

Investigating the behavior of individual foundations located on a clay embankment reinforced with geogrid and sand

Hassan Sharafi¹ , Soha Arkavazi² 

1. Corresponding Author, Civil Engineering Dept., Faculty of Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran.

E-mail: h_sharafi@razi.ac.ir

2. Civil Engineering Dept., Faculty of Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran.

E-mail: suhamahammedfathuallah@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received

2024-09-08

Received in revised form

2024-11-05

Accepted

2024-12-13

Available online

2024-12-26

Keywords:

Load-bearing capacity

Finite element method

Geogrid

Slope

PLAXIS

ABSTRACT

The bearing capacity of surface foundations is one of the most important factors affecting the design of structures located on them. To improve the load-bearing capacity of surface foundations, the reinforcement method can be used by using geogrids in the soil under the foundation. In this research, we examine the advantages of using a replacement sand layer in clay slopes and also placing geogrid layers inside the replaced sand soil. In this article, using the PLAXIS finite element method, we have investigated the effect of various geometric parameters, including the thickness of the replaced sand layer, the number of geogrids, the distance of the highest geogrid to the floor under the foundation, the distance between geogrids and the length of geogrids. By determining the optimal value of each of the parameters, it is possible to make the best use of the geogrid as reinforcement and increase the carrying capacity as much as possible. Finally, the numerical results will be compared with the laboratory results to verify the accuracy.

Cite this article: Sharafi, Hassan., & Arkavazi, Soha. (2024). Investigating the behavior of individual foundations located on a clay embankment reinforced with geogrid and sand. *Advanced Modeling in Civil Engineering*, 1(2),77-87.

DOI: 10.22126/amcen.2024.11255.1023



© The Author(s).

DOI: 10.22126/amcen.2024.11255.1023

Publisher: Razi University

Introduction

For structures located near a slope and with soft clay soil underneath the foundation (which is most important for bridge piers), there are two main issues: one is the reduction of bearing capacity due to the presence of soft clay, and the other is the reduction of stability due to the slope. If we want to make the slope gentler or replace the soft clay with high-resistance soil, it requires a lot of time and the related costs increase significantly. In this study, the effect of geogrids on the bearing capacity of foundations is examined using the PLAXIS finite element software. The research focuses on foundations placed on soft clay and their reinforcement with geogrid layers. The primary issue addressed is the reduction of bearing capacity due to the weak nature of clay and the instability posed by slopes. To mitigate these challenges, geogrids are used for soil reinforcement, enhancing foundation stability and performance. Previous studies have focused on geogrid reinforcement in granular soils, but there is limited research on its application in cohesive soils like clay, particularly in layered configurations. This study fills that gap by analyzing the impact of different geogrid parameters, such as the number, length, and placement of geogrid layers, on bearing capacity.

Method

The numerical modeling of a strip foundation on a clay slope reinforced with geogrid is carried out using the PLAXIS software. The model is developed for different configurations of geogrid layers, varying the parameters such as geogrid length, placement depth, and spacing between layers. A layer of sand is used to replace a portion of the soft clay to increase the overall strength. The bearing capacity of the foundation is evaluated under different loading conditions using non-dimensional parameters, such as the relative distance between geogrid layers and the depth of the sand layer. The study employs a finite element mesh with six-node elements, and the mechanical properties of the soil and geogrid are defined through elastic and hardening models.

Results

The results show that placing geogrid layers within the granular soil beneath the foundation increases the ultimate bearing capacity. The reinforcement mechanisms, including the developed confining pressure, the interlocking effect of geogrids, and the adhesion between the geogrid and sand, contribute to this increase. It is observed that as the number of geogrid layers increases, the bearing capacity also increases. However, after a certain point (N_{cr}), adding more geogrids does not significantly improve the capacity. The placement depth of the first geogrid layer also significantly affects the bearing capacity. The optimal placement distance $(u/B)_{cr}$ is identified beyond which increasing the depth leads to a decrease in capacity. Similarly, increasing the spacing between geogrid layers and their length also improves the bearing capacity until reaching an optimal point.

Conclusions

This study demonstrates the effectiveness of using geogrid reinforcement to enhance the bearing capacity of strip foundations on clay slopes. The key findings are:

Replacing a layer of clay with a sand layer increases the bearing capacity, with thicker sand layers offering higher strength. Increasing the number of geogrid layers improves the bearing capacity up to an optimal number (N_{cr}). The placement depth of the first geogrid layer and the spacing between geogrids are critical in determining the ultimate bearing capacity. Geogrid length plays a significant role, with longer geogrids providing better resistance against shear stresses.

Author Contributions

All authors participated in writing and revising the article.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.



بررسی رفتار شالوده‌های منفرد واقع بر خاکریز رسی مسلح به ژئوگرید و ماسه

حسن شرفی^۱، سهی ارکوازی^۲

۱. نویسنده مسئول، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: h_sharafi@razi.ac.ir

۲. گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: suhamammedfathuallah@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۱۸</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۱۵</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۳</p> <p>تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۰/۰۶</p> <p>کلیدواژه‌ها: ظرفیت باربری، روش المان محدود، ژئوگرید، شیروانی، PLAXIS</p>	<p>ظرفیت باربری شالوده‌های سطحی یکی از مهم‌ترین موارد تاثیرگذار در طراحی سازه‌های واقع بر آن‌ها می‌باشد. برای بهبود ظرفیت باربری شالوده‌های سطحی، می‌توان از روش مسلح سازی با بکار بردن ژئوگریدها درون خاک زیر شالوده استفاده نمود. در این تحقیق مزایای استفاده از یک لایه ماسه‌ای جایگزینی در شیروانی‌های رسی و همچنین قرار دادن لایه‌های ژئوگرید در داخل خاک ماسه‌ای جایگزین شده را بررسی می‌کنیم. در این مقاله با استفاده از روش المان محدود PLAXIS اثر پارامترهای مختلف هندسی از جمله ضخامت لایه ماسه‌ای جایگزین شده، تعداد ژئوگریدها، فاصله بالاترین ژئوگرید تا کف زیر شالوده، فاصله بین ژئوگریدها و طول ژئوگریدها، را بررسی نموده‌ایم. با تعیین مقدار بهینه هر کدام از پارامترها می‌توان بهترین استفاده را از ژئوگرید به عنوان مسلح کننده کرد و ظرفیت باربری را تا جایی که امکان دارد افزایش داد. در نهایت جهت صحت‌سنجی نتایج عددی با نتایج آزمایشگاهی مقایسه خواهد شد.</p>

استناد: شرفی، حسن؛ ارکوازی، سهی. (۱۴۰۳). بررسی رفتار شالوده‌های منفرد واقع بر خاکریز رسی مسلح به ژئوگرید و ماسه. *مجله مدل‌سازی پیشرفته*

در مهندسی عمران، ۱(۲)، ۷۷-۸۷. DOI: 10.22126/amcen.2024.11255.1023



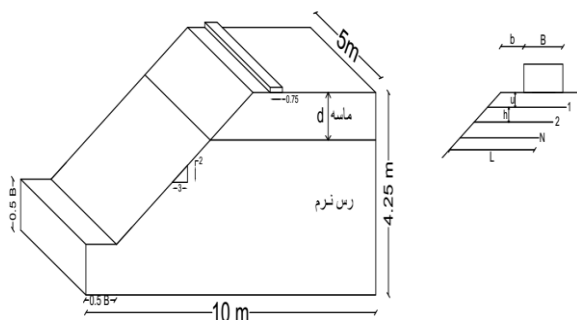
© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی.

۱. مقدمه

بین ژئوگریدها از هم (h/B) ، فاصله‌ی نسبی شالوده از لبه‌ی شیب (b/B) ، ضخامت نسبی لایه‌ی ماسه‌ی جایگزین شده (d/B) ، تعداد ژئوگریدها (N) و برای ظرفیت‌باربری از نسبت ظرفیت‌باربری حالت مسلح به ظرفیت‌باربری حالت غیر مسلح استفاده شده است.

$$BCR = \frac{q_R}{q_{unR}} \quad (1)$$



شکل ۱. مدل هندسی شالوده‌ی نواری واقع بر شیروانی رسی

۳. مدل‌سازی عددی

از جمله روش‌های حل مسائل مهندسی روش آنالیز عددی می‌باشد که امکان پیش‌بینی رفتار و مطالعه تاثیر پارامترهای مختلف را در زمان کمتر و شرایط سهل‌تر نسبت به روش‌های آزمایشگاهی فراهم می‌سازد. در این مقاله از نرم افزار المان محدود دو بعدی PLAXIS جهت مدل‌سازی عددی استفاده شده است.

شکل کلی مش‌بندی مدل در شکل ۲ نمایش داده شده است، که برای خاک غیر مسلح شامل ۱۸۰ المان و برای خاک مسلح به سه ژئوگرید ۳۰۰ المان است. جهت مدل‌سازی از مدل کرنش صفحه‌ای و المان شش‌گه‌ای استفاده و شتاب ثقل را برابر $g=9.81 \text{ m/s}^2$ قرار داده‌ایم. از مدل رفتاری خاک سخت شونده برای خاک دانه‌ای و ریزدانه (جدول ۱) و مدل الاستیک برای ژئوگرید با سختی برابر $EA=2000 \text{ KN/m}$ و برای مدل کردن شالوده از المان تیر با سختی خمشی $EI=8500 \text{ (KN m}^2/\text{m)}$ و سختی نرمال $EA=5e6 \text{ (KN/m)}$ استفاده شده است.

برای سازه‌های در مجاورت شیب که خاک زیر شالوده از جنس رس نرم است (مهمترین این سازه‌ها پایه پل‌ها می‌باشد)، دو مسئله اساسی وجود دارد یکی کاهش ظرفیت‌باربری به دلیل رس سست و همچنین کاهش پایداری به دلیل وجود شیب اگر بخواهیم شیب را ملایم‌تر کنیم یا خاک رس را با خاک با مقاومت بالا جایگزین کنیم، هم زمان زیادی نیاز هست و هم هزینه‌های مربوطه بطور چشمگیری افزایش می‌یابد. در نتیجه تحقیقات متعددی به منظور افزایش کارایی پی‌ها صورت گرفته است. [۱ تا ۸] یکی از روش‌های تثبیت مکانیکی و مقاوم سازی خاک‌ها استفاده از ژئوگرید می‌باشد که با توجه به زوال ناپذیری، سهولت اجرا و صرفه اقتصادی نسبت به سایر محصولات و روش‌های مشابه، بیشترین کاربرد را در مسلح‌سازی خاک‌ها دارد [۹،۱۳،۱۸،۱۱،۱۴]. در دهه‌های اخیر محققان زیادی ظرفیت‌باربری شالوده‌های سطحی واقع بر خاک مسلح به ژئوگرید را بررسی کرده‌اند، اما در مورد خاک‌های رسی که یک لایه از آن با یک لایه ماسه مسلح به ژئوگرید جایگزین شده است، تحقیقات بسیار محدودی صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به تحقیقات (Khing & Das (1994) و (EI Sawwaf (2007) اشاره نمود [۱۸ تا ۲۳].

در این تحقیق با روش عددی المان محدود و با استفاده از نرم افزار PLAXIS اثر ژئوگرید در افزایش ظرفیت‌باربری پی نواری واقع بر شیروانی رسی بررسی شده است. مدل ارائه شده در این تحقیق با نتایج بدست آمده از مطالعات آزمایشگاهی مقایسه و صحت آن بررسی و بر اساس آن نیز کالیبره گردیده است.

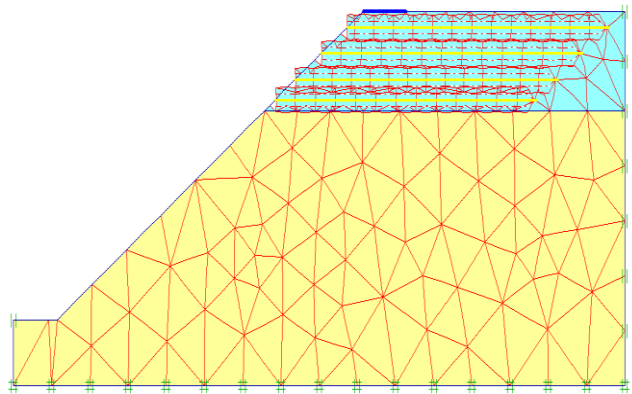
۲. بیان مسئله

یک شالوده نواری به عرض B بر روی شیروانی رسی را به‌وسیله نرم‌افزار PLAXIS مدل نموده. با جایگزینی قسمتی از خاک رس با خاک ماسه‌ای مسلح به ژئوگرید می‌توان ظرفیت‌باربری را تا حد زیادی افزایش داد (شکل ۱). با تغییر پارامترهای مختلف هندسی اثر آن‌ها را بر افزایش ظرفیت‌باربری بررسی نموده. برای این منظور از پارامترهای بی‌بعد برای سنجش نتایج استفاده شده است. (رابطه ۱) این پارامترها عبارتند از، طول نسبی ژئوگرید (L/B) ، فاصله‌ی نسبی اولین ژئوگرید از کف شالوده (u/B) ، فاصله‌ی نسبی

جدول ۱. مشخصات مکانیکی مصالح مدل

پارامتر	سختی سکانت E_{50}^{ref} (KN/m ²)	چسبندگی c (KN/m ²)	اصطکاک داخلی ϕ (°)	زاویه اتساع ψ (°)	m	وزن مخصوص γ (KN/m ³)	ضریب پواسون ν	فاکتور سطح مشترک R_{int}
ماسه	40e6	0	42	12	0.5	18.9	0.3	0.8
رس	10e5	25	5	0	0.8	15.84	0.33	0.5

افزایش ظرفیت باربری نهایی پی واقع بر خاک مسلح مربوط می‌شود به مکانیزم تسلیح که ناشی از فشار مقاوم ایجاد شده، قفل و بست ایجاد شده در جهت عرضی ژئوگریدها، چسبندگی بین ژئوگریدها و ماسه در جهت طولی و عرضی می‌باشد. فشار مقاوم بسیج شده (ایجاد شده) خاک محدود شده در حفرات ژئوگرید و همچنین قفل و بست بین دانه‌ها، تغییر شکل‌های جانبی و گسترش عرضی دانه‌های ماسه را در شیب خاکی محدود می‌کند. لایه‌های ژئوگرید از حرکت جانبی دانه‌های خاک به سمت شیب جلوگیری می‌کنند و آن‌ها را به سمت پایین می‌رانند که باعث می‌شود بار وارد بر شالوده در عرض و عمق بیشتری گسترده شود. در نتیجه سطح شکست گسترده‌تر و ظرفیت باربری افزایش می‌یابد (شکل‌های ۴ و ۵).



شکل ۲. هندسه مدل شیروانی دولایه و مش‌بندی در PLAXIS

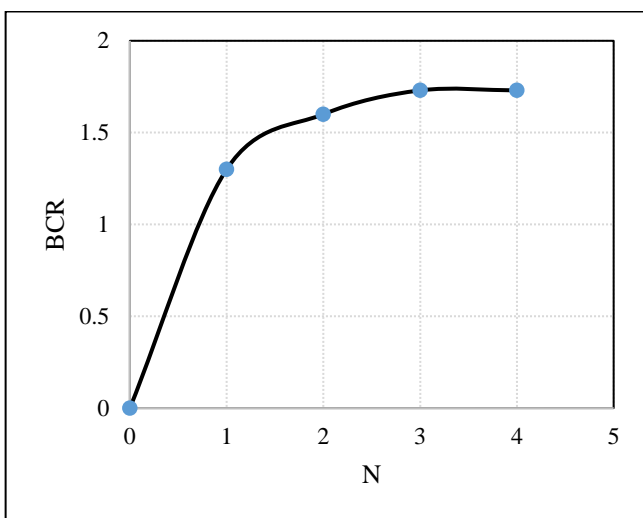
۴. بررسی نتایج

به منظور بررسی اثر هر یک از پارامترهای هندسی، پنج سری مدل را با استفاده از نرم‌افزار المان محدود PLAXIS آنالیز نموده که هر سری شامل حالت‌های مختلف برای آن پارامتر مورد نظر می‌باشد. در تمامی حالات از پارامترهای بی‌بعد برای سنجش نتایج استفاده شده است.

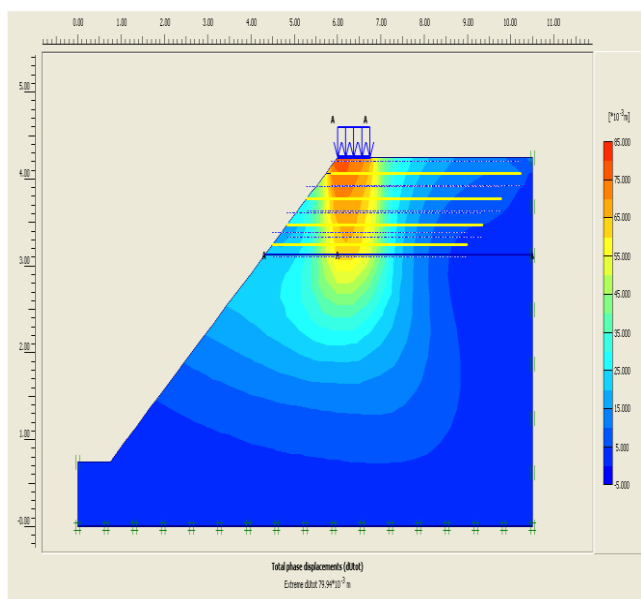
۴-۱. بررسی نتایج مربوط به ژئوگریدهای مختلف

برای حالتی که ضخامت لایه‌ی ماسه ثابت و برابر 1.5B و شالوده بر لبه‌ی شیب قرار دارد، با قرار دادن لایه‌های ژئوگرید به طول ثابت 6B اثر تعداد ژئوگریدهای مختلف بر ظرفیت‌باربری را بررسی نموده است. باید ذکر کرد که فاصله اولین لایه ژئوگرید از کف شالوده را ثابت و برابر 0.25B و همچنین فاصله‌ی بین ژئوگریدها را برابر 0.4B در نظر گرفته شده است.

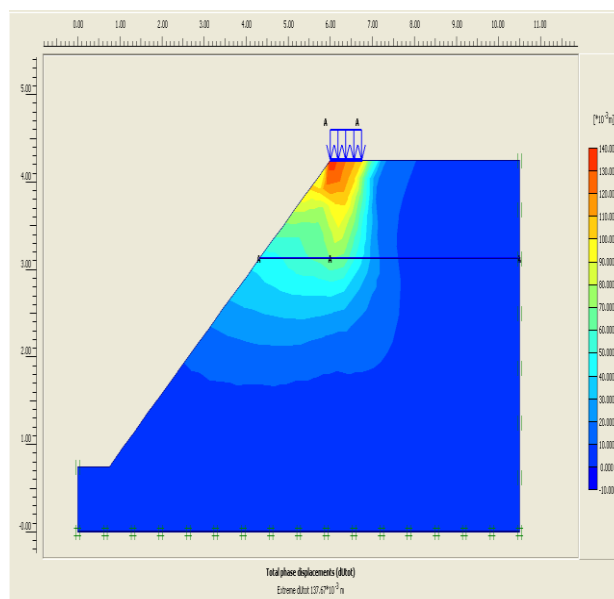
با توجه به نتایج نشان داده شده در شکل ۳ می‌توان دید هرچه تعداد ژئوگریدها بیشتر باشد مقدار ظرفیت‌باربری نیز بیشتر است.



شکل ۳. منحنی نتایج المان محدود نسبت ظرفیت باربری نهایی در مقابل افزایش تعداد ژئوگریدها

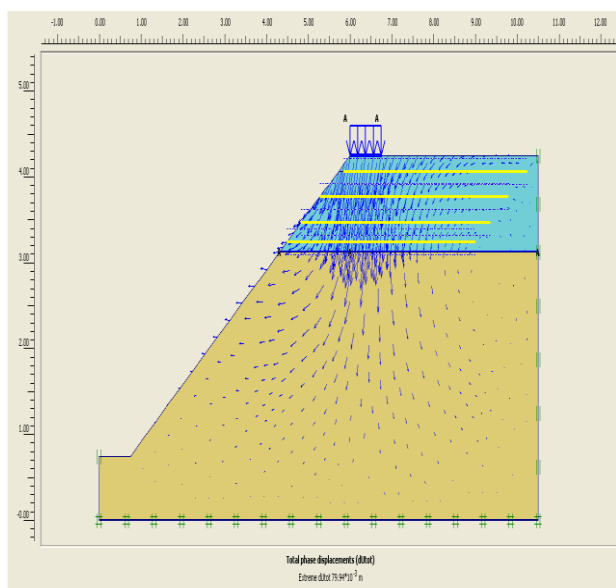


(ب)

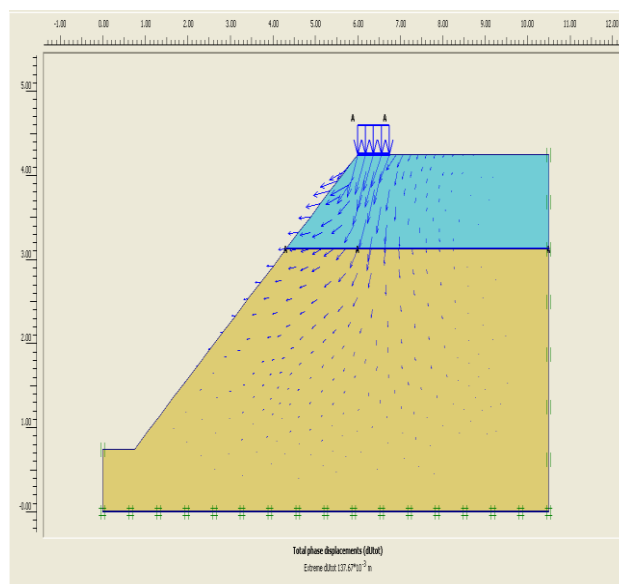


(الف)

شکل ۴. منحنی‌های جابجایی حاصل از آنالیز امان محدود برای حالت الف) خاک غیرمسلح و ب) خاک مسلح به چهار زئوگرید

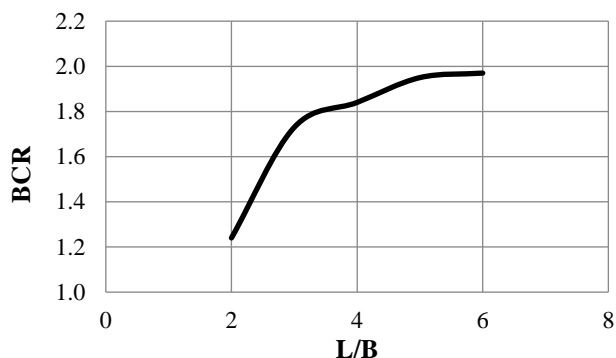


(ب)



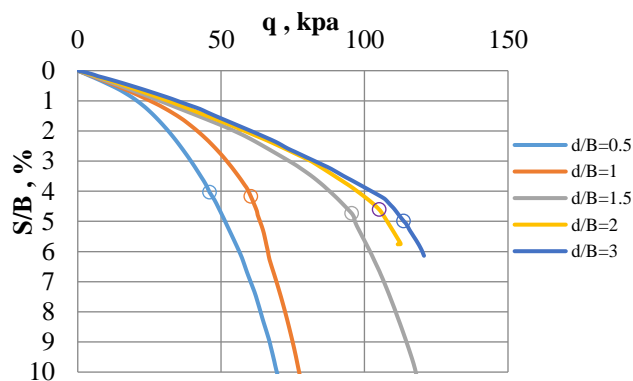
(الف)

شکل ۵. بردارهای جابجایی حاصل از آنالیز امان محدود در دو حالت الف) غیرمسلح ب) مسلح به چهار زئوگرید

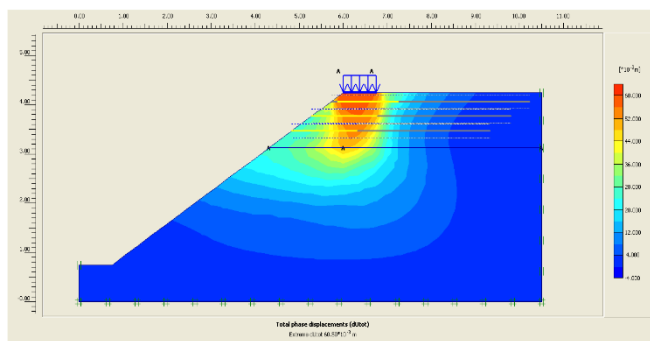


۴-۲. بررسی تاثیر ضخامت لایه ماسه‌ای جایگزین شده

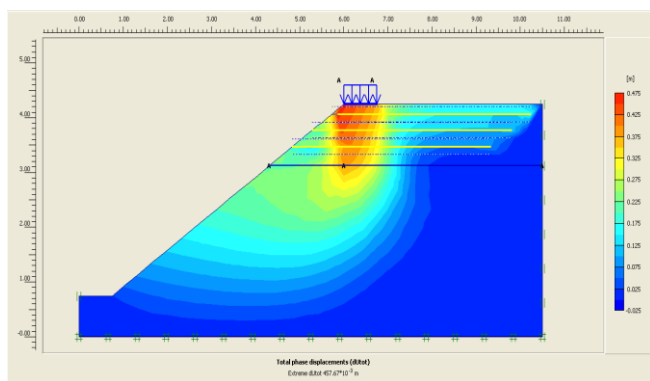
با توجه به این که ظرفیت باربری خاک رس بسیار کم است، می‌توان یک لایه از خاک رس را با خاک ماسه‌ای جایگزین نمود. برای مشاهده تاثیر این لایه ماسه‌ای جایگزین شده در شکل ۶ منحنی‌های ظرفیت باربری در مقابل نشست پی نشان داده شده است. با توجه به نتایج هرچه ضخامت لایه ماسه‌ای جایگزین شده افزایش یابد، مقاومت خاک و ظرفیت باربری نیز افزایش می‌یابد.



شکل ۷. منحنی نتایج المان محدود نسبت ظرفیت باربری در مقابل طول‌های مختلف ژئوگرید



(الف)



(ب)

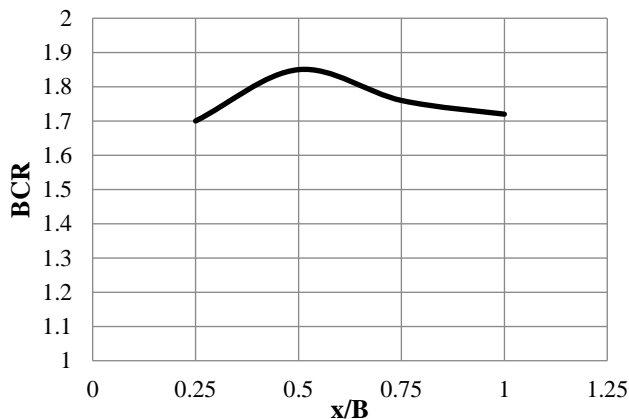
شکل ۸. منحنی‌های نتایج المان محدود جابجایی برای دو طول مختلف ژئوگرید (الف) $L=2B$ و (ب) $L=6B$ شکل ۶. نتایج المان محدود ظرفیت باربری در مقابل نشست به عرض d/B پی برای مقادیر مختلف

۴-۳. بررسی نتایج مربوط به طول‌های مختلف ژئوگرید

برای بررسی اثر طول ژئوگریدها از سه لایه ژئوگرید به طول‌های مختلف، که فاصله‌ی اولین لایه‌ی ژئوگرید از کف شالوده ثابت و برابر $0.25B$ و همچنین فاصله‌ی لایه‌های مسلح‌کننده از هم $0.4B$ استفاده شده است. ضخامت لایه‌ی ماسه جایگزین شده برابر $1.5B$ و شالوده دقیقاً بر روی رأس شیروانی قرار دارد.

نتایج به دست آمده در شکل ۸ نمایش داده شده است. نتایج به دست آمده حاکی از این است که هر چه طول ژئوگرید افزایش یابد سطح گسیختگی عمیق‌تر و عریض‌تر خواهد شد و ظرفیت باربری نیز بالطبع افزایش می‌یابد (شکل ۷). ولی افزایش طول ژئوگرید بیشتر از $5B$ تأثیر چندانی بر افزایش ظرفیت باربری ندارد.

می‌گیرد، بیشترین ظرفیت باربری به‌دست می‌آید. بعد از فاصله بهینه، با افزایش فاصله ظرفیت باربری کاهش می‌یابد.



شکل ۱۰ منحنی نتایج امان محدود نسبت ظرفیت باربری نهایی در مقابل فاصله بین لایه‌های ژئوگرید از هم

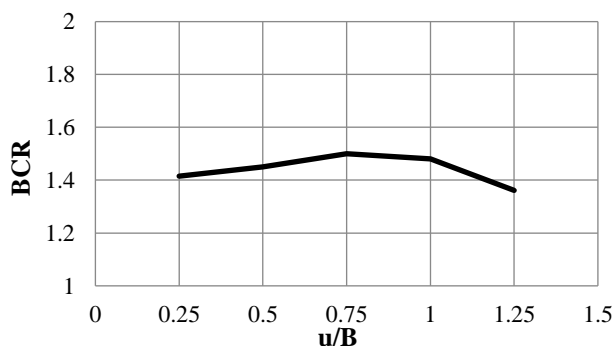
۵. نتیجه‌گیری

در این تحقیق به کمک نرم‌افزار PLAXIS اثر ژئوگریدها را بر ظرفیت باربری بررسی نموده‌ایم. با قرار دادن ژئوگرید در داخل خاک دانه‌ای زیر شالوده ظرفیت باربری نهایی افزایش می‌یابد که به دلیل فشار مقاوم ایجاد شده، قفل و بست ایجاد شده در جهت عرضی ژئوگریدها، چسبندگی بین ژئوگرید و ماسه در جهت طولی و عرضی می‌باشد. فشار مقاوم بسیج شده خاک واقع در حفرات ژئوگرید و همچنین قفل و بست بین دانه‌ها، تغییر شکل‌های جانبی و گسترش عرضی دانه‌های ماسه را در شیب خاکی محدود می‌کند. تنش کششی ایجاد شده در ژئوگرید باعث می‌شود که در مقابل تنش‌های برشی افقی در ناحیه زیر بارگذاری مقاومت کند و آن‌ها را به لایه-های پایدار مجاور منتقل کند که منجر به گسترده‌تر شدن ناحیه‌ی گسیختگی می‌گردد. هر یک از پارامترهای فیزیکی از جمله عمق لایه‌ی ماسه جایگزین شده، تعداد ژئوگریدها، بعد ژئوگریدها، فاصله آنها از هم و از کف شالوده بر روی ظرفیت باربری نهایی تأثیر دارد. که در این تحقیق به بررسی این تأثیرات پرداخته شده است.

۴-۴. بررسی نتایج مربوط به فاصله‌های مختلف ژئوگرید از کف شالوده

برای بررسی این حالت ضخامت لایه‌ی ماسه جایگزین شده را برابر 1.5B و فاصله‌ی شالوده از رأس شیروانی را برابر صفر فرض نموده و یک ژئوگرید را در فاصله‌های مختلف از کف شالوده قرار داده و نتایج این فواصل را بر ظرفیت باربری نهایی بررسی می‌نماییم.

بر اساس نتایج به‌دست آمده در شکل ۹ هر چه این فاصله بیشتر شود ظرفیت باربری نیز افزایش می‌یابد تا جایی که به این فاصله به مقدار بهینه برسد $(u/B)_{cr}$ یعنی وقتی ژئوگرید در این فاصله قرار می‌گیرد، بیشترین ظرفیت باربری به‌دست می‌آید. بعد از فاصله بهینه، با افزایش فاصله ظرفیت باربری کاهش می‌یابد.



شکل ۹. منحنی نتایج امان محدود نسبت ظرفیت باربری در مقابل فاصله اولیه لایه ژئوگرید از کف پی

۴-۵. بررسی نتایج مربوط به فاصله‌ی بین ژئوگریدها

برای بررسی این حالت ضخامت لایه‌ی ماسه جایگزین شده را برابر 1.5B و فاصله‌ی شالوده از رأس شیروانی را برابر صفر فرض نموده و یک ژئوگرید را در فاصله‌ی 0.25B و یک لایه ژئوگرید دیگر را در فاصله‌های مختلف از لایه‌ی اول قرار داده و نتایج این فواصل را بر ظرفیت باربری نهایی بررسی می‌نماییم (شکل ۱۰).

بر اساس نتایج به‌دست آمده هر چه این فاصله بیشتر شود ظرفیت باربری نیز افزایش می‌یابد تا جایی که به این فاصله به مقدار بهینه برسد $(x/B)_{cr}$ یعنی وقتی ژئوگرید در این فاصله قرار

جلوگیری می‌کنند و آن‌ها را به سمت پایین می‌رانند که باعث می‌شود بار وارد بر شالوده در عرض و عمق بیشتری گسترده شود. در نتیجه سطح شکست گسترده‌تر و ظرفیت باربری افزایش می‌یابد.

References

- [1] Das. B.M., Shin. E.C., 2000. Experimental study of bearing capacity of a strip foundation geogrid-reinforced sand. *Geosynthetics International* 7 (1), 59-71.
- [2] EI Sawwaf, M., 2007. Behaviour of strip footing on geogrid reinforced sand over a soft clay slope. *Geotextiles and Geomembranes* 25, 50-60.
- [3] Patra, C.R., Das, B.M., Atalar, C., 2005. Bearing capacity of embedded strip foundation on geogrid-reinforced sand. *Geotextiles and Geomembranes* 23, 454-462.
- [4] J.H. Boushehrian, N. Hataf, Experimental and Numerical Investigation of the Bearing Capacity of Model Circular and Ring Footings on Reinforced Sand, *Geotextiles and Geomembranes*, 21(4) (2003) 241-256.
- [5] V.A. Guido, J.D. Knueppel, M.A. Sweeney, Plate Loading Tests on Geogrid-Reinforced Earth Slab, in: *Geosynthetics' 87 Conf.*, New Orleans, 1987, pp. 216-225.
- [6] S.K. Dash, S. Sireesh, T.G. Sitharam, Model Studies on Circular Footing Supported on Geocell Reinforced Sand underlain by Soft Clay, *Geotextiles and Geomembranes*, 21(4) (2003) 197-219
- [7] C. Yoo, Laboratory investigation of bearing capacity behavior of strip footing on geogrid reinforced sand slope. *Geotextiles and Geomembranes*, 19 (2001) 279-298.
- [8] Shalchi, V. Rostami, Experimental Investigation of Bearing Capacity of Strip Footing Rest on Layered Soils Next to the Geogird Reinforced Retaining Walls, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 50(1) (2018) 63-66, (In Persian)
- [9] Leshchinsky, Dov. "Discussion of "Strain Compatibility Analysis for Geosynthetics Reinforced Soil Walls" by I. Juran, HM Ider and K. Farrag (February, 1990, Vol. 116, No. 2)." *Journal of geotechnical engineering* 118.5 (1992): 816-819.

۱) با جایگزین نمودن یک لایه از خاک رس با یک لایه ماسه، ظرفیت باربری نهایی افزایش می‌یابد. هرچه ضخامت ماسه بیشتر باشد ظرفیت باربری نهایی نیز افزایش می‌یابد.

۲) با استفاده از تعداد ژئوگریدهای مختلف به این نتیجه رسیدیم، که هرچه تعداد ژئوگریدها بیشتر باشد قفل و بست بین دانه‌ها و چسبندگی میان دانه‌ها و ژئوگرید بیشتر و سطح توزیع بار گسترده‌تر می‌گردد، در نتیجه ظرفیت باربری نهایی افزایش می‌یابد. با افزایش تعداد ژئوگرید تا Ncr ظرفیت باربری نیز افزایش می‌یابد اما بعد از آن اضافه کردن ژئوگرید تأثیر چندانی بر افزایش ظرفیت باربری ندارد.

۳) فاصله‌ی اولین لایه‌ی ژئوگرید از کف شالوده نیز تأثیر زیادی بر ظرفیت باربری دارد. وقتی فاصله ژئوگرید از کف شالوده خیلی کم باشد تأثیر کمی هم بر افزایش ظرفیت باربری دارد و با افزایش این فاصله ظرفیت باربری نیز افزایش می‌یابد، تا جایی که این فاصله به حد بهینه برسد $(u/B)_{cr}$ از آن به بعد با افزایش u/B تا $(u/B)_{max}$ ظرفیت باربری کاهش می‌یابد. از $(u/B)_{max}$ به بعد وجود ژئوگرید تأثیری بر نسبت ظرفیت باربری ندارد چون سطح شکست بالاتر از اولین لایه ژئوگرید است. بر اساس مطالعات انجام شده مقدار بهینه این فاصله برای شیروانی‌ها بین اعداد 0.5B تا 1B گزارش شده است. و در این تحقیق بر اساس آنالیز المان محدود حدود B بدست آمده است.

۴) فاصله‌ی بین لایه‌های ژئوگرید نیز یک حد بهینه دارد یعنی با افزایش این فاصله تا $(h/B)_{cr}$ ظرفیت باربری نیز افزایش می‌یابد و از آن به بعد هرچه این فاصله افزایش یابد ظرفیت باربری کاهش می‌یابد.

۵) طول ژئوگرید نیز اثر زیادی بر افزایش ظرفیت باربری دارد. وقتی طول لایه‌های ژئوگرید کم است قفل و بست ژئوگرید و دانه‌های خاک کمتر از آن است که به اندازه‌ی کافی در مقابل تنش برشی خاک مقاومت کند. در نتیجه ژئوگریدها به همراه توده خاک به سمت شیب حرکت می‌کنند. ولی اگر طول ژئوگریدها به اندازه‌ی کافی بلند باشد، از حرکت جانبی دانه‌های خاک به سمت شیب

- Physical Modeling, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran, 2010, (In Persian)
- [21] Bhardwaj, R. K. Sharma Bearing Capacity Evaluation of Shallow Foundations on Stabilized Layered Soil using ABAQUS. *Studia Geotechnica et Mechanica*, 2023; 45(1): 55-71.
- [22] Ch. Xiao, J. Han, Z. Zhang. Experimental study on performance of geosynthetic-reinforced soil model walls on rigid foundations subjected to static footing loading. *Geotextiles and Geomembranes*, Volume 44, Issue 1, February 2016, Pages 81-94.
- [23] J. Deng, J. Zhang, Z. Qi, Y. Zheng, J. Zheng. Experimental study on the load bearing behavior of geosynthetic reinforced soil bridge abutments on yielding foundation. *Geotextiles and Geomembranes*, Volume 51, Issue 5, October 2023, Pages 165-178.
- [10] Huang, Ching-Chuan, and Fumio Tatsuoka. "Bearing capacity of reinforced horizontal sandy ground." *Geotextiles and Geomembranes* 9.1 (1990): 51-82.
- [11] R. Sahu, C. R. Patra, B. P. Sathy, Experimental and numerical studies of eccentrically loaded strip footing by using plaxis, *Indian Geotechnical Conference*, (2017) 14-16.
- [12] J.H. Boushehrian, N. Hataf, Experimental and Numerical Investigation of the Bearing Capacity of Model Circular and Ring Footings on Reinforced Sand, *Geotextiles and Geomembranes*, 21(4) (2003) 241-256.
- [13] C.R. Patra, B.M. Das, C. Atalar, Bearing Capacity of Embedded Strip Foundation on Geogrid-Reinforced Sand, *Geotextiles and Geomembranes*, 23(5) (2005) 454-462.
- [14] E. Badakhshan and A. Noorzad, Load eccentricity effects on behavior of circular footing reinforced with geogrid sheets, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 7(6) (2015) 691-699.
- [15] H. Sharafi, S. Jalili, R. M. H. J, Shaking table test on a geosynthetic reinforced soil modular block wall based on response surface method for reliability analysis, *Arabian Journal of Geosciences*, DOI: 10.1007/s12517-022-10974-x
- [16] H. Sharafi, R. M. H. J, Probabilistic Assessment on the Performance of Tiered Geosynthetic Reinforced Soil Walls Using RLEM and RFEM. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, DOI: 10.1007/s40891-022-00418-7, NOVEMBER 2022.
- [17] S. Jalili, H. Javaheri, H. Sharafi, N. Ganjian, Experimental and Numerical Study of Seismic Behavior of Shallow Strip Foundation Near Sandy Slope. *International Journal Of Civil Engineering*. June 2021. 20(3)(2021), 1-18.
- [18] M. El Sawwaf, Experimental and Numerical Study of Eccentrically Loaded Strip Footings Resting on Reinforced Sand, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 135(10) (2009) 1509-1518.
- [19] Abu-Farsakh, Murad, Qiming Chen, and Radhey Sharma. "An experimental evaluation of the behavior of footings on geosynthetic-reinforced sand." *Soils and Foundations* 53.2 (2013): 335-348.
- [20] S. Abrishami, The Study of Cyclic Bearing Capacity of Dry Geogrid Reinforced Sand by