

تأثیر مصرف ماسه طبیعی بر خواص و رفتار بتن آسفالتی روسازیها

یونس نیازی

استادیار گروه عمران - دانشکده مهندسی - دانشگاه فردوسی مشهد

مهدی محمدی

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد راه و ترابری - دانشکده مهندسی - دانشگاه فردوسی مشهد

(تاریخ دریافت ۸۲/۱/۲۵، تاریخ تصویب ۸۲/۹/۸)

چکیده

در مخلوطهای آسفالت گرم تأثیر شکل و بافت سطحی دانه های بخش ریزدانه مصالح سنگی بر پایداری مخلوط در برابر تغییر شکل‌های دائمی بسیار تعیین کننده است. بعلاوه سهولت تهیه و ارزیابی در قیاس با ماسه شکسته، در اجرای روسازی های آسفالتی اغلب تمایل به استفاده هرچه بیشتر از ماسه طبیعی وجود دارد که در شرایط ضعف نظارت کارگاهی بعضاً بدون شستن کامل بمصرف میرسد. هدف از این تحقیق بررسی تأثیر مصرف ماسه طبیعی بویژه بصورت نشسته بر خواص بتن آسفالتی و نیز ارزیابی کیفیت روش جاری طرح و کنترل مخلوطهای آسفالتی بود. در این تحقیق در تهیه مخلوطهای آسفالتی چهار نوع مخلوط مصالح سنگی با دانه بندی یکسان و یک نوع قیر خالص ۶۰/۷۰ مورد استفاده قرار گرفت. مخلوطهای مصالح سنگی با استفاده از مصالح سنگی درشت دانه ثابت و مصالح ریزدانه متفاوت تهیه شد. مصالح سنگی ریزدانه که ویژگیهای شکل و بافت سطحی دانه های آنها بکمک روش استاندارد آزمایشگاهی تعیین گردید، عبارت بودند از یک نوع ماسه شکسته، یک نوع ماسه طبیعی با منشاء رودخانه ای، و یک نوع ماسه مرکب از مخلوط ماسه شکسته و ماسه طبیعی. نتایج حاصل از آزمایشهای طرح مخلوط به روش مارشال نشان میدهد که این روش طرح از حساسیت لازم برای نشان دادن حد مجاز مصرف ماسه طبیعی در مخلوط آسفالتی برخوردار نبوده و انجام آزمایشهای تکمیلی دیگر در این ارتباط ضرورت دارد. نتایج حاصل از آزمایشهای طرح مخلوط و نیز آزمایش فشاری محدود نشده نشان میدهد که مصرف ماسه طبیعی بخصوص بصورت نشسته موجب تقلیل ظرفیت باربری و جذب انرژی آسفالت شده و خطر بروز تغییر شکل‌های دائمی و قیر زدگی در رویه های آسفالتی را تشدید میکند.

واژه های کلیدی : ماسه شکسته، ماسه طبیعی، شاخص شکل و بافت، طرح مخلوط آسفالتی

مقدمه

در مخلوطهای بتن آسفالتی مصالح سنگی ۹۰ تا ۹۵ درصد وزن مخلوط را تشکیل داده و خصوصیات باربری مخلوط عمدتاً به مصالح سنگی آن مربوط میشود. بنابراین کیفیت و خواص فیزیکی مصالح سنگی در عملکرد روسازی اهمیت بسیار دارند. اصطکاک بین دانه های مصالح سنگی به زبری رویه و سطح تماس دانه ها بستگی دارد. با افزایش اصطکاک سطحی، مقاومت مخلوط در برابر تغییر شکل افزایش می یابد. ثابت شده است که روسازیهای آسفالتی ساخته شده با مصالح سنگی زبر و تیز گوشه، عموماً کیفیتی بهتر از روسازیهای ساخته شده با مصالح سنگی صاف و گرد گوشه دارند [۱، ۲]. شکل و بافت دانه های مصالح سنگی از طریق کنترل مقاومت و پایداری مخلوط در برابر وقوع خرابی بصورت شیارافتادگی مسیر چرخها^۱، که خود از متراکم شدن و روانی خمیری^۲

در ۷۵ تا ۱۰۰ میلیمتر رویه در دمای زیاد تحت بارهای محوری سنگین و کانالیزه ناشی میشود، تأثیر مهمی بر عملکرد مخلوطهای آسفالت گرم دارد [۲، ۱، ۳]. شکل دانه های مصالح سنگی ریزدانه (بین الکهای ۴/۷۵ و ۰/۰۷۵ میلیمتر) در بهبود بخشیدن به پایداری مخلوطهای آسفالت گرم و افزایش دادن مقاومت آنها در برابر تغییرشکل‌های دائمی آشکارا مهمتر از شکل مصالح سنگی درشت دانه (مانده روی الک ۴/۷۵ میلیمتر) است [۳]. تحقیقات نشان داده است که با استفاده از مصالح درشت دانه گرد گوشه و مصالح ریزدانه شکسته میتوان مخلوطهای مقاوم در برابر شیار افتادگی تولید نمود [۴، ۳، ۵]. البته کارپذیری^۳ مخلوطهای آسفالتی ساخته شده با ۱۰۰٪ ماسه شکسته معمولاً کمتر از مخلوطهای ساخته شده با ماسه طبیعی است. برای بهبود کارپذیری مخلوط راه حل هائی پیشنهاد شده است از جمله اینکه قیر مصرفی به میزان ۰/۵٪ نسبت به مقدار بهینه افزایش داده

منشاء رودخانه ای و آواری دارند، عاری بودن آنها از مواد و ترکیبات مضره بسیار مهم است. در صورت عدم شستشوی کامل و جداسازی مواد بسیار ریزدانه در فرایند فرآوری مصالح، اینگونه مواد که عمدتاً از جنس لای و رس هستند، جایگزین تمام و یا بخشی از فیلر در مخلوط آسفالتی خواهند شد. وجود ریزدانه های رسی در مخلوط آسفالتی مشکلات مربوط به انبساط حجمی مخلوط و نیز چسبندگی قیر به دانه های سنگی و پدیده عریان شدن دانه ها را سبب میگردند [۳]. در نتیجه مشکل مصرف ماسه طبیعی نه فقط بعثت افزایش مقدار آن از حد مجاز، بلکه بعثت وارد شدن فیلر نامناسب در مخلوط تشدید میگردند.

اهداف تحقیق

هدف از این تحقیق بررسی تأثیر مصرف ماسه طبیعی و مخلوط ماسه طبیعی و شکسته بر خواص بتن آسفالتی و نیز ارزیابی کفایت روش جاری طرح و کنترل مخلوطهای آسفالتی بود. با توجه به کم و کیف اجرای رویه های آسفالتی راه در کشور، در این تحقیق در تهیه مخلوطهای آسفالتی علاوه بر ماسه شکسته که با هدف تهیه مخلوط کنترلی بکار برده شد، ماسه طبیعی به دو صورت شسته شده و نشسته با هدف مقایسه و ارزیابی تأثیر آنها بر خواص بتن آسفالتی مورد استفاده قرار گرفت.

شکل و بافت سطحی دانه ها در مصالح سنگی

برای توصیف کمی شکل، تیز گوشگی، و بافت سطحی دانه های مصالح سنگی روشهای مختلفی بصورت اندازه گیری غیر مستقیم یا مستقیم بکار رفته اند. در روشهای غیر مستقیم که از خواص مهندسی مصالح برای مشخص کردن شکل و تیز گوشگی آنها کمک گرفته میشود، تعیین کمی شکل، تیز گوشگی، و بافت سطحی دانه ها بطور جداگانه امکان نداشته و تمامی این خصوصیات بصورت یک شاخص که نشان دهنده بی نظمیهای هندسی^۷ دانه ها است بیان میشوند. روش شاخص شکل و بافت مصالح سنگی برای مصالح درشت دانه و ریزدانه (ASTM D3398)، و روش درصد فضای خالی مصالح سنگی در حالت غیر متراکم برای مصالح

شود که البته اینکار اقتصادی نبوده و بعلاوه ممکن است به عملکرد ضعیف روسازی منجر شود [۵]. بطور کلی مصرف ماسه طبیعی احتمال وقوع خرابی در روسازیهای آسفالتی بصورت شیافادگی مسیر چرخها، فشردگی^۴ و روزدن قیر^۵ که با افزایش حجم ترافیک، بارهای محوری، و فشار لاستیک وسایط نقلیه تشدید میشوند را شدت میبخشد [۲، ۴، ۵، ۶]. با اینحال چون شکل دانه ها در ماسه های طبیعی بسته به ترکیب کانی و تاریخچه زمین شناسی آنها، از کاملاً گرد گوشه تا تیز گوشه تغییر میکند، در عمل پاره ای از ماسه های طبیعی بخوبی ماسه شکسته رفتار کرده اند. اداره راه های فدرال امریکا^۶ مصرف ماسه طبیعی در مخلوط آسفالتی در شرایط ترافیک سنگین (بیش از یک میلیون محور ۸/۲ تنی هم ارز در دوره طرح) را به ۱۵٪ تا ۲۰٪ و در شرایط ترافیک متوسط و سبک به ۲۰٪ تا ۲۵٪ وزن مصالح سنگی محدود میکند [۷]، که البته این درصد ها بسته به کیفیت ماسه طبیعی و سطح ترافیک مورد انتظار قابل افزایش و یا کاهش هستند. در مشخصات فنی عمومی راه [۸] که آئین نامه فنی مورد استفاده در روسازیهای آسفالتی راه در کشور است، بدون اشاره به نوع ترافیک و کیفیت ماسه طبیعی از لحاظ شکل دانه ها، مصرف ماسه طبیعی در لایه آسفالتی رویه (توپکا) تا ۲۵٪ و در لایه آستر(بیندر) تا ۳۰٪ وزن مخلوط مصالح سنگی مجاز شناخته شده است. در آئین نامه مذکور عاری بودن مصالح ریزدانه از لای و رس با تعیین حداکثر دامنه خمیری ($PI \leq 6$) و حداقل ارزش ماسه ای ($SE \geq 45$) مشخص شده است. گرچه رویه های آسفالتی با کیفیت خوب با رعایت مشخصات فوق ساخته میشوند، لیکن چون آزمایشهای فعلی مصالح سنگی عمدتاً بر تعیین ویژه گیهای آنها بصورت تجربی استوارند، تعیین کمی خواص مصالح سنگی و مرتبط ساختن آنها با عملکرد روسازی دشوار است [۴].

در پروژه های مربوط به روسازی آسفالتی راه در کشور، بعثت ارزانی و سهولت تهیه ماسه طبیعی در قیاس با ماسه شکسته، قطع نظر از کیفیت ماسه طبیعی، در شرایط ضعف نظارت و کنترل کارگاهی در تولید آسفالت، اغلب ماسه طبیعی بیشتر از حدود مجاز ذکر شده بکار برده میشود. از جنبه دیگر چون ماسه های طبیعی عموماً

گوشه بسته به اندازه دانه ها بین ۸ تا ۱۰ و در مورد مصالح شکسته بین ۱۲ تا ۱۴ بدست آمده است [۳]. در مورد بخش ریز دانه مصالح سنگی (ماسه) مشخص شده است که ماسه های طبیعی شاخصی بین ۸/۵ تا ۱۴ و ماسه های شکسته عموماً شاخصی بزرگتر از ۱۴ دارند و بر این اساس پیشنهاد شده است که در مشخصات بجای ذکر ماسه شکسته که به منشاء مصالح دلالت دارد، شاخص شکل حداقل ۱۴ تعیین گردد [۱، ۲، ۳، ۹]. شاخص شکل مخلوط مصالح سنگی گرد گوشه بسته به دانه بندی مصالح بین ۴ تا ۶ و در مورد مصالح سنگی شکسته بین ۱۰ تا ۱۳ بدست آمده است [۳].

مصالح مصرفی

مصالح سنگی

مصالح سنگی درشت دانه، ریزدانه شکسته، و فیلر پودر سنگ از دپوی مصالح فرآوری شده مورد استفاده یکی از کارخانه های آسفالت مستقر در حومه شمال شرقی مشهد تهیه گردید. مصالح شکسته مذکور منشاء آواری داشته و از لحاظ جنس دانه ها عمدتاً از نوع دولومیتی هستند. با توجه به اهداف تحقیق، در این مطالعه در مورد مخلوط مصالح سنگی بطور ثابت از متوسط حدود دانه بندی آئین نامه ای با اندازه بزرگترین دانه اسمی ۱۲/۵ میلیمتر که کاربرد آن برای لایه رویه (توپکا) در روسازیهای آسفالتی توصیه گردیده [۸] استفاده شده است. همانطور که از جدول (۱) برمی آید، این دانه بندی مشتمل بر ۴۱٪ وزنی درشت دانه، ۵۳٪ وزنی ریزدانه، و ۶٪ وزنی فیلر است.

جدول ۱: دانه بندی مخلوط مصالح سنگی.

اندازه الک، میلیمتر (اینچ)	درصد وزنی رد شده از الک استاندارد (AASHTO M92)
۱۹ (3/4 in)	۱۰۰
۲۵ (1/2 in)	۹۰-۱۰۰
۴/۷۵ (No. 4)	۴۴-۷۴
۲/۳۶ (No. 8)	۲۸-۵۸
۰/۳ (No. 50)	۷-۲۱
۰/۰۷۵ (No. 200)	۲-۱۰

بمنظور بررسی تأثیر بخش ریزدانه مصالح سنگی بر خواص بتن آسفالتی سه نوع ماسه بشرح زیر تهیه و مورد استفاده قرار گرفت:

ریزدانه (ASTMC1252)، از جمله روشهای غیر مستقیم هستند که در کارهای تحقیقاتی بطور وسیع مورد استفاده قرار گرفته اند. در روشهای مستقیم از بررسی بصری دانه ها و یا پردازش تصاویر تهیه شده از آنها برای تعیین شکل، تیزگوشی، و بافت سطحی دانه ها استفاده میشود [۹]. برخلاف روشهای غیر مستقیم روشهای اخیر تاکنون استاندارد مدونی ندارند. در این تحقیق از روش شاخص شکل و بافت که قابلیت آن در تمیز دادن مصالح گرد گوشه و تیز گوشه با اندازه های مختلف از یکدیگر در تحقیقات آزمایشگاهی به اثبات رسیده [۱، ۲، ۳، ۱۰]، استفاده شده است.

روش شاخص شکل و بافت مصالح سنگی

این روش آزمایش بر این فرضیه استوار است که در مورد مصالح سنگی یک اندازه متراکم شده در یک قالب استاندارد، درصد فضای خالی بین دانه های سنگی نشانه خصوصیات شکل، تیزگوشی، و بافت سطحی دانه هاست. در این روش لازمست ابتدا نمونه مصالح سنگی با استفاده از الک به اندازه های اختصاصی تقسیم شده و پس از شسته شدن در دمای 110°C خشک شود. آنگاه هر اندازه جداگانه در سه لایه مساوی در یک قالب استوانه ای با استفاده از کوبه میله ای متراکم میشود. این تراکم در دو سطح انرژی تراکم ۱۰ و ۵۰ ضربه به هر لایه، با رها کردن کوبه از ارتفاع ۵۰ میلیمتری از سطح لایه صورت میگیرد. درصد فضای خالی در مصالح سنگی در هر یک از سطوح انرژی تراکم با استفاده از وزن مصالح سنگی درون قالب و وزن مخصوص واقعی مصالح سنگی (ASTM C128) محاسبه میشود. بر مبنای درصد فضای خالی در ۱۰ و ۵۰ ضربه، شاخص دانه از رابطه (۱) بدست می آید:

$$I_a = 1.25V_{10} - 0.25V_{50} - 32.0 \quad (1)$$

که در آن I_a مقدار شاخص دانه، V_{10} درصد فضای خالی بازا ۱۰ ضربه به هر لایه، و V_{50} درصد فضای خالی بازا ۵۰ ضربه به هر لایه را نشان میدهند. در نهایت شاخص شکل مصالح سنگی متشکل از چند اندازه دانه، بر اساس درصد وزنی هر اندازه در دانه بندی مصالح سنگی، بصورت میانگین وزن دار محاسبه میشود. در تحقیقات انجام شده با استفاده از این روش شاخص مصالح درشت دانه گرد

جدول ۲: تعیین شاخص شکل و بافت سطحی ماسه شکسته.

حدود اندازه دانه ها						پارامتر
-No.100+No.200	-No.50+No.100	-No.30+No.50	-No.16+No.30	-No.8+No.16	-No.4+No.8	
۲/۶۹۶	۲/۶۳۶	۲/۶۵۹	۲/۶۴۳	۲/۶۵۱	۲/۶۸	G_{sb}
۵۴۶/۸	۵۵۶/۳	۵۵۱/۶	۵۵۵/۶	۵۶۹/۵	۵۸۵/۸	W_{10}
۴۷/۱۸	۴۸/۰۸	۴۷/۳۹	۴۷/۳۹	۴۶/۲۳	۴۵/۴۴	V_{10}
۵۶۷/۳	۵۸۳	۵۷۶	۵۷۵/۷	۵۸۷/۷	۶۰۴/۶	W_{50}
۴۷/۳۴	۴۴/۶۵	۴۵/۷۸	۴۵/۴۸	۴۴/۵۲	۴۳/۶۹	V_{50}
۱۷/۷۰	۱۵/۸۱	۱۶/۶۶	۱۵/۸۷	۱۴/۶۶	۱۳/۸۸	I_a
$\bar{I}_a = 15/27$ (میانگین وزن دار)						

یادداشت: G_{sb} وزن مخصوص واقعی مصالح، W_{10} و W_{50} بترتیب وزن نمونه داخل قالب بر حسب گرم در دو حالت ۱۰ و ۵۰ ضربه و V_{10} و V_{50} درصد فضای خالی در دو حالت است.

در مقایسه با ارقام گزارش شده در تحقیقات مشابه [۹، ۴، ۵]، ارقام شاخص شکل و بافت ماسه های طبیعی و شکسته نشان دهنده تفاوت قابل ملاحظه در خواص شکل و بافت سطحی این دو نوع ماسه هستند. بعبارت دیگر دانه ها در ماسه شکسته کاملاً تیز گوشه با بافت سطحی زبر، و در ماسه طبیعی کاملاً گرد گوشه با بافت سطحی صاف بوده و لذا میتوان انتظار داشت که این تفاوت در نتایج آزمایشها بر روی مخلوطهای ساخته شده با این دو نوع ماسه تأثیر لازم را داشته باشد.

بمنظور حذف تأثیر بخش درشت دانه مصالح سنگی بر خواص بتن آسفالتی در تهیه کلیه نمونه های بتن آسفالتی از مصالح سنگی درشت دانه با جنس و دانه بندی ثابت استفاده شد. در تهیه نمونه با هر یک از ماسه ها دانه بندی آنها و مقدار فیلر مصرفی بر اساس درصد های وزنی مورد لزوم در مخلوط مصالح سنگی ثابت نگهداشته شد. فیلر مصرفی در مخلوطهای مذکور یکسان و از نوع پودر سنگ که قبلاً به آن اشاره شد انتخاب گردید.

علاوه بر سه نوع مصالح سنگی فوق الذکر که متشکل از مصالح سنگی درشت دانه، فیلر پودر سنگ و مصالح سنگی ریزدانه مختلف (شکسته، طبیعی، و مخلوط) بودند، نوع چهارمی از مخلوط مصالح سنگی با استفاده از مصالح سنگی درشت دانه، ماسه طبیعی شسته شده و فیلر خاکی تهیه شده از بخش گذرنده از الک ۲۰۰ (حاصل شستشوی

الف- ماسه شکسته تهیه شده از همان منبع مصالح درشت دانه

ب- ماسه طبیعی با منشاء رودخانه ای. برای انتخاب این نمونه ماسه ابتدا از ماسه حمل شده از دو معدن متفاوت مصالح رودخانه ای در حومه شهر مشهد که در محورهای مشهد-سرخس و مشهد فریمان قرار دارند، نمونه برداری و پس از شستشو روی الک ۲۰۰ (۰/۰۷۵ میلیمتر) آزمایشهای وزن مخصوص و جذب آب (ASTM C128) و نیز شاخص شکل و بافت بر روی آنها انجام گرفت. در نهایت ماسه طبیعی معدن جاده سرخس که از لحاظ وزن مخصوص و جذب آب خصوصیات مطلوبتری داشت (جدول ۴) برای استفاده برگزیده شد.

ج- ماسه مرکب از ۵۳٪ وزنی ماسه شکسته از نوع مصالح مذکور در بند الف و ۴۷٪ وزنی ماسه طبیعی (۲۵٪ وزنی در مخلوط مصالح سنگی) از نوع مصالح مذکور در بند ب، تهیه و کاربرد این نوع ماسه بمنظور ارزیابی توصیه مشخصات فنی عمومی راه [۸] که در مقدمه ذکر آن رفت صورت گرفت.

نمونه جزئیات مربوط به نحوه تعیین شاخص شکل ماسه های شکسته و طبیعی بترتیب در جداول (۲) و (۳) نشان داده شده است. در مورد سایر مصالح سنگی به ذکر نتایج بشرح داده های جدول (۴) اکتفا شده است.

مخلوط آسفالتی که در مقدمه به آن اشاره رفت بود. خواص فیزیکی مصالح سنگی در جدول (۴) آورده شده اند.

ماسه روی الک مذکور) آماده و مورد استفاده قرار گرفت. هدف از تهیه و کاربرد مخلوط مصالح سنگی اخیر ارزیابی تأثیر استفاده از ماسه طبیعی شسته نشده بر خواص

جدول ۳: تعیین شاخص شکل و بافت سطحی ماسه طبیعی .

حدود اندازه دانه ها						پارامتر
-No.100+No.200	-No.50+No.100	-No.30+No.50	-No.16+No.30	-No.8+No.16	-No.4+No.8	
۲/۵۶۳	۲/۵۵۳	۲/۵۳۹	۲/۵۵۲	۲/۵۴۸	۲/۵۵۳	G_{sb}
۵۶۹/۲	۵۹۸/۶	۵۹۳/۲	۶۰۲/۴	۶۰۸/۲	۶۱۳/۴	W_{10}
۴۴/۴۲	۴۲/۲۰	۴۱/۵۳	۴۰/۹۲	۴۰/۲۶	۳۹/۸۷	V_{10}
۵۸۶	۶۰۵/۴	۶۰۴/۸	۶۱۵/۷	۶۲۰/۸	۶۲۴/۱	W_{50}
۴۲/۷۸	۴۰/۶۵	۴۰/۳۸	۳۹/۶۲	۳۹/۰۲	۳۸/۸۲	V_{50}
۱۲/۸۳	۱۰/۵۹	۹/۸۲	۹/۲۴	۸/۵۷	۸/۱۳	I_a
$\bar{I}_a = 9/22$ (میانگین وزن دار)						

یادداشت: G_{sb} وزن مخصوص واقعی مصالح، W_{10} و W_{50} بترتیب وزن نمونه داخل قالب بر حسب گرم در دو حالت ۱۰ و ۵۰ ضربه و V_{10} و V_{50} درصد فضای خالی در دو حالت است.

جدول ۴: خواص فیزیکی مصالح سنگی .

درصد جذب آب	وزن مخصوص		شاخص شکل و بافت (\bar{I}_a)	خاصیت مصالح سنگی	
	ظاهری (G_{sa})	طبیعی (G_{sb})			
۱/۰۵	۲/۷۴۵	۲/۶۷۰	۱۴/۳۷	درشت دانه	
۱/۳۷	۲/۶۷۳	۲/۶۶۲	۱۵/۲۷	ماسه شکسته	
۲/۹۸	۲/۷۶۰	۲/۵۵۰	۹/۲۲	ماسه طبیعی (سرخس)	
۴/۰۲	۲/۷۵۶	۲/۴۸۲	۹/۰۷	ماسه طبیعی (فریمان)	
۲/۱۳	۲/۷۶۲	۲/۶۰۸	۱۲/۵۳	مخلوط ماسه شکسته و طبیعی	
	۲/۷۴۷	-	-	پودر سنگ	
	۲/۶۰۰	-	-	خاکی	
	۲/۷۵۵	۲/۶۷۰		تهیه شده با ماسه شکسته و فیلر پودر سنگ	
	۲/۷۵۳	۲/۶۰۹		تهیه شده با ماسه طبیعی و فیلر پودر سنگ	
	۲/۷۵۴	۲/۶۴۱		تهیه شده با ماسه مخلوط و فیلر پودر سنگ	
	۲/۷۴۴	۲/۶۰۱		تهیه شده با ماسه طبیعی و فیلر خاکی	

جدول ۵: خواص فیزیکی قیر .

خاصیت	داده آزمایش
درجه نفوذ در C° ۲۵، ۱۰۰ گرم، ۵ ثانیه، دهم میلیمتر	۶۴
نقطه نرمی (حلقه و گلوله)، C°	۵۴
شکل پذیری در C° ۲۵، ۵ cm/min، سانتیمتر	۱۳۰
دمای شکست فراس C°	-۱۴
وزن مخصوص در C° ۲۵	۱/۰۱۳

قیر

در این تحقیق بطور ثابت از یک نوع قیر خالص ۶۰/۷۰ پالایشگاه اصفهان که استفاده از آن با توجه به شرایط آب و هوایی گرم و معتدل ایران در اکثر پروژه های روسازی آسفالتی در کشور معمول است، استفاده بعمل آمد. خواص این قیر که با مشخصات پیشنهادی انستیتو آسفالت [۱۱] مطابقت میکند، در جدول (۵) داده شده اند.

روشهای آزمایش

طرح اختلاط بتن آسفالتی

به منظور تعیین درصد قیر بهینه مخلوطهای آسفالتی از روش مارشال (ASTM D1559) که در حال حاضر روش معمول طرح مخلوط در کلیه پروژه های روسازی آسفالتی در کشور است، استفاده بعمل آمد. نمونه های مارشال حاوی ۴، ۴/۵، ۵، ۵/۵، و ۶ درصد وزنی قیر در مخلوط (سه نمونه بازاء هر درصد قیر) با وارد ساختن ۷۵ ضربه به هر طرف نمونه ها (شرایط ترافیک سنگین) تهیه شد. در مورد کلیه مخلوطها دانسیته تئوریک حداکثر در ۵ درصد وزنی قیر با پیروی از استاندارد مربوط (ASTM D2041) که به روش رایس معروف است تعیین گردید.

مقاومت فشاری محدود نشده

هدف از ساخت و آزمایش ایندسته از نمونه ها بدست آوردن نشانه ای از تأثیر نوع ماسه مصرفی بر ظرفیت برشی مخلوطهای آسفالتی بود. به این منظور ابتدا نمونه های مارشال با درصد قیر بهینه ساخته شد. سپس با توجه به ضوابط روش استاندارد آزمایش فشاری محدود نشده (ASTM D1074)، بر روی نمونه های بتن آسفالتی

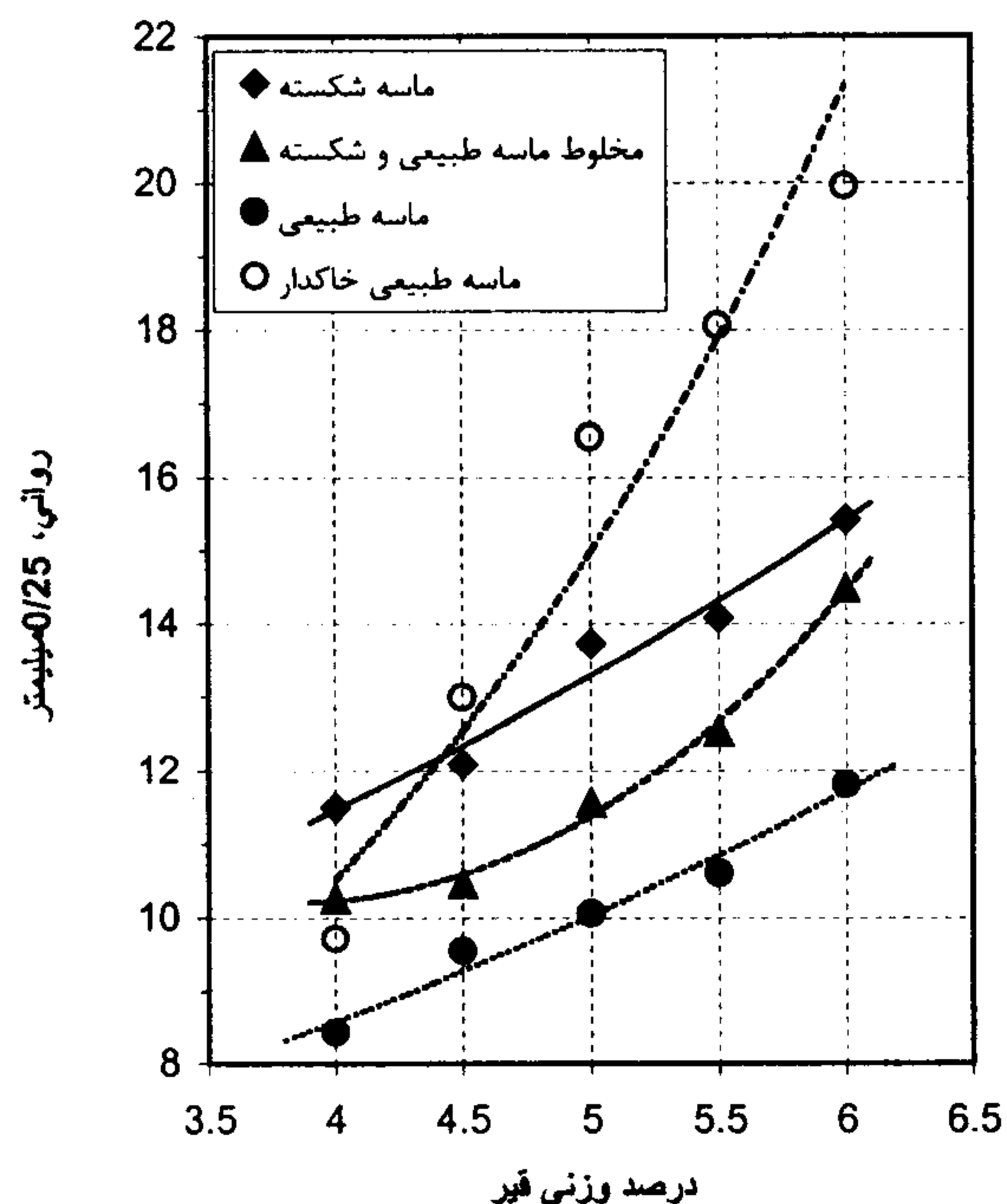
بوسیله دستگاه مغزه گیری قطر نمونه های مارشال به مقدار ارتفاع آنها (۶۳ میلیمتر) کاهش داده شد. چون در حین مغزه گیری امکان گرم شدن نمونه و در نتیجه تغییر در ساختار متراکم شده آن وجود داشت، نمونه ها قبل از مغزه گیری بمدت ۴ ساعت در دمای C° ۱۰- نگهداری شدند. به این ترتیب نمونه های مورد استفاده در آزمایش فشاری محدود نشده از لحاظ تراکم مشابه نمونه های نظیر در آزمایش مارشال بودند. بازاء هر درصد قیر سه نمونه ساخته شد. مشابه شرایط آزمایش مارشال، نمونه های مقاومت فشاری قبل از انجام آزمایش بمدت ۳۰ دقیقه در حمام آب C° ۶۰ که برای مخلوطهای آسفالتی دمای بحرانی شناخته میشود، نگهداری شد. در خلال آزمایش مقادیر بار و تغییر شکل محوری نظیر بطور همزمان ثبت گردید.

بحث در نتایج آزمایشها

تأثیر نوع ماسه مصرفی بر پارامترهای طرح اختلاط

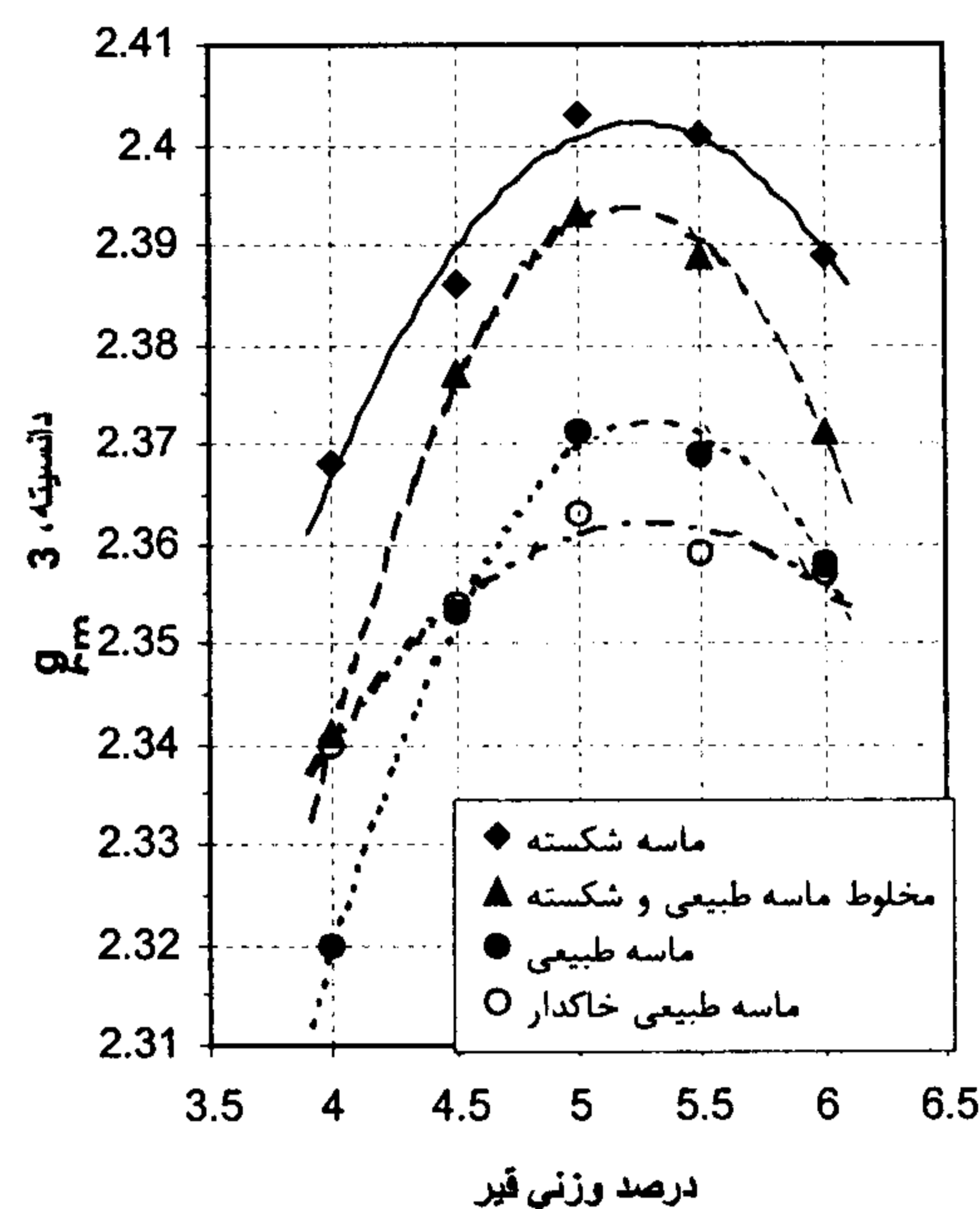
همانطور که در شکل (۱) ملاحظه میشود، در مورد کلیه مخلوطهای آسفالتی روند تغییرات دانسیته با افزایش درصد قیر در مخلوط مشابه بوده و بصورت افزایش تدریجی، رسیدن به یک حداکثر، و سپس کاهش است که مطابق انتظار است. نمونه های ساخته شده با ماسه های شکسته و مخلوط در درصد قیر های مختلف دانسیته بیشتری از نمونه های ساخته شده با ماسه طبیعی دارند که بخشی از آنرا میتوان به تفاوت در وزن مخصوص ماسه های بکار رفته در ساخت مخلوطها (جدول ۴) نسبت داد. این تفاوت بخصوص در مورد نمونه های ساخته شده با ماسه طبیعی کاملاً قابل ملاحظه است. تغییرات پایداری مارشال مخلوطهای مختلف (شکل ۲) نیز روندی مشابه

مخلوطها دارند. پایداری زیاد تأثیر بارز مصرف ماسه شکسته در مخلوط آسفالتی است که از یکطرف به معنی پایداری بیشتر مخلوط، و از طرف دیگر ممکن است به معنی افزایش احتمال وقوع خرابیهای زودرس مثل ترک خوردگی و جدائی دانه ها باشد [۵].

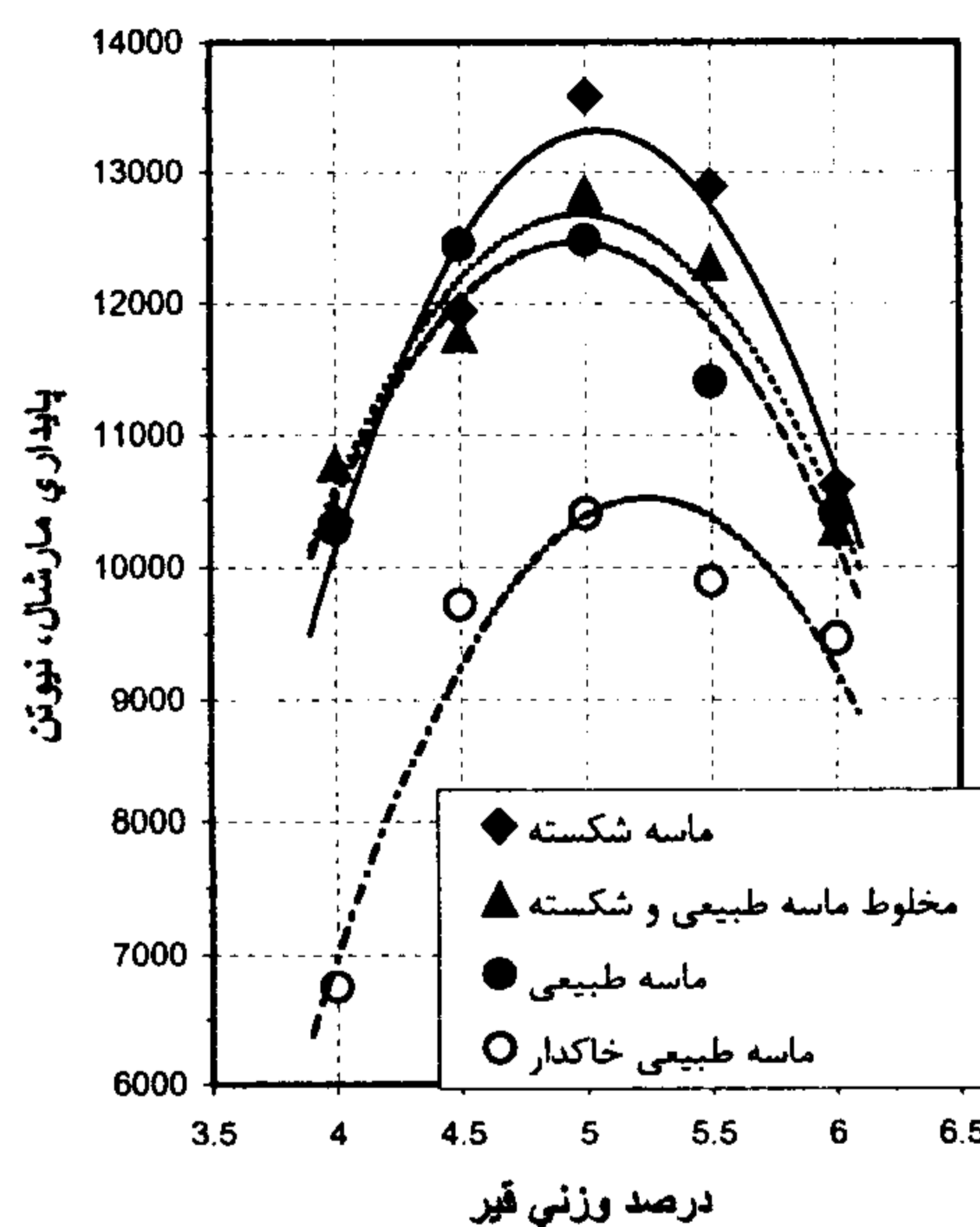


شکل ۳: تأثیر مقدار قیر و نوع ماسه بر روانی نمونه های بتن آسفالتی.

همانطور که در شکل (۳) ملاحظه میشود، در مورد کلیه مخلوطها با افزایش درصد قیر روانی نیز تدریجاً افزایش می یابد. روند این افزایش در مورد نمونه های تهیه شده با ماسه های شکسته، مخلوط، و طبیعی مشابه یکدیگر، اما در مورد نمونه های تهیه شده با ماسه طبیعی خاکداز بسیار تندتر است. با توجه به این که روانی نشان دهنده تغییر شکل قطری نمونه مارشال در لحظه گسیختگی است، نقش منفی ماسه طبیعی خاکداز در بروز تغییر شکلهای بزرگ مشخص میشود. افزایش سریع روانی با افزایش درصد قیر در این مخلوطها را میتوان به ضعف فیلر حاکی مصرف شده در کنترل کند روانی قیر موجود در ساختار نمونه در شرایط آزمایش نسبت داد. نکته قابل توجه دیگر مقادیر روانی کمتر در نمونه های تهیه شده با ماسه طبیعی در درصد قیرهای مختلف، در قیاس با



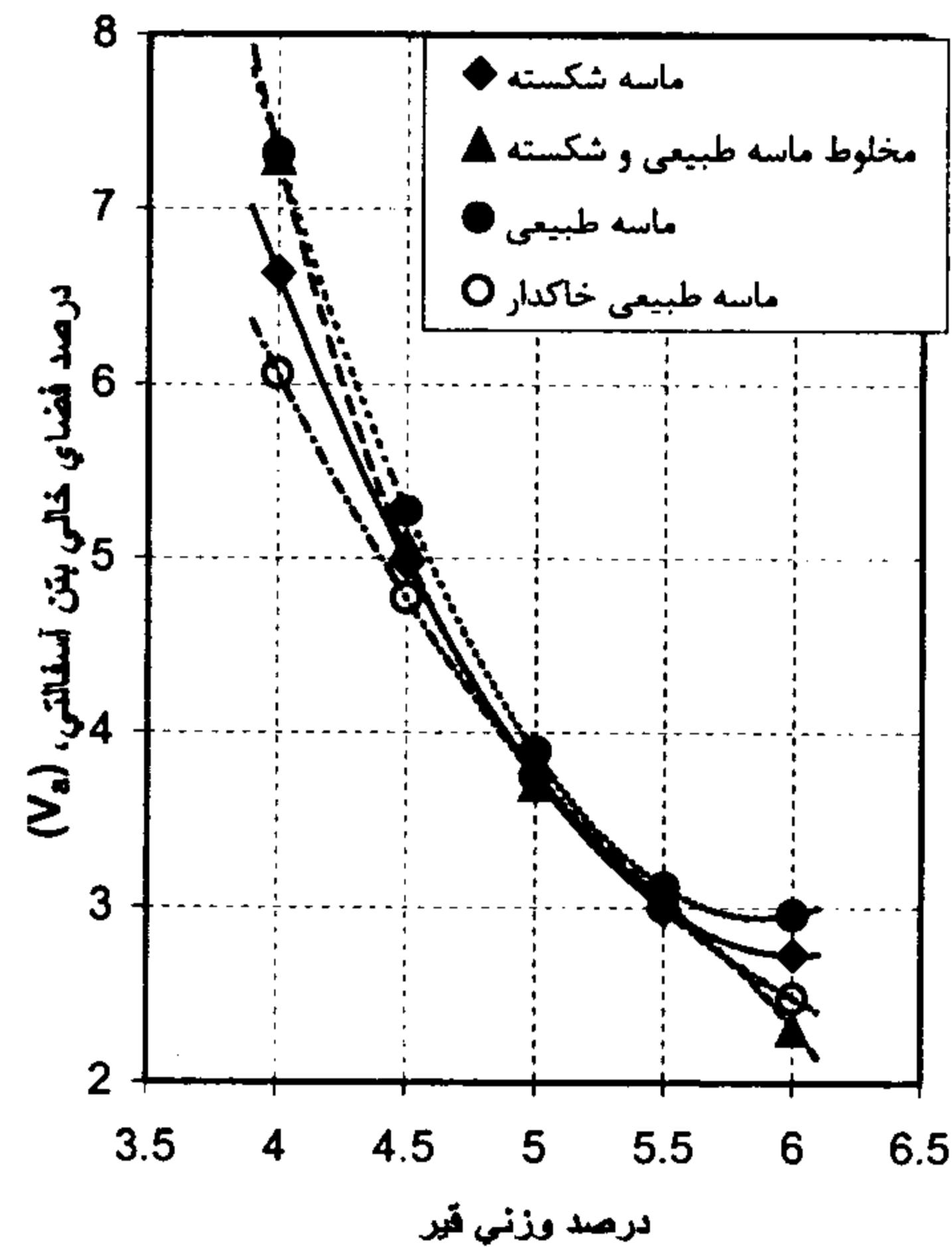
شکل ۱: تأثیر مقدار قیر و نوع ماسه بر دانسیته نمونه های بتن آسفالتی.



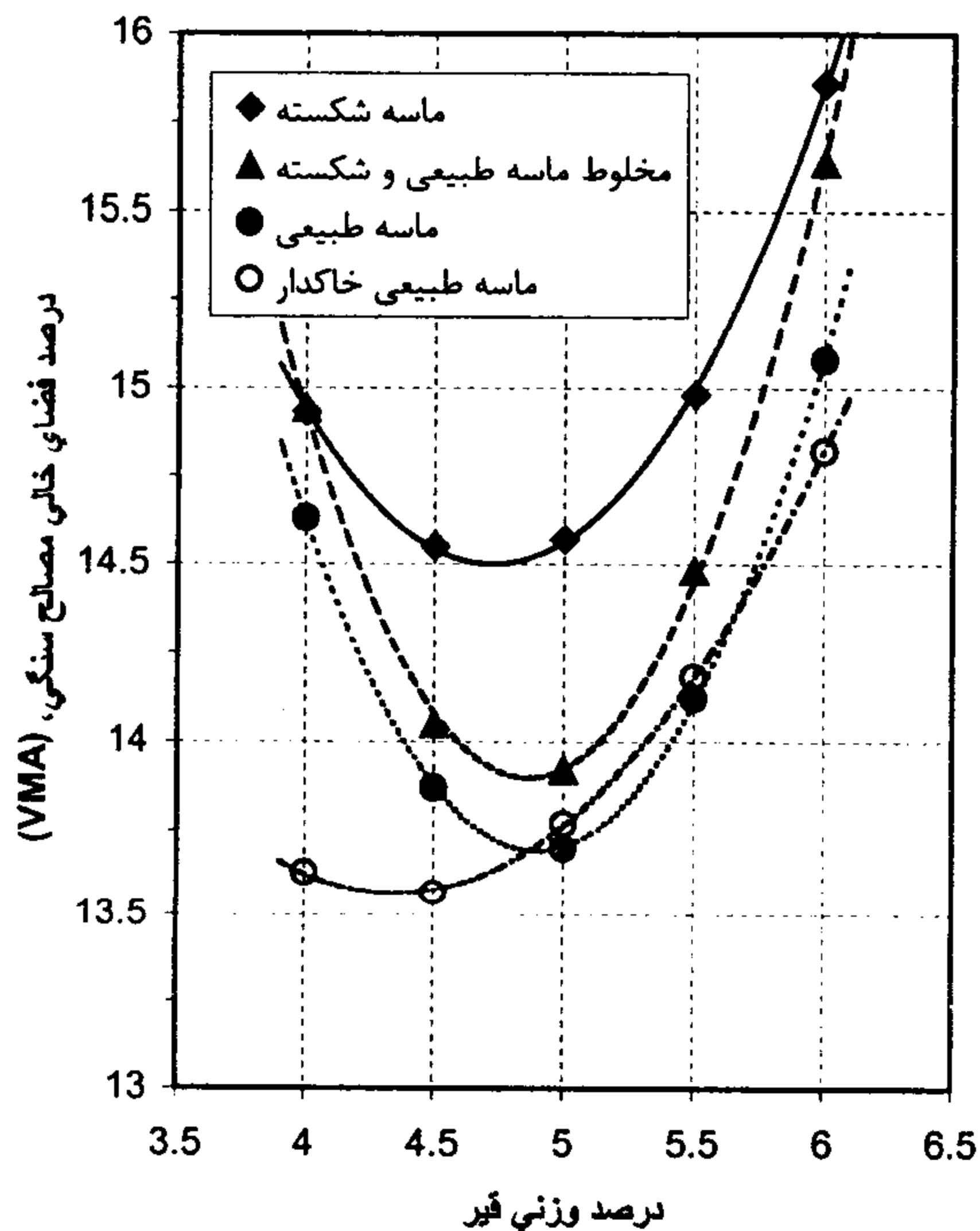
شکل ۲: تأثیر مقدار قیر و نوع ماسه بر پایداری نمونه های بتن آسفالتی.

تغییرات دانسیته دارند. همانطور که ملاحظه میشود در اینجا نیز نمونه های تهیه شده با ماسه شکسته در درصد قیرهای مختلف مقادیر پایداری مارشال بزرگتری از سایر

ماسه های شکسته و مخلوط است که بسادگی قابل توجیه نیست. با اینحال محققین دیگر نیز گاهی نتایج مشابهی را گزارش کرده اند [۶،۱].



شکل ۴: تأثیر مقدار قیر و نوع ماسه بر درصد فضای خالی نمونه های بتن آسفالتی.

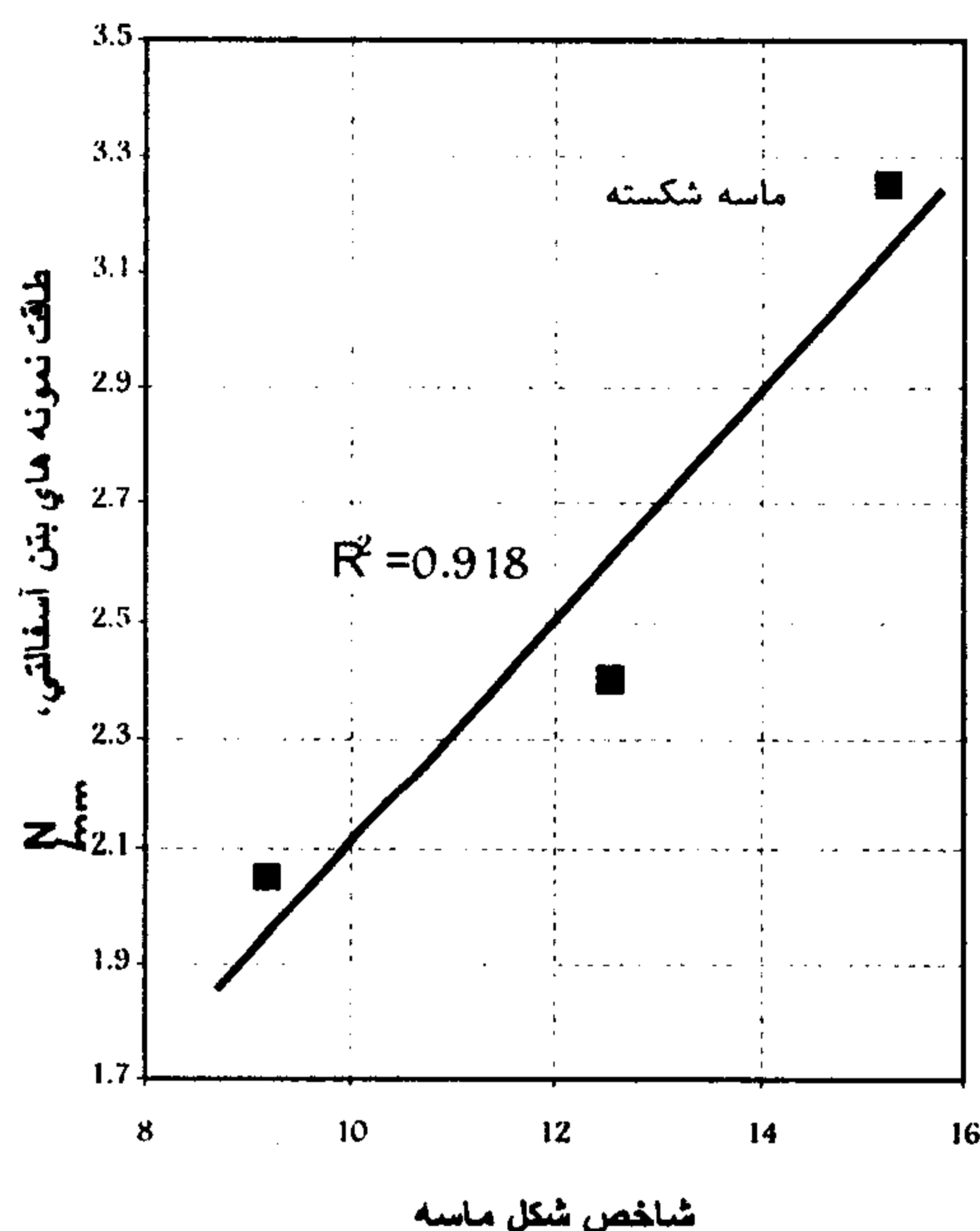


شکل ۵: تأثیر مقدار قیر و نوع ماسه بر درصد فضای خالی مصالح سنگی بتن آسفالتی.

پارامترهای طرح مخلوطهای آسفالتی در درصد قیر بهینه که با استفاده از نتایج آزمایش و بر اساس روش انستیتو آسفالت [۱۲] محاسبه و تعیین گردیده، در جدول (۶) خلاصه شده اند. همانطور که ملاحظه میشود براساس این روش طرح کلیه مخلوطهای مورد مطالعه با توجه به برآورده ساختن حداقل نیازهای طرح (معیارهای تعیین شده در MS-2) قابل قبول اند. لیکن در عمل رفتار مخلوطهای آسفالتی ساخته شده با ماسه های مختلف آنطور که از سوی محققین دیگر گزارش شده [۳، ۲، ۴]، و در مقدمه مورد بحث قرار گرفت، و نیز آنگونه که از نتایج آزمایش فشاری محدود نشده که در ادامه در باره آن بحث خواهد شد بر می آید، از لحاظ مقاومت در برابر تغییر شکلهای دائمی با یکدیگر تفاوت قابل ملاحظه دارند.

شکل (۴) تغییرات درصد فضای خالی نمونه های بتن آسفالتی ساخته شده با انواع ماسه ها را نشان میدهد، همانطور که ملاحظه میشود، با افزایش درصد قیر در مخلوط درصد فضای خالی با روندی کم و بیش یکسان در مورد کلیه مخلوطها تدریجاً کاهش می یابد که مطابق انتظار است. تغییرات درصد فضای خالی مصالح سنگی (VMA) با افزایش درصد قیر در شکل (۵) نمایش داده شده اند. روند عمومی تغییرات بصورت کاهش تدریجی در ابتدا و سپس افزایش در درصد قیرهای بالاتر است. همانطور که در شکل مذکور ملاحظه میشود، نمونه های ساخته شده با ماسه شکسته بیشترین و نمونه های ساخته شده با ماسه های طبیعی و طبیعی خاکداز، کمترین مقادیر فضای خالی را دارند. چون درصد فضای خالی مصالح سنگی به دانه بندی و شکل دانه ها در مصالح سنگی مربوط میشود، و با توجه به یکسان بودن جنس و دانه بندی مصالح درشت دانه در مخلوطهای مورد آزمایش، نقش شکل مصالح ریزدانه در تأمین درصد فضای خالی

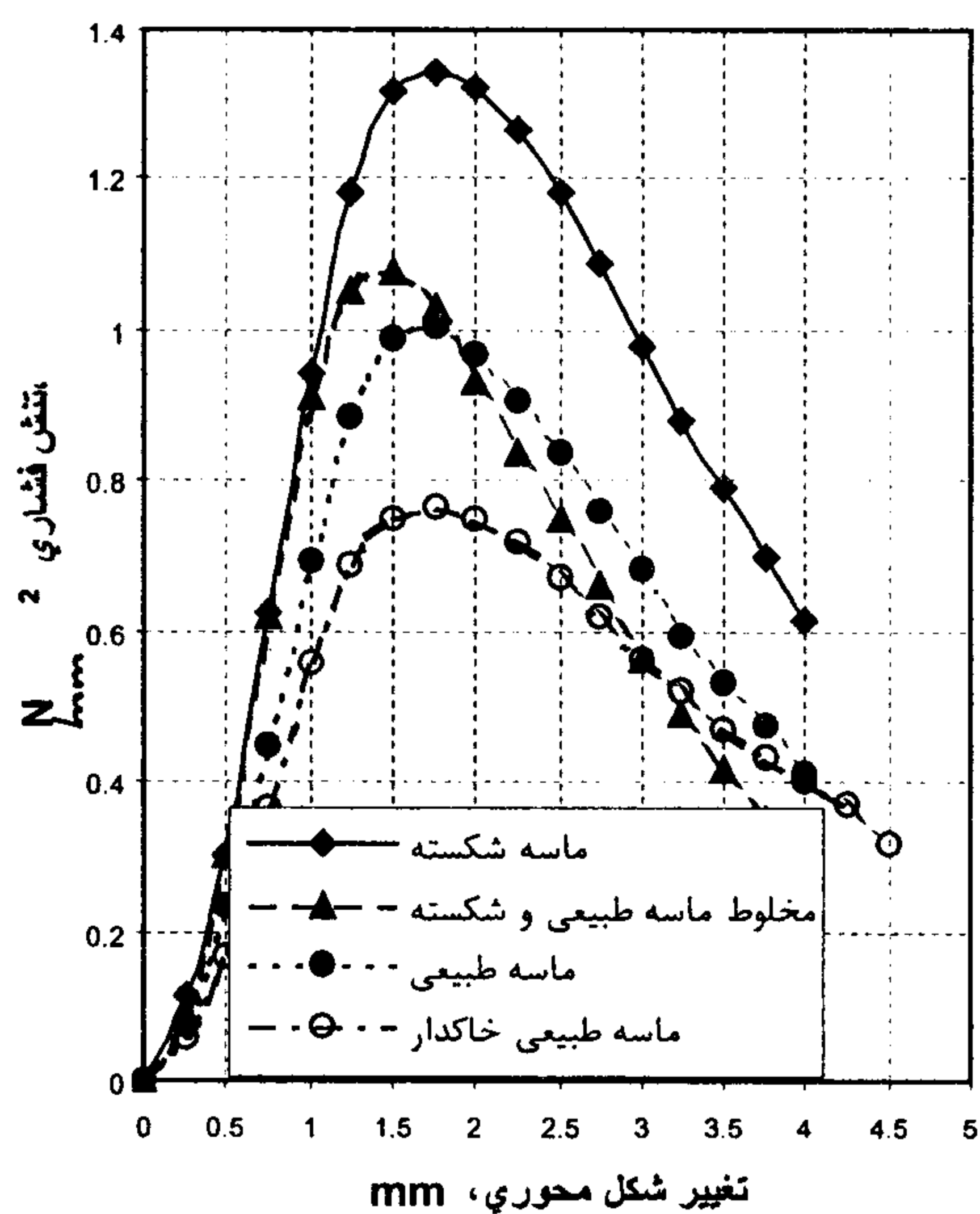
نمایش داده شده اند. همانطور که ملاحظه میشود، در مورد کلیه مخلوطها با افزایش تنش تغییر شکل محوری افزایش می یابد. آهنگ این افزایش تا قبل گسیختگی کند تر و پس از آن بسیار تندتر است. همانطور که منحنی ها در شکل مذکور نشان میدهند علیرغم اینکه کلیه مخلوطها در درصد قیر بهینه و با تراکم یکسان ساخته شده اند، مقاومت فشاری نمونه های تهیه شده با ماسه شکسته حدوداً دو برابر نمونه های ساخته شده با ماسه طبیعی خاکدار است. در سطح تنش یکسان تغییر شکل محوری نمونه های ساخته شده با ماسه طبیعی خاکدار بیش از سایر نمونه هاست که آنرا میتوان پایداری کمتر اینگونه مخلوطها در برابر تنشهای ناشی از بار ترافیک تعبیر نمود. همانطور که از مقایسه منحنی ها در شکل (۶) بر می آید، ظرفیت باربری مخلوط آسفالتی ساخته شده با ماسه طبیعی مخلوط که در آن بخشی از ماسه شکسته با ماسه طبیعی جایگزین شده، در حد مخلوط ساخته شده با ماسه طبیعی تقلیل یافته است.



شکل ۷: همبستگی طاقتهای نمونه های بتن آسفالتی در آزمایش فشاری محدود نشده با نوع ماسه مصرف شده.

با توجه به منحنیهای شکل (۶)، تفاوت رفتار نمونه های بتن آسفالتی ساخته شده با ماسه های مختلف در آزمایش فشاری محدود نشده را میتوان بطور احتمالی به این

با توجه به اینکه ممنوع ساختن کلی مصرف ماسه طبیعی بلحاظ اقتصادی توجیه پذیر نیست، در طرح مخلوط آسفالتی و ارائه فرمول کارگاه، لزوم توصیف کمی ماسه های طبیعی بر اساس شکل دانه ها بمنظور تعیین حد مجاز قابل مصرف آنها، و نیز انجام آزمایشهای تکمیلی مناسب بعدی که قادر به پیش بینی رفتار تغییر شکلی مخلوطهای آسفالتی در شرایط بهره برداری باشند، مشخص میشود.



شکل ۶: رابطه تنش-تغییر شکل نمونه های بتن آسفالتی در آزمایش فشاری محدود نشده.

تأثیر نوع ماسه مصرفی بر مقاومت فشاری محدود نشده بر خلاف آزمایشهای غیرتخریبی مثل ضریب برجهندگی^۸ که در آنها خواص شکل و بافت سطحی دانه ها متأثر از خواص لعاب قیر پوشش دانه ها است، آزمایشهای مارشال و فشاری محدود نشده از نوع گسیختگی کلی بوده و در آنها خواص شکل دانه ها بر رفتار مخلوط نمود بهتری دارد [۶]. تغییرات تغییر شکل نمونه های بتن آسفالتی در بار گذاری با نرخ تغییر شکل قائم یکنواخت برابر با دقیقه/۱،۲۵ mm، با افزایش تنش فشاری در مراحل قبل و پس از گسیختگی در شکل (۶)

جدول ۶: خواص مخلوطهای آسفالتی در درصد قیر بهینه.

مقدار پیشنهادی انستیتو آسفالت [۱۲]	نوع مخلوط آسفالتی				خاصیت
	با ماسه طبیعی خاکدار	با ماسه طبیعی	با ماسه مخلوط	با ماسه شکسته	
	۵/۲	۵/۰	۵/۰	۵/۱	درصد قیر بهینه
	۲/۳۶۲	۲/۳۷۰	۲/۳۹۳	۲/۴۰۲	دانسیته، gr/cm^3
≥ 6673	۱۰۵۰۰	۱۲۵۰۰	۱۲۷۰۰	۱۳۳۰۰	استقامت مارشال، نیوتن
۸-۱۶	۱۵/۷	۱۰/۰	۱۱/۳	۱۳/۴	روانی، ۰/۲۵ میلیمتر
۳-۵	۳/۳	۳/۹	۳/۸	۳/۷	درصد فضای خالی بتن آسفالتی
حداقل ۱۳/۸	۱۳/۹	۱۳/۷	۱۳/۹	۱۴/۶	درصد فضای خالی مصالح سنگی (VMA)
-	۷۶.۲	۷۱.۵	۷۲.۷	۷۴.۷	درصد فضای خالی پر شده با قیر (VFA)
-	۱/۸۵	۲/۰۵	۲/۴۰	۳/۲۵	طاقت در آزمایش فشاری، N/mm

می‌آید مخلوط‌های ساخته شده با ماسه‌های شکسته و طبیعی خاکدار بترتیب بیشترین و کمترین مقادیر طاقت را دارند. همبستگی شاخص شکل مصالح ریزدانه بکار رفته در تهیه مخلوط‌های مختلف با مقدار طاقت هر یک در آزمایش فشاری محدود نشده در شکل (۷) نشان داده شده است. البته در بررسی این همبستگی مخلوط ساخته شده با ماسه طبیعی خاکدار بعلاوه متفاوت بودن فیلر آن با سایر مخلوط‌ها دخالت داده نشده است. وجود همبستگی زیاد ریزدانه بر ظرفیت جذب انرژی مخلوط‌های آسفالتی و در نتیجه بروز تغییر شکل‌های دائمی در آنهاست.

خلاصه و نتیجه گیری

این تحقیق بمنظور ارزیابی تأثیر مصرف ماسه طبیعی بویژه بصورت نشسته بر مخلوط‌های آسفالتی روسازی انجام شد. بر مبنای نوع مصالح بکار رفته و آزمایش‌های انجام شده نتایج زیر حاصل شدند:

- در رفتار مخلوط‌های آسفالتی ساخته شده با ماسه‌های شکسته و طبیعی گردگوشه تفاوت عمده‌ای وجود دارد. در تمامی موارد مصرف ماسه شکسته موجب بهبود در خواص مطلوب بتن آسفالتی می‌گردد.

ترتیب تحلیل نمود که در سطوح پائین تنش تغییر شکلها در درون لعاب قیر پوشش دانه‌ها در نقاط تماس آنها با یکدیگر اتفاق می‌افتد. در ادامه گسیختگی کلی نمونه با تشکیل یک صفحه شکست روی میدهد که طی آن پس از برش لعاب قیر در نقاط تماس، کار آئی قفل و بست اصطکاکی بین دانه‌ها در صفحه شکست سطح پایداری نمونه را معین میکند. این ظرفیت قفل و بست تابعی مستقیم از تیز گوشگی دانه‌های سنگی است. واضح است که کار آئی قفل و بست اصطکاکی مصالح شکسته تیزگوشه با سطح زبر، بسیار بیشتر از مصالح گردگوشه با سطح صاف است.

بمنظور مقایسه مخلوط‌های آسفالتی از لحاظ قابلیت جذب انرژی با استفاده از داده‌ها در شکل (۶) مقادیر طاقت^۱ نمونه‌های مختلف بتن آسفالتی (سطح زیر محنی تنش- تغییر شکل حدفاصل تغییر شکل صفر تا دو برابر تغییر شکل لحظه گسیختگی) که مشخصه قابلیت جذب انرژی آنهاست محاسبه و در جدول (۶) نشان داده شده است. البته در انتخاب گستره تغییر شکلی مورد استفاده در محاسبه طاقت نمونه‌ها، تغییر شکل نظیر گسیختگی کلی آنها مورد توجه بوده و در این مورد از استاندارد خاصی تبعیت نشده است. همانطور که از داده‌های جدول بر

- مصرف ماسه طبیعی شسته نشده در مخلوطهای آسفالتی سبب افت کیفی مخلوط شده و بویژه احتمال وقوع تغییر شکل‌های دائمی و قیر زدگی در رویه های آسفالتی را افزایش میدهد.

- روش مارشال در طرح و کنترل مخلوطهای آسفالتی از حساسیت لازم برای نشان دادن حد مجاز مصرف ماسه طبیعی در مخلوط بر خوردار نبوده و لذا تعیین حد مذکور بر اساس معیار کمی شکل دانه های مصالح ریزدانه، و انجام آزمایشهای تکمیلی مناسب دیگر ضرورت دارند.

مراجع

- 1 - Stuart, D. K. and Mogaver, W. S. (1994). "Evaluation of natural sands in asphalt mixtures." *Transportation Research Record 1436*. TRB. National Research Council. Washington D. C. PP. 115-123.
- 2 - Alrich, A. C. (1996). "Influence of aggregate properties on performance of heavy-duty hot-mix asphalt pavements." *Transportation Research Record 1547*, TRB. National Research Council. Washington D. C. PP. 7-14.
- 3 - Vincent, C. J. and Korhonen, C. (1999). "Performance testing of hot-mix asphalt aggregates." *Special Report No. 99-20. US Army Corps of Engineers, Cold Regions Research & Engineering Laboratory*.
- 4 - Kandhal, P. S., Cross, S. A. and Brown, E. R. (1993). "Heavy-duty pavements in pennsylvania: evaluation of rutting." *Transportation Research Record 1384*, TRB. National Research Council. Washington D. C. PP. 49-58.
- 5 - Kalcheff, I. V. and Tunnicliff, D. G. (1982). "Effects of crushed stone aggregate size and shape on properties of asphalt concrete." *Proceedings of The Association of Asphalt Paving Technologists*, Vol. 51, PP. 453-483.
- 6 - Ishai, I. and Gelber, H. (1982). "Effect of geometric irregularities of aggregate size and shape on properties and behavior of bituminous concrete." *Proceedings of The Association of Asphalt Paving Technologists*, Vol. 51, PP. 494-521.
- 7 - Federal Highway Administration. (1988). "Asphalt concrete mix design and field control." *US Department of Transportation, Technical Advisory No. T5040.27*.
- ۸- مشخصات فنی عمومی راه. سازمان مدیریت و برنامه ریزی، نشریه ۱۰۱، (۱۳۷۵).
- 9 - Kuo, C. and Freeman, R. B. (2000). "Imaging indices for quantification of shape, angularity, and surface texture of aggregates." *Transportation Research Record 1721*, TRB. National Research Council. Washington D. C. 57-65.
- 10 - Shabir Hossain, M., Parker, F. J. and Kandhal, P. S. (1999). "Tests for evaluating fine aggregate particle shape, angularity, and surface texture." *Transportation Research Record 1673*, TRB. National Research Council. Washington D. C. 64-72.
- 11 - The Asphalt Institute. (1983). *Principles of Construction of Hot-Mix Asphalt Pavements*. Manual Series, No. 22, College Park, Md.
- 12 - The Asphalt Institute. (1983). *Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mixed Types*. Manual Series, No. 2. College Park, Md.

واژه های انگلیسی بترتیب استفاده در متن

- | | |
|------------------|------------------------------------|
| 1 - Rutting | 6 - Federal Highway Administration |
| 2 - Plastic Flow | 7 - Geometric Irregularities |
| 3 - Workability | 8 - Resilient Modulus |
| 4 - Shoving | 9 - Toughness |
| 5 - Bleeding | |

