

تعیین درصد بهینه آهک و رس در ستون‌های سنگی از نوع شفته آهکی با استفاده از مطالعات آزمایشگاهی و شبکه عصبی مصنوعی

محمدرضا ملک‌پور^۱، محمدمحسن توفیق^۲

۱- دانشجوی تحصیلات تکمیلی خاک و پی، بخش مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲- دانشیار بخش مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

Reza_Maleckpour@yahoo.com

خلاصه

در این تحقیق، بیش از ۵۰۰ آزمایش مقاومتی به منظور ارزیابی عملکرد ستون‌های سنگی از نوع شفته آهکی برای اصلاح خاک‌های ریزدانه سست، بر روی نمونه‌های استوانه‌ای شکل مرکب از ستون شفته آهکی و خاک اطراف آن انجام گرفته است. ستون شفته آهکی از ترکیب خاک خوب دانه‌بندی شده حاوی درصد‌های مختلف رس و آهک تشکیل شده است. آزمایش مقاومتی بر روی نمونه‌ها در زمان‌های گیرش مختلف و در سه وضعیت رطوبتی متفاوت انجام گرفته است. پس از انجام آزمایش‌ها، از نتایج آنها برای آموزش شبکه عصبی استفاده شده است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که ستون‌های شفته آهکی حاوی ۲۰ درصد آهک و ۲۲ درصد رس، مقاومت خاک‌های ریزدانه را افزایش می‌دهند.

کلمات کلیدی: ستون شفته آهکی، آهک، خاک رس، ظرفیت باربری، شبکه عصبی

مقدمه

خاک طبیعی موجود در محل عملیات ساختمانی همواره به‌طور کامل مناسب برای تحمل سازه مورد نظر نیست. گاهی مواقع در اعماق کم لایه نرم و اشباع رس مشاهده می‌شود که این لایه دارای مقاومت برشی پایین، قابلیت تراکم‌پذیری زیاد، نفوذپذیری کم و حساسیت زیاد می‌باشد، که برحسب بار شالوده و ضخامت این لایه ممکن است نشست قابل توجهی در سازه به‌وجود بیاورد. برای جلوگیری از چنین نشست‌هایی، لازم است تکنیک‌های خاص برای بهبود وضعیت خاک که شامل کاهش نشست و افزایش ظرفیت باربری است، به کار گرفته شود [۱]. یکی از روش‌هایی که اخیراً به‌طور وسیعی برای اصلاح رسوبات نرم و خاک‌های ریزدانه سست مورد استفاده قرار می‌گیرد، ستون‌های سنگی یا شمع‌های دانه‌ای می‌باشد. در کشور ما ایران، در بسیاری از نقاط ساختمان‌هایی با تعداد طبقات کم بر روی خاک‌های ریزدانه سست ساخته می‌شوند، که اصلاح این خاک‌ها با روش‌های مرسوم بسیار پرهزینه بوده و اقتصادی نمی‌باشد. به‌همین منظور استفاده از ستون‌های سنگی به‌علت در دسترس بودن مصالح مورد نیاز با هزینه بسیار کم، ساخت آسان و کارآیی مناسب، می‌تواند اقتصادی باشد.

ستون‌های سنگی موجب افزایش مقاومت خاک‌های سست شده و همچنین نشست به‌وجود آمده در اثر اعمال بار ناشی از احداث ساختمان بر روی این خاک‌ها را کاهش می‌دهند. در خاک‌های رسی اشباع، این ستون‌ها به‌عنوان زهکش عمل نموده و سرعت تحکیم را افزایش می‌دهند، همچنین ستون‌های سنگی احتمال روانگرایی به‌وجود آمده در اثر زلزله در خاک‌های ریزدانه غیر چسبیده شل را کاهش می‌دهند [۲]. مقاومت خاک‌های اصلاح شده با ستون‌های سنگی از ترکیب مقاومت خاک و ستون سنگی تامین می‌شود و یا به عبارت دیگر، مقاومت برشی خاک اصلاح شده، از چسبندگی خاک رس (C) و زاویه اصطکاک داخلی ستون سنگی (ϕ) حاصل می‌شود. این ستون‌ها را می‌توان به صورت خطی برای حمایت دیوارهای حایل و پی‌های نواری و یا به‌صورت گروهی در شبکه‌های مربعی و مثلثی، برای تقویت پی‌های گسترده مورد استفاده قرار داد [۳].

نصب ستون‌های سنگی یا شمع‌های دانه‌ای به‌صورت متراکم کردن مصالح دانه‌ای نظیر شن و ماسه و یا مخلوطی از آنها در داخل خاک سست صورت می‌پذیرد. در جاهایی که مصالح فوق کمیاب باشند و یا آهک به‌وفور یافت شود و نیاز به افزایش سرعت تحکیم در لایه رسی وجود نداشته باشد و همچنین هدف از اصلاح خاک‌های ریزدانه، کاهش نشست و افزایش ظرفیت باربری در آنها باشد، می‌توان از ستون‌های سنگی از نوع شفته آهکی استفاده کرد. این ستون‌ها از اختلاط خاک خوب دانه‌بندی شده و درصدی آهک در حضور آب تشکیل می‌شوند [۴].

۱- دانشجوی تحصیلات تکمیلی دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲- دانشیار بخش مهندسی عمران دانشگاه شهید باهنر کرمان

این تحقیق تاثیر ستون‌های سنگی از نوع شفته‌آهکی را به منظور اصلاح خاک‌های رسی نرم را با استفاده از بررسی‌های آزمایشگاهی مورد مطالعه و ارزیابی قرار می‌دهد.

مشخصات مصالح مصرفی و برنامه‌ریزی آزمایشگاهی

به منظور مطالعه آزمایشگاهی اصلاح خاک‌های ریزدانه سست با استفاده از ستون‌های سنگی از نوع شفته‌آهکی، آزمایش CBR بر روی سه نمونه مختلف ساخته شده به شرح زیر انجام گرفته است:

نمونه‌های رسی

ابتدا به منظور تعیین مقاومت زمین اصلاح نشده، نمونه‌هایی از خاک رس ساخته شده است. خاک رس مورد استفاده در نمونه‌ها از محل پروژه‌ای واقع در شهر کرمان با مشخصات ذکر شده در جدول (۱) تهیه شده است. این نمونه‌ها با تراکم محل و با رطوبت طبیعی محل در ظرف آزمایشی دارای قطر و ارتفاعی به ترتیب برابر ۲۰ و ۸ سانتی‌متر ساخته شدند. بعضی از نمونه‌ها بلافاصله پس از ساخت با همان رطوبت طبیعی محل مورد آزمایش قرار گرفتند. سری دوم نمونه‌ها پس از آنکه خشک شدند، تحت آزمایش قرار گرفتند. برخی دیگر از نمونه‌ها به مدت ۹۶ ساعت در آب قرار داده شده و سپس آزمایش شدند. مقادیر CBR به دست آمده از آزمایش‌ها برای سه حالت رطوبتی فوق به ترتیب ۵، ۳۳ و ۲ می‌باشد.

جدول (۱) مشخصات فیزیکی و مکانیکی خاک رس

Depth(m)	G_s	LL	PL	W (%)	γ_d (kg/m ³)
0.4-0.8	2.70	40	19	11	1301
1.2- 1.4	2.72	42	19.5	12	1334
2.6- 2.8	2.73	45	21	13.5	1405
3.2- 3.4	2.75	47	23	14	1450
Average	2.725	43.5	20.6	12.6	1372.5

نمونه‌های شفته‌آهکی

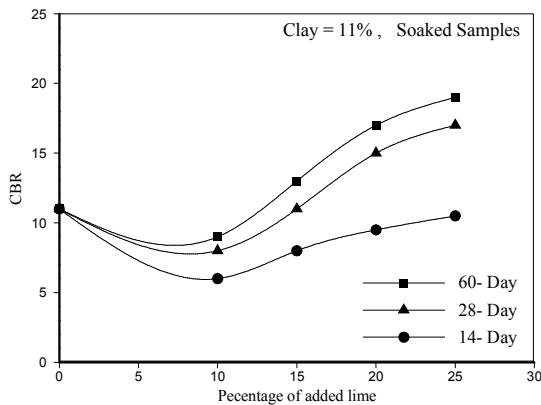
جهت تعیین مقاومت خود ستون‌ها، نمونه‌های شفته‌آهکی با درصد‌های گوناگون آهک و رس ساخته شده و پس از زمان‌های گیرش ۱۴، ۲۸ و ۶۰ روزه در دو وضعیت رطوبتی متفاوت، یعنی به صورت خشک و خیس مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. خاک مورد استفاده در ستون‌های شفته‌آهکی، خاک خوب دانه‌بندی شده می‌باشد که از منطقه اختیارآباد واقع در شهر کرمان تهیه شده است. این خاک با در نظر گرفتن قطر ستون شفته‌آهکی و با توجه به ضوابط مشابه مربوط به حداکثر قطر دانه‌ها در ستون‌های بتنی، پس از رد شدن از الک ۴ مورد استفاده قرار گرفته است. چگالی دانه‌های جامد، ضریب یکنواختی و ضریب دانه‌بندی برای این خاک به ترتیب ۲/۷۶، ۱۰/۶۸ و ۱/۹۶ می‌باشد.

نمونه‌های مرکب

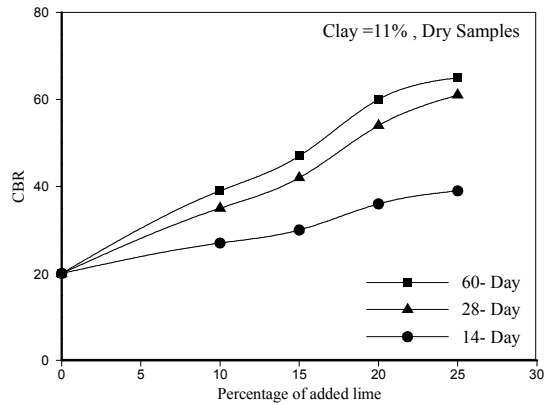
پس از ساخت، آزمایش و مقایسه نتایج نمونه‌های خاک رس و نمونه‌های شفته‌آهکی، به منظور بررسی عملکرد توام خاک رس و ستون شفته‌آهکی، و مدل سازی آزمایشگاهی زمین اصلاح شده با استفاده از این ستون‌ها، نمونه‌هایی به صورت مرکب از هر دوی آنها ساخته شده است. نحوه ساخت این نمونه‌ها بدین ترتیب بود که ابتدا خاک رس با تراکم طبیعی محل و رطوبت طبیعی محل در ظرف آزمایشی دارای قطر و ارتفاعی به ترتیب برابر ۲۰ و ۸ سانتی‌متر کوبیده شده و پس از آن، از مرکز خاک کوبیده شده قسمتی استوانه‌ای شکل با قطر و ارتفاع، به ترتیب ۳ و ۷ سانتی‌متر برداشته شده و شفته‌آهکی جایگزین آن گردیده است. کوچک انتخاب کردن نسبت مساحت A_p (نسبت قطر ستون سنگی به قطر خاک رس اطراف آن) به دلیل از بین بردن اثر جداره‌های ظرف آزمایش در نمونه‌های مرکب بوده و دقیقاً به همان منظور، ارتفاع ستون شفته‌آهکی یک سانتی‌متر کوچک‌تر از ارتفاع ظرف آزمایش در نظر گرفته شده است، تا ستون شفته‌آهکی از پایین به جداره زیرین ظرف آزمایش نچسبد و تحت بار اعمالی، به راحتی بتواند تغییر شکل دهد. نمونه‌های ساخته شده در این مرحله نیز طی شرایط رطوبتی مختلف مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. سری اول نمونه‌ها پس از سپری شدن زمان‌های گیرش ۱۴، ۲۸ و ۶۰ روزه به صورت خشک آزمایش شده‌اند. سری دوم نمونه‌ها پس از ساخت به منظور حفظ رطوبت طبیعی خاک رس اطراف آن در داخل محافظ‌های پلاستیکی نگهداری شده و پس از طی شدن زمان‌های گیرش مذکور بلافاصله بعد از باز کردن محافظ پلاستیکی، تحت آزمایش CBR قرار گرفته‌اند. سری سوم نمونه‌ها پس از زمان‌های گیرش ۱۴، ۲۸ و ۶۰ روزه به مدت ۹۶ ساعت در آب قرار داده شده و سپس به صورت خیس مورد آزمایش قرار گرفته‌اند.

نتایج آزمایش‌ها انجام گرفته شده

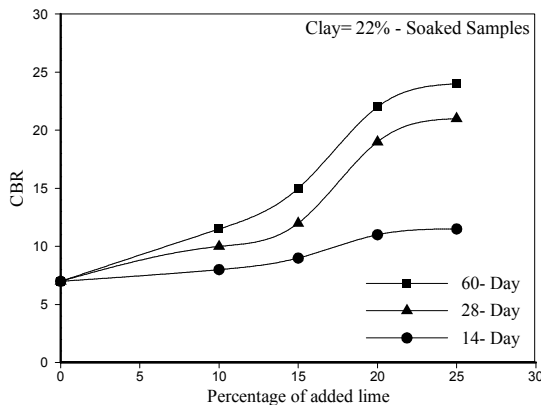
نتایج آزمایش‌های انجام گرفته شده بر روی نمونه‌های شفته‌آهکی، به صورت مقادیر CBR در مقابل درصد آهک افزوده شده، برای دو حالت خشک و خیس، در شکل‌های (۱) تا (۴) نشان داده شده است. نمونه‌های شفته‌آهکی نمایش داده شده در شکل‌های (۱) و (۲) دارای ۱۱ درصد وزنی رس و نمونه‌های نشان داده شده در شکل‌های (۳) و (۴) حاوی ۲۲ درصد وزنی رس می‌باشند.



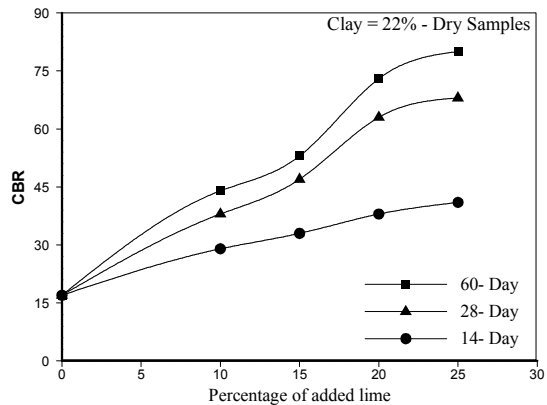
شکل ۲- رابطه بین عدد CBR و درصد آهک افزوده شده در نمونه‌های شفته‌آهکی در حالت خیس



شکل ۱- رابطه بین عدد CBR و درصد آهک افزوده شده در نمونه‌های شفته‌آهکی در حالت خشک



شکل ۴- رابطه بین عدد CBR و درصد آهک افزوده شده در نمونه‌های شفته‌آهکی در حالت خیس

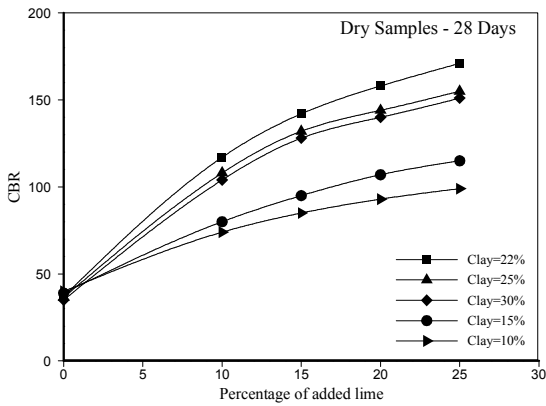


شکل ۳- رابطه بین عدد CBR و درصد آهک اضافه شده در نمونه‌های شفته‌آهکی در حالت خشک

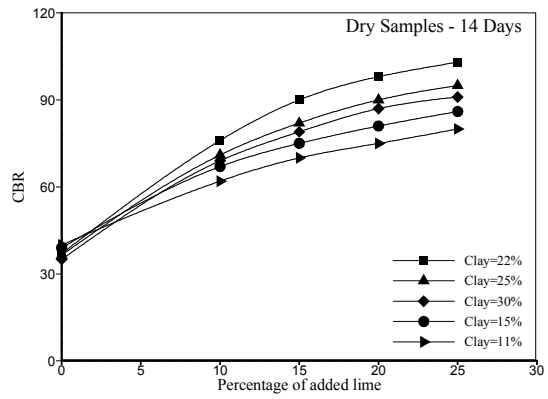
نتایج آزمایش‌های نمایش داده شده در شکل‌های (۵) تا (۷)، رابطه بین عدد CBR و درصد آهک افزوده شده را، در نمونه‌های مرکب آزمایش شده در وضعیت کاملاً خشک، به ترتیب برای زمان‌های گیرش ۱۴، ۲۸ و ۶۰ روزه نشان می‌دهند. مقدار رس موجود در ستون‌های شفته‌آهکی در این نمونه‌ها، از ۱۱ درصد تا ۳۰ درصد متغیر بوده است.

شکل (۸) با استفاده از داده‌های مربوط به شکل (۷) رسم گردیده است و نحوه تاثیر تغییرات مقدار رس را بر روی مقاومت نمونه‌ها برای زمان گیرش ۲۸ روزه به‌خوبی نشان می‌دهد.

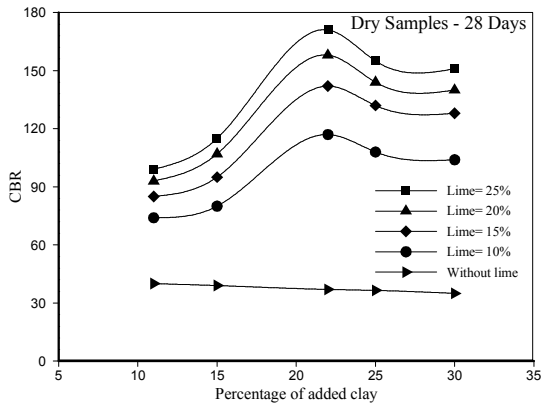
برای بررسی رفتار واقعی زمین برای حالتی که خاک رس اطراف ستون سنگی دارای رطوبت طبیعی محل باشد، آزمایش‌هایی بر روی نمونه‌هایی انجام گرفته شده است که این نمونه‌ها پس از ساخت، در داخل محافظ‌های نایلونی نگهداری شده و بعد از طی شدن زمان‌های گیرش ۱۴، ۲۸ و ۶۰ روزه، پس از باز کردن محافظ نایلونی مورد آزمایش قرار گرفته شده‌اند. نتایج به‌دست آمده برای این نمونه‌ها در شکل‌های (۹) تا (۱۱) نشان داده شده است.



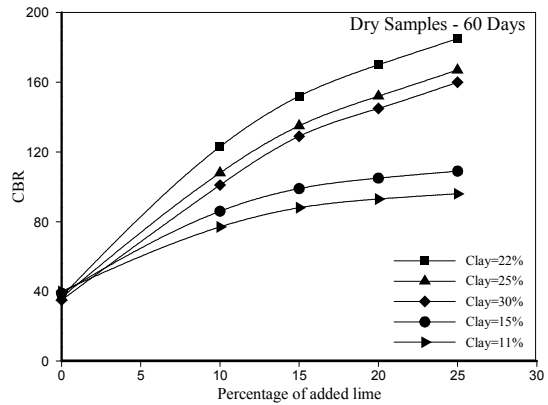
شکل ۶- رابطه بین عدد CBR و درصد آهک افزوده شده در نمونه‌های مرکب در حالت خشک و برای زمان گیرش ۲۸ روزه



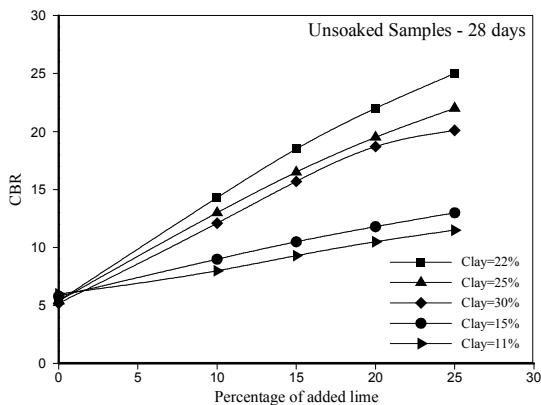
شکل ۵- رابطه بین عدد CBR و درصد آهک افزوده شده در نمونه‌های مرکب برای حالت خشک و برای زمان گیرش ۱۴ روزه



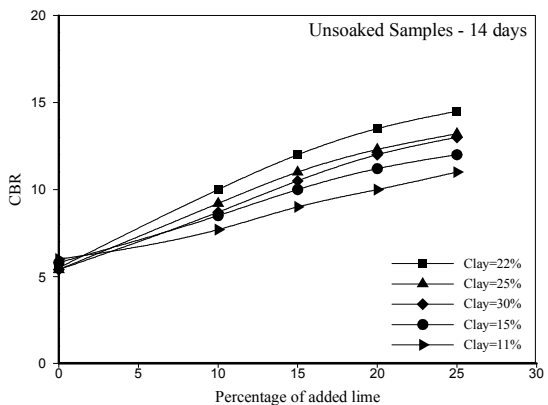
شکل ۸- رابطه بین عدد CBR و درصد رس افزوده شده در نمونه‌های مرکب در حالت خشک و برای زمان گیرش ۲۸ روزه



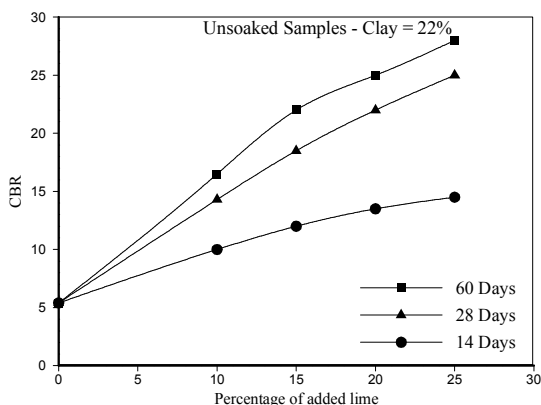
شکل ۷- رابطه بین عدد CBR و درصد آهک افزوده شده در نمونه‌های مرکب در حالت خشک و برای زمان گیرش ۶۰ روزه



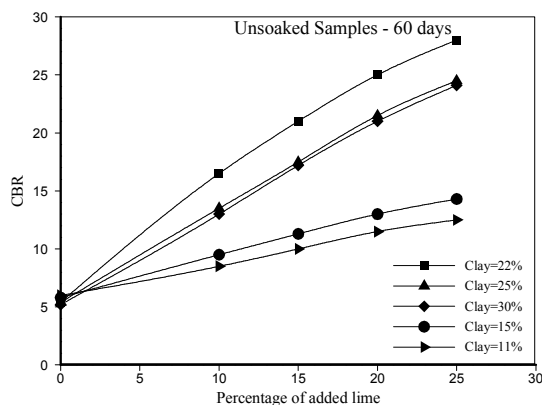
شکل ۱۰- رابطه بین عدد CBR و مقدار آهک افزوده شده برای ستون‌های مرکب در حالت غیر اشباع برای زمان گیرش ۲۸ روزه



شکل ۹- رابطه بین عدد CBR و درصد آهک افزوده شده در نمونه‌های مرکب در حالت غیر اشباع برای زمان گیرش ۱۴ روزه



شکل ۱۲- رابطه بین CBR و درصد آهک افزوده شده در نمونه‌های مرکب در حالت غیر اشباع

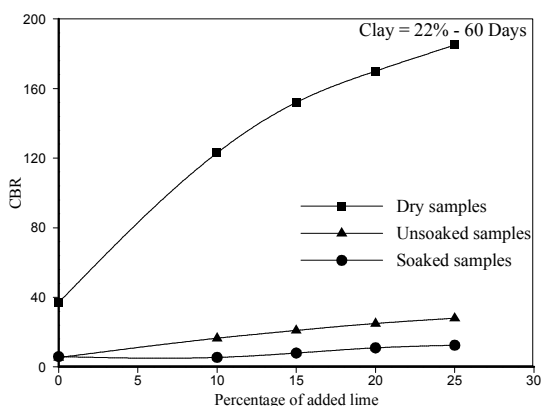


شکل ۱۱- رابطه بین CBR و مقدار آهک افزوده شده برای ستون‌های مرکب در حالت غیر اشباع برای زمان گیرش ۶۰ روزه

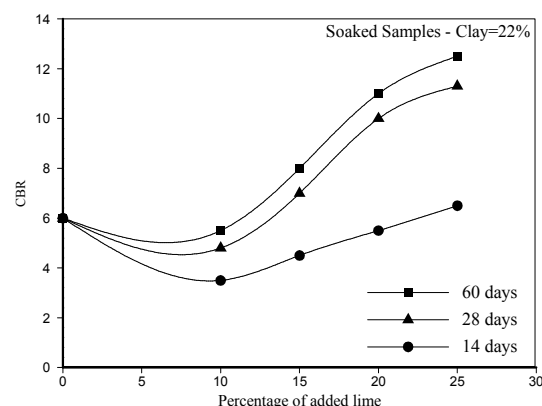
شکل (۱۲) تغییرات عدد CBR را با تغییرات مقدار درصد آهک افزوده شده، به ازای ۲۲ درصد رس و زمان‌های گیرش مختلف در حالت غیر اشباع نشان می‌دهد.

نتایج به دست آمده از آزمایش‌های CBR انجام گرفته شده بر روی نمونه‌های مرکب از ستون شفته‌آهکی و خاک اطراف آن در حالت خیس (۹۶ ساعت مانده در آب) در شکل (۱۳) نمایش داده شده است. در این نمونه‌ها، با استفاده از نتایج آزمایش‌های قبلی، درصد رس ستون‌های شفته‌آهکی مقدار بهینه آن، یعنی ۲۲ درصد انتخاب گردیده است.

با استفاده از نتایج آزمایش‌های فوق، شکل (۱۴) یک جمع‌بندی کلی را به ازای درصد بهینه رس و مقاومت بلند مدت نمونه‌ها نشان می‌دهد.



شکل ۱۴- رابطه بین CBR و درصد آهک افزوده شده در نمونه‌های مرکب برای زمان گیرش ۶۰ روز



شکل ۱۳- رابطه بین CBR و درصد آهک افزوده شده در نمونه‌های مرکب در حالت خیس

تجزیه نتایج آزمایشگاهی

همان‌طور که نتایج بالا نشان داد و همچنان که قبلاً بحث شد، ستون‌های سنگی از نوع شفته‌آهکی را می‌توان برای اصلاح خاک‌های ریزدانه سست مورد استفاده قرار داد. استفاده از این ستون‌ها در زمین‌های سست باعث می‌شود که نشست سازه در اثر بارهای وارده کمتر شود و ظرفیت باربری خاک افزایش یابد.

از نتایج آزمایشگاهی فوق استنباط می‌شود که با افزایش درصد آهک، مقاومت نمونه‌ها و مقادیر CBR متناظر با آنها افزایش می‌یابد، ولی این افزایش مقاومت برای آهک بیشتر از ۲۰ درصد چشمگیر نبوده و توجیه اقتصادی ندارد. البته باید توجه داشت که میزان آهک به کار رفته در ستون‌های شفته‌آهکی به میزان ریزدانه خاک خوب دانه‌بندی شده نیز بستگی دارد و هر چقدر حجم قسمت ریزدانه خاک زیاد باشد، برای افزایش مقاومت، آهک بیشتری مورد نیاز است.

یکی دیگر از عواملی که موجب افزایش مقاومت نمونه‌ها می‌شود، افزایش میزان رس موجود در خاک خوب دانه‌بندی شده به کار رفته در ستون‌های شفته‌آهکی می‌باشد. افزایش مقدار رس تا ۲۲ درصد موجب بالا رفتن مقدار CBR نمونه‌ها شده و بیشتر از آن مقدار، از مقاومت نمونه‌ها کاسته است. افزایش مقاومت نمونه‌ها با اضافه شدن میزان رس را می‌توان به واکنش شیمیایی بین آهک و رس و در نتیجه تغییر بافت‌های خاک‌های رسی و تمایل به جفت شدن آنها با همدیگر و تشکیل مصالح سمناسیون ارتباط داد. از طرف دیگر با افزایش میزان رس، ذرات کوچک‌تر رسی بین دانه‌های درشت‌تر قرار گرفته و جسم یک‌پارچه و توپری را تشکیل می‌دهند. اضافه شدن بیش از ۲۲ درصد رس، موجب کاهش خاک‌های دانه‌ای در ستون شفته‌آهکی گردیده و مقاومت نمونه‌ها را کاهش می‌دهد.

زمان گیرش نیز بر مقاومت نمونه‌ها تاثیر داشته و نمونه‌های ساخته شده پس از سپری شدن ۲۸ روز از زمان ساخت آنها، تقریباً مقدار زیادی از مقاومت خود را کسب می‌کنند، به طوری که اختلاف اعداد CBR برای زمان‌های گیرش ۲۸ روزه و ۱۴ روزه بیشتر از آن برای زمان‌های گیرش ۲۸ روزه و ۶۰ روزه می‌باشد. برای زمان گیرش ۱۴ روزه، مقاومت نمونه‌ها کم بوده و با افزایش میزان آهک و رس، افزایش مقاومت نمونه‌ها به کندی صورت می‌پذیرد، ولی برای زمان‌های گیرش ۲۸ روزه و ۶۰ روزه، مقاومت نمونه‌ها با افزایش درصد آهک و رس، تغییرات قابل توجهی دارد.

عامل دیگری که در آزمایش‌های بالا مورد توجه گرفت، میزان رطوبت نمونه‌ها در حین آزمایش بود. هنگامی که نمونه‌ها به صورت خشک مورد آزمایش قرار می‌گیرند، به علت خشک و مقاوم بودن خاک رس اطراف ستون‌ها، مقاومت بسیار زیادی (حتی بیشتر از نمونه‌های متناظر شفته‌آهکی) از خود نشان می‌دهند. با قرار دادن نمونه‌ها به مدت ۹۶ ساعت در آب قبل از آزمایش، مقاومت آنها به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد. همان‌طور که قبلاً هم ذکر شد، این اختلاف مقاومت زیاد نمونه‌ها در دو حالت خشک و خیس برای نمونه‌های مرکب، به علت مقاومت ناچیز رس‌ها در حالت اشباع می‌باشد. البته خود ستون‌های شفته‌آهکی برای آنکه بهتر بتوانند خود را بگیرند و مقاوم شوند، به هوای گرم و مرطوب نیاز دارند، ولی در جاهایی که در معرض آب هستند و رطوبت زیاد است، هیچ‌وقت سخت نگشته و بعد از مدتی فاسد شده و حالت خمیری به خود می‌گیرند.

شبکه عصبی مصنوعی

در این قسمت با توجه به نتایج آزمایشگاهی بدست آمده برای نمونه‌ها، شبکه‌های عصبی آموزش داده شده است، به طوری که بتوان با استفاده از شبکه‌های آموزش دیده، مقدار CBR را برای نمونه‌های حاوی متغیرهای متعدد بدست آورد. نمونه‌های مطالعه شده در این فصل توسط شبکه عصبی در دو گروه طبقه‌بندی شده‌اند: گروه اول؛ نمونه‌های خشک و گروه دوم؛ نمونه‌های غیر اشباع می‌باشند.

از آنجایی که نرم‌افزار Matlab توانایی لازم برای طراحی و آموزش شبکه‌های عصبی را دارا می‌باشد، از این خاصیت نرم‌افزار Matlab بهره جسته و تمامی شبکه‌های عصبی در این نرم‌افزار طراحی شده است. جهت آموزش شبکه‌های عصبی از شبکه تابع بنیادی شعاعی^۱ و شبکه عصبی رگرسیون توسعه یافته^۲ استفاده شده است. در محیط برنامه‌نویسی نرم‌افزار Matlab می‌توان با به کار بردن دستور newrbe یک تابع بنیادی شعاعی و با به کار بردن دستور newgrnn یک تابع رگرسیون توسعه یافته را طراحی نمود. صورت کاربردی دستورات ذکر شده در بالا، به صورت رابطه‌های (۱) و (۲) بیان می‌شود [۵، ۶ و ۷]:

$$\text{net} = \text{newrbe}(P, T, \text{SPREAD}) \quad (1)$$

$$\text{net} = \text{newgrnn}(P, T, \text{SPREAD}) \quad (2)$$

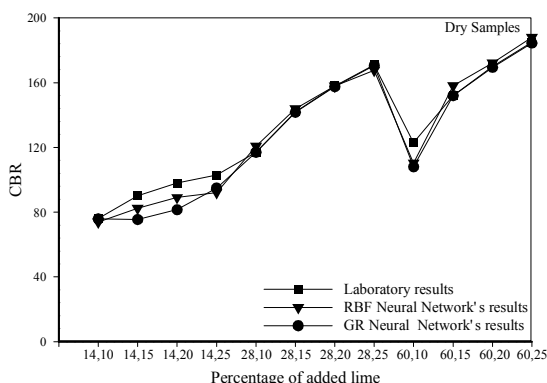
در رابطه‌های فوق، P ماتریس بردارهای ورودی که شامل درصد آهک، درصد رس و زمان گیرش بوده و T ماتریس بردارهای هدف یا مقادیر CBR می‌باشد و SPREAD پارامتر توسعه شبکه می‌باشد که نقش بسیار مهمی در بهبود قابلیت تعمیم شبکه دارد. برای اینکه بتوان از شبکه عصبی طراحی شده استفاده کرد، باید نسبت به آموزش آن اقدام نمود. بدین منظور باید خروجی‌های شبکه را به ازای بردارهای ورودی جدید، که شبکه سابقه برخورد با آنها را ندارد، شبیه‌سازی نمود. برای این کار از دستور رابطه (۳) استفاده می‌شود:

$$\text{out} = \text{sim}(\text{net}, q) \quad (3)$$

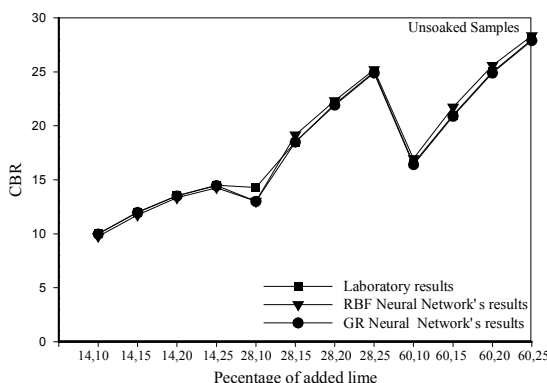
در رابطه بالا q ماتریس بردارهای ورودی، net شبکه آموزش دیده و out ماتریس بردارهای خروجی می‌باشد. در این تحقیق مدل‌های گروه اول و دوم با استفاده از هر دو شبکه عصبی تابع بنیادی شعاعی و رگرسیون توسعه یافته آموزش داده شده است. مقدار خطای متوسط شبکه آموزش دیده در مدل‌های گروه اول، برای شبکه‌های عصبی تابع بنیادی و رگرسیون توسعه یافته، به ترتیب برابر ۰/۴۵۵ و ۰/۴۵۶ و این مقادیر برای مدل‌های گروه دوم برابر ۰/۲۱۶۸ و ۰/۱۳۵ می‌باشد، که خطای قابل قبول در استفاده از شبکه‌های عصبی می‌باشد. مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج بدست آمده از شبکه‌های عصبی آموزش دیده در شکل‌های (۱۵) و (۱۶) نمایش داده شده است.

1- Radial Basis Function Neural Network (RBFNN)

2- Generalized Regression Neural Network (GRNN)



شکل ۱۶- مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج به دست آمده از شبکه عصبی برای نمونه‌های غیر اشباع



شکل ۱۵- مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج به دست آمده از شبکه عصبی برای نمونه‌های خشک

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

بر اساس نتایج آزمایشگاهی و بحث‌های ارائه شده نتایج زیر را می‌شود استنباط کرد:

- ۱- استفاده از ستون‌های سنگی از نوع شفته‌آهکی موجب افزایش ظرفیت باربری و کاهش نشست زمین‌های ریزدانه سست می‌شود.
- ۲- افزایش درصد آهک ستون‌های شفته‌آهکی نمونه‌های مرکب، موجب افزایش مقاومت نمونه‌ها می‌شود. تغییرات مقاومتی نمونه‌ها، ابتدا با افزایش درصد آهک، چشمگیر بوده ولی برای آهک‌های بیشتر از ۲۰ درصد، تغییرات مقاومتی قابل توجه نمی‌باشد. البته مقدار آهک موجود در ستون‌های شفته‌آهکی به مقدار رس خاک خوب دانه‌بندی شده هم بستگی دارد و هر چقدر مقدار رس در خاک خوب دانه‌بندی شده بیشتر شود، برای کسب نتیجه بهتر به مقدار زیادی آهک نیاز می‌باشد.
- ۳- افزودن رس به خاک خوب دانه‌بندی شده موجب افزایش مقاومت نمونه‌های مرکب اصلاح شده با ستون‌های سنگی از نوع شفته‌آهکی می‌گردد. این افزایش مقاومت اولاً: به واکنش شیمیایی آهک با سیلیس خاک رس ارتباط دارد که تاب شفته‌آهکی را افزایش می‌دهد و دلیل دیگر این‌که با افزایش میزان رس، ذرات ریز رسی در لابلای دانه‌های درشت‌تر قرار گرفته و ستون شفته‌آهکی محکم و توپری را تشکیل می‌دهند. افزایش بیش از ۲۲ درصد رس، به دلیل کاهش وزنی دانه‌های درشت، موجب کاهش مقاومت نمونه‌ها می‌شود.
- ۴- رطوبت تاثیر قابل توجهی بر مقاومت نمونه‌های اصلاح شده با ستون‌های شفته‌آهکی داشته و مقاومت آنها را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد. عمده‌ترین دلیل این تغییرات مقاومتی، اختلاف بیش از اندازه مقاومت خاک رس در رطوبت‌های متفاوت می‌باشد.
- ۵- مقایسه نتایج به دست آمده برای نمونه‌های اصلاح شده با ستون‌های شفته‌آهکی و نمونه‌های اصلاح نشده، نشان داد که ستون‌های شفته‌آهکی حاوی ۲۰ درصد آهک و ۲۲ درصد رس، مقاومت خاک‌های رسی سست را در وضعیت رطوبتی خشک، غیر اشباع و خیس، به ترتیب ۶، ۵ و ۶ برابر افزایش می‌دهند.

فهرست منابع و مراجع

۱. داس، براجا، اصول مهندسی ژئوتکنیک، جلد دوم: مهندسی پی، ترجمه شاپور طاحونی، چاپ ششم، انتشارات پارس آیین تهران، تابستان ۱۳۸۰
2. Gung, X. L., Wen, F. H. (2000) Interaction between columns inclusion and surrounding soil in composite ground. *Lowland Technology International*, 2, 23-34
۳. زمردیان، م.، و اوریا، ا.، تعیین پارامترهای ژئوتکنیکی خاک‌های اصلاح شده با ستون‌های سنگی بر اساس نتایج SPT، سومین همایش بین‌المللی مهندسی ژئوتکنیک و مکانیک خاک ایران، تهران، ۱۸ تا ۲۰ آذر ۱۳۸۱
۴. توفیق، م.، ملک‌پور، م.، ر.، مطالعه آزمایشگاهی اصلاح خاک‌های ریزدانه سست با استفاده از ستون‌های سنگی از نوع شفته‌آهکی، سومین کنگره ملی مهندسی عمران، ایران، تبریز، ۱۱ تا ۱۳ اردیبهشت ۱۳۸۶
۵. حیدری، ع.، تحلیل تقریبی سازه‌ها در برابر زلزله با روش‌های بهینه‌سازی پیشرفته، پایان‌نامه دکتری، بخش عمران، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ۱۳۸۲.
6. Berke, I. and P. Hajela, (1992) Neural Networks in Structural Mechanics. *Journal of Structural Optimization*, 4, 90-98
7. Szweczyk, Z. and P. Hajela, (1993) Neural Network Approximations in a Simulated Annealing Based Optimal Structural Design. *Journal of Structural Optimization*, 5, 159-165