

تثبيت ماسه های ریز دانه به منظور انجام راهسازی

دکتر خدایی

استادیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده:

حدود ۱۵٪ از کل سطح کشورمان پوشیده از ماسه های ریز دانه است. لذا به منظور کاهش هزینه های احداث راه توسط بهره گیری از مصالح موجود منطقه روشهای مختلف تثبیت مصالح ریز دانه ماسه ای مورد بررسی قرار گرفت. این روشها بر روی يك نوع خاص مصالح تپ که از کرمان و کاشان به دست آمده بود و از شباهت بسیاری با یکدیگر از نظر مشخصات برخوردار بودند اعمال شد. نتایج به دست آمده تثبیت این گروه مصالح با سیمان را عملی تر جلوه داد. بنابراین مطالعات تکمیلی بر روی ترکیب سیمان با ماسه بادی انجام گردید. نتایج حاصله به صورت دو نمودار طراحی جهت تعیین در صد وزنی سیمان برای تثبیت بستر و زیراساس روسازی ارائه گردیده است. همچنین مقادیر ضرایب قشر لایه های تثبیت شده با سیمان بر اساس مقاومت تک محوری اندازه گیری شده، محاسبه و ارائه گردیده اند که می توانند در روشهای طراحی روسازی به روش آشتو مورد استفاده قرار گیرد.

Dune Sand Stabilization For Pavement Construction

A.Khodaii Ph.D. Assistant Professor

Civil. Eng. Dept. Amirkabir University

Abstract

Approximately %15 of total area of our country is covered by dune sand. To optimize the expenses of road construction using locally available materials, different method of dune sand stabilization was studied and compared.

The dune sand used in experiment was a typical sand obtained from Kerman & Kashan. which were very similar in their properties. Preliminary studies showed that the most feasible method of dune sand stabilization was with portland cement and therefore complementary investigation was carried on cement stabilization.

Results of this investigation is presented in the form of two nomograph which may be used for optimum mix design, cement stabilized sub-grade and sub-base.

Also coefficient values of stabilized layer with sand and cement is given for different axial compressive strength of the mixture. These values may be used in different pavement design method such as AASHTO pavement design.

فاصله زیادی تا محور راه داشته باشد آنگونه که در مناطق کویر مرکزی، کویر لوت و یا حاشیه جنوب خلیج فارس چنین است هزینه احداث راه با استفاده از این روشها دو تا سه برابر خواهد شد.

۳) تثبیت شیمیایی مصالح

از آنجا که تثبیت خاک باعث می شود که:

اولاً- حساسیت و جذب آب خاکها کاهش یابد، ثانیاً- مدول الاستیسیته لایه خاک افزایش یافته و طبعاً تحمل تنشهای بیشتر و تغییر شکلهای کمتر را به دنبال داشته باشد و ثالثاً- لایه خاک از «مقاومت های کششی، خمشی، برشی» و نیز «دوام و استقامت خستگی» بیشتری برخوردار گردد. لذا استفاده از این روش مورد بررسی و تعمق قرار گرفت. شیوه های استفاده از مواد افزودنی، شیوه تثبیت به وسیله رزین ها، یا دیگر مواد شیمیایی، شیوه های حرارتی و الکتروکیمیکال، جزء روشهای مورد بررسی بودند.

اما به لحاظ مسائل اجرایی و اقتصادی استفاده از مواد افزودنی قابل تهیه در سطح کشور نظیر آهک، سیمان، قیر و ... بیشتر مد نظر قرار گرفت و آزمایشات متعددی بر روی اینگونه مواد انجام شد. به این منظور لازم بود تا مشخصات و خصوصیات انواع مواد افزودنی مطالعه گردد.

۴) تثبیت مصالح ریز دانه با آهک

آهک یکی از فراوانترین مواد چسب داری است که با مواد سیلیس دار و آلومین دار خاک ترکیب شده و واکنش تبادل بین کلسیم آهک و کاتیونهای خاک، واکنش کربناسیون آهک با گاز کربنیک هوا و واکنش پوزولانی را صورت می دهد. گرچه این ماده در جای جای کشور به صورت معادن استخراج و پخت آهک تولید می شود اما به دلیل عدم واکنش قابل قبول با ماسه های ریز دانه به نظر نمی رسد که برای این مقصود ارزشمند باشد. آهک مورد مصرف حاوی:

هیدرواکسید کلسیم	٪۷۱/۲
هیدرواکسید منیزیم	٪۱۳/۹
کربنات کلسیم	٪۷/۳
سیلیس	٪۳/۸
کربنات منیزیم	٪۱/۶

استفاده بی رویه از منابع ارزشمند کشور در طول سالیان دراز و خصائص طبیعی بعضی مناطق موجب کمبود و یا لاقط گرانی مصالح با کیفیت خوب برای راهسازی شده است. از سوی دیگر وابستگی مقوله حمل مصالح به کامیون و طبعاً به مسائل ارزی ما را بر آن داشت که در زمینه ای آشنا که مدتهاست محققین مختلف خارج و بعضاً داخل کشور بر روی آن کار کرده اند تبعی نداشته باشیم تا با استفاده از مصالح ریز دانه موجود و بعضی مواد افزودنی بتوانیم گامی هر چند کوتاه در جهت آشنایی با خواص مصالح تثبیت شده برداریم. در این راستا مصالح ریز دانه از نقاط مختلف کشور به آزمایشگاه مصالح دانشگاه صنعتی امیرکبیر منتقل و آزمایشات متعددی با انواع مواد تثبیت کننده روی آن انجام شد. نتایج این آزمایشات منجر به ارائه یک روش طرح لایه های روسازی با مصالح تثبیت شده توسط سیمان گردید. گو اینکه این مطالعات با هدف انجام یک پروژه تحقیقاتی دانشگاهی انجام شده، نتایج آن می تواند به عنوان یک راهنما نیز در کنار سایر تحقیقات، برای مهندسین مورد استفاده قرار گیرد.

۲) توزیع مصالح ریز دانه در کشور

بخش وسیعی از سطح کشورمان (حدوداً ۱۵ درصد) را ماسه های ریز دانه پوشانده است. گستردگی این مناطق بیشتر مربوط به کویر مرکزی، کویر لوت، مرکز و جنوب شرقی و بخشهای وسیعی از حاشیه خلیج فارس و جنوب غرب کشور می باشد.

در عین حال بررسی آمار گسترش راههای زمینی کشور و مقایسه آن با نرم های معمول در کشورهای صنعتی و نیمه صنعتی جهان حکایت از فقر شدید ایران در زمینه راه سازی دارد. شاید عامل اصلی عدم رشد کافی در زمینه توسعه (در حد نیاز) شبکه راههای کشور، وجود سطح وسیعی از کشور که توسط خاکهای ریز دانه (اعم از ماسه، لای و یا رس) پوشیده شده است باشد.

متأسفانه آنچه که در سطح گسترده در ایران رایج است احداث جسم راه و بستر روسازی و لایه زیر اساس با استفاده از مصالح خاکی دانه بندی شده (متوسط تا مرغوب) که عمدتاً از معادن قرضه تهیه و تأمین می گردد و نیز بهره گیری از مصالح کوهی شکسته همراه یا بدون قیر به عنوان اساس و چند لایه بتن آسفالتی (با مصالح شکسته کوهی دانه بندی شده) می باشد. طبیعی است چنانچه معادن قرضه برای هر یک از لایه های فوق

بود. در ۱۳ مورد آزمایش که درصدهای مختلف آهک فوق به ماسه های ریزدانه افزوده شد، همانگونه که پیش بینی می شد به دلیل کم بودن کانیهای رسی و مواد سیلیس دار و آلومین دار در ماسه های ریزدانه مورد آزمایش، افزودن آهک نتایج مطلوبی در بر نداشت.

۵) تثبیت مصالح ریزدانه با سیمان

سیمان ماده چسبنده دیگری بود که به دلیل تولید نسبتاً قابل توجه آن در داخل کشور مورد نظر قرار گرفت. اصلی ترین ترکیبات این ماده چسبنده، سیلیکاتها و آلومیناتهای کلسیم بدون آب هستند که در مجاورت با آب ضمن آزاد نمودن آهک، سیلیکات و آلومینات آب دار تولید می کنند. بدین ترتیب در اثر انحلال هیدراتهای بی شکل در محلول و دوباره متبلور شدن آن به مرور زمان، سیمانها سخت شده و گیرش می یابند. هرچه درصد دانه های خاک ریزتر از الک نمرة ۲۰۰ و حتی ۱۰۰ کمتر باشد چسبندگی آنها توسط سیمان بهتر انجام می گیرد. به عبارت دیگر خاکهای دانه ای در مقایسه با خاکهای خمیری در مجاورت سیمان واکنش سمنته شدن بهتری از خود نشان خواهند داد و این در حالی است که خاکهای چسبنده خاکهای اسیدی و خاکهای شور واکنش خوبی با سیمان معمولی نخواهند داشت. لذا بدین دلیل و به دلیل آسانی انجام عمل اختلاط ماسه و سیمان و نیز تولید سیمان توسط حدوداً ۲۴ کارخانه در سطح کشور انتخاب این ماده برای تثبیت ماسه های ریزدانه انتخاب شایسته ای است.

۶) تثبیت مصالح ریزدانه با قیر

قیرها یا چسبنده های هیدروکربوری مواد دیگری هستند که در تثبیت ماسه های ریزدانه می بایست مطالعه و ارزیابی شوند. قیرهای خالص که از تقطیر نفت خام در درجه حرارت ۳۵۰ تا ۴۰۰ درجه سانتیگراد حاصل می شوند شبیه قطران و یا قیرهای معدنی دارای خاصیت چسبندگی و نفوذ ناپذیری هستند. افزایش این ماده به خاک بخصوص خاک های دانه ای باعث:

۱- اصلاح مقاومت خاک

۲- چسبانیدن ذرات خاک به یکدیگر

۳- کاهش آب مکنندگی خاکها

۴- تقلیل میزان تورم خاک دانه ها

۵- حفاظت لایه های خاک از اثرات مخرب آبها

می گردد. تجارب و مطالعات انجام شده قبلی حاکی از آن

است که در صورت انتخاب قیر با سیالیت کافی قیر با خاک دانه ها واکنش مناسب نشان می دهد و از آنجا که متناسب با چگونگی انجام عمل اختلاط و تراکم خاکهای تثبیت شده با قیر می بایست فرصت کافی برای تبخیر مواد فرار در قیرها در نظر گرفته شود لذا شایسته است متناسب با چگونگی انجام عمل اختلاط و تراکم از قیرهای تندگیر یا کندگیر استفاده نمود. در رابطه با مشخصات خاکهایی که با قیر بهتر تثبیت می شوند به نظر می رسد که نتایج مطلوب تر مربوط به خاکهای ماسه ای است که علاوه بر آنکه رس یا لای نداشته یا کمتر داشته باشند گوشه دار نیز باشند. قیر مورد استفاده در این پروژه از نوع ۷۰-۶۰ بود که مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفت و مشخصات قیر مزبور به شرح ذیل گزارش گردید.

درجه اشتعال ۳۰۴ درجه سانتیگراد

خاصیت انگمی بیشتر از ۱۰۰

وزن مخصوص ۱/۰۲۳

حلالیت در تتراکلرورکربن ۹۹/۹٪

امولسیونهای قیر که از یک سیستم با دو فاز غیر قابل امتزاج تشکیل شده ماده چسبنده ای است که علاوه بر ذرات قیر ۴۰ تا ۶۰ درصد آب نیز همراه دارد. ذرات یا گلبولهای قیر که ممکن است دارای بار سطحی منفی (آنیونیک) یا مثبت (کاتیونیک) باشند در داخل آب شناورند. همین که در کنار خاک قرار گرفتند ضمن تبخیر آب امولسیون این ذرات بسیار ریز قیری بین دانه های خاک قرار گرفته و باعث چسبیدن آنها می گردد. استفاده از امولسیونهای قیری در تثبیت به مراتب راحت تر، سریعتر و در عین حال مؤثرتر از قیرهاست اما متأسفانه از آنجا که برای تهیه امولسیونهای قیر امولکتور و تکنولوژی شکستن ذرات قیر (نظیر آسیاب کلوئیدی) در اختیار ما نبوده و می بایست از خارج وارد نمایم لذا به نظر می رسد که علی رغم تمام محاسن امولسیونها، تا زمان دست یابی به تکنولوژی ساخت آن، می بایست استفاده از آن را به تأخیر اندازیم.

۷) تثبیت مصالح ریزدانه با پولیمرها

بسیاری از پولیمرها و مشتقات ونیل-الکل (Vinyl-Alcohol) مشتقات ملامین (Melamine) و یا آنی لاین- فوفرال (Aniline-Furfural) که امروزه در غرب مورد مصرف فراوان برای انجام تثبیت خاکها دارد دقیقاً نظیر امولسیون ها (حتی پیچیده ترند).

۱۰) محاسبه ضخامت لایه های روسازی

در مطالعه لایه های تثبیت شده با مواد افزودنی آهک، سیمان، قیر و گوگرد، لایه ها را نیمه انعطاف پذیر تا انعطاف پذیر تلقی نموده و تمامی محاسبات و طراحی لایه های مزبور را در قالب رویه های ارتجاعی و منطبق بر نظریه برمیستر برای سیستمهای ارتجاعی دو و سه لایه ای انجام خواهیم داد.

الف) طرح بستر روسازی

آزمایشهای انجام شده نشان داد که افزایش سیمان برای ماسه های ریز دانه ای که درصد رد شده از الک نمره ۲۰۰ آن کمتر از ۱۰ باشد بسیار مطلوب و در حد قابل قبول خواهد بود. همچنین چنانچه مصالح ریزتر از الک نمره ۲۰۰ در ماسه زیاد باشد (بیش از ۱۰ درصد) می توان از ۰/۵ تا ۱/۵ در صد آهک علاوه بر سیمان استفاده نمود. نتایج آزمایشات متعدد تثبیت ماسه های ریز دانه با سیمان و اندازه گیری سی بی آر آنها این امکان را فراهم کرد که بتوان نمودار پیشنهادی شماره ۱ را تهیه و ارائه نمود. این شکل درصد سیمان قابل افزایش ماسه های ریزدانه ای که دارای سی بی آرهای مختلف اند را نشان می دهد. این گراف که به صورت تجربی تهیه و ترسیم شده معلوم می کند که با چه درصد سیمان می توان سی بی آر خاک به عمل نیامده ای را که برابر مقدار معینی است تثبیت نمود و سی بی آر مخلوط را به چه مقدار افزایش داد.

نظریات متعدد کارشناسان حاکی از آن بود که افزایش سیمان به خاک و سمنته نمودن آن چنانچه بدون رعایت یک پوشش معقول باشد تحت اثر ترافیک باعث بحرانی شدن نیروی کششی افقی و نیز تغییر شکل های ایجاد شده خواهد گشت. به منظور پیشگیری از این مسأله پیشنهاد می شود از نمودار شماره ۲ که توسط DUNLOP در سال ۱۹۷۷ ارائه شده برای کنترل حداقل ضخامت بر روی بستر روسازی تثبیت شده با سیمان استفاده شود.

ب) طرح زیر اساس

مطالعات انجام شده در این زمینه مبین آن است که افزایش سیمان به ماسه های ریزدانه جهت تثبیت آنها همچنان اقتصادی تر و مناسب تر از هر ماده افزودنی دیگر است. در همین رابطه آزمایشهای انجام شده توسط برخی از کارشناسان حکایت از آن دارد که در طراحی رویه های تثبیت شده با سیمان که دارای مدول الاستیسیته و مقاومت نسبتاً زیادی هستند، تنشهای برشی عامل تعیین کننده و به اصطلاح بحرانی

این مواد بسیار مؤثرتر و قویتر از سیمان معمولی خاکها را تثبیت می کنند. اندازه ذرات پوئمرها که به یک دهم تا یک صدم اندازه ذرات سیمان پرتلند می رسد قادرند تا هر نوع خاکی را با اندازه ذرات بسیار کم به هم متصل کنند. کوچک بودن ذرات پوئمرها از مهمترین خواص آنها است.

در ۵۰۰ گرم وزن، تعداد دانه های چسب دهنده این مواد پوئمری حداقل ۳۰۰۰ مرتبه بیشتر از دانه های چسب دهنده هر نوع سیمان است. متأسفانه همانگونه که گفته شد علی رغم این خواص و بسیار خواص مطلوب دیگر به دلیل عدم اطلاع و آشنایی از تکنولوژی تولید این مواد از مواد چسب دار داخلی گرچه ضعیف ترند استفاده شد.

۸) تثبیت مصالح ریز دانه با گوگرد

گوگرد دارای وضعیت کند روانی خاصی در درجه حرارتهای مختلف است ضمن آنکه فی نفسه پس از ذوب و روان شدن و قرارگیری بین ذرات خاک می تواند باعث چسبیدن دانه های خاک و سخت شدن آن گردد، درعین حال واکنش بسیار جالبی با قیر در دمای بالا دارد. گوگرد در دمای بالا باعث هیدروژن زدایی قیر شده و آن را سخت می کند. به عبارت دیگر افزایش گوگرد به قیر می تواند باعث کنترل قابل توجه روانی قیر گردد. با توجه به اینکه پالایشگاهها، مراکز تولید گاز الزاماً این ماده را تولید می کنند و میزان تولید آن زیاد و بهای آن تقریباً کم است استفاده از این ماده در تثبیت خاکها به خصوص زمانی که از قیر استفاده می شود شدیداً مورد توصیه است.

۹) انتخاب مصالح تپ جهت انجام آزمایش

با توجه به اینکه در نظر بود تا آزمایشهایی انجام و طرح اختلاط برای تثبیت ماسه های ریز دانه ارائه گردد لازم شد که نمونه های مصالح ماسه ای در برخی از نقاط تهیه و به آزمایشگاه آورده شود. چهار نمونه از خاکهای بستان در جنوب غربی، کاشان در مرکز، کرمان در مرکز و تربت حیدریه در شمال شرق کشور تهیه و در آزمایشگاه مورد آزمایش قرار گرفت دانه بندی، سی بی آر، چگالی دانه ها، رطوبت بهینه، وزن مخصوص ماکزیمم و خصوصیات خمیری و توصیف خاکهای مزبور تعیین گردید. ماسه ها شبیه به هم و در یک مورد (کاشان و کرمان) بسیار با هم مشابه بودند. کلیه آزمایشهای بعدی بر روی این ماسه ها انجام گرفت.

نبوده بلکه نسبت مدول ارتجاعی لایه تثبیت شده به مدول ارتجاعی بستر روسازی $\frac{E_p}{E_s}$ و نیز مقاومت کششی لایه های مزبور، شرایط بحرانی را ایجاد خواهند نمود. با عنایت به مطالب فوق طرح تثبیت لایه زیراساس دقیقاً مشابه طرح بستر روسازی ارزیابی و پیشنهاد شد همچنین بر مبنای نتایج آزمایشهای انجام شده گراف شماره ۳ تهیه و ارائه شد تا مقادیر سیمان مورد نیاز جهت سمته نمودن ماسه های ریزدانه به منظور استفاده در موقعیت زیراساس قابل تعیین باشد. به منظور پیشگیری از بحرانی شدن نیروهای کششی افقی و تغییر شکلهای ایجاد شده ضرورت دارد حداقل ضخامت لایه اساس بر روی زیراساس سمته شده طبق پیشنهاد Dunlop رعایت شود. (شکل شماره ۲)

ج) طرح اساس

لازمه حصول مقاومت مناسب برای لایه اساس استفاده از مقادیر نسبتاً زیاد سیمان است در حالیکه با درصد کمتری قیر و یا قیر و گوگرد نتایج بهتر و مطلوب تری حاصل خواهد شد. آزمایشهای انجام شده مبین آن است که به دلیل جذب قیر بسیار ناچیز ماسه های ریزدانه استفاده از قیر (به تنهایی) مناسب نبوده و ضمن عدم حصول استحکام قابل قبول، احتمال روزدگی قیر در این لایه ها فراوان است. آزمایشهای انجام شده دیگری که با افزایش گوگرد مذاب به ماسه های ریزدانه در تلاش تثبیت آنها بودیم نشان داد که گرچه نمونه های حاصل از استحکام کافی برخوردار است اما به سبب سختی نسبتاً زیاد لایه و نیز مشکلات اجرایی (انجماد سریع گوگرد) استفاده از این ماده (به تنهایی) شایسته نیست. آزمایشهای بعد که با افزایش قیر و گوگرد بر روی ماسه های ریزدانه ادامه یافت نتایج مناسب و مطلوبی را در پی داشت. استحکام مناسب و قابل قبول و نیز کنترل روانی از مشخصات ماسه های تثبیت شده با قیر و گوگرد بود.

در جهت شناخت بیشتر اختلاط قیر و گوگرد با ماسه افزایش درصدهای مختلفی از این دو ماده به ماسه مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج حاکی از آن بود که زمانی که با ثابت نگهداشتن درصد گوگرد، درصد قیر افزوده شده را اضافه می کنیم استحکام مارشال تنزل می نماید، این در حالی است که «روانی» مخلوط یک سیر فراز و نشیب را نشان می دهد، و زمانی که درصد قیر را ثابت نگهداشته و گوگرد را افزایش می دهیم استحکام مارشال مربوط به مخلوط اضافه شده و تغییرات «روانی» در یک حد رواداری محدود صورت خواهد گرفت.

در یک سری از آزمایشهای دیگر نسبت قیر به گوگرد مورد مطالعه قرار گرفت و ملاحظه شد که افزایش این نسبت، افزایش استحکام را به دنبال خواهد داشت. و این در حالی است که برای یک نسبت ثابت افزایش قیر نتیجه مطلوبتری ارائه خواهد نمود. با توجه به این نکات و مقادیر حاصل از آزمایشها پیشنهاد می شود که حداکثر قیر مصرفی برای تثبیت ماسه های ریزدانه بین ۲ تا ۳ درصد باشد (کمتر از ۲ درصد باعث می شود که مخلوط خیلی سریع گیرش پیدا کند و مشکلات اجرایی به دنبال خواهد داشت و بیشتر از ۳ درصد باعث روزدگی قیر در لایه خواهد شد) و نیز نسبت گوگرد به قیر بین ۲ تا ۴ باشد (کمتر از ۲، استحکام مطلوب حاصل نمی گردد و بیشتر از ۴ لایه بیش از حد نیاز اساس مستحکم و صلب خواهد شد) و در این حد رواداری برای هر نوع ماسه ریزدانه طی آزمایشهای لازم طرح اختلاط تهیه گردد.

در نهایت چنانچه مشخصات لایه های تثبیت شده زیر اساس و اساس (نظیر مدول ارتجاعی، ضریب پواسن و یا دیگر مقادیری که مبین خصوصیات مکانیکی لایه باشد) را تعیین نماییم آنگاه با استفاده از روابط پیشنهادی در مورد چگونگی تعیین ضریب سختی (Stiffness Factor) لایه های انعطاف پذیر، می توانیم ضرایب سختی این لایه ها را نسبت به بتن آسفالتی و یا هر نوع مصالح دلخواه دیگر تعیین نموده و شبیه جدول ضرایب قشر مصالح مختلف که توسط اشتو تهیه شده، در طرح روسازی از این ضرایب بهره گیریم. در همین رابطه مشابه جدول اشتو، ضریب قشر برای ۱۰ لایه اساس و زیراساس از ماسه های ریزدانه تثبیت شده با سیمان و قیر و گوگرد به شرح جدول ذیل توسط نویسندگان تهیه و پیشنهاد شده که می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

بنابراین در طرح روسازی با استفاده از تثبیت ماسه های ریزدانه توسط سیمان و قیر و گوگرد مراحل انجام کار چنین خواهد بود:

- ۱- تعیین مشخصات مصالح محلی (ماسه های ریزدانه)
- ۲- تعیین نوع و درصد مواد افزودنی و چگونگی عمل آوردن لایه های تثبیت شده برای موقعیتهای بستر روسازی، زیراساس و اساس (با استفاده از نمودارهای شماره ۱ و ۳)
- ۳- تعیین ضریب قشر لایه های زیراساس و اساس (ممکن است از جدول پیشنهادی استفاده شود)
- ۴- تعیین عدد ضخامت روسازی با توجه به مشخصات بستر روسازی تثبیت شده مقدار (CBR) و دیگر مفروضات نظیر شدت ترافیک، شرایط جوی و ...

نوع و جنس لایه		ضریب قشر
رویه	بتن آسفالتی	٪ ۴۴
		ماسه های ریزدانه تثبیت شده با قیر و گوگرد با استحکام مارشال
		٪ ۳۲ « » « » « » « » « » تا ۵۰۰ کیلوگرم
		٪ ۳۴ « » « » « » « » « » « » تا ۷۵۰ کیلوگرم
		٪ ۳۷ « » « » « » « » « » « » تا ۹۰۰ کیلوگرم
		٪ ۳۸ « » « » « » « » « » « » تا ۱۰۰۰ کیلوگرم
زیر اساس	ماسه های ریزدانه تثبیت شده با سیمان با مقاومت تک محوری	٪ ۱۱ « » « » « » « » « » « » ۷ روزه ۱۰ کیلوگرم
		٪ ۱۳ « » « » « » « » « » « » ۱۵ کیلوگرم
		٪ ۱۵ « » « » « » « » « » « » ۲۲ کیلوگرم
		٪ ۱۶ « » « » « » « » « » « » ۲۵ کیلوگرم
		٪ ۲۱ « » « » « » « » « » « » ۵۰ کیلوگرم
		٪ ۴۰ « » « » « » « » « » « » بیش از ۱۰۰۰ کیلوگرم

جدول پیشنهادی ضریب قشر برای لایه های اساسی و زیراساس ماسه های ریزدانه تثبیت شده

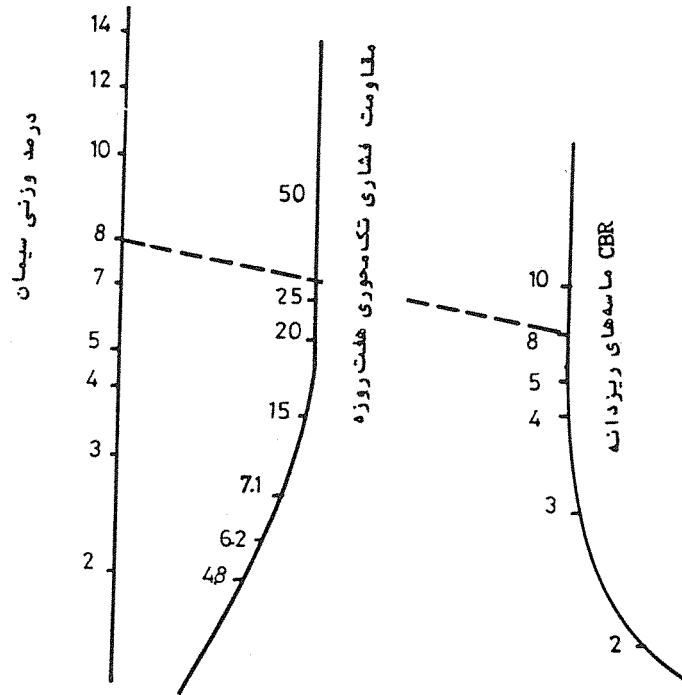
ب) ضرایب قشر لایه های تثبیت شده زیراساس و اساس و لایه بتن آسفالتی
 ج) عدد ضخامت روسازی
 ۷- کنترل ضخامت محاسبه شده در بند ۶ با حداقل ضخامت لازم که در بند ۵ تعیین گردیده است.

۵- تعیین حداقل ضخامت لازم برای غیر بحرانی شدن نیروی کششی و تغییر شکل های بستر روسازی با استفاده از نمودار شماره ۲
 ۶- تعیین ضخامت بخش های مختلف روسازی با عنایت به:
 الف) حداقل ضخامت رویه نهایی بتن آسفالتی (۳ تا ۴ سانتی متر پیشنهاد می گردد)

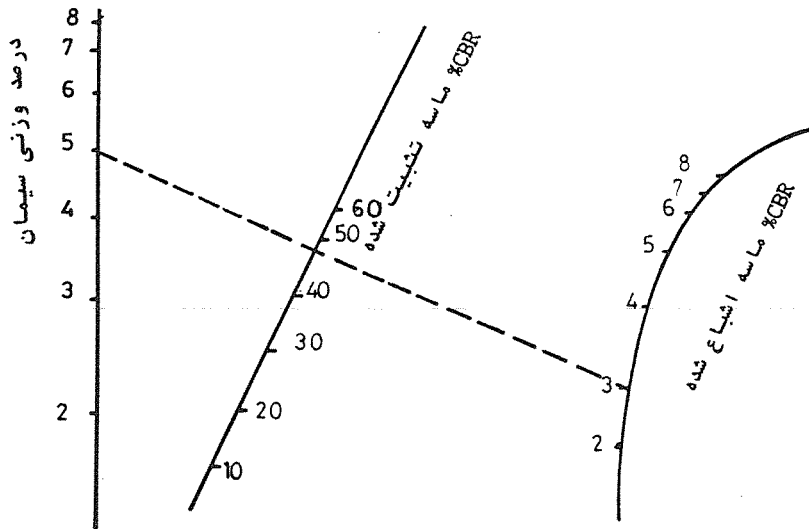
منابع

۲- خسروی - همایون - "تثبیت ماسه های ریزدانه در راه سازی" پایان نامه کارشناسی ارشد ۱۳۶۶ دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

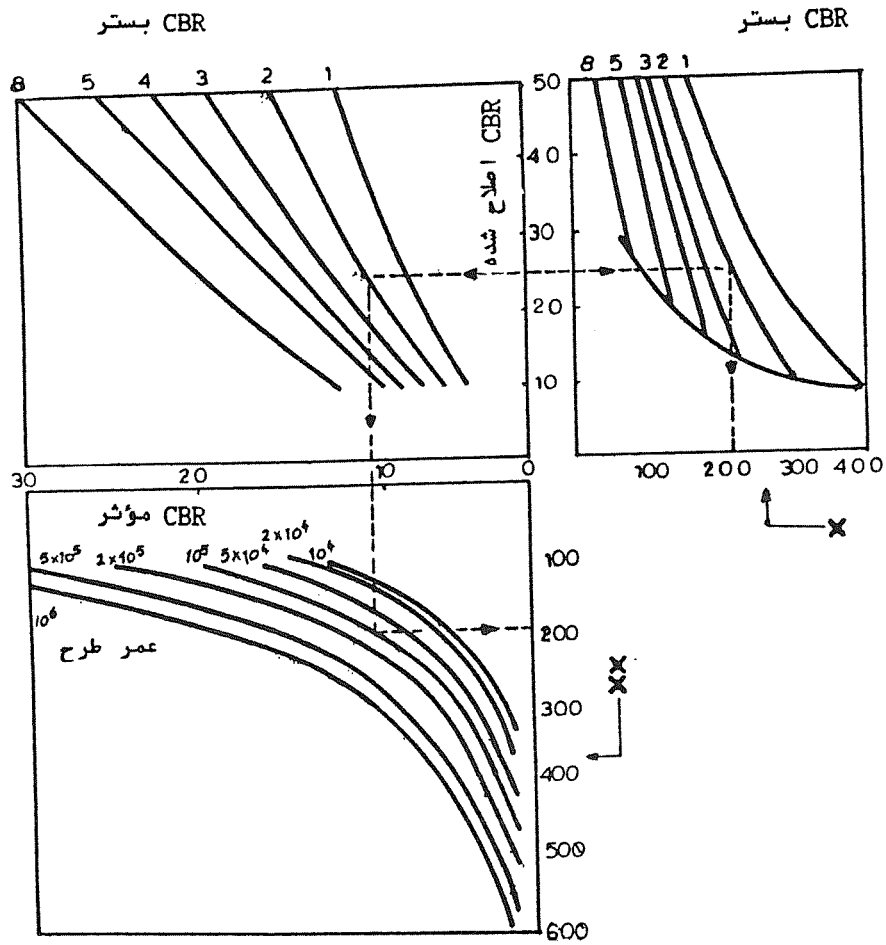
1-Dunlop R.J. "A Review of the Design and performance of roads incorporating lime and cement Stabilised Pavement layers". Australian Road Research Vol 10 No3 Sept 1980.



نموگرام پیشنهادی برای تعیین درصد وزنی سیمان به منظور تثبیت ماسه‌های ریزدانه برای زیراساس



نموگرام پیشنهادی برای تعیین درصد سیمان مورد نیاز به منظور تثبیت بستر روسازی (ماسه‌های ریزدانه)



× ضخامت پوشش (میلیمتر) لازم از نوع
 اساس شکسته جهت پیشگیری از
 بحرانی شدن تغییر شکل

×× ضخامت پوشش (میلیمتر) لازم از نوع
 اساس شکسته جهت پیشگیری از
 بحرانی شدن نیروی کششی افقی

نموگرام طرح رویه راه بابرهای تثبیت شده باسیمان