها روی خاک ضعیف قابل تراکم استفاده می‌شود. یکی از این تکنیک‌ها استفاده از ترانشه‌های دانه‌ای زیر پی می‌باشد. ترانشه‌های دانه‌ای حالت کرنش مسطح ستون‌های سنگی هستند که به آسانی و سریع و ارزان‌تر از پی‌های عمیق برای اهداف بهبود زمین می‌باشند. ترانشه‌ی دانه‌ای توسط جایگزین کردن قسمتی از خاک ضعیف اغلب خاک زیر پی، با مصالح دانه‌ای دارای سختی بالا و پارامترهای مقاومتی ساخته می‌شود. در این تحقیق، مطالعه‌ی عددی با استفاده از مدل ساخته شده در نرم‌افزار FLAC، در حالت با ترانشه و بدون ترانشه تحت بارگذاری استاتیکی و سیکلی انجام و با روابط تحلیلی مقایسه شده است. در این مدل‌سازی، تاثیر عمق و عرض ترانشه‌ی دانه‌ای بررسی شده و در نهایت مقادیر بهینه برای ابعاد مدل انتخاب شده است. سپس مدل نهایی استاتیکی تحت بارگذاری سیکلی ماشین‌آلات قرار می‌گیرد. در صورت استفاده از ترانشه‌ی دانه‌ای، با افزایش عرض ترانشه ظرفیت باربری افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش عمق ترانشه ظرفیت باربری تا مقدار ماکزیمم خود افزایش یافته و سپس ثابت می‌ماند.

واژه‌های کلیدی: ترانشه‌ی دانه‌ای، پی سطحی، بهسازی، ظرفیت باربری استاتیکی و دینامیکی، FLAC2D

۱- مقدمه

به طور کلی سازه‌ها بر روی پی‌هایی قرار می‌گیرند که بر سطح زمین یا پایین‌تر از آن قرار دارند. پی‌ها انواع مختلفی دارند و انتخاب نوع مناسب پی مسئولیت مهندسان ژئوتکنیک است. رشد سریع زیرساخت‌های شهری منجر شده است که روی خاک-های ضعیف و سست ساخت‌وسازهایی انجام بگیرد. این خاک‌ها ظرفیت باربری کم و مشکلات باربری داشته و تراکم‌پذیری بالایی از خود نشان می‌دهند. با توجه به محدودیت‌هایی که در استفاده از شمع‌ها و پی‌های عمیق وجود دارد یکی از بهترین و اقتصادی‌ترین گزینه‌ها برای بهبود شرایط خاک، پایداری با نصب شمع‌های دانه‌ای و ستون سنگی می‌باشد. نوع کرنش سطحی شمع‌های دانه‌ای را ترانشه‌ی دانه‌ای می‌گویند که استفاده از آن منجر به افزایش ظرفیت باربری و کاهش نشست‌پذیری خاک زیر پی می‌شود. ترانشه‌های دانه‌ای عملکردی همانند ستون‌های سنگی دارند با این تفاوت که به جای ستونی از مصالح درشت-دانه، یک سطح گسترده از مصالح درشت‌دانه وجود دارد. نقش پرکننده‌های دانه‌ای این است که به عنوان یک اساس قوی عمل می‌کنند و بار را در یک سطح گسترده توزیع می‌کنند.

ماشین‌آلات و دستگاه‌های مکانیکی زیادی وجود دارند که نیروهای دینامیکی بزرگی را بر شالوده خود وارد می‌کنند. این نیروهای دینامیکی موجب ایجاد لرزش در پی ماشین می‌گردند. پی ماشین‌آلات باید به گونه‌ای باشد که تحت بار استاتیکی و دینامیکی، عملکرد پایدار و رضایت‌بخشی داشته باشند. مقادیر بارهای دینامیکی در مقایسه با مجموع بارهای استاتیکی ناچیز می‌باشد، اگرچه با توجه به طولانی بودن زمان اعمال این بارها و مشکلاتی که با توجه به خواص ذاتی این قبیل بارها بوجود می‌آید، لزوم مطالعه این پدیده الزامی می‌باشد. بنابراین نکته اصلی در طراحی موفق شالوده ماشین‌آلات، تحلیل دقیق پاسخ شالوده به بارهای دینامیک ناشی از عملیات ماشین می‌باشد.

یکی از این روش‌های افزایش ظرفیت باربری خاک‌های ضعیف، استفاده از ترانشه‌های دانه‌ای می‌باشد که برای اولین بار توسط ماده‌او^۱ و ویتکار^۲ در سال ۱۹۷۸ برای پی‌های نواری ارائه شد. ترانشه دانه‌ای در ابتدا توسط خاک‌برداری یک ترانشه در خاک رس ضعیف تا یک عمق مشخص و سپس خاکریزی آن به وسیله مصالح دانه‌ای متراکم انجام می‌شود.

ماده‌او و ویتکار در سال ۱۹۷۸ با در نظر گیری مود گسیختگی برشی عمومی در خاک زیر پی در حضور ترانشه و فرض معیار کولمب برای جاری شدن خاک، معادله ظرفیت باربری پی را محاسبه کردند. شکل ۱ مکانیسم گسیختگی مفروض را برای خاک دارای ترانشه دانه‌ای با عرض A و عرض بار نواری B نشان می‌دهد. نواحی مشخص شده در شکل در ادامه تعریف می‌گردد:

(۱) ناحیه ی رانکین اکتیو AGC با زاویه ی گوه ی ζ

(۲) ناحیه ی تبدیل یافته ی مرکب GCD با زاویه ی مرکزی θ که توسط اسپیرال لگاریتمی براساس زاویه ی اصطکاکی

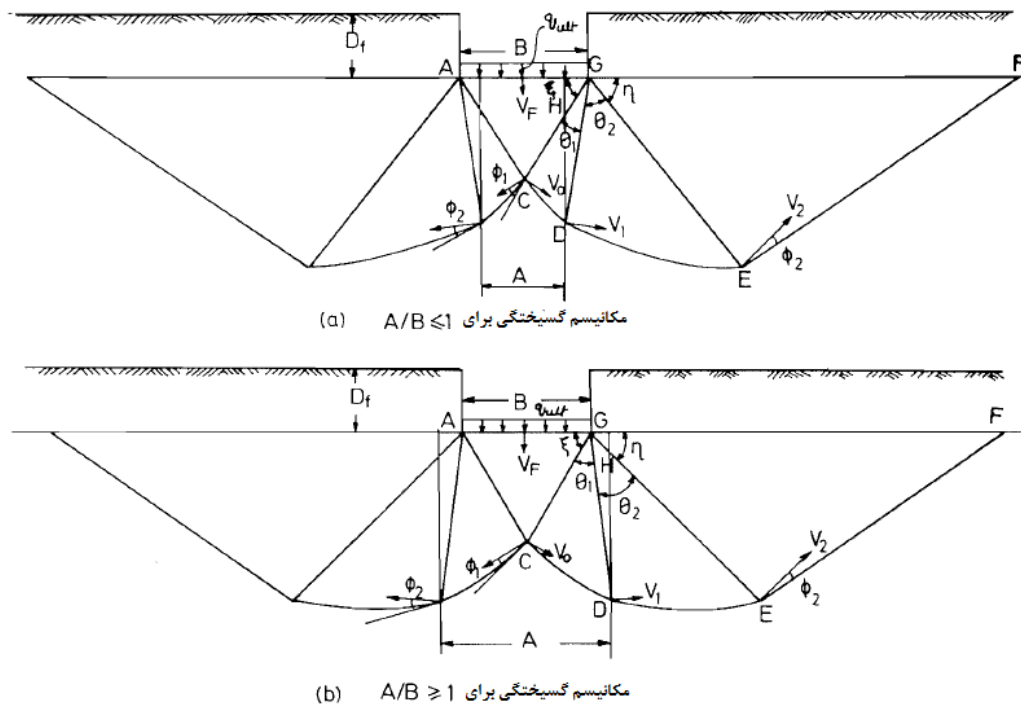
مصالح ترانشه ای ϕ محدود شده است.

¹ Madhav

² Vitkar

۳) ناحیه ی تبدیل یافته ی GDE با زاویه مرکزی θ که با اسپیرال لگاریتمی بر اساس زاویه اصطکاکی ϕ خاک ضعیف محدود شده است.

۴) ناحیه ی رانکین پسو GEF با زاویه ی گوه ی η ، به زوایای ζ و η ، نسبت A/B و زاویه ی اصطکاکی مصالح ترانشه بستگی دارد.



شکل ۱: مکانیسم های گسیختگی [4]

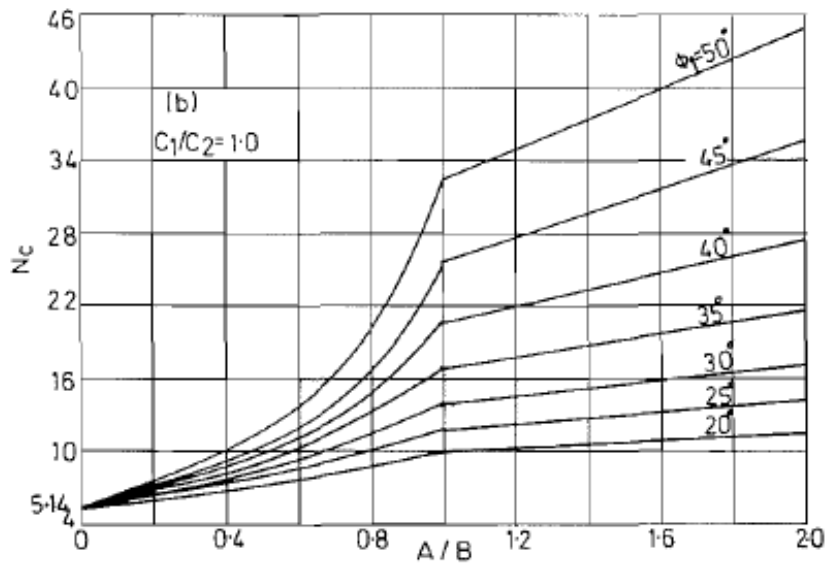
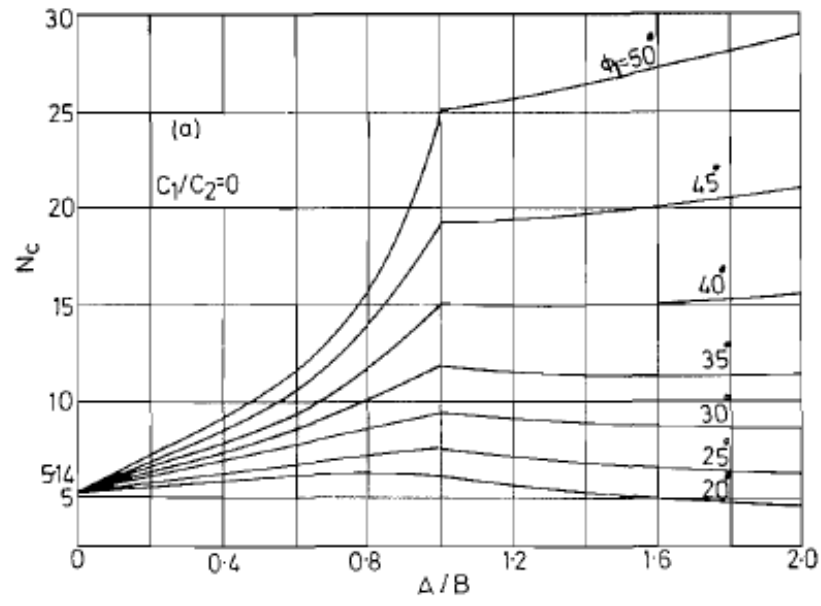
معادله نهایی به صورت زیر نتیجه می دهد:

$$q_{ult} = C_2 N_c + D_f \gamma_2 N_q + \frac{1}{2} \gamma_2 B N_\gamma \quad (1)$$

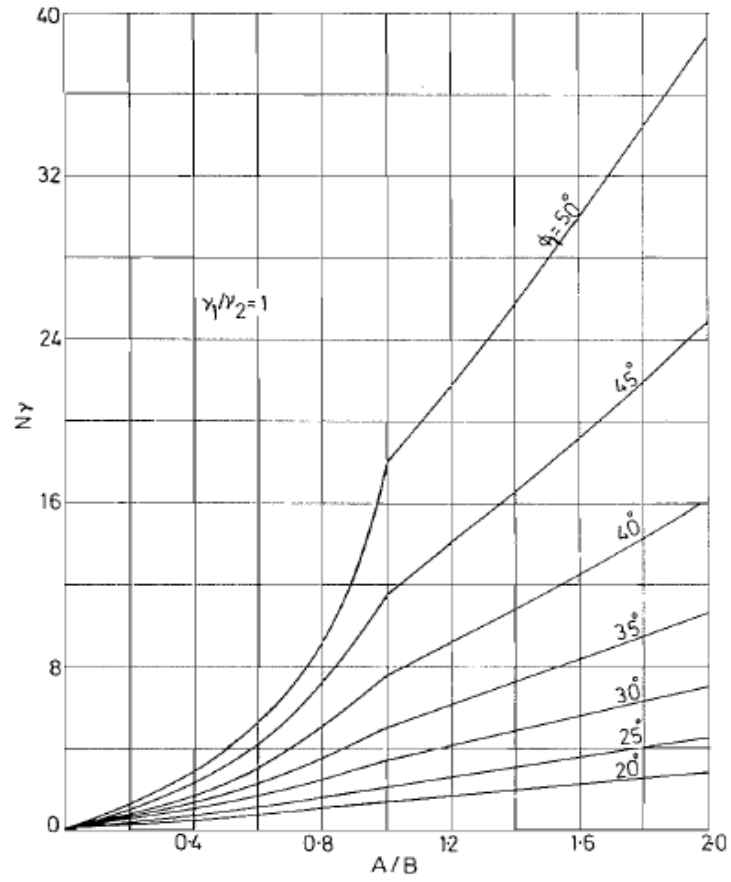
$$N_c = \frac{C_1}{C_2} N_{c1} + N_{c2} \quad (2)$$

$$N_\gamma = \frac{\gamma_1}{\gamma_2} N_{\gamma1} + N_{\gamma2} \quad (3)$$

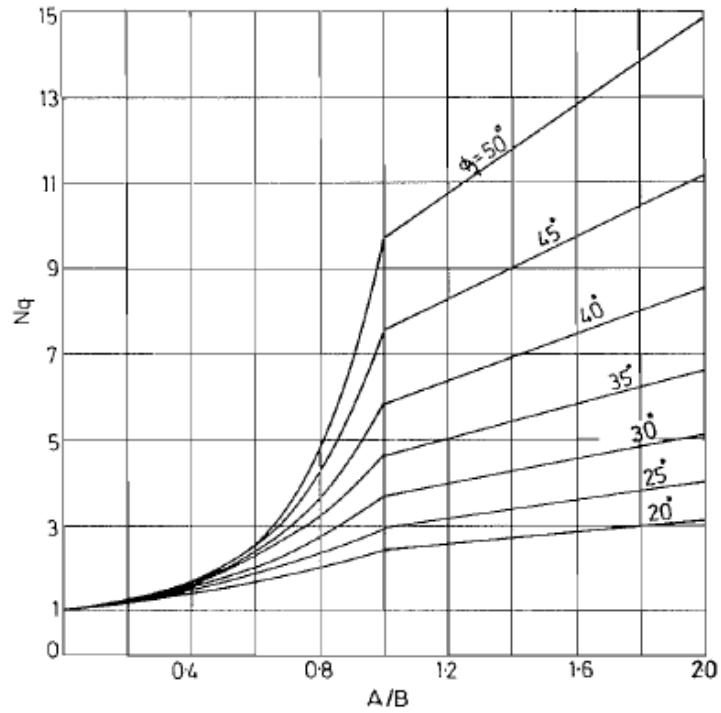
فاکتورهای N_q و N_{γ_2} ، N_{γ_1} ، N_{c_2} ، N_{c_1} ، C_1 ، C_2 ، γ_1 به ترتیب چسبندگی و وزن واحد خاک ضعیف و مصالح ترانشه هستند و D_f عمق پی است. معادله ۱ مشابه معادله ی ترزاقی برای خاک های همگن می باشد. در نمودارهای شکل ۲ و ۳ و ۴ ضرائب ظرفیت باربری N_c ، N_γ و N_q نشان داده شده است.



شکل ۲: مقادیر N_c [4]

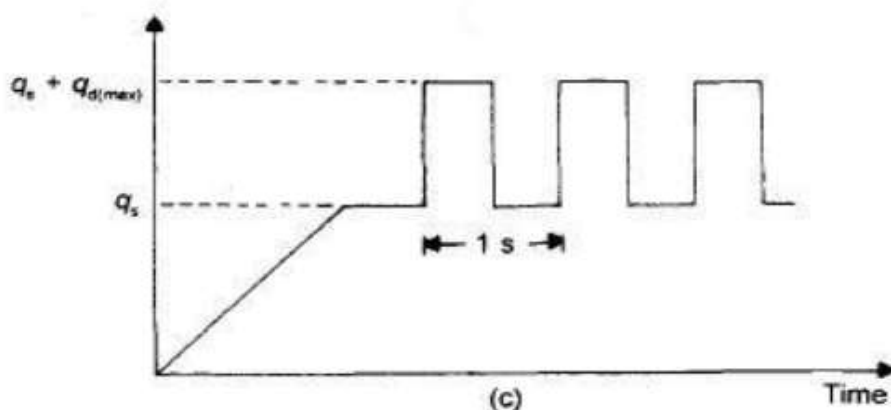


شکل ۳: مقادیر N_γ [4]



شکل ۴: مقادیر N_q [4]

از آنجائیکه نتایج آزمایشگاهی کافی برای تأیید تئوری ماده‌ها و ویتکار وجود نداشت، در سال ۱۹۸۶ داس^۳ و حامد^۴ تست‌های آزمایشگاهی را انجام دادند. آنها نتایج آزمایش‌های خود را برای ظرفیت باربری نهایی پی نواری روی زمین نرم تثبیت شده توسط ترانشه‌ی دانه‌ای در همان عرض پی ارائه کردند و به این نتیجه رسیدند که تئوری ماده‌ها و ویتکار در جهت اطمینان نیست و ظرفیت باربری نهایی پی با عمق ترانشه‌ی دانه‌ای تا مقدار ماکزیمم خود افزایش یافته و پس از آن ثابت می‌ماند. یوسیف^۵ در سال ۱۹۸۶ نتایج آزمایش‌های خود را بر روی ظرفیت پی سطحی روی ترانشه دانه‌ای که در عرض‌های متفاوت، عمق بهینه را بدست آورده بود، ارائه کرد. با توجه به این نتایج با افزایش عرض ترانشه، عمق بهینه کاهش یافته است. راجان^۶ و یوننی کریشنان^۷ در سال ۲۰۱۲ با در نظر گرفتن مکانیسم گسیختگی موضعی، اثر شکل ترانشه را بررسی کردند. برای بررسی تاثیر شکل ترانشه در ظرفیت باربری، دو مقطع مثلثی و مستطیلی مورد آزمایش قرار گرفته شد و دیده شد که به شرط ثابت ماندن حجم خاک، شکل ترانشه تاثیری روی ظرفیت باربری ندارد. آدامز^۸ و کولینز^۹ در سال ۱۹۹۷ مطالعاتی به منظور بررسی مزایای خاک مسلح شده با ژئوگرید، انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که مسلح‌کننده‌ها ظرفیت باربری را بطور قابل توجهی افزایش می‌دهند. داس در سال ۱۹۹۸ مطالعه‌ای روی یک مدل آزمایشگاهی برای بررسی نشست یک پی مربعی با خاک مسلح شده توسط ژئوسنتتیکها با بارگذاری سیکلی با فرکانس ۱ هرتز انجام داد (شکل ۵). به این نتیجه رسیده شد که از بین ژئوسنتتیک‌ها، ژئوگرید تاثیر زیادی در کاهش نشست پی تحت بارگذاری سیکلی دارد.



شکل ۵: الگوی ترکیب بار استاتیکی و سیکلی

این تحقیق با هدف به دست آوردن درک کلی از رفتار یک پی نواری تحت بارگذاری استاتیکی و سیکلی روی ترانشه‌ی دانه‌ای انجام شده است و نتایج آن می‌تواند برای طراحی مدل‌های با مصالح متفاوت مورد استفاده قرار بگیرد.

³ Das

⁴ Hamed

⁵ Yousif

⁶ Rajan

⁷ Unnikrishnan

⁸ Adams

⁹ Collins

در این مقاله برای دستیابی به اهداف ذکر شده نیاز به شبیه‌سازی مساله با یک نرم‌افزار مناسب می‌باشد. برای انتخاب نرم‌افزار مناسب عددی، تحقیقات فراوانی انجام شد و بهترین نرم‌افزاری که بتواند به خوبی و راحت‌تر این مساله و رفتار خاک را شبیه‌سازی کند، نرم‌افزار تفاضل محدود فلک^{۱۰} انتخاب شد.

۲- الگوسازی نظری یا تجربی

طبق نظریه ولف^{۱۱} در سال ۱۹۸۵ به منظور کاهش اثر اندازه مدل بر روی پاسخ‌ها، بهتر است که حداقل عرض بلوک خاکی از هر طرف به اندازه ۵ برابر بعد پی ادامه یابد. برای این منظور و با توجه به اینکه عرض پی ۱ متر می‌باشد، با در نظر گرفتن ضریب اطمینان در این پایان‌نامه بلوک خاکی به عرض ۴۰ متر و ارتفاع ۲۰ متر و یک پی نواری روی بلوک خاکی مدلسازی شد. در ابتدا برای اینکه نتایج بدست آمده فقط ناشی از بارگذاری باشد نه وزن خاک، محیط خاکی مدلسازی تحت وزن خود مورد تحلیل استاتیکی قرار می‌گیرد و جابجایی‌ها صفر می‌شود. در مرحله بعد حفاری انجام شده و مصالح ترانشه خاکریزی می‌شود. پس از آن پی بتنی بر روی ترانشه قرار می‌گیرد، دوباره سیستم تحت وزن خود تحلیل شده و جابجایی‌ها صفر شده و به پایداری استاتیکی می‌رسد. در نهایت نیز تحلیل دینامیکی انجام می‌شود.

خاک مورد استفاده در مدلسازی بلوک خاکی، خاک رس ماسه‌ای بوده و برای مدلسازی ترانشه‌ی دانه‌ای خاک ماسه‌ای متراکم با گراویل استفاده شده که خصوصیات هر دو در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: مشخصات بلوک خاکی و مصالح ترانشه (فرض شده)

چسبندگی (N/m ²)	زاویه اصطکاک (درجه)	مدولی برشی (N/m ²)	مدول بالک (N/m ²)	چگالی (kg/m ³)	مدول الاستیسیته (kN/m ²)	ضریب پواسون	نوع خاک
20000	0	2.14×10 ⁷	2.5×10 ⁷	1471	3×10 ⁴	0.3	رس ماسه‌ای
0	30	7.14×10 ⁷	8.33×10 ⁷	1962	1×10 ⁵	0.3	ماسه‌ی متراکم با گراویل (مصالح ترانشه)

از بتن با مقاومت متوسط برای شبیه‌سازی پی سطحی استفاده شده که مشخصات آن در جدول ۲ ذکر شده است.

جدول ۲: مشخصات بتن مورد استفاده برای پی سطحی (فرض شده)

مدول برشی (GPa)	مدول بالک (GPa)	مدول الاستیسیته (GPa)	ضریب پواسون	چگالی (kg/m ³)	نوع مصالح
۱۳/۰۴	۱۴/۲۸	۳۰	۰/۱۵	۲۴۰۰	بتن

¹⁰ FLAC2D Software

¹¹ Wolf

برای به دست آوردن مدول بالک و مدول برشی از روابط زیر استفاده می‌شود:

$$K = \frac{E}{3(1-2\nu)} = \frac{3 \times 10^{10}}{3(1-(2 \times 0.15))} = 14.28 \times 10^9 \quad (4)$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} = \frac{3 \times 10^{10}}{2(1+0.15)} = 13.04 \times 10^9 \quad (5)$$

جدول ۳: خصوصیات المان سطح مشترک غیرمتصل مورد استفاده در مدلسازی

زاویه اصطکاک	چسبندگی	سختی قائم (N/m)	سختی برشی (N/m)
۲۶/۶۷	.	$7/14 \times 10^9$	$7/14 \times 10^9$

در این تحقیق، بار دینامیکی وارده، به صورت عملکرد ماشین بر روی پی اعمال شده است. این بار به صورت یک موج سینوسی مطابق رابطه‌ی زیر می‌باشد که در آن فرکانس زاویه‌ای 10 rad/s فرض شده و زمان اعمال بار دینامیکی ۳ ثانیه می‌باشد.

$$\text{wave} = \sin(\omega * \text{dytime}) \quad (6)$$

۱-۲ صحت سنجی مدل در حالت بدون ترانشه و بارگذاری استاتیکی

برای صحت‌سنجی مدل حالت بدون ترانشه تحت بارگذاری استاتیکی به صورت تحلیلی بررسی می‌شود. توده‌ی خاکی با مشخصاتی مطابق جدول ۱ وجود دارد که یک پی بتنی به عرض یک متر و ارتفاع نیم متر در سطح این خاک قرار گرفته است. طبق روابط ترزاقی و با توجه به اینکه زاویه اصطکاک داخلی توده‌ی خاکی صفر می‌باشد، ضرایب ظرفیت باربری به صورت زیر بدست می‌آیند:

$$N_c = 5.14$$

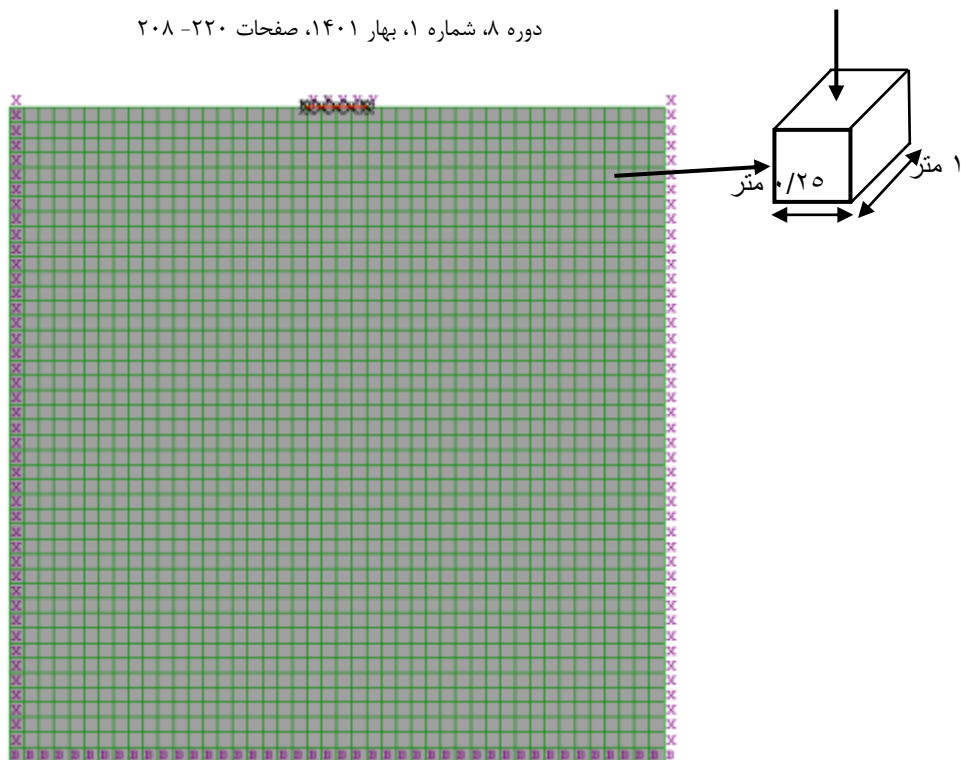
$$N_q = 1$$

$$N_\gamma = 0$$

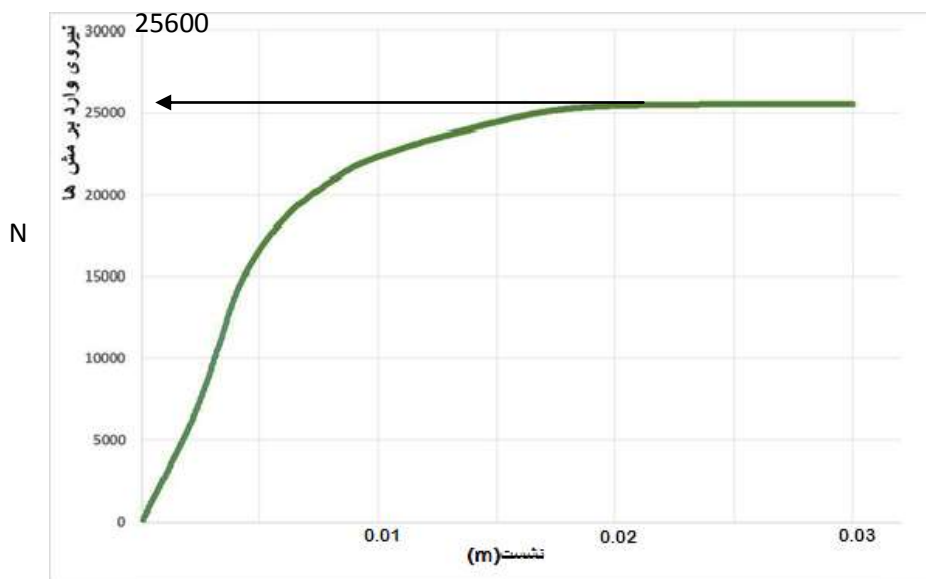
با استفاده از رابطه‌ی ترزاقی ظرفیت باربری پی سطحی قرار گرفته در سطح زمین به صورت زیر بدست می‌آید:

$$q_u = (20 \times 5.14) + (14.71 \times 0 \times 1) + (0.5 \times 14.71 \times 1 \times 0) \\ = 102.8 \text{ kPa}$$

در این حالت، ظرفیت باربری با تقسیم نیروی به دست آمده بر سطحی با طول واحد و عرض هر مش که ۲۵ سانتی‌متر است (شکل ۶)، که نیرو به آن سطح وارد می‌شود، بدست می‌آید.



شکل ۶: مدل ساخته شده در حالت بدون ترانشه‌ی دانه‌ای در نرم‌افزار FLAC



شکل ۷: نیروی بدست آمده در حالت استاتیکی از نرم‌افزار FLAC

نیروی بدست آمده طبق شکل ۷، 25.6 kN بوده و ظرفیت باربری به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$q_u = \frac{F}{A} = \frac{25.6 \times 10^3}{1 \times 0.25} = 102.4 \times 10^3 = 102.4 \text{ kPa}$$

$$\text{درصد خطا} = \frac{102.8 - 102.4}{102.8} = 0.0038 = 0.38\%$$

۲-۲ صحت سنجی مدل در حالت بدون ترانشه و بارگذاری دینامیکی

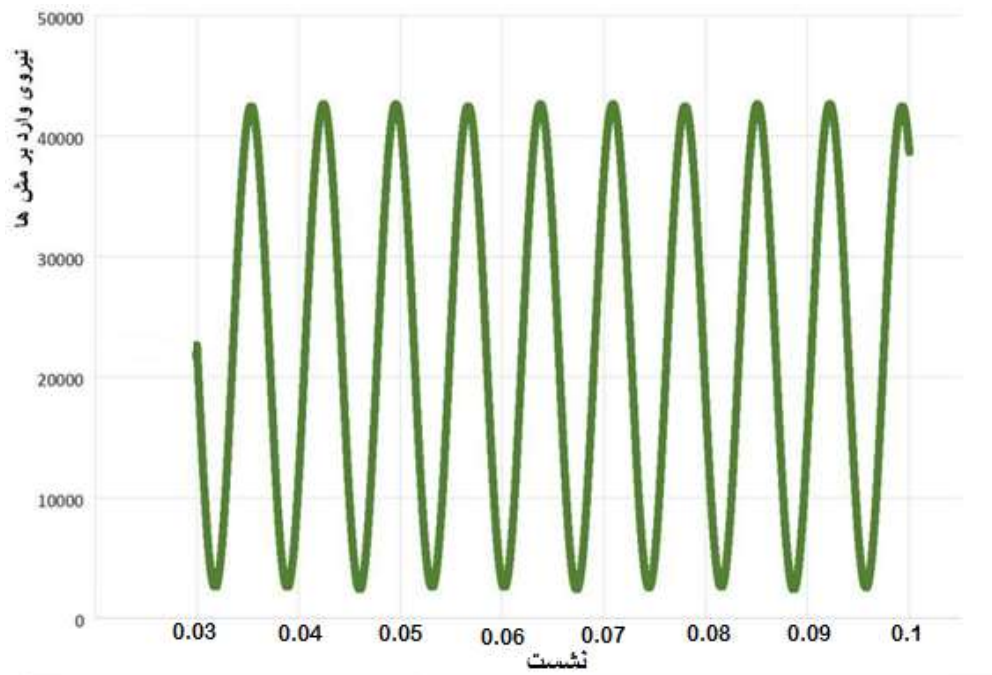
طبق پیشنهاد کارول^{۱۲} در سال ۱۹۶۳ مقدار $\frac{C_{u(dyn)}}{C_{u(stat)}}$ تقریباً ۱/۵ در نظر گرفته می‌شود. [10]

بنابراین ظرفیت باربری دینامیکی توده‌ی خاکی مورد نظر به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{C_{u(dyn)}}{C_{u(stat)}} = 1.5 \quad \rightarrow \quad C_{u(dyn)} = 1.5 \times 20 = 30 \text{ kPa}$$

$$q_u = 5.14 \times 30 \times [1 + 0.1946 \times 1][1 + 0.4 \times 0] = 184.2 \text{ kPa}$$

با انجام تحلیل دینامیکی مدل مورد نظر، نمودار نیروی وارد بر مش‌ها، طبق نمودار زیر بوده و ظرفیت باربری به صورت زیر محاسبه می‌شود:



شکل ۸: نیروی وارد بر مش‌ها در حالت دینامیکی از نرم‌افزار FLAC

$$q_u = \frac{F}{A} = \frac{42.5 \times 10^3}{1 \times 0.25} = 170 \times 10^3 = 170 \text{ kPa}$$

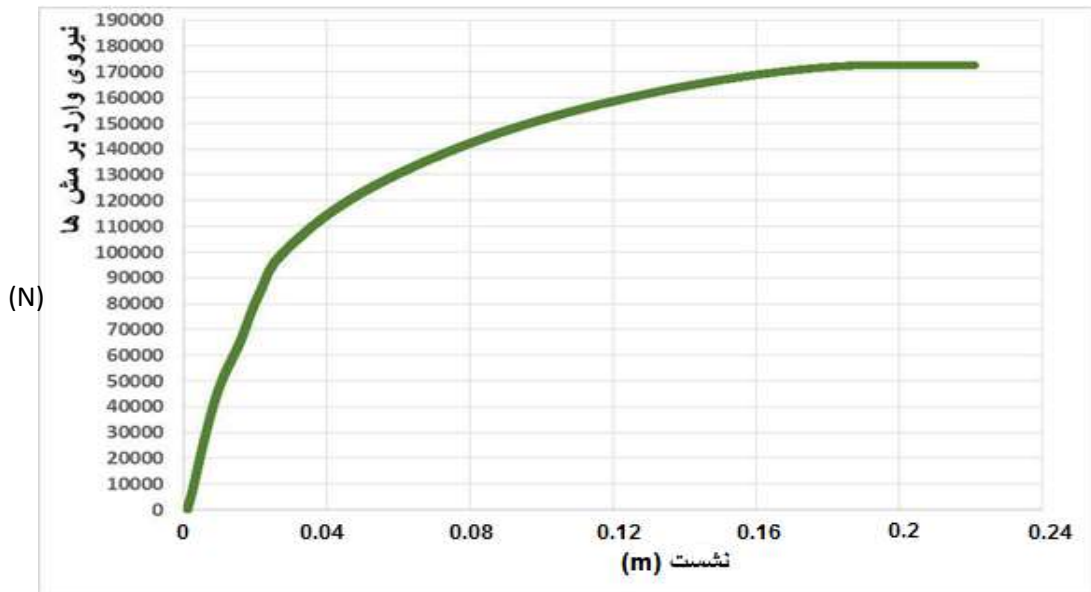
$$\text{درصد خطا} = \frac{184.2 - 170}{184.2} = 0.077 = 7.7\%$$

۳- نتایج و بحث

۱-۳ تاثیر وجود ترانشه‌ی دانه‌ای در ظرفیت باربری استاتیکی

در صورت اجرای ترانشه‌ی دانه‌ای به عرض ۴ متر، نمودار حاصل از تحلیل مطابق شکل ۹ می‌باشد.

¹² Carrol



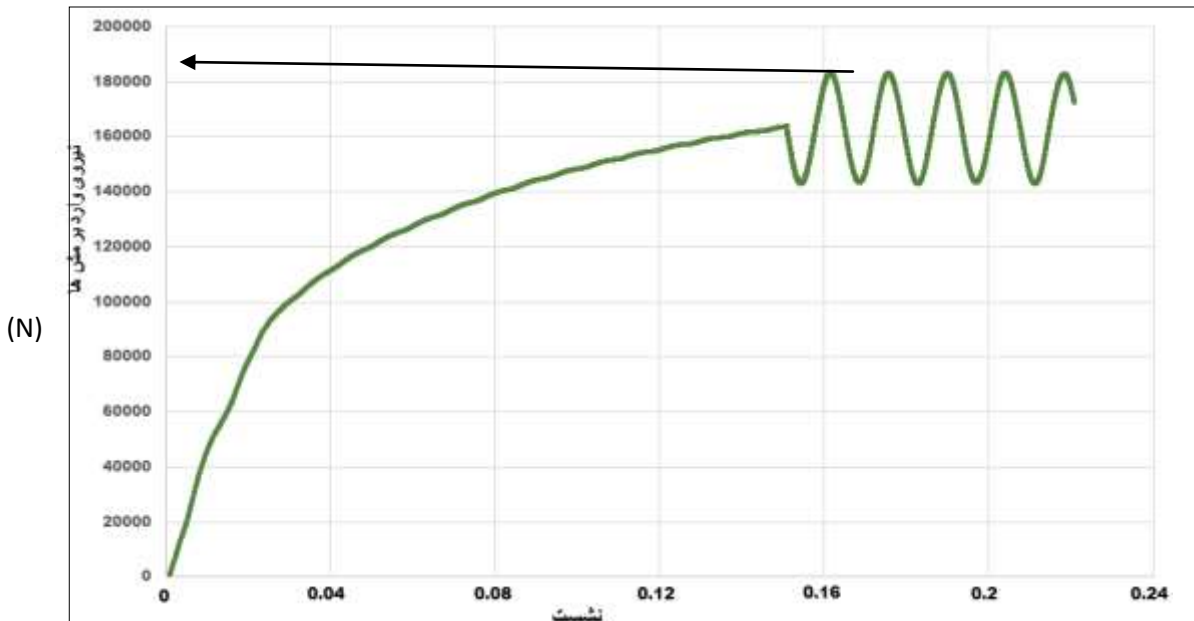
شکل ۹: نیروی وارده بر مش‌ها $B=4$ در حالت استاتیکی از نرم‌افزار *FLAC*

$$q_u = \frac{F}{A} = \frac{17.3 \times 10^4}{0.25 \times 1} = 692000 \text{ Pa} = 692 \text{ kPa}$$

در حالت استاتیکی: $\frac{q_{uT}}{q_u} = \frac{692}{102.4} = 6.76$

۲-۳ تاثیر وجود ترانشه‌ی دانه‌ای در ظرفیت باربری دینامیکی

مدل نهایی شده از تحلیل استاتیکی تحت بارگذاری هارمونیک (بار ماشین‌آلات) قرار می‌گیرد. این بار به صورت یک موج سینوسی مطابق رابطه‌ی ۶ وارد می‌شود. پس از تحلیل دینامیکی در حالت بدون ترانشه، ترانشه‌ی دانه‌ای با عرض ۴ متر و ارتفاع ۵ متر قرار داده و مدلسازی انجام می‌شود. نتیجه‌ی این مدلسازی به صورت شکل ۸ ارائه می‌گردد.



شکل ۱۰: نیروی وارده بر مش‌ها برای حالت با ترانشه در تحلیل دینامیکی از نرم‌افزار *FLAC*

$$q_u = \frac{F}{A} = \frac{18.5 \times 10^4}{0.25 \times 1} = 740000 \text{ Pa} = 740 \text{ kPa}$$

$$\text{در حالت دینامیکی: } \frac{q_{ut}}{q_u} = \frac{740}{170} = 4.35$$

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله با توجه به بررسی ابعاد مش‌بندی، ابعاد مناسب جهت تحلیل انتخاب شد. سپس تعدادی تحلیل و آنالیز برای بررسی اثر ارتفاع و عرض ترانشه‌ی دانه‌ای انجام شد. همچنین این تحلیل‌ها به دو صورت استاتیکی و دینامیکی انجام شد. تحلیل دینامیکی به صورت بارگذاری هارمونیک ماشین‌آلات بوده که به اندازه‌ی سه ثانیه با فرکانس زاویه‌ای 10rad/s به سیستم وارد شد.

هدف از این تحقیق بهبود ظرفیت باربری پی سطحی در زمین‌های سست تحت بارهای استاتیکی و دینامیکی است. برای این منظور به کمک نرم‌افزار فلک، سیستم خاک و پی و ترانشه‌ی دانه‌ای زیر پی مدلسازی شده و تاثیر وجود ترانشه بر روی ظرفیت باربری مورد بررسی قرار گرفته است.

ظرفیت باربری استاتیکی حالت بدون ترانشه‌ی دانه‌ای برای مقایسه با حالتی که ترانشه‌ی دانه‌ای زیر پی قرار دارد، به دست آمد.

طبق نتایج به دست آمده از روابط تحلیلی و نرم‌افزار فلک، ظرفیت باربری استاتیکی در حضور ترانشه‌ی دانه‌ای تا مقدار ماکزیمم خود افزایش یافته و سپس ثابت می‌ماند. همچنین ظرفیت باربری دینامیکی در حضور ترانشه‌ی دانه‌ای افزایش می‌یابد.

منابع

الف. فارسی:

۱. دم‌چی لو ح. (۱۳۹۱) کاربرد ترانشه دانه‌ای در به سازی خاک های سست، (پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی).
۲. عساکره، ع. (۱۳۹۰) "بررسی رفتار پی نواری واقع بر خاک مسلح و غیر مسلح حاوی حفره طویل تحت بارگذاری سیکلی"، (رساله دکتری دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی).

ب. انگلیسی:

- [1] Brown, R. W. (2004) . “ Non Grouting Techniques” , McGraw Hills Company Practical Foundation Engineering.
- [2] Abhishek, S.V., Rajyalakshmi, K. and Madhav, M.R., 2015. Bearing capacity of strip footing on reinforced foundation bed over soft ground with granular trench. Indian Geotechnical Journal, 45(3), pp.304-317.
- [3] Rajan, S. and Unnikrishnan, N. “Behaviour of Foundation on Granular Trench” Journal.

- [4] Madhav, M.R. and Vitkar, P.P., 1978. Strip footing on weak clay stabilized with a granular trench or pile. *Canadian Geotechnical Journal*, 15(4), pp.605-609.
- [5] Hamed, J. T., Das, B. M., and Echelberger, W. F. (1986). "Bearing Capacity of a Strip Foundation on Granular Trench in Soft Clay", *Civil Engineering for Practicing and Design Engineers*, Pergamon Press, Vol. 5, pp. 359–376.
- [6] Yousif, N.A., 1986. The bearing capacity of a strip foundation on a granular trench.
- [7] Das, B.M., 1988. Bearing Capacity of Shallow Foundation on a Granular Trench in Clay. In *Fifth Australia-New Zealand Conference on Geomechanics: Prediction Versus Performance; Preprints of Papers* (p. 278). Institution of Engineers, Australia.
- [8] Sarma, P.K., Somayazulu, J.R. and Sastri, K.R., 1993. *Granular Trenches and Stone Columns as Ground Improvement Techniques—Case Histories of Field Applications*.
- [9] Unnikrishnan, N., Rajan, S. and Johnson, A.S., 2011. Bearing capacity of strip footings on encapsulated granular Trenches. *Diamond*, 2, p.2mm.
- [10] Das, B.M. and Luo, Z., 2016. "Principles of soil dynamics". Cengage Learning.
- [11] Prakash, S., 1981. *Soil dynamics*. McGraw-Hill Companies.
- [12] FLAC2D, U.S.M., Itasca Consulting Group.
- [13] Tafreshi, S.M. and Dawson, A.R., 2010. Comparison of bearing capacity of a strip footing on sand with geocell and with planar forms of geotextile reinforcement. *Geotextiles and Geomembranes*, 28(1), pp.72-84.
- [14] Terzaghi, K., Peck, R.B. and Mesri, G., 1996. *Soil mechanics in engineering practice*. John Wiley & Sons.
- [15] Gazetas, G., 1983. Analysis of machine foundation vibrations: state of the art. *International Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2(1), pp.2-42.
- [16] Gazetas, G., 1991. Formulas and charts for impedances of surface and embedded foundations. *Journal of geotechnical engineering*, 117(9), pp.1363-1381.
- [17] Das, B.M. and Shin, E.C., 1994. Strip foundation on geogrid-reinforced clay: behavior under cyclic loading. *Geotextiles and Geomembranes*, 13(10), pp.657-667.
- [18] Adams, M.T. and Collin, J.G., 1997. Large model spread footing load tests on geosynthetic reinforced soil foundations. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 123(1), pp.66-72.