

بررسی کاربرد الیاف فلزی تولید داخل در بتن‌های ویژه الیاف فلزی و تأثیر آن بر پارامترهای نفوذپذیری و مقاومت فشاری بتن

احمد رضا گلستان

کارشناس ارشد مهندسی زلزله دانشگاه آزاد اسلامی بوشهر

علیرضا حاجبانی بوشهریان *

عضو هیئت علمی گروه عمران دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی شیراز

چکیده

الیاف فلزی دارای مدول الاستیسیته و کرنش شکست بالایی بوده که با توجه به قابلیت شکل پذیری مناسب و مقاومت کششی بالا از مناسب‌ترین و اقتصادی‌ترین نوع الیاف به حساب می‌آید. همچنین نفوذ مواد به شکل سیال به داخل بتن سخت شده اثر نامطلوبی بر دوام بتن خواهد داشت. مقدار نفوذ، بستگی به میزان نفوذپذیری بتن سخت شده دارد. اصولاً در اجرای مخازن و سدهای بتنی، پارامتر مقاومت و نفوذپذیری بتن در مقابل آب، بسیار مهم می‌باشد و استفاده از بتن‌های خاص در این گونه پروژه‌ها رایج می‌باشد. لذا در این پژوهش سعی شده است که رفتار بتن‌های الیاف فلزی در برابر نفوذپذیری آب در بتن و مقاومت فشاری آن را با تغییر در درصد الیاف فلزی و مقدار مصالح درشت‌دانه، بررسی نموده و در نهایت، طرح اختلاط مناسبی ارائه گردد. برای این منظور، ۴ طرح اختلاط بر مبنای مقاومت فشاری ۴۰ مگاپاسکال و $W/C = 0/42$ و بزرگترین درشت‌دانه‌ی مصالح سنگی که به ترتیب ۱۹، ۱۲/۵، ۹/۵ و ۴/۷۵ میلی‌متر بودند، طراحی شدند و سپس جهت بهبود خواص بتن، درصد توصیه شده‌ای از میکروسیلیس و فوق روان‌کننده اضافه گردید. هر طرح اختلاط نیز شامل الیاف فلزی با درصد‌های حجمی صفر و ۰/۳، ۰/۶، ۰/۹ و ۱/۲ از حجم بتن می‌باشد. در ادامه مقاومت فشاری آزمون‌های مکعبی شاهد و الیافی در سنین مورد نظر ۷ و ۲۸ روزه توسط دستگاه بتن‌شکن تعیین و ثبت شد. همچنین آزمون‌های استوانه‌ای شاهد و الیافی نیز در سن ۲۸ روزه توسط دستگاه تست نفوذپذیری، آزمایش گردیدند. نتایج آزمایش‌ها حاکی از آن بودند که کاربرد الیاف فلزی در درصد‌های پایین (۰/۳ و ۰/۶)، تأثیر چندانی بر مقاومت فشاری نمونه‌ها ندارد، اما در درصد‌های بالای الیاف فلزی (۰/۹ و ۱/۲)، مقاومت فشاری نمونه‌ها نیز افزایش می‌یابد. همچنین در تمامی موارد نفوذپذیری بتن الیاف فلزی در مقایسه با بتن معمولی کمتر است، بطوریکه در اکثر طرح اختلاط‌ها با افزایش درصد الیاف فلزی، و کاهش اندازه سنگدانه‌ی شن، ضریب نفوذپذیری کاهش می‌یابد. در نهایت با توجه به بررسی نتایج، بتن الیاف فلزی با بزرگترین سنگدانه‌ی شنی ۹/۵ میلی‌متر و درصد الیاف ۱/۲، به عنوان برترین طرح اختلاط معرفی شد.

واژه‌های کلیدی: مقاومت فشاری، نفوذپذیری، الیاف فولادی، میکروسیلیس، فوق روان‌کننده.

۱- مقدمه

الیاف فلزی بیشترین کاربرد را نسبت به سایر انواع الیاف‌ها داشته باشد.

«واقفی» و همکاران به بررسی تأثیر شکل آزمون‌ها بر مقاومت فشاری بتن با الیاف فلزی پرداختند. در این تحقیق جهت دست‌یابی به تأثیر شکل آزمون‌ها بر مقاومت فشاری بتن، از قالب‌های مکعبی به ابعاد $150 \times 150 \times 150$ میلی‌متر و قالب‌های استوانه‌ای به ابعاد 150×300 میلی‌متر، استفاده شد و ۵ طرح اختلاط همراه نمونه شاهد جهت آزمایش‌ها در سنین ۷، ۴، ۲۸ روزه در نظر گرفته شد. بطوری که در تهیه و ساخت نمونه‌های بتن الیافی، از الیاف فلزی با نسبت‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ درصد الیاف با طول ۱/۲ سانتی‌متر استفاده شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که منحنی مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی و استوانه‌ای در محدوده ۱ الی ۴ درصد الیاف، با افزایش الیاف فلزی سیر صعودی داشته و بیشترین مقاومت در ۴ درصد الیاف رخ می‌دهد. همچنین مشاهده گردید که در بین بتن‌های الیافی، با افزودن الیاف، درصد افزایش مقاومت فشاری آزمون‌های استوانه‌ای نسبت به آزمون‌های مکعبی بیشتر است [۳].

همچنین «سینگ» به بررسی پارامترهای مختلف الیاف فلزی بر نفوذپذیری بتن مسلح پرداخت. تأثیرات الیاف شامل ضریب شکل الیاف و سن عمل‌آوری بتن می‌باشد. نتایج مطالعه نشان داد که افزودن الیاف فلزی منجر به یک کاهش معنی‌دار نفوذپذیری بتن خواهد شد. با افزودن الیاف و افزایش سن عمل‌آوری بتن، نفوذپذیری کاهش یافت [۱۰].

۲- روش و طرح تحقیق

معمولاً بتن مسلح به الیاف فلزی همانند بتن ساده ریخته و متراکم می‌شود. روش طراحی مخلوط‌های بتن مسلح به الیاف فلزی اساساً شبیه طراحی بتن ساده است. با این وجود، باید برخی ملاحظات برای پخش یکنواخت الیاف و جلوگیری از جداشدگی یا پدیده گلوله‌ای شدن و ایجاد یک مخلوط کارا جهت ریختن، تراکم و پرداخت بتن به عمل آید [۴]. روش مورد استفاده جهت طرح اختلاط در این تحقیق، آئین‌نامه آمریکا یا ACI-211 [۵] می‌باشد. برای این منظور ۴ طرح اختلاط بر مبنای مقاومت فشاری ۴۰ مگاپاسکال و $W/C=0/42$ و بزرگ‌ترین درشت‌دانه مصالح سنگی که به ترتیب ۱۹، ۱۲/۵، ۹/۵ و ۴/۷۵ میلی‌متر بودند، طراحی شدند.

در طراحی سازه‌های هیدرولیکی علاوه بر پارامتر مقاومت فشاری، نفوذپذیری بتن از اهمیت خاصی برخوردار است و در بسیاری از موارد نقش تعیین‌کننده‌ای دارد.

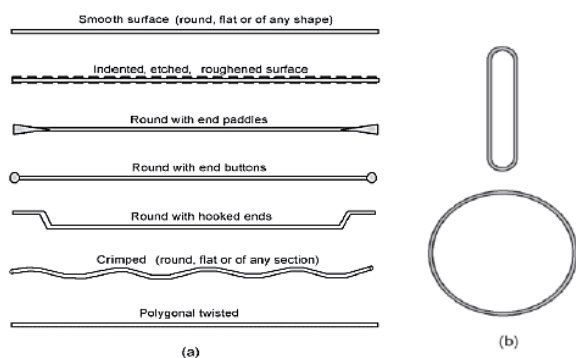
نفوذ مواد به شکل سیال به داخل بتن سخت شده اثر نامطلوبی بر دوام بتن خواهد داشت. میزان نفوذ، بستگی به میزان نفوذپذیری بتن سخت شده دارد. برای مثال با نفوذ آب به داخل بتن متعاقباً یخ‌زدگی و گسترش حجمی آن، آسیب‌پذیری بتن در برابر یخ‌زدگی همراه با ترک‌خوردگی افزایش خواهد یافت و همین‌طور با دخول آب و هوا به داخل بتن مسلح، پوشش بتنی روی آرماتور ترک خواهد خورد. بعلاوه غیرقابل نفوذ بودن بتن مخازن بتنی نگهدارنده آب تحت فشار، به لحاظ جلوگیری از نشت آب و اثرات متعاقب آن، مورد توجه خواهد بود. اصولاً در اجرای مخازن و سدهای بتنی، پارامتر مقاومت و نفوذپذیری بتن در مقابل آب، بسیار مهم می‌باشد و استفاده از بتن‌های خاص در این‌گونه پروژه‌ها رایج می‌باشد.

تاکنون مشخص شده است که انواع الیاف‌ها می‌توانند ظرفیت کرنش، مقاومت در برابر ضربه، میزان جذب انرژی، مقاومت سایشی و مقاومت کششی بتن را افزایش دهند. با توجه به اهمیت موضوع، سعی بر آن است که با کاربرد الیاف فلزی تولید داخل در بتن، رفتار این نوع از بتن را در برابر نفوذپذیری آب و مقاومت فشاری بتن را با تغییر در درصد الیاف فلزی و مقدار مصالح درشت‌دانه، بررسی نموده و در نهایت، طرح اختلاط مناسبی ارائه گردد. با وجود این که فناوری بتن الیافی در ایران کمتر شناخته شده است، امروزه در دنیا انواع متنوعی از الیاف برای کاربردهای گوناگون در بتن وجود دارد که یکی از پرکاربردترین آنها، الیاف فلزی می‌باشد.

تحقیقات و کاربردهای صنعتی بسیار زیادی درباره بتن مسلح با الیاف فلزی انجام گرفته است. الیاف فلزی دارای مدول الاستیسیته و کرنش شکست بالایی بوده که با توجه به قابلیت شکل‌پذیری مناسب و مقاومت کششی بالا از مناسب‌ترین و اقتصادی‌ترین نوع الیاف به حساب می‌آید. این نوع الیاف به اشکال ظاهری گوناگون (مستقیم، انتهای قلاب‌دار، دندانه‌دار و...) جهت بهبود رفتار بتن قابل ساخت است و همچنین اختلاط آن‌ها با دیگر مواد بتن، به سهولت انجام‌پذیر است. این مزیت‌ها سبب می‌شود که

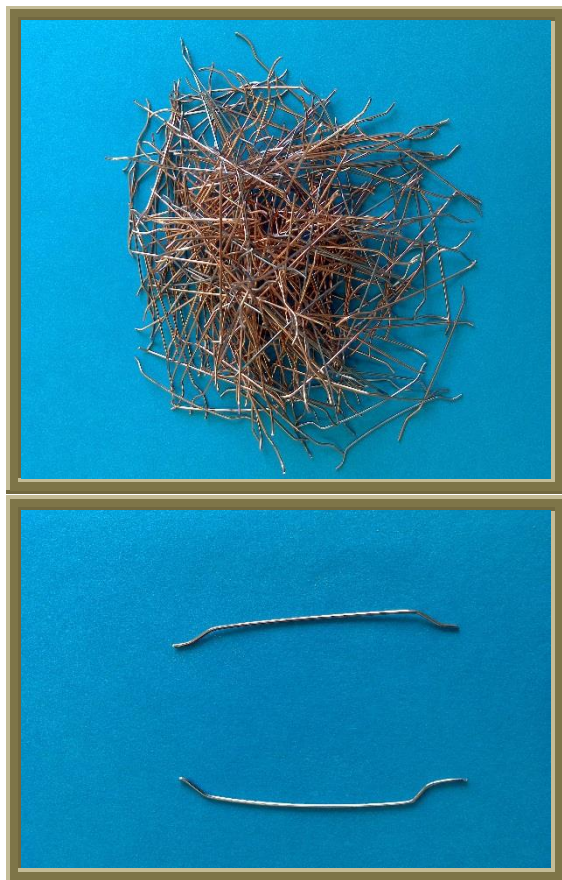
۳-۴- الیاف فلزی

در شکل ۱، نمونه‌های متداول الیاف فولادی نشان داده شده است [۱].



شکل ۱- (a) مقطع الیاف فلزی متداول در بتن (b) الیاف حلقوی

الیاف فلزی مورد استفاده در این تحقیق (شکل ۲) از نوع داخلی و تولید شده در شرکت شیمی بتن بهینه می باشد. دانسیته واقعی الیاف برابر ۷۸۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی این الیاف، مطابق با استاندارد [5]ASTM A 820 M: 2011، در جداول شماره ۱ و ۲ آمده است.



شکل ۲- نمونه الیاف فلزی مورد استفاده در آزمایش‌ها

هر طرح اختلاط نیز شامل الیاف فلزی با درصد‌های حجمی صفر و ۰/۳، ۰/۶، ۰/۹، و ۱/۲ از حجم بتن هستند.

۳- معرفی مواد و مصالح مصرفی در طرح اختلاط بتن

۳-۱- سنگدانه

با توجه به این که معادن مرغوب شن و ماسه استان بوشهر انگشت شمار بوده و دسترسی به مصالح آن‌ها، محدود می باشد، لذا ضمن تحقیق و بررسی کیفیت شن و ماسه شکسته سه معدن مختلف، برای انتخاب سنگدانه‌های مناسب، مصالح از محلی انتخاب شد که پیشینه استفاده در پروژه‌های موفق را داشته است. مصالح سنگدانه‌ای مورد استفاده در این تحقیق از انباشته‌های معدن صهبیب واقع در حومه شهرستان خورموج، انتخاب شدند.

۳-۱-۱- شن

شن مورد استفاده از نوع سنگ شکسته می باشد. در تهیه بتن سعی شد که از به کارگیری سنگدانه‌هایی با شکل سوزنی یا پولکی اجتناب شود. علیرغم اینکه شن مورد استفاده عاری از خاک و مواد اضافی بود، به منظور اطمینان بیشتر شن مورد استفاده قبل از شروع آزمایشات و به صورت یکجا شسته شد و پس از شسته شدن، تدابیر لازم برای رسیدن مجموعه شن به رطوبت یکسان برای آزمایشات، به کار گرفته شد. مقدار وزن مخصوص شن برابر با ۱۵۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب و چگالی SSD شن و مقدار جذب آب آن به ترتیب ۲/۶۵ و ۰/۵ درصد، به دست آمد.

۳-۱-۲- ماسه

وزن توده‌ای میله خورده ماسه مورد استفاده در طرح اختلاط برابر با ۱۷۲۵ کیلوگرم بر متر مکعب و چگالی SSD ماسه و مقدار جذب آب آن نیز به ترتیب ۲/۶۰ و ۰/۷ درصد بدست آمده است.

۳-۲- سیمان

سیمان مصرفی تیپ ۲ دشتستان و جرم حجمی آن ۳۱۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب می باشد.

۳-۳- آب

آب مورد استفاده در شستشوی سنگدانه‌ها و ساخت بتن از نوع آشامیدنی می باشد. متوسط دمای آن در زمان آزمایش ۱۸ درجه سلسیوس اندازه گیری شد.



شکل ۳- مصالح مورد استفاده در ساخت بتن الیاف فلزی

جدول ۱- مشخصات آنالیز فیزیکی الیاف فلزی

مشخصات	نتایج (میانگین)	استاندارد
قطر (میلی متر)	۱/۱۹ (میلی متر)	-
طول الیاف (L)	۵۱ (میلی متر)	-
طول گسترده (LD)	۵۴ (میلی متر)	-
مقاومت کششی (RM)	۱۲۱۸ نیوتن بر میلی متر مربع	۳۴۵ نیوتن بر میلی متر مربع \geq
ضریب شکل (λ)	۴۲/۸۵	-

جدول ۲- مشخصات شیمیایی الیاف فلزی

ترکیب شیمیایی	نتایج آزمایش (%)
C	۰/۰۵ - ۰/۹۰
Si	۰/۰۶
Mn	۰/۳۵ - ۰/۶۰
S	۰/۰۲۵
P	۰/۰۲۵
Cr	۰/۱۲
Al	۰/۰۱

۴- دانه بندی مصالح سنگی

مطابق با استاندارد ASTM C136-1 [7] آزمایش دانه بندی را برای ۴ طرح اختلاط برای بزرگ ترین سنگدانه‌ی شنی ۱۹، ۱۲/۵، ۹/۵ میلی متر و برای ماسه با بزرگ ترین سنگدانه‌ی ۴/۷۵ میلی متر انجام شد. ضریب یکنواختی شن برای طرح اختلاط‌های مختلف برابر ۲/۳ و برای ماسه ۶/۸۲ به دست می آید. ضریب یکنواختی بالاتر سنگدانه مؤید این موضوع است که سنگدانه در محدوده وسیع تری از اندازه دانه‌ها گسترده شده است. مدول نرمی برای ماسه مصرفی برابر با ۳/۳۳ به دست می آید، که در گروه ماسه‌های زیر و درشت دانه قرار می گیرد. در شکل‌های ۴ الی ۷ نمودارهای دانه بندی شن و ماسه برای این پژوهش به نمایش گذاشته شده است.

۵- نحوه اختلاط مصالح

برای هر طرح اختلاط، در تمامی مراحل ساخت نمونه‌های بتن الیافی، میزان و نوع سیمان، شن و ماسه، آب و مواد افزودنی فوق روان کننده و میکروسیلیس، ثابت بوده و تنها میزان الیاف تغییر می یابد. نمونه‌های بتن الیافی در اثر افزودن الیاف با نسبت ۰/۳، ۰/۶، ۰/۹ و ۱/۲ درصد حجمی بتن به طرح شاهد به دست می آیند. برنامه طرح اختلاط و آزمایشات جهت ساخت نمونه‌های شاهد و بتن الیافی برای تست‌های نفوذپذیری مطابق جدول ۳ می باشد. در تمامی مراحل ساخت نمونه‌های نفوذپذیری از قالب‌های استاندارد سیلندری و به ابعاد ۱۵۰×۱۵۰ میلی متر و نمونه‌های فشاری از قالب‌های استاندارد مکعبی و به ابعاد ۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰ میلی متر، استفاده شده است.

۳-۵- دوده‌ی سیلیسی

استاندارد ASTM در مورد کیفیت دوده‌ی سیلیسی، حداقل سطح ویژه قابل قبول این ماده را معادل $15 \text{ m}^2/\text{gr}$ بر اساس اندازه گیری به روش جذب نیتروژن BET، تعیین کرده است. حداقل مقدار SiO_2 نیز در دوده‌ی سیلیسی، ۸۵ درصد ذکر شده است [۲]. میزان مصرف میکروسیلیس در این پژوهش ۵ درصد وزنی سیمان می باشد.

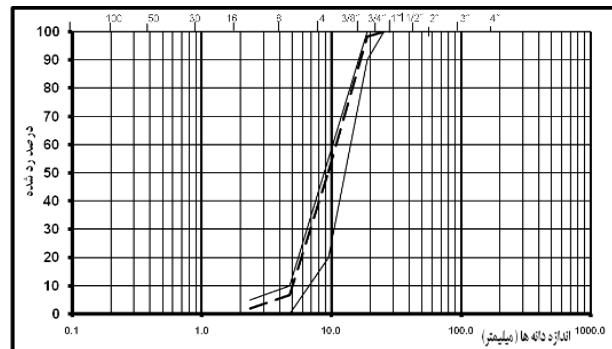
۳-۶- فوق روان کننده

افزودنی استفاده شده در ساخت بتن، به شکل پودر و بر پایه نفتالین پلی سولفونات سدیم بوده که به منظور افزایش روانی بتن، افزایش تراکم، نفوذناپذیری و بهبود مقاومت فشاری می باشد. دستور مصرف آن به سفارش شرکت سازنده ۱- ۰/۵ درصد وزن سیمان توصیه شده است که باید قبل از مصرف در مقداری از آب اختلاط بتن حل شود. در این تحقیق به میزان ۱ درصد وزن سیمان از این فوق روان کننده استفاده شده است. در شکل ۳ به صورت یکجا مصالح مورد استفاده در ساخت بتن الیاف فلزی نشان داده شده است.

پس از توزین مصالح و آماده سازی تجهیزات لازم، شروع به ساخت بتن می‌شود. برای این منظور اوزان شن، ماسه و سیمان را بطور دقیق رعایت کرده ولی مقدار آب به صورت حدودی رعایت می‌شود. یعنی میزان دقیق آب بر اساس آزمایش اسلامپ تعیین می‌گردد. برای بهتر مخلوط شدن مصالح، ابتدا سنگ‌دانه‌های درشت و ریز را در مخلوط‌کن ریخته و سپس سیمان و میکروسیلیس را با آنها اضافه کرده و حدود ۱ دقیقه میکسر شروع به چرخش می‌نماید.

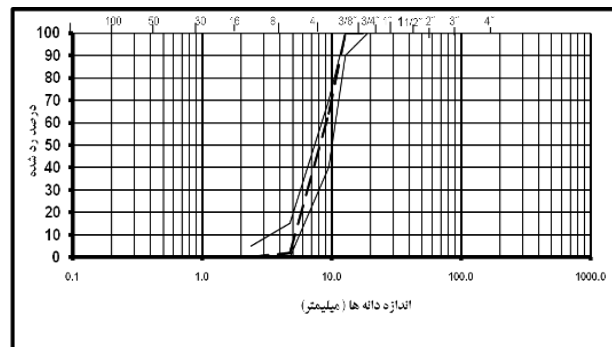
پس از آن افزودنی فوق‌روان کننده را که از قبل در آب اختلاط حل شده، به تدریج به مصالح اضافه کرده و به صورت چشمی کنترل می‌شود. در هر مرحله که آب اختلاط اضافه می‌شود، مخلوط کردن آنقدر ادامه می‌یابد تا سطح همه دانه‌ها بطور همگن مرطوب شود. بعد از این که مصالح با هم مخلوط شدند، درانتها الیاف فلزی به روش بذر پاشی به مخلوط اضافه می‌شود و به مخلوط‌کن اجازه داده می‌شود که حدود ۲ دقیقه دیگر کار کند. سپس از بتن الیافی مطابق با استاندارد ASTM C143، آزمایش اسلامپ گرفته و در صورتی که عدد اسلامپ در محدوده مورد نظر (۲۵±۵۰ میلی‌متر) باشد، بتن پذیرفته شده و اگر اسلامپ کمتر از ۲۵ میلی‌متر باشد، دوباره بتونیر را راه‌اندازی کرده و بقیه آب اختلاط را به مخلوط اضافه نموده و اجازه داده می‌شود که مخلوط‌کن حدود ۱ دقیقه دیگر کار کند. پس از تکرار آزمایش اسلامپ و در صورت تأیید کارایی بتن، پذیرفته می‌شود. باتوجه به کارآیی پایین بتن، قالب‌ها را در سه لایه ۵ سانتی‌متری پر کرده و جهت تراکم آن‌ها، در هر مرحله بر روی میز لرزان قرار داده می‌شوند.

جهت تراکم بهتر، هر لایه را با ۲۵ ضربه و توسط میله فلزی متراکم نموده و باید توجه داشت که جهت جلوگیری از جدایی سنگ‌دانه‌ها و ته نشین شدن الیاف، قالب‌ها نباید به مدت طولانی روی میز ویبره قرار گیرند. پس از رسیدن به تراکم کافی نمونه‌ها، سطح آنها توسط مال‌ه صاف می‌گردد. قالب‌ها پس از مرحله صاف شدن به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق عمل‌آوری و در سایه قرار داده می‌شوند. پس از این مدت، نمونه‌ها از قالب جدا شده و نمونه‌های استوانه‌ای و مکعبی به منظور عمل‌آوری و تا زمان تست نفوذپذیری و مقاومت فشاری، در حوضچه آب نگهداری می‌شوند.



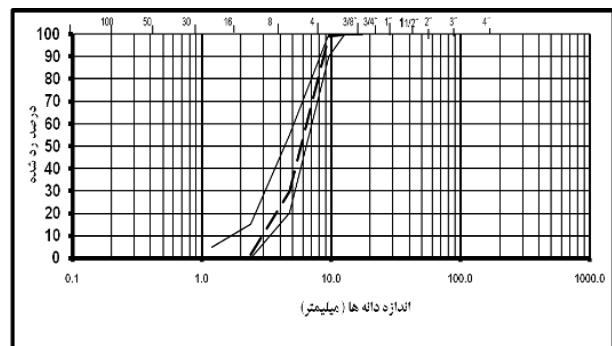
شکل ۴- نمودار دانه‌بندی شن برای $D_{max} = 19 \text{ mm}$

($Cu = 2/3$)



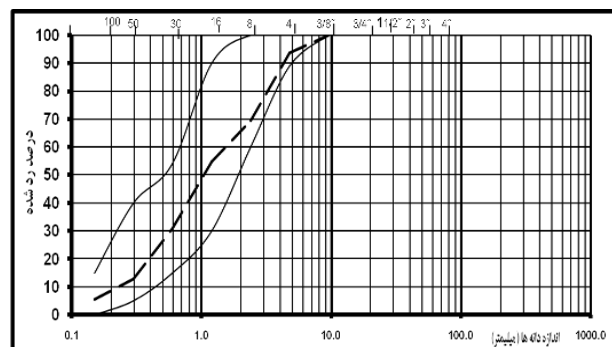
شکل ۵- نمودار دانه‌بندی شن برای $D_{max} = 12.5 \text{ mm}$

($Cu = 2/3$)



شکل ۶- نمودار دانه‌بندی شن برای $D_{max} = 9.5 \text{ mm}$

($Cu = 2/3$)



شکل ۷- نمودار دانه‌بندی ماسه $D_{max} = 4.75 \text{ mm}$

($Cu = 6/82$)

جدول ۳- نسبت‌های اختلاط مصالح در طرح اختلاط برای تست‌های نفوذپذیری و مقاومت فشاری

شماره	طرح اختلاط		الیاف فلزی (کیلوگرم بر متر مکعب)	سیمان (کیلوگرم بر متر مکعب)	شن (کیلوگرم بر متر مکعب)	ماسه (کیلوگرم بر متر مکعب)	آب (لیتر بر متر مکعب)	میکروسیلیس (کیلوگرم بر متر مکعب)	پودر فوق روان کننده (کیلوگرم بر متر مکعب)
	درصد الیاف	صفر							
۱	صفر	۰	۴۵۳	۹۴۴	۷۹۷	۱۵۵	۲۲/۶۵	۴/۵۳	
	۰/۳	۲۳/۵۵							
	۰/۶	۴۷/۱۰							
	۰/۹	۷۰/۶۵							
	۱/۲	۹۴/۲۰							
۲	صفر	۰	۴۷۴	۸۰۳	۸۸۵	۱۶۳	۲۳/۷۰	۴/۷۴	
	۰/۳	۲۳/۵۵							
	۰/۶	۴۷/۱۰							
	۰/۹	۷۰/۶۵							
	۱/۲	۹۴/۲۰							
۳	صفر	۰	۴۹۳	۶۸۲	۹۵۷	۱۷۰	۲۴/۶۵	۴/۹۳	
	۰/۳	۲۳/۵۵							
	۰/۶	۴۷/۱۰							
	۰/۹	۷۰/۶۵							
	۱/۲	۹۴/۲۰							
۴	صفر	۰	۵۱۲	-	۱۵۷۳	۱۸۰	۲۵/۶۰	۵/۱۲	
	۰/۳	۲۳/۵۵							
	۰/۶	۴۷/۱۰							
	۰/۹	۷۰/۶۵							
	۱/۲	۹۴/۲۰							

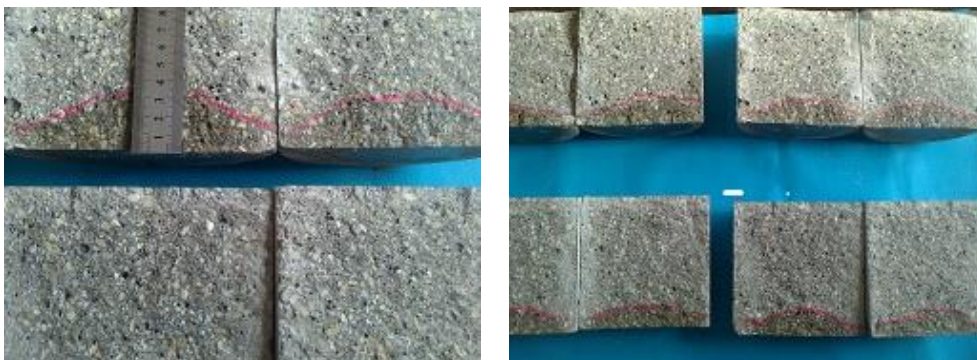
۶- آزمایش نفوذپذیری بتن الیاف فلزی

دستگاه نفوذپذیری و تحت فشار ۱۰ bar جای می‌گرفتند. پس از بیرون آمدن از محفظه دستگاه، دوباره توزین شده و سپس به روش آزمایش برزیلی از وسط شکافته می‌شوند. شایان ذکر است که نمونه‌های شاهد (بدون الیاف) به راحتی و به صورت طردشکن شکافته می‌شوند ولی نمونه‌های بتن الیافی ابتدا توسط دستگاه بتن شکن ترک خورده و سپس با قلم و چکش از وسط به دو نیم می‌گردند (شکل ۸). پس از این مرحله عمق نفوذ آب در جاهای مختلف علامت گذاری و با دقت اندازه‌گیری می‌شود. در شکل ۹ نمونه‌های شکافته شده بتن شاهد نشان داده شده است. مشاهده می‌گردد که عمق نفوذ آب در نمونه حدود ۳۴ میلی‌متر می‌باشد. شکل ۱۰ نیز نمونه‌های بتن الیافی شکافته شده را نشان می‌دهد که عمق نفوذ آب در آنها اندازه‌گیری می‌گردد. دیده می‌شود که عمق نفوذ آب در نمونه حدود ۲۰ میلی‌متر می‌باشد. به علت نفوذپذیری کم بتن، ضریب نفوذپذیری بتن با استفاده از روش والتا که بر پایه عمق نفوذ سیال در درون نمونه بتنی می‌باشد، محاسبه می‌شود [۱۰].

مطابق با استاندارد [8] DIN1048-part5، نمونه‌های سیلندری بعد از ۲۸ روز از حوضچه عمل‌آوری بیرون آورده شده و به مدت ۲۴ ساعت داخل کوره الکتریکی (گرمخانه) و در دمای 110 ± 5 درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا کاملاً خشک گردند. بعد از آن، نمونه‌های خشک، توزین شده و در محفظه دستگاه قرار می‌گیرند. قبل از قرار دادن نمونه‌ها در دستگاه باید از صحت اتصالات و آب‌بند بودن محفظه‌ها اطمینان حاصل کرد. دستگاه آزمایش نفوذپذیری مورد استفاده متشکل از ۴ سلول تست است. هر کدام از آنها شامل یک محفظه فشار هستند و یک کمپرسور هوا آب را به نمونه‌های تستی که تحت فشار تنظیم شده قرار دارند می‌فرستد. برای آب‌بند شدن نمونه از دو واشر مخصوص که برای این منظور طراحی شده، یکی در کف محفظه و زیر نمونه و دیگری روی نمونه قرار داده و با تدابیری طوری آب‌بند می‌شوند که از اطرافشان آب فرار نکند. سپس درب محفظه‌ها را در جای خود گذاشته و محکم می‌شوند. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در



شکل ۸- نحوه شکافتن بتن‌های الیافی (از راست به چپ)



شکل ۹- اندازه‌گیری عمق نفوذ آب در نمونه‌های شاهد



شکل ۱۰- اندازه‌گیری عمق نفوذ آب در نمونه‌های بتن الیافی

که تا زمانی که نمونه تحت فشار قرار نگرفته بود با آب پر نشده بودند و می‌تواند از افزایش جرم بتن در طول آزمایش نفوذپذیری محاسبه گردد. تنها حفرات موجود در بخشی از نمونه که آب نفوذ کرده است می‌تواند در نظر گرفته شود [۹].

$$v = \frac{m}{\rho d A}$$

m: تفاوت جرم اولیه با ثانویه نمونه (gr)

ρ : جرم حجمی آب (10^{-3} gr/mm^3)

A: سطح مقطع عرضی نمونه (mm^2)

$$K = \frac{d^2 \cdot v}{2ht}$$

که در آن:

K: ضریب نفوذپذیری آب (m/s)

d: عمق نفوذ آب در بتن (mm)

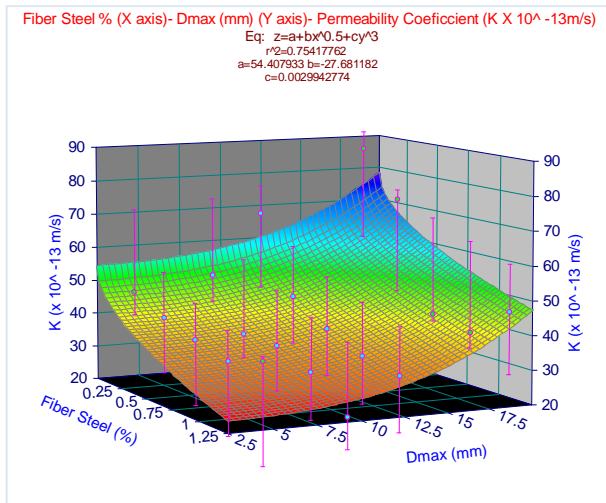
v: حجم حفرات پر شده با آب در بخش نفوذ آب

h: فشار اعمالی بر سطح نمونه (1bar=10m)

t: مدت زمانی که نمونه تحت فشار بوده است (sec)

مقدار v نشان دهنده حفرات مجزایی همچون حفرات هوا است

نفوذپذیری آنها محاسبه شدند که در نمودار شکل ۱۲ به نمایش گذاشته شده است.



شکل ۱۱- رابطه درصد الیاف فلزی- دانه بندی- ضریب نفوذپذیری (۲۸ روزه)

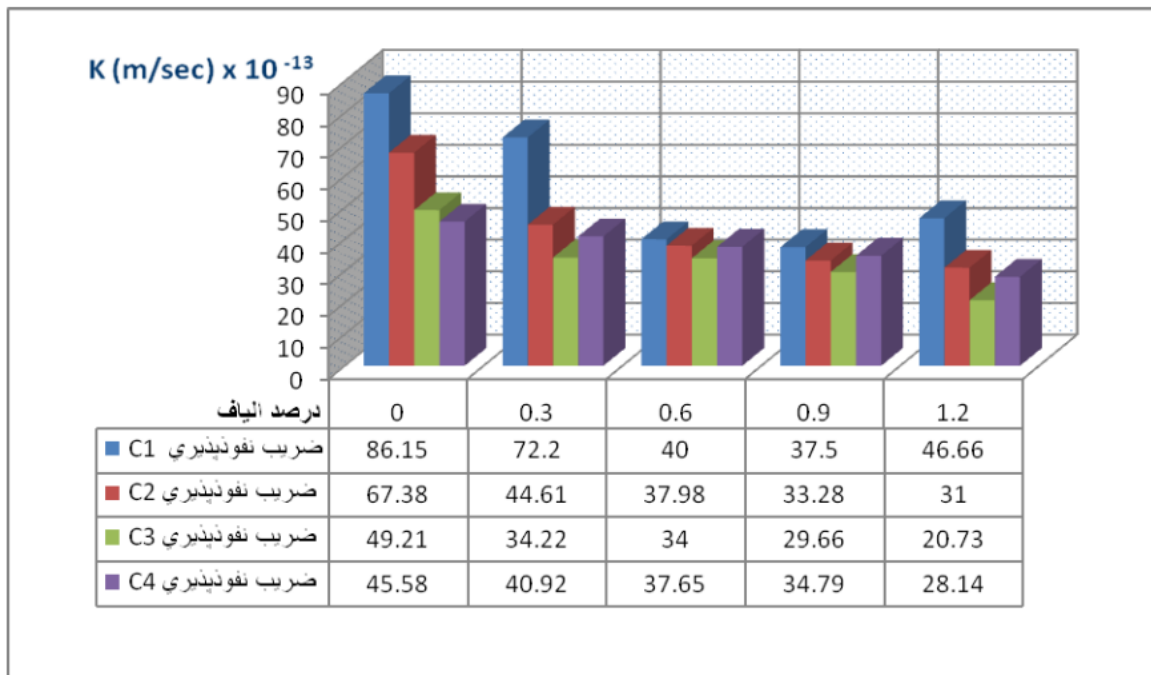
۷- بررسی نتایج آزمایشات نفوذپذیری

با بررسی شکل ۱۱، مشاهده می شود که با افزایش درصد الیاف فلزی، ضریب نفوذپذیری کاهش یافته و از طرفی با درشت تر شدن سنگدانه های شنی، ضریب نفوذپذیری رو به افزایش است. همچنین مشاهده می شود که نمودار ضریب نفوذپذیری ۲۸ روزه با معادله ی شماره ۵ تقریب زده می شود. به کمک این معادله می توان ضریب نفوذپذیری را به ازای درصد الیاف های بالاتر و برای بزرگ ترین اندازه سنگدانه ی شنی پیش بینی کرد.

$$z = a + bx^{0.5} + cy^3$$

و به ازای $a = 54/408$ و $b = 27/681$ و $c = 0/003$.

مشاهده می شود که به طور کلی با ریزدانه تر شدن سنگدانه ها و افزایش درصد الیاف، ضریب نفوذپذیری کاهش می یابد. پس از این که برای هر طرح اختلاط، ۴ آزمون سیلندری تهیه و مورد آزمایش نفوذپذیری قرار گرفتند، میانگین ضرایب



شکل ۱۲- مقایسه ضریب نفوذپذیری در طرح اختلاط های مختلف

۸- بررسی نتایج آزمایش مقاومت فشاری

بطوریکه در نمودار مقاومت فشاری ۲۸ روزه با شیب بیشتری افزایش می یابد. مشاهده می شود که نمودار مقاومت فشاری ۷ روزه با معادله ی شماره ۶ و نمودار مقاومت فشاری ۲۸ روزه با معادله ی شماره ۷ تقریب زده می شود. به کمک این معادله ها می توان مقاومت فشاری را به ازای درصد الیاف های بالاتر و برای بزرگ ترین اندازه سنگدانه ی شنی پیش بینی کرد.

در شکل های ۱۳ و ۱۴ به صورت یکجا مقاومت های فشاری ۷ و ۲۸ روزه ۴ طرح اختلاط و با توجه به درصد الیاف به کار رفته در آنها به نمایش گذاشته شده است. با دقت در شکل های ۱۳ و ۱۴ مشاهده می شود که با افزایش درصد الیاف فلزی و درشت تر شدن سنگدانه های شنی، مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه افزایش می یابد.

- به طور کلی مطابق نمودار شکل ۱۱ و ۱۲، با افزایش درصد الیاف فلزی و کاهش اندازه مصالح شنی، ضریب نفوذپذیری کاهش می یابد.

- با دقت در نمودار شکل ۱۱ دیده می شود که ضریب نفوذپذیری در تمامی درصدهای الیاف فلزی طرح اختلاط شماره ۳، کمتر از نمونه های مشابه در طرح اختلاط شماره ۴ می باشند. این بدان معنی است که عملکرد طرح اختلاط شماره ۳ در برابر نفوذپذیری بهتر از طرح اختلاط شماره ۴ می باشد.

- کاربرد الیاف فلزی در درصدهای پایین (۰/۳ و ۰/۶)، تأثیر چندانی بر مقاومت فشاری نمونه ها ندارد، اما در درصدهای بالای الیاف فلزی (۰/۹ و ۱/۲)، مقاومت فشاری نمونه ها نسبت به بتن شاهد، افزایش می یابد.

- با رجوع به شکل های ۱۳ و ۱۴، با افزایش درصد الیاف فلزی و اندازه مصالح شنی، مقاومت فشاری نیز افزایش می یابد. افزایش مقاومت فشاری در سن ۲۸ روز با شیب بیشتری انجام می شود.

- با توجه به اولویت پارامتر نفوذپذیری در سازه های هیدرولیکی و مطابق با جداول و نمودارهای ارائه شده، می توان طرح اختلاط شماره ۳ را به عنوان طرح اختلاط برتر معرفی نمود که در آن ضریب نفوذپذیری بتن الیافی برابر با $10^{-13} \times 20/73$ متر بر ثانیه می باشد. بنابراین به طور خاص تر نیز می توان بتن الیاف فلزی را با بزرگ ترین سنگدانه شن ۹/۵ میلی متر و درصد الیاف ۱/۲ را به عنوان برترین طرح اختلاط معرفی نمود.

۱۰- تشکر و قدردانی

از کلیه کارکنان آزمایشگاه مصالح ساختمانی نیروگاه اتمی بوشهر که در انجام این تحقیق ما را یاری نمودند، کمال تشکر و قدردانی را داریم.

۱۱- مراجع

[۱] شربتدار، محمد کاظم، همتی، علی، خیرالدین، علی، (۱۳۹۱)، "معرفی کامپوزیت های سیمانی مسلح الیافی توانمند (HPRCC)"، فصل نامه انجمن بتن ایران، سال یازدهم، شماره ۴۶، ۵۷.

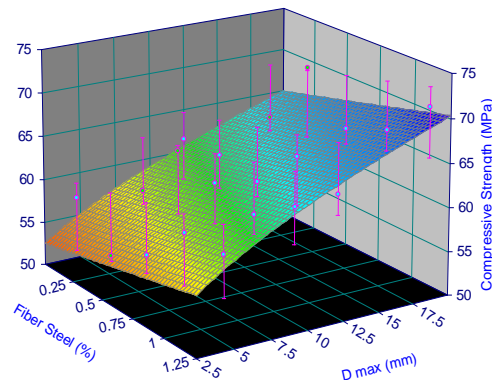
$$\ln(z) = a + bx + cy^{0.5}$$

و به ازای $a = 3/844$ و $b = 0/063$ و $c = 0/074$.

$$z = a + bx + c \ln(y)$$

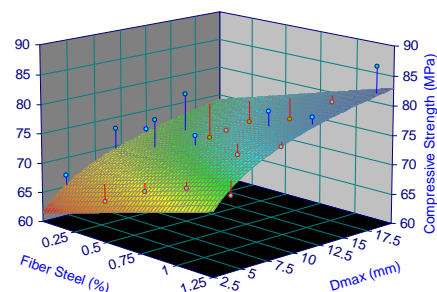
و به ازای $a = 55/954$ و $b = 7/083$ و $c = 6/050$.

Fiber Steel % (X axis)- Dmax (mm) (Y axis)- Compressive Strength for 7 day (MPa) (Z axis)
Eq: $\ln z = a + bx + cy^{0.5}$
 $r^2 = 0.7796504$
 $a = 3.8442891$ $b = 0.063573425$
 $c = 0.073706851$



شکل ۱۳- رابطه درصد الیاف فلزی- دانه بندی- مقاومت فشاری (۷ روزه)

Fiber Steel % (X axis)- Dmax (mm) (Y axis)- Compressive Strength (28 day) (MPa) (Z axis)
Eq: $z = a + bx + c \ln y$
 $r^2 = 0.65477405$
 $a = 55.95465$ $b = 7.0833333$
 $c = 6.0501937$



شکل ۱۴- رابطه درصد الیاف فلزی- دانه بندی- مقاومت فشاری (۲۸ روزه)

۹- بحث و نتیجه گیری و انتخاب طرح برتر

بطور کلی، نتایج آزمایشات نشان دادند که کاربرد الیاف فلزی باعث بهبود خواص نفوذپذیری بتن در برابر آب و مقاومت فشاری آن می گردد که عبارتند از:
- در تمامی موارد نفوذپذیری بتن الیاف فلزی در مقایسه با بتن معمولی کمتر است.

[۲] فامیلی، هرمز و باقری، علیرضا، "بررسی کیفیت دوده سیلیسی تولید داخل کشور و تعیین میزان تاثیر آن روی خواص بتن تازه و سخت شده"، ۲، ۱۳۸۸.

[۳] واقفی، محمد، فیوض، علیرضا، (۱۳۹۱)، "بررسی تاثیر شکل آزمون‌ها بر مقاومت فشاری بتن با الیاف فلزی"، چهارمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران، ۶-۱.

[۴] وظیفه‌خواه، نیما و مناف‌پور، علیرضا، "بررسی آزمایشگاهی مقاومت کششی بتن با الیاف فلزی"، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۲، ۱۳۸۹.

[5] ACI Committee 211, "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete", American Concrete Institute.

[6] ASTM A 820 M, "Specification for steel fibers for fiber-reinforced concrete", American Society Testing & Materials, 2011.

[7] ASTM C136-1, "Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregate", American Society Testing & Materials.

[8] DIN 1048, "Concrete harden-Determination of the depth of penetration of water under pressure ", German National Standard, 1991.

[9] Liu .X, Zhang. M, "Permeability of high-performance concrete incorporating presoaked", 4, 2010.

[10] Singh. A.P, Singhal.D, "Permeability of steel fiber reinforced concrete influence of Fiber parameters", Elsevier,

The Twelfth East Asia-Pacific conference on Structural Engineering and Construction, 3, 2011.

Investigation the Application of the Steel Fiber in Special Steel Fiber Concrete and its Effect on Concrete Permeability and Compression Strength Parameters

Ahmadreza Golestan
M.Sc. in Earthquake Engineering, Boushehr Islamic Azad University
Alireza Hajiani Boushehrian *
Assistant Professor, Civil Engineering Department, Shiraz Islamic Azad University

Abstract

Steel fibers have high elasticity modulus and failure strain. According to their deformability and high tensile strength, these products are considered as one of the most suitable and economic types of fibers. Additionally, seeping the fluid materials into the hardened concrete has an unfavorable effect on the concrete endurance. The amount of seepage depends on the permeability rate of hardened concrete. Essentially, in construction of the concrete tanks and dams, compression strength and permeability parameters of concrete against water is very important and it is so common to use the special concretes in these types of projects. Therefore, in the present study it has been tried to investigate the behavior of steel fibers concrete against permeability and its compression strength with a change in percentages of steel fibers. The effects of maximum coarse aggregate size on the compression strength and concrete permeability have also been studied. To achieve this goal, 4 mixing plans were designed based on the compression strength 40 MPa, water to cement ratio (W/C) equal to 0.42, the maximum coarse aggregate were respectively 19, 12.5, 9.5, 4.75 and then a suggested percentage of micro-silica and super-plasticizer was added in order to enhance the concrete properties. Each mixing design also includes steel fibers with volumetric percentages 0, 0.3, 0.6, 0.9 and 1.2 of the concrete. In the next step, compression strength of fiber cubic samples in considered ages of 7 and 28 days were determined and registered by the concrete-compression test apparatus. Meanwhile, the fiber cylindrical specimens in age of 28 days were also tested by the permeability tests apparatus. Results of these experiments showed that applying the metal fibers in low percentages (0.3 and 0.6), does not have considerable effect on the compression strength of samples, but in high percentages of metal fibers (0.9 and 1.2), compression strength of samples also increases. Additionally, in all cases, the concrete permeability of metal fibers is less than the ordinary concrete, so that in most designs, as steel fiber percentage increases and size of gravel aggregate decreases, the permeability coefficient tends to reduce. Finally, based on the experimental results, steel fiber concrete with the maximum gravel aggregate (9.5 mm) and the percentage fiber equal to 1.2 was introduced as the best mixing design.

Keywords: Compression Strength, Permeability, Fiber Steel, Micro-silica, Super-plasticizer.

* Corresponding Author: ahajiani@gmail.com

