

روشها و نتایج اندازه گیری مدول یانگ بتن پلاستیک دیوار آب بند سد کرخه

فرامرز اسلامیان

چکیده :

تغییر شکل پذیری یکی از خواص مهم بتن پلاستیک دیوار آبنند است که تحت عوامل زیر ایجاد میگردد:

- تغییر شکل ناشی از نشست پی که تحت اثر وزن سد ایجاد میگردد.

- تغییر شکل افقی و قائم بدلیل اثرات ناشی از اولین آبیگری

برای اینکه دیوار آب بند توانایی تحمل و جذب تغییر شکل بدون ترک خوردگی و باز شدن درزه های بین پانل و خلاصه هر عاملی که آبنندی بتن را کاهش می دهد را داشته باشد ، مصالحی مورد نیاز است که بدون ایجاد شکست از تغییر شکل تحمیل شده به خاک پیروی نماید .

به این منظور مصالحی که دارای مدول یانگ چهار تا پنج برابر بزرگتر از خاک میباشد در مناطقی که خاک همگن است و تغییرات مدول یانگ در لایه های مختلف ناچیز میباشد مناسب اینکار خواهد بود (Bulletin Icold51) برای مشخص کردن رفتار این نوع مصالح روشهای متعددی در آزمایشگاه وجود دارد که نتایج بررسی بر روی چند روش در این تحقیق آورده شده است .

کلمات اصلی

دیوار آبنند-مدول یانگ- بتن پلاستیک- تنش- کرنش-تک محوری

مقدمه :

برای معرفی رفتار مصالح از لحاظ عکس العمل تغییر شکلی آنها در مقابل بارهای وارده، از پارامتری به نام مدول یانگ بصورت عام و مدول الاستیسیته بصورت خاص استفاده می شود که در آغاز سعی شده که علت استفاده از مدول یانگ بجای مدول الاستیسیته توضیح داده شود و در ادامه مفهوم و روشهای محاسبه آن و همچنین دستگاههایی که برای اندازه گیری آن کاربرد دارند توضیح داده شود.

روش ASTM C 469، یکی از روشهای اندازه گیری مدول الاستیسیته بتن است که برای بررسی کارآیی آن برای بتن پلاستیک؛ آزمایشاتی با این روش در مراکز مختلف انجام و نتایج آن مورد نقد قرار گرفته و عدم کارآیی آن برای بتن پلاستیک نشان داده شده است. در ادامه آزمایش تک محوری که کرنش کنترلی (ASTMD2166) می باشد توضیح داده شده و رفتار نمونه ها تحت سرعت های مختلف بارگذاری و همچنین بارگذاری و باربرداریهای متوالی نیز مورد بررسی و نتایج آنها آورده شده و در خاتمه این روش؛ بعنوان روش مناسب معرفی گردیده است.

تعریف مدول یانگ و روشهای محاسبه آن

به جهت آنکه اصولاً تغییر شکل خاک به دلیل حرکت نسبی ذرات آن است و در میزان مختلف تنش، رفتار خاک در برابر نیروی وارده متفاوت است، مدول الاستیسیته یک معنای مناسب و مقدار ثابت در خاک ندارد و ترجیح دارد که از لفظ مدول تنش - تغییر شکل (Stress - Strain modulus) و یا ضریب تغییر شکل استفاده گردد.

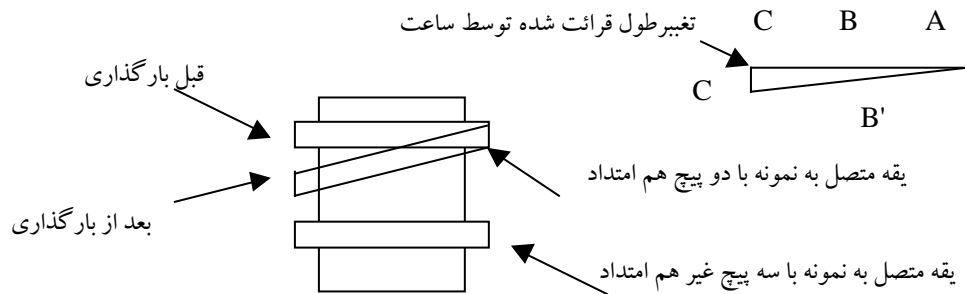
این ضریب رابطه بین تنشها و تغییر شکلهای منتجه را توصیف می کند. برای محاسبه مدول تنش - کرنش در منحنیهای غیر خطی، دو روش عمومی وجود دارد.

الف - مدول تانژانتی که بر اساس شیب مماس در هر نقطه بر منحنی است که معمولاً به مماس بخش اول منحنی، مدول تانژانتی اولیه گفته می شود.

ب - مدول سکانتی که بر اساس شیب خط بین دو نقطه است که معمولاً دو نقطه در محدوده تنش سرویس قرار دارند

دستگاه مورد استفاده در روش ASTM C469

این دستگاه دارای دو یقه (Yoke) با فاصله ۱۵۰ میلیمتر می باشد که نمونه در داخل آنها جا میگیرد. یقه پایینی بوسیله سه پیچ غیر هم امتداد که دارای زاویه ۱۲۰ درجه نسبت به یکدیگر می باشند و یقه بالایی بوسیله دو پیچ هم امتداد بر روی نمونه بسته می شوند. این دو یقه بوسیله یک میله فاصله انداز (Pivot rod) که به یقه پایین بصورت گیر دار و به یقه بالایی بصورت مفصلی متصل است به هم مرتبط می باشند و موجب نگهداری یقه ها از یک طرف در یک فاصله معین از یکدیگر می شوند. یک ساعت اندازه گیری تغییر مکان در روبروی این میله فاصله انداز به یقه بالایی وصل است که وظیفه آن اندازه گیری مقدار تغییر مکان دو یقه نسبت به یکدیگر می باشد و دقت آن 0.002 mm است. با توجه به اینکه یقه بالا حول دو پیچ اتصالی به نمونه قابلیت چرخش دارد، بنابراین در هنگام بارگذاری اگر فاصله ساعت و میله فاصله انداز از صفحه قائم عبوری از نقاط تماس تکیه گاهی دو پیچ یقه بالا که هم امتداد هستند، برابر باشند، تغییر طول نمونه در محدوده دو یقه، برابر با نصف تغییر طولی که توسط ساعت قرائت می شود میباشد که در شکل زیر توضیح داده شده است.



AB = فاصله میله فاصله انداز از صفحه قائم عبوری از نقاط تماس تکیه گاهی

BC = فاصله صفحه قائم عبوری از نقاط تماس تکیه گاهی تا ساعت اندازه گیری تغییر مکان

$$AB/AC = BB'/CC' \rightarrow 1/2 = BB'/CC' \rightarrow BB' = 1/2CC'$$

سیستم توضیح داده شده فوق، روش دو پیچه در گزارش نام گذاری شده است. در این روش بعد از آنکه نمونه داخل یقه قرار گرفت و برای رفع اثرات خزش، چندین بار بارگذاری و باربردی انجام شد، بارگذاری اصلی آغاز گردیده و در حین افزایش میزان بار، بار اعمالی و کرنش طولی در دو حالت زیر قرائت میگردد:

الف - موقع کرنش به مقدار ۵۰ میلیونیم برسد (€ 1 = ۰/۰۰۰۰۵۰)

ب - موقعی که بار به ۴۰ درصد بار نهایی برسد (€ 2)

یاد آور میگردد که تنش از نسبت بار نهایی به سطح مقطع و کرنش از نسبت مقدار تغییر شکل بر طول مؤثر آزمایش بدست می آید.

$$E = S2 - S1 \quad \text{رابطه شماره (۱)}$$

$$€2 - 0/00005$$

E = مدول الاستیسیته

S2 = تنش متناظر با ۴۰ درصد بار نهایی

S1 = " " " " کرنش طولی E1 معادل ۰/۰۰۰۰۰۵

€2 = کرنش متناظر با تنش S2

برای بررسی صحت روش و نتایج بدست آمده از آزمایش تعیین مدول، دستگاه شرح داده شده در فوق بصورت زیر تغییر

یافت. ابتدا یقه بالای دستگاه از دو پیچ به سه پیچ غیر هم امتداد تبدیل شد و میله فاصله انداز از ۲

حالت مفصلی بصورت آزاد در آمد و بنابراین تغییر مکان طول مؤثر نمونه در هنگام بارگذاری، برابر با همان مقدار نشان داده شده توسط ساعت اندازه گیری تغییر مکان گردید که این روش در گزارش حاضر، روش سه پیچه نامیده می شود و آزمایشاتی بر اساس آن صورت گرفت و نتایج بدست آمده با نتایج دو پیچه مقایسه گردیده است.

دستگاههای کرنش کنترلی

دستگاه سه محوری و تک محوری از جمله دستگاه های کرنش کنترلی خاک می باشد که توضیح در خصوص این دستگاهها در اغلب کتب مکانیک خاک آورده شده است. برای بدست آوردن مدول یانگ، منحنی تنش و کرنش بدست آمده از روی نتایج حاصله رسم شده و با توجه به این نکته که منحنی رفتاری بتن پلاستیک دیوار آب بند سد کرخه دارای یک بخش خطی کاملاً مشخص است، یک خط به آن بخش از منحنی برازش داده شده و شیب آن بعنوان مقدار ضریب تغییر شکل یا مدول یانگ در نظر گرفته می شود.

مطالعه موردی بر روی بتن پلاستیک دیوار آب بند سد کرخه

دیوار آب بند سد کرخه بطول ۲۹۴۰ متر و سطح حفاری شده ۱۵۵۰۰۰ متر مربع و حجم بتن ریزی ۱۴۴۰۰۰ متر مکعب یکی از بخشهای زمان بر و هزینه بر این طرح است که اجرای آن برای آب بندی پی ضروری می باشد و در طراحی آن سعی گردیده که بتن پلاستیک جایگزین مصالح حفاری شده، رفتاری تا حد امکان نزدیک به رفتار پی داشته و از ضریب نفوذ پذیری پایینی برخوردار باشد تا وظیفه اصلی خود در خصوص کاهش تراوش آب از پی را بخوبی انجام دهد و در این شبیه سازی، مسئله مدول یانگ آن از جایگاه ویژه ای برخوردار است که سعی شده طرح مخلوط آن به نحوی انتخاب شود که مدول آن مشابه با مدول کنگلومرای پی سد کرخه باشد^۱ و برای کنترل این مهم نیاز بود که به نحوی مدول یانگ اندازه گیری گردد. در ابتدای طرح برای اندازه گیری مدول بتن پلاستیک، روشهایی از جمله روش ASTM C469 و روش تعیین مدول استاتیکی از روی مدول دینامیکی پیشنهاد شد که بدلیل سهولت انجام روش اول در کارگاه، سعی گردید که با این روش اقدام به اندازه گیری مدول گردد و همانطور که در ادامه توضیح داده شده، نتایج آزمایشات با این روش در مراکز مختلف بیانگر عدم کارآیی روش ASTM C469 برای این نوع بتن می باشد.

آزمایشات و نتایج ASTM C469 و دلایل عدم کارآیی آن

الف) با توجه به این مطلب که رفتار بتن پلاستیک از بتن معمولی متمایز است (نمودار تنش - کرنش بدست آمده از روش ASTM D2166 موید این نکته است) تعریف گفته شده برای مدول الاستیسته در روش ASMC469 را نمی توان برای بتن پلاستیک بکار برد چون روش C469 بر پایه این حقیقت است که رفتار بتن معمولی تا ۴۰٪ مقاومت نهایی الاستیک خطی می باشد و بر پایه این رفتار مدول الاستیسته بتن تعریف شده است در حالیکه در بتن پلاستیک نه تنها این رفتار خطی نمی باشد (نمودار ۱) بلکه الاستیک نیز نمی باشد، پس تعریف مدول الاستیسته بتن پلاستیک با بتن معمولی یکسان نیست و در ثانی سرعت بارگذاری بقدری زیاد است که عملاً اپراتور قادر به خواندن مقادیر کرنش و تنش و تشکیل منحنی تنش - کرنش نخواهد شد. اگر بر پایه روش C469-87 a نیز عمل گردد واز روی جدول آورده شده در استاندارد، براساس وزن مخصوص بتن، مقدار کرنش مربوط به ۴۰٪ بارنهایی، مقدار کرنش $\epsilon = 0.000525$ بدست میآید که این نقطه در قسمت ابتدایی نمودار قرار خواهد گرفت که شیب منحنی تنش کرنش در این نقطه؛ نشانگر رفتار واقعی بتن پلاستیک نمی باشد.

^۱ توضیح Icold آنست که مصالح جایگزین در پی باید رفتار تغییر شکل آنها بسیار شبیه به خاک اطراف باشد و در مواردی که خاک هموزن است و یا وقتی که تغییرات مدول یانگ در عمق اندک باشد، موادی با مدول ۴ تا ۵ برابر بزرگتر از خاک اطراف مناسب است که در مشخصات فنی دیوار آب بند، مدول بتن پلاستیک بین 20000 kg/cm² تا 50000 kg/cm² در نظر گرفته شده است.

^۲ مدول الاستیسته، کنگلومرای بستر در حد 5000 kg/cm² ~ 23000 می باشد.

سرعت بالای بارگذاری (1.25 mm/min) باعث بوجود آمدن فشار آب حفره ای در نمونه میگردد که این خود سبب افزایش مقاومت فشاری نمونه میگردد و همچنین سرعت بالای بارگذاری مانع از گسترش ترکهای میکروسکوپی (Micro Crack) در نمونه بتن پلاستیک می شود و در نتیجه مقاومت بالاتری حاصل میگردد.

بدلیل کم بودن مقاومت فشاری بتن پلاستیک (کمتر از 40 kg/cm^2) این بتن دارای مقاومت لهیدگی کمی می باشد و در نتیجه پیچهای یقه دستگاه اندازه گیری نمی توانند بخوبی در نمونه محکم گردند و با توجه به دقت بالای اندازه گیری تغییر مکان (0.002 mm) در اثر کوچکترین تغییر مکان در محل پیچها خطای بزرگی در اندازه گیری رخ می دهد، لذا چون در حین بارگذاری امکان لغزش یقه بر روی نمونه وجود دارد و امکان اندازه گیری صحیح تغییر شکل فراهم نیست و پراکندگی نتایج نیز می تواند ناشی از این عامل باشد و بنابراین باید به دنبال روشی بود که بصورت مستقل و بدون اتصال مکانیکی ابزار اندازه گیری تغییر شکل به خودنمونه، امکان اندازه گیری تغییر شکل فراهم باشد.

برای بررسی بیشتر، نمونه های استوانه ای به ارتفاع و قطر اسمی به ترتیب ۳۰ و ۱۵ سانتیمتر جهت انجام آزمایش تعیین مدول بروش ASTM C469 به دانشگاه صنعتی امیر کبیر و آزمایشگاه مرکزی وزارت راه در تهران ارسال گردید که مشخصات نمونه ها در جدول ۱ پیوست آمده است و همانطور که در نمودار ۲ و ۳ ملاحظه می نماید برای نمونه های دارای یک طرح بتن مشابه، نتایج اخذ شده از دانشگاه صنعتی امیر کبیر نمونه های (B3, B2, B1) و نمونه های (A1, A2) پراکندگی شدید داشته و هیچگونه هم خوانی با یکدیگر نداشته است. نتایج اخذ شده از آزمایشگاه مرکزی وزارت راه تا حدودی با یکدیگر مشابهت دارند {نمونه های (B6, B2, B4)} ولی برای دو نوع طرح با مقاومت مشخصه و طرح بتن مختلف (طرح R.T.4, B140MB) که نتایج آن در نمودار ۴ رسم شده است منحنی تنش - کرنش تغییر چندانی نداشته است که این نیز نشانگر یک خطای همیشگی در آزمایش می باشد {نمونه های (A6, A4, B6, B6, B4)}

ب) در یک مقدار نیرو، اگر بتن از نظر رفتاری در بخش خطی منحنی تنش - کرنش باشد و بشرط آنکه نمونه کاملاً در مرکز یقه قرار گیرد، قرائت گیج تغییر شکل در حالت ۲ پنج، دو برابر قرائت ساعت تغییر شکل در حالت ۳ پیچه است. برای بررسی این موضوع آزمایشاتی بر روی نمونه های مشابه بتن معمولی، با روش ۲ پیچ انجام شد که مؤید این مطلب است و همانطور که ملاحظه می نماید منحنی تنش و کرنش دو روش برای هر سری یکسان میباشد (نمودار

۵) همین آزمایشات بر روی بتن پلاستیک انجام شد و مشاهده گردید که نه تنها در یک میزان نیرو، دو برابر شدن قرائت ساعت تغییر شکل در حالت ۲ پیچه نسبت به ۳ پیچه همانند نتایج فوق اتفاق نمی افتد بلکه بعضی اوقات مساوی و یا نصف میگردد که بنظر میرسد بدلیل نرم بودن بتن پلاستیک، چرخشی که از یقه انتظار می رود رخ نداده و بنابراین برای این نوع بتن، روش دو پیچه به هیچ عنوان روش مناسبی نبوده و آزمایشاتی که منحنی های آن رسم گردید اند بیانگر این مطلب می باشند و همچنین برای کنترل بیشتر و برای اینکه تمامی شرایط آزمایش یکسان باشد آزمایشاتی بر روی یک نمونه با روش ۲ پیچه و ۳ پیچه در چند سیکل انجام شد و مجدداً نتایج فوق حاصل گردید. (نمودار ۶)

روش اندازه گیری با دستگاههای کرنش کنترلی (دستگاه سه محوری یانک محوری)

با توجه به اینکه در این روش، وسیله اندازه گیری بصورت مستقیم به نمونه متصل نمی گردد و در خارج از آن عمل اندازه گیری تغییر شکل صوت می گیرد و این تغییر شکل مربوط به تغییر ارتفاع کل نمونه می باشد برای کاربرد این روش نیاز بود که به نمونه های استوانه ای به قطر ۱۵ سانتیمتر و با مقاومت 40 kg/cm^2 حدود هفت تن ($40 \times 176 \text{ cm}^2 = 7000 \text{ kg}$) نیرو وارد شود که دستگاه های تک محوری و سه محوری خاک توانایی اعمال این نیروی زیاده را نداشته و بنابراین تصمیم گرفته شد که از نمونه های استوانه ای به قطر ۱۰ و ارتفاع ۲۰ سانتیمتر برای این منظور استفاده تا نیروی وارد به دستگاه ها از نصف مقدار فوق کمتر گردد. برای انجام این آزمایشات ابتدا به استاندارد های آزمایش تک محوری و سه محوری مراجعه گردید و برای شروع، دستورالعمل های آنها بکار گرفته شد.

در استاندارد آزمایش سه محوری (ASTM D2850) آمده است که سرعت تقریبی دستگاه سه محوری برای مصالح ترد که در محدوده ۳ تا ۶ درصد کرنش به تنش ماگزیم (deviator Stress) می رسند برابر با 0.3%/min و برای مصالح پلاستیک که تنش ماگزیم آنها در محدوده های خیلی بالاتر کرنش اتفاق می افتد سرعت ۱%/min و یا بالاتر تنظیم شود و در استاندارد تک محوری ASTM D2166 آمده که برای مواد نرمتر و پلاستیک تر، سرعت بیشتر و برای مواد تردتر، سرعت کمتر باشد. در اندازه گیریهایی که با سرعتهای مختلف انجام شده ملاحظه گردید که تنش حداکثر در کرنش 0.3-0.5% برای بتن پلاستیک سد کرخه اتفاق می افتد یعنی حدود ۱/۱۰ کرنشی که ما برای خاکهای ترد داریم و بنابراین در تقسیم بندی خاک ها از لحاظ کرنش رخ داده در تنش ماگزیم در گروه خاک خیلی ترد قرار میگیرد و به همین علت قرارداد آن در دسته خاکهای سیمانته شده منطقی بنظر میرسد و این پسوند پلاستیک بودن در مقایسه با بتن معمولی معنا دارد و در مقایسه با خاکهای سیمانته، خیلی ترد می باشد. و لذا با توجه به توضیحات فوق، سعی گردید که سرعت بارگذاری بر روی نمونه به مقدار ۱/۶ توصیه شده در آئین نامه یعنی 0.05%/min که مقدار 0.1mm/min برای نمونه بارتنفاح بیست سانتیمتری میباشد، }}

$$0.1 \text{ mm/min} = 200 * (0.05/100) \text{ تنظیم گردد.}$$

تاثیر سرعت بر نتایج تعیین مدول یانگ و مقاومت فشاری

همانطور که ملاحظه میگردد برای نمونه های کاملاً مشابه "۴"، متوسط مقاومت فشاری در سن ۲۸ روزه با سرعت اسمی 1.5mm/min برای سه نمونه مقدار 33.1kg/cm² بوه و برای سرعت اسمی 0.1mm/min متوسط 29.5kg/cm² است که مقدار درصد اختلاف برابر ۱۲ درصد می باشد

$$12\% = 100 * (33.1 - 29.5)$$

29.5

ضمناً در سرعت زیاد، معمولاً در ابتدای کار بدون افزایش قابل ملاحظه ای تنش، کرنشهای زیادی رخ داده و تنش ماگزیم در کرنش بزرگتر اتفاق می افتد (نمودار ۷).

همانطور که در منحنی های تنش - کرنش مشهود است بعد از مقداری بارگذاری و سپس باربرداری مقداری کرنش پس ماند در نمونه باقی می ماند و در بارگذاری مجدد مقدار شیب منحنی تنش - کرنش نسبت به دفعه قبل متفاوت و بیشتر بوده ولی اگر باربرداری و بارگذاری مجدداً در همان محدوده تکرار گردد شیب در بخش بارگذاری مجدد ثابت خواهد بود (نمودار ۸و ۹).

قدردانی

در خاتمه لازم می دانم از شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران بدلیل حمایت از تحقیقات و از کارمندان آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک وزارت اه و ترابری مستقر در سد کرخه بدلیل انجام آزمایشات و همچنین از آقای مهندس اسپندار بدلیل بازخوانی مقاله تشکر و قدردانی بعمل آورم.

مراجع:

Annual Book of ASTM Standards
 I Cold 1985 . Filling Material for Watertight Cut Off Walls , Bulletin 51

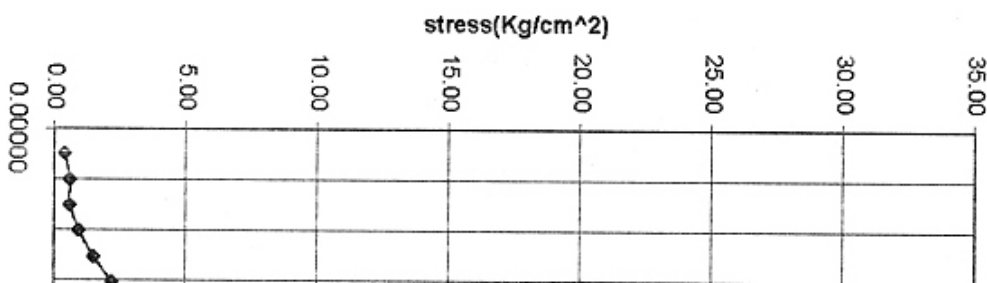
POLYTEC			ROAD MINISTRY			SITE LAB SAME AS ROAD POLY	
SAMP NUM.	STRENGTH	MODULUS	SAMP NUM.	STRENGTH	MODULUS	STRENGTH	
	34 DAYS			41 DAYS		28 DAYS	
A1	25	2.20E+04	A4	31.7	7.80E+04	31	
A2	27	2.20E+04	A5	32.8	9.20E+04	30	
A3	26		A6	34.5	7.90E+04	32	
	34 DAYS			31 DAYS		28 DAYS	
B1	29	4.20E+04	B4	27.2	9.30E+04	34	30
B2	27	6.60E+04	B5	23.8	9.10E+04	34	30
B3	28	4.80E+04	B6	28.3	9.00E+04	34	30
	34 DAYS			42 DAYS		28 DAYS	
C1	270	2.60E+05	C4	398	4.40E+05	358	331
C2	347	2.20E+05	C5	393	4.40E+05	352	350
C3	288	2.90E+05	C6	387	4.50E+05		

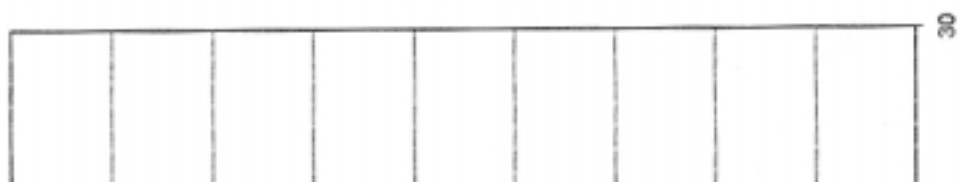
جدول ۱

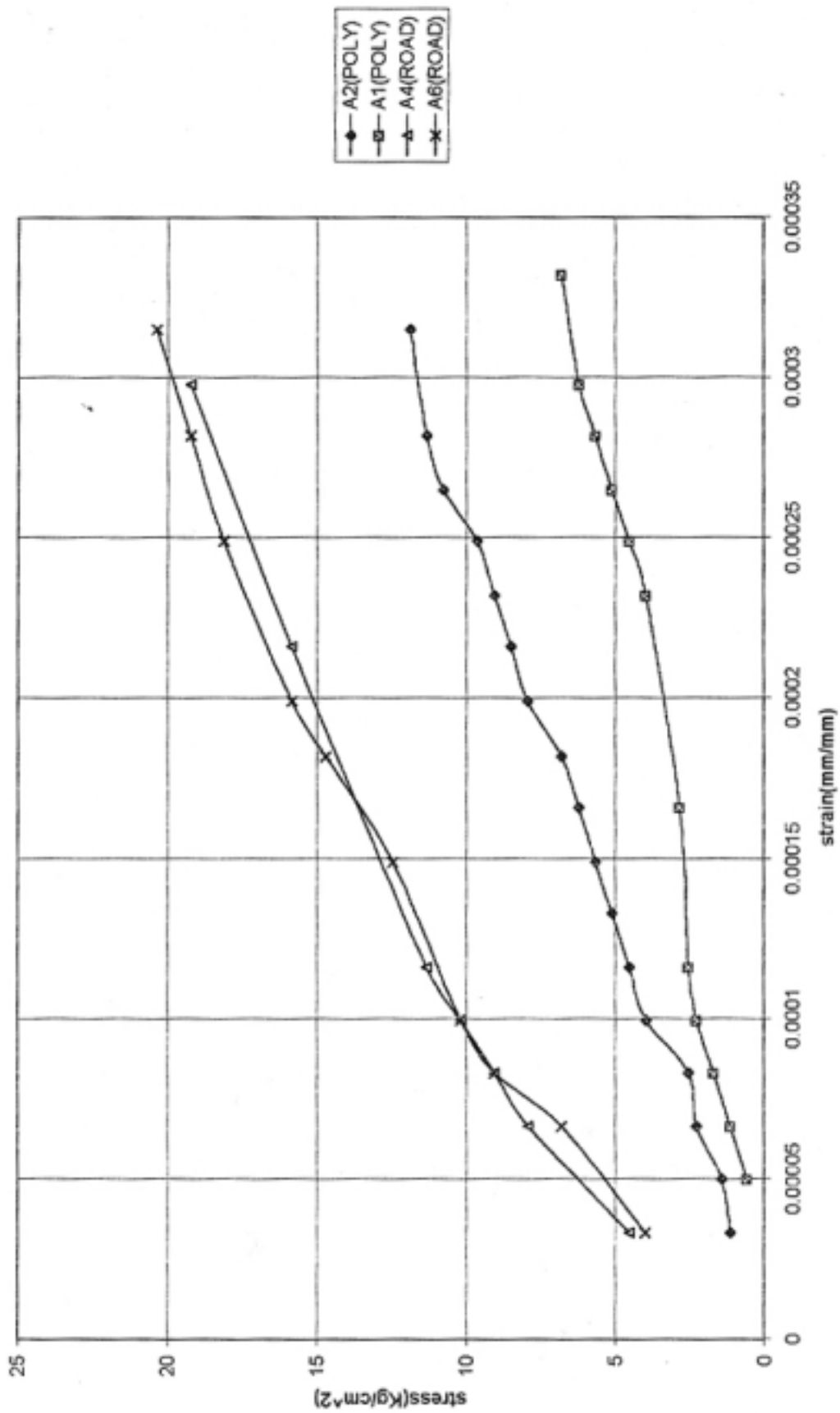
جدول طرح های بتن پلاستیک اجرا شده

ردیف	نام طرح	محل استفاده	سیمان	ماده			بتونیت	آب	اسلامپ
				0-5	5-9.5	9.5-19			
1	4Z	CUTOFF	220	705	300	495	40	400	22
2	R19	#	230	700	300	495	30	330	18
3	R139	#	220	705	300	495	35	340	18
4	R140	#	220	700	300	495	35	350	18
5	R140M	#	220	705	300	495	37.5	335	18
6	R140MA	#	220	700	300	495	37	335	18
7	R140MB	#	220	705	300	495	37.5	340	18.5
8	R140MD	#	200	705	300	495	39	330	18
9	R140ME	#	195	705	300	495	39	330	18
10	R140MD1	#	205	705	300	495	39	330	18
11	R140MD2	#	210	705	300	495	39	330	18
12	R140MD3	#	215	705	300	495	39	330	18
13	R140MD4	#	210	705	300	495	40	330	18
14	R140MD6	#	205	705	300	495	39	330	18
15	QC-5	#	205	720	310	495	37	325	18
16	QC-5-1	#	200	720	310	495	37	325	18
17	R125	نمود در هسته	120	700	800	.	40	320	20
18	RA-2	#	120	700	800	.	39	330	20
19	RA-8	#	110	700	800	.	39	330	20
20	RA-10	#	120	700	800	.	39	330	20
21	RA-8-2	#	100	700	800	.	39	330	20
22	K8	#	180	590	340	620	21.5	238	12
23	RT4	#	125	590	340	620	27	230	5
24	RT4B	#	105	590	340	620	25	210	5
25	RK-1	#	220	590	340	620	25	276	13

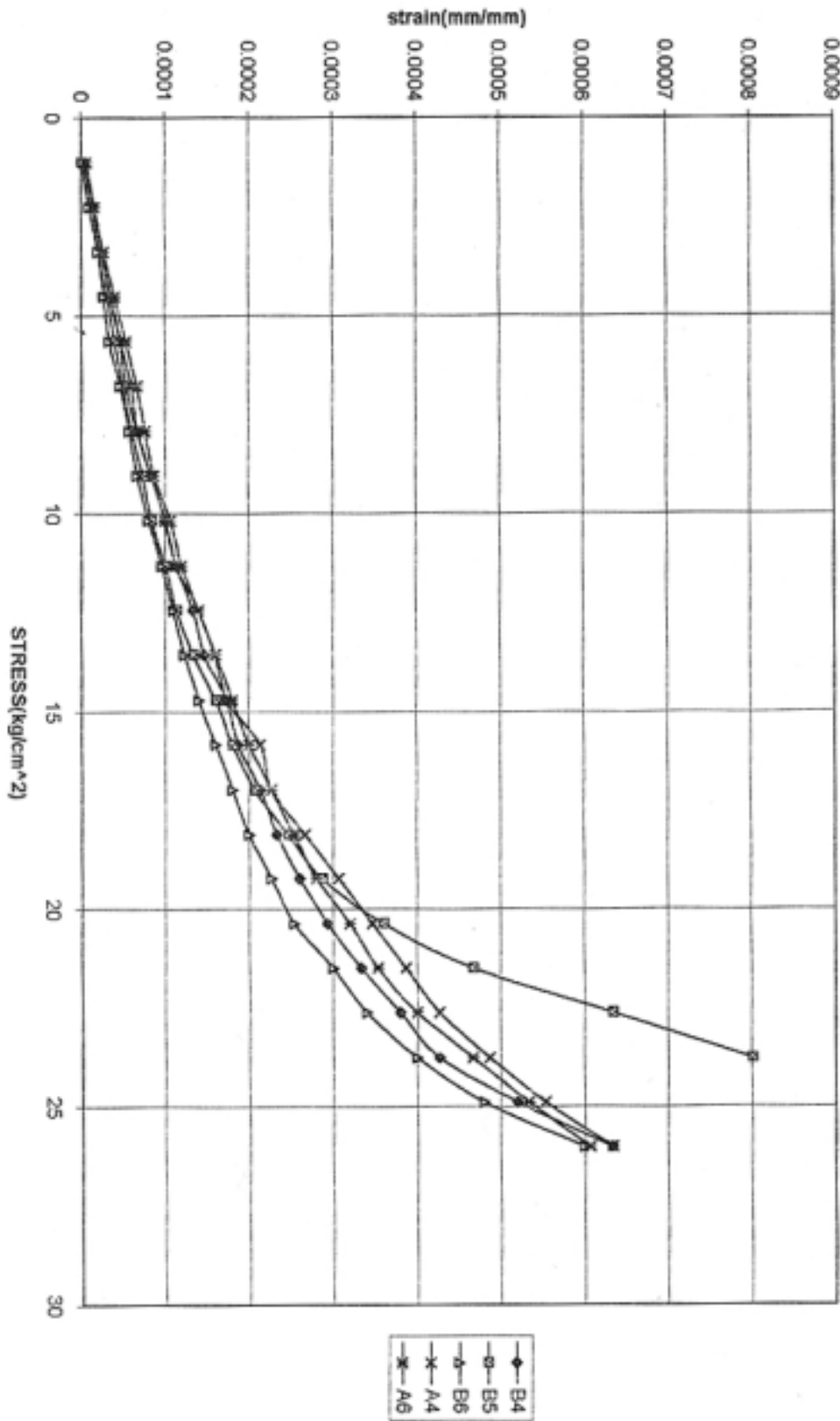
جدول ۲



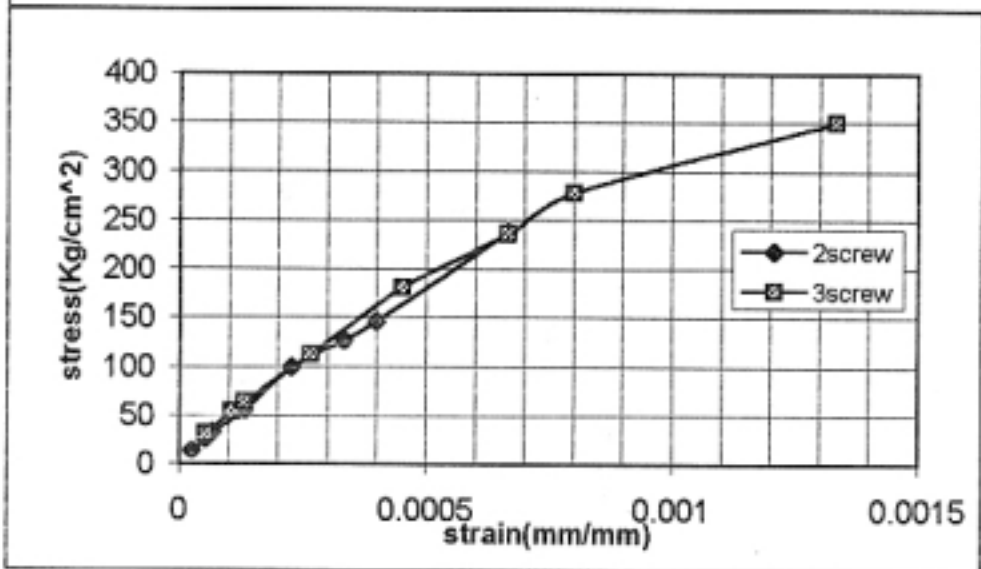
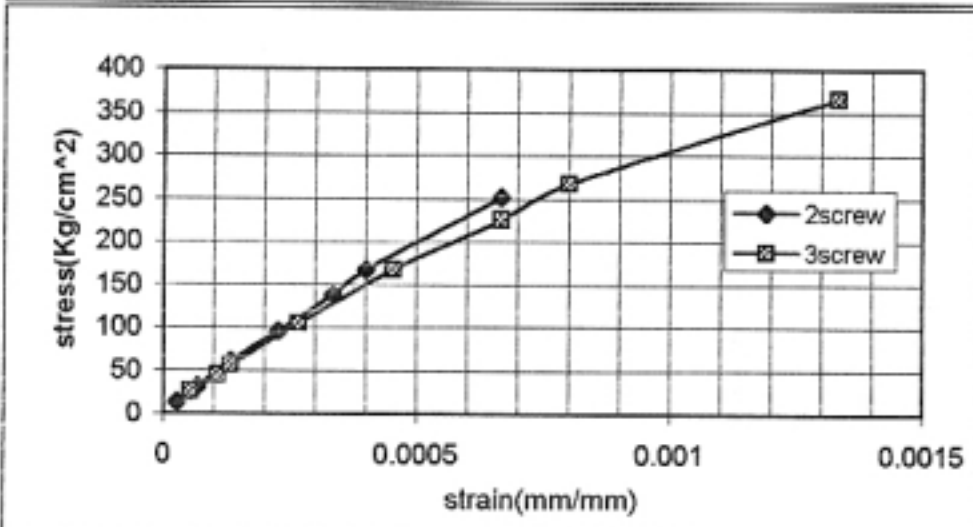
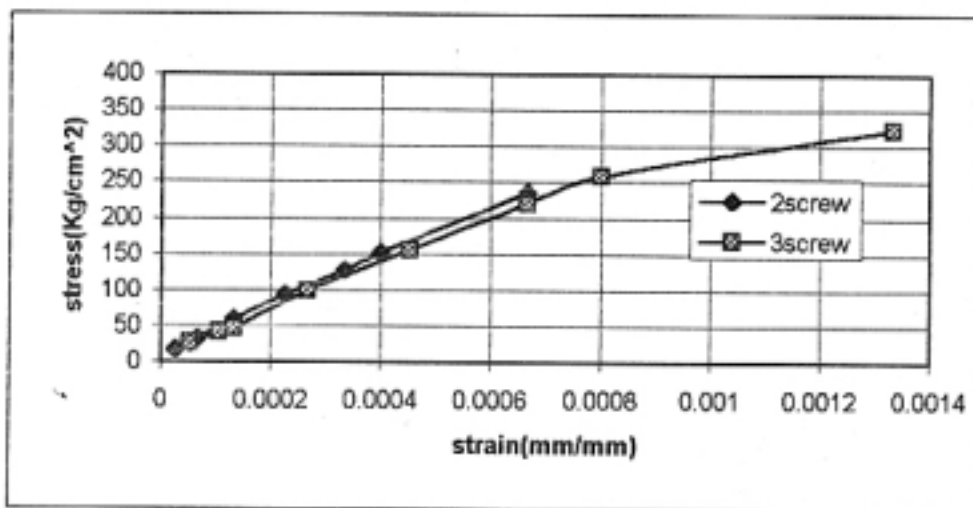




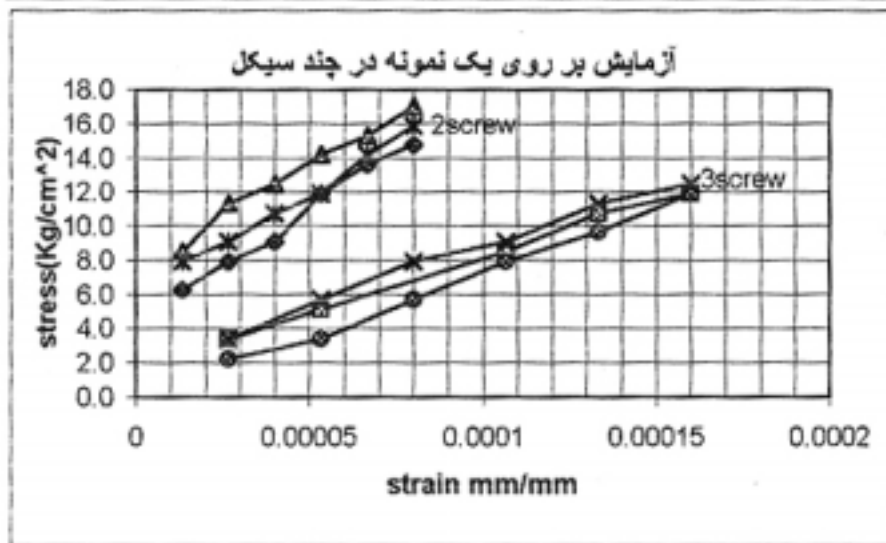
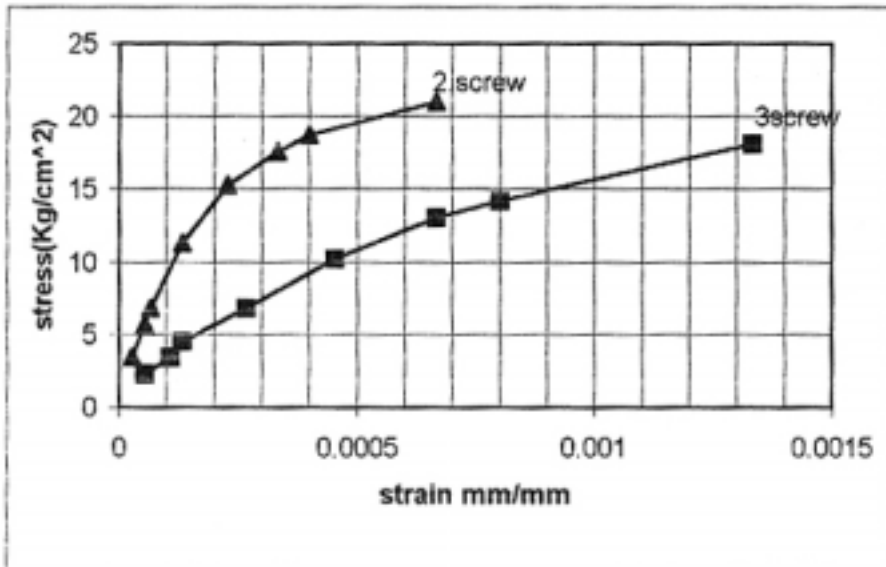
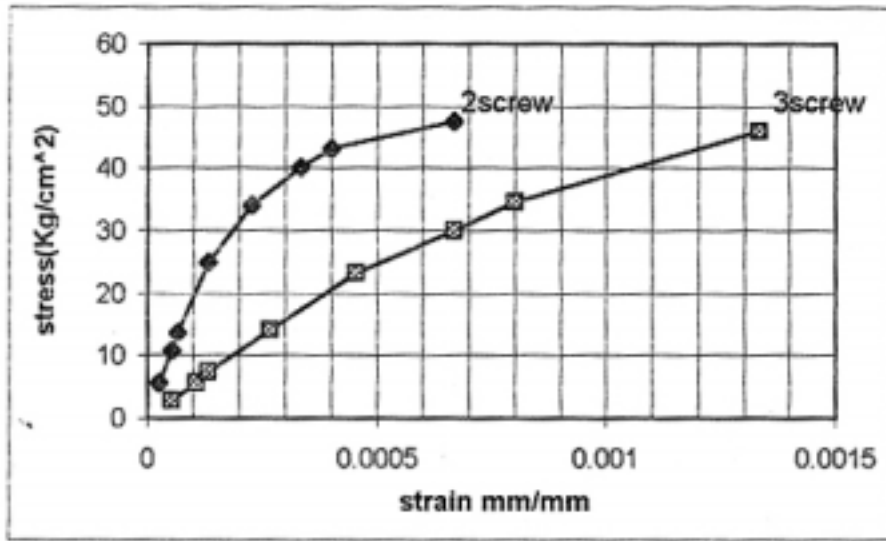
نمودار ۳

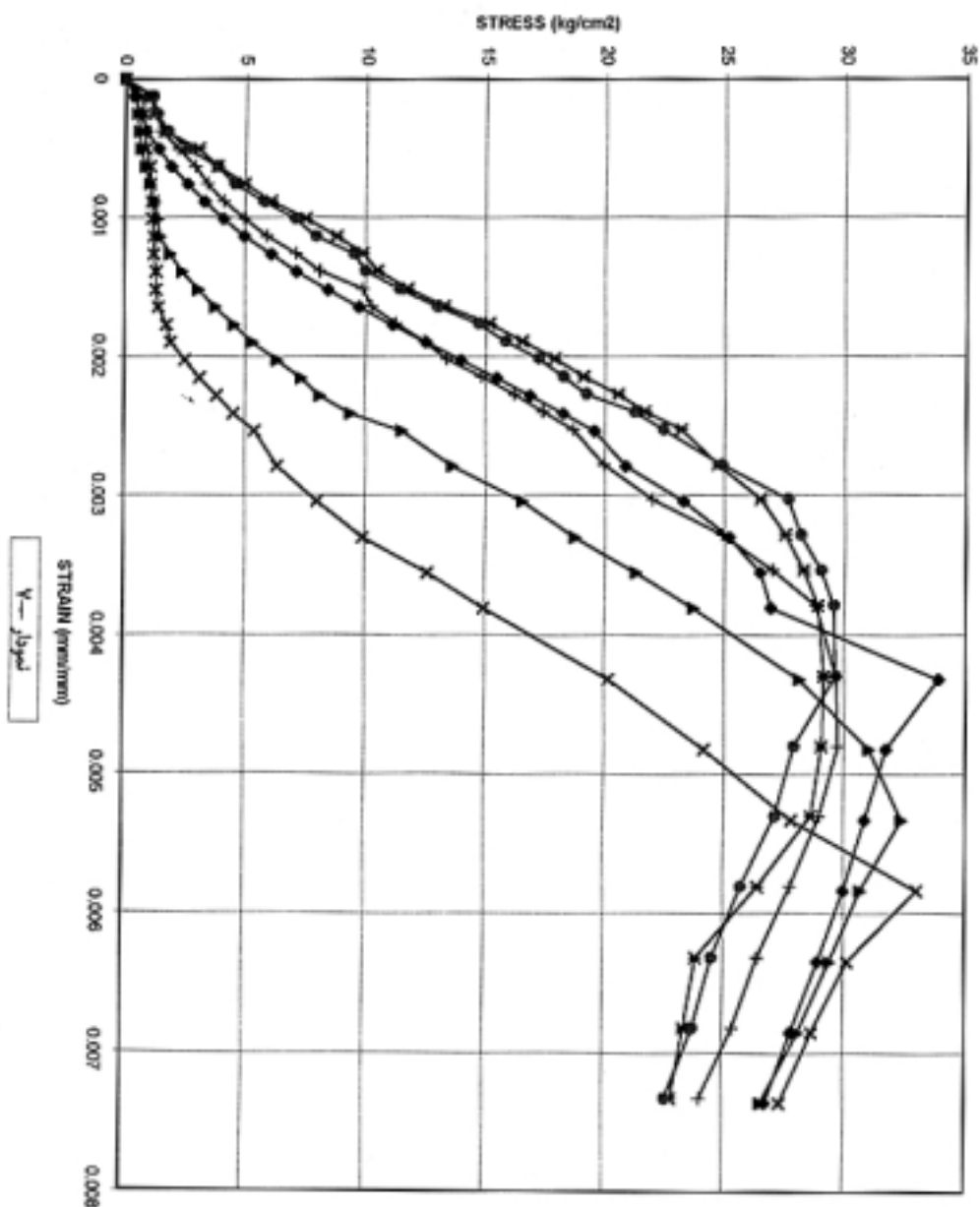


نمودار ۴



نمودار ۵

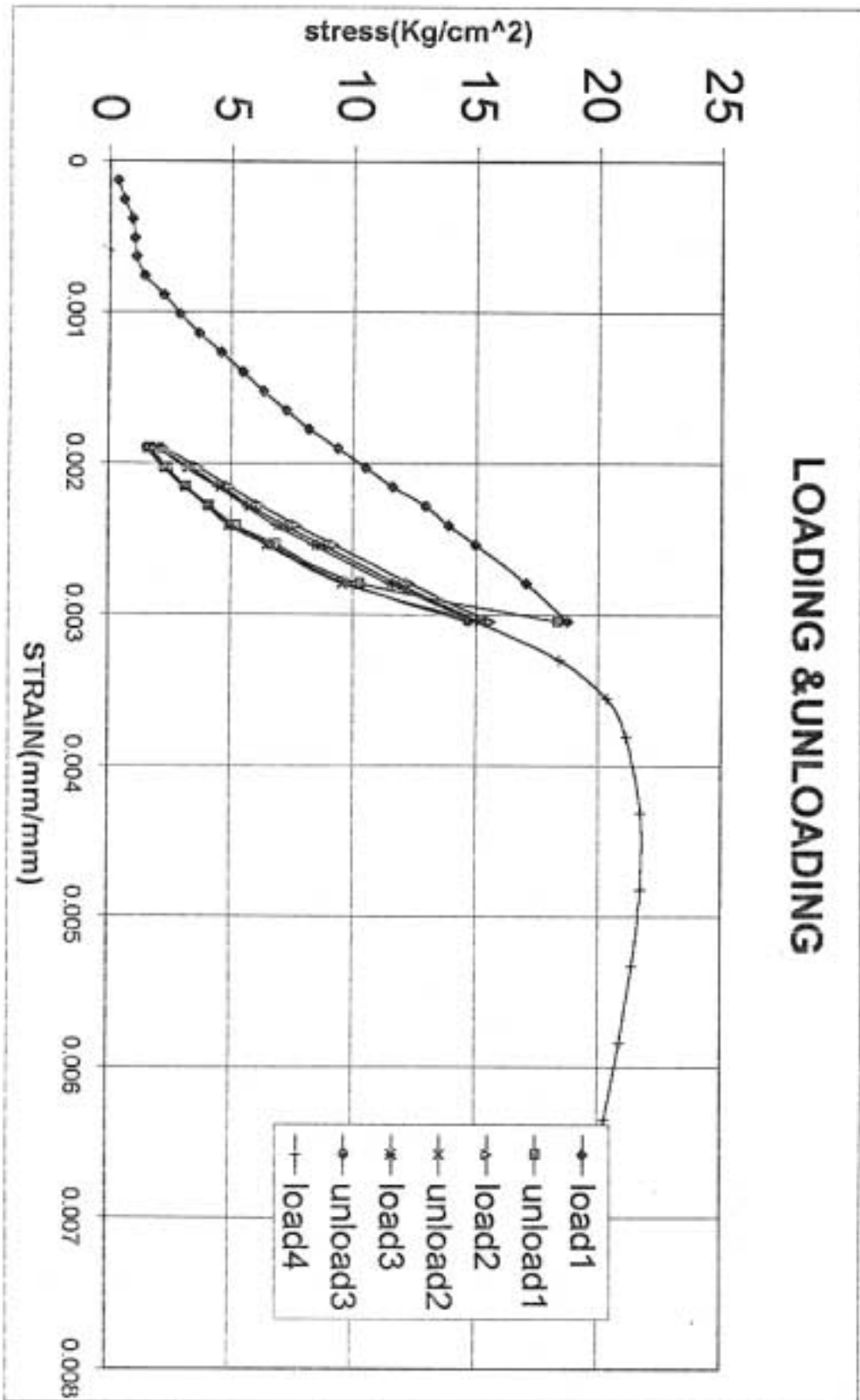




نمودار ۷

●	samp - 1984	1.5 mm/min
▲	samp - 1985	1.5 mm/min
×	samp - 1986	1.5 mm/min
*	samp - 1993	0.1 mm/min
●	samp - 1994	0.1 mm/min
+	samp - 1995	0.1 mm/min

نمودار ۷



نمودار ۸

