

اندازه گیری تنش در نقاط تماس سنگدانه ها در لایه های غیر چسبنده راه

حسین معاریان

دانشیار گروه مهندسی معدن - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

یان هانسون

کمپانی اسکانسکا - سوئد

محمد باقر فرمانی

کارشناس ارشد اکتشاف معدن

(تاریخ دریافت ۸۲/۲/۱۷، تاریخ تصویب ۸۲/۴/۱۴)

چکیده

در بررسی حاضر میزان متوسط تنش عمودی و افقی در لایه های غیر چسبنده راه و همچنین مقدار تنش در نقاط تماس بین سنگدانه ها در این لایه ها، اندازه گیری گردید. به این منظور از دستگاه ویژه ای به نام محفظه حلقوی، که به تازگی در دانشگاه چالمرز سوئد طراحی شده است، استفاده شد. برای اندازه گیری تنش در نقاط تماس سنگدانه ها نیز از فیلمهای حساس به فشار استفاده شده است. تأثیر اندازه ذرات بر نحوه توزیع تنش نیز با آزمایش ۵ گروه مصالح با دامنه اندازه های مختلف، مورد بررسی قرار گرفت. تحلیل نتایج آزمایشهای انجام شده با فیلمهای حساس نشان داد که در نمونه های ریز دانه تر تنشها به نحو یکنواخت تری توزیع می شوند. نتایج هم چنین نشان دهنده ایجاد تنشهای بسیار بالا در نقاط تماس بین سنگدانه ها، در اثر بارگذاری ناشی از عبور وسایل نقلیه، می باشد. اندازه ذرات نیز بر میزان تنش در نقاط تماس تأثیر می گذارند. به گونه ای که مقدار تنش در نقاط تماس ذرات درشت دانه تر به شدت افزایش می یابد.

واژه های کلیدی: فیلم فشاری، روسازی، زیر اساس، تنش، تنجش

مقدمه

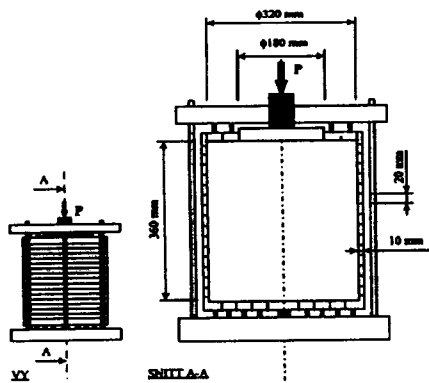
چسبنده به صورت واحدی یکپارچه و همگن در نظر گرفته می شدند. اما امروزه بر محققین مسلم گردیده است که این فرض کاملاً نادرست می باشد. لذا مطالعات جامعی برای درک رفتار این مواد وقتی تحت بارگذاری قرار می گیرند، در سراسر دنیا در حال انجام است. یکی از مسائلی که توجه محققان بسیاری را به خود جلب کرده است، چگونگی توزیع تنش در این مواد و امکان اندازه گیری تنش واقعی موجود بین ذرات می باشد. مقاله حاضر نیز به این مساله می پردازد و در آن برای اندازه گیری تنش در نقاط تماس سنگدانه ها از روشی کاملاً جدید استفاده شده است. در نقاط تماس میان سنگدانه های لایه های غیر چسبنده تنشهای متفاوتی توسعه می یابند. میزان تنش در این نقاط تماس، توسط فیلمهای مخصوص حساس به فشار، اندازه گیری شده است. تنشهای افقی و عمودی در ترازهای مختلف نمونه های غیر چسبنده نیز، توسط دستگاه مخصوصی که در دانشگاه چالمرز سوئد طراحی

روسازی راه از چندین لایه مختلف تشکیل می گردد که تعدادی از آنها را لایه های چسبنده و تعدادی دیگر را لایه های غیر چسبنده تشکیل می دهند. در اثر تردد وسایل نقلیه، تنش به کلیه لایه های راه اعمال می گردد. میزان این تنش به سمت لایه های پایینتر کاهش می یابد، تا آنجا که تنش اعمال شده به خاک بستر به اندازه ای برسد که این بخش بتواند بدون تغییر شکل قابل توجهی تنش وارده را تحمل نماید. میزان کاهش تنش در هر لایه، به ضخامت و ویژگیهای مواد مصرفی در آن لایه بستگی دارد. برای تعیین ضخامت لایه ها و انتخاب مواد مصرفی در آنها نیاز است که میزان تنش و نحوه توزیع آن در لایه های مختلف به خوبی درک شود. بنابراین مدلسازی نحوه توزیع تنش در لایه های مختلف راه می تواند اطلاعات مناسبی در این زمینه بدست دهد. تا گذشته ای نه چندان دور، مواد دانه ای غیر

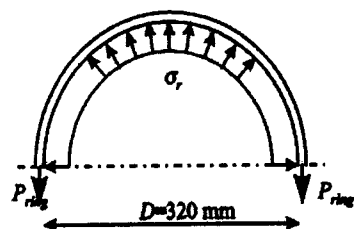
فرض وجود تعادل میان تنش اعمال شده به ذرات و تنشی که به هر حلقه منتقل می شود، به صورت زیر محاسبه می گردد (شکل ۲) [۶].

$$\sigma_r = \frac{2P_{ring}}{Dh} \quad (1)$$

در اینجا Pring معرف نیرو در حلقه فولادی، D قطر حلقه و h ارتفاع حلقه است. تنش در مصالح دانه ای می تواند به صورت متوسط تنشهای موجود در نقاط تماس بین ذرات در نظر گرفته شود. اختلاف میان تنشها در نقاط تماس و مقدار متوسط تنش در مجموعه ذرات به نحوه توزیع اندازه ذرات و حجم مجموعه ذرات مورد آزمایش وابسته است. تنش قائم در کف محفظه استوانه ای می تواند برای هر یک از پنج حلقه با استفاده از تغییر شکلهای اندازه گیری شده توسط میله های تنجش سنج دار، محاسبه گردد. در این حالت امکان بررسی نحوه توزیع بار از مرکز به سمت خارج وجود خواهد داشت.



شکل ۱: دستگاه محفظه حلقوی [۱].



شکل ۲: تعادل میان تنشهای موجود در یک حلقه فولادی و تنشهای افقی شعاعی در سنگدانه ها [۶].

گرفته است، اندازه گیری شده اند. در ادامه همچنین تأثیر اندازه ذرات بر نحوه توزیع تنش نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

وسایل مورد استفاده

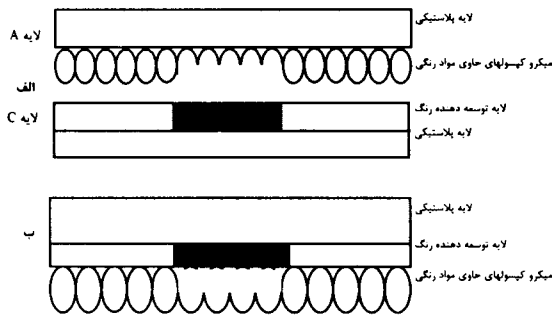
دستگاه محفظه حلقوی

تعیین نحوه توزیع و ثبت میزان تنش در سطوح مختلف لایه های غیر چسبنده راه، که در معرض بارگذاریهای مکرر قرار دارند، از مسائلی است که در سالهای اخیر مورد توجه قرار گرفته است. برای اینکه پایداری و مقاومت مصالح غیر چسبنده به کار رفته در ساختار راه مورد آزمایش قرار گیرند، نیاز به اندازه گیری تنشهای قائم و افقی است که در اثر بارگذاری قائم ایجاد می شوند.

در بررسی حاضر از دستگاه خاصی که بنازگی در دانشگاه چالمرز سوئد طراحی شده است، استفاده گردیده است. این دستگاه متشکل از یک محفظه استوانه ای است که از ۱۴ حلقه متفاوت تشکیل گردیده است (شکل ۱). قطر هر یک از حلقه ها ۳۲۰، ارتفاع آنها ۲۰ و ضخامتشان ۱۰ میلی متر است. بر روی هر حلقه سه تنجش سنج نصب گردیده است. هر دو حلقه مجاور یک میلی متر از یکدیگر فاصله دارند، تا به این وسیله هر حلقه بتواند مستقلاً تغییر شکل دهد. کف دستگاه نیز از پنج حلقه فولادی تشکیل شده است که در زیر هر یک از آنها سه پیچ قرار گرفته است و بر روی هر پیچ دو تنجش سنج نصب شده است. در قسمت بالای محفظه نیز یک صفحه بارگذاری مدور با قطر ۱۸۰ میلی متر قرار می گیرد که برای اعمال تنش قائم استاتیکی ۶۶ KN بر نمونه، به کار می رود. در اطراف صفحه بارگذاری نیز دو حلقه قرار می گیرد تا از حرکت مواد به سمت بالا جلوگیری کند. وقتی که بار عمودی به ذرات وارد می شود، مواد منبسط می گردند. این انبساط منجر به تنجش در حلقه های فولادی افقی می شود.

تغییر شکل حلقه های فولادی با استفاده از تنجش سنجهای نصب شده بر روی هر حلقه اندازه گیری شده و سپس تنش، با استفاده از قانون هوک محاسبه می گردد [۷]. میزان تنشهای افقی در سطوح مختلف نمونه، با

دسته از آنها در اثر اعمال تنش مشخصی می شکنند و لذا شدت رنگ قرمز تولید شده متناسب با شدت تنش اعمال شده می باشد. برخی از ویژگیهای فیزیکی و نحوه به کارگیری فیلمها حساس در جدول (۲) آمده است [۵].



شکل ۲. نمای کلی از فیلمهای حساس به فشار. الف: فیلمهای دو لایه، (ب) فیلمهای تک لایه [۵]

تعیین میزان تنش

در بررسی حاضر تنشهای ممتد و تنشهای لحظه ای اندازه گیری شدند. برای اندازه گیری تنش ممتد، تنش اعمال شده به فیلم در مدت زمان دو دقیقه به صورت تدریجی افزایش یافت. سپس تنش برای دو دقیقه دیگر در این سطح نگاه داشته شد. تنش اندازه گیری شده در این حالت معرف میزان تنش ممتد است. برای اندازه گیری تنشهای لحظه ای، تنش را در مدت زمان پنج ثانیه به حد مطلوب رسانده و تنها برای پنج ثانیه دیگر در آن سطح نگاه داشته و میزان تنش لحظه ای قرائت شد [۵].

جدول ۲: ویژگیها و نحوه کاربرد فیلمهای حساس به فشار [۵].

| | |
|--------------------|--|
| محدوده دمای مناسب | ۵ تا ۳۵ درجه سانتیگراد |
| محدوده رطوبت مناسب | ۲۰ RH تا ۹۰ RH |
| ضخامت فیلمها | ۲۵ تا ۵۰ میکرون |
| مدت زمان مصرف | ۲ سال پس از تاریخ تولید |
| دقت اندازه گیری | چشمی ۱۰٪ ± و با استفاده از سیستمهای اندازه گیری نوری و نرم افزارهای مخصوص ۲٪ ± |

فیلمهای حساس به فشار

در بررسی حاضر، جهت اندازه گیری تنش در نقاط تماس بین سنگدانه ها، از فیلمهای حساس به فشار، که برای اندازه گیری تنش در صنایع مختلف به کار برده می شوند، سود جسته شده است. این فیلمها به شش نوع مختلف تقسیم می شوند که هر یک از آنها به محدوده خاصی از تنش حساس می باشند. از نظر ساختاری نیز تعدادی از آنها از دو لایه و تعدادی دیگر تنها از یک لایه تشکیل گردیده اند. دامنه حساسیت انواع مختلف فیلمها در جدول (۱) فراهم آمده است [۵].

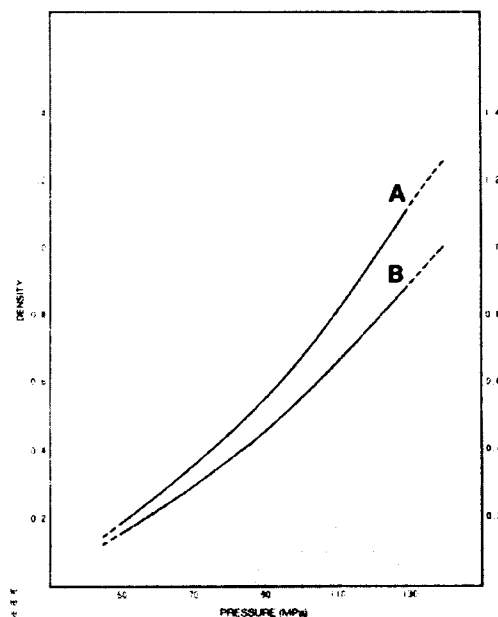
جدول ۱: انواع فیلمهای حساس به فشار مورد استفاده جهت اندازه گیری تنش [۵].

| حساسیت فیلم به فشار | تعداد لایه | میزان حساسیت (مگا پاسکال) |
|---------------------|------------|---------------------------|
| بسیار بسیار پایین* | ۲ | ۰/۶-۰/۲ |
| بسیار پایین | ۲ | ۲/۵-۰/۵ |
| پایین | ۲ | ۱۰-۲/۵ |
| متوسط | ۲ | ۵۰-۱۰ |
| متوسط | ۱ | ۵۰-۱۰ |
| بالا | ۱ | ۱۳۰-۵۰ |

x در صورت نیاز کمپانی سازنده قادر به تولید فیلمهای حساس به ۰/۵ تا ۰/۲ مگا پاسکال نیز می باشد.

فیلمهای حساس به فشار دو لایه از لایه های A و C تشکیل گردیده اند. لایه A پوشیده از میکروکپسولهای حاوی مواد رنگی است. لایه C نیز توسط مواد توسعه دهنده رنگ پوشیده شده است. در این فیلمها، لایه های A و C به گونه ای قرار می گیرند که سطوح پوشیده شده آنها در تماس با یکدیگر باشند. فیلمهای حساس به فشار تک لایه از سه لایه مجزای پلاستیکی، توسعه دهنده رنگ و میکروکپسولهای حاوی مواد رنگی تشکیل گردیده اند. شکل (۳) نمایی از فیلمهای حساس به فشار یک لایه و دو لایه را نشان می دهد [۵].

هنگامی که تنش به فیلمهای حساس اعمال می شود، میکروکپسولها می شکنند و مواد رنگی درون آنها آزاد می گردد. این مواد با مواد موجود در لایه توسعه دهنده رنگ واکنش نشان داده و رنگ قرمز تولید می نمایند. میکروکپسولها به گونه ای طراحی شده اند که هر

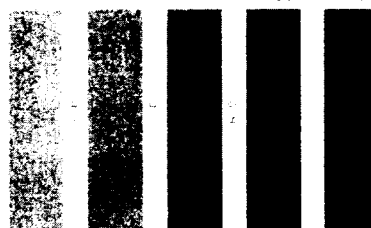


شکل ۶: منحنی استاندارد تعیین میزان تنش در فیلمهای حساس به فشار بالا [۵].

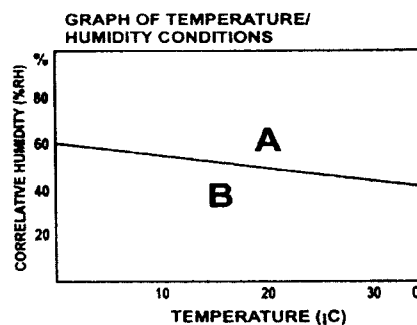
معادل با رنگ قرمز ایجاد شده بر روی فیلم، تعیین گردید. به طور همزمان میزان رطوبت و دمای محیط آزمایش نیز معین شد و با استفاده از این مقادیر یکی از دو ناحیه A یا B شکل (۵) انتخاب گردید. در پایان با استفاده از نمودارهای A یا B شکل (۶)، و با در نظر گرفتن شدت رنگ مشخص شده، میزان تنش اعمال شده در آن نقطه، تعیین شد. به عنوان مثال در شرایطی که شدت رنگ برابر ۰/۷، میزان رطوبت ۸۰٪ و دمای محیط معادل ۲۵ درجه سانتیگراد است، زوج دما و رطوبت در بخش A شکل (۵) قرار می گیرد. حال با در نظر گرفتن نمودار A و شدت رنگ قرمز تعیین شده در شکل (۶)، مقدار تنش برابر ۱۰۲ Mpa محاسبه می شود.

برای کسب بهترین نتیجه از فیلمهای حساس به فشار، در هنگام استفاده از آنها موارد زیر باید مورد توجه قرار گیرد: سطوح انتخاب شده برای اندازه گیری میزان تنش ابتدا تمیز و خشک شوند، زیرا تماس آب یا روغن با سطح فیلمها، از توسعه صحیح رنگ جلوگیری می کند. نظر به اینکه لایه A فیلمهای دو لایه، به فشارهای جزئی نیز حساس می باشد، پیش از مصرف از در دست گرفتن و یا مالش آنها اجتناب شود. برای جلوگیری از مالش لایه های A و C بر روی یکدیگر نیز، در مواردی که

نحوه توزیع تنش در یک سطح مفروض با بررسی فیلم حساس نصب شده در آن محل، مشخص گردید. به این ترتیب که شدت رنگ قرمز ظاهر شده به روی قسمتهای مختلف فیلم، نشان دهنده بزرگی میزان تنش اعمال شده است. علاوه بر نحوه توزیع تنش، میزان تنش در هر قسمت نیز اندازه گیری شد. این امر با مقایسه فیلمهای حساس به فشار، با مقیاس رنگی و منحنی های استاندارد که از طرف کمپانی تولید کننده فیلمها ارائه شده، صورت گرفت. نمونه هایی از مقیاس رنگی و منحنی استاندارد که برای اندازه گیری تنش در فیلمهای حساس به فشار بالا به کار می روند، به ترتیب در شکلهای (۴) و (۶) آورده شده اند.



شکل ۴: مقیاس رنگی تعیین شدت رنگ (قرمز) در فیلمهای حساس به فشار [۵].

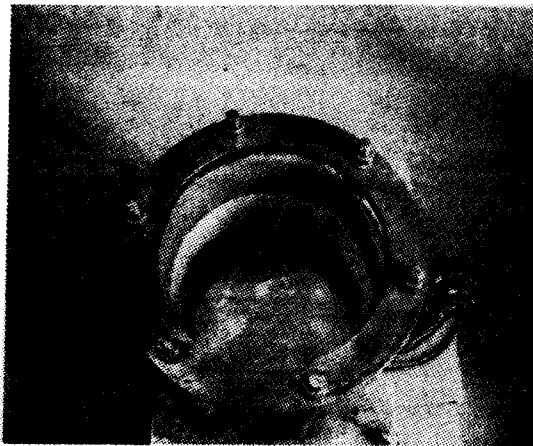


شکل ۵: نمودار وضعیت دما-رطوبت در حین انجام آزمایش [۵].

محاسبه تنش در فیلم حساس به فشار بالا به گونه زیر صورت گرفت. ابتدا شدت رنگ ایجاد شده بر روی فیلم با مقیاس رنگی مربوط به فیلم حساس به فشار بالا مقایسه گردید و رنگ معادل در مقیاس رنگی تعیین شد. در مقیاس رنگی، در زیر هر یک از رنگها، شدت رنگ نوشته شده است. در مواردی که شدت رنگ قرمز ایجاد شده بر روی فیلم معادل هیچ یک از نمونه ها در مقیاس رنگی نبود، با استفاده از درون یابی، شدت رنگ قرمز

نحوه انجام آزمایش

برای جلوگیری از تماس مستقیم فیلم با لبه های تیز حلقه ها، در قبل از هر آزمایش، جداره داخلی دستگاه محفظه حلقوی توسط یک ورقه پلاستیکی پوشانده شد و سپس در روی آن فیلمهای حساس قرار داده شد. نظر به بهای زیاد فیلمهای حساس به فشار (۴۰ دلار بر فوت مربع)، و با توجه به محدودیتهای بودجه ای، امکان پوشاندن تمامی دستگاه با فیلم حساس به فشار میسر نبود. از آنجا که مطابق با بررسیهای اولیه انجام شده، مشخص شد که حداکثر تنش افقی به حلقه های میانی وارد می گردد و چون هدف شناسایی حداکثر تنش اعمال شده به ذرات بود، لذا حلقه های شماره ۸ تا ۱۱ توسط نواری افقی به عرض ۹ سانتی متر از فیلم پوشانده شدند (حلقه ها از پایین به سمت بالا شماره گذاری شده اند). یک نوار به عرض نه سانتی متر نیز بر روی حلقه های شماره ۱ تا ۷ قرار گرفت تا امکان بررسی تغییرات توزیع تنش در راستای قائم نیز فراهم گردد. کف دستگاه نیز کاملاً توسط فیلم حساس به فشار پوشانده شد. نحوه قرارگیری فیلمهای حساس به فشار بالا در داخل دستگاه آزمایش، در شکل (۷) نشان داده شده است.



شکل ۷: نحوه قرارگیری فیلم حساس به فشار بالا در داخل دستگاه محفظه حلقوی [۴].

پس از قرارگیری فیلمها در محلهای مربوطه، مجدداً کل جداره داخلی دستگاه توسط یک لایه پلاستیکی دیگر پوشانده شد تا از تماس مستقیم سنگدانه ها با فیلمهای حساس به فشار جلوگیری شود. در غیر این صورت، همانگونه که پیشتر گفته شد، گرد و خاک و

احتمال اعمال نیروهای برشی به فیلمها وجود دارد، بهتر است لبه های آنها بهم چسبانده شود. فیلمهای حساس به فشار یکبار مصرفند و باید در مدت زمان تعیین شده به عنوان تاریخ مصرفشان، به کار برده شوند. بهتر است که فیلمهای حساس به فشار در محدوده دما و رطوبت مشخص شده (جدول ۲)، به کار برده شوند. در هنگام نگهداری فیلمها نیز از تماس مستقیم آنها با نور آفتاب یا نزدیکی با آتش و یا گرمای بیش از اندازه، اجتناب شود. بالاخره فیلمهای مصرف شده باید در کیسه های پلی اتیلنی مخصوص نگهداری شوند. لایه C نیز پس از مصرف در کیسه کاغذی نگهداری شود. پس از مصرف فیلمهای دو لایه نیز از تماس مجدد آنها با یکدیگر جلوگیری شود [۵].

نمونه برداری

تمامی نمونه های مورد آزمایش از دپوهای موجود در یک کارخانه تولید سنگدانه در نزدیکی شهر گوتنبرگ سوئد انتخاب شدند. نمونه برداری از قسمتهای میانی هر دپو، و در ده محل متفاوت و در عمق ۲۰ سانتی متری سطح دپو، صورت گرفت [۱۰]. به این ترتیب از انتخاب ذرات درشت تر سطحی، اجتناب گردید. در هر مورد، پس از مخلوط نمودن ۱۰ نمونه برداشت شده، نمونه نهایی تهیه شد.

نمونه ها با توجه به اندازه ذراتشان، به شرح زیر به پنج گروه با دامنه ذرات: ۲ تا ۵ میلی متر، ۵ تا ۸ میلی متر، ۸ تا ۱۱ میلی متر، ۱۱ تا ۱۶ میلی متر و بالاخره صفر تا ۱۸ میلی متر، تقسیم گردیدند. همچنین تعدادی نمونه ماسه ای نیز برداشت گردید که برای این نمونه ها تنها متوسط تنشهای عمودی و افقی اندازه گیری شدند. تمامی نمونه ها یک هفته قبل از انجام آزمایشها برداشت گردیدند و در محیطی گرم و سرپوشیده قرار داده شدند تا آزمایشها در شرایط خشک انجام گردد. تمامی سنگدانه های انتخابی از جنس سنگ دگرگونی گنیس بودند. میزان کانیهای مختلف سنگدانه های گنیسی به نحو زیر تعیین شد: کواتز ۱۹٪، پلاژیوکلاز ۳۶٪، اورتوز ۱۵٪، بیوتیت ۱۰٪، هورنبلند ۱۰٪، اپیدوت ۴٪ [۸].

برابر ۱۰۰ KN می باشد که معادل ۵۰ KN بر هر چرخ است [۳]. اما حداکثر بار بر محور مجاز در این کشور ۱۱/۵ تعیین شده است [۲]. لذا بار اعمال شده بیش از حداکثر بار بر محور مجاز در این کشور می باشد. یکی از دلایل انتخاب این میزان بار، بالا بردن دقت آزمایشات در اندازه گیری تنشهای تماسی بوده است. این بار به صورت تدریجی و در مدت زمان دو دقیقه تا ۶۶ کیلو نیوتن افزایش یافت و برای دو دقیقه دیگر نیز در این سطح نگاه داشته شد. در این زمان میزان تغییر شکل در تنجش سنجها اندازه گیری شده و توسط نرم افزار مربوطه ثبت گردید. در ادامه بار به صورت ناگهانی از روی نمونه برداشته شده و سنگدانه ها به دقت از داخل دستگاه تخلیه شدند و در پایان دستگاه برای انجام آزمایش بعدی تمیز گردید.

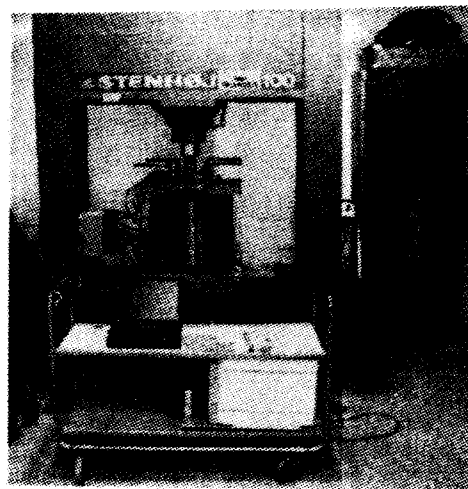
در بررسی حاضر در مجموع ده آزمایش به شرح زیر انجام شد: دو آزمایش برای هر یک از دامنه ذرات ۲ تا ۵، ۵ تا ۸ و ۸ تا ۱۱ میلی متر، یک آزمایش برای دامنه ذرات ۱۱ تا ۱۶ میلی متر و سه آزمایش نیز برای دامنه ذرات صفر تا ۱۸ میلی متر. البته دو آزمایش اضافی نیز بر روی نمونه های ماسه ای انجام گرفت که در این آزمایشها تنها متوسط تنشهای افقی و عمودی اندازه گیری شدند.

محاسبه میزان تنش با استفاده از نتایج آزمایشها

محاسبه متوسط تنشهای افقی و قائم با استفاده از نتایج کسب شده از تنجش سنجهای دستگاه محفظه حلقوی صورت گرفت. حداکثر متوسط تنشهای افقی شعاعی و تنشهای قائم محاسبه شده برای هر آزمایش، در جدول ۳ فراهم آمده است. نحوه محاسبه متوسط تنشهای افقی و قائم به طور جداگانه، مورد بررسی قرار گرفته است [۹].

همانگونه که در این جدول مشاهده می گردد، حداکثر تنشهای افقی در حلقه های میانی ۶ تا ۹ اندازه گیری شده اند. تقریباً در همه موارد میزان تنش افقی اندازه گیری شده در هر سطح، کوچکتر از نصف میزان تنش اعمال شده (۲/۶ MPa) می باشد. همچنین محل اعمال بیشترین تنش افقی که این دستگاه مشخص می کند، با نحوه توزیع تنشی که تئوریهای مرسوم الاستیسیته پیش

رطوبت تأثیر نامطلوبی بر فیلمها می گذارند. علاوه بر آن، گوشه های تیز سنگدانه ها نیز هنگامی که در تماس مستقیم با فیلم قرار می گرفتند به آن آسیب می رساندند. پس از استقرار فیلمهای حساس در محلهای تعیین شده و قراردادن پوشش نایلونی آن، دستگاه توسط سنگدانه های مورد نظر پر شده و سپس نمونه با یک روش تجربی متراکم گردید. به این ترتیب که وزنه ۸/۳ کیلوگرمی از ارتفاع ۵۰ میلی متری، به تعداد چهل بار بروی نمونه سقوط می کرد تا تراکم مورد نظر حاصل شود. در طول تراکم دقت شد تا از صدمه دیدن فیلمها تا حد امکان جلوگیری شود. در مرحله بعد دستگاه محفظه حلقوی برای انجام آزمایش در زیر دستگاه بارگذاری قرار داده شد. در همین مرحله تنجش سنجها به دستگاه ثابت نصب شدند. دستگاه ثابت توسط یک نرم افزار خاص اداره می شود. شکل (۸) نمایی از کلیه قسمتها را، که برای آزمایش آماده شده است، نشان می دهد. پیش از انجام آزمایش ابتدا واشرها از میان حلقه ها برداشته شد تا هیچ گونه اصطکاکی میان حلقه های مجاور هم وجود نداشته باشد. سپس میزان تنجش در تنجش سنجها اندازه گیری گردید تا پس از انجام آزمایش جهت کالیبراسیون نتایج، به کار برده شوند.



شکل ۸: نمایی از دستگاه در حین انجام آزمایش [۴].

مساحت صفحه اعمال بار برابر سطح تماس یک چرخ وسیله نقلیه سنگین با اولین لایه روسازی انتخاب شده است [۲]. بار اعمال شده بر روی نمونه ها نیز استاتیکی و معادل ۶۶ کیلو نیوتن بود. بار بر محور استاندارد در سوئد

بنابراین برای تشخیص آنکه نتایج حاصل از کدام یک از روشها از اعتبار بیشتری برخوردار است تحقیقات گسترده-تری باید انجام شود [۹].

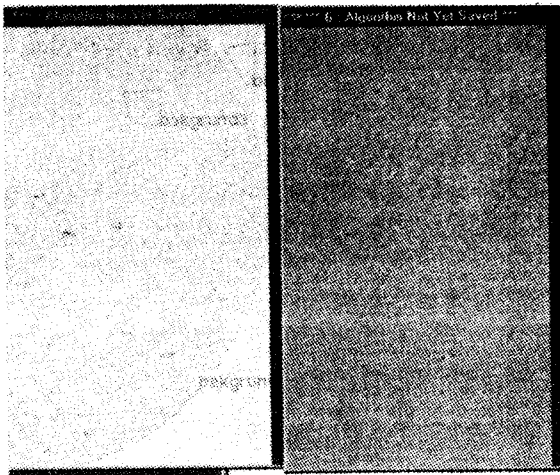
از طرف دیگر نتایج حاصل از دستگاه محفظه حلقوی بیان کننده این است که اندازه ذرات بر نحوه توزیع تنش تأثیر گذار است. به گونه ای که با افزایش اندازه ذرات میزان تنشهای افقی افزایش و میزان تنشهای عمودی کاهش می یابد. البته با توجه به اینکه تعداد آزمایشات انجام شده به ۱۲ آزمایش محدود می شود، لذا نتیجه گیری باید با احتیاط صورت پذیرد [۹]. میزان تنش در نقاط تماس بین سنگدانه ها نیز با استفاده از فیلم حساس به فشار بالا تعیین شد. به این ترتیب که با پرسیدن دستگاه از سنگدانه ها، تعدادی از سنگدانه ها در تماس مستقیم با فیلم حساس به فشار قرار می گیرند. هنگامی که بار مورد نظر بر روی نمونه اعمال می گردد، در داخل نمونه توزیع گشته و سبب ایجاد تنش در نقاط تماس سنگدانه ها می شود. از آنجا که مصالح دانه ای ناهمگن و ناهمسانگرد می باشند لذا تنش به صورت متعادل در داخل نمونه توزیع نمی گردد و میزان تنش در نقاط تماس سنگدانه ها یکسان نخواهد بود. این تنش نهایتاً به نقاط تماس سنگدانه ها با فیلم حساس به فشار منتقل می گردد. اگر میزان تنش در نقطه تماس بیشتر از آستانه پایین حساسیت فیلم فشار بالا باشد، لکه قرمز رنگی را بر روی فیلم برجا می گذارد. شدت قرمزی لکه، نشان دهنده میزان تنش اعمال شده است، به گونه ای که شدت رنگهای بیشتر نشان دهنده میزان تنشهای بزرگتر می باشند.

بینی می کنند، همخوانی دارد. البته با افزایش اندازه ذرات، آشفتنگی در نتایج بیشتر می شود. این امر احتمالاً به این دلیل است که با افزایش اندازه ذرات، و با توجه به حجم نمونه مورد آزمایش، دیگر نمی توان ذرات را همگن و همسانگرد، در نظر گرفت. لذا در این حالت فرضیاتی که بر پایه آنها میزان تنش در سطوح مختلف محاسبه می گردد، چندان معتبر نمی باشند. همچنین حداکثر تنش قایم نیز درست به قسمت مرکزی دستگاه اعمال می شود. البته برای ذرات با قطر ۱۱-۱۶ میلی متر و تا حدودی ۸-۱۱ میلی متر، نتایج به دلیل ذکر شده چندان معتبر نمی باشند. نکته جالب توجه این است که تنشهای اندازه گیری شده با این دستگاه بزرگتر از تنشهای محاسبه شده با مدل‌های مرسوم می باشد. به عنوان مثال مقادیر اندازه گیری شده با دستگاه مورد استفاده ۱/۵ تا ۲ برابر تنش محاسبه شده توسط معادلات بوزینسک است. البته همانگونه که امروزه ثابت گردیده است مصالح دانه ای رفتار الاستوپلاستیکی از خود نشان می دهند. لذا اعمال فرضیات الاستیسیته به روی آنها باعث وارد شدن خطای قابل توجهی در نتایج می شود. در معادلات بوزینسک مصالح به صورت یکپارچه همسانگرد و همگن در نظر گرفته می شوند. در صورتی که در روش استفاده شده در این بررسی تنها در سطح معادل هر حلقه مواد همسانگرد و همگن فرض می شوند. لذا به نظر می رسد که نتایج حاصل از محفظه حلقوی تشابه بیشتری با حالت واقعی دارد. البته خطاهای دیگری نیز در نتایج حاصل از دستگاه مورد استفاده وارد می شود که به عنوان نمونه می توان به کوچک بودن حجم نمونه نسبت به اندازه ذرات اشاره کرد.

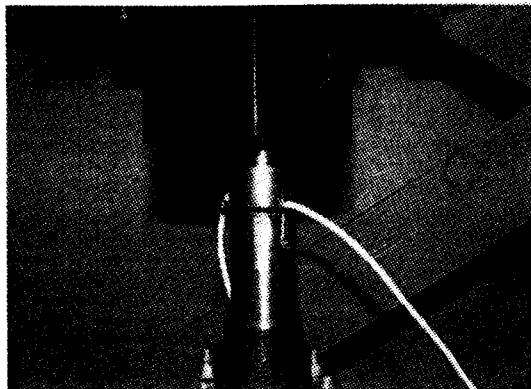
جدول ۳: حداکثر متوسط تنشهای افقی و قایم به دست آمده در هر آزمایش با استفاده از دستگاه محفظه حلقوی [۹].

| اندازه ذرات | ۵ تا ۲ | ۵ تا ۳ | ۸ تا ۵ | ۱۱ تا ۸ | ۱۱ تا ۸ | ۱۶ تا ۱۱ | ۱۸ تا ۱۰ | ۱۸ تا ۱۰ | ۱۸ تا ۱۰ | ۱ ماهه | ۲ ماهه |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|--------|--------|
| حداکثر تنشهای افقی شعاعی در هر آزمایش | | | | | | | | | | | |
| تنش (Kpa) | ۷۴۹ | ۹۳۷ | ۱۱۵۳ | ۱۲۳۰ | ۶۶۰ | ۱۰۹۱ | ۱۲۵۸ | ۶۷۷ | ۱۱۳۸ | ۹۳۵ | ۱۱۶۴ |
| شماره حلقه | ۸ | ۹ | ۳ | ۷ | ۸ | ۶ | ۹ | ۹ | ۸ | ۹ | ۶ |
| حداکثر تنشهای قایم در هر آزمایش | | | | | | | | | | | |
| تنش (Kpa) | ۱۱۳۴ | ۱۰۳۳ | ۱۳۸۱ | ۱۴۶۲ | ۵۳۰ | ۲۰۹۲ | ۱۰۳۵ | ۹۳۳ | ۱۰۰۸ | ۲۵۷۱ | ۱۳۸۶ |
| شماره حلقه | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۳ | ۱ | ۵ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ |

قطعه فیلم حساس، توسط نرم افزار ER Mapper تجزیه و تحلیل قرار گرفت و با استفاده از خروجی نرم افزار میزان بار اعمال شده باز محاسبه گردید. نتایج حاصل از این آزمایش بسیار رضایت بخش بود و نشان داد که فیلمهای فشاری و نرم افزار مربوطه دقت بالایی در محاسبه تنش دارند. نمونه ای از نتایج آزمایشهای تعیین دقت، در شکل (۱۱) آورده شده است. در این شکل میزان تنش اعمال شده به فیلم حساس به فشار بالا برابر MPa ۱۰۰ می باشد.



شکل ۹: تحلیل فیلمهای حساس به فشار در نرم افزار ER Mapper. داده های ورودی در شکل سمت چپ و خروجی نرم افزار در سمت راست آمده است [۴].



شکل ۱۰: دستگاه بارگذاری تک محوری آماده شده جهت انجام آزمایش تعیین دقت فیلمهای حساس به فشار [۴].

مشکلی که در تحلیل فیلمهای حساس به فشار، در این کاربرد خاص، وجود دارد این است که تعداد نقاط تماس سنگدانه ها با فیلمهای حساس به فشار بسیار زیاد می باشد و لذا مقایسه تک تک آنها با منحنی ها و مقیاسهای رنگی استاندارد کاری بسیار وقت گیر است و علاوه بر آن احتمال ورود خطا در آن بسیار زیاد می باشد. همچنین اگر یک نقطه تماس تنها را در نظر بگیریم، میزان تنش در آن از مرکز محل تماس به سمت حاشیه ها کاهش می یابد. لذا نسبت دادن یک مقدار واحد تنش به یک نقطه تماس، کار چندان صحیحی نمی باشد. بهتر است به گونه ای توزیع تنش را منطقه بندی نمود. مسلم است که این امر به صورت چشمی امکان پذیر نیست. البته کمپانی سازنده فیلمها با استفاده از نرم افزارهای مخصوص، قادر به تحلیل فیلمها می باشند. نظر به اینکه هزینه انجام اینگونه تحلیلها بسیار زیاد است، در تحقیق حاضر فیلمها در پایان انجام آزمایش اسکن گردیدند و سپس توسط نرم افزار ER Mapper مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. خروجی این نرم افزار درصدی از مساحت هر فیلم می باشد که میزان تنش مشخصی به آن اعمال شده است. شکل (۹) ورودی و خروجی این نرم افزار را برای یکی از فیلمهای متاثر از تنشهای وارده از ذرات با دامنه صفر تا ۱۸ میلی متر، نشان می دهد.

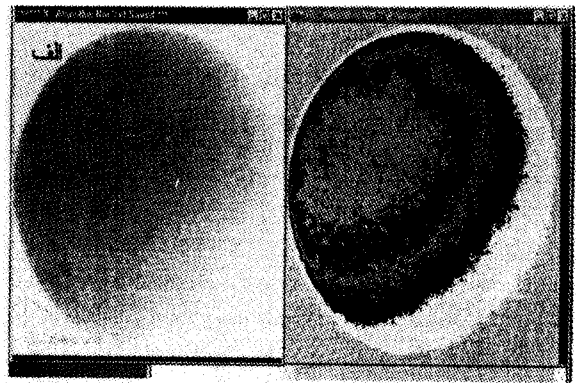
ارزیابی میزان دقت فیلمها در اندازه گیری میزان تنش

یکی از عوامل تاثیر گذار در نتایج آزمایش، میزان دقت فیلمهای حساس به فشار در اندازه گیری تنش، است. برای بررسی دقت فیلمها نیز تعدادی آزمایش انجام گردید. در این آزمایشها از دستگاه بارگذاری تک محوری، که پیش از انجام آزمایشها کالیبره گردیده بود، استفاده شد. شکل (۱۰) نمایی از این دستگاه را در حین انجام آزمایش نشان می دهد. در این آزمایشها فیلم حساس به فشار میان دو استوانه فلزی با سطوح کاملاً صیقل خورده و موازی هم، قرار داده شد. سپس توسط دستگاه بارگذاری بار مشخصی که کم و بیش مشابه با آزمایشهای انجام شده بر روی سنگدانه ها بود، به این مجموعه وارد گردید. در پایان فشارهای ثبت شده بروی

شده است نیز با افزایش اندازه ذرات، افزایش می یابد. بنابراین چنین می توان نتیجه گرفت که اندازه ذرات بر نحوه توزیع تنش تأثیری گذارد.

برای تعیین معنی دار بودن تأثیر اندازه ذرات بر نحوه توزیع تنش از آزمون آماری تخمین پراش استفاده گردید. نتایج این آزمون در جدول (۵) آمده است. در این جدول، اگر میزان F محاسبه شده (ستون سوم) از میزان F بحرانی (در سطح تشخیص $1/5$) بزرگتر باشد، نشان دهنده این است که نتایج حاصل از حداقل یکی از دسته ذرات با دیگر دسته ها متفاوت می باشد. مرور جدول (۵) نشان می دهد که اندازه ذرات بر توزیع تنشهای MPa ۱۰۵ و ۹۰ در هر سه محل استقرار فیلمها، و تنش ۶۵ MPa در کف دستگاه و نوار افقی، تأثیرگذار بوده اند. از این رو می توان نتیجه گرفت که اختلاف میان نتایج حاصل از اندازه ذرات متفاوت از نظر آماری با اهمیت است. روشن است که برای تنشهای بزرگتر از ۱۰۵ MPa اختلاف میان نتایج اهمیت چندانی ندارد. چرا که درصد مساحتی از فیلمها که تنشهای بزرگتر از ۱۰۵ MPa به آنها وارد شده است، آن اندازه کوچک می باشد که طبیعتاً اختلاف قابل توجهی میان آنها نمی توان یافت. برای تنش ۴۰ MPa نیز این تحلیل انجام نگردید، چرا که دقت فیلم حساس به فشار بالا برای این سطح از تنش چندان مناسب نیست و لذا نتایج به دست آمده چندان قابل اعتماد نمی باشد. لازم به یاد آوریدست که کوچکترین آسیب دیدگی فیلمها در اثر عواملی چون برش و لمس، تأثیر قابل توجهی بر روی نتایج همان سطح از تنش داشته و خطای اندازه گیریها را افزایش می دهد.

مقایسه تفاوت نتایج فیلمهای قرار داده شده در کف دستگاه با نوارهای عمودی و افقی برای هر یک از آزمایشها در جدول (۴) نشان می دهد که در کف دستگاه همواره تنشهای تماسی بزرگتری نسبت به دیواره های دستگاه اندازه گیری شده است. این امر معرف بزرگتر بودن تنشهای تماسی قائم در مقایسه با تنشهای تماسی افقی است، که امری قابل انتظار می باشد. همچنین نتایج آزمایشها بیانگر این است که تفاوت در نتایج حاصل از نمونه های با اندازه ذرات مشابه بسیار اندک است. این مسئله به خوبی در شکل (۱۲) نشان داده شده است.



شکل ۱۱: نمونه ای از نتایج آزمایش تعیین دقت فیلم حساس به فشار بالا. (الف) ورودی نرم افزار، (ب) خروجی نرم افزار (میزان تنش اعمال شده ۱۰۰ MPa می باشد) [۴].

بحث در نتایج آزمایشها

جدول (۴) نتایج به دست آمده از تجزیه و تحلیل فیلمهای حساس به فشار را نشان می دهد. در این جدول برای هر مورد درصد مساحتی از فیلم که میزان تنش مشخصی به آن اعمال شده است، محاسبه گردیده است. مرور این نتایج وجود تنشهای بسیار بالا در برخی از نقاط تماس سنگدانه ها را نشان می دهد. تقریباً در کلیه آزمایشها، تنشهای معادل ۹۰ MPa اندازه گیری شده است. اگر چه این میزان تنش تنها در برخی از نقاط تماس اندازه گیری شده و درصدی از فیلم که این میزان تنش به آن اعمال گردیده است، کوچک می باشد، اما بهر حال نشان دهنده این است که این میزان تنش در برخی از نقاط تماس وجود دارد. این تنش بسیار بزرگتر از متوسط تنش اعمال شده توسط صفحه بارگذاری (۲/۶ MPa) به نمونه مورد آزمایش می باشد. از این رو می توان نتیجه گرفت که تنش بسیار بزرگ و دور از انتظاری به برخی از نقاط تماس سنگدانه ها وارد می گردد و به زبانی تنش در این نقاط به شدت تشدید شده است.

هدف دیگر تحقیق حاضر بررسی تأثیر اندازه ذرات بر نحوه توزیع تنش می باشد. اگر نتایج ارایه شده در جدول (۴) به دقت مورد بررسی قرار گیرند، مشاهده می گردد که حداکثر تنش اندازه گیری شده با افزایش اندازه ذرات، افزایش می یابد. همچنین اگر دو آزمایش با اندازه ذرات متفاوت با یکدیگر مقایسه گردند، دیده می شود که مساحتی که تنشهای بزرگتر به آن اعمال

جدول ۴ : نتایج تحلیل داده های کسب شده از فیلمهای حساس به فشار، در نرم افزار ER Mapper
نتایج حاصل از فیلمهای حساس به فشار .

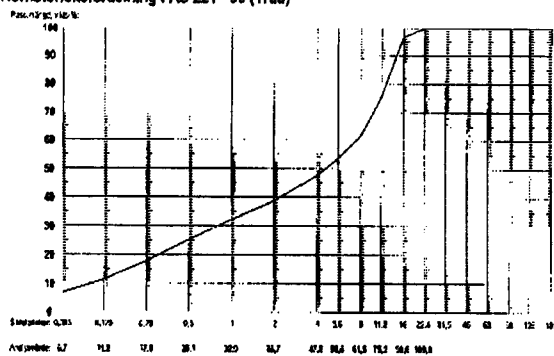
| درصدی از مساحت فیلم که تنش مشخصی به آن اعمال شده است | | | | | | | محل فیلم | اندازه ذرات | شماره آزمایش |
|--|------|------|------|------|------|-----|------------|-------------|--------------|
| ۴۰ | ۶۵ | ۹۰ | ۱۰۵ | ۱۲۵ | ۱۴۰ | ۱۵۰ | | | |
| ۰/۳۸ | ۰/۱۲ | ۰/۰۲ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | کف | ۵ تا ۲ | ۱ |
| ۰/۷۲ | ۰/۱۷ | ۰/۰۳ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | کف | ۵ تا ۲ | ۲ |
| ۱/۴۴ | ۰/۳۸ | ۰/۱ | ۰/۰۱ | ۰ | ۰ | ۰ | کف | ۸ تا ۵ | ۳ |
| ۱/۲۳ | ۰/۳۳ | ۰/۰۷ | ۰/۰۱ | ۰ | ۰ | ۰ | کف | ۸ تا ۵ | ۴ |
| ۱/۱۹ | ۰/۴۱ | ۰/۱۳ | ۰/۰۲ | ۰ | ۰ | ۰ | کف | ۱۱ تا ۸ | ۵ |
| ۰/۹ | ۰/۳۵ | ۰/۱۲ | ۰/۰۳ | ۰/۰۱ | ۰ | ۰ | کف | ۱۱ تا ۸ | ۶ |
| ۱ | ۰/۴۶ | ۰/۱۸ | ۰/۰۴ | ۰/۰۱ | ۰ | ۰ | کف | ۱۶ تا ۱۱ | ۷ |
| ۱/۳۶ | ۰/۳۱ | ۰/۰۹ | ۰/۰۲ | ۰/۰۱ | ۰ | ۰ | کف | ۱۸ تا ۰ | ۸ |
| ۱/۲۲ | ۰/۳۸ | ۰/۱۳ | ۰/۰۳ | ۰/۰۲ | ۰ | ۰ | کف | ۱۸ تا ۰ | ۹ |
| داده موجود نیست | | | | | | | کف | ۱۸ تا ۰ | ۱۰ |
| | | | | | | | | | |
| ۰/۳۸ | ۰/۰۶ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | نوار افقی | ۵ تا ۲ | ۱ |
| ۰/۴۶ | ۰/۰۵ | ۰/۰۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | نوار افقی | ۵ تا ۲ | ۲ |
| ۰/۵۷ | ۰/۰۸ | ۰/۰۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | نوار افقی | ۸ تا ۵ | ۳ |
| ۰/۶۵ | ۰/۰۸ | ۰/۰۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | نوار افقی | ۸ تا ۵ | ۴ |
| ۰/۸۶ | ۰/۲ | ۰/۰۶ | ۰/۰۱ | ۰ | ۰ | ۰ | نوار افقی | ۱۱ تا ۸ | ۵ |
| ۰/۷۲ | ۰/۱۸ | ۰/۰۵ | ۰/۰۱ | ۰ | ۰ | ۰ | نوار افقی | ۱۱ تا ۸ | ۶ |
| ۱/۱۴ | ۰/۳۱ | ۰/۰۹ | ۰/۰۲ | ۰/۰۱ | ۰ | ۰ | نوار افقی | ۱۶ تا ۱۱ | ۷ |
| ۰/۸۷ | ۰/۱۸ | ۰/۰۵ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ | ۰ | ۰ | نوار افقی | ۱۸ تا ۰ | ۸ |
| ۰/۵۸ | ۰/۱۶ | ۰/۰۸ | ۰/۰۲ | ۰ | ۰ | ۰ | نوار افقی | ۱۸ تا ۰ | ۹ |
| ۰/۸۳ | ۰/۲۱ | ۰/۰۶ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ | ۰ | ۰ | نوار افقی | ۱۸ تا ۰ | ۱۰ |
| | | | | | | | | | |
| ۱/۱۸ | ۰/۲۲ | ۰/۰۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | نوار عمودی | ۵ تا ۲ | ۱ |
| ۰/۴۶ | ۰/۰۷ | ۰/۰۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | نوار عمودی | ۵ تا ۲ | ۲ |
| ۰/۸۸ | ۰/۱۶ | ۰/۰۳ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | نوار عمودی | ۸ تا ۵ | ۳ |
| ۱/۲۹ | ۰/۲۸ | ۰/۰۲ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | نوار عمودی | ۸ تا ۵ | ۴ |
| ۰/۷۶ | ۰/۲۲ | ۰/۰۶ | ۰/۰۱ | ۰ | ۰ | ۰ | نوار عمودی | ۱۱ تا ۸ | ۵ |
| ۰/۴۴ | ۰/۲۱ | ۰/۰۴ | ۰/۰۱ | ۰ | ۰ | ۰ | نوار عمودی | ۱۱ تا ۸ | ۶ |
| ۰/۶۲ | ۰/۲۶ | ۰/۰۷ | ۰/۰۲ | ۰/۰۱ | ۰ | ۰ | نوار عمودی | ۱۶ تا ۱۱ | ۷ |
| ۱/۲۱ | ۰/۲۷ | ۰/۱۱ | ۰/۰۳ | ۰/۰۲ | ۰/۰۱ | ۰ | نوار عمودی | ۱۸ تا ۰ | ۸ |
| ۰/۵۶ | ۰/۱۹ | ۰/۱ | ۰/۰۲ | ۰ | ۰ | ۰ | نوار عمودی | ۱۸ تا ۰ | ۹ |
| داده موجود نیست | | | | | | | نوار عمودی | ۱۸ تا ۰ | ۱۰ |

حاصله با نتایج بدست آمده از نمونه های با ذرات بزرگتر از ۸ میلی متر، همخوانی بیشتری دارد. این بدان معنی است که میزان تنشهای تماسی میان ذرات درشت دانه بیشتر است و این ذرات درشت تر هستند که، در مجموعه ای از ذرات، توزیع تنشهای بسیار بزرگ را کنترل می کنند. البته به دلیل محدود بودن تعداد آزمایشهای انجام شده و کم بودن تفاوت میان ضرایب همبستگی، نتیجه گیریها باید با احتیاط صورت پذیرد. نتایج قطعی تر را می توان با انجام آزمایشهای بیشتر به دست آورد.

جدول ۵: بررسی تأثیر اندازه ذرات بر نحوه توزیع تنش با استفاده از آزمون تخمین پراش.

| میزان تنش | محل فیلم | F محاسبه شده | F بحرانی |
|-----------|------------|--------------|----------|
| ۶۵ | کف | ۱۳/۹۹ | ۶/۳۹ |
| ۹۰ | کف | ۱۴/۴۱ | ۶/۳۹ |
| ۱۰۵ | کف | ۱۴/۵۶ | ۶/۳۹ |
| ۱۲۵ | کف | ۳/۲۲ | ۶/۳۹ |
| ۶۵ | نوار عمودی | ۰/۵۵ | ۶/۳۹ |
| ۹۰ | نوار عمودی | ۲۶/۳۳ | ۶/۳۹ |
| ۱۰۵ | نوار عمودی | ۱۹ | ۶/۳۹ |
| ۱۲۵ | نوار عمودی | ۱ | ۶/۳۹ |
| ۶۵ | نوار افقی | ۴۹/۴۳ | ۵/۱۹ |
| ۹۰ | نوار افقی | ۱۹/۴ | ۵/۱۹ |
| ۱۰۵ | نوار افقی | ۹/۲۵ | ۵/۱۹ |
| ۱۲۵ | نوار افقی | ۲/۶۹ | ۵/۱۹ |

Kornstorleksfördelning FAS 221 - 99 (Tråd)



شکل ۱۳: منحنی دانه بندی ذرات صفر تا ۱۸ میلی متر [۴].

در این شکل متوسط مساحت تحت تنش معین، حاصل از نمونه های با اندازه ذرات یکسان، به همراه انحراف معیار مربوطه، نمایش داده شده است. شکل (۱۲) نشان می دهد که انحراف معیار برای همه سطوح تنش بسیار کوچک می باشد. البته برای تنش ۴۰ MPa انحراف معیار اندکی بیشتر از دیگر سطوح تنش است، که همانگونه که قبلاً ذکر شد دلیل اصلی آن دقت کم فیلم برای این سطح از تنش و تأثیر آسیب دیدگی احتمالی فیلمها در مراحل مختلف می باشد. بنابراین برای نمونه های با اندازه ذرات مشابه، تنش به صورت تقریباً یکسان توزیع می گردد. البته، به دلیل محدود بودن تعداد آزمایشهای انجام شده، نتایج به دست آمده باید با احتیاط در نظر گرفته شوند. این آزمایشها نشان می دهند که قابلیت تکرارپذیری نتایج برای اندازه ذرات مشابه بالا است و این بدان معنی است که پارامترهای دیگری چون شکل منحنی دانه بندی، شاخص تخت بودن ذرات و غیره که در آزمایشها کنترل نشده اند، نمی توانند تأثیر خیلی زیادی بر نحوه توزیع تنش بگذارند.

در تحقیق حاضر نمونه های صفر تا ۱۸ میلی متری تنها نمونه هایی بودند که در آنها هم سنگدانه های ریزدانه و هم سنگدانه های درشت دانه حضور داشتند. از آنجا که این نمونه ها تشابه بیشتری با لایه های غیر چسبیده نظیر زیر اساس راه دارند، نتایج حاصل از آنها با دقت بیشتری مورد بررسی قرار گرفت. در شکل (۱۳) منحنی دانه بندی نمونه های صفر تا ۱۸ میلی متری نشان داده شده است. برای درک اینکه رفتار این نمونه ها بیشتر به ذرات ریزدانه شباهت دارد و یا به ذرات درشت دانه، ابتدا میزان انطباق نتایج حاصل از اندازه ذرات صفر تا ۱۸ میلی متر با نتایج حاصل از دیگر اندازه ذرات به توسط ضریب همبستگی، مورد مقایسه قرار گرفت (جدول ۶). در هر سه محل قرارگیری فیلمها، ضرایب همبستگی با ذرات ۸ تا ۱۱ میلی متر و ۱۱ تا ۱۶ میلی متر بزرگتر از دو اندازه ذره کوچکتر می باشند. در صورتی که تنها ۳۵٪ سنگدانه های موجود در نمونه های صفر تا ۱۸ میلی متری بزرگتر از ۸ میلی متر هستند. نکته جالب توجه این است که با وجود اینکه بیش از ۶۰٪ سنگدانه های موجود در این نمونه کوچکتر از ۸ میلی متر می باشند، ولی نتایج

جدول ۶: ضرایب همبستگی میان نتایج حاصل از ذرات ۰ تا ۱۸ میلی متر با دیگر اندازه ذرات.

| محل استقرار فیلم | ۲ تا ۵ | ۵ تا ۸ | ۸ تا ۱۱ | ۱۱ تا ۱۶ |
|------------------|--------|--------|---------|----------|
| کف | ۰/۹۸۹ | ۰/۹۹۷ | ۰/۹۹۹ | ۰/۹۹۷ |
| نوار افقی | ۰/۹۶۹ | ۰/۹۷۷ | ۰/۹۹۸ | ۰/۹۹۸ |
| نوار عمودی | ۰/۹۳۰ | ۰/۹۴۵ | ۰/۹۷۷ | ۰/۹۸۳ |

امر باعث می گردد که سطح تماس ذره با فیلم، کوچکتر از سطوح تماس آن با ذرات دیگر گردد و در نتیجه میزان تنش در محل تماس ذره با فیلم بیشتر می شود.

نتیجه گیری

در تحقیق حاضر تنشهای تماسی میان سنگدانه ها در لایه های غیر چسبنده راه مورد اندازه گیری قرار گرفته است. به این منظور از فیلمهای حساس به فشار استفاده شده است. نتایج به دست آمده از آزمایشها بیانگر این است که در اثر عبور وسایل نقلیه سنگین تنشهای بسیار بزرگی در برخی از نقاط تماس بین سنگدانه ها ایجاد می گردد. این تنش می تواند حتی تا ۵۰ مرتبه بزرگتر از تنش اعمال شده به سطح راه باشد.

بررسی حاضر همچنین نشان داد که اندازه ذرات بر نحوه توزیع تنش نیز تأثیر می گذارد. به گونه ای که ذرات درشت تر تنشهای بزرگتری را در محلتهای تماس ذرات با یکدیگر تحمل می کنند. به نظر می رسد که هنگامی که از مواد خوب دانه بندی شده استفاده می شود، تنشهای بزرگتر در نقاط تماس ذرات درشت تر ایجاد می گردند. نهایتاً رفتار نمونه های با اندازه ذرات یکسان تقریباً مشابه یکدیگر می باشد. لذا ممکن است بتوان با انجام تحقیقات دقیقتر، تنش در نقاط تماس سنگدانه ها را به صورت تجربی مدلسازی کرد. با انجام آزمایشهای بیشتر در این زمینه نیز می توان به نتایج قطعی تری دست یافت.

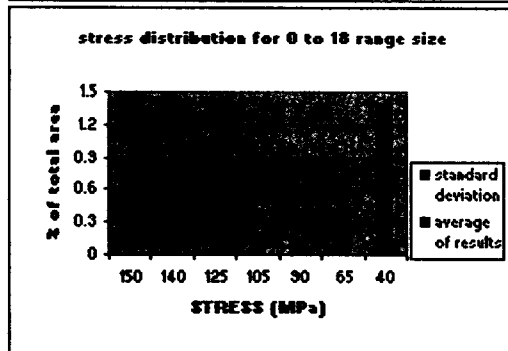
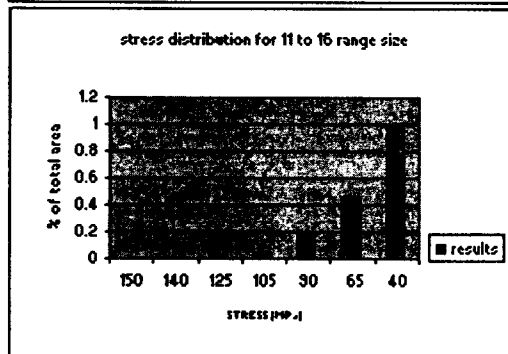
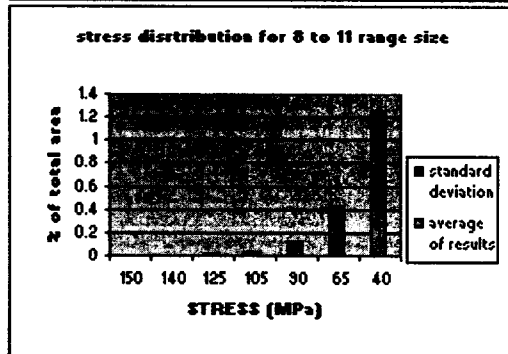
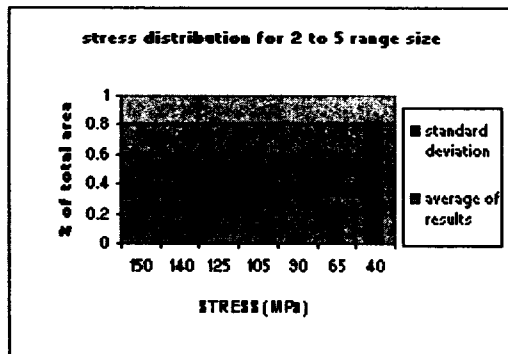
تشکر و قدردانی

تحقیقات حاضر با همکاری ارزنده دانشکده زمین شناسی دانشگاه چالمرز سوئد انجام گردیده است. در این جا لازم است تا از همکاری کمپانی های SUBF, GMF, SVR, Skanska Maskin تشکر به عمل آید. از آقایان Dr. Bo Ronge, Prof. Lars Ericsson و دکتر محمد جعفر طاهرزاده نیز به دلیل راهنماییهای ارزنده شان، صمیمانه سپاسگزاری می شود.

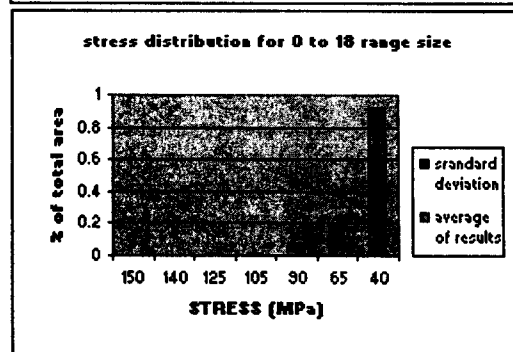
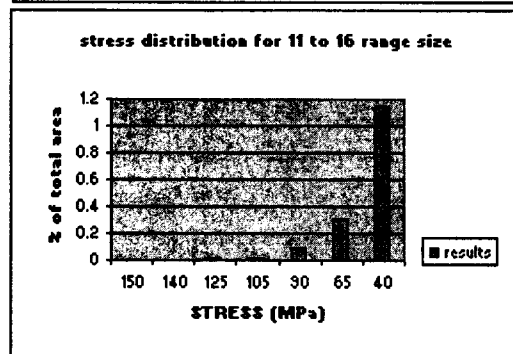
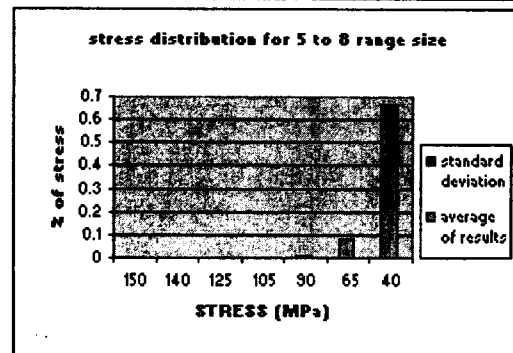
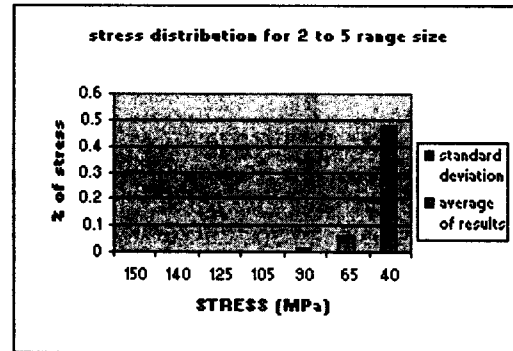
این نتیجه گیری می تواند با فرضیه زنجیری^۱ [۱۰] مورد مقایسه قرار گیرد. بر طبق این تئوری، هنگامی که سنگدانه ها درشت دانه باشند، تعداد زنجیره هایی که در تماس با یکدیگر از محل اعمال بار به سمت پایین تشکیل می دهند، کاهش می یابد. بنابراین نیروی اعمال شده میان زنجیره های کمتری تقسیم می گردد و لذا تنش در نقاط تماس افزایش می یابد. به این دلیل است که هنگامی که از مواد خوب دانه بندی شده نیز استفاده می کنیم، ذرات درشت تر توزیع تنشهای بزرگتر را کنترل می کنند. چرا که هنگامی که این ذرات در مسیر زنجیره ها قرار می گیرند، طبیعتاً باعث کاهش انشعابات می گردند و میزان تنش تماسی افزایش می یابد. به طور کلی هر چه تعداد ذرات درشت دانه در یک زنجیره بیشتر باشد، تنشهای تماسی در آن زنجیره بزرگتر خواهند بود. در آزمایشهای حاضر نیز، همانگونه که انتظار می رود اثرات رنگی پدید آمده بر روی فیلمها توسط نمونه های با دامنه ذرات صفر تا ۱۸ میلی متر، بیشتر توسط ذرات درشت دانه ایجاد شده اند.

البته باید توجه داشت که در این آزمایشها عامل تاثیر گذار احتمالی دیگری نیز وجود دارد که می تواند سبب پدید آمدن تنشهای بزرگتر در نقاط تماس سنگدانه های درشت تر با فیلم حساس به فشار شود. این عامل، تفاوت احتمالی میان سطح تماس ذرات درشت دانه با فیلم و سطح تماس همین ذرات با سنگدانه های قرار گرفته در اطراف آنها می باشد. چرا که جهت اجتناب از آسیب دیدگی فیلمها، تراکم نمونه ها چندان شدید نبوده و لذا ممکن است که فضای خالی میان ذرات درشت دانه با فیلم به طور کامل توسط ذرات ریزتر پر نگردد. همین

فیلم قرار گرفته در کف دستگاه



نوار افقی قرار گرفته روی حلقه های ۸ تا ۱۱



شکل ۱۲: متوسط مساحت تحت تنش معین در نمونه های با اندازه ذرات یکسان و انحراف معیار میان نتایج حاصل از این نمونه ها [۴].

مراجع

- 1 - Berg Anders, (1998). *Mechanics of granular stone materials*. Department of Geology, Chalmers University of Technology, 1998.
- 2 - Borlänge, (1994). *General specification for highway structure*. Swedish National Road Administration, Sweden.
- 3 - COST 333, Development of New bituminous pavement design method, EUR 18906, 1999.
- 4 - Farmani, M. B. (2002). *Contact Forces in Unbound Materials*. M.Sc. Thesis, Chalmers University of Technology and Faculty of Engineering, University of Tehran.
- 5 - Fujifilm manual for pressure films and its Internet site, 2001.
- 6 - Hansson, J. and Svensson, P. (2000). *Stress distribution aggregate of road structure: influence of surface roughness and particle shape*. Chalmers University of Technology, Department of Geology.
- 7 - Hibbeler, R. C. (1997). *Mechanics of Material*, Third edition.
- 8 - Jern, M. (2000). *Characterisation of blast damage in thin sections*. Department of Geology, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.
- 9 - Memarian, H., Hansson, J. and Farmani, M. B., *Factors controlling the distribution of stress and plastic strain of unbound layers of road pavement*, (submitted).
- 10 - Smith, M. R. and Collis, L. (1993). *Aggregates*, Second edition, published by Geological society, London.

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1 -Chain Theory