



بررسی رفتار مکانیکی نمونه های آسفالتی جهت استفاده در هسته آسفالتی سدهای سنگریزه ای

مسعود محمدزاده^۱، منوچهر لطیفی^۲

۱- تهران، خ شریعتی، خ خاقانی، خ عطاری مقدم، پ ۳۸

:

Email: MASOUD757757@YAHOO.COM

خلاصه

در کشور ایران سدهای خاکی با هسته آسفالتی به دلیل داشتن مزیت‌هایی از قبیل اجرای سریع، کمتر آسیب زدن به طبیعت، حجم مصالح کم، فراوانی قیر... می‌توانند به عنوان گزینه قابل بررسی خصوصاً در مناطق پر باران به عنوان یک گزینه جایگزین سدهای خاکی با هسته رسی استفاده شوند. در مقاله حاضر، از روش تراکم ژیراتوری برای ساخت نمونه های آسفالتی استفاده شده است. نمونه های ساخته شده دارای شرایط یکسان در تراکم و روش ساخت می‌باشند. نمونه‌ها تحت آزمایشات تک محوری سیکلیک با تغییرات درصد قیر، دما و فرکانس بارگذاری درحالت های مختلف قرار گرفتند. مقدار قیر در چهار حالت ۵/۵، ۶، ۶/۵ و ۷ درصد تغییر می‌کند. دما در دو حالت ۱۰ و ۲۵ درجه و فرکانس بارگذاری در سه حالت ۰/۵، ۲ و ۵ هرتز تغییر می‌کنند. سپس به مقایسه رفتار مکانیکی نمونه‌ها در سیکل‌های مختلف بارگذاری برای حالت‌های مختلف گفته شده پرداخته می‌شود. نحوه تغییرات مدول الاستیک و میرایی (دمپینگ) مخلوط‌های آسفالتی تحت تغییرات گفته شده مورد بررسی قرار می‌گیرد. با مقایسه نتایج مشاهده شده، با افزایش دما سختی کاهش یافته و میرایی افزایش می‌یابد. با افزایش فرکانس سختی افزایش و میرایی تغییر نمی‌کند و در بین درصدهای قیر ۶ تا ۶/۵ بیشترین سختی و کمترین میرایی را داریم.

کلمات کلیدی: تراکم ژیراتوری، منوتونیک، UTM-5، مدول الاستیک، میرایی (دمپینگ)

مقدمه

امروزه، سدهای خاکی یکی از معمول‌ترین سدها هستند، زیرا مصالحی که در ساخت آنها بکار می‌رود از طبیعت استخراج شده و به راحتی اجرا می‌شوند. برای جمع‌آوری آب در پشت سد، لازم است تا یک عنصر نفوذ ناپذیر در بدنه سد تعبیه گردد. این عنصر نفوذ ناپذیر می‌تواند به عنوان یک پرده داخلی (هسته) یا یک پوشش خارجی تعبیه شود. هرکدام از این دو حالت، مزایا و معایب خود را دارند ولی عموماً به نظر می‌رسد که سدهای خاکی دارای هسته داخلی، دارای مزایای زیادی هستند. یکی از مصالح ساخت دست بشر که در مهندسی راه و ساختمان کاربرد دارد، قیر است. نفوذپذیری در برابر رطوبت و آب بند بودن قیر، همواره در بسیاری از کارهای ساختمانی چاره ساز بوده است. از طرف دیگر با توسعه فن راهسازی، استفاده از مخلوط قیر و مصالح سنگی به عنوان رویه راه، به لحاظ مقاومت خوب، کاربرد فراوانی یافته است. مخلوط مصالح سنگی و قیر که بتن آسفالتی نامیده می‌شود، می‌تواند علاوه بر داشتن مقاومت خوب، پوششی مناسب جهت جلوگیری از نفوذ رطوبت باشد. این موضوع باعث شد تا کاربرد این ماده برای آب بندی سدهای خاکی مطرح شود. به علت نفوذناپذیری رس و وفور نسبی آن در طبیعت، در اغلب موارد هسته مرکزی از جنس رس ساخته می‌شود، ولی همانطور که گفته شد با بررسی بیشتر در مخلوط آسفالتی، از بتن آسفالتی نیز به عنوان یک دیوار آب بند در هسته این نوع سدها در شرایط بارانی یا نبودن مصالح ریزدانه مناسب و کافی استفاده شده است، که این دیواره به صورت قائم و مایل قابل اجرا است. [4]

کاربرد بتن آسفالتی در نفوذ ناپذیر کردن سدهای خاکی و سنگریزه، اخیراً توجه کارشناسان این حرفه را به خود جلب نموده است. در کنفرانس شانزدهم کمیته بین المللی سدهای بزرگ (ICOLD) که در ژانویه ۱۹۸۸ میلادی در سانفرانسیسکو برگزار شد، یکی از چهار مبحث اصلی این کنفرانس، به سدهای خاکی و سنگریزه ای با هسته‌های غیر رسی اختصاص یافته بود. از دیدگاه تاریخی، اولین سد با هسته قیری در سال ۱۹۴۸ میلادی، در کشور پرتغال ساخته شد. در دهه ۱۹۷۰ میلادی تحولات و پیشرفت‌های چشم گیری در این باره صورت گرفته است که حاصل این پژوهش‌ها تاکنون بیش از ۶۰ سد با هسته بتن آسفالتی می‌باشد. این تحقیقات و پژوهش‌ها همواره در سالهای اخیر نیز در کشورهای مختلف ادامه داشته تا هرچه بیشتر با رفتار

^۱ کارشناسی ارشد دانشگاه تهران - خاک و پی

^۲ استادیار دانشگاه تهران - خاک و پی



این نوع سدها و هسته بتن آسفالتی آنها در شرایط مختلف از جمله شرایط زلزله در مناطق زلزله خیز، آشنا شوند. [5] سد میجران اولین سد احداث شده از نوع سنگریزه‌ای با هسته آسفالتی (Asphaltic concrete core Rockfill dam) ACCRD در ایران می‌باشد. این سد بر روی نساورد در ۲۰ کیلومتری جنوب شرقی رامسر ساخته شده است که عملیات اجرایی این سد در سال ۱۳۸۲ به اتمام رسید.

مصالح سنگی

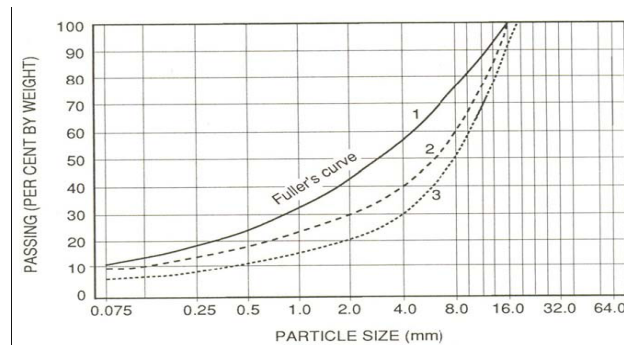
این مصالح شامل درشت دانه‌ها و ریز دانه‌ها می‌باشند. بزرگترین اندازه دانه‌هایی که معمولاً در رویه‌های آسفالتی استفاده می‌گردد ۱/۵ اینچ می‌باشد ولی در هسته‌های بتن آسفالتی این اندازه به ۳ اینچ نیز می‌رسد، از ذرات ریز فیلر که عبوری از الک ۲۰۰ می‌باشد در هسته‌های بتن آسفالتی استفاده می‌شود که هیچ عملکرد ساختمانی ندارد و فقط برای بهبود در ترکیب بتن آسفالتی و جلوگیری از روانی هر چه بیشتر قیر می‌باشد. [2] دانه بندی مورد استفاده در بیشتر سدهای ساخته شده، منحنی دانه بندی فولر است که دانه‌های عبوری از الک ۲۰۰ می‌تواند در حدود ۱۲ درصد وزن کل را تشکیل دهد. معمولاً دانه‌های مختلف (در آزمایشگاه) با اندازه‌های مختلف در رنج‌های ۰-۱۶ و ۰-۱۸ میلی‌متر قرار دارند. در دانه بندی فولر، اغلب از یک نوع ماسه طبیعی استفاده می‌شود که معمولاً به ۱۵ تا ۲۰ درصد نمونه محدود می‌شود، زیرا بیشتر شدن آن باعث سست شدن مخلوط می‌گردد. [1, 2, 6]

$$P_i = \left(\frac{d_i}{d_{max}} \right)^{0.41} \times 100 \quad (1)$$

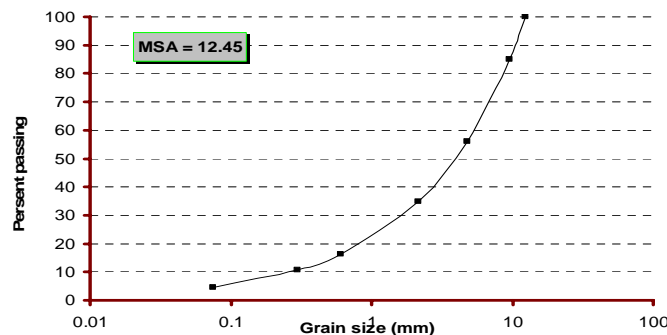
P_i درصد وزنی کوچکتر از اندازه معادل d_i برای دانه‌های مخلوط [2]

d_i اندازه الک و d_{max} اندازه بزرگترین دانه مورد استفاده می‌باشند

معمولاً درصد قیری که در هسته‌های آسفالتی استفاده می‌شود بیش از مقدار متداول در مخلوط‌های بتن آسفالتی در راه سازی می‌باشد، به همین دلیل است که ما در هنگام تراکم می‌توانیم به میزان فضای خالی مورد نظر برسیم و مخلوط به یک مخلوط نفوذ ناپذیر تبدیل شود. معمولاً این درصد قیر حدوداً بین ۵/۵ تا ۷ درصد می‌باشد و فضای خالی مورد نیاز، کمتر از ۳ درصد است. در طی آزمایش‌های مختلف ثابت شده بتن آسفالتی با میزان درصد وزنی کمتر از ۳ درصد حتی در فشار آب زیاد نفوذ ناپذیر می‌باشد. [1, 2, 6] آزمون‌های آزمایشگاهی در این تحقیق بر روی نمونه‌های بتن آسفالتی با قیر ۶/۲ درصد و جنس دانه های یکسان ولی با توزیع دانه بندی متفاوت نشان دهنده اهمیت رعایت منحنی فولر Fuller's Curve در یک حاشیه معقول بود. در شکل (۱) دو منحنی دانه بندی در زیر منحنی دانه بندی فولر کشیده شده که مشاهده شد، بتن آسفالتی ساخته شده از مصالح منحنی ۳ را نمی‌توان در حدی متراکم نمود که حجم حفره‌های آن کمتر از ۳ درصد شود، مگر اینکه قیر زیادی مصرف شود. [2]



شکل ۱- منحنی دانه بندی فولر برای سنگدانه های بتن آسفالتی



شکل ۲- منحنی دانه بندی فولر استفاده شده در این پژوهش

**قیر مصرفی**

قیر به علت داشتن دو خاصیت مهم یعنی غیر قابل نفوذ بودن در برابر آب و چسبندگی بودن یکی از پرکاربردترین مصالح می باشد. [3] در بیشتر سدهایی که تا کنون با هسته بتن آسفالتی ساخته شده است مقدار قیر اندکی بیشتر از مقدار بهینه‌ای است که در آزمایش مارشال به آن می‌رسیم، به طور کلی مقدار قیر در محدوده ۵/۵ تا ۶/۵ درصد وزنی ترکیب بتن آسفالتی می‌باشد. [2] با توجه به میزان قیر مصرفی، استحکام بین مخلوط‌های آسفالتی همانند مخلوط آسفالت ماستیکی بستگی زیادی به استحکام و سختی قیر دارد. نمونه‌های آزمایشگاهی ساخته شده با قیر ۱۰۰-۸۵ دارای مقاومت کمتری بوده و استعداد جریان یافتن قیر به علت ویسکوزیته کم در آنها بیشتر است. بنابراین از قیر ۷۰-۶۰ برای ساخت نمونه‌ها استفاده شد. [2] برای ساخت نمونه‌ها در پژوهش حاضر از قیر خالص با درجه نفوذ ۶۰-۷۰ استفاده شد. با آزمایش‌های انجام شده بر روی قیر مصرفی، درجه نفوذ قیر ۶۶ (آزمایش نفوذ یا penetration) و درجه نرمی آن (آزمایش گوی و حلقه) ۴۸ درجه سانتیگراد و چگالی قیر مصرفی ۱/۰۲ می‌باشد.

نتایج آزمایشهای تک محوری سیکلیک (توسط دستگاه 5-UTM)**کلیات**

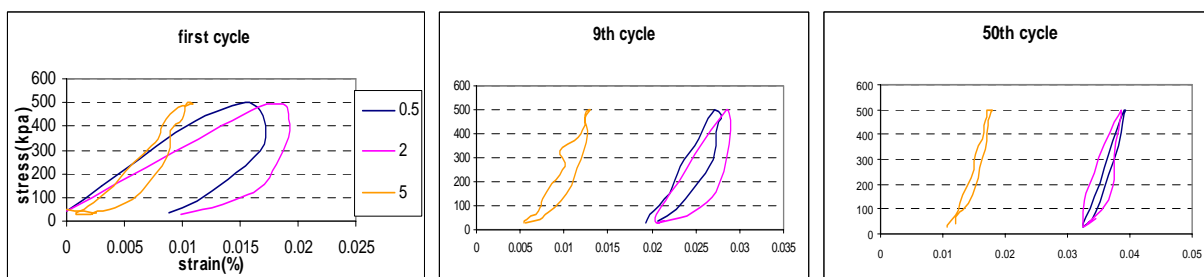
در این بخش به بررسی و مقایسه نتایج حاصل از آزمایشات تک محوری سیکلیک توسط دستگاه 5-UTM تحت تغییرات درصد قیر، دما و فرکانس بارگذاری می‌پردازیم که جهت رعایت اختصار از معرفی دستگاه 5-UTM صرف نظر می‌شود. (آزمایشات جهت رعایت تکرار پذیری با شرایط یکسان بر روی دو نمونه با مشخصات کاملاً یکسان انجام شده است). درصد قیر در چهار حالت ۵/۵، ۶، ۶/۵ و ۷ درصد تغییر می‌کند و دما در دو حالت، ۱۰ و ۲۵ درجه و فرکانس بارگذاری در سه حالت ۰/۵، ۲ و ۵ هرتز تغییر می‌کنند. در ابتدا به مقایسه نتایج سیکلهای مختلف بارگذاری برای حالت‌های مختلف گفته شده می‌پردازیم و سپس نحوه تغییرات مدول الاستیک و میرایی مخلوط‌های آسفالتی را تحت تغییرات گفته شده در بالا، مورد بررسی قرار می‌دهیم. برای مقایسه نتایج آزمایشات، نتایج ۳ سیکل از ۵۰ سیکل بارگذاری شده یعنی سیکلهای ۱، ۹ و ۵۰ مورد توجه قرار می‌گیرند. در ابتدا اثر فرکانس در درصدهای قیر مختلف و سپس اثر تغییر درصد قیر در فرکانس‌های مختلف بارگذاری و اثر تغییر دما مورد بررسی قرار می‌گیرد.

نتایج آزمایش تک محوری سیکلیک در دمای ۱۰ درجه سانتیگراد

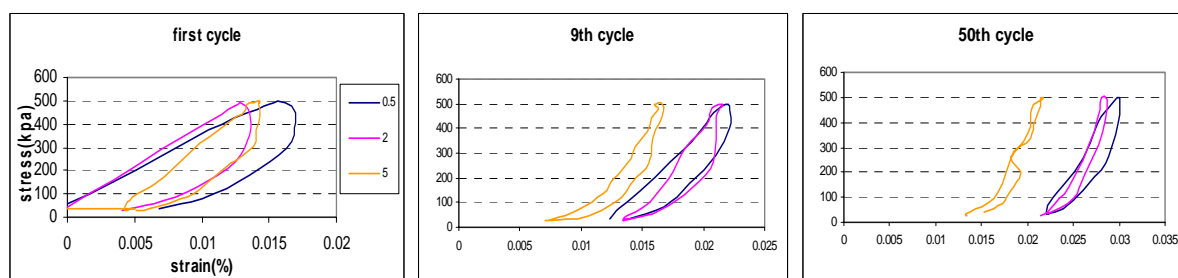
انجام آزمایشهای تک محوری سیکلیک، منتج به منحنی‌های تنش-کرنش می‌گردد. تمامی منحنی‌های تنش کرنش حاصله در این تحقیق، از متوسط نتایج آزمایشات تک محوری سیکلیک بر روی دو نمونه با مشخصات کاملاً یکسان بدست آمده است.

اثر تغییر فرکانس بارگذاری در درصدهای قیر مختلف

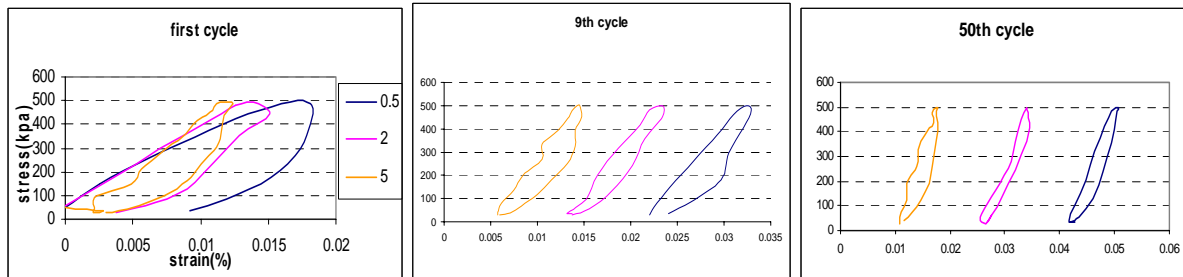
منحنی‌های تنش-کرنش در سیکل‌های ۹، ۱ و ۵۰ برای فرکانس‌های بارگذاری ۰/۵، ۲ و ۵ هرتز در درصدهای قیر ۵/۵، ۶، ۶/۵ و ۷ در شکل‌های (۳)، (۴)، (۵) و (۶) نشان داده شده است.



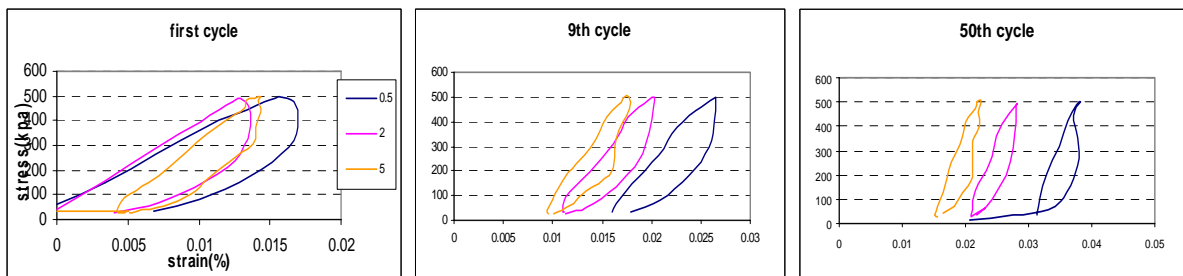
شکل ۳- منحنی‌های تنش-کرنش با درصد قیر ۵/۵، دمای ۱۰ درجه، با فرکانس‌های ۰/۵، ۲، ۵



شکل ۴- منحنی‌های تنش-کرنش با درصد قیر ۶، دمای ۱۰ درجه، با فرکانس‌های ۰/۵، ۲، ۵



شکل ۵- منحنی های تنش- کرنش با درصد قیر ۵/۶، دمای ۱۰ درجه، با فرکانس های ۰/۵، ۲، ۵



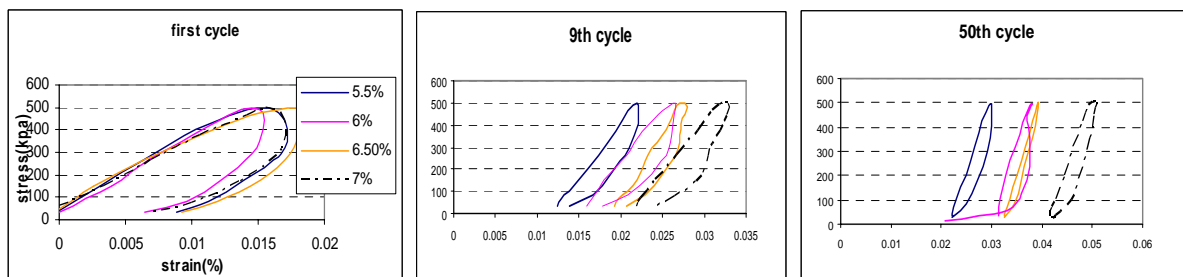
شکل ۶- منحنی های تنش- کرنش با درصد قیر ۷، دمای ۱۰ درجه، با فرکانس های ۰/۵، ۲، ۵

با توجه به شکل های ارائه شده می توان گفت:

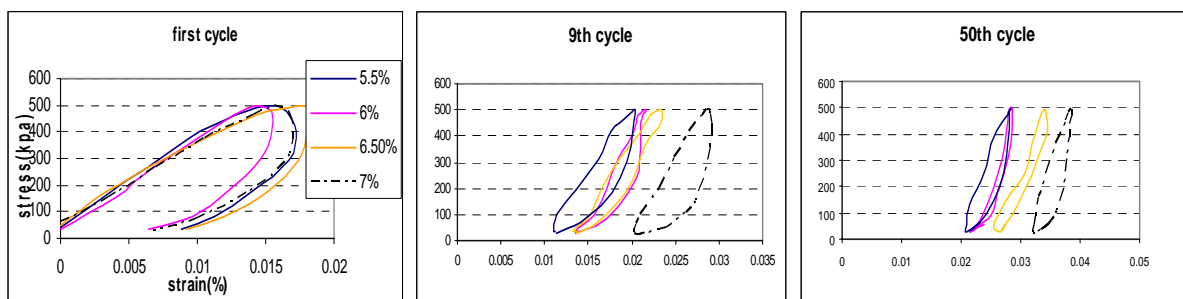
- هرچه فرکانس بارگذاری بزرگتر می گردد، با همان تنش و تعداد دفعات بارگذاری میزان کرنش کمتر می شود.
- تغییرات فرکانس تقریباً تاثیری بر روی سطح زیر نمودار تنش- کرنش (میرایی)^۱ نگذاشته است.

اثر تغییر درصد قیر در فرکانسهای مختلف بارگذاری در دمای ۱۰ درجه سانتیگراد

اثر میزان قیر در منحنی های تنش- کرنش در شکل های (۷)، (۸)، (۹) نشان داده شده است.

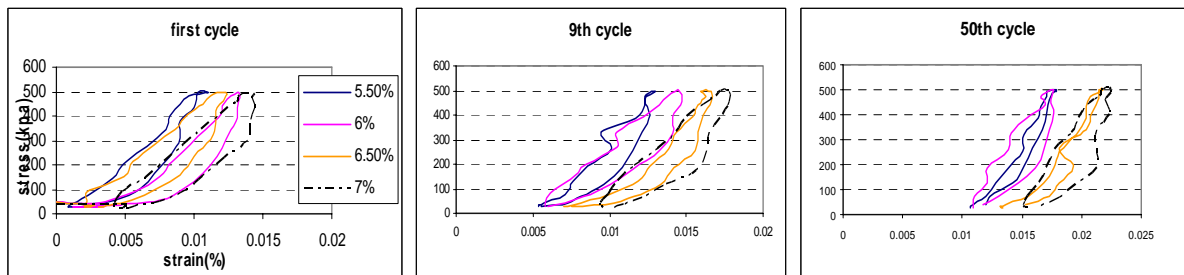


شکل ۷- منحنی های تنش- کرنش با فرکانس ۰/۵، دمای ۱۰ درجه، با درصد های قیر ۵/۵، ۶، ۶/۵



شکل ۸- منحنی های تنش- کرنش با فرکانس ۰/۲، دمای ۱۰ درجه، با درصد های قیر ۵/۵، ۶، ۶/۵

¹ damping



شکل ۹- منحنی های تنش- کرنش با فرکانس ۵، دمای ۱۰ درجه، با درصد های قیر ۵/۵، ۶، ۶/۵، ۷

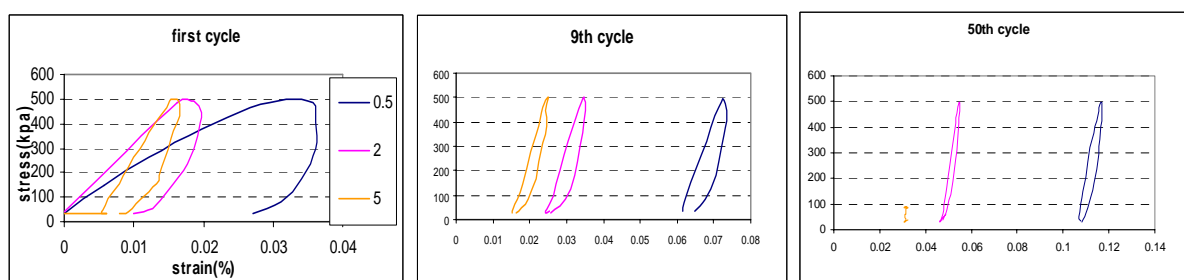
با توجه به شکل های ارائه شده می توان گفت:

- ۱) همانطور که دیده می شود قیر ۶/۵ درصد دارای میرایی (دمپینگ) کمتری نسبت به بقیه درصد ها می باشد. و همچنین در فاصله بین ۶ تا ۶/۵ درصد ما بیشترین سختی را داریم.
- ۲) در فرکانس ۵ هرتز دیده می شود تغییر شکل ها در درصد های قیر مختلف و سیکل های مختلف تقریباً یکسان است.
- ۳) در فرکانس ۲ هرتز تقریباً می توان گفت در درصد های قیر ۷ و ۵/۵ به ترتیب بیشترین و کمترین میرایی را داریم.

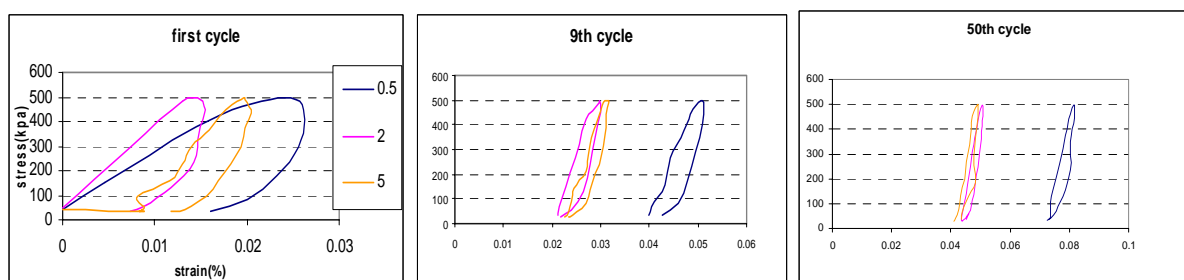
نتایج آزمایش تک محوری سیکلیک در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد

اثر تغییر فرکانس در درصد های قیر مختلف در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد

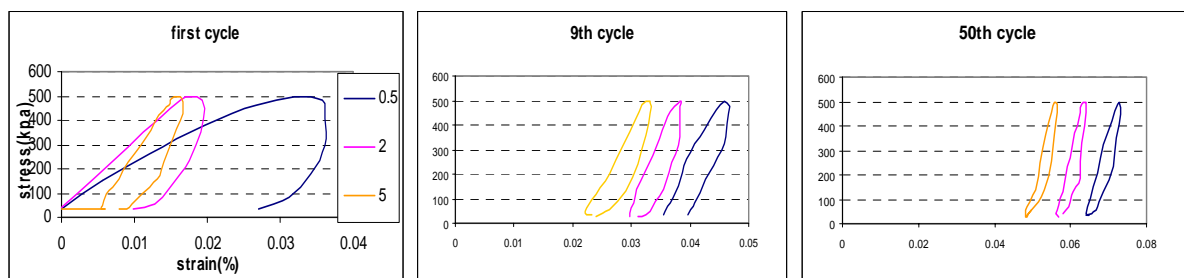
نتایج در شکل های (۱۰) تا (۱۳) ارائه شده است.



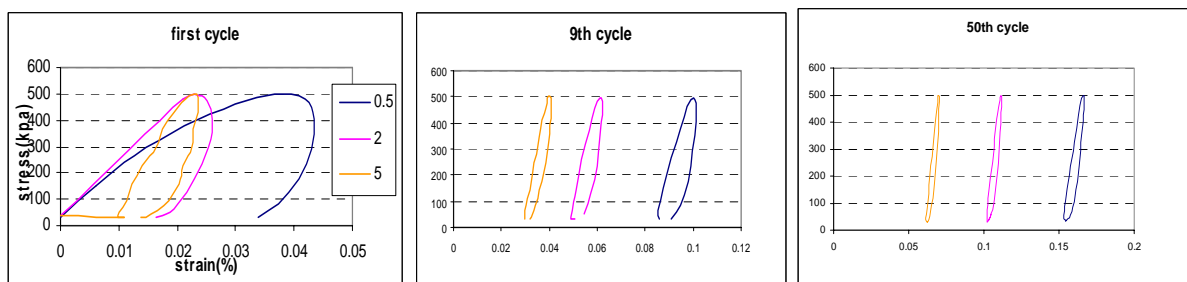
شکل ۱۰- منحنی های تنش- کرنش با درصد قیر ۵/۵، دمای ۲۵ درجه، با فرکانس های ۰/۵، ۲، ۵



شکل ۱۱- منحنی های تنش- کرنش با درصد قیر ۶، دمای ۲۵ درجه، با فرکانس های ۰/۵، ۲، ۵



شکل ۱۲- منحنی های تنش- کرنش با درصد قیر ۶/۵، دمای ۲۵ درجه، با فرکانس های ۰/۵، ۲، ۵



شکل ۱۳- منحنی های تنش- کرنش با درصد قیر ۷، دمای ۲۵ درجه، با فرکانس های ۰/۵، ۲، ۵

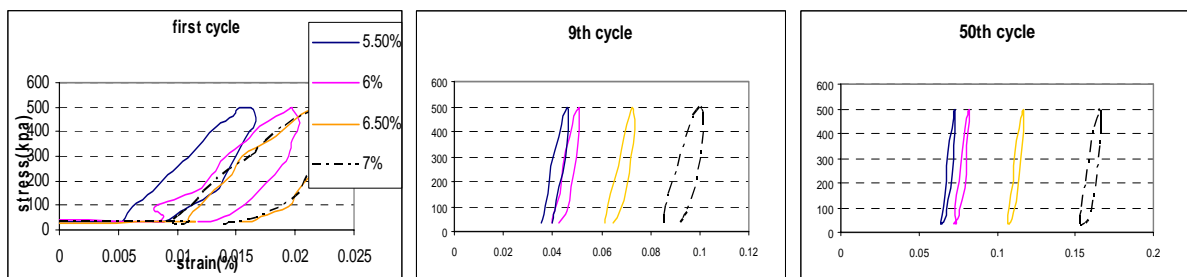
با توجه به شکل های ارائه شده می توان گفت:

- در این دما نیز در فرکانس ۰/۵ هرتز تغییر شکل بیشتر از دو فرکانس دیگر می باشد.
- سطح زیر نمودار تنش-کرنش در سه فرکانس تقریباً یکسان است (با تغییر فرکانس میرایی ثابت است).

اثر تغییر درصد قیر در فرکانسهای مختلف بارگذاری در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد

همانطور که مشاهده می شود نتایج در شکل (۱۴) ارائه شده است.

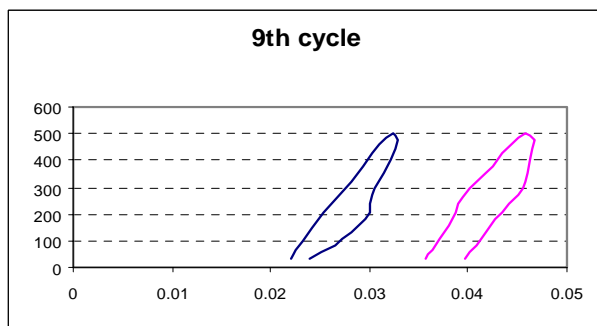
- در دمای ۲۵ درجه هم با افزایش درصد قیر، تغییر شکل بیشتر می شود.
- همانطور که دیده می شود در سه سری شکلها، میرایی در قیر ۷ درصد از بقیه درصدها بیشتر است.



شکل ۱۴- منحنی های تنش- کرنش با فرکانس ۰/۵، دمای ۲۵ درجه، با درصدهای قیر ۵/۵، ۶، ۶/۵، ۷

مقایسه نتایج آزمایش تک محوری سیکلیک در دو دمای ۱۰ و ۲۵ درجه سانتیگراد (اثر تغییر دما در فرکانسها و درصدهای قیر مختلف)

معمولاً در هسته های بتن آسفالتی دمای ۲۵ درجه سانتیگراد مربوط به قسمت بالایی هسته سد می شود و دمای ۱۰ درجه تقریباً به عمق پایین تر از ۱۰ متری از سطح آب مربوط می گردد. به همین دلیل ما می توانیم با مقایسه این دو حالت به بررسی تغییر شکل و مقاومت در عمق های مختلف و نقاط مختلف دیواره هسته بتن آسفالتی بپردازیم. مخلوط های آسفالتی در دماهای مختلف رفتار کاملاً متفاوتی را از خود نشان می دهند و بررسی در این مورد بسیار مهم و ضروری می باشد. بدلیل شبیه بودن نتایج در این قسمت چند نمودار را به صورت اجمالی نشان می دهیم. (فقط سیکل نهم) اثر دما در فرکانس ۰/۵ هرتز و درصد قیر ۵/۵ در شکل (۱۵) نشان داده شده است.



شکل ۱۵- منحنی های تنش- کرنش با فرکانس ۰/۵، با درصد قیر ۵/۵، با دماهای ۱۰، ۲۵ درجه

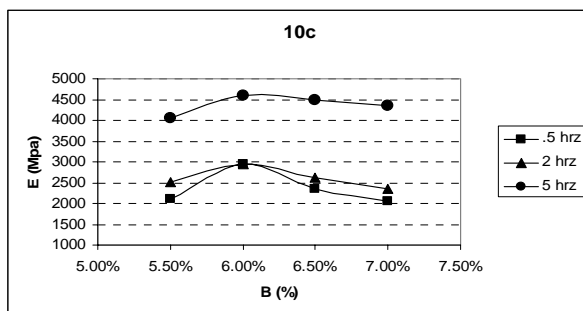


بررسی اثر دما، فرکانس و درصد قیر بر روی مدول الاستیک نمونه‌های آسفالتی

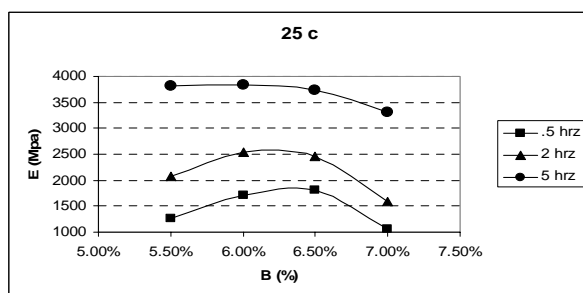
در این قسمت به تأثیر درصد قیر، دما و فرکانس بر خواص مقاومتی بتن آسفالتی می‌پردازیم. باتوجه به مقایسه سختی‌های مخلوط‌های آسفالتی در حالت‌های مختلف و با در نظر گرفتن شکل پذیری بتن آسفالتی (باید توجه شود انعطاف پذیری مخلوط‌های آسفالتی در هسته سدهای هسته آسفالتی دارای اهمیت زیادی است، زیرا اگر در اثر بارهای زلزله ترک‌هایی در هسته ایجاد شود، باعث بالا رفتن نفوذپذیری در هسته می‌گردد) یک مخلوط آسفالتی مناسب برای هسته سدهای خاکی می‌توان انتخاب کرد. مخلوط‌های آسفالتی دلیل مزیت‌ها و تفاوت‌های عمده‌ای (انعطاف پذیری، مقاومت در مقابل تغییرشکل‌ها و کرنش‌های زیاد و خاصیت خود التیام دهی، که تمام این مشخصه‌ها به خاطر قیر مصرفی می‌باشد) که با دیگر مصالح مثل بتن، از نظر رفتار مکانیکی و پارامترهای مؤثر بر سختی دارند، به عنوان یک گزینه مناسب و مؤثر در هسته سدهای خاکی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

تأثیر تغییرات درصد قیر بر روی سختی بتن آسفالتی در دو دمای ۱۰ و ۲۵ درجه سانتیگراد

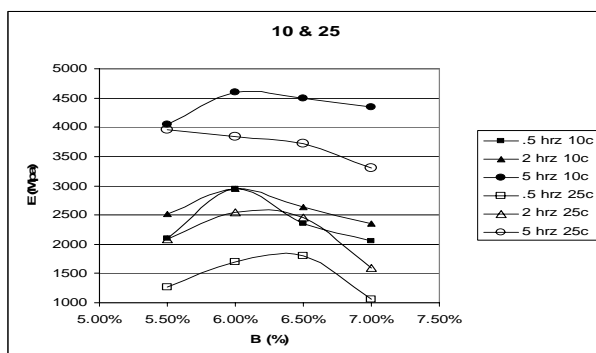
اثر درصد قیر بر روی مدول الاستیک در فرکانس بارگذاری و دمای مختلف در شکل‌های (۱۶) تا (۱۷) نشان داده شده است.



شکل ۱۶- تأثیر تغییرات درصد قیر بر روی سختی بتن آسفالتی در دمای ۱۰ درجه سانتیگراد



شکل ۱۷- تغییرات درصد قیر بر روی سختی بتن آسفالتی در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد



شکل ۱۸- تأثیر تغییرات درصد قیر بر روی سختی بتن آسفالتی در دو دمای ۱۰ و ۲۵ درجه سانتیگراد

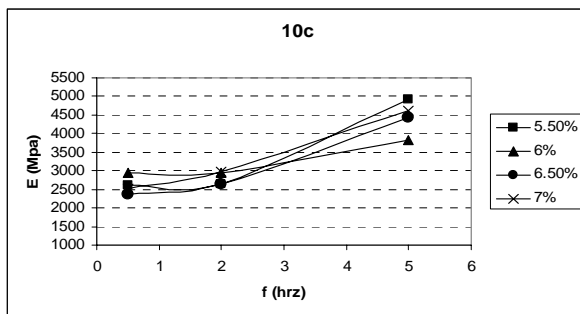
با توجه به شکل‌های ارائه شده می‌توان گفت:

- در هر دو شکل (۱۶) و (۱۷) بین درصد قیر ۶ تا ۶/۵ درصد بیشترین سختی را داریم.
- همانطوری که در شکل (۱۸) مشخص است. به ترتیب سختی‌ها در دمای ۱۰ درجه بیشتر از سختی‌ها در دمای ۲۵ درجه می‌باشند. کاهش دما در مخلوط‌های آسفالتی باعث افزایش سختی می‌شود.

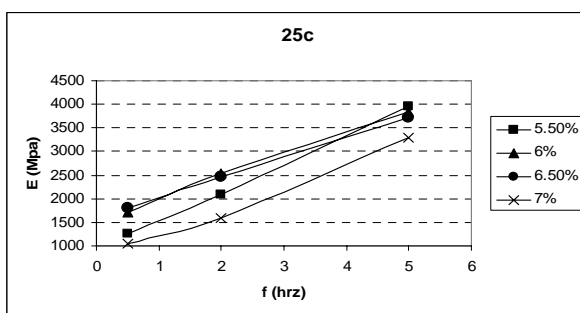


تأثیر تغییرات فرکانس بر روی سختی بتن آسفالتی در دو دمای ۱۰ و ۲۵ درجه سانتیگراد

اثر تغییرات فرکانس بارگذاری بر مدول الاستیک در دماهای ۱۰ و ۲۵ درجه سانتیگراد در شکل های (۱۹) و (۲۰) نشان داده شده است.



شکل ۱۹- تأثیر تغییرات فرکانس بارگذاری بر روی سختی بتن آسفالتی در دمای ۱۰ درجه سانتیگراد



شکل ۲۰- تأثیر تغییرات فرکانس بارگذاری بر روی سختی بتن آسفالتی در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد

نتیجه گیری

- با توجه به نتایج آزمایشات انجام شده در این تحقیق نتایج زیر قابل توجه می باشد:
- (۱) با افزایش فرکانس بارگذاری (در درصدهای مختلف قیر) مشاهده شد، تغییر شکل ها کاهش یافته اند.
 - (۲) مکرراً در نمودارهای مختلف دیده شد، تغییرات فرکانس تأثیری بر روی میرایی (دمپینگ) نمی گذارد.
 - (۳) میرایی در مخلوط با قیر ۶/۵ و ۶ درصد تقریباً از بقیه درصدهای قیر کمتر است.
 - (۴) با افزایش دما در تمام درصدهای قیر مختلف، میزان کرنش و تغییر شکل افزایش می یابد.
 - (۵) با افزایش درصد قیر مخلوط های آسفالتی میزان تغییر شکل در مخلوط ها بیشینه می شود.
 - (۶) با افزایش دما، میرایی (دمپینگ) در مخلوط های آسفالتی افزایش می یابد.
 - (۷) با افزایش فرکانس بارگذاری، سختی افزایش می یابد و میرایی کاهش می یابد.
 - (۸) تقریباً در تمام نمودارهای دما مشاهده شد، با افزایش دما، سختی مخلوط های آسفالتی کاهش می یابد.

مراجع

- 1- ICOLD (1992). Bituminous Cores for Fill Dams. International Commission on Large Dams, Bulletin 84,
- 2- Hoeg. (1993). Asphaltic Concrete Cores for Embankment Dams, Norwegian Institute of Technology,
- 3- Biot M.A. (1941). General Theory of Three Dimensional Consolidation, Journal of Applied Physics 12.
- 4- Creegan P.J., Monismith L. (1996). Asphalt Concrete Water Barriers for Embankment Dams, ASCE Press, New York.
- 5- ICOLD (1982). Bituminous Cores for Earth and Rock Fill Dams, International Commission on Large Dams, Bulletin 42
- 6- Kjarnsli B., Moum J. (1966). Laboratory Test on Asphaltic Concrete for and Imperious Membrane...