

# مطالعه عددی افزایش ظرفیت باربری پی‌های حلقوی و دایره‌ای مستقر بر خاک‌های دانه‌ای مسلح شده به وسیله‌ی سامانه مهار شبکه

منصور مصلی نژاد<sup>۱\*</sup>، محمد حسین بازاریار<sup>۲</sup>، فاروق امینی<sup>۳</sup>

۱. استادیار، بخش راه و ساختمان و محیط زیست، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز
۲. استادیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه یاسوج
۳. دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، دانشگاه یاسوج

\*mosalla578@yahoo.com

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۳/۲/۱۱]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۱/۱۱/۲۹]

**چکیده** - تسلیح خاک یکی از روش‌های بهبود خواص مکانیکی خاک است. پژوهش‌های زیادی طی چهار دهه اخیر به منظور تعیین نوع مسلح کننده و همچنین میزان افزایش ظرفیت باربری خاک مسلح شده با مسلح کننده‌ها انجام شده است. به تازه‌گی نوع جدیدی از مسلح کننده‌های پلیمری برای افزایش ظرفیت باربری خاک‌های دانه‌ای ابداع شده است. این سامانه جدید که مهار شبکه (G-A) نام‌گذاری شده است [۱]، با تغییر ساختار ژئوگرید معمولی و اضافه کردن قلاب‌های پلیمری به آن، ساخته می‌شود. در این مقاله سعی شده است که با کمک تحلیل‌های عددی، توان این نوع مسلح کننده در افزایش ظرفیت باربری پی‌های حلقوی و دایره‌ای بررسی شود. عمق اولین لایه مسلح کننده، فاصله بین لایه‌ها، تعداد لایه‌ها، پهنای مسلح کننده و پهنای موثر قلاب‌گذاری در دو حالت پی حلقوی و دایره‌ای به گونه‌ای تعیین شده‌اند که شاهد بیشترین ظرفیت باربری باشیم. تاثیر سختی مسلح کننده در افزایش ظرفیت باربری در پی‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در پایان نتایج بدست آمده، با نتایج ظرفیت باربری پی واقع بر خاک ماسه‌ای غیرمسلح و ماسه مسلح شده با ژئوگرید معمولی مقایسه می‌شوند.

**واژگان کلیدی** - ظرفیت باربری، پی حلقوی، پی دایره‌ای، ماسه مسلح شده، مهار شبکه، تحلیل عددی

## ۱- مقدمه

مستطیلی و دایره‌ای ارائه شده‌است که در همه‌ی آنها اهمیت شکل پی به علت چگونگی گسترش تنش در خاک زیرپی نمایان است. یکی از انواع پی‌ها، پی حلقوی است که برای انتقال بار سیلوها، مخازن ذخیره آب، برج‌های رادیویی و مناره‌ها به خاک مورد

ظرفیت باربری، بیشینه فشار قابل تحمل خاک است که بسته به شکل پی، نحوه‌ی توزیع فشار و گسیختگی خاک تغییر می‌کند. تاکنون روابط مختلفی برای تعیین ظرفیت باربری نهائی پی‌های نواری،

لایه ماسه متراکم قرار گرفته بود به نتایج جالبی برای ظرفیت باربری پی حلقوی دست یافتند. آن‌ها تعدادی آزمایش بارگذاری روی پی‌های حلقوی با سطح مقطع یکسان، اما قطرهای داخلی و خارجی مختلف انجام دادند. ایشان پس از بررسی آزمایش‌ها به این نتیجه رسیدند که در پی‌های حلقوی واقع بر ماسه با تراکم کم و سطح مقطع یکسان، در نسبت قطر داخلی به خارجی برابر  $0/375$ ، ظرفیت باربری نهایی به بیشینه مقدار خود می‌رسد [3].

رضوی و هاتف (2003)، مطالعاتی در مورد ظرفیت باربری پی حلقوی انجام دادند، از مهمترین نتایج ایشان افزایش حدود 25 درصدی ظرفیت باربری پی حلقوی با نسبت قطر داخلی به خارجی بین  $0/2$  تا  $0/4$  نسبت به پی دایره‌ای با همان قطر خارجی بود و در پایان با یک مقایسه اقتصادی بین پی حلقوی و دایره‌ای، حدود 15 درصد صرفه جویی در مصالح را برای پی حلقوی نسبت به پی دایره‌ای با همان قطر خارجی برآورد کردند. ایشان همچنین یک رابطه تحلیلی برای ظرفیت باربری پی حلقوی ارائه دادند [4].

بوشهریان و هاتف (2003)، پژوهش‌های آزمایشگاهی را روی ظرفیت باربری پی‌های حلقوی و دایره‌ای بر روی ماسه مسلح شده انجام دادند. پژوهش‌های ایشان در مخزن استوانه‌ای به قطر و ارتفاع 1 متر و ضخامت 4 میلی‌متر پر شده با ماسه خوب دانه‌بندی شده و مسلح کننده ژئونت انجام شده است. نتایج برای پی دایره‌ای مسلح شده با ژئونت افزایش  $2/3$  و برای پی حلقوی افزایش  $2/12$  را نسبت به حالت غیرمسلح نشان می‌دهد [5].

کاراولف (2006)، به انجام یکسری پژوهش‌های تئوریک و آزمایشگاهی روی ظرفیت باربری بستر پی‌های حلقوی پرداخت. او در پژوهش‌های تئوری خود مقدار فشار مقید شده از پی حلقوی به خاک بستر

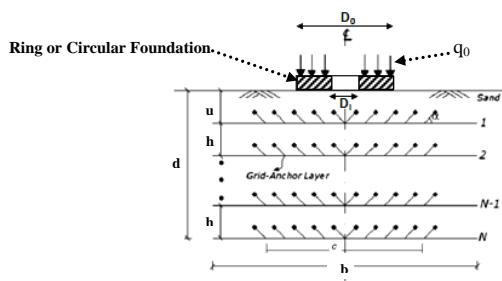
استفاده قرار می‌گیرد. پی حلقوی برای بیشتر سازه‌های با هندسه تقارن محوری و بار قائم، یک پی مناسب و اقتصادی بوده و استفاده عملی از آن نسبت به پی دایره‌ای بسیار با صرفه است. یکی از روش‌های بهبود خواص مکانیکی خاک‌های ضعیف، تسلیح این‌گونه خاکها است. از سال 1966 که وایدال [2] ایده استفاده از مسلح‌کننده در خاک را عملی کرد؛ تاکنون پژوهش‌های زیادی در مورد نوع و جنس مسلح‌کننده‌ها صورت گرفته است. مسلح‌کننده‌های نخستین از فولاد و آلومینیم ساخته می‌شدند. برخلاف مقاومت کششی مناسب، خوردگی و واکنش‌های شیمیایی مشکل اصلی این نوع مسلح‌کننده‌ها است. در دو دهه اخیر با توجه به افزایش محصولات صنایع نفت و گاز، مسلح‌کننده‌های پلیمری مورد استفاده بیشتری قرار گرفته اند. از مزایای مواد پلیمری می‌توان به تغییر شکل پذیری بالاتر به نسبت مسلح‌کننده‌های فولادی و آلومینیومی، مقاومت بیشتر در برابر جابه‌جائی‌های جزئی و دوام بیشتر در مقابل خوردگی و واکنش‌های شیمیایی نام برد. در مقابل، یکی از نقاط ضعف مسلح‌کننده‌های پلیمری خزش قابل توجه آن‌ها با گذشت زمان است. بطور کلی ارزیابی اندرکنش خاک و مسلح‌کننده به دو سازوکار زیر محدود می‌شود: سازوکار لغزش مستقیم که به بررسی لغزش قطعه‌ای خاک روی مسلح‌کننده می‌پردازد و سازوکار بیرون کشیدگی که به پارامتر مقدار طول مهاری لازم برای جلوگیری از بیرون کشیدگی لایه مسلح‌کننده از خاک می‌پردازد.

تاکنون پژوهش‌های زیادی روی میزان افزایش ظرفیت باربری پی‌های دایره‌ای و حلقوی مستقر بر خاک مسلح انجام شده است. در سال 1997، اوهری و همکارانش با انجام آزمایش‌هایی روی یک سیستم دو لایه متشکل از یک لایه ماسه ساحلی که بر روی یک

در این جا سعی شده به کمک نرم افزار PLAXIS در محیط دوبعدی، ظرفیت باربری پی های حلقوی و دایره ای واقع بر خاک ماسه ای مسلح شده به وسیله ی سامانه مهارشبهه بررسی شود؛ مطابق شکل ۱ مهارها از المان های مکعبیه ابعاد  $1 \times 1 \times 1$  سانتی متر که بر روی نوارهایی به طول ۵ سانتی متر که با زاویه ی تقریبی ۴۵ درجه به شبکه ژئوگرید متصل شده اند، ساخته شده است. هم مهارها و هم شبکه با خواص پلی اتیلن مدل می شوند.

## ۲- مدل سازی عددی

مطابق شکل (۱) که تصویر شماتیک سامانه ی تسلیح مهار شبکه را نشان می دهد برای تولید خاک مسلح، از  $N$  لایه مهار شبکه به عرض موثر  $b$  استفاده شده است. بالاترین لایه مهار شبکه در عمق  $u$  زیر شالوده قرار دارد. فاصله بین لایه های مهار شبکه متوالی برابر با  $h$  و عمق کل تسلیح برابر با " $d=u+(N-1)h$ " است. عرض موثر مهارها نیز  $c$  است. ابتدا ظرفیت باربری نهایی<sup>۳</sup> در حالت غیرمسلح برای پی حلقوی و پی دایره ای با قطر خارجی برابر به دست آمده و سپس تاثیر پارامترهای مختلف تسلیح بر ظرفیت باربری پایانی بررسی می شود.



شکل (۱) - چیدمان شماتیک سامانه تسلیح مهارشبهه

نرم افزار اجزای محدود پلاکسیس یکی از کارآمدترین برنامه های عددی برای آنالیز رفتار، تغییر شکل و پایداری در پروژه های مهندسی ژئوتکنیک است. مدل سازی به وسیله ی

را به دست آورد. در آزمایشگاه نیز با انجام یکسری پژوهش، فشار وارده از طرف پی را مطالعه کرد و به این نتیجه رسید که مقدار بار مقید شده، برای ایجاد فشار مورد نظر با مقادیر به دست آمده از روابط تئوریک یکسان است [6].

بوشهریان و هاتف (۲۰۰۸)، با انجام پژوهش روی ظرفیت باربری پی های حلقوی واقع بر رس مسلح شده، اثر مسلح کننده ها را بررسی کردند. مسلح کننده مورد استفاده در تحقیقات ژئوگرید<sup>۱</sup> بود. برای انجام پژوهش ها، از مخزن استوانه ای شکل به قطر و ارتفاع ۱ متر استفاده شد. خاک مورد استفاده رس با پلاستیسیته کم (CL) بوده و برای تحلیل داده ها از نرم افزار اجزای محدود پلاکسیس<sup>۲</sup> استفاده شده است. پارامترهای مورد مطالعه در پژوهش، عمق بهینه خاک مسلح، فاصله قائم لایه ها از همدیگر و تعداد موثر لایه های مسلح کننده بود. بوشهریان در پژوهش های خود نشان داد که نسبت افزایش ظرفیت باربری پی دایره ای بیشتر از ظرفیت باربری پی حلقوی است [7].

مصلی نژاد و همکاران (2008)، با ابداع سیستم مهار شبکه تحقیقات آزمایشگاهی خود را روی ظرفیت باربری پی مربعی واقع بر خاک مسلح شده با مهار شبکه انجام دادند. ایشان از پی به ابعاد ۲۰ سانتی متر و ضخامت ۴ سانتی متر برای بارگذاری بر ماسه مسلح شده با مهار شبکه و ژئوگرید ستیتر جعبه ای به ابعاد  $1 \times 1 \times 1$  متر استفاده کردند. آنها مهارها را به ابعاد  $1 \times 1 \times 1$  سانتی متر و طول ۵ سانتی متر و زاویه ی تقریبی ۴۵ درجه به ژئوگرید معمولی متصل کردند. سیستم مهار شبکه پیشنهادی ایشان می تواند ظرفیت باربری را به میزان  $1/8$  برابر بیشتر از ژئوگرید معمولی و سه برابر بیشتر از ماسه ی غیر مسلح افزایش دهد [1].

جدول (۱) - پارامترهای استفاده شده در آنالیزهای عددی

پارامتر	واحد	مقدار
چسبندگی C	kPa	۱
زاویه اصطکاک داخلی $\phi$	درجه	۳۸
دانسیته اشباع $\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	۱۹/۹۲
دانسیته غیر اشباع $\gamma_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	۱۷
مدول الاستیسیته E	kN/m <sup>2</sup>	۱۳۰۰۰
ضریب پواسون $\nu$		۰/۳
مقاومت کششی ژئوگرید	kN/m	۲۰
مقاومت کششی قلاب	kN	۲۵

شکل‌های (۲) و (۳) چگونگی المان‌بندی مدل و همچنین کانتورهای تنش زیر پی دایره‌ای مسلح‌شده به وسیله مهارشبهه را نشان می‌دهند.

روند تحلیل‌ها به این صورت است که ابتدا ظرفیت باربری نهایی خاک غیر مسلح تعیین می‌شود؛ سپس با یک لایه مسلح‌کننده مهارشبهه (قلاب گذاری شده در تمام سطح با زاویه ۴۵ درجه)، فاصله‌ی بهینه اولین لایه مسلح‌کننده تا کف پی (u) به دست می‌آید. با داشتن فاصله‌ی اولین لایه و با تغییر فاصله‌ی بین لایه‌ها (h) برای حالت دو لایه و چند لایه، فاصله بهینه‌ی لایه‌های مسلح‌کننده نیز تعیین می‌شود. با داشتن این پارامترها و اضافه کردن تعداد لایه‌ها می‌توان تعداد لایه‌ی بهینه (N)، را محاسبه کرد. در پایان نیز ظرفیت باربری نهایی ژئوگرید معمولی و سامانه مهارشبهه با یکدیگر مقایسه می‌شوند. برای مقایسه نتایج، در این پژوهش از نسبت ظرفیت باربری (BCR) استفاده می‌شود که به صورت زیر تعریف می‌شود:

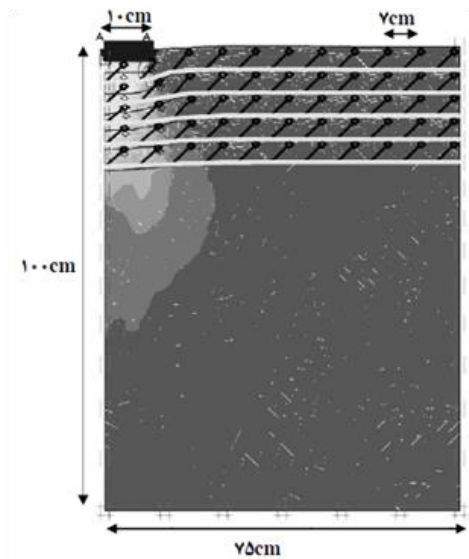
این نرم افزار المان محدود می‌تواند به صورت کرنش صفحه‌ای<sup>۴</sup> یا تقارن محوری<sup>۵</sup> تعریف شود. مدل کرنش صفحه‌ای در جاهایی به کار می‌رود که هندسه مدل دارای طول زیاد باشد و حالت تنش وابسته به آن و آرایش و ترتیب بارگذاری آن بر روی طول یکنواخت عمود بر مقطع عرضی باشد. مدل تقارن محوری برای مسائل با هندسه دایره‌ای و با بارگذاری متقارن استفاده می‌شود. در این حالت ترتیب بارگذاری پیرامون محور مرکزی است، به گونه‌ای تغییر مکان و حالت تنش در هر جهت شعاعی یکنواخت در نظر گرفته می‌شود. ساخت مرحله‌ای قادر است تا شبیه‌سازی واقع‌گرایانه بارگذاری‌های مختلف را در حین فرایند ساخت و حفاری شبیه‌سازی کند. در حالت بارگذاری اجازه داده می‌شود که بار وارده بر پی به حالت نهائی خود برسد. پس از رسیدن به گسیختگی، محاسبات تمام می‌شود؛ کمیت‌های خروجی اصلی در محاسبات المان محدود، تغییر مکان در گره‌ها و تنش‌ها در نقاط تنشی است. وقتی که مدل المان محدود شامل المان سازه‌ای باشد، نیروهای سازه‌ای در این المان محاسبه شده و در قسمت خروجی نتایج دلخواه را، از جمله، حالت تغییر شکل یافته المان‌ها، نشست و همچنین توزیع تنش‌ها را در زیر پی می‌توان دید.

در این پژوهش، از مدل مخزنی به قطر ۱۵۰ سانتی‌متر استفاده شده است که به علت تقارن محوری، نصف مدل مورد تحلیل قرار گرفته است. پی دایره‌ای به قطر ۲۰ سانتی‌متر و پی‌های حلقوی به قطرهای داخلی (D<sub>i</sub>) ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۴ و ۱۶ سانتی‌متر و قطر خارجی (D<sub>o</sub>) ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است. پارامترهای استفاده شده برای تحلیل‌های عددی در جدول (۱) آورده شده است. برای مدل نمودن مهارها، از المان‌های کششی استفاده شده است. این المان‌ها توانایی انتقال نیروی کششی بوجود آمده در اثر بارگذاری به ژئوگرید و خاک را دارا است.

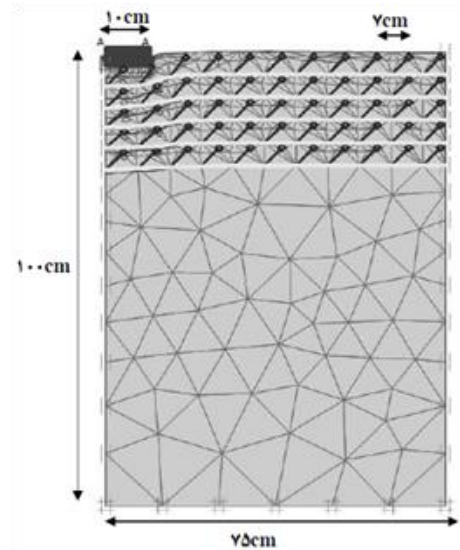
ظرفیت باربری در حالت غیر مسلح برای پی حلقوی به دست آمده است.

$$BCR = \frac{q_{u(R)}}{q_u} \quad (1)$$

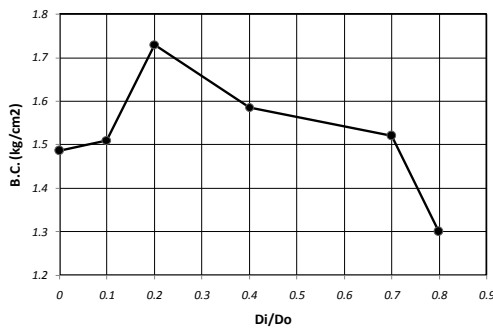
$q_{u(R)}$  بیانگر ظرفیت باربری نهایی خاک مسلح شده و  $q_u$  مقدار ظرفیت باربری نهایی خاک غیر مسلح است.



شکل (۳) - هندسه نمونه پی دایره ای در مدل مهارشبهه تغییر تنش با  $h=0.25D_0$ ,  $u=0.25D_0$ ,  $N=5$



شکل (۲) - هندسه نمونه پی دایره ای در مدل مهارشبهه تغییرات مش با  $h=0.25D_0$ ,  $u=0.25D_0$ ,  $N=5$



شکل (۴) - تغییرات ظرفیت باربری با نسبت قطر در حالت خاک غیر مسلح

### ۳-۲- خاک مسلح

در تحلیلی‌های صورت گرفته در این بخش ابتدا پس از تعیین عمق بهینه اولین لایه مسلح کننده برای دو پی مورد نظر در حالت‌های تسلیح با ژئوگرید و تسلیح با مهارشبهه، بیشینه پهنای موثر مسلح کننده ژئوگرید و بیشینه پهنای موثر مهارها (قلاپ‌ها) در سامانه تسلیح مهارشبهه مورد پژوهش قرار می‌گیرد؛ آنگاه روی فاصله بهینه‌ی قائم بین لایه‌های

### ۳- نتایج

نتایج به دست آمده از تحلیل‌ها در دو گروه خاک غیر مسلح و خاک مسلح (تسلیح به وسیله‌ی ژئوگرید معمولی و سامانه‌ی مهارشبهه) ارائه می‌شود.

در بخش خاک مسلح، نتایج خود به دو گروه مسلح شده با ژئوگرید معمولی و مسلح شده با مهارشبهه، تقسیم می‌شوند.

### ۳-۱- خاک غیر مسلح

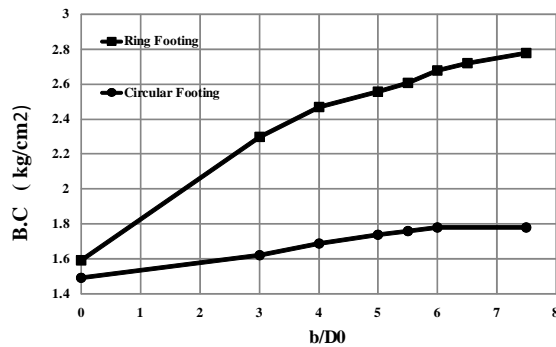
شکل (۴) مقادیر مختلف ظرفیت باربری را در برابر نسبت قطری  $D_i/D_0$ ، برای خاک غیر مسلح نشان می‌دهد. نسبت قطری صفر برای حالت پی دایره‌ای استفاده می‌شود. مشاهده می‌شود که در نسبت‌های قطری بین ۰/۲ تا ۰/۴ بیشترین

برای پی  $\frac{u}{D_o - D_i} = 0.5$  برای دایره‌ای و  $\frac{u}{D_o - D_i} = 0.83$  برای پی حلقوی به دست آمده است.

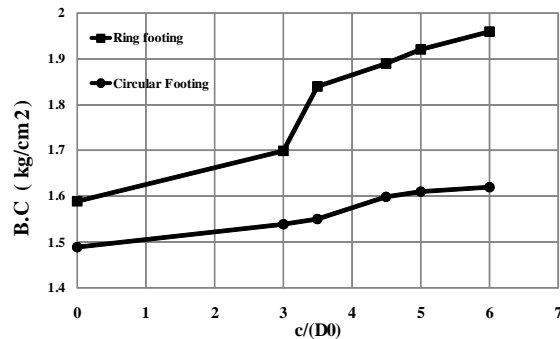
شکل‌ها نشان می‌دهد که سامانه مهار شبکه توانایی بالابردن نسبت ظرفیت باربری بیشتری را در پی‌های حلقوی از خود نشان داده است.

### ۳-۲-۲- تاثیر پهنای مسلح کننده و عرض مهار گذاری

با توجه به شکل (۶) مشاهده می‌شود که در نسبت  $(b/D_o)$  بیشتر از ۶، افزایش پهنای مسلح کننده ژئوگرید معمولی تاثیر چندانی بر روی افزایش ظرفیت باربری نخواهد داشت. همچنین با توجه به شکل (۷) نسبت پهنای قلاب گذاری  $(c/D_o)$  برای هر دونوع پی حلقوی و دایره‌ای نیز برابرعدد ۶ است.



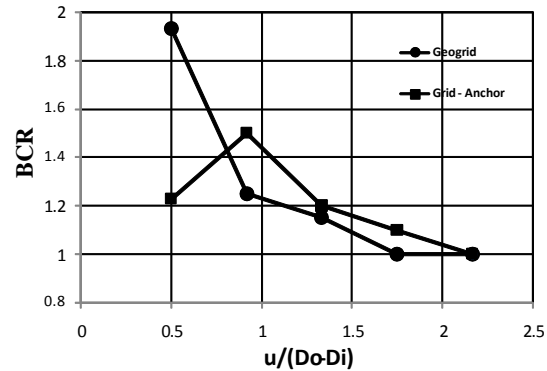
شکل (۶) - تاثیر پهنای ژئوگرید (b) بر افزایش ظرفیت باربری



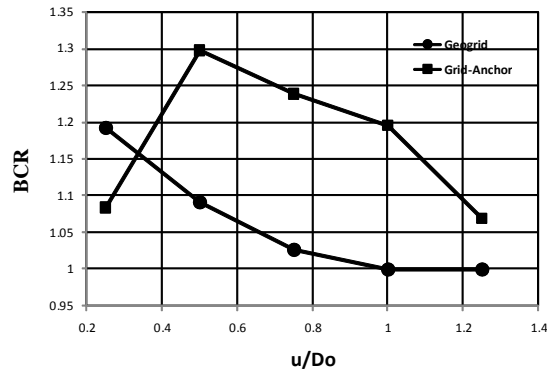
شکل (۷) - تاثیر پهنای قلاب (c) در افزایش ظرفیت باربری

تسلیح و تعداد لایه‌های موثر تسلیح در افزایش ظرفیت باربری بحث می‌شود.

(الف)



(ب)



شکل (۵) - تغییرات نسبت ظرفیت باربری خاک مسلح شده با ژئوگرید (الف) پی حلقوی (ب) پی دایره‌ای  $N=1$  معمولی و مهار شبکه

### ۳-۲-۱- تاثیر عمق اولین لایه مسلح کننده (u)

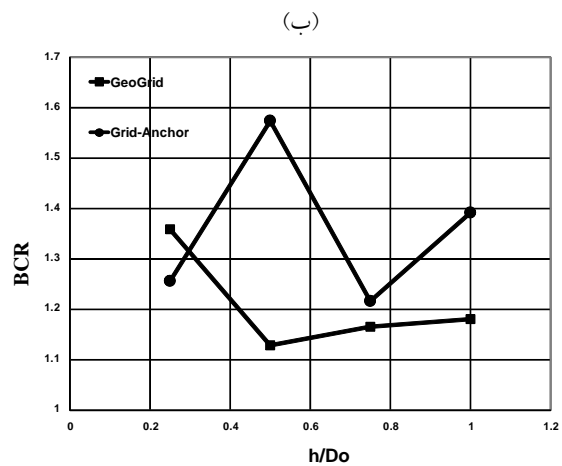
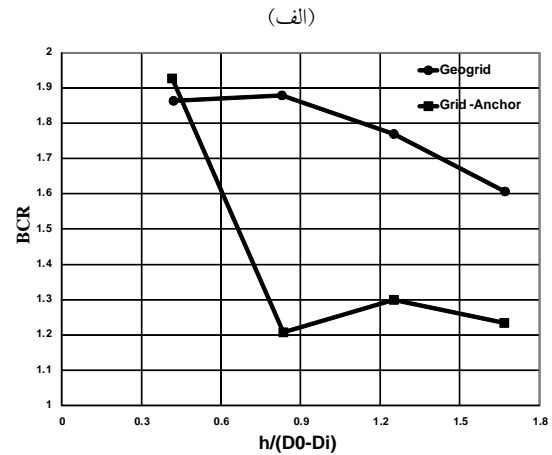
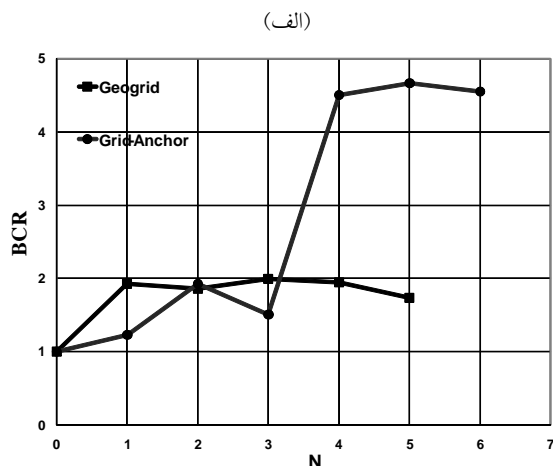
نسبت عمق به صورت نسبت بین دو پارامتر  $u$  به  $D_o$  برای پی دایره‌ای و  $u$  به  $(D_o - D_i)$  برای پی حلقوی تعریف می‌شود. با توجه به شکل (۵) مشاهده می‌شود که برای حالت تسلیح با ژئوگرید ستی‌در نسبت  $\frac{u}{D_o} = 0.25$  برای پی دایره‌ای و نسبت  $\frac{u}{(D_o - D_i)} = 0.5$  برای پی حلقوی شاهد بیشترین نسبت ظرفیت باربری و در حالت تسلیح با مهار شبکه بیشترین نسبت ظرفیت باربری در نسبت

دایره‌ای  $\frac{h}{D_0} = 0.5$  و برای پی حلقوی

$$\frac{h}{(D_0 - D_i)} = 0.42 \text{ است.}$$

### ۳-۲-۴- تأثیر تعداد لایه‌های مسلح کننده (N)

پس از آنکه پارامترهای  $h, c, u, b$  بهینه شدند؛ تحلیل‌ها روی تعیین تعداد لایه‌های تسلیح با نسبت‌های به دست آمده، انجام می‌شود. با توجه به شکل (۹) می‌توان نتیجه گرفت که تعداد لایه‌های موثر در حالت تسلیح با ژئوگرید معمولی برای پی حلقوی ۳ لایه و برای پی دایره‌ای ۴ لایه و در حالت تسلیح با سامانه مهارشبهه برای پی حلقوی ۴ لایه و برای پی دایره‌ای ۵ لایه است. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود، پی دایره‌ای مسلح شده با ژئوگرید، زمانی که تا سه لایه مسلح شده است، رفتاری نسبتاً مشابه با مهارشبهه را دارد؛ در ادامه با اضافه شدن تعداد لایه‌های مسلح کننده افزایش ناگهانی نسبت ظرفیت باربری سامانه‌ی مهار شبکه مشاهده می‌شود. این پدیده بیانگر تاثیر مهارها و درگیری آنها در نشست‌های بیشتر ناشی از تنش‌های بالاتر روی پی است. از دیگر نتایج می‌توان به اندازه عمق موثر تسلیح که برای هر دو پی حدوداً به اندازه قطر خارجی پی ( $D_0$ )، است، را اشاره کرد



شکل (۸) - تغییرات نسبت ظرفیت باربری خاک مسلح شده با (الف) پی حلقوی (ب) پی دایره‌ای

### ۳-۲-۳- تأثیر فاصله بین مسلح کننده‌ها (h)

پس از ثابت شدن مقادیر بهینه عمق لایه اول تسلیح، پهنای مسلح کننده و عرض فلاپگذاری با استفاده از دو لایه مسلح کننده اقدام به یافتن ارتفاع بهینه بین لایه‌های مسلح کننده شده است.

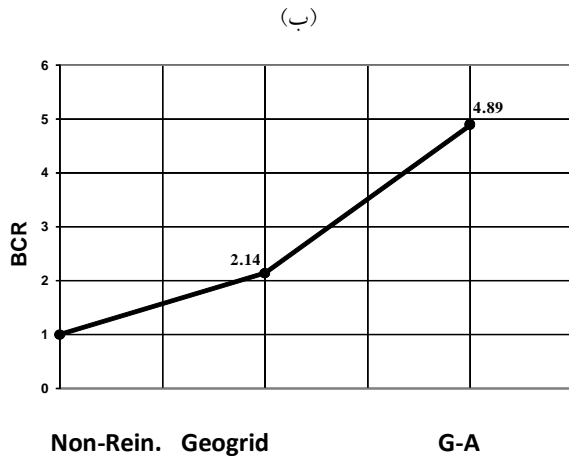
مطابق شکل (۸) در حالت تسلیح با ژئوگرید معمولی، نسبت فاصله‌ی قائم بهینه بین مسلح کننده‌ها برای پی دایره‌ای

$\frac{h}{D_0} = 0.25$  و این نسبت برای پی حلقوی

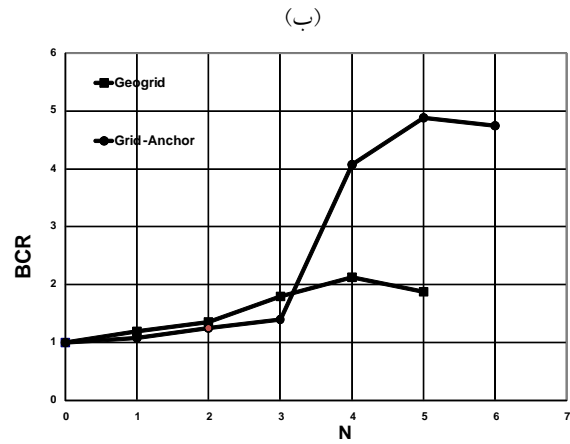
است. همچنین در حالت تسلیح به

$$\frac{h}{(D_0 - D_i)} = 0.83$$

وسیله‌ی سامانه مهارشبهه، بیشینه نسبت یاد شده در پی



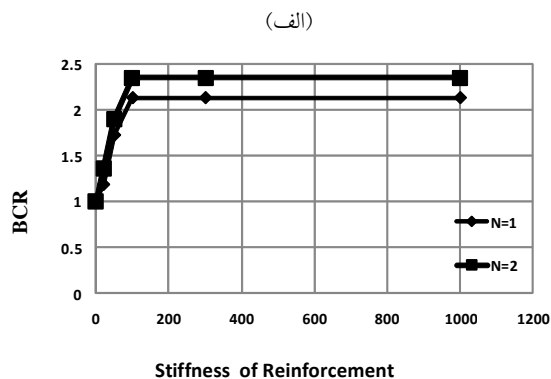
شکل (۱۰) - مقایسه نسبت های ظرفیت باربری خاک  
(الف) پی حلقوی (ب) پی دایره ای



شکل (۹) - تغییرات نسبت ظرفیت باربری با تعداد لایه های تسلیح.  
(الف) پی حلقوی (ب) پی دایره ای

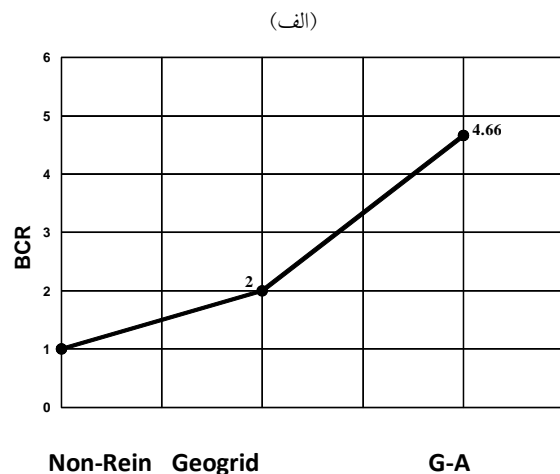
## ۵- تاثیر سختی کششی مسلح کننده و قلابها بر روی ظرفیت باربری

برای تحقیق تاثیر سختی کششی مسلح کننده و قلابها بر ظرفیت باربری، با ثابت نگه داشتن سایر پارامترها و تغییر سختی کششی این دو المان در نرم افزار، تاثیر آنها بر افزایش نسبت ظرفیت باربری دو سامانه تسلیح مورد بررسی قرار گرفته است. مشاهده می شود که با افزایش سختی کششی دو المان تا حد معینی، نسبت ظرفیت باربری افزایش یافته و پس از آن ثابت می ماند. بر اساس شکل های (۱۱) و (۱۲) مشاهده می شود که برای هر دو نوع پی، افزایش سختی مسلح کننده مینا از ۱۰۰ کیلو نیوتن بر متر مربع و سختی قلابها از ۲ کیلو نیوتن بر متر مربع تاثیر چندانی بر افزایش نسبت ظرفیت باربری نخواهد داشت.



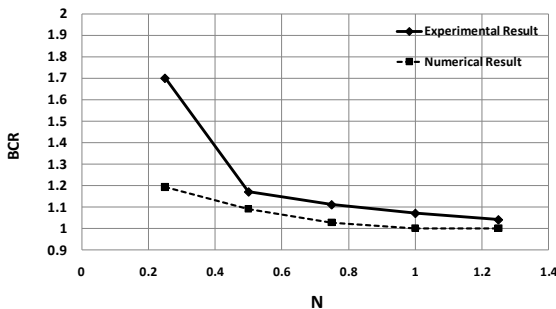
## ۴- مقایسه سامانه های تسلیح

شکل (۱۰) مقایسه بین دو سامانه تسلیح را در پی های حلقوی و دایره ای نشان می دهد. از شکل چنین استنباط می شود که سامانه مهارشبه که در پی های حلقوی و دایره ای به ترتیب قادر به خلق BCR برابر با ۴/۶۶ و ۴/۸۹ است. این که سامانه ژئوگرید معمولی در پی حلقوی قادر است BCR خاک را تنها ۲ برابر و در پی دایره ای ۲/۱۴ برابر نسبت به خاک غیر مسلح افزایش دهد؛ به آن معناست که سامانه مهارشبه که نسبت به سامانه ژئوگرید معمولی در پی های حلقوی BCR را ۲/۳۳ و در پی های دایره ای ۲/۲۹ برابر افزایش داده است.





جزئیات آماده سازی نمونه‌ها و مکانیسم بارگذاری در مرجع [8] ارائه شده است. شکل ۱۳ نتایج استفاده از یک لایه مسلح کننده ژئوگرید را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل قابل مشاهده است، تغییرات نسبت ظرفیت باربری به دست آمده از تحلیل های عددی با نتایج بدست آمده از مطالعه آزمایشگاهی تطابق نسبتاً خوبی دارد.



شکل (۱۳) - مقایسه تغییرات نسبت ظرفیت باربری حاصل از تحلیل های عددی و آزمایشگاهی در حالت پی دایره ای واقع بر ماسه مسلح شده با یک لایه مسلح کننده ژئوگرید

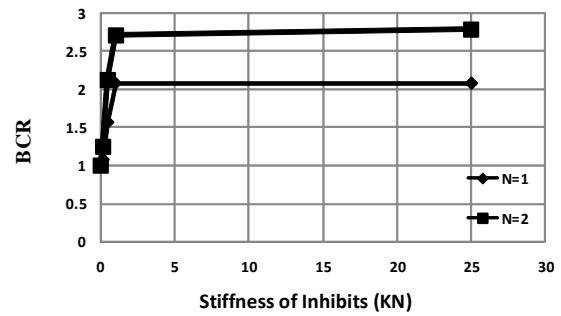
## ۷- نتیجه گیری

هدف از انجام این پژوهش، بررسی تغییرات ظرفیت باربری پی حلقوی و دایره‌ای بر روی خاک ماسه‌ای مسلح شده با سیستم مهار شبکه (G-A) است. بطور خلاصه می‌توان موارد زیر را از نتایج این پژوهش دانست:

۱. سامانه‌ی مهار شبکه نسبت به سامانه‌ی ژئوگرید معمولی قادر به خلق  $BCR=2.14$  در پی‌های دایره‌ای و  $BCR=2.33$  در پی‌های حلقوی است.

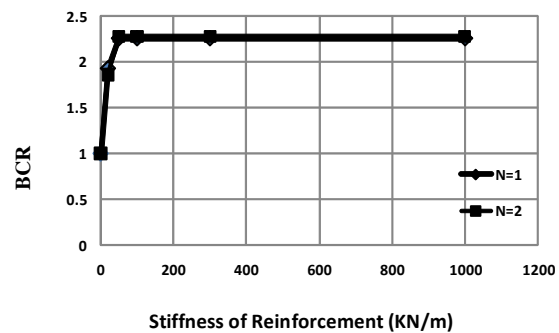
۲. نسبت عمق بهینه‌ی اولین لایه در تسلیح با ژئوگرید، برای پی حلقوی برابر  $\frac{u}{(D_o-D_i)} = 0.5$  و پی دایره‌ای برابر  $\frac{u}{D_o} = 0.25$  است. این در حالی است که در تسلیح با سامانه‌ی مهار شبکه این نسبت برای پی‌های حلقوی برابر  $\frac{u}{(D_o-D_i)} = 0.83$  و برای پی‌های دایره‌ای برابر  $\frac{u}{D_o} = 0.5$  است.

(ب)

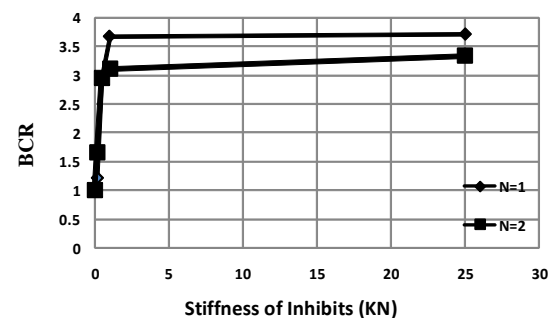


شکل (۱۱) - تغییرات نسبت ظرفیت باربری با (الف) - سختی ژئوگرید و (ب) سختی مهارها در پی دایره‌ای  $u=0.25D_o$   $h=0.25D_o$

(الف)



(ب)



شکل (۱۲) - تغییرات نسبت ظرفیت باربری با (الف) - سختی ژئوگرید و (ب) سختی مهارها در پی حلقوی  $u=0.5(D_o-D_i)$   $h=0.42(DO-Di)$

## ۶- اعتبار سنجی نتایج تحلیل عددی

برای اعتبار سنجی نتایج تحلیل‌های عددی، مطالعه آزمایشگاهی روی ظرفیت باربری پی‌های دایره‌ای واقع بر خاک ماسه‌ای خوب دانه‌بندی شده در جعبه‌ای به ابعاد

[2] Vidal, K. (1966). "La terre Armee". Anales de l'Institute Technique du Batiment et des Travaux Publiques, July- August, 888-938.

[3] Ohri, M.L., Purhit, D. G. M., and Dubey, M.L. (1997). "Behavior of Ring Footings on Dune Sand Overlaying Dense Sand." *Pres. Int. Conf. Civil Eng, Tehran Iran*.

[4] Razavi, M.R., Hataf, N. "Behavior of ring foundation on sand." *Iranian Journal of Science and Technology, Transaction B*, Vol.27, pp. 47-56, 2003.

[5] Boushehrian, J. H., Hataf, N. "Experimental and numerical investigation of the bearing capacity of model circular and ring footings on reinforced sand." *Journal of Geotextiles and Geomembranes (21)*, pp. 241-256, 2003.

[6] Karaulov, A. M. "Experimental and Theoretical research on the bearing capacity of ring foundation beds." *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Vol. 43, No. 2. pp. 37-40, 2006.

[7] Boushehrian, A. H., Hataf, N. "Bearing capacity of foundation on reinforced clay." *The 12<sup>th</sup> international conference IACMAG*, pp. 3546-3551, 2008.

[8] امینی، فاروق؛ بازاریار، محمدحسین؛ مصلی نژاد، منصور؛

"بررسی افزایش ظرفیت باربری پی حلقوی واقع بر خاک‌های ماسه‌ای مسلح شده با مهار شبکه (G-A)"،

پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه یاسوج (۱۳۸۹)

۳. نسبت فاصله‌ی بهینه‌ی بین لایه‌ها در تسلیح با ژئوگرید،

برای پی حلقوی برابر  $\frac{h}{(D_o-D_i)} = 0.84$  و پی دایره‌ای

برابر  $\frac{h}{D_o} = 0.25$  است. این در حالی است که در تسلیح با

سامانه‌ی مهار شبکه این نسبت برای پی‌های حلقوی

برابر  $\frac{h}{(D_o-D_i)} = 0.42$  و برای پی‌های دایره‌ای

برابر  $\frac{h}{D_o} = 0.5$  است.

۴. در سامانه‌ی تسلیح مهار شبکه برای هر دو نوع پی تعداد

۵ لایه تسلیح برای رسیدن به بیشینه ظرفیت باربری لازم

است.

۵. برای هر دو نوع پی، افزایش سختی مسلح کننده مبنا از

۱۰۰ کیلونیوتن بر متر مربع و سختی قلاب‌ها از ۲ کیلو

نیوتن بر متر مربع تاثیر چندانی بر افزایش نسبت ظرفیت

باربری نخواهد داشت.

## ۸- مراجع

[1] Mosallanezhad, M., Hataf, N., Ghahramani, A. "Experimental study of bearing capacity of granular soils, reinforced with innovative Gride-Anchor system." *Geotechnical Geological Engineering* 26, pp. 299-312, 2008.