@bsgroup

تثبیت خاک و مصالح شنی با آهک در طرح روسازی

مهندس اسمعیل تیموری.کارشناس عمران ـ عمران ،عضو باشگاه پژوهشگران جوان
مهندس موسی تیموری یانسری .کارشناسی عمران ـ عمران مؤسسهٔ غیرانتفاعی لامعی گرگان،عضو باشگاه پژوهشگران جوان

چکیده:
باتوجه به حضورگسترده خاک های ریزدانه رسی در سطح کشور،مشکلات زیادی در پایداری بسترپروژه های عمرانی وجود دارد؛که نیازمندتثبیت قبل ازساخت وساز بوده است.هدف اصلی از تثبیت خاک این است؛که بتوان مقاومت خواسته شده را با ضخامت کمتری تأمین کرد. تثبیت خاک ومصالح شنی روشی است؛که در راهسازی به منظور بهبود کیفیت مصالح بکار می رود؛تا مصالحی با مشخصات مناسب برای بکار بردن در لایه های روسازی بدست آید. عواملی که برای انتخاب نوع ماده تثبیت کننده مدنظر قرار داده ایم؛عبارتند از:شرایط جوی منطقه،جنس خاک،نوع کاربرد، هزینه عملیات ، وفور وسهولت استفاده درخاک ومیزان بارگذاری وبهره برداری بستگی دارد.دراین مقاله به خصوصیات خاک ومصالح تثبیت شده با آهک از قبیل؛تراکم پذیری،دوام،مقاومت و ... پرداخته شده است.نتایج حاصله ازآزمایش ها ومطالعات تأثیر فوق العاده آهک بر مقاومت خاک رس بوده است؛که با توجه به درصد مورد استفاده از لحاظ اقتصادی در پروژه های عمرانی مقرون به صرفه خواهد بود.درصدهای آهک به صورت صفر درصد،۶ درصد،۱۰درصد و۱۴ درصد بوده،زمان های عمل آوری نمونه ها طبق برنامه زمان بندی صفر روزه،۱۴روزه و۲۸ روزه که پس از پایان زمان مورد نظر ، آزمایش مقاومت فشاری برروی آنها انجام شده است.علاوه برآن نمونه هایی به عنوان نتایج زود رس(جوشاندن داخل آب در دمای۱۰۰ درجه سانتی گراد به مدت ۸ ساعت) مورد آزمایش قرار گرفته اند.بررسی نتایج مقاومت فشاری تک محوری تحت زمان های عمل آوری مختلف با درصدهای آهک متفاوت نشان می دهد؛که تامرحله افزایش۱۰ درصد آهک مقاومت فشاری ـ نمونه ها پس ازمدت۲۸ روز افزایش محسوسی داشته است.این افزایش ناشی از وجود واکنش های انجام شده بین آهک و خاک رس وچسبیدن ذرات به یکدیگر وگیرش آهک بوده است.از طرفی افزودن۱۴درصد آهک باعث افزایش کمی در مقاومت فشاری نمونه ها می شود؛که این به علت اشباع شدن فضای خالی خاک از آهک است؛که در نتیجه وجود آهک بیشتر در روند افزایشی مقاومت ضمن افزایش هزینه نمونه کار ساز نیست.

کلید واژه ها:
تثبیت خاک ،مصالح شنی،آهک،روسازی

مقدمه

خاک های ریزدانه رسی باتوجه به حضورگسترده ای که در سطح کشورمان دارند،مشکلات زیادی را در پایداری بستر پروژه های عمرانی ایجاد کرده اندکه نیازمندتثبیت قبل ازساخت و سازبوده است.برای تثبیت خاک ازمواد تثبیت کننده مختلفی نظیرسیمان،آهک،قیر، کلروکلسیم یاسدیم استفاده می شود.در راهسازی از خاک و مصالح سنگی تثبیت شده با آهک برای ایجاد خاکریزها و ساختن لایه های اساس و زیراساس وخاک بستر روسازی راه و راه آهن و فرودگاه استفاده می شود.تثبیت خاک عمدتاً به دلایل زیر انجام می شود:[۳]

۱. بهبود مشخصات فنی خاک ها(لایه های اساس،زیر اساس و رویه)
۲. اصلاح خاک های نرم وکم مقاومت
۳. تثبیت خاک،کاهش رطوبت و یا کاهش گرد و خاک
۴. ترمیم وبازسازی روسازی های فرسوده شدهٔ راه ها و غیره
۵. عوامل جوی (یخبندان و ...)

بطورکلی هدف اصلی ازتثبیت خاک این است؛که با تثبیت بتوان مقاومت خواسته شده را با ضخامت کمتری تأمین کرد.تثبیت خاک با مصالح شنی روشی است؛که در راهسازی به منظور بهبود کیفیت مصالح بکار می رود؛تا مصالحی با مشخصات مناسب برای بکار بردن در لایه های روسازی بدست آید.وقتی خاک[محل[احداث[[از نظر کارشناس فنی نامرغوب تشخیص داده شده باشد،باید اقدام به تغییر مسیر راه نمود.ولی اگر بنا به عللی امکان تغییر مسیر راه و یا تعویض خاک میّسرنباشد؛بایدروش تثبیت خاک از نظر اقتصادی مورد بررسی قرارگیرد.و تعیین مقدار یا درصد تثبیت خاک به کمک آزمایش مقاومت ودوام انجام شود. [۱۰ ،۷]

یکی از مؤثرترین روش های بهبود کیفی مشخصات فنی خاک های رسی که استفاده ازآن متداول است؛بهره گیری ازآهک است. تثبیت خاک رس به وسیله آهک به معنای ترکیب ومخلوط کردن آهک با رطوبت بهینه به صورت هیدروکسید کلسیم(آهک شکفته و یا آهک زنده...)با خاک رس ومتراکم کردن این مخلوط است ، که عمل تثبیت خاک رس به علت واکنش های شیمیایی رس و آهک است.واصولاً آهک با بیشترخاک های رسی دارای خواص خمیری بالا واکنش شیمیایی خوبی خواهد داشت. [۸]

متداولترین آهکی که معمولاً برای پایدار نمودن خاک های ریزدانه مورد استفاده قرار می گیرند؛عبارتند از:آهک شکفته، $Ca(OH)_2$)، آهک شکفته،دولومیت$mgo.2(Ca(OH$))،آهک زنده وآهک زنده دولومیتی.فرآیندتثبیت خاک رس با آهک مشابهتثبیت با سیمان است؛ با این تفاوت که آهک در تثبیت خاک های دانه ای بدون رس و محتوی مواد آلی(موادآلی باعث کندشدن هیدراسیون می شوند) بی تأثیراست[۴].دراین مقاله آهک مورد استفاده به صورت پودر، نشکفته وعبوری ازالک نمره۴۰ به میزان ۱۴درصد بوده و همچنین خاک رس مورد استفاده ازنوع معمولی مورد مصرف کارهای عمرانی وعبوری از الک نمره ۴۰ بوده است.

عوامل انتخاب نوع ماده تثبیت کننده

انتخاب نوع ماده تثبیت کننده به عوامل زیادی ازقبیل؛ شرایط جوی منطقه،جنس خاک،نوع کاربرد،هزینه عملیات، وفور وسهولت استفاده درخاک و میزان بارگذاری وبهره برداری بستگی دارد.برای تثبیت خاک از مواد تثبیت کننده نظیر سیمان، آهک،قیر،کلروکلسیم و یا سدیم استفاده می شود [۷].

تأثیر درصد آهک در مقاومت فشاری خاک رس

آنچه در این مقاله مورد ارزیابی قرار می گیرد؛تأثیر افزودن آهک به خاک رس است؛که از طریق آزمایش مقاومت فشاری محدود نشده(تک محوری)مورد مطالعه قرار می گیرد. نتایج حاصله از آزمایش ها ومطالعات تأثیر فوق العاده آهک برمقاومت خاک رس بوده است؛که با توجه به درصد مورد استفاده ازلحاظ اقتصادی در پروژه های عمرانی مقرون به صرفه خواهد بود.

خصوصیات خاک و مصالح تثبیت شده با آهک

۱.تراکم

تراکم خاک های تثبیت شده با آهک از ارزش بالایی برخوردار است.قابل توجه است؛که درنظرداشته باشید؛کنترل نتیجه عمل تثبیت در کارگاه بر اساس وزن مخصوص انجام می شود.درصد رطوبت و وزن مخصوص خشک را می توان از جمله مشخصات مربوط به تراکم مخلوط خاک و آهک به شمار آورد.

بـا توجه به اینکه در مباحـث مربوط به تراکم،درصد رطوبت بهینه از اهمیت بالایی برخوردار اسـت.با افزایش درصد رطوبت بهینه فشـار آب حفره ای افزایش قابل ملاحظه را از خودنشـان می دهد، در نهایت این امر باعث پدید آمدن لغزش ویا ناپایداری شـیروانی ها خواهد شـد.با مقایسه دو نمونه آزمایشگاهی شکل(۱) مشاهده می کنید؛که مخلوط خاک با ۴ درصدآهک نسبت به خاک طبیعی دارای درصد رطوبت بهینه کمتری است؛ بنابراین احتمال ایجاد پدیده لغزش در آن بسیارکمتر ازنمونه ای است؛که حاوی خاک طبیعی است [۷،۳].

۲.دوام

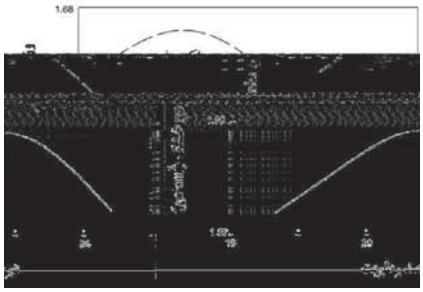
هدف اصلی از دوام خاک های تثبیت شـده با آهک مقاومت آنها در برابر تکرار یخبندان ـ ذوب یخ اسـت.تأثیر دراز مدت رطوبت بر این مصالح معمولاً خیلی شـدید نیسـت ونسـبت مقاومت نمونه های اشباع شده درآب به مقاومت فشاری نمونه های اشباع نشده بین ۰,۷۰ تا ۰,۸۵ است.خاک های تثبیت شده با آهک در اثر یخبندان ـ ذوب قسمتی از مقاومت خود را از دست می دهند.مقاومت خاک های تثبیت شده با آهک در مقابل یخبندان ـ ذوب به مقاومت فشاری اولیه آنها بستگی دارد.وهر اندازه که مقاومت فشاری آن بیشتر باشد، در مقابل یخبدان ـ ذوب مقاوم تراست.وکاهش مقاومت آن نیز کمتر است (شکل(۲)).

اگر خاک تثبیت شـده از نوع خاک های واکنش دهنده با آهک باشـد؛مقاومت اولیه زیاد آن اثر کاهش مقاومت در برابر این پدیده را جبران می کند[۷].

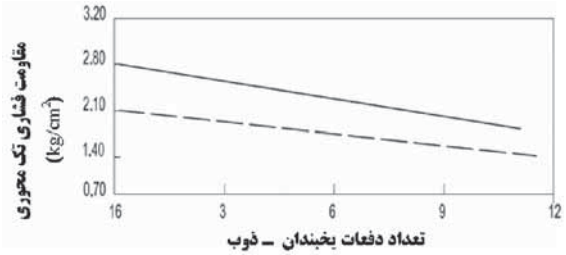
۳. مقاومت

ارزیابی مقاومت خاک های تثبیت شـده باآهک می تواند؛با انجام آزمایش های مختلفی انجام گیرد.متداولترین ایـن آزمایش هـا عبارتند از؛آزمایش نسـبت باربـری کالیفرنیا(CBR)،آزمایش فشـاری محدود نشـده (تک محوری)،آزمایش کشش غیرمستقیم وآزمایش سه محوری[۷].

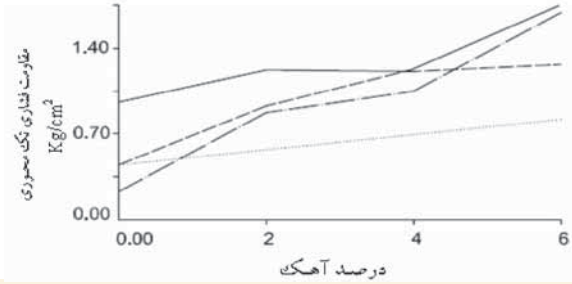
الف)مقاومت آنی :معمولاً بلافاصله پس از اضافه کردن آهک به خاک مقاومت و اسـتقامت خاک به میزان محسوسـی افزایش می یابد(شـکل(۳)).این افزایش آنی مقاومت حرکت ماشـین آلات راهسازی را بر روی آن

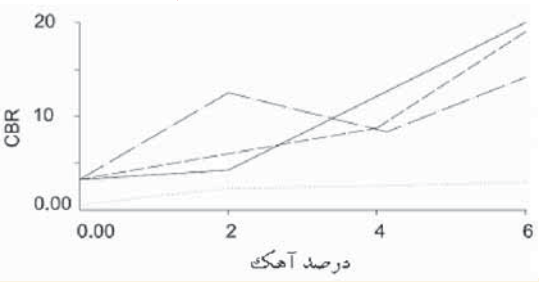


شکل۱. تأثیر آهک بر منحنی تراکم یک نمونه خاک



شکل۲. تأثیر دفعات یخبندان ـ ذوب یخ بر مقاومت نمونه خاک تثبیت شده با آهک

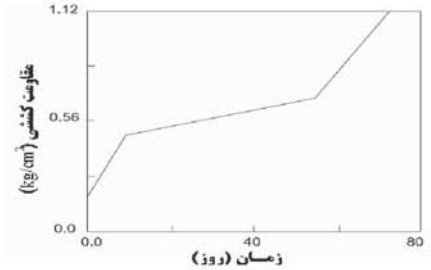




تسهیل نموده وخاک برای اجرای روسازی آماده است[۷].

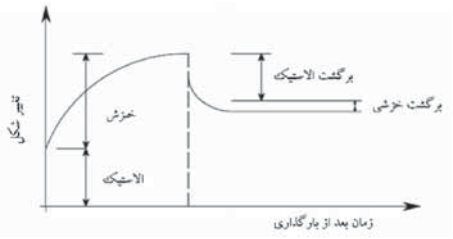
ب)مقاومت درازِ مدت :مقاومت فشاری تک محوری خاک های ریزدانه که در درصد بهینه،متراکم می شـوند؛معمولاً بین ۱,۷۰تا بیش از ۲۰ کیلوگرم بر سـانتی مترمربع متغییر اسـت.وبه جنس خاک بسـتگی دارد.آزمایش های انجام شـده برنمونه های خاک اصلاح شـده با آهک،نشان داده که این خـاک هـا پس از اختلاط بـا ۵ درصدآهک وعمل آمدن به مدت ۷۵ روز درگرمای ۵۰ درجه سـانتی گراد مقاومت متوسطی برابر با۱۱۰ کیلوگرم برسانتی مترمربع داشته اند (شکل(۴)). نتایج بدست آمده درعمل نشـان می دهد؛که افزایش مقاومت خاک های تثبیت شـده باگذشـت زمان ادامه می یابد. ودربرخی موارد این افزایش مقاومت تا بیش از۱۰ سال نیز به طول می انجامد.

تفاضل عددی مقاومت فشاری خاک طبیعی و مقاومت خاک تثبیت شده با آهک به عنوان نشانه ای از درجه واکنش پوزولانی مخلوط خاک وآهک به کارمی رود.افزایشِ قابل توجه مقاومت خاک نشانه ای ازواکنش خاک وآهک بوده و مؤید این امر است؛ که خاک احتمالاً قابل تثبیت با آهک است.و می توان از این روش برای اسـتفاده از خاک در روسـازی استفاده نمود.تعیین مقاومت کششی خاک های تثبیت شـده با آهک که در لایه های روسـازی به کار می روند از اهمیت ویژه ای برخوردار است.زیرا لایه های اینگونه مصالح به علت داشتن مقاومت زیاد همانند یک دال عمل می کنند.



شکل٤. مقاومت کششی یک نمونه خاک رس تثبیت شده با ۵ درصد آهک

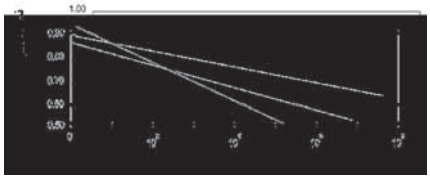
شکل۵. اثر بارداری در روی نمودار خزش



٤.خستگی

پدیده خستگی پدیده ای است؛که درمصالح ویسکوزیته به وجود می آید.با افزودن آهک عمرخستگی افزایش می یابد.و مقاومت طولانی تری دربرابر تکرار بارگذاری ازخود نشان می دهد (شکل(۵)).

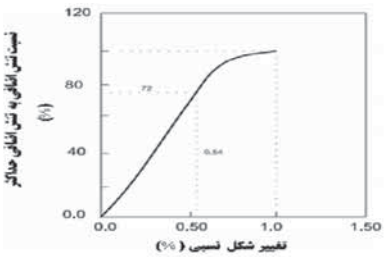
درشـکل(۶) نتایج آزمایش خسـتگی خمشـی برروی چند نمونه خاک تثبیت شـده نشـان داده شده اسـت؛که این منحنی ها بسـیار شـبیه به منحنی های خسـتگی بتن و دیگر مصالح سـیمانی است. اسـتقامت خسـتگی نمونه ها درآزمایش برای۵میلیـون دفعه بارگذاری بیـن ۴۱ تا۶۶درصد مقاومت خمشی نهایی آنهاست؛که متوسط آن۵۴ درصد گردیده است.لازم به یادآوری است؛که چون مقاومت خاک های تثبیت شده با آهک با گذشت زمان و گرمای محیط افزایش می یابد؛ لذا اگرتنش های به وجود آمده دراین مصالح درهربارگذاری مقدار ثابتی باشد؛ نسبت این تنش ها به مقاومت نهایی مصالح با گذشت زمان کاهش می یابد.ودر نتیجه تعداد دفعات بارگذاری بیشتر می شود[۱۰،۱۱].



شکل٦. منحنی خستگی چند نمونه خاک رسی تثبیت شده با آهک

۵.تنش ـ کرنش

خاک های تثبیت شـده با آهک باید به منظور بررسـی تحلیل رفتار آنها در لایه های روسازی دارای منحنی تنش ـ کرنش(تغییرات تنش و تغییر شـکل نسبی)باشند(شـکل(۷)).خاک های تثبیت شده با آهک دارای تنش نهایی بیشـتر وکرنش(تغییرشـکل نسبی)کمتری نسـبت به خاک خالص هستند. درشکل (۸) اثرچشمگیر افزایش تنش به ازای کرنش نمونه تثبیت شده با درصد وزنی ۵ درصد ومدت زمان۴۸ ساعت ودمای ۵۰ درجه سانتیگراد عمل آوری شده است،نشان داده شده است.[۳،۷].



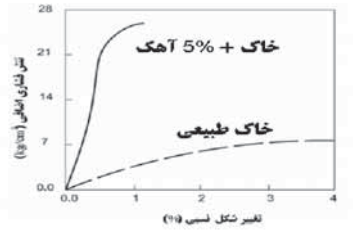
شکل۷. منحنی مشخصهٔ تنش ـ کرنش خاک های ریزدانه تثبیت شده با آهک

شکل۸ . تأثیر آهک بر منحنی تنش ـ کرنش یک نمونه خاک

طرح خاک تثبیت شده با آهک

منظور ازطرح خاک تثبیت شـده باآهک تعیین درصد آهک مناسب برای خاک بامشخصات معین که درشرایط مشخصیجباید بکار رود، است.تعیین درصد آهک به وزن خشک خاک پس از بررسی تأثیر آهک برمشخصات فنی مورد نظر مصالح تثبیت شده انجام می شود. مشخصات فنی که مورد بررسی قرارمی گیرد؛بستگی به هدف از عمل تثبیت دارد و به طور کلی عبارتند از:

حدود اتربرگ،قابلیت تورم،مقاومت مصالح قبل وبعد ازعمل آمدن، مقاومت مصالح تثبیت شده به روشِ باربری کالیفرنیا و یا آزمایش فشاری تک محوری تعیین می شود.طرح خاک تثبیت شده باآهک معمولاً شامل آماده کردن نمونه ها،عمل آوردن آنها،انجام آزمایش های لازم وانتخاب معیار طرح و بالاخره تعیین درصد آهک مناسب است. آماده کردن مخلوط های خاک و آهک به این ترتیب انجام می شود؛که ابتدا



مقدار معین خاک و آهک با یکدیگرمخلوط شـده وسـپس به مقدار مورد نیازجبه آن آب اضافه می شـود؛که وبه خوبی مخلوط می شـوند؛تا کاملاً یکدست شـوند.دراغلب روش ها، مخلوط های خاک وآهک دردرصد رطوبت بهینه؛تهیه می شـوند.که این درصد ازآزمایش تراکم اسـتاندارد آشتو به دسـت می آید.معمولاً مخلوط خاک وآهک پس از اختلاط به مدت یک سـاعت و یا بیشـتر به حال خود رها می شوند؛تا جا بیافتند. وسـپس برروی نمونه ها آزمایش اتربرگ صورت می گیرد.

نمونـه هـا باید قبل ازانجـام آزمایش عمل آورده شـوند؛عمل آوردن نمونه ها معمولاً به مـدت معینی درگرمای محیط آزمایشگاه ویا در درجه حرارت های بالاتر انجام می شود.چون نحوه عمل آوردن نمونه ها درنتایج آزمایشات تأثیر زیادی دارد.از این رو نباید بین نمونه هایی که شـرایط عمل آوری آنها متفاوت اسـت؛قیاس کرد.از نظر هدف وتثبیت خاک آنها را به دو گروه تقسیم می کنند: [۷،۳]

۱. گروه اول شـامل روش هایی اسـت که؛ هدف ازتثبیت خاک کاهش خواص خمیری،کاهش تورم ویا افزایش مقاومت آنی است.

۲. گروه دوم شامل روش هایی است که؛درآنها هدف از تثبیت خاک افزایش مقاومت و دوام مصالح است.

اجرای تثبیت خاک با آهک

در۳۰سـال گذشـته پیشرفت های چشم گیری در اجرای شفته آهکی بوده اسـت.در اثر تحقیقات دانشمندان کشور های مختلف که چندی پیش فقط دو دسـتگاه برای تثبیت خاک با آهک بود، امروزه بیش از۲۰نوع ماشـین آلات دراثر تولید روش های مختلف برای تثبیت آهک وجود دارد.روش و وسـایلی که برای تثبیت خاک با آهک بکارمی رود؛بسـتگی به عوامل زیادی ازقبیل: جنس خاک ،درجه تثبیت خاک، پیچیدگی مسأله،مسـائل مربوط به محیط زیسـت و مشـخصات روسازی دارد[۷].

تأثیر درصد آهک در مقاومت فشاری خاک رس

تأثیرجافزودن آهک به خاک رس است؛که ازطریق آزمایش مقاومت فشاری محدود نشده(تک محوری)مورد مطالعه قرار می گیرد.نتایج حاصله ازآزمایش ها ومطالعات تأثیر فوق العاده آهک برمقاومت خاک رس بوده است؛که با توجه به درصد مورد استفاده ازجلحاظ اقتصادی در پروژه های عمرانی مقرون به صرفه خواهد بود.نحوی آزمایش به ترتیبی است؛که ابتدا خاک با آهک وآب به خوبی با یکدیگر مخلوط شـده وسـپس با استفاده از روش تراکم آشتو نمونه های استوانه ای شـکل شاخته می شود.میزان آب مورد استفاده برای ساختن نمونه ها برابر درصد رطوبت بهینه است. نمونه های بدست آمده به مدت ۲ روز در گرمای۵۰ درجه سانتی گراد عمل آورده شده و سپس تحت آزمایش فشاری تک محوری قرار می گیرد.دربعضی از آئین نامه ها برای آنکه خاک تثبیت شده با آهک به عنوان لایه اساس روسازی ها قابل استفاده باشد، باید مقاومت فشـاری تک محوری مصالح پس ازآن که به مدت ۲ روز درگرمای ۵۰ درجه سـانتی گرادججعمل آورده شد؛لااقل ۱۰،۵۰ کیلوگرم برسانتی مترمربع باشد.این مقدار برای مصالحی که در لایه زیر اساس مصرف می شودحداقل۷ کیلوگرم برسانتی مترمربع است [۹،۷].

جدول ۱. حداقل مقاومت فشاری خاک تثبیت شده با آهک(kg/cm۲)

جدول (۱) حداقل مقاومت فشاری خاک تثبیت شده با آهک(kg/cm^2)

مورد استفاده		پس از اولین زمستان	پس از روز نگهداری در آب	تعداد دفعات یخبندان ـ ذوب یخ پیش بینی شده در اولین زمستان		
				۳	۷	۱۰
خاک بستر اصلاح شده		۱،۴۰	۳،۵۰	۳،۵۰	۶،۳۰	۸،۴۰
زیر اساس روسازی های بتنی		۱،۴۰	۳،۵۰	۳،۵۰	۶،۳۰	۸،۴۰
زیر اساس روسازی های	۲۵	۲،۱۰	۴،۲۰	۴،۲۰	۷	۹،۱۰
آسفالتی،با ضخامت لایه	۲۰	۲،۹۰	۴،۹۰	۴،۹۰	۷	۹،۸۰
های روی زیر اساس(سانتی متر)	۱۲،۵	۴،۲۰	۶،۳۰	۶،۳۰	۹،۱۰	۱۱،۲۰
اساس		۷	۹،۱۰	۹،۱۰	۱۱،۹۰	۱۴

تهیه نمونه ها

نمونه ها درسـه لایه،که هرلایه با ۲۵ ضربه متراکم شـده،با درصد رطوبت بهینه تهیه می شود.درصدهای آهک به صورت۶ درصد، ۱۰درصد و۱۴ درصد بوده،زمان های عمل آوری نمونـه هـا طبق برنامه زمان بندی صفـر روز،۱۴ روز و ۲۸ روزکه پس از پایان زمان مورد نظر ،آزمایش مقاومت فشاری بر روی آنها انجام شده است.برای جلوگیری ازخشک شدن نمونه ها درطی مدت زمان عمل آوری هرنمونه را داخل سلفون پیچانده و در داخل ظرف آب قرار داده شـده است. علاوه بر زمان های فوق نمونه هایی هم در داخل آب جوش در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد و به مدت ۸ ساعت جوشانیده وبه عنوان نتایج زود رس مورد آزمایش قرار گرفته اند [۸،۹].

نتایج حاصل ازمصرف آهک در خاک رس

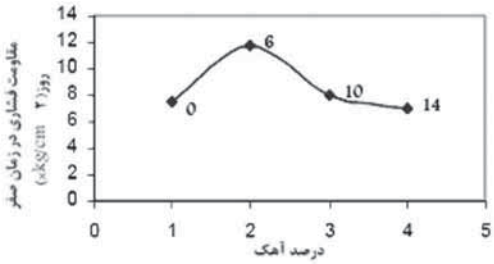
ازعوامل اصلی افزایش مقاومت نمونه ها،زمان عمل آوری اسـت؛ که باعث تکمیل شـدن فعل وانفعالات شـیمیایی بین آهک خاک رس می گردد.درشکل های(۹)تا(۱۲)تأثیر زمان عمل آوری بر روی مقاومت فشـاری تک محوری نشـان داده شده است.طبق شکل های مربوطه هرچه زمان آوری بیشـتر باشـد؛مقاومت فشـاری افزایش می یابد.بررسـی نتایج مقاومت فشـاری تـک محوری تحت زمان های عمـل آوری مختلف با درصدهای آهک متفاوت(جدول۲)نشـان می دهد؛که تا مرحله افزایش۱۰ درصد آهک مقاومت فشـاری ـ نمونه ها پس از مدت۲۸ روز افزایش محسوسـی داشـته است.این افزایش ناشی از وجود واکنش های انجام شـده بین آهک وخاک رس وچسبیدن ذرات به یکدیگر وگیرش آهک بوده اسـت.از طرفی افـزودن ۱۴ درصد آهک باعث افزایش کمی درجمقاومت فشـاری نمونه ها می شـود؛که این به علت اشـباع شـدن فضای خالی خاک از آهک است؛ که در نتیجه وجود آهک بیشـتردر روند افزایشـی مقاومت ضمن افزایش هزینه نمونه کار سـاز نیست [۱].

دمای بالا نیز درعمل آوری،باعث افزایش مقاومت فشـاری خاک شده است.ولی به سبب جلوگیری از اتصالات شـیمیایی آهک و رس در عمل،آزمایش های نمونه های جوشانیده شـده درحالت عادی ،نتایـج پایین تری داشـته اند.یکی دیگر از اثرات اسـتفاده از آهک درخاک رس کاهش نفوذپذیری خاک اسـت. هرچه میزان درصد آهک کمتر باشد افزایش نفوذپذیری بیشـتر خواهد بود.از طرفی با افزایش سـن نمونه ها میزان نفوذپذیری کاهش می یابد [۱].

آهک همچنین دردوام و پایداری خواص مکانیکی خاک تأثیرگذار اسـت.چون نفوذپذیری بـا مصرف ۶درصـد و۱۰ درصد کاهش مـی یابد.لذا دوام وثبات کیفـی خواص مکانیکی توسـعه خواهد یافت.هرچقدر مقاومت فشـاری وبه عبارتی دوام و پایداری خاک بیشـتر باشـد؛مقاومت در برابرپدیده یخبندان ـ ذوب یخ بیشـتر خواهدبود.افزایش زمان نیز باعث می شود؛مشخصات فنی خاک بهبود یافته وازمقاومت بالایی برخوردار شود [۲].

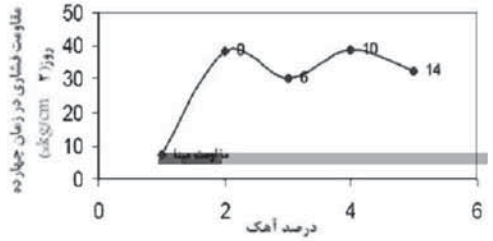
جدول ۲. مقاومت فشاری تک محوری تحت زمان های عمل آوری مختلف با درصدهای آهک متفاوت

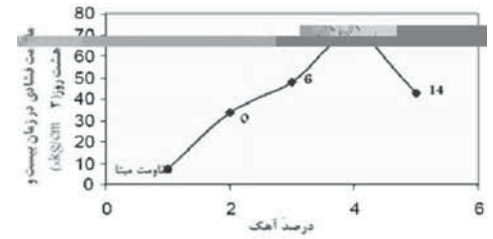
درصد آهک	مقاومت صفر روزه (kg/m^2)	مقاومت ۱۴ روزه (kg/m^2)	مقاومت ۲۸ روزه (kg/m^2)	مقاومت ۱۰۰ درجه (kg/m^2)
صفر درصد	۷،۵	–	–	–
۶ درصد	۱۱،۵۰	۳۰،۱۰	۴۷،۷۸	۲۵،۳۷
۱۰ درصد	۸	۳۹	۷۰،۱۲	۳۲،۱۳
۱۴ درصد	۷	۳۲،۲۵	۴۲،۵۸	۱۸،۳۲



شکل۹. تأثیر زمان عمل آوری بر روی مقاومت فشاری(در زمان صفر روز)

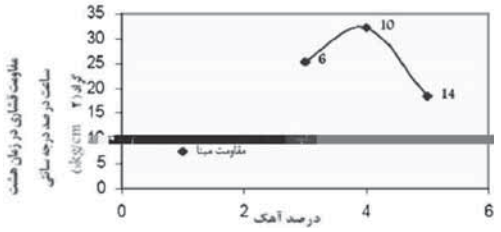
شکل۱۰. تأثیر زمان عمل آوری بر روی مقاومت فشاری (در زمان ۱۴ روز)





شکل۱۱. تأثیر زمان عمل آوری بر روی مقاومت فشاری(در زمان ۲۸ روز)

شکل۱۲. تأثیر زمان عمل آوری بر روی مقاومت فشاری(در زمان۸ ساعت در صد درجه سانتی گراد)



بررسی مقاومت فشاری خاک های تثبیت شده با آهک

تعیین مقاومت فشـاری خاک های تثبیت شـده با آهک توسط آزمایش فشاری محدود نشده (تک محوری) انجام شده است .

مقاومت آنی نمونه ها

بعـد ازاضافه کردن آهک به خاک رس،مقاومت فشـاری نهایی ودوام وپایداری خاک به میزان محسوسـی افزایش می یابد؛میـزان ایـن افزایش تابعی ازمیزان درصد آهک مصرفی اسـت.طبق آزمایشـات انجام شـده روی نمونه ها مطابق جدول(۲)میزان مقاومت نمونه های صفردرصد ۷,۵ kg/m۲ بوده که این مقدارجبرای نمونه های ۶درصدآهکی به /kg m۲۱۱,۵۰می رسد. در نمونه های صفر درصد آهک فضای خالی وجود دارد؛که این فضا به وسیله آهک در نمونه های ۶ درصد پر می شود.در نمونه های ۱۰ درصد مقاومت آنی تقریباً به اندازه نمونه های صفر درصد آهک است؛ که علت آن می تواند جایگزین شـدن آهک گیرش نشـده به جای خاک رس باشد. درنمونه های ۱۴درصد، همان طورکه قبلاً اشاره شد مقاومت کاهش می یابد [۵].

مقاومت دراز مدت

درتمامی درصدهای مختلفی که تهیه شده اند؛با افزایش زمان عمل آوری میزان مقاومت افزایش یافته است.حتی درنمونه های ۱۴درصد آهک که نسـبت به سـایر درصدها مقاومت کمتری داشته است.در حال حاضر بیشترین مقاومتی که طی زمان های مختلف انجام شـده، مربوط به نمونه های۱۰ درصد آهک بازمان عمل آوری ۲۸ روز،به میزان ۷۰,۱۲ اسـت [۵].

تثبیت خاک با استفاده ازآهک و خاکستر پوستهٔ برنج

ازخاکسترپوسـتهٔبرنج می توان به عنوان ماده پرکننده یا تثبیت کننده مکانیکی به منظورکاهش فضای خالی درون توده خاک ویا به عنوان یک ماده پوزولانی یعنی یک تثبیت کننده شیمیایی به کار گرفت.از جهت اینکه ذرات خاکستر بزرگتر ازاندازه فضای خالی درون خاک های ریزدانه اسـت. برای این گونه خاک ها خاکسـتر نمی تواند نقش پر کننده را داشته باشد.بنابراین چنانچه خاکستر در این گونه خاک ها به کارگرفته شود؛ بیشتر درحکم پوزولان خواهد بود.برای خاک های ریزدانه ازجنس لای تثبیت با خاکستر یا مخلوط خاکسترو آهک، مناسب هستند.

خاکسترپوسـتهٔبرنج نیز یک ماده پوزولانی اسـت؛که می تواندبه طور بالقوه تولید شود؛ودرتثبیت خاک مورد استفاده قرار گیرد.در مورد اثرخاکسترپوسـتهٔ برنج وآهک روی بسـترجاده ها تحقیقات زیادی صورت نگرفته اسـت.ولی آقای اگوس و همکارانش در دانشـگاه مهندسـی راه و سـاختمان دانشـگاه محمدیه جیوکارتا اندونزی مطالعاتی برروی اثر خاکستر پوستهٔبرنج وآهک روی خواص مهندسی بسترهای رسی انجام داده اند؛که در این قسمت نتایج آنان به طور اختصار بیان خواهد شد.با افزایش آهک وخاکسترپوستهٔبرنج وزن مخصوص خاک کاهش پیدا می کند.یعنی خاک سبک تر از شرایط معمولی اش می شـود.پارامترهای برش خاک نیز بهبود پیدا می کنند ؛که بهینه مقدار آن در۱۰ درصد آهک و ۱۰درصد خاکستر پوستهٔ برنج است [۶].

اقتصادی بودن طرح

ایـن طرح در پروژه های راهسـازی کاربرد دارد.در برخی موارد که از خاک اصلاح شـده با آهـک به عنوان لایه ای از سیسـتم روسـازی استفاده می شود ضخامت کل روسازی کاهش می یابد. گاهی اوقات خاکی که در محل احداث پروژه قرار دارد،به عنوان مثال اگر خاک زیر پی ساختمان هاخاکی نرم بوده واز لحاظ مقاومت فشاری مناسب نباشد؛یک روش اصلاح این خاک انجام عملیات خاکبرداری و خاکریزی مجدد درمحل است؛که هزینه زیادی را دربرخواهد داشت. روش دیگرکه نسـبتاً مقرون به صرفه اسـت.وخاک با مقاومت خوبی را نیز نتیجه خواهد داد؛اصلاح خاک به وسـیله مخلوط کردن با آهک اسـت.طبق نتایج به جدسـت آمده با افزودن۱۰ درصد آهک می توانیم مقاومت فشـاری خوبی را داشته باشیم[۸].

نتیجه گیری

میزان واکنش خاک وآهک به نوع آهک مورد استفاده،میزان اختلاط ذرات و رطوبت بهینه آنها بستگی دارد.آهک زنده از آهک شکفته مؤثرتروآهک خالص ازآهک ناخالص بهتراست.چگونگی عمل اختلاط برای تهیه نمونه ها،شرایط نگهداری وعمل آوری نیز از جمله موارد حائز اهمیت درحصول نتایج مطلوب است.هرچه مراحل مخلوط کردن خاک و آهک کامل تر و بهتر صورت گیرد؛نتیجه مقاومت بهتر خواهد بود.

ـ بعد از عمل آوری نمونه های آهکی مقاومت فشاری افزایش قابل توجهی یافته و در برخی موارد تا ۱۰ برابر نسبت به روز اولیه افزایش مشاهده شده است.

ـ درصد رطوبت بهینه درتهیه نمونه ها تأثیر به سزایی داشته است. برای نمونه های صفر درصد آهک ۱۰درصد وزن آهک،آب استفاده شده (۵۰۰گرم خاک رس و۵۰ سی سی آب)و برای نمونه های که دارای آهک هستند؛میزان آب،۱۰درصد وزن خاک رس و۵۰ درصد وزن آهک (با توجه به درصد آهک)استفاده شده است.

ـ حضور آهک قبل از انجام گیرش در خاک رس عامل لغزش و روان کنندگی به سبب جذب رطوبت بیشتر محسوب شده و موجب می شود؛در ساخت نمونه ها تسهیل ایجاد شود.

ـ استفاده از آهک و اصلاح خاک رس به وسیله آن مطابق گزارش اقتصادی بودن طرح نه تنها هزینه عملیات اجرایی را تا حدی کاهش می دهد؛بلکه عامل ثبات و پایداری سازه ها وکاهش مصالح مصرفی در ساخت و ساز خواهد شد.

پیشنهادها

در پایان پیشنهادهایی به شرح زیر ارائه می دهیم:

ـ دقت شود؛که اصلاح خاک رس درهنگام اضافه کردن آهک به آن در بهترین زمان ممکن صورت گیرد.یعنی آهک به صورت آزاد در خاک تولید نشود.وتمام آهک مصرفی کاملاً باخاک ترکیب شود.به همین دلیل باید درتعیین درصد رطوبت بهینه دقت کافی به عمل آید.

ـ برای حصول نتایج بهترمی توان از نرم افزارهای تخصصی و تجهیزات مدرن مخصوص به این کار استفاده کرد؛تا از جایگاه میکروسکوپی همزمان با نتایج ماکروسکوپی تحلیل صورت گیرد.

ـ دمای محیط برای عمل آوری نمونه های آهکی عامل مهمی محسوب می شود،لذا می تواند؛موضوع تحقیق آتیه مد نظر قرار گیرد..

منابع و مآخذ

[۱]. احمدنیا.فرهاد،تأثیرآهک بر مقاومت خاک کائولینیت،پایان نامه کارشناسی ارشد ،دانشگاه خواجه نصیر

[۲].آذرفر،تأثیرآهک برمشخصات فنی خاک ها،پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه خواجه نصیر

[۳]. بهبهانی.حمید،روسازی،انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران

[۴]. گنجیان.اسماعیل،مهندس ماجدی،محمد حسین،مصالح مهندسی عمران، انتشارات خواجه نصیرالدین،آبان ۷۶

[۵].طبرسا.علیرضا،تأثیرآهک برمقاومت خاک دربرابرسیکل های یخبندان ـ ذوب یخ، پایان نامه کارشناسی ارشد،استاد راهنما: عبدی،دانشگاه خواجه نصیر

[۶].تیموری، اسمعیل،کاربردخاکسترپوستهٔ برنج درصنعت ساختمان ، انتشارات فرهنگی گرگان ، چاپ اول ، ۱۳۸۵

[۷].طباطبائی.امیرمحمد،روسازی راه،انتشارات مرکز نشر دانشگاهی، چاپ هشتم ۱۳۸۰

[۸].اسماعیل زاده شهری.عفت،مجموعه مقالات همایش مهندسی عمران ـ دانشگاه شهید رجایی ـ تهران

[۹]. استاندارد ابعاد روسازی راه های جدید،جلد۲،مشخصات عمومی مصالح راهسازی،فصل پنجم،وزارت راه و ترابری

[۱۰].براجا.ام.داس،ترجمهٔطاحونی.شاپور،اصولجمهندسی ژئوتکنیک،جلد اول، مکانیک خاک،انتشارات پارس آئین، ویرایش دوم،۱۳۸۳

[۱۱].حسامی.سعید،سری جزوات طراحی روسازی راه،دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل،۱۳۸۵،۱۳۸۴