Archive of SID

مقاله

بررسی پارامترهای مؤثر بر پدیدهٔ ضربهٔ قوچ در لوله‌های آزبست – سیمان

سیروس آقانجفی، دانشیار دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

مهدی حاجی‌راد، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب
mehdi1_hajirad@yahoo.com

جابر علایی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب

چکیده

در دنیای امروز، کیفیت زندگی در جوامع بشری به‌طور چشمگیری به احداث شبکه‌های توزیع همچون سیستم‌های انتقال آب، نفت و سایر سیالات بستگی دارد. از جمله لوله‌هایی که کاربرد گسترده‌ای در شبکه‌های توزیع دارد، لولهٔ آزبست سیمان است. مهم‌ترین عامل مخرب در چنین شبکه‌هایی، پدیدهٔ ضربه قوچ است. عوامل گوناگونی همچون قطر، ضخامت و مدول الاستیسیتهٔ لوله تأثیر بسزایی بر میزان و نحوهٔ ظهور و بروز این پدیده دارند. در این مقاله اثر عوامل مذکور بر پدیدهٔ ضربهٔ قوچ بررسی شده است، همچنین اثر استفاده از الیاف‌های گوناگون به‌جای آزبست بر این پدیده مورد مطالعه قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: لولهٔ آزبست سیمان، ضربهٔ قوچ، مواد مرکب.

مقدمه

برای مطالعه و بررسی پدیدهٔ ضربهٔ قوچ لازم است به نظریه‌ها و دیدگاه‌های متفاوتی که در مورد چگونگی تجزیه و تحلیل این پدیده بیان شده است اشاره شود. به‌طور معمول، در سیستم‌های انتقال سیال، پدیدهٔ ضربهٔ قوچ را می‌توان به دو روش متفاوت بررسی کرد: نظریهٔ ستون صلب آب و نظریهٔ رفتار کشسانی. در نظریهٔ رفتار کشسانی پدیدهٔ ضربهٔ قوچ به‌صورت ری بررسی می‌شود. در این حالت، که به واقعیت نیز نزدیک‌تر است، سیال را قابل تراکم و جدار لولهٔ جریان را نیز کرنش‌پذیر در نظر می‌گیریم. با افزایش و کاهش فشار ضربهٔ قوچ، در راستای طول و قطر لوله انبساط و انقباض اتفاق می‌افتد. در واقع در این نظریه، گسترش موج فشار در مسیر جریان یا خط لوله، با توجه به تراکم‌پذیری سیال و خاصیت کشسانی لوله، مطالعه می‌شود. اما نظریهٔ رفتار کشسانی نسبت به

www.SID.ir

Archive of SID

نظریهٔ رفتار ستون صلب آب، که محدودیت‌های بیشتری دارد، کاراتر بوده، در این مقاله مورد استفاده قرار می‌گیرد[۱]. دانشمندان بسیاری در شرح و بسط نظریهٔ ضربهٔ قوچ سهیم‌اند، اما جاکوفسکی در سال ۱۹۰۰ م در مسکو نخستین کسی بود که نشان داد علت بالارفتن فشار در مسیر خط لولهٔ انتقال در نتیجهٔ تغییر سرعت و جرم مخصوص سیال است. امروزه این قانون به نام او نامیده می‌شود و بیان می‌کند که افزایش فشار ناشی از بسته‌شدن سریع شیر در پایین‌دست جریان با رابطهٔ ۱ محاسبه می‌شود.

$$\Delta P = \frac{aV_0}{g} \qquad (۱)$$

به‌طوری‌که در این رابطه a سرعت موج فشار، V_0 سرعت اولیهٔ جریان در لوله و نهایتاً g شتاب گرانش است. سرعت موج فشار نیز از رابطهٔ ۲ به‌دست می‌آید:

$$a = \frac{1}{\sqrt{\rho\left[\frac{1}{K} + \frac{DC}{Et}\right]}} \qquad (۲)$$

به‌طوری‌که در این رابطه K مدول بالک سیال، D قطر لوله، t ضخامت لوله، E مدول الاستیسیتهٔ لوله و نهایتاً C وضعیت استقرار لوله است[۱ و ۲ و ۳].

برای اینکه بتوان اثر تغییرات مدول الاستیسیته بر فشار و سرعت موج فشار را بررسی کرد، لازم است با نحوهٔ تغییر مدول الاستیسیته آشنا شویم. لذا ناگزیر از بیان مطالبی دربارهٔ مواد مرکب هستیم.

اصولاً به هر ماده‌ای که شامل دو یا تعداد بیشتری مؤلفه باشد و خواص گوناگون و مرزهای واضحی میان اجزاء خود داشته باشد، مادهٔ مرکب گفته می‌شود. خواص یک مادهٔ مرکب، به‌طور عمده به خواص مواد تشکیل‌دهندهٔ آن، هندسهٔ الیاف (مانند اندازه و شکل) و نیز توزیع آنها بستگی دارد. امتیاز ویژهٔ مواد مرکب در این است که معمولاً دارای بهترین مشخصه‌های اجزاء تشکیل‌دهنده خود هستند و اغلب ویژگی‌هایی دارند که هیچ‌یک از اجزاء، به تنهایی دارای این ویژگی‌ها نیست.

به‌طور کلی می‌توان مواد مرکب را به دو دسته تقسیم کرد:

۲ کامپوزیت‌های تقویت‌شده

۳ کامپوزیت‌های حاوی ذرات

گروه اول شامل کامپوزیت‌هایی هستند که مواد تقویت‌شده نامیده می‌شوند. اجزای اصلی این مواد – که گاهی مواد مرکب پیشرفته نیز نامیده می‌شوند – فیبرهای دراز و نازکی هستند که استحکام و سفتی بالایی دارند. فیبرها به‌وسیلهٔ یک ماتریس، که کسر حجمی آن کمتر از ۵۰ درصد است، به‌هم چسبیده شده‌اند.

گروه دوم، که لولهٔ آزبست سیمان در این گروه قرار دارد، شامل کامپوزیت‌هایی است که مواد پرشده یا مواد مرکب حاوی ذرات نامیده می‌شوند. مهم‌ترین ویژگی این مواد وجود مقداری مواد اصلی یا زمینه است که خواص آن به‌وسیله پرکردنش توسط ذرات گوناگون بهبود داده شده است. معمولاً در این مواد حجم زمینه بیش از ۵۰ درصد است و خواص مواد به‌طور طبیعی به‌وسیلهٔ پرکننده‌هایی که اساساً تابع زمینه‌اند تعدیل شده‌اند. به‌عنوان یک قانون مواد پرشده (حاوی ذرات) می‌توانند به‌عنوان مواد هموژن و ایزوتروپیک تلقی شوند. در این مواد، ذرات به‌طور کلی برای اصلاح برخی خواص به‌کار گرفته می‌شوند؛ خواصی چون:

- ✓ کاهش اصطکاک
- ✓ کاهش هزینه‌های ساخت

Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir
www.SID.ir

Archive of SID

- ✓ بهبود قابلیت ماشین‌کاری
- ✓ افزایش مقاومت در برابر سائیدگی و فرسایش
- ✓ افزایش سختی سطحی[٤ و ٥]

مدول الاستیسیته کامپوزیت‌های حاوی ذرات به شرح زیر به‌دست می‌آیند.

فرض می‌کنیم که مدول الاستیسیتهٔ مادهٔ ١ به مقدار قابل ملاحظه‌ای بزرگتر از مدول الاستیسیتهٔ مادهٔ ٢ باشد. همچنین ذرات کوچکی از مادهٔ ١ برای تقویت مادهٔ ٢ استفاده شوند. در تقریب اولیه اجزای مواد مرکب حاوی ذرات به‌صورت سری عمل کرده، تنش مشابهی را تحمل می‌کنند. (اگر صادق باشیم، این فرض خوبی نیست. محاسبهٔ دقیق مدول الاستیسیته برای مواد مرکب حاوی ذرات، موضوع دشواری در علم مکانیک است).

کرنش کلی مادهٔ مرکب برابر مجموع کرنش‌های دو عنصر تشکیل‌دهنده‌اش است.

$$\varepsilon = \varepsilon_1.f_1 + \varepsilon_2.f_2$$
$$\varepsilon = \sigma.[\frac{f_1}{E_1} + \frac{f_2}{E_2}] \qquad (٣)$$

پس مدول الاستیسیتهٔ مواد مرکب حاوی ذرات از میانگین مدول عناصر تشکیل‌دهنده‌اش به‌دست می‌آید[٦ و ٧].

$$\frac{1}{E_1} = \frac{f_1}{E_1} + \frac{f_2}{E_2} \qquad (٤)$$

در برنامهٔ نوشته‌شده فرض‌هایی به شرح زیر لحاظ شده است.

- ✓ قطر لوله‌ها از ٦٠ میلی‌متر تا ٤٠٠ میلی‌متر تغییر می‌کند.
- ✓ ضخامت لوله‌ها از ٧/٥ میلی‌متر تا ١٣/٥ میلی‌متر تغییر می‌کند.
- ✓ درصد الیاف به‌کار رفته از ١٠ تا ٥٠ درصد متغیر است.
- ✓ سرعت اولیه برای لوله‌های با قطر کمتر از ٥٠٠ میلی‌متر، ٣ متر بر ثانیه فرض شده است[٨].
- ✓ مدول بالک آب در دمای ٢٥ درجهٔ سانتی‌گراد، برابر با $٢/٢٢ \times ١٠^{-٩}$ نیوتن بر مترمربع است[٩].
- ✓ ضریب C با فرض ضریب پواسون ٠/٣ و اینکه لوله در تمامی مسیر مهار شده‌اند، ٠/٩٥ به‌دست آمده است[١].
- ✓ چگالی آب ١٠٠٠ کیلوگرم بر مترمکعب فرض شده است[٩].

بررسی تأثیر تغییر در پارامترهای گوناگون لولهٔ آزبست سیمان بر ضربهٔ قوچ

با توجه به روابط ١ و ٢ چنین استنباط می‌شود که این سرعت به نوع سیال، اندازه یا قطر لوله، ضخامت لوله، نوع یا جنس لوله بستگی دارد. در ادامه تأثیر هر یک از عوامل فوق بر سرعت موج فشار و به تبع آن، بر مقدار فشار ناشی از ضربه قوچ بررسی می‌شود.

بررسی تغییرات مدول حجمی آب بر سرعت موج فشار و فشار

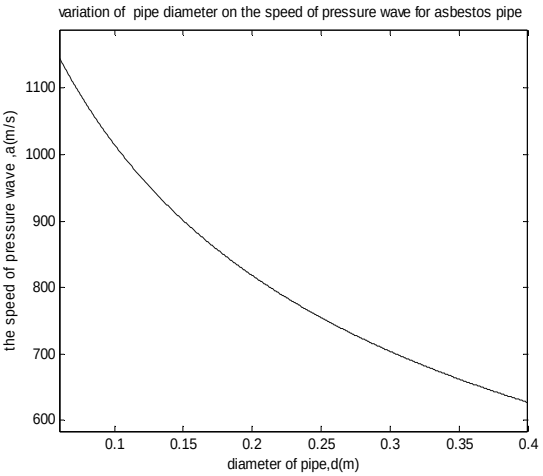
مدول حجمی آب در دماهای متنوع در مراجع گوناگون آمده است. اگر اختلاف بیشترین و کمترین دما در یک ناحیه، در طول سال، به ٥٠ درجه هم برسد، باز هم تغییرات در مدول حجمی آب بسیار ناچیز بوده، می‌توان از تأثیر این مقادیر ناچیز بر سرعت موج فشار و مقدار فشار صرف‌نظر کرد. از سوی دیگر چون دمای زمین از عمق مشخصی به بعد، در طول سال، دارای تغییرات ناچیزی است، لذا می‌توان لوله‌ها را در این اعماق به‌کار برد[١].

Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir
www.SID.ir

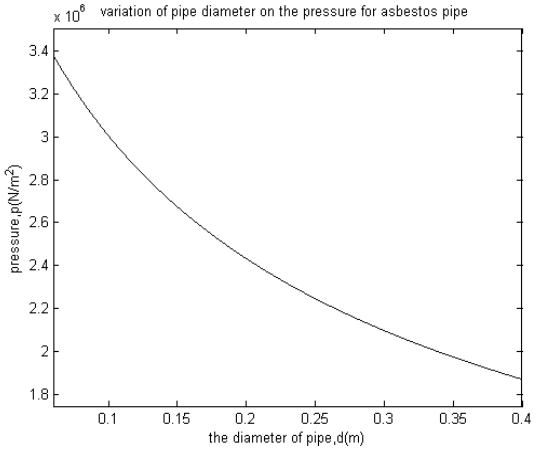
Archive of SID

بررسی تأثیر قطر لوله بر سرعت موج فشار و مقدار فشار

برای انتخاب بهینهٔ این لوله‌ها، از نظر مقاومت در برابر ضربهٔ قوچ، فرض می‌شود که سایر متغیرها به‌جز قطر، در معادلهٔ موج فشار و فشار ثابت باشند. همان‌طور که در شکل‌های ۱و ۲ نیز مشاهده می‌شود، سرعت موج فشار و فشار با افزایش قطر کاهش می‌یابند و کمترین مقدار سرعت موج فشار و فشار در بیشترین قطر؛ یعنی قطر ٤٠٠ میلی‌متر، واقع شده‌اند که به ترتیب برابرند با سرعت ٦٢٤ متر بر مجذور ثانیه و فشار ۱/۸۷ مگاپاسکال.



شکل ۱. تغییرات سرعت موج فشار برحسب تغییرات قطر در لوله‌های آزبست-سیمان

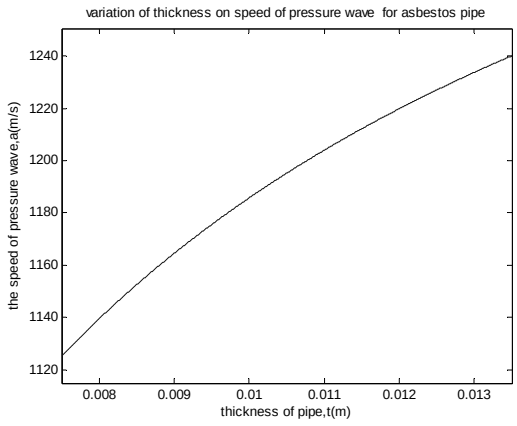


شکل ۲. تغییرات مقدار فشار برحسب تغییرات قطر در لوله‌های آزبست-سیمان

بنابراین زمان انتخاب لوله‌هایی که احتمال وقوع ضربهٔ قوچ در آنها می‌رود بهتر است تا جایی‌که ممکن است از لوله‌های با قطر بیشتر استفاده شود؛ چون در این‌صورت فشار کمتری به جدارهٔ لوله وارد می‌شود و احتمال آسیب‌دیدن لوله‌ها در برابر ضربهٔ قوچ کاهش می‌یابد. به‌خصوص در لوله‌های انتقال آب از سد یا مخزن به شهرها باید تا سرحد امکان برای لولهٔ معادل از تعداد کمتری لوله ولی با قطر ماکزیمم استفاده شود. چون سرعت موج فشار در این لوله‌ها به‌طور محسوسی کاهش یافته، در نتیجه مقاومت بیشتری در برابر ضربهٔ قوچ خواهند داشت.

بررسی تأثیر ضخامت لوله بر سرعت موج فشار و مقدار فشار

در این مرحله ضخامت لوله‌ها از ۷/۵ میلی‌متر تا ۱۳/۵ میلی‌متر متغیر است و برای بررسی تأثیر تغییرات ضخامت لوله بر سرعت موج فشار و فشار، سایر پارامترها ثابت فرض شده‌اند. از شکل‌های ۳ و ٤ می‌توان چنین نتیجه گرفت که هرچه ضخامت لوله کمتر شود، سرعت موج فشار و فشار وارده به جدار لوله نیز کاهش می‌یابد.

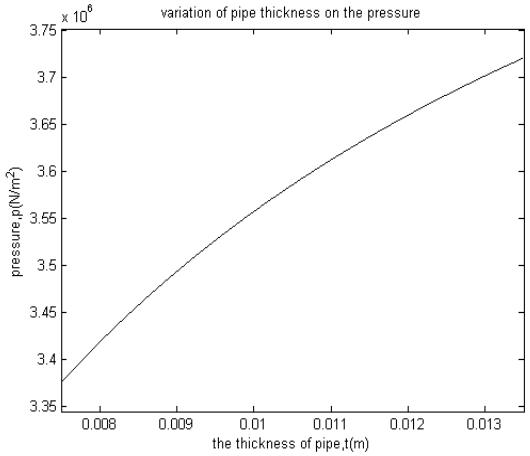


شکل ۳. تغییرات سرعت موج فشار برحسب تغییرات در ضخامت لوله‌های آزبست-سیمان

Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir

www.SID.ir

Archive of SID

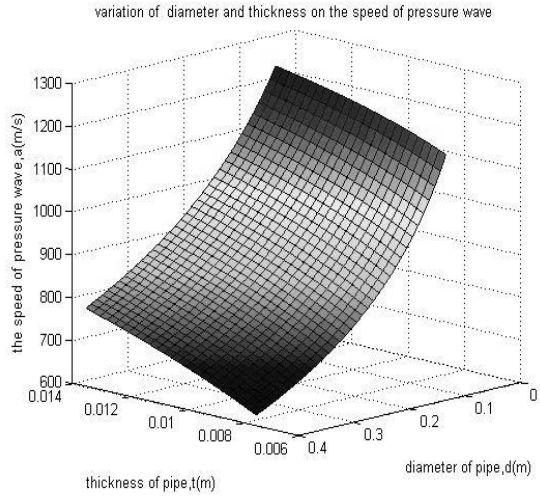


شکل ۴. تغییرات فشار برحسب تغییرات ضخامت لوله‌های آزبست- سیمان

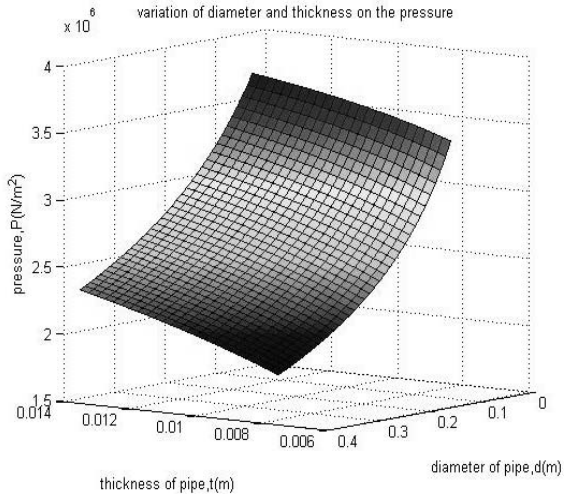
بنابراین برای اینکه فشار وارده توسط ضربهٔ قوچ مینیمم شود، باید از لوله‌هایی با کمترین ضخامت (در اینجا ضخامت ۷/۵ میلی‌متر) استفاده شود. اگر بخواهیم لوله‌ها مقاومت بیشتری در برابر ضربهٔ قوچ داشته باشند، باید به‌تدریج که قطر لوله‌ها زیاد می‌شوند، ضخامت کاهش یابد یا حداقل تغییری نکند که این نتایج برخلاف داده‌های مربوط به این نوع لوله‌هاست؛ یعنی با افزایش قطر ضخامت هم زیاد می‌شود که نباید چنین باشد.

بررسی تأثیر ضخامت و قطر لوله بر سرعت موج فشار و مقدار فشار

در این قسمت تأثیر تغییرات در ضخامت و قطر لوله‌ها، به‌طور هم‌زمان بر سرعت موج فشار و فشار بررسی می‌شود. با توجه به موارد بررسی‌شده می‌توان انتظار داشت که سرعت موج فشار و فشار در قطر ماکزیمم و ضخامت مینیمم، کمترین مقدار را داشته باشند، که شکل‌های حاصل از برنامه، (شکل‌های ۵ و ۶) نیز این امر را تأیید می‌کنند. این نتایج با نتایج حاصل از مراجع ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ مطابقت دارند.



شکل ۵. تغییرات سرعت موج فشار در اثر تغییر در ضخامت و قطر در لوله‌های آزبست-سیمان



شکل ۶. تغییرات فشار در اثر تغییر در ضخامت و قطر لوله‌های آزبست- سیمان

بررسی تغییرات مدول الاستیسیته بر سرعت موج فشار و مقدار فشار

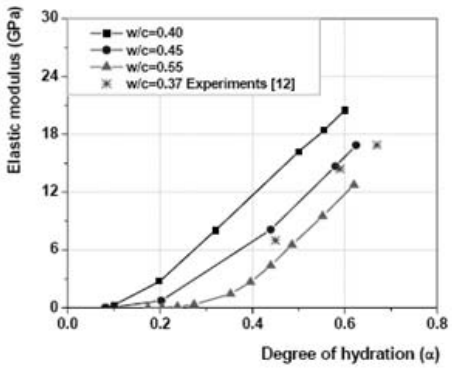
رابطهٔ تعیین مدول الاستیسیته برای مواد مرکب حاوی ذرات معادلهٔ ٤ است. لذا برای ایجاد تغییرات در مدول الاستیسته لولهٔ آزبست سیمان، که از ذرات یا الیاف آزبست و خمیر سیمان به‌عنوان زمینه ساخته شده است، می‌توان از این رابطه استفاده کرد.

بنابر تعریف فعل و انفعال سیمان با آب هیدراسیون

Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir
www.SID.ir

Archive of SID

سیمان نامیده می‌شود. مدول الاستیسیتهٔ خمیر سیمان، همان‌طور که در شکل ۷ نمایش داده شده است، به نسبت آب به سیمان و درصد هیدراسیون بستگی دارد. در ترکیب آب با سیمان سیلیکات‌ها و آلومینات‌های سیمان هیدراته شده، به‌تدریج سخت می‌شوند. هیدراسیون سیمان همانند بسیاری از فعل و انفعالات شیمیایی گرماده است و حرارت هیدراسیون به مقدار حرارت تولیدشده (به ژول) در اثر هیدراسیون کامل هر گرم سیمان اطلاق می‌شود. درجه حرارتی که در آن فعل و انفعال صورت می‌گیرد، اثر به‌سزایی بر حرارت تولیدشده داشته و در عمل مهم‌تر از کل حرارت هیدراسیون می‌باشد. برای سیمان‌های پرتلند حدود نیمی از کل حرارت در مدت ۱ تا ۳ روز و ۳/٤ آن در ۷ روز و تقریباً ۹۰ درصد آن در مدت شش ماه آزاد می‌شود.

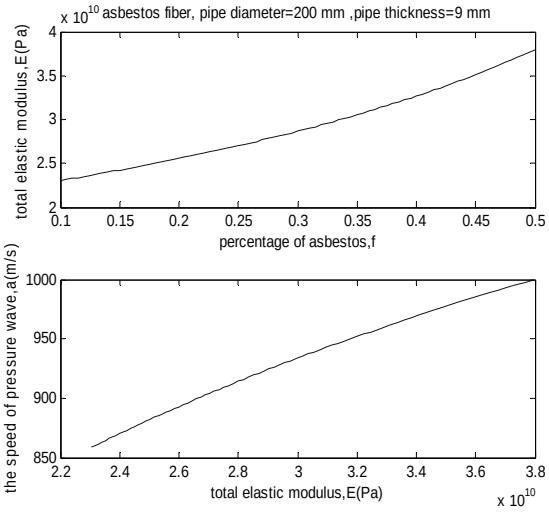


شکل۷. تغییر ضریب یانگ خمیر سیمان برحسب درجهٔ هیدراسیون

میزان حرارت ایجادشده به ترکیبات سیمان بستگی دارد و در واقع کل حرارت، مجموع حرارت‌های متصاعد شده از هر یک از ترکیبات می‌باشد. بنابراین با توجه به شکل ۷ درجهٔ هیدراسیون بیشتر متناسب با دفع حرارت بیشتر و آن هم به زمان بیشتر ونسبت آب به سیمان کمتری نیاز دارد. به‌همین دلیل لوله‌ها را تا حدود یک ماه در استخرهای آب نگه می‌دارند؛ زیرا به این ترتیب درجهٔ هیدراسیون افزایش یافته، مدول الاستیسیته زیاد می‌شود. با توجه به شکل ۷ مدول الاستیسیتهٔ خمیر سیمان برای محاسبات در این تحقیق ۲۱ گیگاپاسکال در نظر گرفته می‌شود[۱۳ و ١٤].

در ادامه آثار تغییر در مقدار درصد الیاف آزبست بر مقدار مدول الاستیسیته و سرعت موج فشار و نیز مقدار فشار وارده به جدار لوله بررسی می‌شود. شکل‌های حاصل از برنامه بدین شرح است:

در شکل ۸، در قسمت اول تغییرات مدول الاستیسیته برحسب تغییر در مقدار درصد حجمی الیاف آزبست برحسب فرض‌های ذکرشده، رسم شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش درصد الیاف مقدار مدول الاستیسیته نیز افزایش می‌یابد و با افزایش مقدار مدول الاستیسیته سرعت موج فشار نیز زیاد می‌شود. با توجه به نتایج حاصله مدول الاستیسیتهٔ مینیمم که در ۱۰ درصد حجمی الیاف واقع شده با نتایج تجربی حاصله که در مرجع ۱ آورده شده‌اند تطابق زیادی دارد.



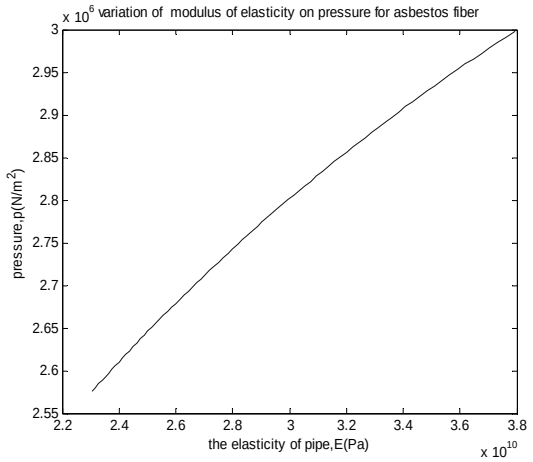
شکل ۸. تأثیر تغییر درصد حجمی الیاف آزبست بر ضریب یانگ و سرعت موج فشار

Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir
www.SID.ir

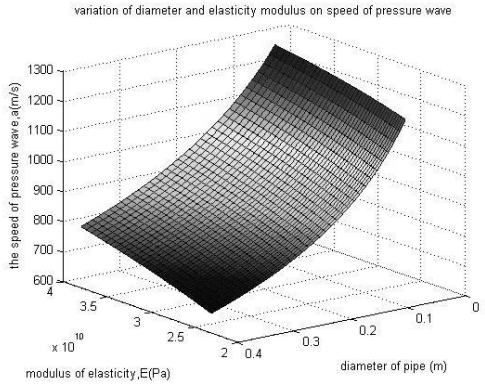
Archive of SID

همان‌گونه که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، با افزایش مدول الاستیسیته مقدار فشار نیز افزایش می‌یابد. بنابراین برای مقاوم‌سازی لوله‌ای با قطر و ضخامت مشخص درصد الیاف آزبست به‌کار رفته باید مینیمم باشد تا مقاومت در برابر ضربهٔ قوچ زیادتر شود.

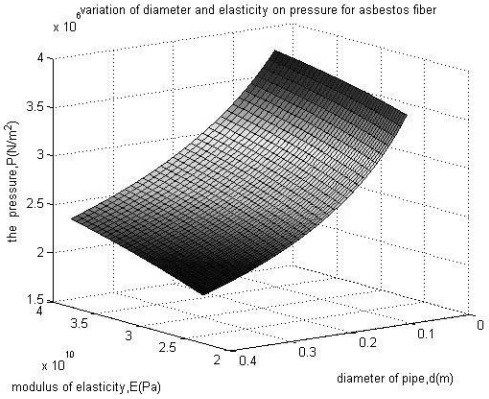
در شکل‌های ۱۰و ۱۱ تأثیر تغییرات قطر و مدول الاستیسیته بر سرعت موج فشار و فشار نمایش داده شده است. در این حالت مقدار مینیمم سرعت در بیشترین قطر و کمترین مدول الاستیسیته رخ می دهد. بنابراین زمانی که مدول الاستیسیته و قطر متغییر باشند، لوله ای



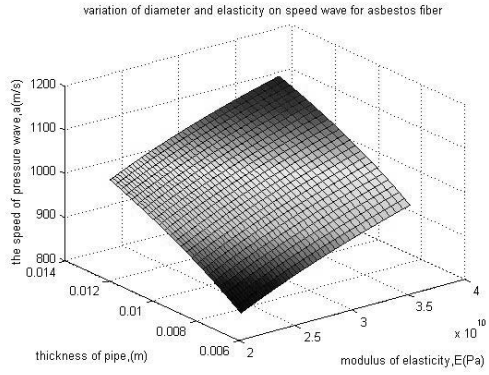
شکل ۹. تغییرات فشار برحسب مدول الاستیسیته برای الیاف آزبست



شکل ۱۰. تغییر سرعت موج فشار برحسب تغییرات در قطر و مدول الاستیسیته برای الیاف آزبست



شکل ۱۱. تغییر مقدار فشار برحسب تغییرات در قطر و مدول الاستیسیته برای الیاف آزبست



شکل ۱۲. تغییر سرعت موج فشار برحسب تغییرات در ضخامت و مدول الاستیسیته برا ی الیاف آزبست

دارای مقاومت بیشتری در برابر ضربه قوچ است که بیشترین قطر و کمترین مدول الاستیسیته را دارد.

در مرحلهٔ بعد، تأثیر تغییرات در مقدار ضخامت و مدول الاستیسیته بر سرعت موج فشار و فشار، که در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نمایش داده شده است، بررسی می‌شود. سرعت و فشار مینیمم در کمترین ضخامت و کمترین مدول الاستیسیته رخ می‌دهد. بنابراین لوله‌هایی که کمترین ضخامت و مدول الاستیسیته را دارند، بیشترین مقاومت را دربرابر ضربهٔ قوچ نسبت به سایر لوله‌ها از خود نشان می‌دهند. در انتها مینیمم مقدار سرعت موج فشار و فشار، زمانی که هر سه پارامتر

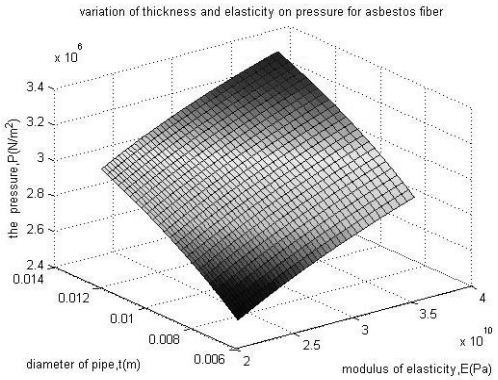
Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir
www.SID.ir

Archive of SID

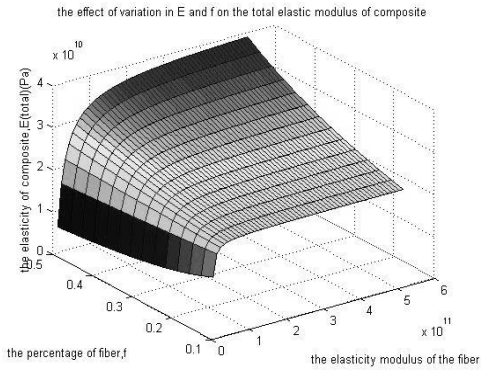
ضخامت، قطر و مدول الاستیسیته در محدوده‌های مشخص‌شده تغییر می‌کنند، به‌دست آمد. بنابراین در بهترین حالت (متناظر با کمترین ضخامت، بیشترین قطر و کمترین مدول الاستیسیته) سرعت تا ٦١٧ متر بر ثانیه و فشار تا ١/٨٥ مگاپاسکال کاهش می‌یابد.

تأثیر کاربرد سایر الیاف به‌جای الیاف آزبست در سرعت موج فشار و فشار

تأثیر کاربرد سایر الیاف در این لوله‌ها به‌جای الیاف آزبست در این قسمت بررسی شده است. برای این منظور به دانستن خواص الیاف گوناگون نیازمندیم که در جدول ١ فهرست شده‌اند[١٤].



شکل ١٣. تغییر فشار برحسب تغییرات در ضخامت و مدول الاستیسیته برای الیاف آزبست



شکل ١٤. تأثیر تغییرات مدول الاستیسیته و درصد حجمی الیاف بر مدول الاستیسیته کامپوزیت

شکل ١٤ تأثیر تغییرات درصد حجمی و مدول الاستیسیته الیاف فوق بر مقدار مدول الاستیسیته کامپوزیت حاصل را نشان می‌دهد. (کامپوزیت‌هایی که از جایگزینی الیاف جدول ١ به‌جای الیاف آزبست در سیمان حاصل می‌شود). چون برای مقاوم‌سازی به لوله‌هایی با مدول‌های کم نیازمندیم، لذا همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش مدول الیاف دو ناحیه در این شکل مشهود است. یکی ناحیه‌ای که در آن با افزایش درصد الیاف، مدول کل افزایش می‌یابد (الیاف با مدول بالاتر از مدول خمیر سیمان) و دیگری ناحیه‌ای که در آن با افزایش درصد الیاف مدول کل کاهش می‌یابد (الیاف با مدول کمتر از مدول خمیر سیمان).

با توجه به نتایج حاصل، وقتی که از الیاف با ضریب یانگ کمتر از ضریب یانگ الیاف آزبست استفاده شود، تا رسیدن به مدول الاستیسیته خمیر سیمان مدول الاستیسیته کامپوزیت به‌تدریج کاهش یافته و این مقدار مینیمم در ١٠ درصد حجمی الیاف واقع شده است. اما وقتی مدول الیاف از مدول خمیر سیمان کمتر می‌شود، مدول الاستیسیته کامپوزیت به نحو شدیدی کاهش یافته، کمترین مقدار مدول کل زمانی است که از ٥٠ درصد الیاف پلی اتیلن استفاده شده باشد. از میان الیاف فوق چون خاصیت چسبندگی الیاف آرمید و پلی استر و پلی پروپیلن به زمینه کم است و به‌دلیل بالابودن مدول الاستیسیته الیاف کربن و فولاد، این الیاف مورد بررسی قرار نگرفتند. نتایج حاصل به اجمال در جدول ٢ آورده شده است.

استفاده از الیاف پلی اتیلن علاوه بر کاهش اثر ضربه قوچ مخاطرات ناشی از سرطان‌زا بودن آزبست را ندارد و کاملاً بهداشتی است. جزئیات بیشتر برای الیاف پلی اتیلن در شکل‌های ١٥ و ١٦ و ١٧ آمده است.

Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. خواص الیاف مورد استفاده برای مقاوم‌سازی لوله

چسبندگی نسبی به زمینه	ابعاد الیاف برحسب میکرومتر	درصد کرنش کششی max–min	مدول الاستیسیته برحسب گیگاپاسکال	استحکام کششی برحسب مگاپاسکال	الیاف
عالی	۰/۰۲–۳۰	۰/۳–۰/۱	۱۹۶	۶۰۰–۳۶۰۰	آزبست
خوب	۷–۱۸	۲–۱	۵۲۰	۵۹۰–۴۸۰۰	کربن
خیلی ضعیف	۱۱–۱۲	۴–۳	۱۳۰	۲۷۰۰	آرمید
ضعیف	۱۰–۱۵۰	۱۵–۱۰	۹/۸	۲۰۰–۷۰۰	پلی پروپیلن
خوب	۱۰–۵۰	۱۵	۶	۷۰۰–۱۰۰۰	پلی آمید
خیلی ضعیف	۱۰–۵۰	۲۰–۸	۱۵	۸۰۰–۱۳۰۰	پلی استر
خوب	۱۰–۵۰	۱۵–۷	۱۱	۴۵۰–۱۱۰۰	رایون
خوب	۴–۱۴	۱۵	۳۶	۱۱۵۰–۱۴۷۰	پلی ونیل الکل
خوب	۱۹	۹	۱۸	۸۵۰–۱۰۰۰	پلی اکریل نیتریل
خوب	۴۰	۴۰۰–۱۰۰	۴	۴۰۰	پلی اتیلن
عالی	۵۰–۸۵	۲–۱	۲۰۰	۳۰۰۰	فولاد
عالی	۱۲–۲۰	۲	۷۲	۱۷۰۰	شیشهٔ AR

جدول ۲. تأثیر استفاده از الیاف گوناگون در زمینهٔ سیمان بر سرعت موج فشار و فشار

فشار مگاپاسکال	سرعت موج فشار برحسب متر بر ثانیه	درصد الیاف به‌کار رفته	نوع الیاف به‌کار رفته در زمینهٔ سیمان
۱/۸۵	۶۱۷	۱۰	آزبست
۱/۸۳	۶۱۲	۱۰	شیشهٔ AR
۱/۸۱	۶۰۴	۱۰	پلی ونیل الکل
۱/۷۶	۵۸۹	۵۰	پلی اکریل نیتریل
۱/۷۱	۵۷۲	۵۰	رایون
۱/۶۱	۵۳۹	۵۰	پلی آمید
۱/۳۹	۴۶۶	۵۰	پلی اتیلن

نتیجه‌گیری

در این مقاله تأثیر پارامترهای گوناگون بر فشار حاصل از ضربهٔ قوچ بررسی شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان دریافت که با کاهش ضخامت و افزایش قطر لوله، فشار کاهش می‌یابد. اگر قطر ماکزیمم و سایر پارامترها ثابت باشند، مقدار فشار ۱/۸۷ مگاپاسکال است، در حالی‌که اگر ضخامت مینیمم مقدار و سایر پارامترها ثابت باشد ، مقدار فشار به ۳/۳۷ مگاپاسکال خواهد رسید، پس افزایش قطر لوله تأثیر بیشتری نسبت به کاهش ضخامت در کاهش فشار وارد بر لوله دارد.

با توجه به اینکه مدول الاستیسیته خمیر سیمان ۲۱ گیگاپاسکال است، مدول الاستیسیته لولهٔ آزبست

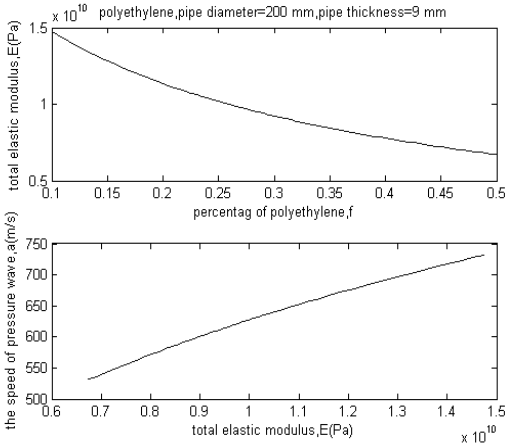
Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir
www.SID.ir

Archive of SID

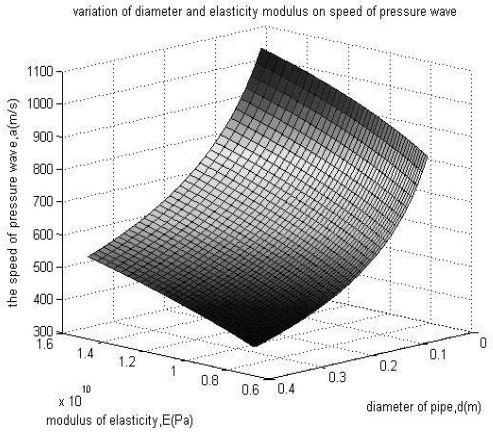
سیمان با ۱۰ درصد حجمی الیاف آزبست، با استفاده از رابطهٔ ٤ برابر با ۲۳ گیگاپاسکال به‌دست آمد که با داده‌های تجربی مطابقت بسیار خوبی دارد و حاکی از مناسب‌بودن رابطهٔ ٤ برای محاسبهٔ مدول الاستیسیتهٔ لوله‌ها با الیاف گوناگون است. اگر درصد الیاف آزبست زیاد شود، مدول الاستیسیتهٔ کل لوله افزایش یافته و مقدار فشار هم افزایش می‌یابد. پس برای کاهش مقدار فشار باید درصد حجمی الیاف آزبست مینیمم باشد. چون آزبست ماده‌ای سرطان‌زاست، کاربرد آن در لوله‌ها با نگرانی‌های بهداشتی نیز همراه است، لذا با کاربرد سایر الیاف بی‌ضرر می‌توان این نگرانی‌ها را از بین برد.

دو نوع کلی الیاف در این تحقیق بررسی شد. ابتدا الیافی که مدول الاستیسیتهٔ آنها بین مدول الاستیسیتهٔ خمیر سیمان و الیاف آزبست قرار دارد، که باید از کمترین درصد الیاف استفاده شود و در نتیجه استفاده از آنها مقدار فشار به‌تدریج کاهش می‌یابد و دوم الیافی که مدول الاستیسیتهٔ آنها کمتر از خمیر سیمان است و می‌توان درصد الیاف را تا ۵۰ درصد افزایش داد و فشار افت شدیدی می‌یابد. لذا تأثیر تغییر در مدول الاستیسیته بیش از دو عامل دیگر است.

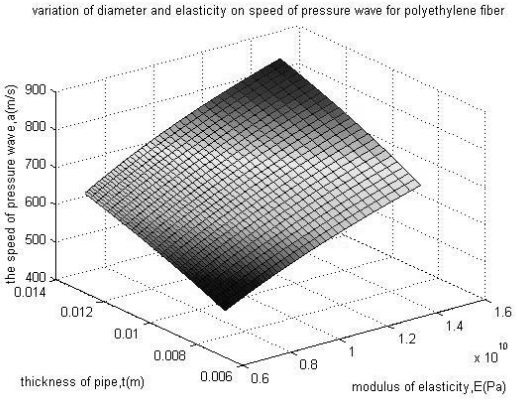
همان‌طور که مشاهده شد، با توجه به نتایج حاصل در جدول ۲، در لوله‌هایی که از الیاف پلی اتیلن در آنها استفاده شده نسبت به لوله‌های آزبست، سرعت موج فشار و فشار کاهش می‌یابد که در نتیجه این لوله‌ها مقاومت بیشتری در برابر ضربهٔ قوچ دارند. تمامی الیاف‌هایی که بررسی شدند باعث کاهش سرعت موج فشار و فشار می‌شوند و برحسب قیمت و میزان در دسترس‌بودن می‌توان از هر یک استفاده کرد. نتیجهٔ نهایی این است که بهترین حالت برای مقاومت در برابر ضربهٔ قوچ لوله‌هایی‌اند که از ۵۰ درصد حجمی پلی اتیلن و قطر ماکزیمم و ضخامت مینیمم ساخته شده باشند.



شکل۱۵. تأثیر تغییر درصد حجمی الیاف بر ضریب یانگ و سرعت موج فشار برای الیاف پلی اتیلن



شکل ۱۶. تغییر سرعت موج فشار برحسب تغییرات در قطر و مدول الاستیسیته برای الیاف پلی اتیلن



شکل ۱۷. تغییر سرعت موج فشار برحسب تغییرات در ضخامت و مدول الاستیسیته برای الیاف پلی اتیلن

Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مراجع

[۱] محمد نجمایی، *ضربهٔ قوچ*، ناشر: مؤلف، چاپ اول، ۱۳۷٤.

[2] D. SciamarellaA, G. Artana, *A Water Hammer Analysis Of Pressure And Flow In The VoiceproductionSystem*, Speech Communication, Vol. 51, pp 344-351, 2008.

[3] A. Berganta, A. R. Simpsonb, A. S. Tijsseling, "Water Hammer With Colum Separation: A Historical Review", *Journal Of Fluid And Structures*, Vol. 22, pp. 135-171, 2006.

[4] R. Jones. *Mechanics of Composite Material*, McGraw-Hill Book Company, 1975.

[5] Hyer. M. W, *Stress Analysis Of Fiber-Reinforced Composite Materials*, McGraw-Hill, 1998.

[6] David Roylance, *Introduction To Composite Material*, Department Of Materials Science and Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 2000.

[7] V. Vasiliv, Evgeny V. Morozov, *Mechanics and Analysis of Composite Materials*, Oxford, 2001.

[۸] جلال آشفته، *طراحی آبرسانی شهری*، حسینیان، چاپ ششم، ۱۳۷۷.

[۹] استریتر. وایلی. بدفورد، *مکانیک سیالات*، ملک‌زاده، کاشانی حصار، نما، چاپ سیزدهم، ۱۳۸۲.

[۱۰] غلامرضا رخشنده‌رو. حجت‌الله عباس‌پور، "بررسی آزمایشگاهی پدیده ضربهٔ آبی در لوله‌های متداول در ایران"، سومین کنفرانس هیدرولیک ایران، ۱۳۸۰.

[۱۱] حبیب موسوی جهرمی. سید کاظم شعیب و محمد موسوی جهرمی، "شبیه‌سازی هیدرولیکی پدیدهٔ ضربهٔ قوچ در خطوط انتقال آب چندقطری با جنس‌های متفاوت"، همایش ملی مدیریت سیستم‌های آبیاری و زهکشی، ۱۳۸۵.

[۱۲] رضا قلی‌زاده، امیرحسین آراسته، "مشکلات و راه‌کارهای اجرایی در خطوط لولهٔ آزبست سیمان"، نخستین کنفرانس ملی تجربه‌های ساخت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، ۱۳۸٤.

[۱۳] نویل، *تکنولوژی بتن*، علی‌اکبر رمضان‌پور، محمدرضا شاه‌نظری، دانشگاه علم و صنعت، ۱۳٦۹.

[14] G. Ye, K. van Breugel, A. L. A. Fraaij, "Experimental study and numerical simulation on the formation of microstructure in cementitious materials at early age", *Cement and Concrete Research*, Vol. 33, pp. 233-239, 2003.

★ ★ ★

www.SID.ir