مجله علمی – پژوهشی
عمران مدرس
دوره چهاردهم، شماره چهار، زمستان ۱۳۹۳

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

منصور مصلی‌نژاد[۱،*]، محمد حسین بازیار[۲]، فاروق امینی[۳]

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 دریافت: [۱۳۹۱/۱۱/۲۹] **تاریخ پذیرش:** [۱۳۹۳/۲/۱۱]

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 مهارشبکه (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 مسلح‌کننده در افزایش ظرفیت باربری پی‌های حلقوی و دایره‌ای بررسی شد. 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 مسلح‌شده با ژئوگرید معمولی مقایسه می‌شوند.

واژگان کلیدی– ظرفیت باربری، پی حلقوی،پی دایره‌ای، ماسه مسلح‌شده، مهارشبکه، تحلیل عددی

۱–مقدمه

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، 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

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 ۱۹٦٦ که وایدال [۲] ایده استفاده از مسلح‌کننده در خاک را عملی کرد؛ تاکنون پژوهش‌های زیادی در مورد نوع و جنس مسلح‌کننده‌ها صورت گرفته است. مسلح کننده‌های نخستین از فولاد و آلومینیم ساخته می‌شدند. برخلاف مقاومت کششی مناسب، خوردگی و واکنش های شیمیایی مشکل اصلی این نوع مسلح کننده‌ها است. در دو دهه اخیر با توجه به افزایش محصولات صنایع نفت و گاز، مسلح کننده‌های پلیمری مورد استفاده بیشتری قرار گرفته اند. از مزایای مواد پلیمری می‌توان به تغییرشکل پذیری بالاتر به نسبت مسلح‌کننده‌های فولادی و آلومینیومی، مقاومت بیشتر در برابر جابه‌جائی‌های جزئی و دوام بیشتر در مقابل خوردگی و واکنشهای شیمیائی 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 وسازوکاربیرون 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 ۱۹۹۷، اوهری و همکارانش با انجام آزمایش‌هایی روی یک سیستم دو لایه متشکل از یک لایه ماسه ساحلی که برروی یک 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 ۰/۳۷۵، 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 ۲۵ درصدی ظرفیت باربری پی حلقوی با نسبت قطر داخلی به خارجی بین ۰/۲ تا ۰/٤ نسبت به پی دایره‌ای با همان قطر خارجی بود و در پایان با یک مقایسه اقتصادی بین پی حلقوی و دایره‌ای، حدود ۱۵ 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(۲۰۰۳)، پژوهش‌های آزمایشگاهی را روی ظرفیت باربری پی‌های حلقوی و دایره‌ای بر روی ماسه مسلح‌شده انجام دادند. پژوهش‌های ایشان در مخزن استوانه‌ای به قطر و ارتفاع ۱ متر و ضخامت ٤ میلی‌متر پرشده با ماسه خوب دانه‌بندی شده و مسلح کننده ژئونت انجام شده است. نتایج برای پی دایره‌ای مسلح‌شده با ژئونت افزایش ۲/۳ و برای پی حلقوی افزایش ۲/۱۲ 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

را به دست آورد. در آزمایشگاه نیز با انجام یکسری پژوهش، فشار وارده از طرف پی را مطاعه 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].

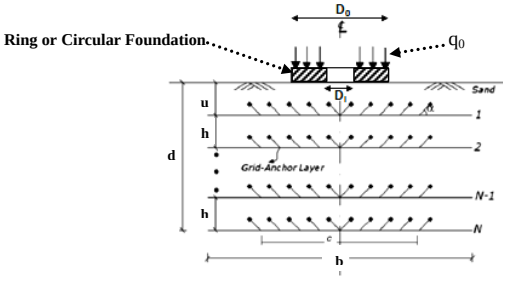
بوشهریان و هاتف (۲۰۰۸)، با انجام پژوهش روی ظرفیت باربری پی‌های حلقوی واقع بر رس مسلح‌شده، اثر مسلح‌کننده‌ها را بررسی کردند. مسلح‌کننده مورد استفاده در تحقیقات ژئوگرید[1] بود. برای انجام پژوهش‌ها، از مخزن استوانه‌ی شکل به قطر و ارتفاع ۱ متر استفاده شد. خاک مورد استفاده رس با پلاستیسیته کم(CL) بوده و برای تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار اجزای‌محدود پلاکسیس[2] استفاده شده است. پارامترهای مورد مطالعه در پژوهش، عمق بهینه خاک‌مسلح، فاصله قائم لایه‌ها از همدیگر و تعداد موثر لایه‌های مسلح‌کننده بود. بوشهریان در پژوهش‌های خود نشان داد که نسبت افزایش ظرفیت باربری پی‌دایره‌ای بیشتر از ظرفیت باربری پی‌حلقوی است [7].

مصلی‌نژاد 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 ابعاد۲۰ سانتی متر و ضخامت ٤ سانتی متر برای بارگذاری بر ماسه مسلح شده با مهار شبکه و ژئوگرید سنتیدر جعبه ای به ابعاد ۱×۱×۱ متر استفاده کردند.آنها مهارها را به ابعاد ۱×۱×۱ سانتی‌متر و طول ۵ سانتی‌متر و زاویه‌ی تقریبی ٤٥ درجه به ژئوگرید معمولی متصل کردند. سیستم مهار شبکه پیشنهادی ایشان می‌تواند ظرفیت باربری را به میزان ۱/۸ برابر بیشتر از ژئوگرید معمولی و سه برابر بیشتر ازماسه‌ی غیر مسلح افزایش دهد [1].

در این‌جا سعی شده به کمک نرم‌افزار PLAXIS در محیط دوبعدی، ظرفیت باربری پی‌های حلقوی و دایره‌ای واقع بر خاک ماسه‌ای مسلح‌شده به وسیله‌ی سامانه مهارشبکه بررسی شود؛ مطابق شکل ۱ مهارها از المان‌های مکعبیه ابعاد ۱×۱×۱ سانتی‌متر که بر روی نوارهایی به طول ۵ سانتی‌متر که با زاویه‌ی تقریبی ٤٥ درجه به شبکه ژئوگرید متصل شده‌اند، ساخته شده است . هم مهار ها و هم شبکه با خواص پلی اتیلن مدل می‌شوند.

۲- مدلسازی عددی

مطابق شکل (۱) که تصویر شماتیک سامانه‌ی تسلیح مهار شبکه را نشان می‌دهد 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 لایه‌های مهار شبکه متوالی برابر با h و عمق کل تسلیح برابر با "d=u+(N-1)h" است. عرض موثر مهارها نیزc، است. ابتدا ظرفیت باربری نهایی[3] در حالت غیرمسلح برای پی حلقوی و پی دایره‌ای با قطرخارجی برابر به دست آمده و سپس تاثیر پارامترهای مختلف تسلیح بر ظرفیت باربری پایانی بررسی می‌شود.



شکل (۱)- چیدمان شماتیک سامانه تسلیح مهارشبکه

نرم‌افزار اجزای محدود پلاکسیس یکی از کارآمدترین برنامه‌های عددی برای آنالیز رفتار، تغییر شکل و پایداری در پروژه‌های مهندسی ژئوتکنیک است. مدلسازی به وسیله‌ی

1 Geogrid
2Plaxis

3 Ultimate Bearing Capacity

این نرم افزار المان محدود می‌تواند به صورت کرنش صفحه‌ای[4] یا تقارن محوری[5] 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 دایره ای و با بارگذاری متقارن استفاده می‌شود. در این حالت ترتیب بارگذاری پیرامون محورمرکزی است، به گونه‌ای تغییر مکان و حالت تنش در هرجهت شعاعی یکنواخت درنظرگرفته می‌شود. ساخت مرحله‌ای قادر است تا شبیه‌سازی واقع گرایانه 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، تغییرمکان 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 تغییرشکل 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_i) ۲، ٤، ٦، ۸، ١٤ و١٦ سانتی‌متر و قطر خارجی(D_o)، 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.

جدول (۱)- پارامترهای استفاده شده در آنالیزهای عددی

پارامتر	واحد	مقدار
چسبندگی c	kPa	۱
زاویه اصطکاک داخلی φ	درجه	۳۸
دانسیته اشباع γ_{sat}	kN/m^3	۱۹/۹۲
دانسیته غیر اشباع γ^{unsat}	kN/m^3	۱۷
مدول الاستیسیته E	kN/m^2	۱۳۰۰۰
ضریب پواسون	υ	۰/۳
مقاومت کششی ژئوگرید	kN/m	۲۰
مقاومت کششی قلاب	kN	۲۵

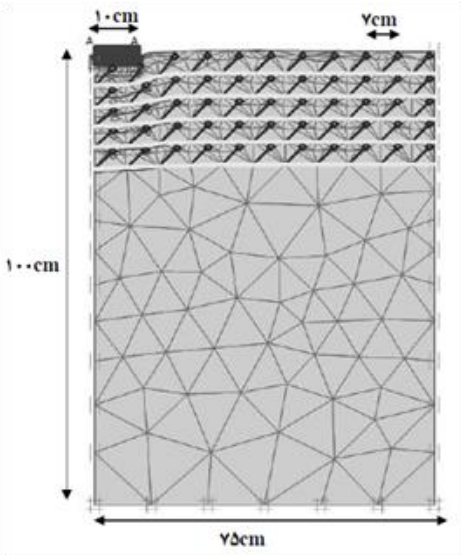
شکل‌های (۲) و (۳) چگونگی المان‌بندی مدل و همچنین کانتورهای تنش زیر پی دایره‌ای مسلح‌شده به وسیله‌ی مهارشبکه را نشان می‌دهند.

روند تحلیل‌ها به این صورت است که ابتدا ظرفیت باربری نهایی خاک غیر مسلح تعیین می‌شود؛ سپس با یک لایه مسلح‌کننده‌ی مهار شبکه (قلاب گذاری شده در تمام سطح با زاویه ٤٥ 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 نیزتعیین 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 مهارشبکه با یکدیگر مقایسه می‌شوند. برای مقایسه نتایج، در این پژوهش از نسبت ظرفیت باربری(BCR) استفاده می‌شود که به صورت زیر تعریف می‌شود:

4 Plane Strain
5 Axisymmetric

$$BCR = \frac{q_{u(R)}}{q_u} \quad (۱)$$

$q_{u(R)}$ بیانگر ظرفیت باربری نهایی خاک مسلح‌شده و q_u مقدار ظرفیت باربری نهایی خاک غیرمسلح است.



شکل (۲)- هندسه نمونه پی دایره‌ای در مدل مهارشبکه تغییرات مش با $h=0.25D_o$, $u=0.25D_o$, $N=5$

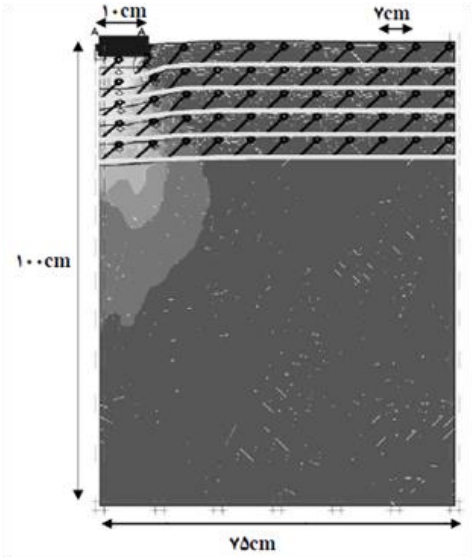
۳- نتایج

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

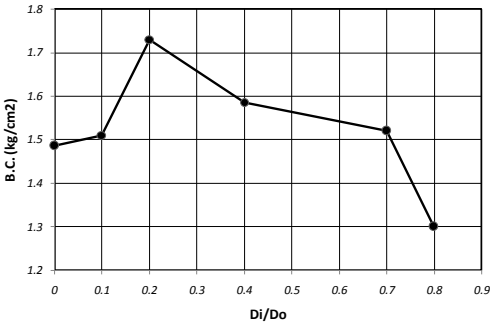
در بخش خاک مسلح، نتایج خود به دو گروه مسلح شده با ژئوگرید معمولی و مسلح شده با مهارشبکه، تقسیم می‌شوند.

۳-۱- خاک غیرمسلح

شکل(٤) مقادیر مختلف ظرفیت باربری را در برابر نسبت قطری D_i / D_o، 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 ۰/٤ بیشترین ظرفیت باربری در حالت غیرمسلح برای پی حلقوی به دست آمده است.



شکل (۳)- هندسه نمونه پی دایره ای در مدل مهارشبکه تغییرتنش با $h=0.25D_o$, $u=0.25D_o$, $N=5$



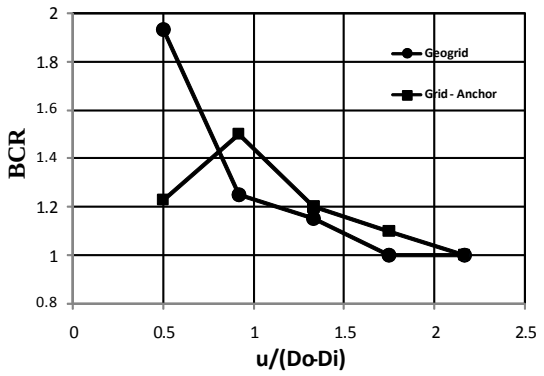
شکل (٤)- تغییرات ظرفیت باربری با نسبت قطر در حالت خاک غیرمسلح

۳-۲-خاک مسلح

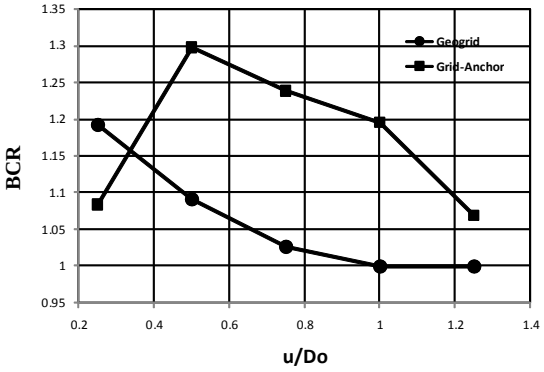
در تحلیلی‌های صورت گرفته در این بخش ابتدا پس از تعیین عمق بهینه اولین لایه مسلح کننده برای دو پی مورد نظر در حالت‌های تسلیح با ژئوگرید و تسلیح با مهارشبکه، بیشینه پهنای موثر مسلح کننده ژئوگرید وبیشینه پهنای موثر مهارها(قلاب‌ها)در سامانه تسلیح مهارشبکه مورد پژوهش قرار می‌گیرد؛آنگاه روی فاصله بهینه‌ی قائم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

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 دایره ای N=1معمولی و مهارشبکه

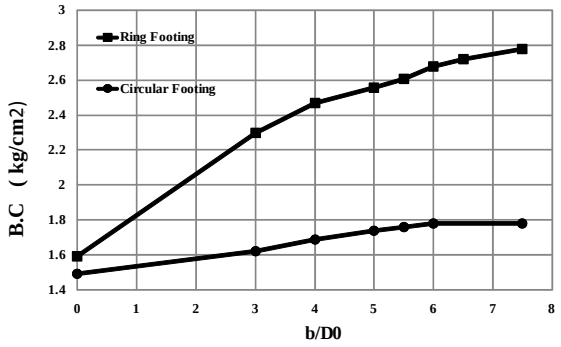
۳-۲-۱- تاثیر عمق اولین لایه مسلح کننده (u)

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 می-شود. با توجه به شکل (۵) مشاهده می‌شود که برای حالت تسلیح با ژئوگرید سنتیدر نسبت $\frac{u}{D_0} = 0.25$ برای پی دایره‌ای ونسبت $\frac{u}{(D_0 - D_i)} = 0.5$ برای پی حلقوی شاهد بیشترین نسبت ظرفیت باربری ودر حالت تسلیح با مهارشبکه بیشترین نسبت ظرفیت باربری در نسبت $\frac{u}{D_0} = 0.5$ برای پی دایره‌ای و $\frac{u}{(D_0 - D_i)} = 0.83$ برای پی حلقوی به دست آمده است.

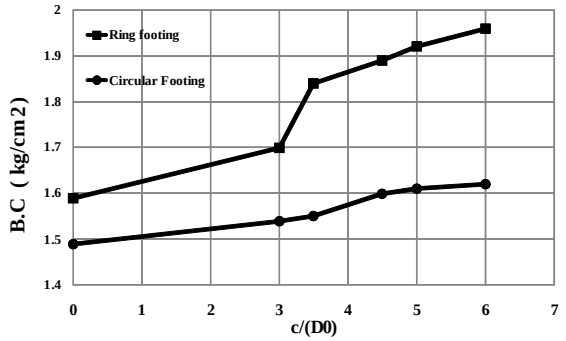
شکل‌ها نشان می‌دهد که سامانه مهار شبکه توانایی بالابردن نسبت ظرفیت باربری بیشتری را در پی‌های حلقوی از خود نشان داده است.

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

با توجه به شکل (٦) مشاهده می‌شود که در نسبت (b/D_o) بیشتر از ٦، افزایش پهنای مسلح‌کننده ژئوگرید معمولی تاثیر چندانی بر روی افزایش ظرفیت باربری نخواهد داشت. همچنین با توجه به شکل (۷) نسبت پهنای قلاب‌گذاری (c/D_o) برای هر دونوع پی حلقوی و دایره‌ای نیز برابرعدد ٦ است.

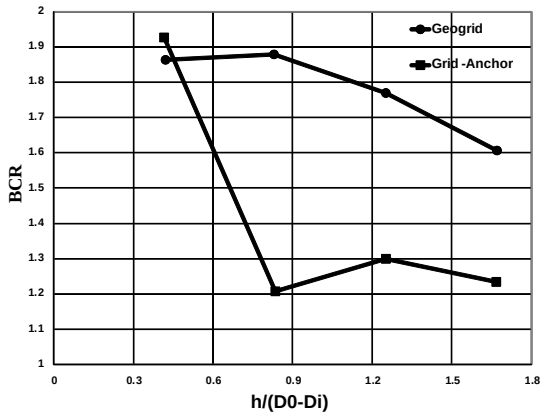


شکل (٦)- تاثیر پهنای ژئوگرید (b) بر افزایش ظرفیت باربری

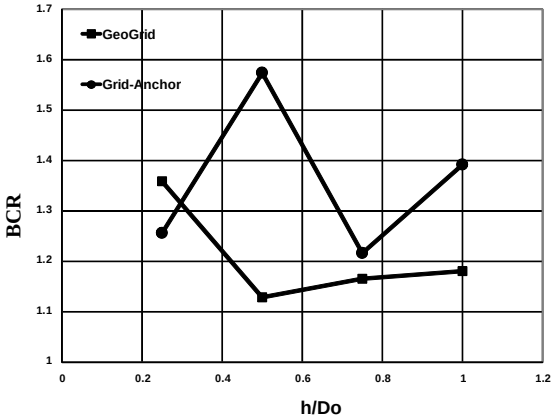


شکل (۷)- تاثیر پهنای قلاب (c) در افزایش ظرفیت باربری

(الف)



(ب)



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

۳-۲-۳- تاثیر فاصله بین مسلح‌کننده‌ها (h)

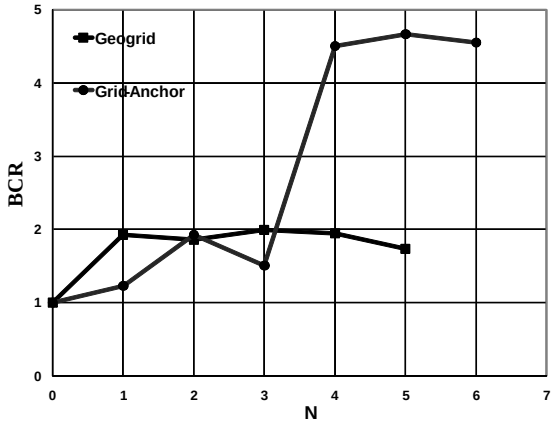
پس از ثابت شدن مقادیر بهینه عمق لایه اول تسلیح، پهنای مسلح کننده وعرض قلابگذاری با استفاده از دو لایه مسلح کننده اقدام به یافتن ارتفاع بهینه بین لایه‌های مسلح کننده شده است.

مطابق شکل (۸) درحالت تسلیح با ژئوگرید معمولی، نسبت فاصله‌ی قائم بهینه بین مسلح‌کننده‌ها برای پی دایره‌ای $\frac{h}{D_0} = 0.25$ و این نسبت برای پی حلقوی $\frac{h}{(D_0 - D_i)} = 0.83$ است. همچنین در حالت تسلیح به وسیله‌ی سامانه مهارشبکه، بیشینه نسبت یاد شده در پی دایره‌ای $\frac{h}{D_0} = 0.5$ و برای پی حلقوی $\frac{h}{(D_0 - D_i)} = 0.42$ است.

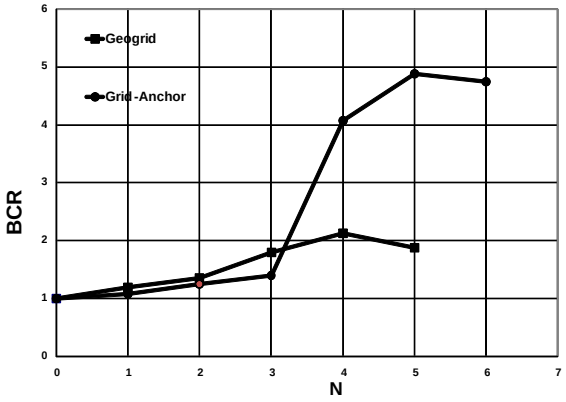
۳-۲-٤- تاثیر تعداد لایه‌های مسلح‌کننده (N)

پس از آنکه پارامترهای b ,c, u, h 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 مهارشبکه 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 مهارشبکه 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 (Do)، است،را اشاره کرد

(الف)



(ب)

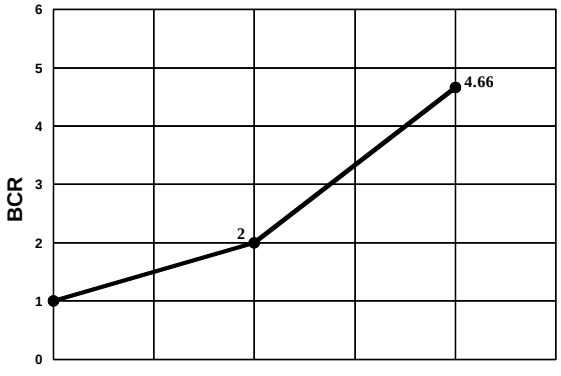


شکل(۹)- تغییرات نسبت ظرفیت باربری با تعداد لایه های تسلیح.
(الف) پی حلقوی (ب) پی دایره‌ای

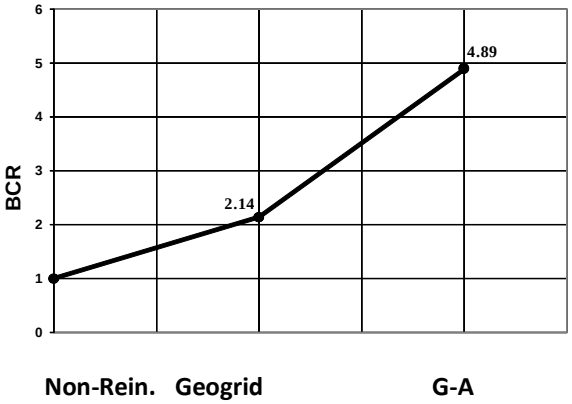
٤- مقایسه سامانه‌های تسلیح

شکل (۱۰) مقایسه بین دو سامانه تسلیح را در پی‌های حلقوی و دایره‌ای نشان می‌دهد. از شکل چنین استنباط می‌شود که سامانه مهارشبکه در پی‌های حلقوی و دایره‌ای به ترتیب قادر به خلق BCR برابر با ٤/٦٦ و ٤/٨٩ است.این که سامانه ژئوگرید معمولی در پی حلقوی قادر است BCR خاک را تنها ۲ برابر و در پی دایره‌ای ۲/١٤ برابر نسبت به خاک غیر مسلح افزایش دهد؛ به آن معناست که سامانه مهارشبکه نسبت به سامانه ژئوگرید معمولی در پی‌های حلقوی BCR را ۲/۳۳ و در پی‌های دایره‌ای ۲/۲۹ برابر افزایش داده است.

(الف)



(ب)

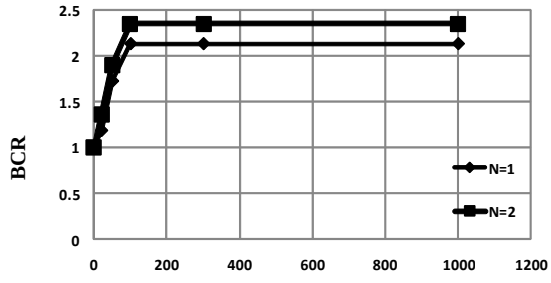


شکل(۱۰)- مقایسه نسبت های ظرفیت باربری خاک
(الف) پی حلقوی (ب) پی دایره ای

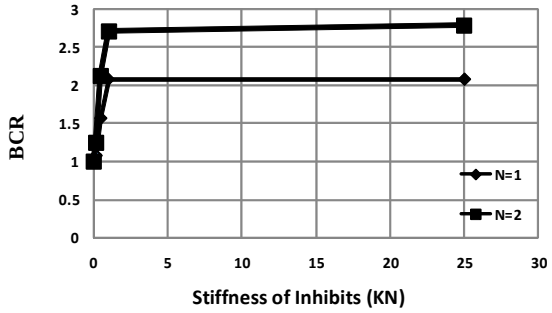
٥-تاثیر سختی کششی مسلح‌کننده و قلابها بر روی ظرفیت باربری

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 ازآن ثابت می‌ماند. بر اساس شکل‌های (۱۱) و (۱۲) مشاهده می‌شود که برای هر دو نوع پی، افزایش سختی مسلح کننده مبنا از ۱۰۰ کیلو نیوتن بر متر مربع و سختی قلاب‌ها از ۲ کیلونیوتن بر متر مربع تاثیر چندانی بر افزایش نسبت ظرفیت باربری نخواهد داشت.

(الف)

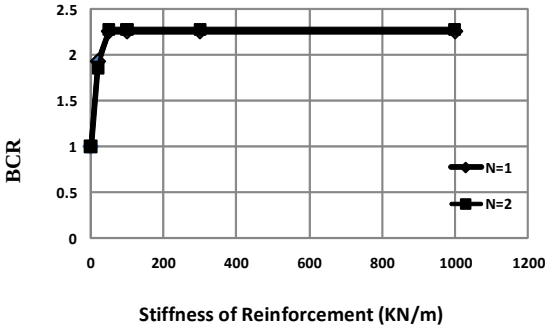


(ب)

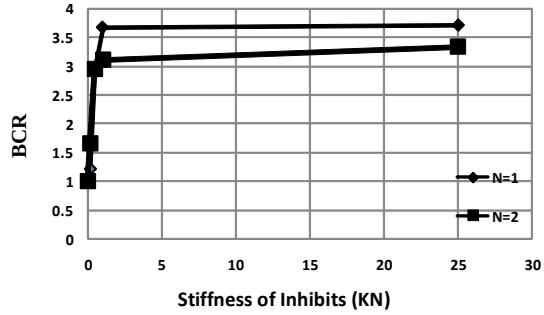


شکل(۱۱)-تغییرات نسبت ظرفیت باربری با (الف)-سختی ژئوگرید و(ب) سختی مهارها در پی دایره‌ای $u=0.25D_O$, $h=0.25D_O$

(الف)



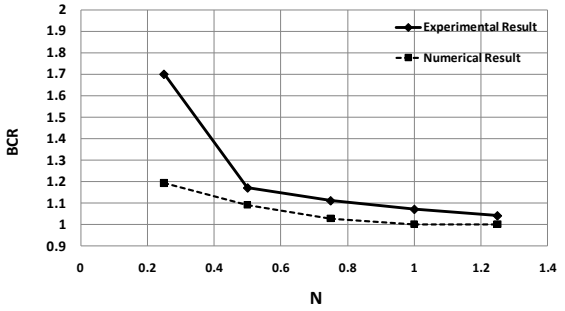
(ب)



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

٦- 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 $1 \times 1 \times 1.5$متر انجام شد [8]. 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 نسبتا 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 مسلح‌شده با سیستم مهارشبکه(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 $\frac{u}{(Do-Di)} = 0.5$ و پی دایره‌ای برابر $\frac{u}{Do} = 0.25$ است. این در حالی است که در تسلیح با سامانه‌ی مهار شبکه این نسبت برای پی‌های حلقوی برابر $\frac{u}{(Do-Di)} = 0.83$ و برای پی‌های دایره‌ای برابر $\frac{u}{Do} = 0.5$ است.

۳. نسبت فاصله‌ی بهینه‌ی بین لایه‌ها در تسلیح با ژئوگرید، برای پی حلقوی برابر $\frac{h}{(Do-Di)} = 0.84$ و پی دایره‌ای برابر $\frac{h}{Do} = 0.25$ است. این در حالی است که در تسلیح با سامانه‌ی مهار شبکه این نسبت برای پی‌های حلقوی برابر $\frac{h}{(Do-Di)} = 0.42$ و برای پی‌های دایره‌ای برابر $\frac{h}{Do} = 0.5$ است.

٤. درسامانه‌ی 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 ofgranular soils, reinforced with innovative Gride-Anchor system."*Geotechnical GeologicalEngineering 26*, pp. 299-312, 2008.

[2] Vidal, K. (1966). "La terre Armee". Anales de l'Institute Technique du Batiment et des Travaux Publiques, Jully- Augest, 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 ofScience and Technology, Transaction B,* Vol.27, pp. 47-56, 2003.

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

[6] Karaulov, A. M. "Experimental and Theoretical research on the bearing capacity of ringfoundation 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."*The12th international conference IACMAG*, pp. 3546-3551, 2008.

[8] امینی، فاروق؛ بازیار، محمدحسین؛ مصلی نژاد، منصور؛ "بررسی افزایش ظرفیت باربری پی حلقوی واقع برخاک‌های ماسه‌ای مسلح شده با مهارشبکه (G-A)"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه یاسوج (۱۳۸۹)