



## مقایسه روشهای تراکم ژیراتوری و مارشال جهت تهیه نمونه های آزمایشگاهی برای بررسی رفتار مکانیکی آسفالت به عنوان هسته آسفالتی

مسعود محمدزاده<sup>۱</sup>، منوچهر لطیفی<sup>۲</sup>، هادی محمدزاده<sup>۳</sup>

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

:

Email: MASOUD757757@YAHOO.COM

### خلاصه

روشهای مختلفی جهت تهیه نمونه های آزمایشگاهی وجود دارد. دو روش رایج، استفاده از روشهای ژیراتوری و مارشال می باشد. مزیت روش ژیراتوری علاوه بر سرعت بیشتر در تهیه نمونه ها، اعمال برش ودر نتیجه سازگاری با شرایط واقعی تراکم می باشد. در مقاله حاضر نمونه های آسفالتی مختلفی با روش مارشال و ژیراتوری تهیه شدند. نمونه های تهیه شده، توسط دستگاه UTM-5 در دو مرحله تحت بارگذاری قرار گرفته و رفتار تنش-کرنش آنها مورد بررسی قرار گرفته است. نمونه های مارشال با تعداد کوبش ۱۱۰ (جهت رسیدن به میزان تراکم ۳٪) و نمونه های ژیراتوری نیز با تعداد دورانهای مختلف (۱۱۰ تا ۱۷۰) ساخته شده اند. در رفتار تنش-کرنش این نمونه ها دیده شده که نمونه ژیراتوری با تعداد دوران ۱۳۰ رفتاری تقریباً یکسان با نمونه های مارشال با این میزان کوبش دارد. البته تمام نمونه های ساخته شده دارای میزان فضای خالی توصیه شده در سدهای هسته آسفالتی (کمتر از ۳٪) می باشند. توضیح آنکه طبق توصیه های ICOLD روش مارشال به عنوان روشی مناسب برای ساخت نمونه های آسفالتی توصیه شده و دارای رفتاری مکانیکی تقریباً یکسان نسبت به نمونه های گرفته شده از هسته سدهای سنگریزه ای می باشد. در انتها با توجه به مزینهای روش ژیراتوری به روش مارشال و همچنین مقایسه هایی که در این مقاله گفته می شود، روش ژیراتوری به عنوان روش جایگزین توصیه می شود.

**کلمات کلیدی:** تراکم ژیراتوری، تراکم مارشال، دستگاه UTM-5، ICOLD

### مقدمه

در نظر اول سد سازی یک فناوری مدرن به نظر می آید و این سوابق تاریخی نشان می دهد که سد سازی سابقه ای چند هزار ساله دارد و این قطعاً از آن روست که آب همواره به عنوان مهمترین عامل حیات، فکر انسان را به خود مشغول کرده است. از این رو می توان اولین سوابق سد سازی را در یکی از کهن ترین تمدنهای انسانی و در کنار حیات بخش ترین رودخانه (نیل) یافت. سابقه ساخت سد بر روی سرشاخه های این رودخانه به بیش از سه هزار سال قبل می رسد. در کشور ما نیز سد سازی سابقه طولانی دارد. به صورتی که سد سازی در جنوب ایران سابقه ۲۰۰۰ ساله دارد. و طبق کاوشهای انجام گرفته اولین سد با رویه بتن آسفالتی در بین النهرین در ۱۳۰۰ سال قبل از میلاد مسیح ساخته شده است. اولین سد خاکی با هسته آسفالتی که در اجرای آن از ماشین آلات مخصوص و امروزی استفاده شده است در سال ۱۹۶۲ در کشور آلمان ساخته شده که پس از آن ساخت این نوع سدها در اروپا رشد چشم گیری پیدا کرد. برای جمع آوری آب در پشت سد، لازم است تا یک عنصر نفوذ ناپذیر در بدنه سد تعبیه گردد. این عنصر نفوذ ناپذیر می تواند به عنوان یک پرده داخلی (هسته) یا یک پوشش خارجی تعبیه شود. هر کدام از این دو حالت، مزایا و معایب خود را دارند ولی عموماً به نظر می رسد 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. نفوذ ناپذیری 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

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد دانشگاه تهران - خاک و پی

<sup>۲</sup> استادیار دانشگاه تهران - خاک و پی

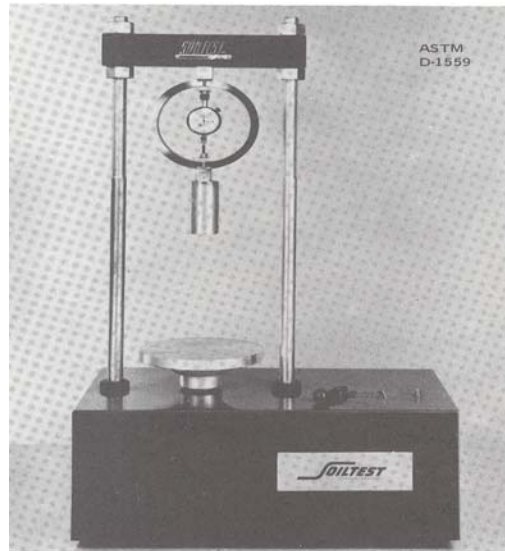
<sup>۳</sup> کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت معلم - خاک و پی



لحاظ مقاومت خوب، کاربرد فراوانی یافته است. [5] 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. در مقاله حاضر در مورد بررسی امکان استفاده از روش تراکم ژیراتوری به جای روش تراکم مارشال برای ساخت نمونه های آسفالتی در مخلوط های آسفالتی مورد استفاده در هسته سدهای سنگریزه ای و مقداری در مورد دلیل این جایگزینی صحبت می‌کنیم. [4]

### ساخت نمونه های بتن آسفالتی به روش مارشال<sup>۱</sup>

در این آزمایش اندازه گیری مقاومت جریان پلاستیک از نمونه های استوانه ای مخلوط های قیری بارگذاری شده روی سطح جانبی را داریم. سنگ دانه ها حداکثر (۲۵/۴ میلی متر) می باشند. از روش مارشال جهت ساخت نمونه های آسفالتی مورد استفاده در آزمایش های تک محوری و سه محوری، برای بررسی رفتار هسته سدهای سنگریزه ای استفاده می شود. این آزمایش همچنین برای طرح اختلاط مواد قیری کاربرد دارد. نمونه ها بر طبق روش مخصوصی تهیه می شوند و برای حداکثر بارگذاری و روانی آزمایش می شوند. همچنین مشخصات چگالی و تخلخل برای نمونه های تهیه شده بر اساس روش آزمایش قابل تعیین می باشد. برای دستیابی به بارگذاری و جریان حداکثر برای نمونه ای نمونه برداری شده از سطح موجود یا ساخته شده با روشهای دیگر نیز می توان از این آزمایش استفاده نمود که نتایج ممکن است با مقادیر بدست آمده از نمونه های ساخته شده با این روش تفاوت داشته باشد.



شکل ۱- دستگاه تراکم مارشال

### ساخت نمونه های بتن آسفالتی با روش تراکم ژیراتوری<sup>۲</sup>

این روش آزمایش جهت تراکم نمونه های داغ آسفالتی (HMA) با قطر ۱۰۰ یا ۱۵۰ میلی متر و تعیین وزن مخصوص نمونه در حین تراکم به کار برده می شود. آزمایش تراکم ژیراتوری بر روی نمونه های استوانه ای مخلوط های آسفالتی و تحت شرایط همزمان فشار و میزان زاویه ژیراتوری مشخصی انجام می پذیرد. این روش خاص برای ساخت نمونه های آسفالتی شرایطی را محیا می سازد تا به نمونه های آسفالتی در حین وارد شدن تنش قائم، یک تنش برشی مشخصی تحت زاویه خاص وارد شود، در این روش بهتر می توانیم متراکم شدن آسفالت، در حالت واقعی که توسط غلتک انجام می گیرد را مدل کنیم.

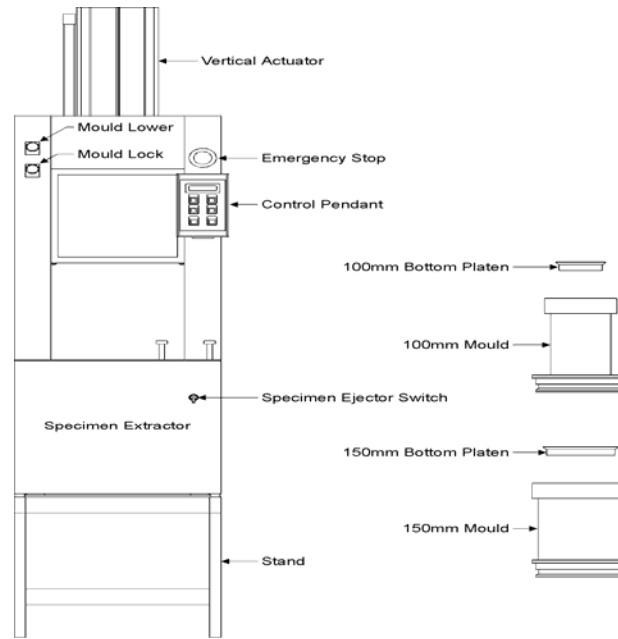
### شرایط مناسب برای ساخت نمونه

در ابتدا هر ترکیب از سنگدانه ها و درصد قیر خاص، حداقل ۳ نمونه تهیه می شود. دانه ها قبل از الک شدن کاملاً خشک می شوند (در دمای ۱۰۵ تا ۱۱۰ درجه سانتیگراد) و سپس بر اساس دانه بندی مورد نظر الک می شوند. دمایی که قیر باید حرارت داده شود تا (ویسکوزیته  $3 \pm 25$  cst ،  $5 \pm 40$ ) را ایجاد نماید دمای مخلوط کردن و دمای متراکم کردن است. در دستگاه ژیراتوری فشار ۶۰۰ کیلو پاسکال را به عنوان فشار محوری بر نمونه ها با زاویه دوران ۱/۲۵ درجه و با سرعت دوران ۳۰ دور در دقیقه اعمال می کند.

<sup>1</sup> Marshal test

<sup>2</sup> Gyrotory compactor

<sup>3</sup> Hot mix asphalt



شکل ۲- دستگاه تراکم ژیراتوری

### مزیت های استفاده از روش تراکم ژیراتوری در ساخت نمونه های آسفالتی

- سرعت ساخت نمونه ها در روش تراکم ژیراتوری بیشتر از روش مارشال می باشد.
- دقت ساخت نمونه ها در روش تراکم ژیراتوری بیشتر است و می توان دید که در کل سطح مقطع نمونه در این روش تقریباً دارای ارتفاع ثابتی هستیم.
- در روش تراکم ژیراتوری نمونه های آسفالتی متراکم می شوند تا از نظر چگالی، امتداد سنگدانه ها و ساختمانی شبیه نمونه های واقعی محلی شوند. همچنین این نمونه ها برای تعیین ویژگیهای دیگر مخلوطهای آسفالتی در آزمایشهای دیگر نیز مورد استفاده قرار می گیرند.
- در روش تراکم ژیراتوری برای ساخت نمونه علاوه بر تنش قائم که به صورت فشاری وارد می شود (نه ضربه ای) تنش برشی (به صورت وارد شدن تنش قائم با زاویه مشخص دوران) را نیز داریم. که به این صورت نمونه های ساخته شده نزدیکتر به حالت واقعی می شوند.

### استفاده از روش تراکم ژیراتوری به جای روش مارشال

همانطوری که در قبل گفته شد، برای ساخت نمونه های آسفالتی به منظور اینکه رفتار هسته سد های هسته آسفالتی بررسی شود عموماً از روش استاندارد تراکم مارشال، جهت بررسی رفتار هسته سدهای خاکی استفاده می شود. در این فصل ما به ارائه دوسری آزمایش می پردازیم، با توجه به اینکه در این آزمایشها نمونه های آسفالتی شرط فضای خالی کمتر از ۳٪ را تامین می کنند، به این قضیه می پردازیم که می شود با کم کردن تعداد دوران دستگاه ژیراتوری، رفتار این نمونه ها را نیز به رفتار حالت واقعی نمونه های بتن آسفالتی نزدیک نمود.

### مصالح سنگی

این مصالح شامل درشت دانه ها و ریز دانه ها می باشند. بزرگترین اندازه دانه هایی که معمولاً در رویه های آسفالتی استفاده می گردد ۱/۵ اینچ می باشد ولی در هسته های بتن آسفالتی این اندازه به ۳ اینچ نیز می رسد، از ذرات ریز فیلر که عبوری از الک ۲۰۰ می باشد در هسته های بتن آسفالتی استفاده می شود که هیچ عملکرد ساختمانی ندارد و فقط برای بهبود در ترکیب بتن آسفالتی و جلوگیری از روانی هر چه بیشتر قیر می باشد. [2]

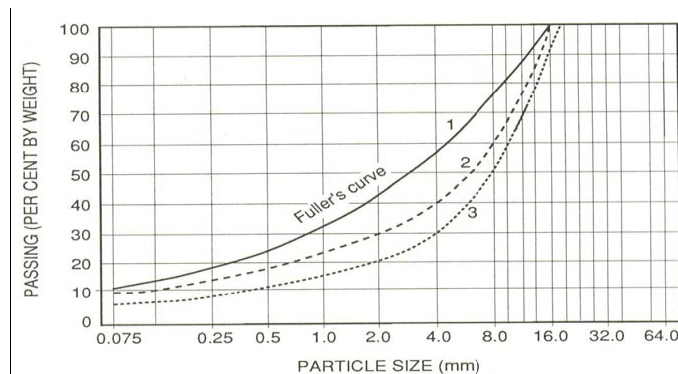
دانه بندی مورد استفاده در بیشتر سدهای ساخته شده، منحنی دانه بندی فولر است که دانه های عبوری از الک ۲۰۰ می تواند در حدود ۱۲ درصد وزن کل را تشکیل دهد. معمولاً دانه های مختلف (در آزمایشگاه) با اندازه های مختلف در رنج های ۱۶- و ۱۸-۰ میلی متر قرار دارند. در دانه بندی فولر، اغلب از یک نوع ماسه طبیعی استفاده می شود که معمولاً به ۱۵ تا ۲۰ درصد نمونه محدود می شود، زیرا بیشتر شدن آن باعث سست شدن مخلوط می گردد. [1, 2, 6]

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

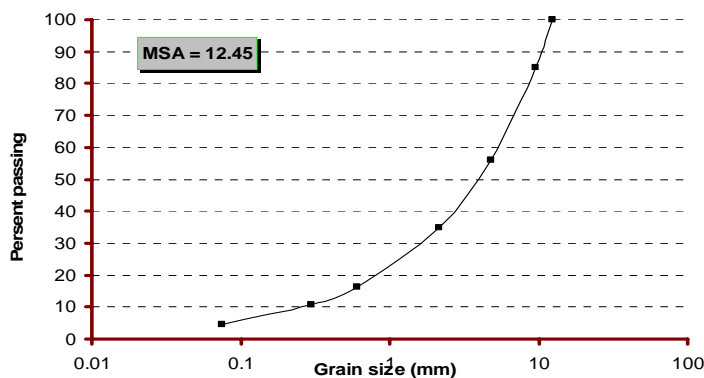
$P_i$  درصد وزنی کوچکتر از اندازه معادل  $d_i$  برای دانه های مخلوط [2]  
 $d_i$  اندازه الک و  $d_{max}$  اندازه بزرگترین دانه مورد استفاده می باشند



معمولاً درصد قیری که در هسته‌های آسفالتی استفاده می‌شود بیش از مقدار متداول در مخلوط‌های بتن آسفالتی در راه‌سازی 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 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 دانه‌های یکسان ولی با توزیع دانه بندی متفاوت نشان دهنده اهمیت رعایت منحنی فولر Fuller's Curve در یک حاشیه معقول بود. در شکل (۳) 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 ۳- منحنی دانه بندی فولر برای سنگدانه های بتن آسفالتی



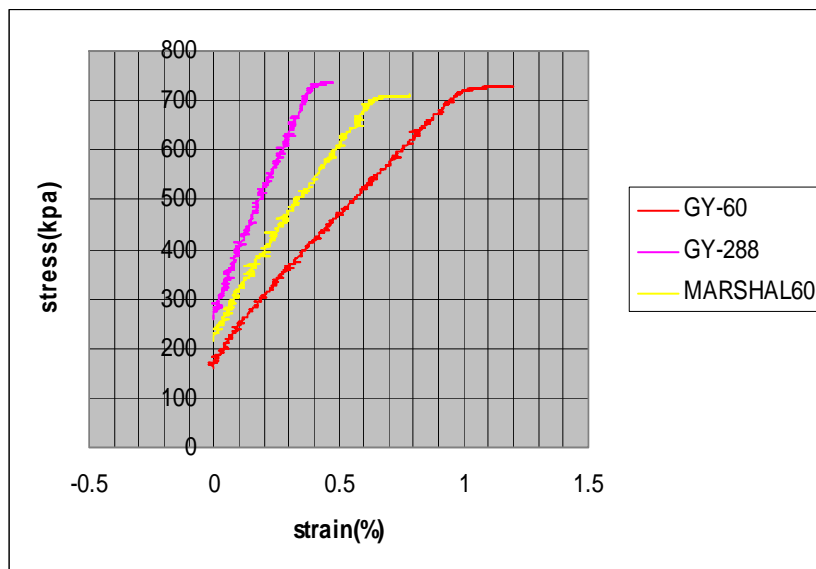
شکل ۴- منحنی دانه بندی فولر استفاده شده در این پژوهش

### قیر مصرفی

قیر به علت داشتن دو خاصیت مهم یعنی غیر قابل نفوذ بودن در برابر آب و چسبنده بودن یکی از پرکاربردترین مصالح می‌باشد. [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 ۷۰-۶۰ 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.

### آزمایش‌های سری اول برای مقایسه روش مارشال با روش ژیراتوری

در این سری آزمایش‌ها ما از یک نمونه تهیه شده از روش استاندارد مارشال با تعداد ۶۰ ضربه استفاده کردیم تا بتوانیم شرط فضای خالی کمتر از ۳٪ حجمی را تأمین کنیم و از دو نمونه ژیراتوری با دوران‌های ۶۰ و ۲۰۰ استفاده نمودیم تا نشان دهیم که رفتار تنش-کرنش نمونه‌های مارشال مانند شکل (۵) در بین دو منحنی نمونه‌های ژیراتوری قرار می‌گیرد. ۳ نمونه تهیه شده در این سری آزمایش‌ها دارای درصد قیر ۶٪ و شرایط کاملاً یکسان هم از نظر شرایط ساخت و هم از نظر مصالح تهیه شده، می‌باشند.



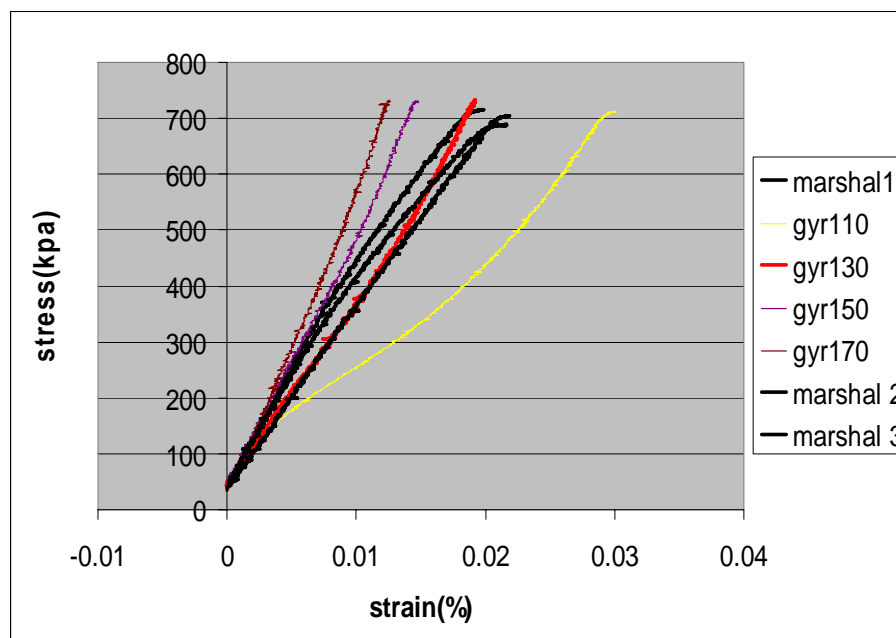
شکل ۵- منحنی های تنش- کرنش آزمایش سری اول در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد

#### آزمایشهای سری دوم برای مقایسه روش مارشال با روش ژیراتوری

در سری دوم، آزمایشها را در بازه کوچکتری از دورانهایی مختلف ژیراتوری انجام می دهیم. این سری آزمایشها در دمای ۱۰ درجه سانتیگراد انجام می- شود. از ۳ نمونه مارشال (با ۱۰۰ ضربه تراکم) که در مراحل ساخت و مصالح مصرفی یکسان هستند، و از ۴ نمونه ژیراتوری با دورانهایی<sup>۱</sup> ۱۷۰، ۱۱۰، ۱۳۰، ۱۵۰ استفاده می شود.

باید توجه شود که در تمام این آزمایشها (دو سری) از دانه بندی فولر و بتن آسفالتی با درصد قیر ۶٪ استفاده می شود، تا شرایط تمام نمونه ها برای مقایسه با هم مناسب و یکسان باشد.

طبق نتایج بدست آمده در شکل (۶) کاملاً مشخص است که نمونه ساخته شده با روش ژیراتوری با ۱۳۰ دوران رفتاری تقریباً یکسان با ۳ نمونه مارشال دارد.



شکل ۶- منحنی های تنش- کرنش آزمایش سری دوم در دمای ۱۰ درجه سانتیگراد

<sup>1</sup> gyration



### نتیجه گیری

با توجه به منحنی های تنش- کرنش بدست آمده به این نتیجه می‌رسیم که می‌توان با کاهش دادن تعداد دوران های دستگاه ژیراتوری، رفتاری مانند رفتار نمونه های ساخته شده با دستگاه مارشال را بدست آورد. پس می‌توان با مزیت‌های گفته شده در مورد روش ژیراتوری نسبت به روش مارشال، از این روش نیز در ساخت نمونه های آسفالتی برای هسته بتن آسفالتی سدهای خاکی با هسته بتن آسفالتی استفاده نمود. نمونه ساخته شده با دوران ۱۳۰ رفتار نزدیکتری به نمونه های مارشال دارد، مزیت اصلی این روش سرعت بیشتر در تهیه نمونه ها و یکنواختی نمونه ها در مقایسه با روش مارشال است.

### 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.
- 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...