

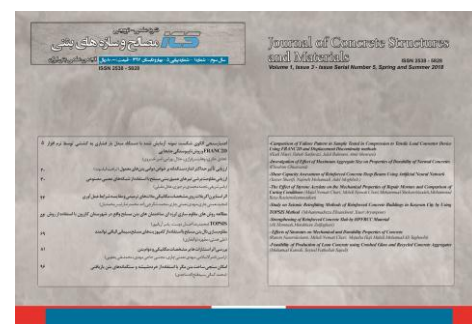
به نام خدا

۲	پیام سردبیر
۳	شيوه نامه نگارش مقاله
۵	اعتبارسنجی الگوی شکست نمونه آزمایش شده با دستگاه مبدل بار فشاری به کششی توسط نرم افزار <i>FRANC2D</i> و روش ناپیوستگی جابجایی (هادی حائری، وهاب سرفرازی، جلال بهرامی، امیر خسروی)
۲۰	ارزیابی تأثیر حداکثر اندازه سنگدانه بر خواص دوامی بتن‌های معمول (ابراهیم قیاسوند)
۳۰	ارزیابی مقاومت برشی تیرهای عمیق بتنی مسلح با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (یاسر شریفی، نجمه محمدی درجوزی، عادل مقبلی)
۴۴	اثر استاتین اکریلات روی مشخصات مکانیکی ملات‌های ترمیمی و مقایسه شرایط عمل‌آوری (مجید نعمتی چاری، مهدی نعمتی چاری، محمد شکرچی‌زاده، محمدرضا رئیس‌محمدیان)
۵۴	مطالعه روش‌های مقاوم سازی لرزه ای ساختمان‌های بتن مسلح واقع در شهرستان کازرون با استفاده از روش <i>TOPSIS</i> (محمدرضا احسان دوست، یاسر آریائپور)
۶۹	مقاوم سازی دال بتن مسلح با استفاده از کامپوزیت‌های مسلح سیمانی الیافی توانمند (علی همتی، مطهره ذوالفقاری)
۸۱	بررسی اثر استنارات ها بر مشخصات مکانیکی و دوام بتن (رامین ناصرالاسلامی، مهدی نعمتی چاری، مجتبی حاجی مهدی، محمدعلی یعقوبی)
۹۶	امکان سنجی ساخت بتن مگر با استفاده از خرده شیشه و سنگدانه‌های بتن بازیافتی (محمد کمالی، سیدفتح اله ساجدی)
۱۲۶	فرم اشتراک
۱۲۷	فرم عضویت انجمن علمی بتن ایران

مجوز نشریه:

مجوز نشر مجله علمی- ترویجی انجمن علمی بتن ایران طی نامه شماره ۳/۱۸/۷۱۱۴۱ به تاریخ ۱۳۹۵/۴/۸، توسط وزارت علوم، تحقیقات و فناوری صادر گردیده است

نظریه‌های مطرح شده در مقاله ها، گزارش‌ها و مصاحبه‌ها لزوماً بیانگر دیدگاه‌های انجمن علمی بتن ایران نیست. نشریه در ویرایش صوری مطالب، حک و اصلاح آنها، تا جایی که به اصل مطالب خدشه وارد نشود، آزاد است.



نشریه علمی- ترویجی (دو فصلنامه)

مصالح و سازه های بتنی

انجمن علمی بتن ایران

بهار و تابستان ۱۳۹۷

سال سوم، شماره ۱، شماره پیاپی ۵
شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه قیمت: ۸۰,۰۰۰ ریال

صاحب امتیاز: انجمن علمی بتن ایران

مدیر مسئول: دکتر هرمز فامیلی

سردبیر: دکتر علیرضا خالو

هیات مدیره:

مهرداد اشتیری، بابک امین نژاد، محسن تدین،
علیرضا خالو، محمد خانمحمدی، جاویدخطیبی،
موسی کلهری

اعضای هیات تحریریه:

علیرضا باقری، علیرضا خالو، علی خیرالدین، محمد
شکرچی‌زاده، علی صدرممتازی، محمدرضا عدل پرور، پرویز
قدوسی، داود مستوفی‌نژاد، محمود نیلی، حمید وارسته
پور.

هیات داوران مقالات این شماره:

مهدی اسفندی سرفراز، بابک احمدی، مهرداد اشتیری،
علیرضا باقری، علیرضا پورخورشیدی، محسن تدین،
محمدحسین تدین، مهدی چینی، علیرضا خالو، محمد
خانمحمدی، فریدون رضایی، علی‌اکبر شیرزادی جاوید،
آزاده عسگری‌نژاد، پویان فخاریان، موسی کلهری، حمید
وارسته پور.

هماهنگی: محمدحسین تدین- پویان فخاریان

مدیر اجرایی: عزیز اله بریجانی

روابط عمومی:

مریم مویدی

نشانی دفتر نشریه: تهران، شهرآرا، خیابان آرش مهر،
بلوار غربی، پلاک ۱۳، طبقه اول کدپستی: ۱۴۴۵۸۴۳۴۴۶

تلفن: ۸۸۲۳۰۵۵۸-۸ فاکس: ۸۸۲۷۰۰۵۹

پست الکترونیک: info@jcsn.ir

www.Jcsn.ir

بسمه تعالی

آنچه که مسلم است پژوهش در توسعه و پیشرفت دانش بشری موثر است و نتایج بدست آمده توسط محققان و دانش پژوهان می تواند در تولید انبوه و پیشرفت صنعتی کشور مورد استفاده قرار گیرد. از طرف دیگر این نتایج می تواند زیربنای مناسب برای تهیه متون و آئین نامه ها، استانداردها و سرفصل دروس دانشگاهها و کتابهای درسی نیز باشد. پژوهشگران، دانشمندان، استادان و دانشجویان تحصیلات تکمیلی با انتشار آخرین یافته های خود در انواع مجلات نمایه ISI، علمی پژوهشی و علمی ترویجی داخلی می توانند به توسعه و پیشرفت علمی در گرایشها و تخصصهای گوناگون کمک نموده و نسبت به حل مشکلات و مسائل علمی و صنعتی تلاش نمایند.

در این شماره مقالات متعددی در ارتباط با تکنولوژی بتن و سازه های بتن مسلح ارائه شده است. در بخش تکنولوژی و طراحی سازه های بتنی با استفاده از نرم افزارهای مهندسی و نتایج بدست آمده از آزمایشها، انواع عملکرد بتن مورد تحلیل و مقایسه قرار گرفته است. در این بخش همچنین اثر کاربرد انواع افزودنیهای مختلف بر مشخصات مکانیکی و دوام بتن مورد ارزیابی قرار گرفته است.

ایران در منطقه با لرزه خیزی شدید قرار گرفته است و هر از چندگاه در فاصله زمانهای نامعلوم، زلزله های مهیب علاوه بر خسارات سنگین جانی و مالی، تبعات روانی جبران ناپذیری را به بار می آورد که علت اصلی و انکار ناپذیر آن وجود ساختار سست بنیاد خانه ها و ساختمانها است. لذا در بخش سازه های بتن مسلح مقالاتی در مورد روشهای مقاوم سازی لرزه ای و اثرات مختلف آن در استحکام بیشتر ساختمانها در برابر زلزله ارائه شده است.

با عنایت به اینکه نویسندگان محترم مقالات مسئول صحت مطالب مندرج در مقالات خود هستند، لیکن انتظار هیات تحریریه مجله از پژوهشگران محترم دقت در صحت یافته های جدید و تحلیل های مهندسی ارزشمند با استفاده از تکنولوژی های نوین می باشد که می تواند در بخش تولید و توسعه آینده کشور مورد استفاده قرار گیرد.

سر دبیر
علیرضا خالو

راهنمای نگارش و ارسال مقاله به نشریه «علمی-ترویجی» (مصالح و سازه های بتنی) انجمن علمی بتن»

محققان و پژوهشگران می‌توانند مقالات علمی-پژوهشی خود را در زمینه‌های مختلف انجمن علمی بتن ایران براساس دستورالعمل زیر تهیه نموده، جهت بررسی و چاپ برای سردبیر به آدرس نشریه ارسال نمایند.

اصول کلی

- ۱- در مقاله ارسالی، مسئول مکاتبات که یکی از نویسندگان است، باید مشخص گردد.
- ۲- مقالات ارسال شده می‌بایست به شکل پژوهشی (*Original Article*) و یا مروری (*Review*) باشد.
- ۳- مقاله به زبان فارسی رایج در نشریات علمی و بصورت روان نگارش شده باشد.
- ۴- مقاله مروری، فقط از پژوهشگران مجرب و مسلط به موضوع مقاله پذیرفته می‌شود که دارای تالیفاتی در آن زمینه باشند.
- ۵- قابل ذکر است که مقاله برای چاپ به مرجع دیگری ارسال نشده و قبلاً نیز به چاپ نرسیده باشد. ارسال همزمان مقاله به سایر مجلات نیز مجاز نمی‌باشد.
- ۶- ارسال فرم تکمیل شده درخواست چاپ و تعهد نامه به همراه مقاله الزامی است. (فرم، در ادامه این شیوه نام می‌باشد)
- ۷- مقالات دریافتی را اعضای هیأت تحریریه، مشاوران و داوران بطور ناشناس بررسی و ارزیابی می‌کنند و نتایج داوری به صورت کتبی به نویسنده/ نویسندگان اعلام خواهد شد.
- ۸- مهلت ارسال مقاله اصلاح شده توسط نویسنده/ نویسندگان پس از وصول نظر داوران حداکثر ۱ ماه است و بعد از پایان مهلت، با مقاله به شکل مقاله جدید برخورد شده و مجدداً برای داوری ارسال می‌گردد.
- ۹- نشریه هیچگونه تعهدی نسبت به چاپ یا استرداد مقالات رسیده نخواهد داشت.
- ۱۰- نشریه هیچ مسئولیتی در قبال تاخیر انتشار مقاله که به دلیل عدم رعایت این راهنما توسط نویسنده/ نویسندگان ایجاد شود، برعهده نمی‌گیرد.
- ۱۱- چنانچه، مقاله پیش از ارسال به نشریه، در همایش و مجامع علمی دیگری ارائه شده است، مراتب باید با ذکر تاریخ ارائه و مشخصات کامل همایش اعلام شود.
- ۱۲- صحت علمی مطالب مقاله بر عهده نویسنده مقاله می‌باشد و نشریه در این زمینه مسئولیتی ندارد.
- ۱۳- نشریه در ویرایش مطالب مقالات پذیرفته شده آزاد است.

راهنمای نگارش و تنظیم مقاله

۱. مقاله باید در کاغذ A4، به صورت یک‌رو، در یک ستون و با حاشیه ۲/۵ سانتی‌متر و با فاصله ۲ سانتی‌متر بین سطرها با نرم افزار Word 2003 تایپ شود. هر صفحه باید دارای شماره ترتیبی باشد. حروف فارسی با فونت B Nazanin و اندازه B-14 برای عنوان مقاله، ۱۲ برای متن و B-12 برای تیترها و حروف انگلیسی با فونت Times New Roman و اندازه ۱۲ باشد. شماره صفحه در پایین و وسط هر صفحه قرار گیرد.
۲. نویسندگان محترمی که کار آزمایشگاهی انجام داده‌اند، محل انجام آزمایش را در قسمت قدردانی به طور کامل و شفاف درج نمایند.
۳. حداکثر تعداد صفحات محدود به ۱۸ صفحه می‌باشد. لذا از نویسندگان محترم انتظار رعایت آن را دارند.
۴. روش تنظیم مقالات پژوهشی بشرح ذیل باشد:
 - ۱-۴. صفحه اول شامل: عنوان مقاله به فارسی و انگلیسی، نام و نام خانوادگی نویسنده/ نویسندگان، رتبه و سمت علمی، نام و نشانی محل کار، موسسه ناظر، شماره تلفن تماس و آدرس پست الکترونیکی ارسال کننده مقاله باشد.

۲-۴. صفحه دوم و سوم به ترتیب شامل چکیده فارسی، چکیده انگلیسی با عناوین آنها و به همراه ۳ تا ۵ کلید واژه‌ی مرتبط باشد. چکیده مقاله حداکثر ۲۰۰ کلمه و در متن آن عناوین هدف، روش، یافته‌ها و نتیجه‌گیری ذکر شود. در صفحه دوم و سوم از نوشتن مشخصات نویسنده/ نویسندگان خودداری شود.

۳-۴. اصل مقاله شامل موارد ذیل باشد:

۱-۳-۴ مقدمه: بیان مسئله و هدف از اجرا با مروری بر مطالعات گذشته

۲-۳-۴ روش پژوهش: شرح دقیق طرح پژوهش، جامعه و نمونه آماری، مواد و روش‌های اندازه‌گیری و روش‌های آماری
۳-۳-۴ یافته‌ها (نتایج): شرح کامل یافته‌های پژوهش. (اطلاعات هویتی آزمودنی‌ها، نباید در نوشته‌ها، عکس‌ها و شجره‌نامه‌ها منعکس شود مگر آنکه مقاصد علمی ضروری باشد و آزمودنی (یا والدین و یا قیم او) رضایت نامه آگاهانه را برای انتشار به صورت کتبی امضاء کنند که در این صورت باید به همراه مقاله ارسال گردد)

۴-۳-۴ بحث و نتیجه‌گیری: شرح نکات مهم یافته‌ها و مقایسه آن با یافته‌های حاصل از مطالعات دیگر و توجیه و تفسیر موارد مشترک و مورد اختلاف و بیان کاربرد احتمالی یافته‌ها و در نهایت، نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات حاصل از یافته‌های پژوهش
۵-۳-۴ تشکر: تقدیر و تشکر در انتهای مقاله از افراد حقیقی و حقوقی و حامیان اجرای پژوهش
۶-۳-۴ منابع: منابع و مآخذی که از آنها در تهیه مقاله استفاده می‌شوند، باید در متن، داخل پرانتز و با شماره استفاده شوند. منابع و مآخذ باید به ترتیب حروف الفبای فارسی و انگلیسی در انتهای مقاله آورده شوند. مثالهای معرفی منابع و مآخذ عبارتند از:

الف. مقاله فارسی: نام خانوادگی و نام نویسنده/ نویسندگان، سال انتشار، عنوان مقاله، نام مجله، شماره مجله، شماره صفحه.
محبی، حمید، (۱۳۸۲)، هیپرگلیسمی و هیپرانسولینمی واکنش *IGFBP-I* را به ورزش طولانی مدت در دوچرخه‌سواران تمرین‌کرده از بین می‌برد، حرکت، ۱۷: ۶۳-۷۹

ب. مقاله انگلیسی: نام خانوادگی و نام نویسنده/ نویسندگان، سال انتشار، عنوان کامل مقاله، نام کوتاه شده مجله، شماره مجله، شماره صفحه (ذکر نام خانوادگی و نام همه نویسندگان الزامی است)

Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Rosenblatt J, and Wolfe RR. (2000). Substrate metabolism during different exercise intensities in endurance-trained women. J Appl Physiol, 88:1707-1714.

ج. کتاب: نام خانوادگی و نام نویسنده/ نویسندگان، سال انتشار، عنوان کتاب، نام و نام خانوادگی مترجم/ مترجمان (در صورتی که کتاب ترجمه است)، شماره چاپ، شهر محل نشر، ناشر، شماره صفحه

۱- مثال تألیفی فارسی:

رحمانی نیا، فرهاد، (۱۳۸۲)، مبانی و کاربرد یادگیری حرکتی، چاپ اول، تهران، بامداد کتاب، ۵۵-۶۹.

۲- مثال ترجمه فارسی:

برونس، فرد و کارگیل، سرستار، (۱۳۸۵)، مبانی تغذیه ورزشی، ترجمه حمید محبی و محمد فرامرز، چاپ اول، تهران، سمت، ۶۵-۷۲.

۳- مثال انگلیسی:

Bouchard C, Blair SN, and Haskell WL. (2007). Physical activity and health. Champaign, IL: Human Kinetics. pp. 86-98.

۵- تعداد صفحات هر مقاله، از حداکثر ۱۸ صفحه ۲۰ خطی (شامل: متن، جدولها، نمودارها، شکلها) تجاوز نکند. (تعداد صفحات مقالات مروری حداکثر ۱۵ صفحه باشد).

۶- در صورت نیاز به جدول، نمودار و شکل، به ازای هر ۳ تا ۴ صفحه متن مقاله، یک جدول، نمودار یا شکل، با بالانویس در جدولها یا زیر نویس در نمودارها و شکل‌ها به زبان فارسی ارائه شود. جدول‌ها بهتر است با استفاده از امکان *Table* در *Ms-Word* و نمودارها در نرم‌افزار *Ms-Excel* طراحی شوند. شکل‌های ارسالی باید از نوع *Tif* و دقیق و روشن باشند.

۷- هر واژه یا عبارتی که به صورت علائم اختصاری فارسی یا انگلیسی برای اولین بار در متن مقاله ارائه می‌شود، باید عبارت کامل آن به صورت پانویس معرفی شود.

اعتبارسنجی الگوی شکست نمونه آزمایش شده با دستگاه مبدل بار فشاری به کششی توسط نرم افزار FRANC2D و روش ناپیوستگی جابجایی

دریافت مقاله: ۱۳۹۶-۸-۲۰

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷-۱-۲۸

هادی حائری*

مشاور مدیر عامل شرکت راهسازی و عمران ایران، تهران، ایران

Haerihadi@gmail.com

وهاب سرفرازی

دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی همدان، همدان، ایران

جلال بهرامی

مدیر عامل شرکت راهسازی و عمران ایران، تهران، ایران

امیر خسروی

کارشناس ارشد فنی، شرکت راهسازی و عمران ایران، تهران، ایران

چکیده:

مقاومت کششی بتن در طراحی دیوار حائل، اعضای بتنی تحت فشار، بتن های مسلح، لاینینگ های بتنی تاثیر بسزایی دارد. در این مقاله، دستگاهی معرفی می شود که بتواند شکست کششی در نمونه حفره دار ایجاد نماید. ابتدا با استفاده از نرم افزار FRANC2D هندسه های مختلفی تحت بارگذاری کششی آزمایش شده و بهترین هندسه از لحاظ توزیع تنش و ساخت انتخاب شده است. سپس دستگاه مبدل بار فشاری به کششی (CTT) بکارگرفته می شود که با استفاده از آن می توان شکست کششی را در هندسه نمونه انتخاب شده، ایجاد نمود. این شکست با روش ناپیوستگی جابجایی و نرم افزار FRANC2D اعتبارسنجی شده است. دستگاه تبدیل بار فشاری به بار کششی از ۶ قسمت مختلف ساخته شده است. جزء شماره ۱ و ۲، U شکل و II شکل می باشند که از فولاد ضد زنگ ساخته شده اند. جزء شماره ۳ و ۴، دو فولاد ضد زنگ نیمه استوانه ای با ابعاد $10\text{ mm} \times 75\text{ mm} \times 60\text{ mm}$ هستند. جزء شماره ۵ و ۶، دو تیغه فولادی با ابعاد $190\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ می باشند. نمونه های بتنی مورد استفاده در این آزمایش دارای مقطع مستطیلی و حفره مرکزی است. نمونه مورد آزمایش، دارای ابعاد $190\text{ mm} \times 60\text{ mm} \times 150\text{ mm}$ و حفره مرکزی دارای قطر 75 mm و ارتفاع 60 mm می باشد. نسبت قطر حفره به عرض نمونه برابر $0/5$ است. این هندسه با استفاده از مجموعه ای از شبیه سازی ها توسط نرم افزار FRANC2D، انتخاب شده است. نمونه های بتنی از ترکیب آب، ماسه ریز دانه و سیمان با نسبتهای 40% ، 30% و 30% آماده شده اند. دستگاه و نمونه بتنی در ماشین تک محوره قرار می گیرد. با تبدیل بار فشاری به بار کششی توسط دستگاه CTT، آزمایش کشش انجام شد. الگوی شکست رخ داده در نمونه آزمایشگاهی گویای شکست کششی است. به منظور اعتبارسنجی الگوی شکست نمونه آزمایشگاهی، آزمایش کشش توسط نرم افزار FRANC2D و روش ناپیوستگی جابجایی مرتبه بالاتر شبیه سازی شد. تطابق الگوی شکست نمونه آزمایشگاهی، مدل عددی FRANC2D و مدل عددی ناپیوستگی جابجایی مرتبه بالاتر بیانگر اعتبار دستگاه معرفی شده در ایجاد شکست کششی در نمونه می باشد.

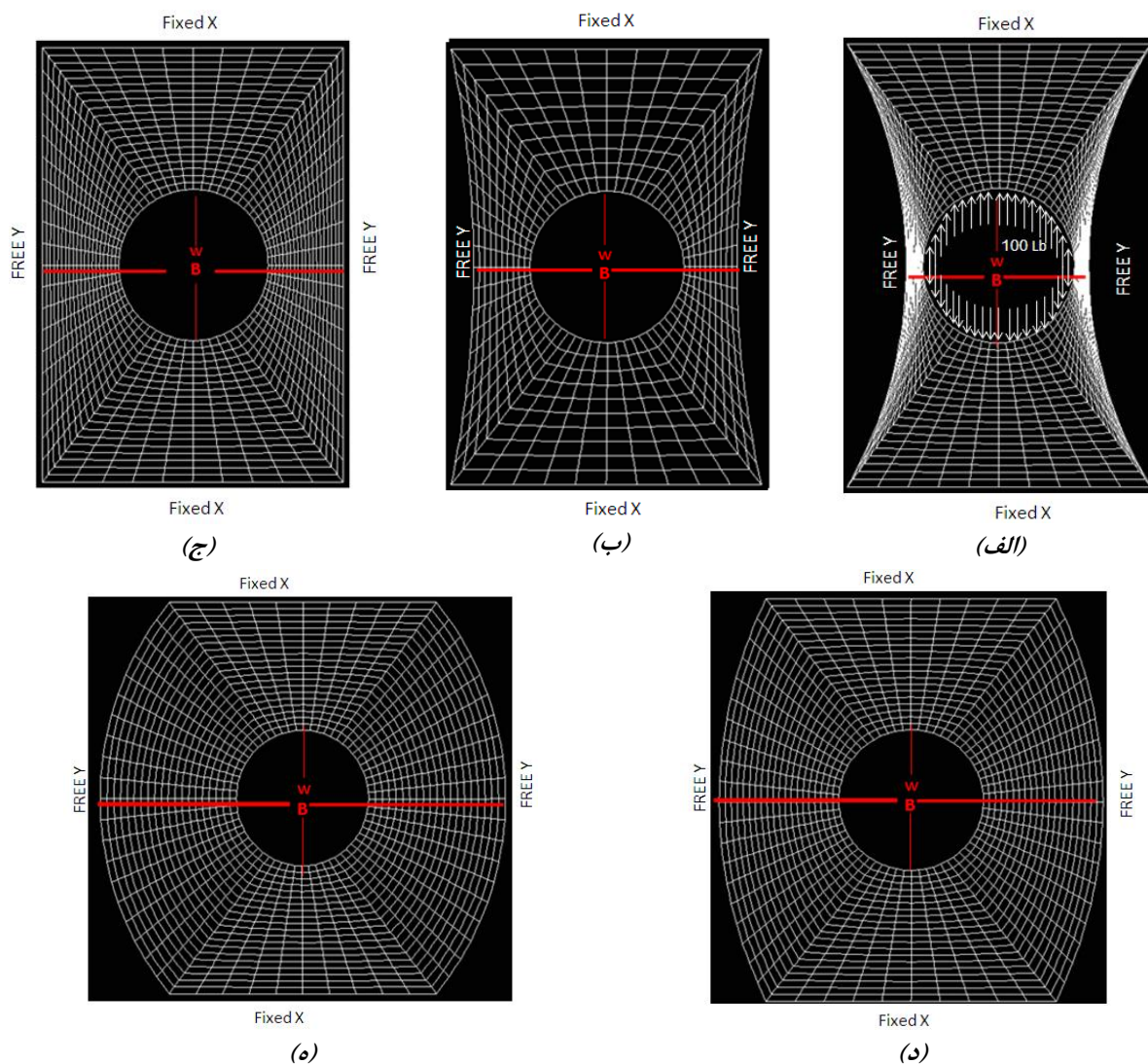
کلمات کلیدی: دستگاه تبدیل بار فشاری به کششی، مقاومت کششی، بتن، FRANC2D، روش ناپیوستگی جابجایی

مطالعات تئوریکی و آزمایشگاهی بسیاری در زمینه تعیین مقاومت کششی بتن انجام شده است [۱-۱۲]. روش های مستقیم مقادیر مقاومت کششی را بطور دقیق تخمین می زند؛ ولی کاستی های این روش نظیر آماده سازی نمونه، چسب اپوکسی مورد نیاز، ظرفیت باربری دستگاه باعث شده تا روش های غیر مستقیم بکار گرفته شوند. یرلیسی [۱۳] بیان داشت که رفتار بتن تحت کشش مستقیم بطور گسترده بررسی نشده که این دلیل محدودیت در انجام تست کشش می باشد. تست برزلی یکی از روش های غیر مستقیم است که برای اندازه گیری مقاومت کششی بتن مورد استفاده قرار می گیرد. آماده سازی نمونه در این روش آسان و انجام آزمایش ساده است. برای بتن معمولی ارتباط خوبی بین مقاومت کششی مستقیم و مقاومت برزلی برقرار است. فرمول تعیین مقاومت کششی بتن از تست برزلی از تئوری الاستیک خطی بدست آمده است [۱۴-۱۶]. رینگ تست که توسط پندیت [۱۷] ارائه شده است، برای تعیین مقاومت کششی بتن کاربرد دارد. این تست دارای مزایایی نظیر آماده سازی آسان نمونه، سیستم بارگذاری ساده و شکست دور از صفحات بارگذاری می باشد. تست پانچ دو طرفه که توسط چن [۱۸] ارائه شده، از روشهای غیر مستقیم برای تعیین مقاومت کششی بتن می باشد. در این روش یک نمونه بتنی توسط دو مهره فولادی که در مرکز نمونه قرار می گیرند فشرده می شود و شکست کششی در نمونه اتفاق می افتد. از معایب این روش ابعاد زیاد نمونه و وقوع ترک های کششی اضافی در نمونه می باشد. آزمایش خمش سه نقطه ای و چهار نقطه ای [۱۹ و ۲۰] از روشهای غیر مستقیم تعیین مقاومت کششی بتن می باشند. از نقایص این روش ها آماده سازی نمونه بزرگ مقیاس و دستگاه بارگذاری متناسب می باشد. حائری و همکاران [۲۱]، فاتحی و همکاران [۲۲] مکانیسم شکست نمونه های شکننده را با رویکرد عددی مطالعه نمودند. موارد فوق، اهمیت مطالعه رفتار کششی بتن را آشکار می سازد. هدف این تحقیق ارائه یک سیستم بارگذاری جدید می باشد که با استفاده از آن بتوان بار فشاری را به بارکششی تبدیل و با اعمال تنش کشش به نمونه حفره دار مقاومت کششی نمونه بتنی را تعیین نمود. از اهداف دیگر تحقیق، مقایسه نتایج حاصل از این آزمایش با نتایج آزمایش برزلی و اعتبار سنجی الگوی شکست نمونه آزمایشگاهی با روش ناپیوستگی جابجایی می باشد.

۲- انتخاب شکل هندسی مناسب برای آزمایش تبدیل فشار به کشش توسط نرم افزار FRANC2D

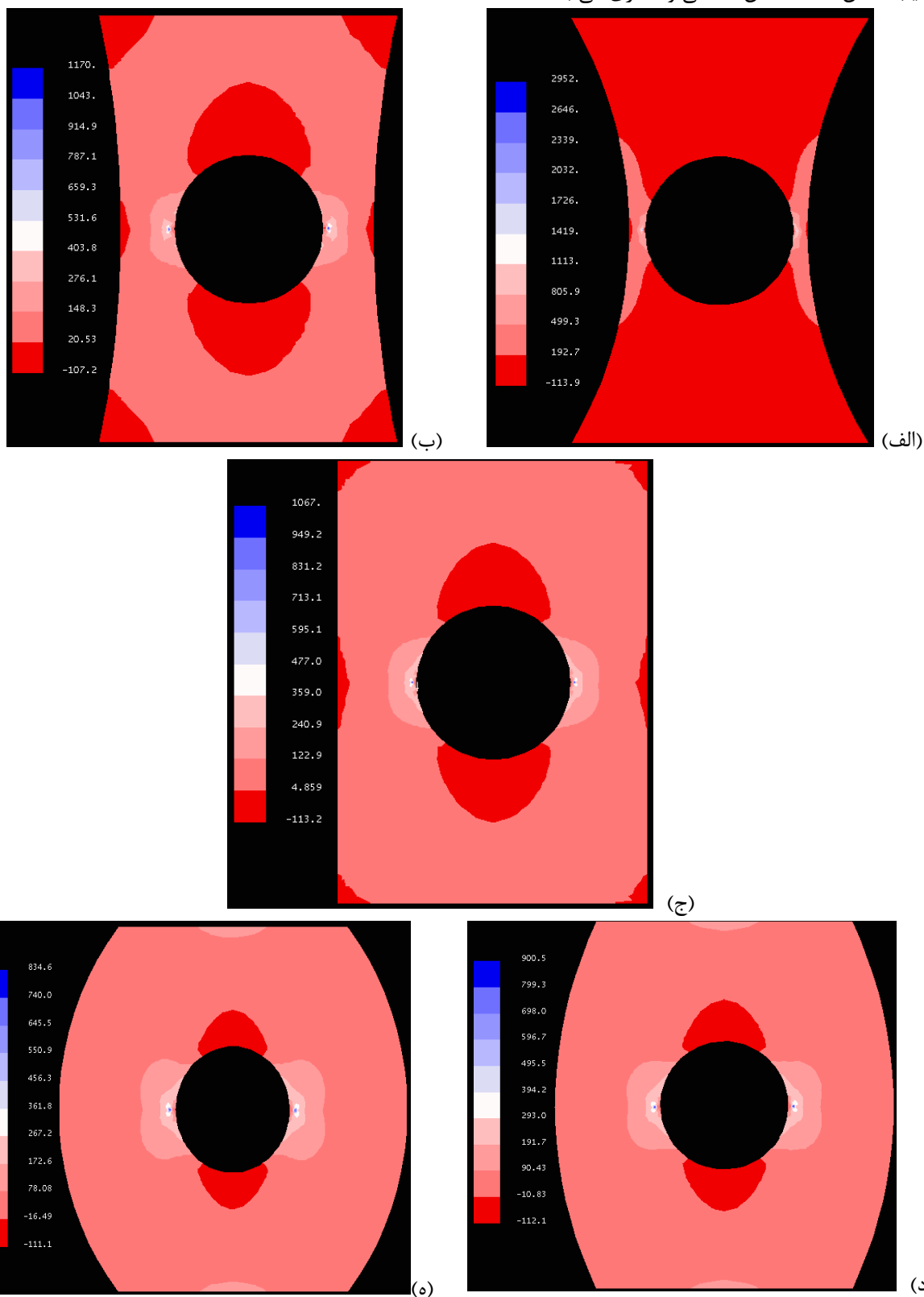
برای انجام شبیه سازی عددی از کد المان محدود دو بعدی FRANC2D استفاده شده است. این کد توسط دانشگاه کرنل ارائه شده و توسط دانشگاه کانزاس برای محیط های چندلایه ای کامل گردیده است. این کد بر اساس مکانیک شکست الاستیک خطی استوار است. مدل سازی با این نرم افزار شامل دو مرحله می باشد. در مرحله اول هندسه مدل ایجاد شده و با اعمال مش بندی، خواص مکانیکی و شرایط مرزی، مدل آماده پردازش می شود. در مرحله دوم، نیروهای مورد نظر به مدل اعمال شده و سپس پردازش مدل انجام می گردد. شکل ۱۹، ۵ مدل مختلف حاوی حفره مرکزی به همراه مش بندی، شرایط مرزی و شرایط بارگذاری را نشان می دهد. بالا و پایین مدل در جهت X بسته شده و سمت چپ و راست مدل در جهت Y ثابت می گردد. برای یافتن توزیع تنش در مدل، ۴۰۰ المان در مدل ایجاد شد. قطر حفره (w) در تمام مدل ها ۷/۵ cm (سرفرازی و همکاران [۲۳]) و عرض نمونه ها (B) متفاوت می باشد. در شکل ۱-الف مرزهای جانبی نمونه مقعر شکل می باشد و نسبت w/B، ۰/۶۲۵ است. شکل ۱-ب مربوط به نمونه مقعر شکل با نسبت w/B، ۰/۸ است. شکل ۱-ج مربوط به نمونه مستطیلی شکل با نسبت w/B، ۰/۵ است. در شکل ۱-د مرزهای جانبی نمونه محدب شکل می باشد و نسبت w/B، ۰/۳۵ است. شکل ۱-ه مربوط به

نمونه محدب شکل با نسبت w/B ، 0.25 است. نمونه های مذکور تحت نیروی کششی داخلی یکنواخت 100 پوند قرار می گیرند (شکل ۱-الف). مدول یانگ و نسبت پواسون مدل 25 GPa و 0.2 در نظر گرفته شد. چگالی مدل 2700 kg/m³ و چقرمگی شکست مود کششی I برابر 1.1 MPa√m می باشد. هدف آنالیز عددی مشخص نمودن این مطلب است که آیا تحت بارگذاری، نیروی کششی در دیواره مدل ایجاد می شود. کدام هندسه برای آزمایش کشش فیزیکی مناسب است.



شکل ۱- نمونه های با شکل هندسی مختلف، شرایط مرزی و نوع بارگذاری، (الف) نمونه مقعر شکل با نسبت $w/B=0.8$ ، (ب) نمونه مقعر شکل با نسبت $w/B=0.625$ ، (ج) نمونه با لبه تخت با نسبت $w/B=0.5$ ، (د) نمونه محدب شکل با نسبت $w/B=0.35$ ، (ه) نمونه محدب شکل با نسبت $w/B=0.25$

شکل ۲ توزیع تنش کششی در نمونه های با شکل هندسی مختلف را نشان می دهد. خطوط تراز آبی و قرمز رنگ به ترتیب نشان دهنده تنش کششی و فشاری می باشند.

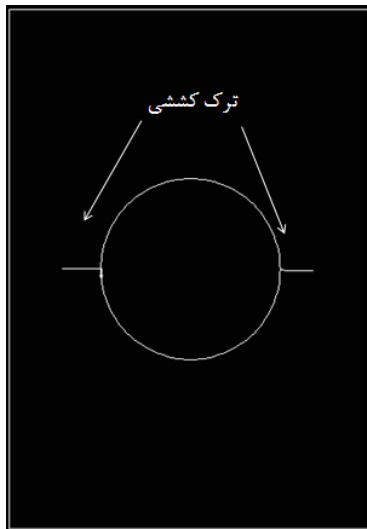


شکل ۲- توزیع تنش در نمونه های با شکل هندسی مختلف، (الف) نمونه مقعر شکل با نسبت $w/B=0.8$ (ب) نمونه مقعر شکل با نسبت $w/B=0.625$ (ج) نمونه با لبه تخت با نسبت $w/B=0.5$ (د) نمونه محدب شکل با نسبت $w/B=0.35$ (ه) نمونه محدب شکل با نسبت $w/B=0.25$

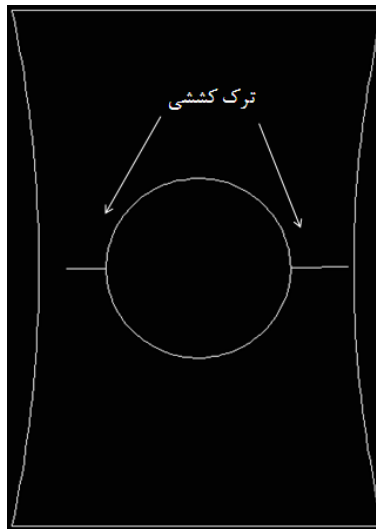
تنش کششی در گوشه های سمت راست و چپ نمونه متمرکز شده است. تنش فشاری نیز در بالا و پایین حفره متمرکز می شود. از آنجاییکه مقاومت کششی مدل کمتر از مقاومت فشاری است، بنابراین این مدلها تحت بار کششی از گوشه ها می شکنند؛ قبل از اینکه شکست تحت بار فشاری در راستای قائم اتفاق افتد.

در نمونه مقعر شکل نسبت $w/B=0.8$ (شکل ۲-الف)، تمرکز تنش کششی و فشاری به ترتیب ۲۹۵۲ و ۱۱۳ پوند بر اینچ مربع است. در نمونه مقعر شکل نسبت $w/B=0.625$ (شکل ۲-ب)، تمرکز تنش کششی و فشاری به ترتیب ۱۱۷۰ و ۱۰۷ پوند بر اینچ مربع است. در نمونه با لبه های تخت و نسبت $w/B=0.5$ (شکل ۲-ج)، تمرکز تنش کششی و فشاری به ترتیب ۱۰۶۷ و ۱۱۳ پوند بر اینچ مربع است. در نمونه محدب شکل با نسبت $w/B=0.35$ (شکل ۲-د)، تمرکز تنش کششی و فشاری به ترتیب ۹۰۰ و ۱۱۲ پوند بر اینچ مربع است. در نمونه محدب شکل با نسبت $w/B=0.25$ (شکل ۲-ه)، تمرکز تنش کششی و فشاری به ترتیب ۸۳۴ و ۱۱۱ پوند بر اینچ مربع است. بطور کلی می توان دریافت که با کاهش نسبت w/B ، تمرکز تنش کششی سمت چپ و راست حفره کاهش می یابد ولی تنش فشاری ماکزیمم همواره ثابت است. به عبارت دیگر برای ایجاد ترک در سمت چپ و راست حفره، به میزان بار بیشتری نیاز است تا تمرکز تنش در این نواحی به حد بحرانی برسد.

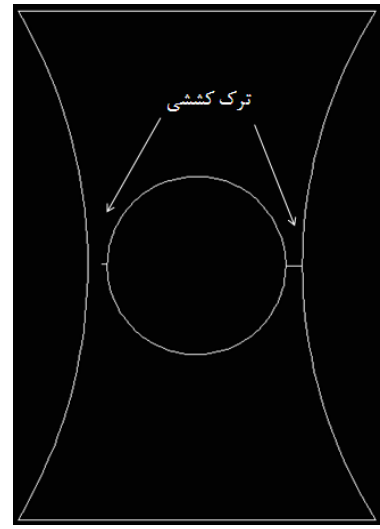
شکل ۳ رشد ترک را در مدل های با شکل هندسی مختلف نشان می دهد. بطور کلی ترک کششی از دیواره حفره آغاز شده و عمود بر جهت تنش کششی رشد می کند. در نمونه های با سطوح مقعر شکل، ترک به لبه نمونه متصل می شود. تمرکز تنش کششی ماکزیمم در نمونه مقعر شکل با نسبت $w/B=0.8$ و 0.625 (شکل ۲-الف و ب) به ترتیب $2/76$ و $1/09$ برابر تمرکز تنش کششی در نمونه با نسبت $w/B=0.5$ است (شکل ۲-ج). به عبارت دیگر تمرکز تنش ماکزیمم ایجاد شده در نمونه های شکل ۳-الف و ب، بقدری زیاد است که منجر به رشد ترک و اتصال آن به لبه نمونه می شود. در نمونه های با سطوح محدب شکل، ترک 25% مسیر را رشد کرده و متوقف می شود. تمرکز تنش کششی ماکزیمم در نمونه محدب شکل با نسبت $w/B=0.35$ و 0.25 (شکل ۳-د و ه) به ترتیب $0/84$ و $0/78$ برابر تمرکز تنش کششی در نمونه با نسبت $w/B=0.5$ است (شکل ۲-ج). به عبارت دیگر تمرکز تنش ماکزیمم ایجاد شده در نمونه های شکل ۳-د و ه برای رشد ترک تا لبه نمونه کافی نمی باشد که منجر به توقف ترک در مدل می شود. لازم به ذکر است که در نمونه با سطوح تخت (شکل ۳-ج)، ترک نیمی از مسیر را رشد می کند. به عبارت دیگر در این آرایش، رشد پایدار ترک اتفاق می افتد یعنی برای رشد ترک به افزایش بارگذاری نیاز است. با مقایسه رشد ترک در مدل های با شکل هندسی مختلف، می توان دریافت که با اعمال تنش خارجی کم در نمونه های مقعر شکل، شکست آنی در این نمونه ها اتفاق می افتد. به عبارت دیگر تمرکز تنش در این نواحی به حدی زیاد است که با اعمال تنش خارجی کم، نمونه می شکنند. این مهم، حساسیت نمونه مقعر شکل را نشان می دهد که در حین نصب و یا آماده سازی فیزیکی احتمال شکست وجود دارد. لذا این هندسه ها برای آزمایش در دستگاه مبدل فشار به کشش پیشنهاد نمی شود. لازم به ذکر است که آماده سازی فیزیکی نمونه مقعر شکل، وقت گیر و زمان بر بوده که این نیز باعث عدم استفاده از این شکل هندسی می گردد.



(ج)



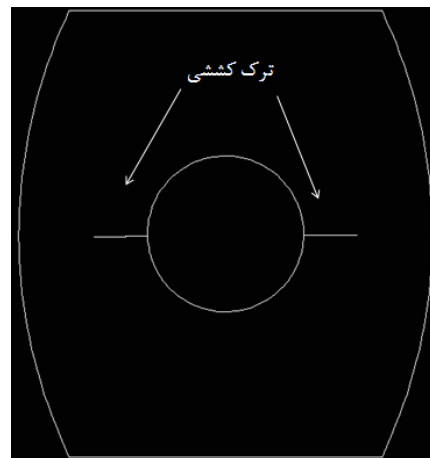
(ب)



(الف)



(ه)



(د)

شکل ۳- الگوی شکست در نمونه های با شکل هندسی مختلف، (الف) نمونه مقعر شکل با نسبت $w/B=0.8$ (ب) نمونه مقعر شکل با نسبت $w/B=0.625$ (ج) نمونه با لبه تخت با نسبت $w/B=0.5$ (د) نمونه محدب شکل با نسبت $w/B=0.35$ (ه) نمونه محدب شکل با نسبت $w/B=0.25$

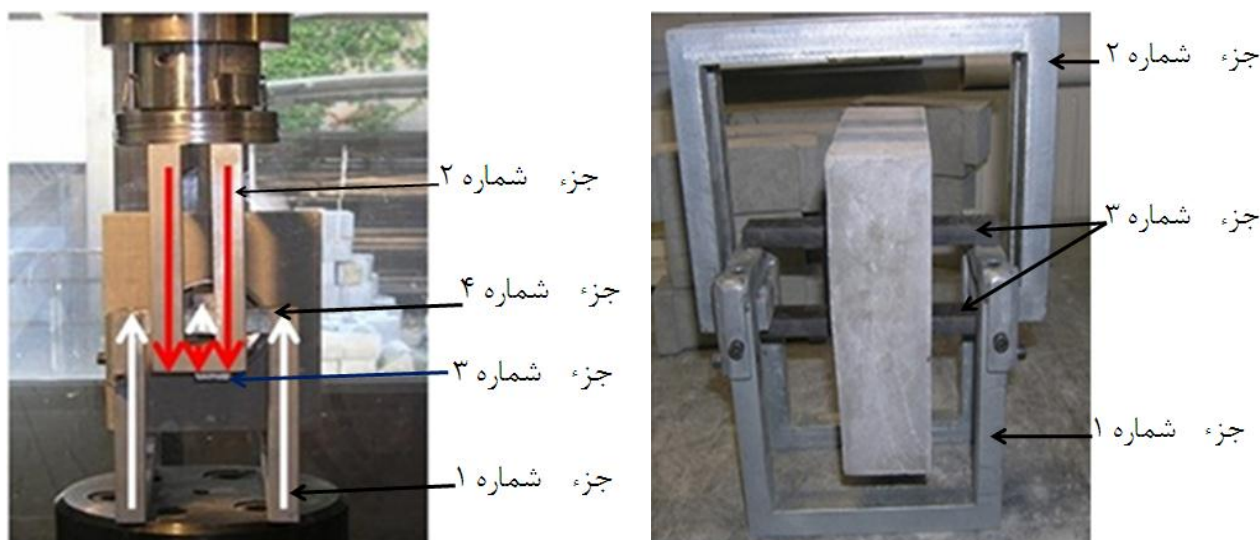
در نمونه های محدب شکل، شکست آنی در نمونه ها اتفاق نمی افتد ولی برای شکست به افزایش بارگذاری نیاز است. در این شرایط ترک بطور مستقیم رشد نمی کند بلکه با زاویه ۴۵ درجه منتشر می شود. این مهم، تجزیه و تحلیل نتایج را برای تعیین مقاومت کششی نمونه با مشکل مواجه می سازد. همچنین مقاومت زیاد نمونه باعث می شود که به تنش خارجی زیادی برای شکست نیاز باشد که ممکن است امکان تامین این بار توسط ماشین بارگذاری ممکن نباشد. لذا این هندسه ها برای آزمایش در دستگاه مبدل فشار به کشش پیشنهاد نمی شود. لازم به ذکر است که آماده سازی فیزیکی نمونه محدب شکل، وقت گیر و زمان بر بوده که این نیز باعث عدم استفاده از این شکل هندسی می شود. بنابراین نمونه با سطوح تخت برای کاربرد در آزمایش فیزیکی انتخاب می شود.

۳- مطالعات آزمایشگاهی:

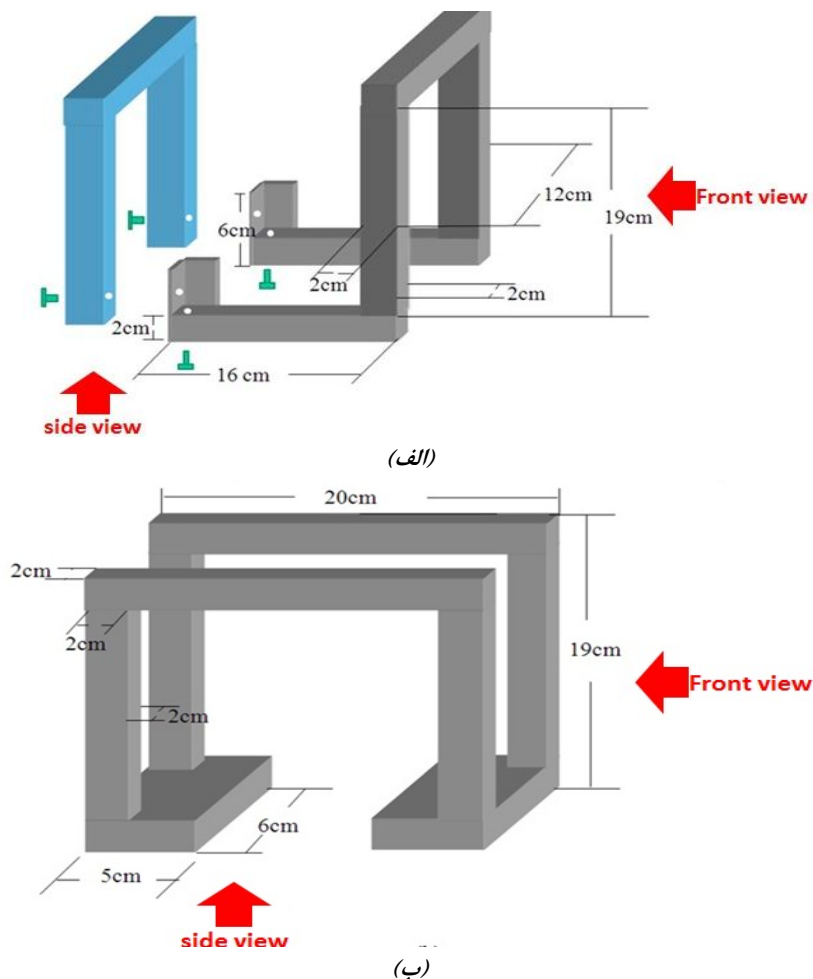
هدف این مقاله ارزیابی عملکرد دستگاه تبدیل بار فشاری به کششی و تعیین الگوی شکست نمونه بتنی است. مواد استفاده شده برای این مطالعه ترکیبی از آب، ماسه ریزدانه و سیمان می باشد. دلیل انتخاب این مواد این است که اولاً مشابه سنگ رفتار می نمایند و می توانند نماینده طیف گسترده‌ای از سنگ های شکننده باشند. ثانیاً می توان نتایج حاصل از مطالعات آزمایشگاهی قبلی انجام شده با این مواد را با نتایج جدید مقایسه کرد، ثالثاً می توان تعداد زیادی نمونه را با هندسه مورد نظر آماده سازی نمود و رابعاً می توان آزمایش‌ها را مکرراً انجام داد و نتایج را با یکدیگر مقایسه نمود. در این آزمایش، نمونه ها از ترکیب آب، ماسه ریز دانه و سیمان با نسبتهای ۴۰٪، ۳۰٪ و ۳۰٪ آماده می شوند. نمونه مورد آزمایش، مکعبی شکل با ابعاد $190\text{ mm} \times 60\text{ mm} \times 150\text{ mm}$ و حاوی حفره مرکزی با قطر 75 mm و ارتفاع 60 mm می باشد. نسبت قطر حفره به عرض نمونه برابر $0/5$ است. پروسه آماده سازی نمونه توسط سرفرازی و همکاران [۲۳] ارائه شده است.

۳-۱- معرفی دستگاه تبدیل بار فشاری به بار کششی

دستگاه تبدیل بار فشاری به بار کششی از ۶ قسمت تشکیل شده است (شکل ۴). جزء شماره ۱ که U شکل می باشد از فولاد ضد زنگ ساخته شده است. این جزء به دو بخش جداگانه "L" و "I" شکل قابل تفکیک است. جزء شماره ۲ دارای شکل "II" بوده و غیر قابل تفکیک است. ابعاد این دو جزء در شکل ۵-الف و ب نشان داده شده است. جزء شماره ۳ از دو فولاد ضد زنگ نیمه استوانه ای با ابعاد $60\text{ mm} \times 75\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ ساخته شده است. جزء شماره ۴ شامل دو تیغه فولادی با ابعاد $20\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 190\text{ mm}$ می باشد. مراحل نصب نمونه در دستگاه مبدل بار فشاری به کششی توسط سرفرازی و همکاران [۱] ارائه شده است.



شکل ۴- اجزاء دستگاه مبدل فشار به کشش و نمونه



شکل ۵- ابعاد اجزاء شماره ۱ و ۲، سرفرازی و همکاران [۲۳].

۳-۲- روند انجام تست کشش:

شکل ۶ ماشین فشاری تک محوره مورد استفاده برای آزمایش کشش را نشان می دهد. دستگاه CTT حاوی نمونه معلق درون این ماشین قرار می گیرد (شکل ۶). زمانی که این سیستم در ماشین بار گذاری تک محوره قرار می گیرد، صفحه بارگذاری بالایی ماشین فشاری به قالب بالایی فشار اعمال می کند. این فشار به سمت پایین حفره منتقل شده و نمونه به طرف پایین حرکت می کند. همچنین صفحه بارگذاری پایینی ماشین فشاری به قالب پایینی فشار اعمال می نماید. این فشار به سمت بالایی حفره منتقل شده و نمونه به طرف بالا حرکت می کند. با توجه به اینکه نیمی از نمونه به سمت بالا و نیمه دیگر به سمت پایین جابجا می شود، بنابراین حفره تحت بار کششی قرار می گیرد.

در نمونه آزمایش شده توسط دستگاه تک محوره (شکل ۶)، سطوح افقی بالا و پایین نمونه در راستای x هیچ جابجایی ندارند که این مسئله در مدلسازی عددی لحاظ شده است.

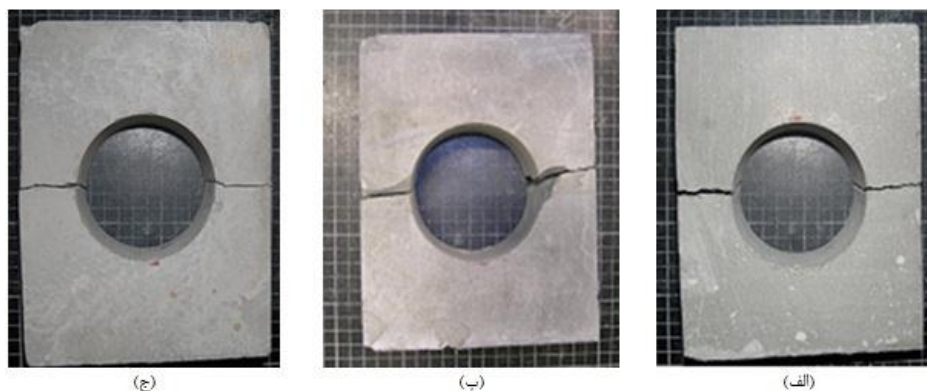
همچنین در آزمایش فشاری واقعی، نمونه در قالب مخصوص معلق است (شکل ۶). هر چند سطح زیرین قالب در جهت Y (عمود) ثابت است ولی صفحه بالایی در راستای Y- جابجایی دارد (خط چین آبی رنگ) که عکس العمل نیروی وارده توسط صفحه بالایی از طریق صفحه زیرین به نمونه اعمال می شود (خط توپر قرمز رنگ). معلق بودن نمونه باعث می شود که بخش بالا و پایین حفره به ترتیب در راستای Y- و Y جابجایی نشان دهند؛ لذا تغییر شکلهای در هر دو طرف ایجاد می شود. این رفتار در مدلسازی عددی نیز رعایت شده است.

یک سلول بار هیدرولیکی ۳۰ تنی، بار فشاری را به انتهای صفحات دستگاه CTT اعمال می نماید. یک سلول بار الکتریکی برای اندازه گیری افزایش بارگذاری استفاده می گردد. برای اینکه اثر نرخ بارگذاری بر نتایج آزمایش محو گردد، بار با نرخ ثابت 0.02 MPa/s بر نمونه اعمال می گردد. این نرخ در محدوده نرخ بارگذاری پیشنهاد شده توسط استاندارد ASTM برای تست مقاومت کششی برزلی می باشد [۲۴].

در مجموع، سه نمونه حاوی حفره مرکزی تحت آزمایش کشش مستقیم و سه نمونه تحت آزمایش برزلی قرار گرفت. بطور کلی شکست کششی در مرکز نمونه های حاوی حفره مرکزی مشاهده شد (شکل ۷). ترک از مرز سمت چپ و راست حفره آغاز شده، عمود بر جهت تنش کششی رشد کرده و به دیواره نمونه متصل می شود.



شکل ۶- دستگاه بارگذاری فشاری و نحوه بارگذاری نمونه.



شکل ۷- الگوی شکست کششی در نمونه های حاوی حفره مرکزی

۴- اعتبار سنجی نتایج با روش ناپیوستگی جابجایی

۴-۱- روش ناپیوستگی جابجایی بالاتر

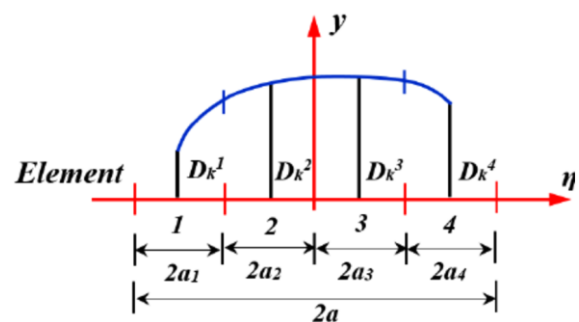
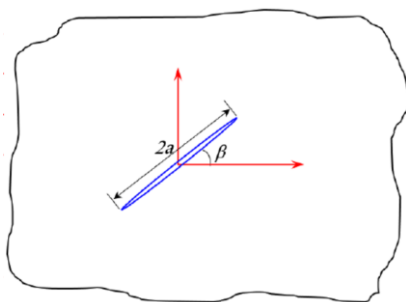
روش ناپیوستگی جابجایی یک روش المان مرزی غیر مستقیم است که توسط کروش [۲۵ و ۲۶] توسعه داده شده است. این روش برای مدلسازی مسائل گسترش ترک در مکانیک شکست سنگ بسیار کاربردی و مناسب است. در این روش میزان تغییر شکل نرمال و موازی با ترک به راحتی قابل محاسبه است. شکل ۸ توزیع ناپیوستگی جابجایی مرتبه دوم را نشان می دهد. اگر بخش ناپیوستگی در جابجایی ها در طول المان ثابت نباشد و بطور خطی یا کوادراتیک تغییر کند آنگاه المان فوق را المان با مرتبه بالا دانسته و از فرمول های ۳-۱۰ برای محاسبه ناپیوستگی در جابجایی ها در طول آن المان استفاده می شود [۲۷]. از دسته المان های چهارتایی برای حالت کوئیک استفاده شده است. ضمناً طول المان ها در هر دسته المان با هم مساوی در نظر گرفته شده است (یعنی $a_1 = a_2, a_2 = a_3, a_3 = a_4$). شکل ۸ دسته المان های چهارتایی برای حالت کوئیک را نشان می دهد.

a_1, a_2, a_3, a_4 نصف طول چهار زیر المان موجود در یک المان کوپیک می باشد. در یک المان کوپیک، چهار گره موجود در مرکز چهار زیر المان به عنوان نقاط برهم نهی شناخته می شوند.

$$D_i^j(\varepsilon) = \Gamma_1(\varepsilon)D_i^1 + \Gamma_2(\varepsilon)D_i^2 + \Gamma_3(\varepsilon)D_i^3 + \Gamma_4(\varepsilon)D_i^4 \quad i = x, y, j = 1, 2, 3, 4 \quad (3)$$

که در آن D_i^1, D_i^2, D_i^3 و D_i^4 جابجایی ناپیوستگی های کوپیک در یک المان ناپیوستگی - جابجایی می باشد و با فرض $a_1 = a_2 = a_3 = a_4$ توابع شکل به صورت زیر تعریف می گردد.

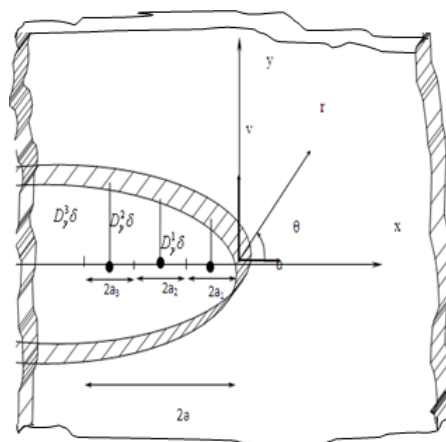
$$\begin{aligned} \Pi_1(\varepsilon) &= -(3a_1^3 - a_1^2\varepsilon - 3a_1\varepsilon^2 + \varepsilon^3)/(48a_1^3), \\ \Pi_2(\varepsilon) &= (9a_1^3 - 9a_1^2\varepsilon - a_1\varepsilon^2 - \varepsilon^3)/(16a_1^3), \\ \Pi_3(\varepsilon) &= (9a_1^3 + 9a_1^2\varepsilon - a_1\varepsilon^2 - \varepsilon^3)/(16a_1^3), \\ \Pi_4(\varepsilon) &= -(3a_1^3 + a_1^2\varepsilon - 3a_1\varepsilon^2 - \varepsilon^3)/(48a_1^3) \end{aligned} \quad (4)$$



شکل ۸- المان کوپیک برای یک المان ناپیوستگی - جابجایی مرتبه بالا [۲۲]

۴-۱-۱- المان های ویژه نوک ترک^۱

به منظور افزایش دقت در محاسبه ناپیوستگی در جابجایی های قائم $D_y(\delta)$ و برشی $D_x(\delta)$ یا به طور کلی $D_j(\delta)$ می توان از یک یا چند المان مخصوص نوک ترک استفاده کرد. سه المان ویژه نوک ترک با طول $2l$ در شکل ۹ نشان داده شده است که برای آن متغیرهای ناپیوستگی جابجایی در طول المان بدست آورده شده است. δ فاصله از نوک ترک می باشد.



شکل ۹- سه المان مخصوص نوک ترک [۲۲]

^۱special crack tip element

$$D_j(\delta) = [\Gamma_{C1}(\delta)]D_j^1(a) + [\Gamma_{C2}(\delta)]D_j^2(a) + [\Gamma_{C3}(\delta)]D_j^3(a) \quad (5)$$

که در آن $\Gamma_{C1}(\delta)$ ، $\Gamma_{C2}(\delta)$ ، $\Gamma_{C3}(\delta)$ توابع شکل برای المان نوک ترک می‌باشند و با فرض $a_1 = a_2 = a_3 = a_4$ به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\Gamma_{C1}(\delta) = \frac{15\delta^{\frac{1}{2}}}{8a_1^{\frac{1}{2}}} - \frac{\delta^{\frac{3}{2}}}{a_1^{\frac{3}{2}}} + \frac{\delta^{\frac{5}{2}}}{8a_1^{\frac{5}{2}}}, \quad (6)$$

$$\Gamma_{C2}(\delta) = \frac{-5\delta^{\frac{1}{2}}}{8a_1^{\frac{1}{2}}} + \frac{3\delta^{\frac{3}{2}}}{2\sqrt{3}a_1^{\frac{3}{2}}} - \frac{\delta^{\frac{5}{2}}}{4\sqrt{3}a_1^{\frac{5}{2}}},$$

$$\Gamma_{C3}(\delta) = \frac{3\delta^{\frac{1}{2}}}{8\sqrt{5}a_1^{\frac{1}{2}}} - \frac{\delta^{\frac{3}{2}}}{2\sqrt{5}a_1^{\frac{3}{2}}} + \frac{\delta^{\frac{5}{2}}}{8\sqrt{5}a_1^{\frac{5}{2}}}$$

توابع پتانسیل $F_c(x,y)$ و $g_c(x,y)$ نسبت به x و y برای سه المان ویژه نوک ترک می‌تواند بصورت زیر تعریف گردد:

$$F_C(x,y) = \frac{-1}{4\pi(1-\nu)} \int_{-a}^a D_x(\delta) \ln[(x-\delta)^2 + y^2]^{\frac{1}{2}} d\delta, \quad (7)$$

$$g_C(x,y) = \frac{-1}{4\pi(1-\nu)} \int_{-a}^a D_y(\delta) \ln[(x-\delta)^2 + y^2]^{\frac{1}{2}} d\delta$$

با جایگذاری تابع جابجایی ناپیوستگی $D_j(\delta)$ (معادله (5)) در معادله (7)

$$F_C(x,y) = \frac{-1}{4\pi(1-\nu)} \left\{ \left[\int_{-a}^a \Gamma_{C1}(\delta) \ln[(x-\delta)^2 + y^2]^{\frac{1}{2}} d\delta \right] D_x^1 + \left[\int_{-a}^a \Gamma_{C2}(\delta) \ln[(x-\delta)^2 + y^2]^{\frac{1}{2}} d\delta \right] D_x^2 + \left[\int_{-a}^a \Gamma_{C3}(\delta) \ln[(x-\delta)^2 + y^2]^{\frac{1}{2}} d\delta \right] D_x^3 \right\}, \quad (8)$$

$$g_C(x,y) = \frac{-1}{4\pi(1-\nu)} \left\{ \left[\int_{-a}^a \Gamma_{C1}(\delta) \ln[(x-\delta)^2 + y^2]^{\frac{1}{2}} d\delta \right] D_y^1 + \left[\int_{-a}^a \Gamma_{C2}(\delta) \ln[(x-\delta)^2 + y^2]^{\frac{1}{2}} d\delta \right] D_y^2 + \left[\int_{-a}^a \Gamma_{C3}(\delta) \ln[(x-\delta)^2 + y^2]^{\frac{1}{2}} d\delta \right] D_y^3 \right\},$$

با جایگذاری $\Gamma_{C1}(\delta)$ ، $\Gamma_{C2}(\delta)$ و $\Gamma_{C3}(\delta)$ (معادله (6)) در معادله (8) و انتگرال‌های I_{C1} ، I_{C2} و I_{C3} به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$I_{C1}(x,y) = \int_{-a}^a \delta^{\frac{1}{2}} \ln[(x-\delta)^2 + y^2]^{\frac{1}{2}} d\delta, \quad (9)$$

$$I_{C2}(x,y) = \int_{-a}^a \delta^{\frac{3}{2}} \ln[(x-\delta)^2 + y^2]^{\frac{1}{2}} d\delta$$

$$I_{C3}(x,y) = \int_{-a}^a \delta^{\frac{5}{2}} \ln[(x-\delta)^2 + y^2]^{\frac{1}{2}} d\delta$$

بنابراین بر اساس تئوری مکانیک شکست الاستیسیته‌ی خطی (LEFM)، فاکتور شدت تنش حالت I و II (K_I و K_{II})

می‌تواند به صورت زیر نوشته شود:

$$K_I = \frac{\mu}{4(1-\nu)} \left(\frac{2\pi}{a_1} \right)^{\frac{1}{2}} DD_y(\ell_1), \quad \text{and} \quad K_{II} = \frac{\mu}{4(1-\nu)} \left(\frac{2\pi}{a_1} \right)^{\frac{1}{2}} DD_x(a_1)$$

که در آن μ و ν به ترتیب مدول برشی و پواسون هستند.

۴-۲- نحوه مدل سازی:

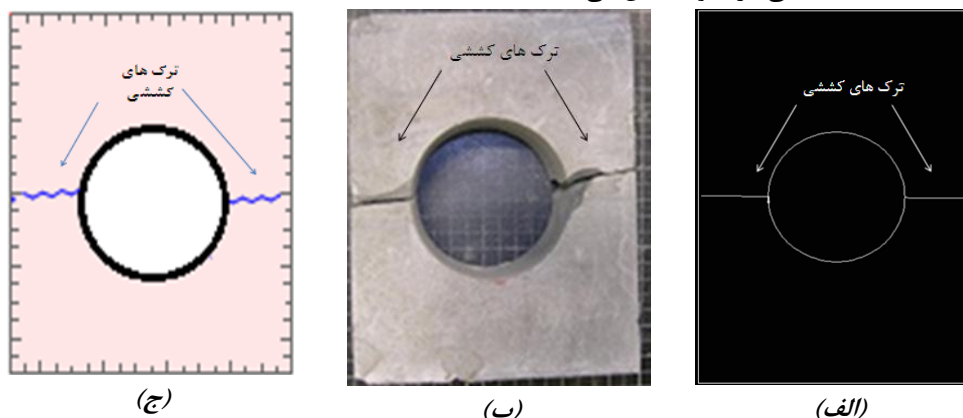
در تحقیقات با رویکرد تحلیلی، امکان مطالعه انتشار و بهم پیوستگی ترک ها در مکانیسم شکست مواد ترد (مواد بتنی و شبه سنگی) بسیار مشکل و وقت گیر می باشد. بنابراین، آزمون های آزمایشگاهی برای مطالعه الگو های انتشار و بهم پیوستگی ترک ها مناسب هستند. همچنین تست های آزمایشگاهی برای اعتبار سنجی نتایج تحلیلی و عددی مفید می باشند. بنابراین نتایج بدست آمده از روش عددی با نتایج روش آزمایشگاهی مقایسه شده تا صحت و دقت استفاده از روش ناپیوستگی جابجایی با مرتبه بالا تأیید شود.

در فرآیند عددی انتشار ترک ها به روش گام به گام که در هر گام مقادیر فاکتورهای شدت تنش (K_I^N و K_{II}^N) و زاویه شروع ترک ها محاسبه گردیده است. در این مرحله، گسترش ترک از محیط حفره مرکزی به اندازه ۱ mm تا ۲ mm توسعه یافته و به مرز خارجی نمونه می رسد.

برای هر نمونه تکرار گام های افزایشی طول ترک متفاوت بوده است. در صورتی که بر اساس معیار ترک شرایط انتشار را داشته باشد، در گام اول زاویه انتشار از هر نوک ترک تعیین شده و به اندازه ۱ تا ۲ میلیمتر ترک گسترش یافته و گام بعدی هم اندازه گام اول و در جهت زاویه انتشار به مدل اضافه می شود و مرحله قبل تا زمان رسیدن ترک ها به مرز نمونه تکرار می گردد. با توجه به تأثیر نسبت المان نوک ترک به نصف طول ترک (L/b)، با انجام آنالیز حساسیت مقدار 0.2 برای این نسبت در نظر گرفته شده است. به منظور مدل سازی رشد ترک توسط روش ناپیوستگی جابجایی، نمونه مستطیلی با حفره مرکزی با ابعاد نمونه $190\text{ mm} \times 150\text{ mm}$ ساخته شد. قطر حفره مرکزی 75 mm می باشد. علاوه بر این، در تقسیم مرز های خارجی مدل 30 المان مرتبه بالا (کوبیک)، مرز های حفره 10 المان مرتبه بالا (کوبیک)، 3 المان مخصوص نوک ترک و همچنین 2 المان مرتبه بالا (کوبیک) در هر امتداد طول ترک افزایشی و 1 المان مخصوص نوک ترک به طول هر ترک افزایشی قبلی اضافه شده، استفاده شده است. چقرمگی شکست مود I برابر $0.3\text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ انتخاب شد. این مدل تحت تنش خارجی $2/5\text{ MPa}$ قرار می گیرد.

۳-۳- مقایسه الگوی شکست نمونه آزمایشگاهی و مدل عددی

شکل ۱۰ الگوی شکست را در مدل عددی FRANC2D، نمونه فیزیکی و مدل عددی جابجایی ناپیوستگی را نشان می دهد. مقایسه الگوی شکست در نمونه فیزیکی و مدل های عددی FRANC2D و روش عددی ناپیوستگی جابجایی حاکی از آن است که الگوی شکست کششی در تمام نمونه ها اتفاق می افتد. ترک کششی از لبه نمونه آغاز شده و عمود بر جهت تنش کششی رشد کرده و به لبه نمونه متصل می شود. این مهم اعتبار دستگاه تبدیل بار فشار به کشش را در ایجاد شکست کششی در نمونه نشان می دهد.



شکل ۱۰- الگوی شکست، (الف) مدل عددی FRANC، (ب) نمونه فیزیکی، (ج) مدل عددی ناپیوستگی جابجایی مرتبه بالا تر

۳- بحث و نتیجه گیری:

با استفاده از شبیه سازی عددی FRANC2D اثر شکل هندسی نمونه بر الگوی شکست مشخص گردید و بهترین شکل هندسی برای کاربرد در دستگاه مبدل فشار به کشش ارائه شد. بطور کلی نتایج مدلسازی حاکی از این است که با کاهش نسبت قطر حفره به عرض نمونه، تمرکز تنش پیرامون حفره کاهش می یابد بگونه ای که تنش بیشتری برای شکست نیاز می باشد. همچنین با افزایش نسبت قطر حفره به عرض نمونه، تمرکز تنش پیرامون حفره افزایش می یابد بگونه ای که با اعمال کمترین تنش، شکست در نمونه اتفاق می افتد. براین اساس نمونه ای با سطوح تخت برای آزمایش پیشنهاد شد. نمونه مکعبی بتنی دارای سطوح تخت با ابعاد $190 \text{ mm} \times 60 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ و حاوی حفره مرکزی با قطر 75 mm می باشد. این نمونه در دستگاه مبدل فشار به کشش جایگذاری می شود. ابزار CTC برای تعیین مقاومت کششی مستقیم سنگ توسعه داده شده است. این دستگاه دارای ۶ بخش می باشد که پیرامون نمونه نصب می شود. زمانی که این سیستم در ماشین بار گذاری تک محوره قرار می گیرد، صفحه بارگذاری بالایی ماشین فشاری به قالب بالایی فشار اعمال می کند. این فشار به قسمت پایین حفره منتقل شده و نمونه به طرف پایین حرکت می کند. همچنین صفحه بارگذاری پایینی ماشین فشاری به قالب پایینی فشار اعمال می نماید. این فشار به قسمت بالایی حفره منتقل شده و نمونه به طرف بالا حرکت می کند. با توجه به اینکه نیمی از نمونه به سمت بالا و نیمه دیگر به سمت پایین جابجا می شود، بنابراین حفره تحت بار کششی قرار می گیرد و شکست کششی را در نمونه ایجاد کرد. مقایسه الگوی شکست در نمونه فیزیکی و مدل‌های عددی FRANC2D و روش عددی ناپیوستگی جابجایی حاکی از آن است که الگوی شکست کششی در تمام نمونه ها اتفاق می افتد. ترک از لبه نمونه آغاز شده و عمود بر جهت تنش کششی رشد کرده و به لبه نمونه متصل می شود. این مهم بیانگر اعتبار دستگاه تبدیل بار فشاری به کششی در ایجاد شکست کششی در نمونه می باشد.

۴- قدردانی:

شایسته است از همکاری و هم اندیشی گروه محترم مهندسی مکانیک سنگ دانشگاه صنعتی همدان، که تمامی آزمایشهای انجام شده این پروژه با استفاده از امکانات و تجهیزات آن دانشکده محترم محقق گردیده است، نهایت سپاس را داریم.

۵- مراجع:

- [1] Wan Ibrahim, MH., Hamzah, AF., Jamaluddin, N., Ramadhansyah, PJ., Fadzil, AM.; 2015; "Split Tensile Strength on Self-compacting Concrete Containing Coal Bottom Ash"; *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 198, pp. 2280-2289.
- [2] Tiang, Y., Shi, S., Jia, K., Hu, S.; 2015; "Mechanical and dynamic properties of high strength concrete modified with lightweight aggregates presaturated polymer emulsion"; *Construction and Building Materials*, Vol. 93, pp. 1151-1156.
- [3] Luong, M.; 1990; "tensile and shear strength of concrete and rock"; *Engineering fracture mechanic*, Vol. 35(1-3), pp. 127-135.
- [4] Joseph, O.; 2012; "Flexural and Tensile Strength Properties of Concrete Using Lateritic sand and quarry Dust as Fine Aggregate"; *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 7(3), pp. 324-331.
- [5] Silva, RV., Brito, J., Dhir, RK.; 2015; "tensile strength behaviour of recycled aggregate concrete, *Construction and Building Materials*"; Vol. 83, pp. 108-118.
- [6] Gerges, N., Issa, C., Fawaz, S.; 2015; "Effect of construction joints on the splitting tensile strength of concrete"; *Case Studies in Construction Materials*, Vol. 3, pp. 83-91.
- [7] Liu, X., Nie, Z., Wu, S., Wang, C.; 2015; "Self-monitoring application of conductive asphalt concrete under indirect tensile deformation"; *Case Studies in Construction Materials*, Vol. 3, pp. 70-77.

- [8] Mobasher, B., Bakhshi, M., Barsby, C.; 2014; "Backcalculation of residual tensile strength of regular and high performance fiber reinforced concrete from flexural tests"; *Construction and Building Materials*, Vol. 70, pp. 243-253.
- [9] Kim, J., Taha, M R.; 2014; "Experimental and Numerical Evaluation of Direct Tension Test for Cylindrical Concrete Specimens"; *Advances in civil engineering*, Vol. 2014, pp. 1-8.
- [10] Rocco, R., Guinea, G.V., Palans, J.; 2001; "Elices M, Review of the splitting-test standards from a fracture mechanics point of view"; *cement and concrete research*, Vol. 31(1), pp. 73-82.
- [11] Gomez, J T., Shukla, A., Sharma, A.; 2001; "Static and dynamic behavior of concrete and granite in tension with damage"; *Theor Appl Fract Mech*, Vol. 36, pp. 37-49.
- [12] Mier, J G M., Vliet, M R A.; 2002; "Uniaxial tension test for the determination of fracture parameters of concrete"; *Eng Fract Mech*, Vol. 69, pp. 235-247.
- [13] Yerlici, A.; 1965; "Behavior of plain concrete under axial tension"; *ACI Journal*, August, p. 987.
- [14] Castro-Montero, A., Jia, Z., Shah, S.P.; 1995; "Evaluation of damage in brazilian test using holographic interferometry"; In: *ACI Materials Journal* 92, No. 3: 268-275.
- [15] Hannant, D.J., Buckley, K.J., Croft, J.; 1973; "The effect of aggregate size on the use of the cylinder splitting test as a measure of tensile strength"; In: *Materials and Structures* 6, No. 31: 15-21.
- [16] Tedesco, J.W., Ross, C.A., Kuennen, S.T.; 1973; "Experimental and numerical analysis of high strain rate splitting tensile tests: In: *ACI Materials Journal* 90, No. 2: 162- 169.
- [17] Pandit, G.S.; 1970; "Discussion on the paper, concrete rings for determining tensile strength of concrete"; *ACI Journal*, October, 847-848.
- [18] Chen, W. F.; 1970; "Double Punch Test for Tensile Strength of Concrete"; *Journal of the American Concrete Institute*; Vol 1(67), pp. 993-995.
- [19] Elayesh S. M.; 2009; "Performance of laterite aggregate concrete". Un published M. Eng. Thesis. University Teknologi, Malaysia.
- [20] BS 1881-118; 1983; "Method for determining flexural strength, British Standards Institution"; London.
- [21] Haeri, H., Shahriar, K., Fatehi Marji, M ,Moarefvand, P.; 2013; "using of DDM for investigation of crack propagation in rock-like material"; *journal of analytical and numerical methods in mining engineering*, Vol. 5, pp. 38-49. (in Persian)
- [22] Marji, M.F.; 2013; "On the Use of Power Series Solution Method in the Crack Analysis of Brittle Materials by Indirect Boundary Element Method"; *Engin Fract Mech*, Vol. 98, pp. 365-382.
- [23] Sarfarazi, V., Ghazvinian, A., Schubert, W., Nejati, H., Hadei, R.; 2016; "A New Approach for Measurement of Tensile Strength of Concrete" *Periodica Polytechnica Civil Engineering*; Online First (2016) paper 8328.
- [24] ASTM C496-96.; "Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens"; *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 4. West Conshohocken, PA: ASTM.
- [25] Crouch, S.L.; 1967a; "Analysis of stresses and displacements around underground excavations: an application of the Displacement Discontinuity Method"; *University of Minnesota Geomechanics Report*, Minneapolis, Minnesota.
- [26] Crouch, S.L., 1967b; "Solution of plane elasticity problems by the displacement discontinuity method"; *Int. J. Numer. Methods Eng.*, Vol. 10, pp. 301-343.
- [27] Fatehi Marji, M., Hosseini_Nasab, H., Kohsary A.H.; 2006; "On the uses of special crack tip elements in numerical rock fracture mechanics"; *Int. jour. of Solids and Structures*, Vol. 43, pp. 1669-1692.

Camparison of Failure Pattern in Sample Tested in Compression to Tensile Load Convertor Device Using FRANC2D and Displacement Discontinuity methods

Hadi Haeri*

*Rahsazi & Omran Iran construction Company, Tehran, Iran,
Haerihadi@gmail.com*

Vahab Sarfarazi

Department of Mining Engineering, Hamedan University of Technology, Hamedan, Iran

Jalal Bahrami

Rahsazi & Omran Iran construction Company, Tehran, Iran

Amir khosravi

Rahsazi & Omran Iran construction Company, Tehran, Iran,

Abstract

In this paper, a compressive to tensile load convertor (CTC) device has been introduced which can be used for induction of tensile failure in specimen. This device consisted of 7 different parts. Parts number 1 and 2 which have U shape and Π shape section were made from stainless steel. Parts number 3 and 4 were made from two semi-cylindrical stainless steels with dimension of $10\text{mm} \times 75\text{mm} \times 60\text{mm}$. Parts number 5 and 6 were made from two stainless steels with dimension of $190\text{mm} \times 10\text{mm} \times 20\text{mm}$. The concrete specimens used in this test have rectangle shape with internal pore. This geometry was gained from FRANC2D simulation outputs. The concrete samples have been prepared by mixing water, fine sand and cement by the ratio of 40%, 30% and 30%. The CTC device and sample were inserted in uniaxial test machine. The tensile test was performed by conversion of compression load to tensile load using CTC test. The tensile failure pattern occurred in the sample. For validation of experimental results, numerical simulations have been done using FRANC2D and high order displacement discontinuity method. The good correlation between failure pattern in numerical simulations and experimental test shows the validation of introduced device in induction of tensile failure in specimens.

Keywords: *Compressive to Tensile Converter Device, Tensile Strength, Concrete, FRANC2D, Displacement Discontinuity Method.*

ارزیابی تأثیر حداکثر اندازه سنگدانه بر خواص دوامی بتن‌های معمول

دریافت مقاله: ۱۳۹۶-۷-۱۷

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷-۱-۲۸

ابراهیم قیاسوند

استادیار گروه عمران دانشکده فنی کبودرآهنگ، دانشگاه بوعلی سینا

e.ghiasvand@basu.ac.ir

چکیده:

سنگدانه‌ها را می‌توان مهم‌ترین جزء بتن دانست که حدود ۶۰ تا ۸۰ درصد حجم بتن را به خود اختصاص می‌دهد. از این‌رو خصوصیات بتن تازه و سخت‌شده متأثر از کیفیت سنگدانه‌ها بوده اما نقش آن تاکنون مورد توجه قرار نگرفته است. بر اساس مطالعات انجام‌شده توسط محققین مختلف، می‌توان نفوذپذیری را مهم‌ترین عامل در پایداری بتن دانست. عوامل متعددی نظیر نسبت آب به سیمان، مقدار، شکل و بافت سطحی مصالح سنگی، نوع و عیار سیمان و ... بر میزان نفوذپذیری بتن موثر است. مقاله حاضر، اثر تغییرات حداکثر اندازه سنگدانه را بر خواص دوامی بتن‌های معمول با نسبت آب به سیمان ۰/۵۵، مورد مطالعه قرار داده است. به این منظور پس از آماده‌سازی مصالح سنگی (با حداکثر اندازه دانه‌های ۹/۵، ۱۲/۵، ۱۹ و ۲۵ میلی‌متر و مدول نرمی ثابت) و ساخت بتن، انجام آزمایش‌هایی چون مقاومت فشاری، جذب آب مویینه، جذب آب حجمی، جذب آب سطحی، نفوذ و مهاجرت تسریع‌شده یون کلر در سنین مختلف در دستور کار قرار گرفت. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، به طور کلی با کاهش حداکثر اندازه سنگدانه، مقاومت فشاری بتن‌های مورد بررسی افزایش و پارامترهای دوامی آن‌ها بهبود یافته است.

واژه‌های کلیدی: حداکثر اندازه سنگدانه، مدول نرمی، نفوذپذیری، دوام

۱. مقدمه

امروزه بتن به عنوان یکی از پر مصرف‌ترین مصالح ساختمانی در جهان شناخته شده است. اقتصادی بودن، سهولت دسترسی به اجزاء تشکیل دهنده آن و شکل‌پذیری و پایداری نسبتاً بالای این مخلوط ناهمگن، باعث توجه روزافزون به آن شده است. کاربرد گسترده بتن، لزوم بررسی رفتار و عوامل موثر بر خواص آن را آشکار می‌سازد. بدیهی‌ترین راهکار جهت ساخت بتن‌های با کیفیت (دارای خواص مکانیکی و دوامی مناسب) انتخاب دقیق و هوشمندانه مصالح سازنده آن است. یکی از مهم‌ترین اجزای سازنده بتن که سهم قابل ملاحظه‌ای را به خود اختصاص داده (حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد از اجزای سازنده آن) و تأثیر بسزایی در شکل‌گیری خصوصیات فیزیکی و مکانیکی آن دارد، سنگدانه‌ها است. تصور اولیه در مورد سنگدانه‌ها، بی‌اثر بودن و غیر قابل انبساط بودن آن‌ها بوده که در خمیری از سیمان پخش می‌شوند و حجم بزرگی را با عنوان بتن پدید می‌آورند. اما پس از انجام مطالعات عمیق‌تر، بطلان این تصور آشکار گشت. به بیان دیگر، سنگدانه‌ها بی‌اثر نبوده و خواص فیزیکی، حرارتی و پاره‌ای از اوقات نیز، خواص شیمیایی آن‌ها در عملکرد بتن می‌تواند بسیار اثرگذار باشد [۱-۲]. محققین بتن را ماده‌ای ناهمگن و متشکل از چند فاز (فازهای سنگدانه، خمیر سیمان و ناحیه انتقالی) دانسته‌اند. فاز ناحیه انتقالی (ناحیه تماس سنگدانه‌های درشت و خمیر سیمان) می‌تواند بسیار در خواص مکانیکی و دوامی بتن اثر گذار باشد. از آنجاکه سهم قابل ملاحظه‌ای از حجم بتن به سنگدانه‌ها اختصاص یافته و حدود نیمی از این سهم، مرتبط با سنگدانه‌های درشت است، لذا خصوصیات سازه‌ای و دوامی بتن را می‌توان به میزان زیادی متأثر از خواص سنگدانه‌های درشت دانست [۳]. علاوه بر این، برخی خواص سنگدانه‌ها نظیر کانی‌های سازنده آن، سطح مخصوص، بافت سطحی، اندازه و شکل آن‌ها، مدول الاستیسیته، دانه‌بندی و جذب آب نیز می‌تواند بر روی عملکرد بتن اثرات قابل ملاحظه‌ای داشته باشد [۴-۵].

نتایج تحقیقات صورت گرفته در این زمینه حاکی از آن است که، هر چه اندازه سنگدانه‌ها بزرگتر باشد سطح مخصوص آن‌ها کمتر می‌گردد؛ بنابراین با افزایش اندازه سنگدانه‌ها، آب لازم در مخلوط، جهت دستیابی به کارایی ثابت کاهش خواهد یافت. به طوری که برای یک کارایی و مقدار سیمان معین، می‌توان نسبت آب به سیمان را پایین آورد و در نتیجه، افزایش در مقاومت و بهبود در دوام را حاصل نمود. هم‌چنین با افزایش اندازه سنگدانه، حجم خمیر مورد نیاز در سیستم (عیار سیمان) نیز می‌تواند کاهش یابد. از طرف دیگر، از آنجاکه وجود ذرات بزرگ سنگدانه سبب تشدید ناهمگنی و تضعیف ناحیه انتقالی می‌شود، این موضوع می‌تواند منجر به تضعیف کلی بتن گردد. ضمناً با کاهش حداکثر اندازه سنگدانه‌ها سطح مخصوص بیشتر شده و پیوند قوی‌تری بین خمیر سیمان و مصالح سنگی برقرار می‌شود؛ اما این موضوع می‌تواند مقدار جمع‌شدگی در بتن را افزایش دهد. به طور مثال، با کاهش حداکثر اندازه سنگدانه از ۳۸ میلی‌متر به ۱۹ میلی‌متر، مقدار جمع‌شدگی بتن حدود ۲۵ درصد افزایش می‌یابد. این موضوع را می‌توان به افزایش حجم خمیر سیمان جهت پوشش سطوح سنگدانه‌ها نسبت داد. به بیان دیگر با کاهش اندازه سنگدانه‌ها، جزء مقاوم در برابر جمع‌شدگی (سنگدانه‌ها) کاهش و جزء مسبب جمع‌شدگی (سیمان) در بتن، افزایش می‌یابد. لذا با کاهش یا افزایش حداکثر اندازه سنگدانه، همواره با بهبود خواص بتن روبه‌رو نبوده و لازم است با تجربه کردن، مشخص نمود که کدام یک بر دیگری (برای هر بتن تحت شرایط محیطی خود) غلبه دارد [۱-۲، ۶ و ۷].

در پژوهش حاضر، اثر تغییرات حداکثر اندازه سنگدانه بر برخی خواص دوامی بتن‌های معمول با نسبت آب به سیمان ۰/۵۵، مورد مطالعه قرار گرفته است. ضمناً در کلیه طرح مخلوط‌های مورد بررسی، مدول نرمی سنگدانه‌ها یکسان در نظر گرفته شده است.

۲. برنامه آزمایشگاهی

۱-۲. مصالح مصرفی

سیمان پرتلند نوع دو مورد استفاده در این پژوهش، از کارخانه هکمتانه همدان تهیه شد. همچنین سنگدانه مصرفی نیز از یکی از معادن مصالح سنگی استان همدان، تهیه شد. لازم به ذکر است سنگدانه‌های درشت، مصالح کاملاً شکسته (با درصد شکستگی بیش از ۸۰ درصد) و مصالح ریزدانه نیز، رودخانه‌ای (تقریباً گردگوشه) بودند. در جداول یک و دو به ترتیب ویژگی‌های سیمان و سنگدانه مصرفی و در شکل ۱ نیز، منحنی‌های دانه‌بندی مخلوط سنگدانه مورد استفاده در این پژوهش، ارائه شده است. در هر چهار منحنی دانه‌بندی سنگدانه، مدول نرمی یکسان و برابر با ۴/۴۳ در نظر گرفته شده است. علاوه بر این، طرح مخلوط بتن‌های مورد بررسی در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۱: مشخصات فیزیکی و شیمیایی سیمان نوع دو

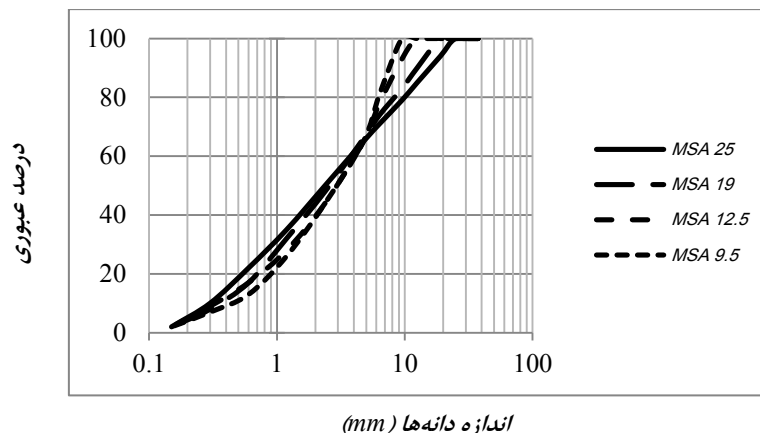
مقدار	مشخصه	مقدار	مشخصه
۰/۷۲	Potassium oxide (K_2O) (%)	۶۳/۵۴	Calcium oxide (CaO) (%)
۰/۵۲	Sodium oxide (Na_2O) (%)	۲۱/۴۴	Silicon dioxide (SiO_2) (%)
۰/۱۵	Titanium oxide (TiO_2) (%)	۱/۴۸	Magnesium oxide (MgO) (%)
۱/۴	LOI (%)	۴/۵۲	Aluminium oxide (Al_2O_3) (%)
۳/۱۲	Specific Gravity	۳/۶۹	Ferric oxide (Fe_2O_3) (%)
۳۳۵۰	Blaine (cm^2/gr)	۲/۲۶	Sulphate oxide (SO_3) (%)

جدول ۲: مشخصات فیزیکی سنگدانه

مقدار	مشخصه
2700 kg/m^3	جرم مخصوص شن (در حالت اشباع با سطح خشک)
2575 kg/m^3	جرم مخصوص ماسه (در حالت اشباع با سطح خشک)
۰/۷	جذب آب شن (درصد)
۲/۶	جذب آب ماسه (درصد)

جدول ۳: طرح مخلوط بتن‌های مورد بررسی

طرح مخلوط	حداکثر اندازه سنگدانه (mm)	سیمان (kg)	آب (kg)	نسبت آب به سیمان	سهم شن (%)	سهم ماسه (%)	شن (kg)	ماسه (kg)	مدول نرمی مخلوط سنگدانه
MSA 9.5	۹/۵	۴۰۰	۲۲۰	۰/۵۵	۳۵	۶۵	۵۷۹/۱	۱۰۷۵/۵	۴/۴۳
MSA 12.5	۱۲/۵	۴۰۰	۲۲۰	۰/۵۵	۳۴	۶۵	۵۶۲/۳	۱۰۹۱/۵	۴/۴۳
MSA 19	۱۹	۴۰۰	۲۲۰	۰/۵۵	۳۵	۶۵	۵۷۹/۱	۱۰۷۵/۵	۴/۴۳
MSA 25	۲۵	۴۰۰	۲۲۰	۰/۵۵	۳۵	۶۵	۵۷۹/۱	۱۰۷۵/۵	۴/۴۳



شکل ۱: منحنی دانه‌بندی مخلوط سنگدانه با حداکثر اندازه سنگدانه متفاوت و مدول نرمی ثابت

۲-۲. روش انجام آزمایش‌ها

در پژوهش حاضر، آزمایش‌های مقاومت فشاری، جذب آب حجمی، جذب آب موئینه، جذب آب سطحی (ISAT)، نفوذ تسریع شده یون کلر (RCPT) و مهاجرت تسریع شده یون کلر (RCMT)، بر روی نمونه‌های بتنی در سنین مختلف انجام شد. در ادامه، روش انجام و جزئیات مربوط به این آزمایش‌ها ذکر شده است:

- مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی با استفاده از نمونه‌های مکعبی $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روز تعیین شد. به این منظور، نمونه‌های بتنی پس از گذشت ۲۴ ساعت از زمان ریختن در قالب، از قالب بیرون آمده و تا سن انجام آزمایش، در محلول آب و آهک اشباع عمل‌آوری شدند.

- جذب آب حجمی نمونه‌ها در سنین ۲۸ و ۹۰ روز تعیین شد. به این منظور، نمونه‌های مکعبی $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ در سن مورد نظر به مدت ۱۴ روز در دمای ۵۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. سپس، پس از هم‌دمای شدن نمونه‌ها با دمای آزمایشگاه و قرائت وزن اولیه آن‌ها، در داخل ظرفی پر از آب غوطه‌ور شدند. پس از ۱۰/۵ و ۲۴ ساعت از آغاز غوطه‌وری، وزن نمونه‌ها بدست آمد. جهت انجام این آزمایش تا حدودی از روش مندرج در استاندارد ASTM C642 [۸]، استفاده شد.

- جذب آب موئینه نمونه‌ها در سنین ۲۸ و ۹۰ روز تعیین شد. به این منظور، نمونه‌های مکعبی $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ در سن مورد نظر به مدت ۱۴ روز در دمای ۵۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. سپس، پس از هم‌دمای شدن نمونه‌ها با دمای آزمایشگاه و قرائت وزن اولیه آن‌ها، به روش مندرج در استاندارد BS EN-480-5 [۹]، این آزمایش انجام شد.

- جذب آب سطحی اولیه نمونه‌ها در سنین ۲۸ و ۹۰ روز تعیین شد. به این منظور، نمونه‌های مکعبی $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ در سن مورد نظر به مدت ۱۴ روز در دمای ۵۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. سپس، پس از هم‌دمای شدن نمونه‌ها با دمای آزمایشگاه، به روش مندرج در استاندارد BS 1881-208 [۱۰]، این آزمایش انجام شد.

- آزمایش نفوذ تسریع شده یون کلر (RCPT) بر اساس استاندارد ASTM C1202 [۱۱] و در سنین ۲۸ و ۹۰ روز انجام شد. در این آزمایش از نمونه‌های استوانه‌ای با قطر ۱۰ و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر، قطعاتی به ضخامت ۵ سانتی‌متر تهیه و پس از اعمال خلأ و اشباع کردن با آب، مورد آزمایش قرار گرفت. نتیجه این آزمایش به صورت بار الکتریکی عبوری از هر نمونه (شار عبوری) گزارش می‌شود. لازم به ذکر است هر نمونه شامل حداقل سه آزمون بود.

- آزمایش مهاجرت تسریع شده یون کلر (RCMT) بر اساس استاندارد AASHTO TP 64 [۱۲] و در سنین ۲۸ و ۹۰ روز انجام شد. نمونه‌های مورد استفاده از این آزمایش مشابه با آزمایش نفوذ تسریع شده یون کلر (RCPT) تهیه شد. در این آزمایش، ابتدا ولتاژ اعمالی بر آزمون‌ها برابر با ۶۰V تنظیم شده و جریان عبوری از هر آزمون اندازه‌گیری می‌شود. در صورت زیاد بودن جریان اولیه عبوری، ولتاژ اعمالی کاهش داده می‌شود تا نرخ جریان کاهش پیدا کرده و از گرم شدن آزمون جلوگیری شود. پس از مدت زمان 18 ± 2 ساعت دستگاه خاموش می‌شود. سپس آزمون به دو نیم شکافته شده و محلول نیترات نقره روی سطح تازه شکافته شده پاشیده شده و با

اندازه‌گیری عمق ناحیه تغییر رنگ داده عمق نفوذ یون کلر تعیین می‌شود. در انتها نرخ نفوذ یون کلر از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

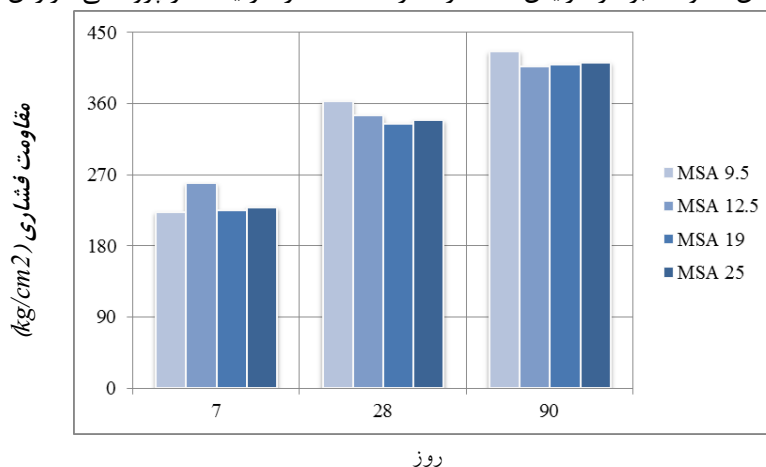
$$M = h / (Vt) \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه M نرخ نفوذ یون کلر بر حسب میلی‌متر بر ولت ساعت، h میانگین عمق نفوذ یون کلر بر حسب میلی‌متر، V ولتاژ اعمال شده به نمونه‌ها بر حسب ولت، t مدت زمان آزمایش بر حسب ساعت می‌باشد. لازم به ذکر است نتایج اعلام شده در این پژوهش، مربوط به نمونه‌ها بوده که هر نمونه شامل حداقل سه نمونه می‌باشد. یکی از معایب مهم روش آزمایش نفوذ تسریع شده یون کلر ($RCPT$)، افزایش دمای ایجاد شده در نمونه به علت عبور جریان تحت اختلاف پتانسیل نسبتاً زیاد ۶۰ ولت می‌باشد. این افزایش دما (گاهاً تا ۴۰ درجه سلسیوس در بتن‌های ضعیف) می‌تواند منجر به کاهش مقاومت الکتریکی بتن گردد و در نتیجه شاهد عبور جریان بیشتری باشیم [۱۳]. خوشبختانه روش آزمایش مهاجرت تسریع شده یون کلر ($RCMT$) دارای چنین نقصی نبوده و با نتایج روش‌های طولانی مدت انطباق خوبی دارد [۱۴].

۳. شرح و تفسیر نتایج

۳-۱. مقاومت فشاری

نتایج مقاومت فشاری مرتبط با طرح مخلوط‌های مورد بررسی در این پژوهش در شکل ۲، قابل ملاحظه است. با دقت در این شکل، رشد مقاومت فشاری بتن در کلیه طرح‌ها با افزایش سن نمونه‌ها کاملاً محسوس است. این موضوع را می‌توان به ادامه و توسعه واکنش‌های هیدراته شدن نسبت داد. ضمناً با کاهش حداکثر اندازه سنگدانه، تا حدودی بر مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی افزوده شده است. این موضوع در سنین ۷ و ۲۸ روز محسوس‌تر است. افزایش مقاومت با کاهش حداکثر اندازه سنگدانه در این پژوهش را می‌توان به بهبود خواص ناحیه انتقالی نسبت داد. همانطور که می‌دانیم سنگدانه‌های درشت‌تر تمایل به تشکیل لایه انتقالی ضعیف‌تر با ریزترک‌های بیشتر دارند. البته این موضوع خصوصاً هنگامی اهمیت می‌یابد که میزان آب آزاد در بتن همانند این مطالعه، ثابت باشد. Zhang و همکاران [۱۵] نیز، کاهش مقاومت بر اثر افزایش حداکثر اندازه سنگدانه را در یک کار پژوهشی گزارش نموده‌اند.



شکل ۲: مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روز

۳-۲. جذب آب حجمی

نتایج آزمایش جذب آب حجمی مرتبط با طرح مخلوط‌های مورد بررسی در این پژوهش در جدول ۴، قابل ملاحظه است. با دقت در این جدول، کاهش میزان جذب آب حجمی نمونه‌های بتنی در کلیه طرح‌ها با افزایش سن نمونه‌ها تا حدودی محسوس است. این موضوع را می‌توان به ادامه و توسعه واکنش‌های هیدراته شدن نسبت داد. به طور مثال میزان جذب آب حجمی ۲۴ ساعته در سن ۹۰ روز برای طرح مخلوط $MSA 9.5$ ، در مقایسه با سن ۲۸

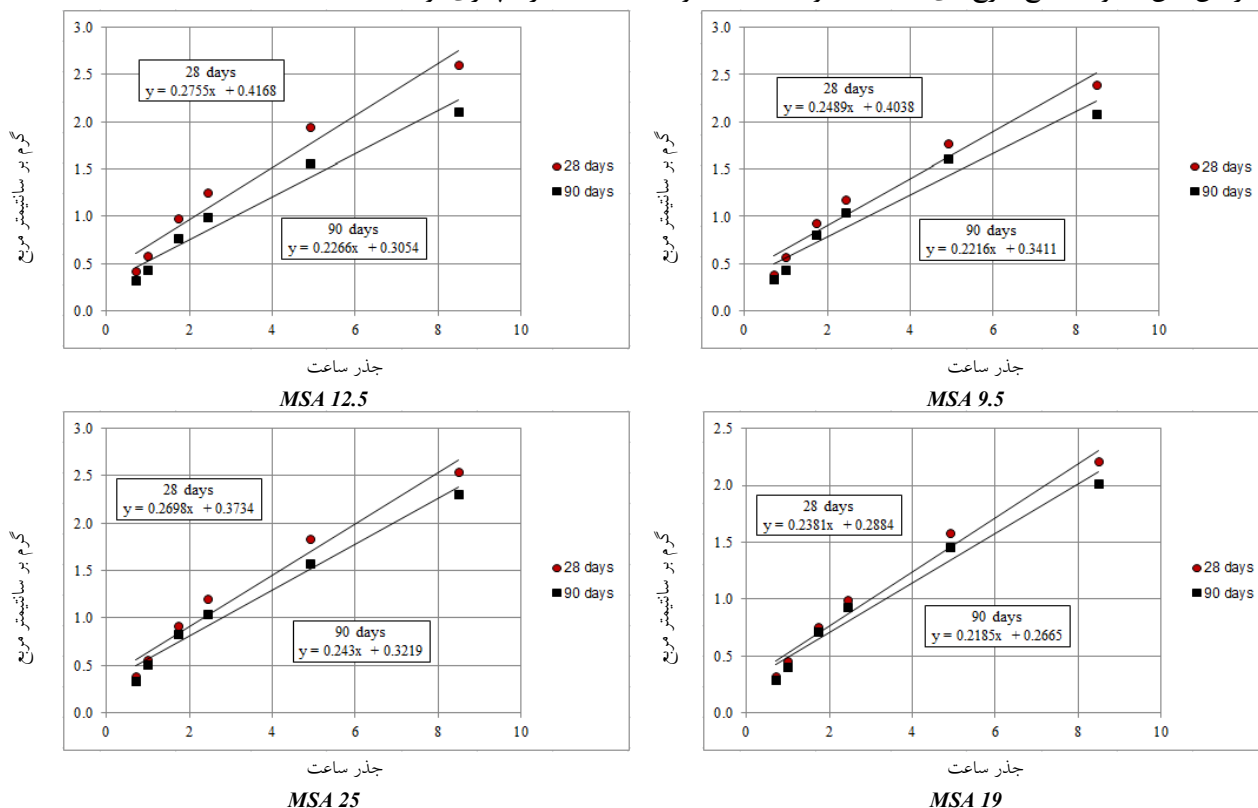
روز، حدوداً ۹ درصد کمتر است. علاوه بر این با افزایش حداکثر اندازه سنگدانه، تا حدودی بر میزان جذب آب حجمی نمونه‌ها افزوده شده است. به طور مثال در سن ۹۰ روز، با افزایش حداکثر اندازه سنگدانه از ۹/۵ به ۲۵ میلیمتر، میزان جذب آب حجمی حدود ۱۱/۶ درصد افزایش یافته است. ضمناً نتایج طرح‌های $MSA 9.5$ و $MSA 12.5$ بسیار به هم نزدیک بوده و تفاوت معنادار نیست. Zhang و همکاران [۱۵] نیز نشان دادند با افزایش حداکثر اندازه سنگدانه، نفوذپذیری افزایش می‌یابد.

جدول ۴: نتایج آزمایش جذب آب حجمی نمونه‌های بتنی در سنین ۲۸ و ۹۰ روز (بر حسب درصد)

طرح	۲۸ روزه				۹۰ روزه			
	نیم‌ساعته	یک‌ساعته	۲۴ ساعته	تغییرات ۲۴ ساعته نسبت به طرح $MSA 9.5$ (%)	نیم‌ساعته	یک‌ساعته	۲۴ ساعته	تغییرات ۲۴ ساعته نسبت به طرح $MSA 9.5$ (%)
$MSA 9.5$	۲/۷	۳/۵۱	۶/۰۵	-	۲/۶۵	۳/۳۶	۵/۵۱	
$MSA 12.5$	۲/۷۶	۳/۶۳	۶	-۰/۸	۲/۷۵	۳/۴۵	۵/۵۳	۰/۳۶
$MSA 19$	۳/۲۷	۴/۱۹	۶/۴۸	۷/۱	۳/۰۳	۳/۸۵	۶/۰۱	۹/۱
$MSA 25$	۳/۳۹	۴/۲۹	۶/۶۶	۱۰/۱	۳/۱۲	۳/۹۱	۶/۱۵	۱۱/۶

۳-۳. جذب آب مویینه

نتایج آزمایش جذب آب مویینه مرتبط با طرح مخلوط‌های مورد بررسی در این پژوهش در شکل ۳ و جدول ۵، قابل ملاحظه است. با دقت در این نتایج ملاحظه می‌شود کمترین و بیشترین میزان جذب آب مویینه در سن ۹۰ روز، به ترتیب مرتبط با نمونه‌های $MSA 19$ و $MSA 25$ است. علاوه بر این، نتایج نمونه‌های $MSA 9.5$ در هر دو سن ۲۸ و ۹۰ روز، بسیار به نمونه‌های $MSA 19$ نزدیک است. از این‌رو می‌توان بیان نمود که با کاهش حداکثر اندازه سنگدانه در مخلوط‌های بتنی، تا حدودی مقادیر جذب آب مویینه کاهش می‌یابد. به طور مثال در سن ۹۰ روز، با افزایش حداکثر اندازه سنگدانه از ۹/۵ به ۲۵ میلیمتر، میزان جذب آب مویینه حدود ۹/۵ درصد افزایش یافته است. ضمناً در این سن، تفاوت نتایج طرح‌های $MSA 9.5$ و $MSA 12.5$ و $MSA 19$ مقدار ناچیزی بوده است.



شکل ۳: جذب آب مویینه نمونه‌های بتنی در سنین ۲۸ و ۹۰ روز

جدول ۵: ضریب مویبگی نمونه‌های بتنی در سنین ۲۸ و ۹۰ روز بر حسب $cm/h0.5$

طرح	۲۸ روزه	تغییرات نسبت به طرح $MSA 9.5$ (%)	۹۰ روزه	تغییرات نسبت به طرح $MSA 9.5$ (%)
$MSA 9.5$	۰/۲۴۹	-	۰/۲۲۲	-
$MSA 12.5$	۰/۲۷۶	۱۱	۰/۲۲۷	۲/۲
$MSA 19$	۰/۲۳۸	-۴/۴	۰/۲۱۸	۱/۸
$MSA 25$	۰/۲۷	۸/۴	۰/۲۴۳	۹/۵

۳-۴. جذب آب سطحی اولیه (ISAT)

در جدول ۶، نتایج جذب آب سطحی اولیه نمونه‌های بتنی در سنین ۲۸ و ۹۰ روز ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود در کلیه نمونه‌ها، میزان این پارامتر با گذشت زمان کاهش یافته است. ضمناً مشابه نتایج بدست آمده در بخش‌های قبل نیز با کاهش حداکثر اندازه سنگدانه، میزان جذب آب سطحی اولیه نمونه‌ها کاهش یافته است. به طور مثال، بهترین و ضعیف‌ترین عملکرد در بین نمونه‌ها، به ترتیب متعلق به نمونه‌های $MSA 9.5$ و $MSA 25$ می‌باشد. همچنین در سن ۹۰ روز می‌توان اشاره نمود که با افزایش حداکثر اندازه سنگدانه از ۹/۵ تا ۲۵ میلیمتر، میزان جذب آب سطحی اولیه به ترتیب حدود ۸/۲، ۱۳/۱ و ۲۳ درصد افزایش یافته است. ضمناً اثر منفی افزایش حداکثر اندازه سنگدانه در نفوذپذیری بتن‌های ساخته شده در این آزمایش مشهودتر است. مشابه نتایج حاصل از این پژوهش، در مطالعات سایر محققین نیز بدست آمده است. Basheer و همکاران [۱۶] نشان دادند با افزایش نسبت درشت‌دانه‌ها به کل سنگدانه در مخلوط، تخلخل محلی در ناحیه انتقال افزایش یافته و به دنبال آن، پارامترهای دوام تضعیف می‌شود. همچنین کاهش اندازه متوسط سنگدانه‌ها در مخلوط نیز، منجر به بهبود ساختار منافذ و افزایش دوام بتن می‌شود.

جدول ۶: نتایج آزمایش جذب آب سطحی اولیه نمونه‌های بتنی در سنین ۲۸ و ۹۰ روز (بر حسب $ml/m2.s$ 2-10)

طرح	۲۸ روزه				۹۰ روزه			
	۱۰ دقیقه	۳۰ دقیقه	۶۰ دقیقه	تغییرات ۶۰ دقیقه نسبت به طرح $MSA 9.5$ (%)	۱۰ دقیقه	۳۰ دقیقه	۶۰ دقیقه	تغییرات ۶۰ دقیقه نسبت به طرح $MSA 9.5$ (%)
$MSA 9.5$	۱۷	۱۲	۱۰	-	۱۰/۷	۷/۵	۶/۱	-
$MSA 12.5$	۱۹	۱۴	۱۰/۶	۶	۱۲	۸/۱	۶/۶	۸/۲
$MSA 19$	۲۱	۱۴	۱۰/۳	۳	۱۲/۵	۸/۵	۶/۹	۱۳/۱
$MSA 25$	۲۳	۱۶	۱۲	۲۰	۱۴	۹/۸	۷/۵	۲۳

۳-۵. نفوذ تسریع شده یون کلر (RCPT)

در جدول ۷، نتایج آزمایش نفوذ تسریع شده یون کلر در سنین ۲۸ و ۹۰ روز برای طرح مخلوط‌های مورد بررسی ارائه شده است. همانند نتایج بدست آمده در سایر آزمایش‌های این پژوهش، بهبود عملکرد نمونه‌های بتنی با افزایش سن در این آزمایش نیز رخ داده است. به بیان دیگر، با افزایش سن نمونه‌ها تا حدودی از میزان نفوذ تسریع شده یون کلر کاسته شده است. علاوه بر این، بهبود عملکرد نمونه‌ها در این آزمایش با کاهش حداکثر اندازه سنگدانه‌ها از ۲۵ به ۱۲/۵ میلی‌متر، بوضوح مشهود است و بهترین عملکرد بین طرح مخلوط‌های مورد بررسی، متعلق به طرح مخلوط $MSA 12.5$ می‌باشد. این موضوع را می‌توان به بهبود ساختار منافذ و تقویت ناحیه انتقالی با کاهش حداکثر اندازه سنگدانه‌ها نسبت داد. البته در بتن‌های ساخته شده از مصالح سنگی با حداکثر اندازه سنگدانه ۹/۵ میلی‌متر، اندکی افزایش نفوذپذیری در مقایسه با $MSA 12.5$ رخ داده است. از آنجاکه در کلیه طرح مخلوط‌های مورد بررسی، حجم خمیر سیمان ثابت بوده و می‌دانیم با کاهش اندازه دانه‌ها، سطح مخصوص آن‌ها و به دنبال آن، تقاضای خمیر بیشتر می‌شود، لذا به نظر می‌رسد حجم خمیر در طرح مخلوط $MSA 9.5$ در مقایسه با $MSA 12.5$ ، نتوانسته سطح سنگدانه‌ها را به خوبی پوشش دهد و از این رو، اندکی نفوذپذیری افزایش یافته است. ضمناً، با دقت در نتایج ملاحظه می‌شود بر اساس معیار تعریف شده در استاندارد $ASTM C1202$ ، کلیه طرح مخلوط‌ها در

هر دو سن آزمایش از حیث نفوذپذیری در برابر یون کلر، در رده بالا قرار دارد. عملکرد ضعیف بتن‌های بررسی شده در این پژوهش در برابر نفوذ یون کلر را می‌توان به عواملی چون، بالا بودن نسبت آب به سیمان و عدم استفاده از مواد مکمل سیمانی (نظیر مواد پوزولانی) در آن‌ها نسبت داد.

جدول ۷: نتایج آزمایش نفوذ و انتقال تسریع شده یون کلر در سنین ۲۸ و ۹۰ روز

RCMT (mm/V.h)			RCPT (Coulomb)			طرح
تغییرات ۹۰ روزه نسبت به طرح MSA 9.5 (%)	۹۰ روزه	۲۸ روزه	تغییرات ۹۰ روزه نسبت به طرح MSA 9.5 (%)	۹۰ روزه	۲۸ روزه	
-	۰/۰۶۳	۰/۰۷۳	-	۶۸۴۰	۷۸۵۶	MSA 9.5
-۶/۳	۰/۰۵۹	۰/۰۶۸	-۱/۷	۶۷۲۰	۷۶۳۵	MSA 12.5
-۱/۶	۰/۰۶۲	۰/۰۷۱	۴/۵	۷۱۵۰	۷۸۶۰	MSA 19
۱/۶	۰/۰۶۴	۰/۰۷۵	۱۲/۵	۷۶۹۰	۸۶۴۰	MSA 25

۳-۶. مهاجرت تسریع شده یون کلر (RCMT)

در جدول ۷، نتایج آزمایش مهاجرت تسریع شده یون کلر در سنین ۲۸ و ۹۰ روز برای طرح مخلوط‌های مورد بررسی ارائه شده است. با دقت در این جدول ملاحظه می‌شود در مقایسه با نتایج آزمایش RCPT، افزایش حداکثر اندازه سنگدانه چندان منجر به افزایش نرخ مهاجرت تسریع شده یون کلر نشده است. ضمناً بهترین عملکرد در بین طرح مخلوط‌های مورد بررسی نیز متعلق به طرح مخلوط MSA 12.5 می‌باشد. به طور مثال، میزان مهاجرت تسریع شده یون کلر در این طرح مخلوط در مقایسه با طرح مخلوط MSA 25 در سن ۹۰ روز، حدود ۸ درصد کاهش یافته است.

۴. نتیجه گیری

قبل از ارائه کلی نتایج بدست آمده از این پژوهش، لازم است فرضیات حاکم بر آن مجدداً یادآوری گردد تا از تعمیم نتایج حاصله برای کلیه بتن‌ها پرهیز شود. در مطالعه حاضر، در تمامی بتن‌های حجم خمیر سیمان و مدول نرمی مصالح سنگی یکسان بوده است. لذا با توجه به این موضوع می‌توان مهم‌ترین نتایج حاصل از این پژوهش را به صورت مندرج در ذیل خلاصه نمود:

- به طور کلی در بتن‌های مورد بررسی، با کاهش حداکثر اندازه سنگدانه (از ۲۵ به ۱۲/۵ میلی‌متر) پارامترهای مرتبط با نفوذپذیری بتن بهبود یافته و در نتیجه، دوام بتن افزایش می‌یابد. این موضوع خصوصاً در نتایج آزمایش جذب آب سطحی اولیه مشهود بوده و با افزایش حداکثر اندازه سنگدانه تا ۲۵ میلیمتر، حدود ۲۳ درصد میزان این پارامتر افزایش یافته است.

- به طور کلی، در بتن‌های مورد بررسی در این پژوهش، با کاهش حداکثر اندازه سنگدانه، مقاومت فشاری بتن افزایش می‌یابد.

- ارتقاء پارامترهای مکانیکی و دوامی بتن‌های مورد بررسی در این پژوهش، به دلیل کاهش حداکثر اندازه سنگدانه در آن‌ها را می‌توان به بهبود خواص ناحیه انتقالی و کاهش میزان خلل و فرج در سیستم منافذ آن‌ها نسبت داد.

۵. قدردانی

این پژوهش در محل آزمایشگاه بتن دانشکده فنی کبودراهنک دانشگاه بوعلی سینا و با همکاری صمیمانه مسئولان محترم آن دانشکده انجام شده است، لذا لازم است از این عزیزان کمال تشکر و قدردانی را داشته باشیم.

۶ مراجع

[۱] مهتا؛ مونته‌ئورو؛ مترجمین (رمضان‌پور و همکاران)؛ "ریزساختار، خواص و اجزای بتن (تکنولوژی پیشرفته بتن)" انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر؛ صفحه ۸۷ تا ۹۳.

[۲] میندس، س؛ یانگ، ف؛ داروین، د؛ مترجمین (شکرچی‌زاده و همکاران)؛ "بتن" انتشارات دانشگاه تهران؛ صفحه ۱۵۶ تا ۱۶۰.

[3] Sengul, Ö. Tasdemir, C. and Tasdemir, MA.; "Influence of aggregate type on mechanical behaviour of normal and high-strength concretes"; *ACI Materials Journal* 99, No. 6 (2002) 528-533.

[4] Goble, CF. and Cohen, MD.; "Influence of aggregate surface area on mechanical properties of mortar"; *ACI Materials Journal* 96, No. 6 (1999) 657-662.

[5] Zhou, FP. Lydon, FD. and Barr, BIG.; "Effect of coarse aggregate on elastic modulus and compressive strength of high-performance concrete"; *Cement and Concrete Research* 25, No. 1 (1995) 177-186.

[6] Jae-Il, S. Keun-Hyeok, Y. and Joong-Kyu, J.; "Influence of aggregate size on the compressive size effect according to different concrete types"; *Construction and Building Materials* 44 (2013) 716-725.

[7] Jae-Il, S. Keun-Hyeok, Y. Kim, HY. and Choi, BJ.; "Size and shape effects on compressive strength of lightweight concrete"; *Construction and Building Materials* 33 (2013) 854-864.

[8] ASTM C642.; "Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete"; *ASTM International; West Conshohocken* (2006).

[9] BS EN-480-5.; "Tests methods, determination of capillary absorption"; *British Standards Institution* (1997).

[10] BS 1881-208.; "Testing concrete, Part 208. Recommendations for the determination of the initial surface absorption of concrete"; *British Standards Institution* (1997).

[11] ASTM C 1202.; "Standard Test Method for Electrical indication of concrete's ability to resist chloride Ion penetration"; *ASTM International; West Conshohocken* (2006).

[12] AASHTO TP 64.; "Predicting chloride penetration of hydraulic cement concrete by the rapid migration procedure"; *AASHTO* (2007).

[13] Feldman, R.F. Chan, G.W. Brousseau, R.J.m. and Tumidajski, P.J.; "Investigation of rapid chloride permeability tests"; *ACI Materials Journal* 91, No. 2 (1994) 246-255.

[۱۴] باقری، ع؛ زنگنه، حامد؛ «مقایسه عملکرد روش RCMT برای ارزیابی سریع مقاومت بتن در برابر نفوذ یون کلر با روش‌های RCPT و مقاومت الکتریکی»؛ مجله عمران مدرس، سال ۱۲، شماره ۳، پائیز ۱۳۹۱، صفحه ۱۰۳ تا ۱۱۲.

[15] Zhang, F. Li, N. Guo, M. and Chi, X.; "Coarse Aggregate Effects on Compressive Strength and Permeability Coefficient of Non-fine Concrete"; *The Electronic Journal of Geotechnical Engineering* 19, (2014) 8905-8912.

[16] Basheer, L. Basheer, P.A.M. Long, A.E.; "Influence of coarse aggregate on the permeation, durability and the microstructure characteristics of ordinary Portland cement concrete", *Construction and building materials* 19, No. 9 (2005) 682-690.

Investigation of Effect of Maximum Aggregate Size on Durability of Normal Concretes

Ebeahim Ghiasvand

Assistant Professor, Faculty of Engineering, Bu-Ali Sina University, Kaboodrahang, Hamedan, Iran
e.ghiasvand@basu.ac.ir

Abstract

Aggregates are the major constituents of concrete and typically occupy between 60% and 80% of the concrete volume. Properties of both fresh and hardened concrete are influenced by the quality of aggregates and yet their role is often overlooked. According to studies performed by various researchers, the permeability of concrete is the most important parameter in its durability. Several factors are effective in concrete permeability such as water to cement ratio, content, shape and texture of aggregate, type and content of cement, etc. This paper examines the effect of changes of maximum size aggregate on the durability properties of normal concrete (with $w/c = 0.55$). For this purpose, after preparing the aggregate (with maximum size of 9.5, 12.5, 19 and 25 mm and similar fineness modulus) and concrete, experiments were carried out on concrete including compressive strength, sorptivity, absorption, ISAT, RCPT, and RCMT. The results show that generally with decrease in maximum aggregate size the compressive strength of concretes increases and improves the durability parameters.

Keywords: Maximum Size Aggregate, Fineness Modulus, Permeability, Durability

ارزیابی مقاومت برشی تیرهای عمیق بتنی مسلح با استفاده از شبکه‌های

عصبی مصنوعی

دریافت مقاله: ۱۳۹۶-۱۱-۲۵

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷-۱-۲۸

یاسر شریفی*

دانشیار، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان
yasser_sharifi@yahoo.com - y.sharifi@vru.ac.ir

نجمه محمدی درجوزی

کارشناسی ارشد سازه، دانشکده فنی مهندسی، موسسه آموزش عالی علامه جعفری رفسنجان
n.mohamadi6670@yahoo.com

عادل مقبلی

کارشناسی ارشد سازه، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان
adel.moghbali8@gmail.com

چکیده:

تیرهای عمیق بتن مسلح به تیرهایی گفته می شود که در مقایسه با تیرهای بتنی معمولی دارای نسبت زیاد ارتفاع به دهانه می باشند. نوع شکست این تیرها عموماً به صورت برشی است. مهم ترین هدف این پژوهش ارائه فرمولبندی مناسب و دقیق با در نظر گرفتن تمامی پارامترهای تاثیرگذار برای تخمین مقاومت برشی تیرهای مذکور می باشد. پیرو هدف پژوهش، یک مطالعه‌ی عددی بر پایه شبکه عصبی مصنوعی برای بررسی رفتار برشی تیرهای عمیق بتنی مسلح به کار گرفته شده است. بدین منظور تاثیرات هندسه‌ی مقطع، مقدار و مقاومت تسلیم فولادهای طولی و عرضی و مقاومت فشاری بتن در یک تیر عمیق بتنی مسلح ارزیابی شده است. فرمولبندی دقیقی بر اساس شبکه عصبی مصنوعی جهت ارزیابی مقاومت برشی تیرهای عمیق بتنی مسلح ارائه شده است. در پایان یک مقایسه بین نتایج شبکه های عصبی مصنوعی و نتایج مقررات طراحی بعضی آیین نامه ها صورت گرفت، از این مقایسه می توان دریافت که آیین نامه ها نتایج را با دقت کم ارائه می دهند. واژگان کلیدی: تیرهای عمیق بتنی مسلح، مقاومت برشی نهایی، مدل تجربی برای پیش بینی مقاومت برشی، تیرهای عمیق، شبکه‌ی عصبی مصنوعی.

بتن از پرکاربردترین مصالح ساختمانی است. بتن ممکن است از انواع مختلف سیمان و نیز پوزولان‌ها، سرباره کوره‌ها، گوگرد، مواد افزودنی، پلیمرها، الیاف و غیره تهیه شود. تیر عمیق یک عضو سازه‌ای است که در ساختمان‌های بلند، اسکله‌های دریایی، سدها و پل‌ها کاربرد دارد. تیرهای با ارتفاع زیاد بتن مسلح به تیرهایی گفته می‌شود که در مقایسه با تیرهای بتنی معمولی دارای نسبت زیاد ارتفاع به دهانه داشته باشند. به دلیل ارتفاع زیاد، این تیرها دارای سختی زیادی هستند. نوع شکست این تیرها عموماً به صورت برشی است اما احتمال شکست نوع خمشی نیز وجود دارد و لیکن بررسی رفتار مربوط به گسیختگی نوع برشی است. در طراحی سازه‌ها، معمولاً تیرها بر اساس لنگر خمشی موجود طراحی گشته و ضابطه برش در آنها کنترل می‌گردد. تیر ساده تیری است که دهانه که تکیه‌گاه‌های آن در دو انتها یکی به صورت غلتکی و دیگری مفصلی می‌باشد. تیرها بسته به محلی که در آن به کار گرفته می‌شوند تحت تاثیر بارهای مختلفی قرار می‌گیرند که این بارها به صورت متمرکز، گسترده‌ی یکنواخت، گسترده‌ی غیر یکنواخت (خطی) و یا ترکیبی از آنها می‌باشند. بتن مسلح توسط فولاد مسلح شده است. عموماً بتن را به علت ضعف کششی آن توسط فولاد (در ناحیه‌ی کششی) تقویت می‌کنند. تیر بتنی مسلح زمانی که تحت اثر بار قرار می‌گیرد به علت وجود فولاد در ناحیه‌ی کششی پس از ایجاد اولین ترک فولاد وارد عمل شده و در مقابل کشش مقاومت می‌کند تا زمانی که ترک‌های بیشتری در این ناحیه به وجود آید و باعث گسیختگی در تیر گردد. تنش کششی در تیر فقط محدود به تنش خمشی نیست در نتیجه برش خالص و یا ترکیب برش و خمش در نقاط مختلف تیر به وجود می‌آید. به منظور شناخت رفتار تیرهای عمیق بتنی مسلح تحقیقات زیادی انجام شده و در جریان است. تیرهای عمیق به دلیل داشتن هندسه‌ی خاص دارای رفتاری متفاوت از تیرهای معمولی هستند. تحقیقات گسترده‌ای توسط محققان مختلف بر روی رفتار تیرهای عمیق بتنی مسلح صورت گرفته است، اما از مقایسه‌ی نتایج آزمایشگاهی با نتایج به دست آمده از روابط موجود در منابع درمی‌یابیم که روابط موجود نمی‌توانند پیش بینی صحیحی را از رفتار تیرهای عمیق بتنی مسلح ارائه نمایند که لزوم انجام پژوهش‌های بیشتری را در این زمینه می‌طلبد. شبکه‌های عصبی [۱] از عناصر عملیاتی ساده‌ای ساخته می‌شوند که به صورت موازی در کنار هم عمل می‌کنند. این عناصر از سیستم‌های عصبی زیستی الهام گرفته شده‌اند. در طبیعت، عملکرد شبکه‌های عصبی از طریق نحوه‌ی اتصال بین اجزا تعیین می‌شود. از شبکه‌های عصبی برای پیاده سازی توابع پیچیده در زمینه‌های مختلف از جمله تشخیص الگو، تشخیص هویت، طبقه بندی، پردازش صحبت و تصویر و سیستم‌های کنترلی استفاده می‌شود. پس از تنظیم یا همان آموزش شبکه‌ی عصبی، اعمال یک ورودی خاص به آن منجر به دریافت پاسخ خاصی می‌شود. شبکه بر مبنای تطابق و همسنگی بین ورودی و هدف سازگار می‌شود تا اینکه خروجی شبکه و خروجی مورد نظر ما (هدف) بر هم منطبق گردند. گونه‌های خاصی از شبکه‌های عصبی [۳ و ۴] مثل هاپفیلد و شبکه‌های خطی به صورت مستقیم توسط طراح، طراحی می‌شوند. به طور خلاصه می‌توان گفت روش‌های مختلفی برای طراحی تکنیک‌های یادگیری موجود می‌باشد و کاربرد در انتخاب روش دارای انتخاب‌های زیادی می‌باشد. شبکه‌های عصبی مصنوعی رابطه‌ی دورادوری با نقطه‌ی مقابل طبیعی خود دارد. مغز انسان شامل بیش از 10^{11} نورون عصبی می‌باشد که از طریق حدود 10^4 اتصال به ازای هر نورون به هم متصل شده‌اند. به طور کلی و متناسب با کاربرد مورد نظر ما می‌توان سه قسمت اصلی برای نورون‌ها در نظر گرفت: دندریت^۱، بدنه‌ی سلول^۲ و اکسون^۳. دندریت‌ها دریافت کننده‌های درخت شکل از جنس فیبرهای عصبی هستند که سیگنال‌های الکتریکی را به بدنه‌ی سلول منتقل می‌کنند. بدنه‌ی سلول این سیگنال‌ها را جمع کرده و یک حد استانه بر روی آنها اعمال می‌کند. در نهایت اکسون یک فیبر عصبی بلند است که این سیگنال‌ها را از بدنه‌ی سلول به نورون‌های دیگر منتقل می‌کند. به

^۱ Dendrit^۲ Cell Body^۳ Axon

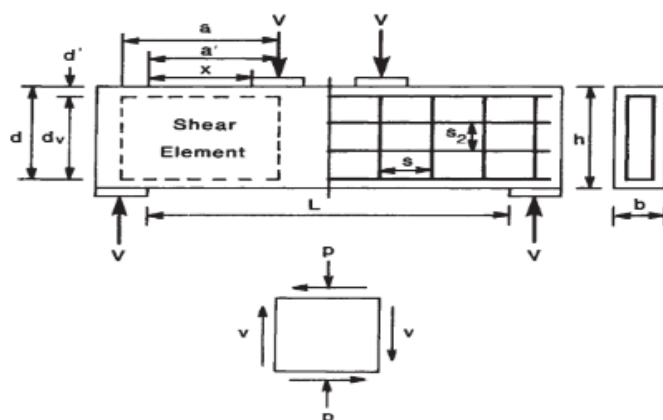
نقطه‌ای اتصال بین اکسون یک سلول عصبی با دندریت سلول دیگر سیناپس^۴ گفته می‌شود. نحوه‌ی چینش نورون‌ها و قدرت سیناپس‌ها که در واقع بنا کننده‌ی تابع شبکه‌ی عصبی می‌باشند با توجه به فرایندهای پیچیده‌ی شیمیایی معین می‌گردد.

۲- روش پژوهش

برای شبیه سازی و پیش بینی مقاومت برشی نهایی تیرهای بتن مسلح از شبکه‌های عصبی مصنوعی [۱۰-۵] به عنوان یک مدل قابل اطمینان و کارآمد در این مطالعه استفاده شده است. داده‌های ارزیابی به منظور ساخت شبکه‌ی عصبی از آزمایشات و پژوهش‌های پیشین گرفته شده است. یک مطالعه‌ی عددی با هدف بررسی رفتار مقاومت برشی نهایی تیرهای عمیق بتنی مسلح واقع بر تکیه گاه ساده و لحاظ کردن اثر خصوصیات هندسی مقطع بر مقاومت برشی نهایی صورت گرفت. در نهایت یک رابطه بر اساس شبکه‌ی عصبی مصنوعی پیشنهاد شده است تا بتوان مقاومت برشی نهایی تیر عمیق بتنی مسلح را تعیین نمود.

۲-۱- بررسی رفتار تیرهای عمیق بتنی مسلح توسط F.K.KONG:

کتاب تیرهای عمیق بتنی مسلح منتشر شده توسط استاد F.K.KONG [۱۱ و ۱۲] به عنوان یک مرجع بین المللی روی رفتار، طراحی و تحلیل تیرهای عمیق بتنی مسلح کار کرده است. نمونه‌ی مورد بررسی یک نوع تیر عمیق با سطح مقطع مستطیلی که در بالا بارگذاری شده و در پایین تکیه‌گاه ساده قرار گرفته است می‌باشد شکل ۱.



شکل ۱: مشخصات ابعادی تیر عمیق.

۲-۲- یک مدل تجربی برای ظرفیت برشی تیرهای عمیق بتنی مسلح با استفاده از GSA:

برنامه نویسی تکوینی GP (Genetic Programming) نماد تکنیک بهینه سازی است که ایجاد کننده‌ی برنامه‌های کامپیوتری برای حل یک مسئله می‌باشد. SA (Simulated annealing) برای شبیه سازی کامپیوتری دوام استفاده می‌شود. فرمول ارائه شده در مدل تجربی برای ظرفیت برشی تیرهای عمیق بتنی مسلح با استفاده از GSA [۱۳] برای محاسبه‌ی مقاومت برشی تیرهای عمیق بتنی مسلح، براساس نتایج آزمایشگاهی می‌باشد. مقاومت نهایی تیر عمیق بتنی مسلح به صورت رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$V_{GSA} = 2 \frac{d}{a} \frac{\rho(\rho_h - f_c + \rho_v + \xi - 4)}{(\xi + 2)} \frac{a}{d} + 4 \quad (1)$$

$$\xi = \frac{\left(f_c + 4 \frac{a}{d} - 4 \right)^2}{25}$$

در این رابطه با توجه به نتایج آزمایشگاهی مقدار a/d (نسبت دهانه‌ی برش به عمق) ρ ، ρ_h ، ρ_v و f_c متغیر در نظر گرفته می‌شوند. ρ ارماتور اصلی بر حسب درصد می‌باشد. ارماتور اصلی در راستای طول عضو (تیر) قرار می‌گیرد و به منظور جبران مقاومت کششی پایینی که در بتن وجود دارد می‌باشد. در صورت عدم رعایت اصول و قوانین در اجرای آن تحمل سازه در نیروهای برشی، کششی و فشاری کمتر از مقدار محاسبه شده خواهد بود. ρ_h و ρ_v به ترتیب ارماتور برشی افقی و عمودی بر حسب درصد و f_c مقاومت فشاری مشخصه‌ی بتن بر حسب مگاپاسکال می‌باشد.

۳-۲- موسسه بتن آمریکا (ACI) :

موسسه بتن آمریکا [۱۶-۱۴] یکی از معتبرترین مؤسسات علمی در جهان است که در سال ۱۹۰۴ در آمریکا تاسیس گردید. مطابق ACI-318، فصل یازدهم شامل برش و پیچش عضوهای بتنی غیر پیش تنیده و پیش تنیده می‌باشد. طراحی عضو بر اساس برش مطابق رابطه (۲) می‌باشد:

$$V_n = V_c + V_s \quad (2)$$

در اینجا V_n مقاومت برشی اسمی، V_c مقاومت برشی اسمی فراهم شده توسط بتن، V_s مقاومت برشی اسمی فراهم شده توسط ارماتور برشی می‌باشد. برای محاسبه‌ی V_c ابتدا باید مقدار زیر محاسبه شود:

$$\left[3.5 - 2.5 \left(\frac{M_u}{V_u \times d} \right) \right] < 2.5$$

پس از محاسبه‌ی رابطه‌ی قبل عدد به دست آمده را در رابطه‌ی (۳) برای محاسبه‌ی V_c ضرب می‌کنیم:

$$V_c = \left(\sqrt{f_c} + 120 \times \rho_w \times \left(\frac{V_u \times d}{M_u} \right) \right) \times \left(\frac{b_w \times d}{7} \right) \quad (3)$$

V_s از رابطه‌ی (۴) به دست می‌آید:

$$V_s = \left(\frac{A_v}{S_v} \left(\frac{1 + \frac{L}{d}}{12} \right) + \frac{A_h}{S_h} \left(\frac{11 - \frac{L}{d}}{12} \right) \right) \times (f_y \times d) \quad (4)$$

در اینجا A_v سطح ارماتور برشی عمودی با یک فاصله‌ی S ، L دهانه‌ی موثر از تیرهای عمیق مسلح، A_h سطح ارماتور برشی افقی با یک فاصله‌ی S ، f_y مقاومت جاری شدن ویژه از ارماتورها غیر پیش تنیده است.

۴-۲- طرح و اجرای ساختمان های بتن ارمه (ایین نامه بتن ایران ABA) :

در کشورهای مختلف به منظور رسیدن به اهدافی از جمله: ایمنی، سلامت و صرفه‌ی اقتصادی فرد و جامعه ضوابط و مقرراتی را در بخش‌های مختلف فعالیت‌های ساختمانی مد نظر قرار داده‌اند. مطابق مبحث طرح و اجرای

ساختمان‌های بتن ارمه [۲] طراحی مقاطع تحت اثر برش یا پیچش و یا اثر توام آنها در حالت حدی نهایی مقاومت رعایت می‌شود. در مقاطع تحت اثر برش، کنترل حالت حدی مقاومت باید بر اساس رابطه‌ی (۵) صورت گیرد:

$$V_u \leq V_r \quad (5)$$

در این رابطه V_u نیروی برشی ایجاد شده در مقطع است که از تحلیل سازه تحت اثر بار نهایی به دست می‌آید و V_r مطابق رابطه‌ی (۶) محاسبه می‌شود:

$$V_r = V_c + V_s \quad (6)$$

در تیرهای عمیق کنترل حالت حدی نهایی مقاومت در برش باید بر اساس رابطه‌ی $V_u \leq V_r$ و $V_r = V_c + V_s$ صورت گیرد. در این روابط نیروی برشی مقاوم نهایی بتن (V_c) و نیروی برشی مقاوم نهایی ارماتورها (V_s) می‌باشد.

$$V_c = (3.5 - 2.5(\frac{M_u}{V_u \times d})) \times \left(0.95vc + 12 \times \rho_w \left(\frac{V_u \times d}{M_u} \right) \right) \times (b_w \times d) \quad (7)$$

$$vc = 0.2 \times \phi_c \times \sqrt{f_c} \quad (8)$$

$$V_s = \left[\frac{A_v}{12 \times S_n} \left(1 + \frac{L_n}{d} \right) + \frac{A_{vh}}{12 \times S_h} \left(11 - \frac{L_n}{d} \right) \right] \times (\phi_s \times f_y \times d) \quad (9)$$

پس از محاسبه ی V_c و V_s نگاه مقدار V_r را تعیین می‌کنیم. به هر حال V_r نباید بیشتر از $4 \times v_c \times b_w \times d$ اختیار شود.

۵-۲- ساختار شبکه‌ی عصبی مصنوعی ارائه شده در این مطالعه برای به دست آوردن مقاومت برشی نهایی:

در این مطالعه رفتار تیر با مد نظر قرار دادن مشخصات مصالح بررسی شده است. شرایط مرزی مدل به صورت تکیه‌گاه ساده تحت اثر دو بار متمرکز مورد تحقیق قرار گرفته است. در (جدول ۱) متغیرهای استفاده شده‌ی ۱۴۱ نمونه‌ی آزمایشگاهی [۱۷ و ۱۸] برای مدل پیشنهادی آورده شده است که d و b به ترتیب عمق موثر و عرض بر حسب میلی‌متر، a دهانه‌ی برش، f_c مقاومت فشاری بتن بر حسب کیلو نیوتن بر میلی متر مربع، f_{yh} و f_{yv} به ترتیب مقاومت جاری شدن ارماتورهای برشی افقی و قائم بر حسب کیلو نیوتن بر میلی متر مربع، ρ و ρ_h و ρ_v به ترتیب درصد ارماتور اصلی، درصد ارماتور برشی افقی و قائم می‌باشند جدول ۱.

جدول ۱: مشخصات مدل.

Specimen	d	b	a	fc	F _{yh}	F _{yv}	ρ	ρ _h	ρ _v
Average	370.9333	98.28085	354.7174	0.023868	0.418826	0.402281	0.016738	0.005012	0.005601
STDEV	101.4624	10.72681	116.6572	0.010181	0.130882	0.127077	0.004498	0.004928	0.004801
Median	355.6	101.6	355.6	0.0204	0.4459	0.4459	0.0194	0.0045	0.0048
Mode	305	102	355.6	0.0192	0.4835	0.4835	0.0194	0	0.0048
Minimum	216	76	125.01	0.0161	0	0	0.0052	0	0
Maximum	724	110	1000.08	0.0588	0.5048	0.4835	0.0194	0.0245	0.0245

بر اساس مطالعه‌ی انجام شده بردارهای ورودی و خروجی برای مدل سازی ANN به ترتیب شامل ۹ و ۱ متغیر به صورت زیر می‌باشند:

$$Input = \{d, b, a, f_c, F_{yh}, F_{yv}, \rho, \rho_h, \rho_v\}$$

$$Output = \{V\}$$

در اینجا V مقاومت برشی نهایی مقطع می‌باشد. در این مطالعه قبل از معرفی داده‌ها به ANN ابتدا آنها را مقیاس بندی می‌کنیم. یعنی تمام داده‌ها را با استفاده از فرمول زیر استاندارد می‌کنیم، سپس آنها را به شبکه وارد می‌نماییم.

$$X_s = \frac{X - M}{S_d}$$

در این فرمول X متغیر ورودی و یا متغیر هدف است که باید به شبکه معرفی شود، M و S_d به ترتیب میانگین و انحراف معیار دسته داده‌های مربوط به یک متغیر هستند. پارامترهای استفاده شده برای ارزیابی کارامدی شبکه‌ی عصبی مصنوعی عبارتند از ضریب همبستگی (R)، میانگین مربع خطا (MSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و درصد خطای مطلق (Err) که فرمول آنها به شکل رابطه‌ی (۱۰) تا (۱۳) است:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})(t_i - \bar{t})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2}} \quad (10)$$

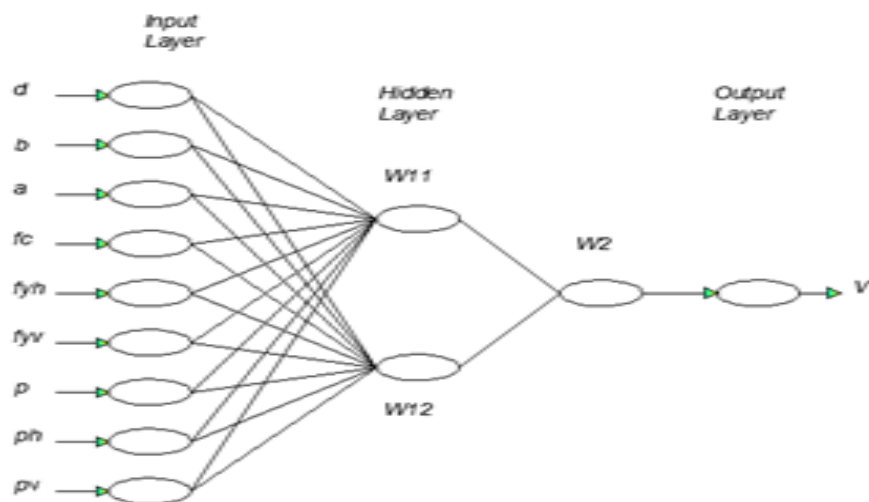
$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - y_i)^2 \quad (11)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - t_i| \quad (12)$$

$$Err_i = \frac{|y_i - t_i|}{t_i} \times 100$$

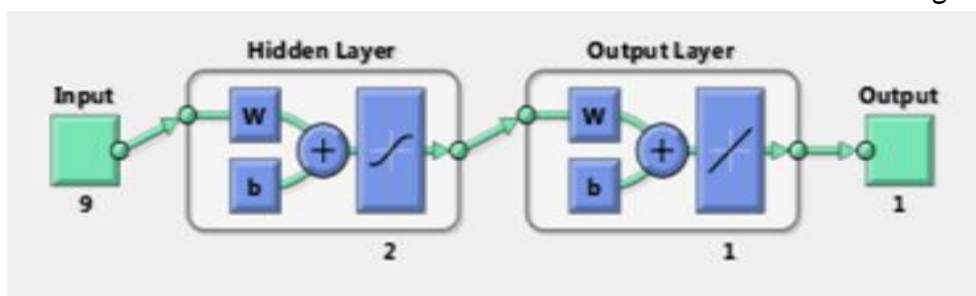
(۱۳)

که t_i مقدار خروجی واقعی، y_i مقدار خروجی پیش بینی شده برای خروجی i ام هستند و مقدار میانگین خروجی‌های واقعی و پیش بینی شده هستند. از آنجایی که با افزایش تعداد نورون‌ها فرمول پیچیده‌تر و غیر کاربردی می‌شود بعد از تعدادی سعی و خطا یک شبکه‌ی عصبی با وجود یک لایه‌ی پنهان با دو نورون در آن انتخاب شد، شبکه‌ی عصبی ساخته شده در شکل ۲ آمده است.



شکل ۲: ساختمان شبکه‌ی عصبی برای تعیین مقاومت برشی تیرهای عمیق بتنی مسلح.

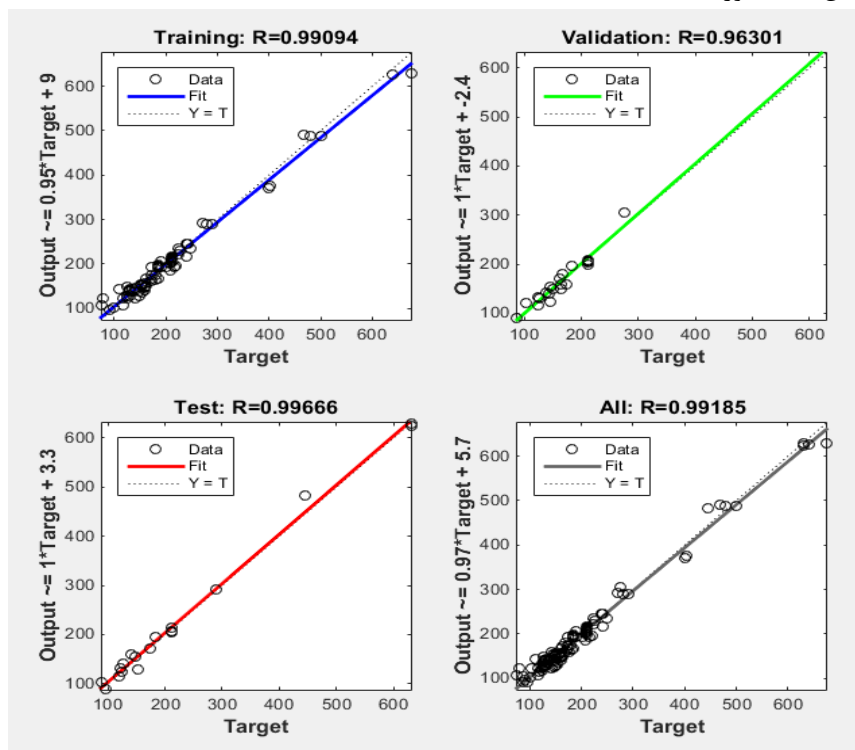
در ضمن شبکه‌ی عصبی ساخته شده دارای تابع انتقال (tanh) در لایه‌ی پنهان و تابع همانی در لایه‌ی خروجی خود می‌باشد شکل ۳.



شکل ۳: معماری شبکه‌ی عصبی مصنوعی برای ارائه‌ی رابطه‌ی برای به دست آوردن مقاومت برشی نهایی.

در این مطالعه الگوریتم پس انتشار با تابع یادگیری لونیگ - مارکوارت [۱۹] به منظور یادگیری شبکه استفاده شده است. برای انالیز، داده‌ها تقسیم می‌شوند به داده‌های آموزشی، ارزیابی و آزمایشی. در این مطالعه از ۱۴۱ داده برای پیش بینی مقاومت برشی استفاده شده است که ۷۰ درصد داده برای آموزش، ۱۵ درصد داده برای ارزیابی و ۱۵ درصد داده برای آزمایش در شبکه مورد استفاده قرار گرفته است. تحلیل رگرسیون برای داده‌های خروجی

شبکه و داده‌های هدف انجام شد و مقدار ضریب همبستگی به دست آمد که نشان دهنده دقت مناسب شبکه می‌باشد. در شکل ۴ این مطلب آورده شده است.



شکل ۴: ضریب همبستگی ANN برای تیرهای عمیق بتنی مسلح برای به دست آوردن مقاومت برشی نهایی.

ماتریس وزن‌ها در لایه‌ها به صورت زیر می‌باشد:

$$w_{11} = [0.531024 \quad 0.238214 \quad -3.9495 \quad -0.40621 \quad -0.01912 \quad 1.254433 \quad 2.86243 \quad 0.668525 \quad 0.100439 \quad 0.094218]$$

$$w_{12} = [-0.62883 \quad -0.25496 \quad 1.015842 \quad 0.229776 \quad -0.01435 \quad -0.1377 \quad -1.36951 \quad -0.15178 \quad -0.07653 \quad -0.06191]$$

$$w_2 = [-0.17021 \quad -5.42539 \quad -5.96411]$$

در پایان فرمول به دست آمده برای تخمین مقاومت برشی (V) تیرهای عمیق بتنی مسلح برای حالت بارگذاری متمرکز تیر دو سر ساده با استفاده از ANN به صورت رابطه‌ی (۱۴) به دست آمده است:

$$V = 183.5188 - (561.9618 \times (\frac{2}{(1 + e^{-2 \times \beta_1}) - 1})) - (617.7624 \times (\frac{2}{(1 + e^{-2 \times \beta_2}) - 1})) \quad (14)$$

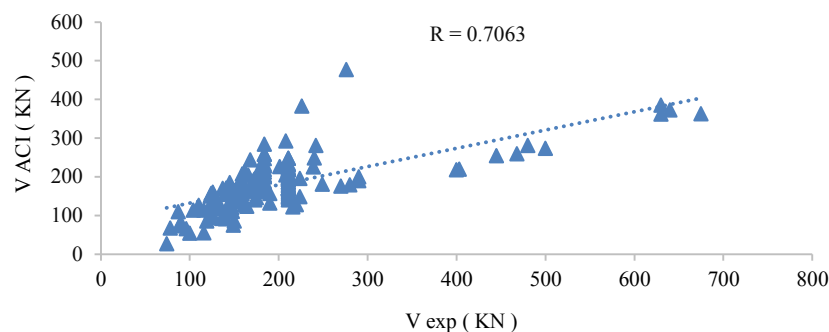
مقادیر β_1 و β_2 مطابق رابطه‌ی (۱۵) و (۱۶) محاسبه می‌شوند:

$$\begin{aligned} \beta_1 = & 0.0023 \times (d) - 0.3682 \times (b) - 0.0035(a) - 0.0019(fc) + 0.0096(Fyh) + 0.0225 \times (Fyv) \\ & + 148.6296 \times (\rho) + 20.3832 \times (\rho h) + 19.6255 \times (\rho v) + 21.3505 \end{aligned} \quad (15)$$

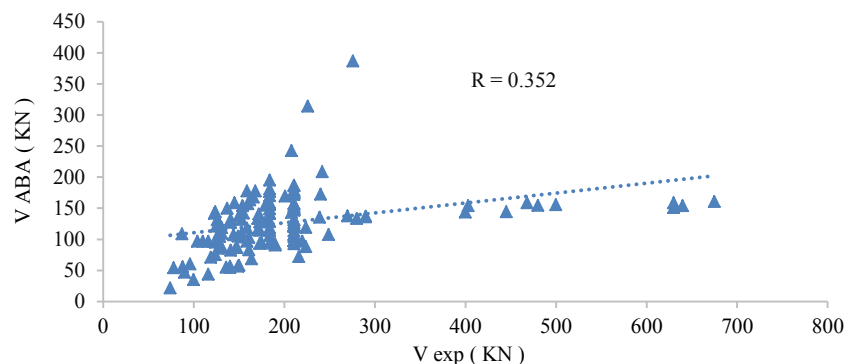
$$\beta_2 = 0.0025 \times (d) + 0.0947 \times (b) + 0.002 \times (a) - 0.0014 \times (fc) - 0.0011 \times (F_y h) - 0.0108 \times (F_y v) - 33.7453 \times (\rho) - 15.5318 \times (\rho h) - 12.8961 \times (\rho v) - 4.1782 \quad (16)$$

۳- یافته‌ها (نتایج):

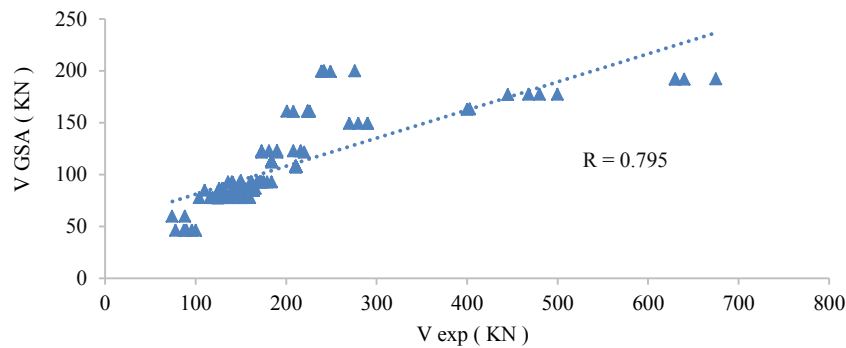
پیشنهادهای جدیدی بر اساس شبکه‌های عصبی مصنوعی جهت طراحی تیرهای عمیق در معرض بار متمرکز ارائه شد. پس از آن یک مقایسه بین نتایج شبکه‌های عصبی مصنوعی و نتایج مقررات طراحی بعضی این نام‌ها صورت گرفته است. از این مقایسه می‌توان دریافت که این نام‌ها نتایج را با دقت کم ارائه می‌دهند. این نام‌های امریکا (ACI) و ایران (ABA)، روش GSA و روش ANN روابطی را برای تیرهای عمیق بتنی مسلح ارائه داده‌اند و در مورد مقاومت برشی پیش‌بینی دارند. در شکل‌های ۵ تا ۸ مقایسه‌ای بین مقاومت برشی نهایی تیرهای عمیق بتنی مسلح به دست آمده از آزمایشگاه با این نام‌های امریکا (ACI)، ایران (ABA)، روش GSA و روش ANN انجام شده است.



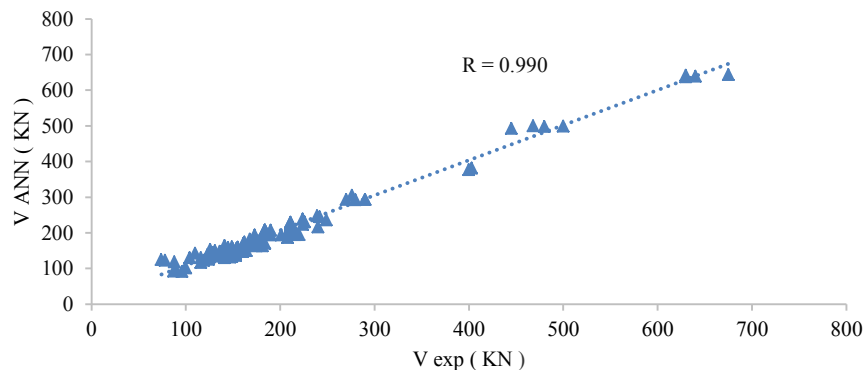
شکل ۵: نمودار مقایسه‌ی مقاومت برشی (آزمایشگاهی - این نام بتنی امریکا).



شکل ۶: نمودار مقایسه‌ی مقاومت برشی (آزمایشگاهی - این نام بتنی ایران).



شکل ۷: نمودار مقایسه‌ی مقاومت برشی (ازمایشگاهی - روش GSA).

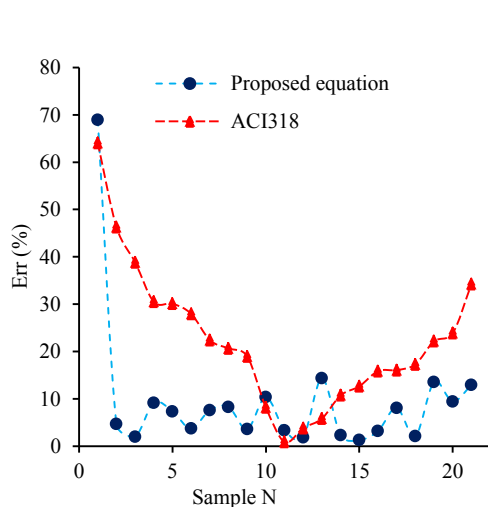


شکل ۸: نمودار مقایسه‌ی مقاومت برشی (ازمایشگاهی - روش ANN).

با توجه به شکل‌ها هر اندازه مقدار R به دست آمده به یک نزدیکتر باشد بیانگر این است که رابطه‌ی پیشنهاد شده برای محاسبه‌ی مقاومت برشی تیرهای عمیق بتنی مسلح دارای دقت مناسب تری نسبت به سایر روابط پیشنهاد شده دارد و به نتایج حاصل از آزمایشگاه نزدیکتر می‌باشد. همان طور که در شکل‌ها مشخص است این نامنه‌های موجود و روش‌های پیشین تخمین درستی از مقاومت برشی تیرهای عمیق بتنی مسلح ندارند. به همین دلیل نیاز به رابطه‌ی دقیق‌تر برای به دست آوردن مقاومت برشی نهایی می‌باشد که در بخش قبل با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی این رابطه ارائه شده است. یکی از مشکلات موجود در آموزش شبکه‌های عصبی بیش برارزش^۵ شبکه بر داده‌های آموزشی می‌باشد. منظور از بیش برارزش این است که پس از آموزش شبکه خطا بر روی مجموعه‌ی آموزشی به حداقل مقدار خود می‌رسد اما با ارائه‌ی داده‌های جدید به شبکه به عنوان ورودی خطا بسیار بالا می‌باشد. در واقع شبکه بر روی داده‌های آموزشی احاطه‌ی کامل می‌یابد اما نمی‌تواند در قبال داده‌های جدید عکس العمل مناسب را از خود نشان دهد. دو راه حل برای افزایش عمومیت شبکه در جعبه‌ی ابزار شبکه‌های عصبی در نظر گرفته شده است: تنظیم^۶ و توقف زود رس^۷. روش توقف زود رس به صورت پیش فرض در آموزش انواع شبکه‌های عصبی در این جعبه ابزار استفاده می‌شود. در این تکنیک داده‌های موجود به سه زیر مجموعه شکسته می‌شود:

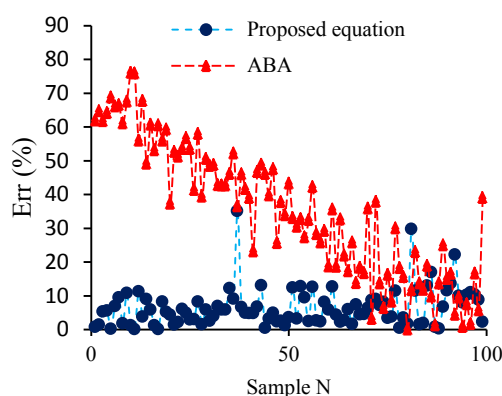
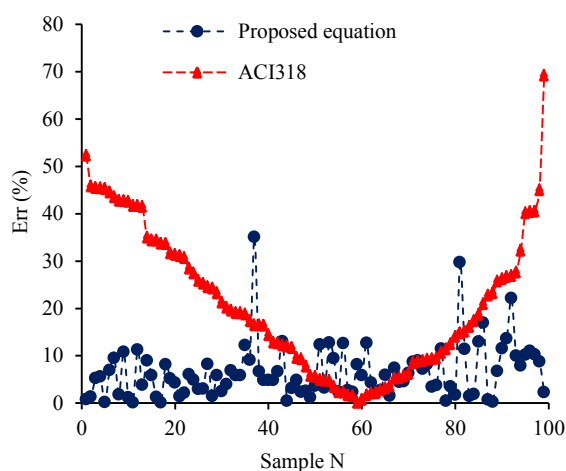
Overfitting^۵
Regularization^۶
Early stopping^۷

شوند. زیر مجموعه‌ی اول همان آموزشی خواهد بود که برای محاسبه‌ی گرادیان و به روز رسانی وزن‌ها و بایاس‌ها از آن استفاده می‌شود. زیر مجموعه‌ی دوم زیر مجموعه‌ی معتبر سازی است. زیر مجموعه‌ی سوم زیر مجموعه‌ی آزمایشی می‌باشد که در طول فرایند آموزش کاربردی ندارد و از آن برای مقایسه‌ی مدل‌های مختلف استفاده می‌شود. در این قسمت با استفاده از شکل‌های ۹ تا ۱۷ به مقایسه‌ی فرمول به دست آمده از شبکه‌های عصبی مصنوعی با روابط این نام‌های می‌پردازیم.



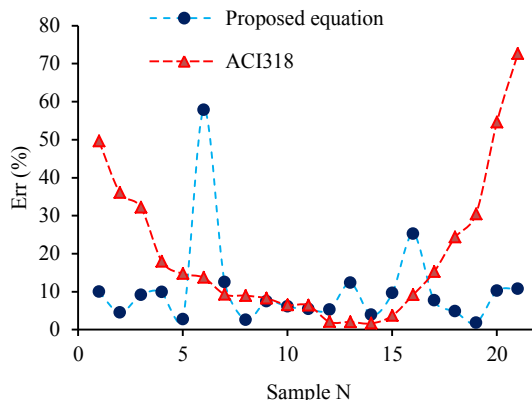
شکل ۱۰: مقایسه‌ی بین آیین نام‌های امریکا و فرمول

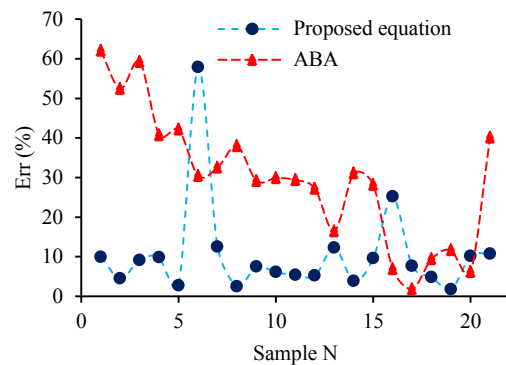
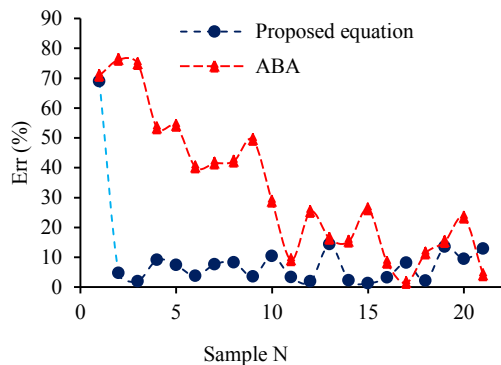
شکل ۹: مقایسه‌ی بین آیین نام‌های امریکا و فرمول پیشنهادی داده‌های آموزشی. پیشنهادی داده‌های ارزیابی.



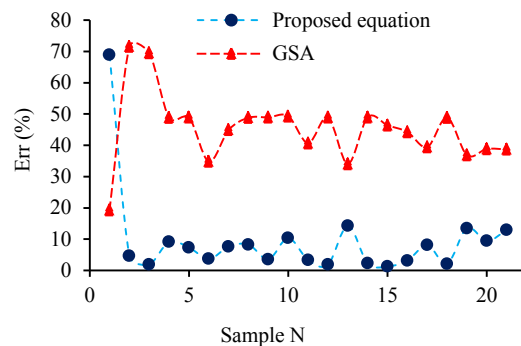
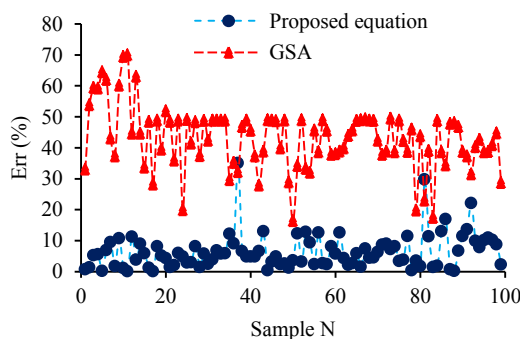
شکل ۱۲: مقایسه‌ی بین آیین نام‌های ایران و فرمول

شکل ۱۱: مقایسه‌ی بین آیین نام‌های امریکا و فرمول پیشنهادی داده‌های آزمایشی. پیشنهادی داده‌های آموزشی.

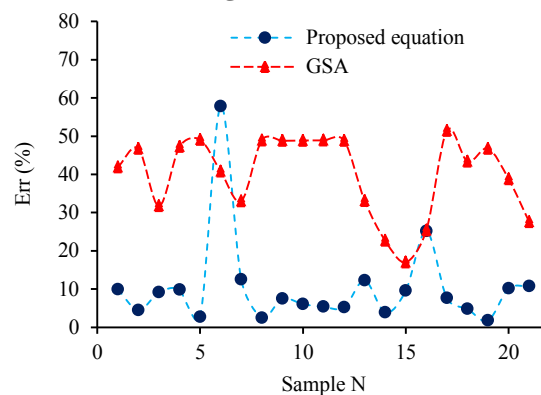




شکل ۱۳: مقایسه‌ی بین آیین نامه‌ی ایران و فرمول پیشنهادی داده‌های ارزیابی. شکل ۱۴: مقایسه‌ی بین آیین نامه‌ی ایران و فرمول پیشنهادی داده‌های آزمایشی.



شکل ۱۵: مقایسه‌ی بین روش GSA و فرمول پیشنهادی داده‌های آموزشی. شکل ۱۶: مقایسه‌ی بین روش GSA و فرمول پیشنهادی داده‌های ارزیابی.



شکل ۱۷: مقایسه‌ی بین روش GSA و فرمول پیشنهادی داده‌های آزمایشی.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

در سال‌های گذشته مطالعات گسترده‌ای در رابطه با مقاومت برشی تیرهای عمیق بتنی مسلح انجام گرفته است. در گام اول داده‌های به دست آمده از نتایج آزمایشگاهی پژوهش‌های پیشین را جمع‌آوری سپس یک مقایسه بین مقاومت برشی تیرهای عمیق بتنی مسلح استخراج شده از نتایج آزمایشگاهی و روابط آیین نامه‌ای انجام گرفت. در گام بعدی این تحقیق شبکه‌های عصبی مصنوعی برای تعیین مقاومت برشی تیرهای عمیق بتنی مسلح به کار گرفته شده‌اند. دستورالعمل‌های طراحی سازه‌های بتنی، مقاومت برشی تیر عمیق بتنی مسلح در این حالت با نتایج

ازمایشگاه مقایسه شد. این مقایسه نشان داد که ایین نامه‌های ABA ، ACI ، روش GSA به صورت قابل اطمینان مقاومت برشی را تعیین می‌کنند، اما دقت آنها زیاد نیست که این می‌تواند مشکل آفرین باشد. یک فرمول نسبتاً دقیق برای تعیین مقاومت برشی تیرهای عمیق بتنی مسلح با به کار گرفتن ANN توسعه داده شد.

مراجع

- [۱] کیا، س. م.، (۱۳۹۳). شبکه‌های عصبی در MATLAB ویرایش سوم، تهران، دانشگاهی کیان.
- [۲] طرح و اجرای ساختمان‌های بتن ارمه، دفتر مقررات ملی ساختمان، وزارت راه و شهرسازی. مبحث نهم.
- [3] Elcordy MF, Chang KC and Lee GC. (1993). *Neural networks trained by analytically simulated damage states. J Comput Civil Eng*, 7(2):130-45.
- [4] Sand A and Saka M. (2001). *Prediction of ultimate shear strength of reinforced-concrete deep beams using neural networks. J Struct Eng*, 127(7):818-828.
- [5] Inel M. (2007). *Modeling ultimate deformation capacity of RC columns using artificial neural networks. Eng Struct*, 29(3):329-35.
- [6] Tang S, Kong FK and Poh SP. (1998). *Shear strength of reinforcement and prestressed concrete deep beams. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Structures and Buildings*, 128(2):112-123.
- [7] Naderpour H and Alavi SA. (2017). *A proposed model to estimate shear contribution of FRP in strengthened RC beams in terms of Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System. Composite Structures*, 170:215-227.
- [8] Hosseini G. (2017). *Capacity Prediction of RC Beams Strengthened with FRP by Artificial Neural Networks Based on Genetic Algorithm. Soft Computing in Civil Engineering*, 1(1):93-98.
- [9] Farahnaki R. (2017). *The application of particle swarm optimization and artificial neural networks to estimating the strength of reinforced concrete flexural members. Soft Computing in Civil Engineering*, 1(2):1-7.
- [۱۰] نادرپور حسین و فخاریان پویان. (۱۳۹۶). پیش بینی مقاومت پیچشی تیرهای بتن آرمه تقویت شده با FRP با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی. مهندسی سازه و ساخت، شناسه دیجیتال 10.22065/JSCE.2017.70668.1023.
- [11] Kong FK. (2002). *Reinforced concrete Deep Beams. Taylor & Francis e – Library, Van Nostrand Reinhold New York*.
- [12] Smith KN and Vantsiotis AS. (1982). *Shear strength of deep beams. ACI struct J*, 79(3): 201-213.
- [13] Kong FK, Robins PJ and Cole DF. (1970). *Web reinforcement effects on deep beams. ACI struct J*, 67(12):1010-1018.
- [14] ACI , Committee 318. (2015). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 218 – 05) and Commentary (ACI 318 – 05) , USA*.
- [15] ACI – 318 , ACIC, (2008). *318 – 08 : Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary . American Concrete Institute*.
- [16] Mau ST and Hsu TSTC. (1989). *Formula for the shear strength of deep beams. ACI Struct J*, 86(5):516-523.
- [17] Tang CY and Tan KH. (2004). *Interactive mechanical model for shear strength of deep beams. J struct Eng*, 130(10):1634-1544.
- [18] CIRIA-Guide 2, C.I.R.a.I.A. (1977). *CIRIA Guide 2: The Design of Deep Beams in Reinforcement Concrete*.
- [19] Hagan MT and Menhaj M. (1999). *Training feed-forward networks with the Marquardt algorithm. IEEE Transactions on Neural Networks*, 5:989-93.

Shear Capacity Assessment of Reinforced Concrete Deep Beams Using Artificial Neural Network

Yasser Sharifi*

Associate Professor, Department of Civil Engineering, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran.

*yasser_sharifi@yahoo.com y.sharifi@vru.ac.i**

Najmeh Mohamadi

Master of structures, Faculty of Engineering, Institute of Higher Education Allameh Jafari Rafsanjan, Iran.

Adel Moghbeli

Master of structures, Department of Civil Engineering, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran.

Abstract

Reinforced concrete deep beams introduced as the flexural members that the height to length ratio of such members are more than the conventional beams. The failure mode of reinforced concrete deep beams is shear. The most important aim of the current paper is to present an exact and appropriate formulae including all influences variables to assess the shear capacity of abovementioned elements. A numerical study based artificial neural network was investigated to asses shear capacity of deep reinforced concrete beams. For this purpose effects of section geometries, amount and strengths of steel reinforcement and compressive strength of concrete of such members were incorporated. An exact equation based neural network modelling in order to shear capacity assessment of reinforced concrete deep beams have been introduced. Then a comparison between the obtained results from artificial neural networks and those from code recommendations was done. It was found that the proposed equation give more exact result than code recommendations predictions.

Keywords: Deep Reinforced Concrete Beams, Shear Strength, Artificial Neural Network, Code Recommendation

اثر استایرن اکریلات روی مشخصات مکانیکی ملات‌های ترمیمی و مقایسه شرایط عمل‌آوری

دریافت مقاله: ۱۳۹۶-۹-۸

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷-۱-۲۸

مجید نعمتی چاری

کارشناس ارشد انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران

مهدی نعمتی چاری*

استادیار مرکز تحقیقات راه و مسکن و شهرسازی

m.nemati@bhrc.ac.ir

محمد شکرچی‌زاده

استاد دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تهران

محمد رضا رئیس‌محمدیان

مدیرعامل شرکت آرینا پلیمر

چکیده:

امروزه برای ترمیم سازه‌های بتنی نیازمند شناختی صحیح و متناسب از مصالح ترمیمی هستیم تا بتوان با استفاده از آن به یک تعمیر کارا و موثر دست یافت. لذا مصالح ترمیمی باید به نحوی انتخاب گردد تا ویژگی‌های مختلف از جمله: مدول الاستیسیته و سازگاری حرارتی ملات ترمیمی با بتن اصلی سازه، نزدیک به هم بوده باشد. در این میان یکی از این مصالحی که سازگاری حرارتی مناسبی با بتن اصلی سازه دارد، استفاده از لاتکس استایرن اکریلات (SA) در ملات ترمیمی پایه سیمانی می‌باشد. از این‌رو در پژوهش حاضر، ملات ترمیمی با نسبت‌های مختلف لاتکس SA به مواد سیمانی (۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد) ساخته شد و مشخصات فیزیکی و مکانیکی آنها شامل چگالی و میزان روانی و مقاومت‌های فشاری، خمشی و کششی تحت دو شرایط عمل‌آوری، مورد بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر است که اولین شرایط عمل‌آوری اینگونه بوده که بعد از درآوردن آزمونه‌ها از قالب، به مدت ۲۴ ساعت در آب، سپس در دما و رطوبت مشخص نگهداری شده‌اند (عمل‌آوری ترکیبی). دومین شرایط عمل‌آوری نیز بدین صورت بوده که بعد از درآوردن آزمونه‌ها از قالب، تا سن آزمایش در آب عمل‌آوری شده‌اند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که مشخصات مکانیکی ملات اصلاح‌شده در شرایط عمل‌آوری ترکیبی به دلیل هیدراته شدن سیمان در سنین اولیه و سپس تشکیل فیلم پلیمری، نسبت به شرایط عمل‌آوری در آب، نتایج بهتری را در همه سنین، به دست می‌دهد. استفاده از لاتکس SA، باعث افزایش روانی و کاهش چگالی شده است. همچنین استفاده از لاتکس SA در ملات ترمیمی، موجب کاهش ۴۹ درصدی مقاومت فشاری در نسبت پلیمر به مواد سیمانی ۲۰ درصد تحت شرایط عمل‌آوری ترکیبی در سن ۲۸ روزه شده است؛ البته لاتکس SA، توانسته مقاومت خمشی و کششی را به ترتیب به میزان ۲۱ و ۱۹ درصد در نسبت پلیمر به مواد سیمانی ۱۰ درصد تحت شرایط عمل‌آوری ترکیبی در سن ۲۸ روز، افزایش دهد. کلمات کلیدی: ملات ترمیمی، لاتکس، استایرن اکریلات، عمل‌آوری

سازه‌های بتنی با توجه به شرایط محیطی که در آن قرار می‌گیرند دچار ضعف و بروز مشکلاتی خواهند شد. سازه‌های موجود در سواحل مناطق جنوبی کشور که در معرض جزر و مد، شوره‌زدگی و نفوذ یون کلر قرار دارند باعث خوردگی فولاد شده و از آن طریق موجب خرابی بتن و به مرور زمان باعث قلوه‌کن شدن بتن می‌گردند. همچنین از دیگر دلایلی که عمر سازه‌ها را کاهش می‌دهد می‌توان به واکنش‌های قلیایی، تهاجم سولفات و تهاجم اسید اشاره نمود. لازم به ذکر است گفته شود که خرابی ناشی از بتن در سازه، با کیفیت ساخت آن، روش اجرای آن و همچنین نگهداری بتن، ارتباط مستقیم دارد. برای ترمیم و تعمیر سازه‌های بتنی باید از مصالح ترمیمی مناسب استفاده کرد بطوریکه سازگاری مناسبی بین آنها و بتن اصلی سازه وجود داشته باشد [۱]. از میان مصالح ترمیمی، ملات ترمیمی اصلاح‌شده با لاتکس ضریب انبساط حرارتی نزدیکی به بتن پایه دارد لذا احتمال جداسازی ملات از بتن پایه را به حداقل می‌رساند. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که چسبندگی ملات‌های پایه سیمانی اصلاح‌شده با لاتکس به بتن اصلی سازه بیشتر بوده و همچنین مقدار مقاومت کششی و خمشی بالاتر، جذب آب کمتر، دوام و قابلیت آب‌بندی نیز بالاتر است [۲]. از آنجایی که لاتکس‌ها حباب هوای زیادی در اثر اضافه شدن به ملات تولید می‌کنند؛ لذا در نسبت آب به سیمان برابر، با افزایش نسبت پلیمر به سیمان کارپذیری ملات‌های اصلاح شده با لاتکس نیز افزایش می‌یابد. همچنین با توجه به عملکرد خود ذرات پلیمری، ملات‌های پایه سیمانی اصلاح‌شده با لاتکس، نسبت به ملات‌های سیمانی معمولی دارای کارپذیری بهتری هستند. تاتی‌اشیکا^۱ و همکارانش [۳]، با تعیین پتانسیل زتا و اسکن میکروسکوپی الکترون، اثبات کردند که ملات‌های اصلاح‌شده با لاتکس دارای افزایش روانی می‌باشند. طبق تحقیقات سو^۲ و همکاران [۴]، چگالی ملات اصلاح‌شده با لاتکس SA، با افزایش نسبت پلیمر به سیمان کاهش می‌یابد؛ که دلیل آن وجود مواد پراکنده در لاتکس‌ها است که می‌تواند حباب هوا را در خمیر سیمان قرار دهد. ملات‌های اصلاح‌شده با لاتکس در مقایسه با ملات‌های سیمانی معمولی، نه تنها بهبود چندانی را در مقاومت فشاری ایجاد نمی‌کنند بلکه تأثیر منفی نیز دارد این در حالی است که مقاومت خمشی و مقاومت کششی را به مقدار قابل توجهی افزایش می‌دهند. میشان^۳ و همکاران [۵]، با افزودن لاتکس در نسبت‌های پلیمر به سیمان، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد و کاهش نسبت آب به سیمان ملات‌های اصلاح‌شده با توجه به ثابت نگه داشتن روانی، دریافتند که مقاومت فشاری ملات اصلاح‌شده در مقایسه با ملات سیمانی معمولی کاهش می‌یابد. شیان^۴ و زیوان^۵ [۶]، با انجام آزمایش روی ملات اصلاح‌شده با لاتکس دریافتند که مقاومت خمشی ملات اصلاح‌شده با لاتکس بیشتر از ملات معمولی است. همچنین مقاومت کششی نیز دارای افزایش قابل توجهی نسبت به ملات‌های معمولی می‌باشد. شیان و زیوان بهبود لایه مرزی بین سیمان و سنگدانه توسط ذرات لاتکس را باعث افزایش مقاومت کششی اعلام کردند. با توجه به عملکرد لاتکس SA در ملات‌های سیمانی، در این مطالعه سعی گردید تا، اثر لاتکس SA، با درصدهای ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰، روی ملات ترمیمی در تحت دو نوع شرایط عمل‌آوری بررسی و با ملات شاهد مقایسه گردد.

۲- برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- مصالح مصرفی

سیمان پرتلند مصرفی از نوع ۲ کارخانه سیمان آبیگ مطابق با استاندارد ASTM C150 [۷] استفاده شد. وزن مخصوص سیمان، ۳/۱۱ و مشخصات شیمیایی آن مطابق جدول ۱ می‌باشد. همچنین دوده سیلیس مطابق با

² Tateyashika

² Z. Su

³ Meishan Pei

⁴ Shiyun

⁵ Zhiyuan

الزامات استاندارد ASTM C1240 [۸] بوده است. وزن مخصوص دوده سیلیس، ۲/۱۸ و مشخصات شیمیایی آن مطابق جدول ۲ می باشد.

جدول ۱- آنالیز شیمیایی سیمان (درصد وزنی)

ترکیبات	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ A/F	LO I
سیمان نوع ۲ آبیک	62.1	20.8	4.7	3.8	2.4	1.9	0.08	0.03	50	23	6	12	1.20

جدول ۲- آنالیز شیمیایی دوده سیلیس (درصد وزنی)

ترکیبات	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	LO I
دوده سیلیس	3.3	88.1	1.5	0.2	0.3	0.6	-	-	1.73

تنها سنگدانه مورد استفاده از جنس ماسه سیلیسی بود؛ که دارای ۵/۲ درصد در محدوده ۰ تا ۱۲۰ میکرون و ۵۲/۱ درصد در محدوده ۱۲۰ تا ۵۰۰ میکرون و ۴۲/۷ درصد در محدوده ۵۰۰ تا ۲۵۰۰ میکرون می باشد؛ که درصد ذرات رد شده از الک ۲۰۰، وزن مخصوص و جذب آب مصالح سنگی مورد استفاده در جدول ۳ ارائه شده است. ضمناً آب مصرفی با الزامات استاندارد ASTM C1602 [۹] تطابق داشته است.

جدول ۳- وزن مخصوص، جذب آب و درصد ذرات ریزتر از الک شماره ۲۰۰ در مصالح سنگی

مصالح	وزن مخصوص در حالت خشک	وزن مخصوص در حالت SSD	وزن مخصوص ظاهری در حالت خشک	جذب آب (درصد)	درصد ذرات زیر الک شماره ۲۰۰
ماسه (۰ تا ۱۲۰ میکرون)	-	۲/۶۲	-	۲/۵	۴۵
ماسه (۱۲۰ تا ۵۰۰ میکرون)	-	۲/۶۱	-	۱/۴	۰
ماسه (۵۰۰ تا ۲۵۰۰ میکرون)	-	۲/۶۱	-	۱/۴	۰

از یک پودر ترکیبی برای ساخت ملات ترمیمی به عنوان ماده افزودنی استفاده شد؛ اجزای تشکیل دهنده این پودر شامل پودر آلومینیوم، جهت ایجاد انبساط اولیه، آهک هیدراته، جهت انبساط ثانویه، هیپو سولفیت سدیم، جهت تثبیت انبساط ایجاد شده و جلوگیری از جمع شدگی، ضدکف پودری، جهت خارج کردن حباب های درشت ناشی از اختلاط و نفتالین سولفونات جهت کاهش آب اختلاط، می باشد. وزن مخصوص این پودر برابر با ۱/۱ است. همچنین ماده پلیمری مصرفی از نوع لاتکس با پایه شیمیایی استایرن اکریلات (SA) بوده است.

۲-۲- طرح مخلوط ملات

طرح های مخلوط ملات ترمیمی به گونه ای طراحی شد تا شامل درصدهای مختلف لاتکس باشد. درصدهای اضافه شدن لاتکس به طرح مخلوط به ترتیب، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد وزنی مواد سیمانی در نظر گرفته شد. همچنین نسبت آب به مواد سیمانی، برابر با ۰/۳۵ انتخاب شد. جزئیات طرح های مخلوط ملات در جدول ۴ ارائه شده است. در تمامی طرح ها مقدار مواد سیمانی، ماسه و افزودنی پودری، ثابت در نظر گرفته شد. در طرح های مخلوط، مقدار آب کل، ثابت است. تنها تفاوت طرح های مخلوط، مقدار اضافه نمودن لاتکس بود، که برای تنظیم آب، مقدار آب

اولیه، اصلاح شد تا مقدار آب کل ثابت بماند. ضمناً اجزای تشکیل‌دهنده مصالح خشک برای ۱۱۵/۶ کیلوگرم در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۴- وزن اجزا در طرح مخلوط ملات ترمیمی به ازای ۱۱۵/۶ کیلوگرم (kg)

کد طرح مخلوط	مصالح خشک	وزن آب	درصد لاتکس	مقدار لاتکس	وزن آب + وزن آب موجود در لاتکس	نسبت آب به سیمان (۱)
SA0	۱۰۰	۱۵/۶	۰	۰	۱۵/۶	۰/۳۵
SA5	۱۰۰	۱۴/۶	۵	۲/۱	۱۵/۶	۰/۳۵
SA10	۱۰۰	۱۳/۵	۱۰	۴/۲	۱۵/۶	۰/۳۵
SA15	۱۰۰	۱۲/۵	۱۵	۶/۳	۱۵/۶	۰/۳۵
SA20	۱۰۰	۱۱/۴	۲۰	۸/۴	۱۵/۶	۰/۳۵

برای محاسبه نسبت آب به سیمان، مقدار آب لازم برای اشباع سنگدانه‌های خشک، از آب کل کم شده است.

جدول ۵- اجزاء تشکیل دهنده برای ۱۰۰ کیلوگرم مصالح خشک (kg)

سیمان	ماسه II	دوده سیلیس	افزودنی پودری
۳۹/۲	۵۷/۵۵	۳	۰/۲۵۰

۲-۳- شرایط عمل‌آوری نمونه‌ها

برای مقایسه نوع عمل‌آوری در جهت بهبود مشخصات مکانیکی، دو نوع شرایط عمل‌آوری در نظر گرفته شد:

- ۱- عمل‌آوری ترکیبی: آزمون‌ها به مدت ۲۴ ساعت در قالب، ۲۴ ساعت در آب با دمای $23 \pm 2^\circ\text{C}$ و سپس تا سن آزمایش در محیط آزمایشگاه، با دمای $23 \pm 2^\circ\text{C}$ و رطوبت نسبی $50 \pm 10\%$ درصد، عمل‌آوری شدند
- ۲- عمل‌آوری در آب: آزمون‌ها به مدت ۲۴ ساعت در قالب، سپس تا زمان آزمایش در آب با دمای $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ، عمل‌آوری شدند.

۳- برنامه آزمایش‌ها

۳-۱- آزمایش‌های مشخصات استایرن اکریلات

درصد ماده جامد در استایرن اکریلات (SA) و وزن مخصوص آن به ترتیب مطابق با روش استاندارد ISO 124 [۱۰] و ASTM D1217 [۱۱] تعیین شده است.

۳-۲- آزمایش‌های ملات تازه

چگالی ملات تازه و روانی ملات سیمانی به ترتیب مطابق با روش استاندارد ASTM C138 [۱۲] و ASTM C230 [۱۳] تعیین شده است.

۳-۳- آزمایش‌های ملات سخت‌شده

مقاومت فشاری

آزمایش مقاومت فشاری روی ۱۸ آزمون مکعبی با ابعاد ۵۰ میلی‌متر، در سنین ۷، ۱۴ و ۲۸ روز تحت شرایط دو نوع عمل‌آوری، مطابق با روش استاندارد ASTM C109 [۱۴] انجام شد. برای انجام آزمایش هر طرح، در همه سنین از سه آزمون استفاده شده است. نتایج مقاومت فشاری بر اساس متوسط نتایج سه آزمون تعیین شد.

مقاومت خمشی

آزمایش مقاومت خمشی روی ۱۸ آزمون منشوری با ابعاد $40 \times 40 \times 160$ میلی‌متر، در سنین ۱۴،۷ و ۲۸ روز تحت شرایط دو نوع عمل‌آوری، مطابق با استاندارد ASTM C348 [۱۵] انجام گرفت. برای انجام آزمایش هر طرح، در همه سنین از سه آزمون استفاده شده است. نتایج مقاومت خمشی بر اساس متوسط نتایج سه آزمون مشخص گردید.

مقاومت کششی

این آزمایش روی ۱۸ آزمون بریکت، در سنین ۱۴،۷ و ۲۸ روز تحت شرایط دو نوع عمل‌آوری، مطابق با استاندارد ASTM C307 [۱۶] انجام گرفته است. برای انجام آزمایش هر طرح، در همه سنین از سه آزمون استفاده شد. در نهایت نتایج مقاومت کششی بر اساس متوسط نتایج سه آزمون تعیین گردید.

۴- نتایج و بحث

با توجه به آزمایش‌های انجام شده، درصد جامد لاتکس SA برابر با ۵۶/۷۱ و چگالی آن برابر با $1/065 \text{ g/cm}^3$ بدست آمد. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۶، چگالی ملات تازه اصلاح شده با لاتکس با افزایش نسبت پلیمر به مواد سیمانی، بصورت جزئی افزایش می‌یابد؛ اما در مجموع چگالی ملات معمولی بیشتر از ملات اصلاح شده با لاتکس است. کمتر بودن چگالی ملات اصلاح شده نسبت به ملات معمولی، به علت حباب‌زایی لاتکس می‌باشد. نکته قابل ذکر، آن است که با افزایش درصد لاتکس، حباب‌زایی تقریباً ثابت است، بنابراین تغییر چندانی در چگالی مشاهده نمی‌شود.

جدول ۶- چگالی ملات معمولی و ملات اصلاح شده با لاتکس

نوع ملات	درصد لاتکس	چگالی (kg/m^3)
ملات معمولی	۰	۲۱۲۸
ملات اصلاح شده با SAC	۵	۱۹۷۰
	۱۰	۱۹۷۰
	۱۵	۱۹۷۰
	۲۰	۲۰۰۰

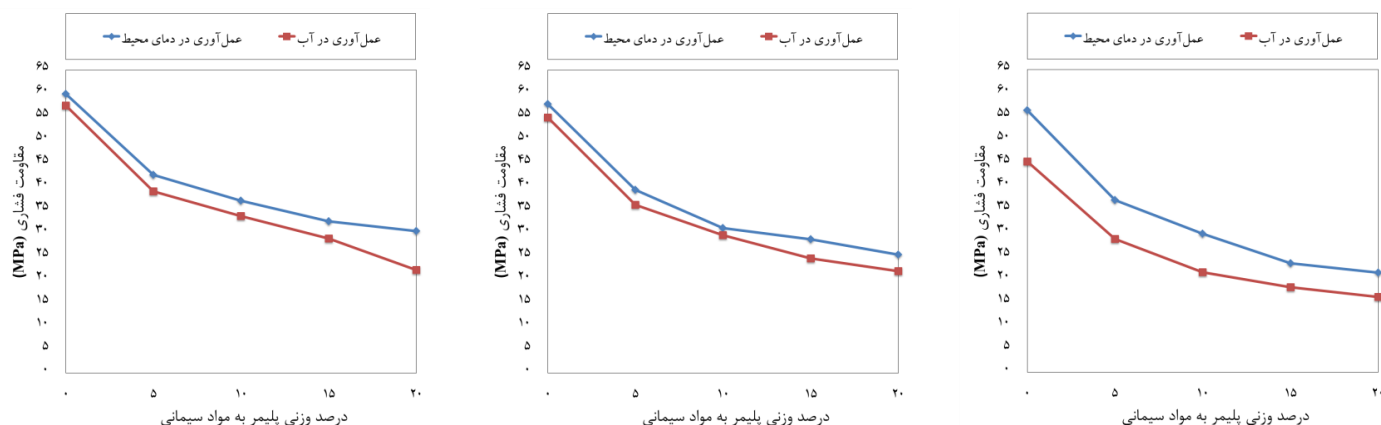
همانطور که در جدول ۷ مشاهده می‌گردد، با افزایش درصد لاتکس، میزان روانی افزایش می‌یابد؛ که این افزایش به اندازه‌ای نیست که قابلیت اجرای آن روی سطح بتن از بین رود. بر اساس تحقیقات محققان، میزان روانی با توجه به کروی بودن مولکول‌های لاتکس افزایش می‌یابد [۱۷].

جدول ۷- تعیین روانی ملات معمولی و ملات اصلاح شده با لاتکس

نوع ملات	درصد لاتکس	قطر پخش‌شدگی (cm)
ملات معمولی	۰	19.0 * 19.0
ملات اصلاح شده با SA	۵	15.0 * 15.0
	۱۰	15.8 * 16.2
	۱۵	16.6 * 17.0
	۲۰	19.5 * 20.0

۴-۱- مقاومت فشاری

نتایج مربوط به مقاومت فشاری ملات اصلاح شده با لاتکس با نسبت های مختلف پلیمر به مواد سیمانی، در سنین ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه تحت شرایط دو نوع عمل آوری در شکل ۱ نشان داده شده است.



ج- مقاومت فشاری ۲۸ روزه

ب- مقاومت فشاری ۱۴ روزه

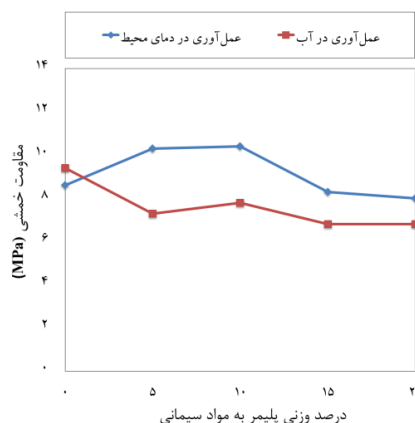
الف- مقاومت فشاری ۷ روزه

شکل ۱- مقاومت فشاری ملات اصلاح شده با لاتکس با نسبت های مختلف پلیمر به مواد سیمانی

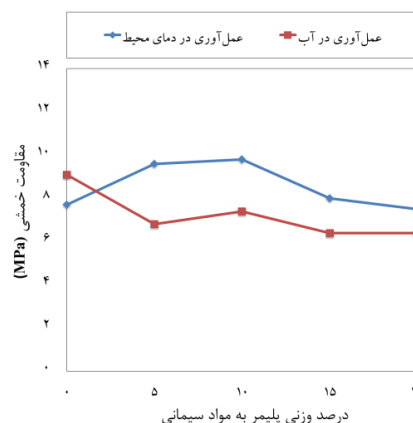
با توجه به نتایج بدست آمده، کلیه طرح های حاوی لاتکس در همه سنین، مقاومت فشاری کمتر از ملات معمولی داشتند. بیشترین مقدار مقاومت فشاری ملات معمولی در سن ۲۸ روز برابر ۵۹/۹ MPa بدست آمد. مقاومت فشاری ملات اصلاح شده با لاتکس SA با افزایش نسبت پلیمر به مواد سیمانی، کاهش می یابد، بطوریکه مقاومت فشاری ملات اصلاح شده با لاتکس SA، در نسبت پلیمر به مواد سیمانی ۲۰ درصد، در سنین ۷، ۱۴ و ۲۸ روز به ترتیب ۰/۵۸، ۰/۶۵ و ۰/۷۲ برابر مقاومت فشاری ملات اصلاح شده در نسبت پلیمر به مواد سیمانی ۵ درصد، بدست آمد. این کاهش مقاومت به دلیل حباب زایی خود لاتکس می باشد. همچنین تحقیقات وانگ و همکارانش [۱۸]، نیز نشان داد که مقاومت فشاری در عمل آوری ترکیبی (چند روز در آب و سپس در محیط خارج از آب، با دما و رطوبت مشخص) نسبت به عمل آوری در آب، بیشتر می باشد؛ که این افزایش ناشی از هیدراته شدن سیمان در آب در سنین اولیه، سپس تشکیل فیلم های پلیمری در محیط خارج از آب در طولانی مدت می باشد. افزایش مقاومت با افزایش دوره عمل آوری، مطابق با نتایج خامپوتا و سوپرو [۱۹]، علی و همکاران [۲۰] و همچنین اهاما [۲۱]، روندی صعودی دارد؛ که دلیل آن کامل هیدراته شدن سیمان می باشد.

۴-۲- مقاومت خمشی

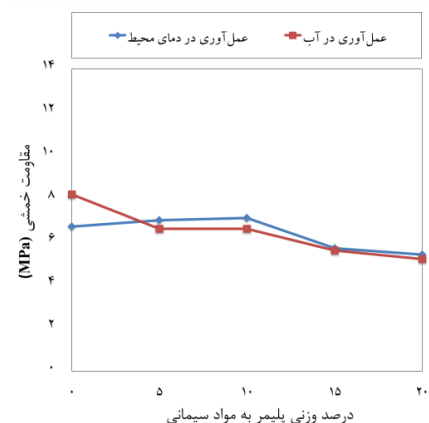
نتایج مربوط به مقاومت خمشی ملات اصلاح شده با لاتکس با نسبت های مختلف پلیمر به مواد سیمانی، در سنین ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه تحت شرایط دو نوع عمل آوری در شکل ۲ نشان داده شده است.



الف - مقاومت خمشی ۲۸ روزه



ب - مقاومت خمشی ۱۴ روزه



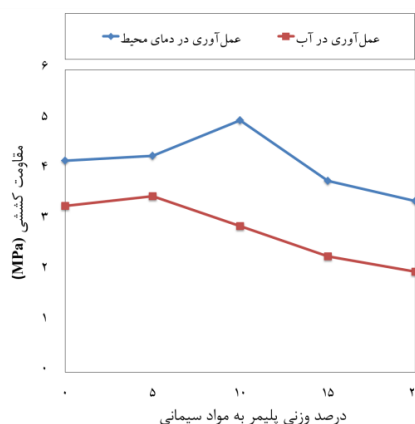
ج - مقاومت خمشی ۷ روزه

شکل ۲ - مقاوت خمشی ملات اصلاح شده با لاتکس با نسبت های مختلف پلیمر به مواد سیمانی

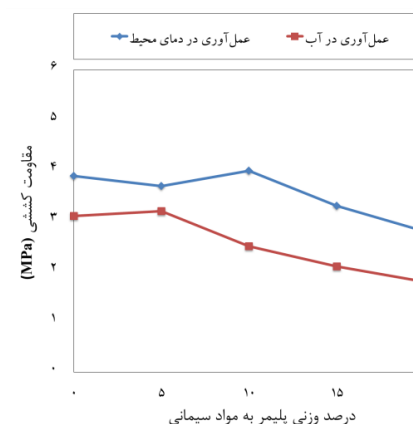
نتایج بدست آمده، حاکی از آن است که مقاومت خمشی ملات اصلاح شده تحت عمل آوری ترکیبی، در نسبت های پلیمر به مواد سیمانی، ۵ و ۱۰ درصد، بیشتر از ملات معمولی می باشد. مقاومت خمشی ملات معمولی تحت عمل آوری ترکیبی، در سن ۲۸ روز برابر با $8/6 \text{ MPa}$ بدست آمد این در حالی است که مقاومت خمشی ملات اصلاح شده با لاتکس تحت همین عمل آوری، در همه سنین، از ۰ تا ۱۰ درصد، با افزایش و از ۱۰ تا ۲۰ درصد با کاهش رو به رو شد؛ کاهش مقاومت خمشی را می توان به افزایش تولید حباب هوا با توجه به افزایش مقدار لاتکس مصرفی در ملات نسبت داد. زیرا نتایج نشان می دهد حباب هوا در نسبت پلیمر به مواد سیمانی بالاتر از ۱۰ درصد، بر چسبندگی لاتکس غلبه کرده و باعث کاهش مقاومت گردید. همانطور که انتظار می رفت نتایج مقاومت خمشی تحت عمل آوری در شرایط ترکیبی بیشتر از عمل آوری در آب بدست آمد. دلیل آن نیز کامل شدن تشکیل فیلم پلیمری در خارج از آب است [۲۲].

۳-۴ مقاومت کششی

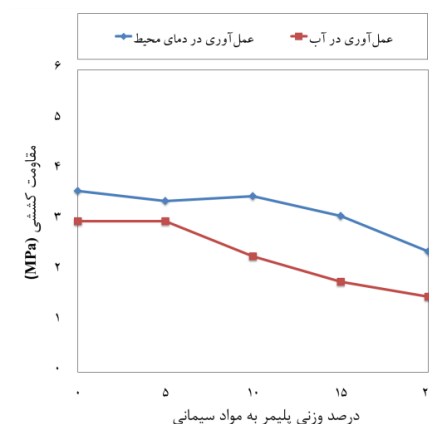
نتایج مربوط به مقاومت کششی ملات اصلاح شده با لاتکس با نسبت های مختلف پلیمر به مواد سیمانی، در سنین ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه تحت شرایط دو نوع عمل آوری در شکل ۳ نشان داده شده است.



الف - مقاومت کششی ۲۸ روزه



ب - مقاومت کششی ۱۴ روزه



ج - مقاومت کششی ۷ روزه

شکل ۳ - مقاوت کششی ملات اصلاح شده با لاتکس با نسبت های مختلف پلیمر به مواد سیمانی

همانطور که در شکل ۳ مشاهده می گردد مقاومت کششی ملات اصلاح شده با لاتکس تحت عمل آوری ترکیبی بیشتر از مقاومت کششی تحت عمل آوری در آب می باشد. عمل آوری در شرایط ترکیبی نه تنها با تشکیل فیلم

پلیمری، بلکه از خروج آب از ملات ممانعت می‌کند؛ بنابراین سیمان تحت چنین شرایطی کامل‌تر هیدراته می‌شود و موجب بهبود در مقاومت کششی می‌گردد [۲۳]. مقاومت کششی ملات اصلاح شده با لاتکس تحت عمل‌آوری ترکیبی در سن ۷ روزه در همه نسبت‌های پلیمر به مواد سیمانی کمتر از ملات معمولی می‌باشد؛ اما افزایش دوره عمل‌آوری سبب بهبود مقاومت کششی شده به طوری که در نسبت پلیمر به مواد سیمانی ۱۰ درصد، در سنین ۱۴ و ۲۸ روزه، مقاومت کششی بیشتر از ملات معمولی بدست آمده است. همچنین با افزایش نسبت پلیمر به مواد سیمانی از ۱۰ تا ۲۰ درصد، به دلیل افزایش تولید حباب هوا سبب کاهش مقاومت گردید. در مجموع افزایش مقدار پلیمر و یا نسبت پلیمر به مواد سیمانی، منجر به افزایش مقاومت کششی می‌شود ولی باید به این نکته توجه داشت که حباب هوای بیش از حد و اضافه کردن پلیمر، موجب ناپیوستگی ساختار شبکه یکپارچه شکل گرفته شده می‌شود که این امر باعث کاهش مقاومت کششی می‌گردد [۲۴]. لذا لاتکس SA دارای یک درصد بهینه مشخص هستند که با اضافه نمودن آن به ملات، باعث بهبود در مقاومت کششی خواهد شد.

۵- نتیجه‌گیری

بر اساس آزمایش‌های انجام گرفته، نتایج زیر اخذ شده است.
- استفاده از لاتکس SA باعث افزایش کارایی ملات ترمیمی می‌گردد.
- مشخصات مکانیکی ملات اصلاح شده در شرایط عمل‌آوری ترکیبی به دلیل هیدراته شدن سیمان در سنین اولیه و سپس تشکیل فیلم پلیمری، نسبت به شرایط عمل‌آوری در آب، نتایج بهتری را در همه سنین، به دست داده است.
- با مصرف لاتکس SA در ملات ترمیمی، مقاومت فشاری کاهش می‌یابد؛ بطوریکه با افزایش نسبت پلیمر به مواد سیمانی، این کاهش مقاومت بیشتر می‌گردد.
- استفاده از لاتکس SA در ملات ترمیمی، به میزان ۱۰ درصد وزن مواد سیمانی، موجب بهبود در مقاومت خمشی شده است؛ لازم به ذکر است گفته شود با مصرف لاتکس SA، بیشتر از ۱۰ درصد وزن مواد سیمانی، به دلیل تولید حباب هوای زیاد سبب کاهش مقاومت خمشی می‌گردد.
- مقاومت کششی نیز همانند مقاومت خمشی، با مصرف ۱۰ درصد وزن مواد سیمانی، موجب بهبود در مقاومت کششی شده است.

۶- قدردانی

فعالیت آزمایشگاهی ارائه شده در این مقاله در انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران انجام شده است که بدینوسیله از پرسنل آن مجموعه، قدردانی می‌گردد. همچنین از مدیریت شرکت همگرایان تولید (کپکو) و شرکت آرینا پلیمر نیز تشکر دارم که با حمایت‌های خود، موجبات پیشبرد آزمایش‌های مقاله حاضر را فراهم نمودند.

مراجع

- [۱] قدوسی، پ. (۱۳۸۰). "تعمیر سازه‌های بتنی (مصالح و روش‌ها)". شهر و سازه، تهران.
- [۲] انجمن بتن ایران. (۱۳۹۳). "کاربرد افزودنی‌های شیمیایی در بتن". یزدا، تهران.
- [3] Tateyashiki, H., Inoue, T., and Yokoe, S. (1993), *The 47th Annual Meeting of JCA, Extended Abstracts*, pp. 224-229, Japan Cement Association, Tokyo.
- [4] Z. Su, J.M.J.M. Bijen and J.A.Larbi. (1991) "Influence of Polymer Modification on the Hydration Portland Cement". *Cement and Concrete Research*, Vol. 21, pp. 242-250.

- [5] Meishan P., Wanki K., Wongil H., Aaron J. A., Yangseob S., "Effects of emulsifiers on properties of poly(styrene-butyl acrylate) latex-modified mortars", *Cement And Concrete Research*, Pages 837-841, 2002.
- [6] Shiyun, Z., Zhiyuan, C. (2002). "Properties of latex blends and its modified cement mortars", *Cement and Concrete Research*, Vol. 32, pp. 1515-1524.
- [7] ASTM C150 (2012). *Standard Specification for Portland Cement*.
- [8] ASTM C1240 (2010). *Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures*.
- [9] ASTM C1602 (2006). *Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete*.
- [10] ISO 124 (2008), *Latex, rubber - Determination of total solids content*.
- [11] ASTM D1217 (2003). *Standard Test Method for Density and Relative Density (Specific Gravity) of Liquids by Bingham Pycnometer*.
- [12] ASTM C138 (2012). *Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete*.
- [13] ASTM C230 (2003). *Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement*.
- [14] ASTM C109 (2008). *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)*.
- [15] ASTM C348 (2002). *Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars*.
- [16] ASTM C307 (2003). *Standard Test Method for Tensile Strength of Chemical-Resistant Mortar, Grouts, and Monolithic Surfacing*.
- [۱۷] مهتا، پ.ک.، مونته ئیرو، د.ج.م. (۱۳۸۳). "ریز ساختار، خواص و اجزای بتن". ترجمه رضانیانپور، ع.ا.، قدوسی، پ.، گنجیان، ا.، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- [18] Wang R., Pei-Ming W., Xin-Gui L., "Physical and mechanical properties of styrene-butadiene rubber emulsion modified cement mortars", *Cement And Concrete Research*, Pages 900-906, 2005.
- [19] Khamputa, P., Suweero, K. (2011). "Properties of Mortar Mixing with Medium Ammonia Concentrated Latex". *Energy Procedia*, Vol. 9, pp. 559-567.
- [20] Ahmed, S.A., Hawraa, S.J., Inas, S.M. (2012). "Improvement the Properties of Cement Mortar by Using Styrene Butadiene Rubber Polymer". *Engineering and Development*, Vol. 16(3), pp. 61-72.
- [21] Ohama, Y. (1995). "Polymer Modified Concrete Mortars- Properties and Process Technology". Noyes, United States of America.
- [22] ACI 212.3R (2004). *Chemical Admixtures for Concrete, Reported by ACI Committee 212*.
- ۲۳- میندس و همکاران، "بتن"، ترجمه محمد شکرچی زاده، پرویز قدوسی، علی اکبر رضانیانپور، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۹۲.
- [24] Afridi, M.U.K., Ohama, Y., Zafar Iqbal, M., Demura, K. (1995). "Water Retention and Adhesion of Powdered and Aqueous Polymer-Modified Mortars". *Cement And Concrete Composites*, Vol. 17, pp. 113-118.

The effect of styrene acrylate on the mechanical properties of repair mortars and comparison of curing conditions

Majid Nemati Chari

Construction Materials Institute, School of Civil Engineering, University of Tehran, Tehran

Mehdi Nemati Chari*

Concrete Technology Department; Road, Housing & Urban Development Research Center (BHRC)
Nematchari@gmail.com

Mohammad Shekarchizadeh

School of Civil Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

Mohammad Reza Raeismohammadian

Direct Manager of Arina polymer Co

Abstract

In order to achieve an effective and efficient repair, it is necessary to have appropriate information on the repair materials. Therefore, the repair materials must be selected in a manner that repair mortar's properties such as modulus of elasticity and thermal expansion coefficient consistent with substrate concrete. Styrene Acrylate (SA) in a cement-based repair mortar is a latex which has an appropriate thermal compatibility with substrate concrete. In this study, the physical and mechanical properties including density, consistency and compressive, flexural and tensile strength of repair mortars with the Latex to Cement (L/C) ratios of 5, 10, 15 and 20 % were investigated under two curing conditions. In the first curing condition, after 24 hours immersion in water, the specimens were cured under specified room temperature and moisture condition. In the second curing condition, the specimens were immersed in water until mechanical tests were performed. The test results of all ages showed that the mechanical properties of the specimens under first curing condition were better than the second curing condition, because of cement hydration at early ages and polymeric film formation. Moreover, using SA latex in the repair mortar with L/C of 20%, the 28 days compressive strength decreased 49% under the second curing condition; however, SA latex in the repair mortar with L/C of 10% increased the 28 days flexural and tensile strength by 21% and 19% respectively under the second curing condition

Keywords: Repair Mortar, Latex, Styrene Acrylate, Curing

مطالعه روش های مقاوم سازی لرزه ای ساختمان های بتن مسلح واقع در شهرستان کازرون با استفاده از روش TOPSIS

دریافت مقاله: ۱۳۹۶-۱۱-۲۰

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷-۴-۲۴

محمدرضا احسان دوست *

کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کازرون، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، کازرون، ایران
e.ehsandoost20@gmail.com

آریانپور، یاسر

دانشجوی دکترا و معاونت آموزشی موسسه آموزش عالی لیان، موسسه آموزش عالی لیان - دانشکده مهندسی، بوشهر، ایران
yaser.a@yahoo.com

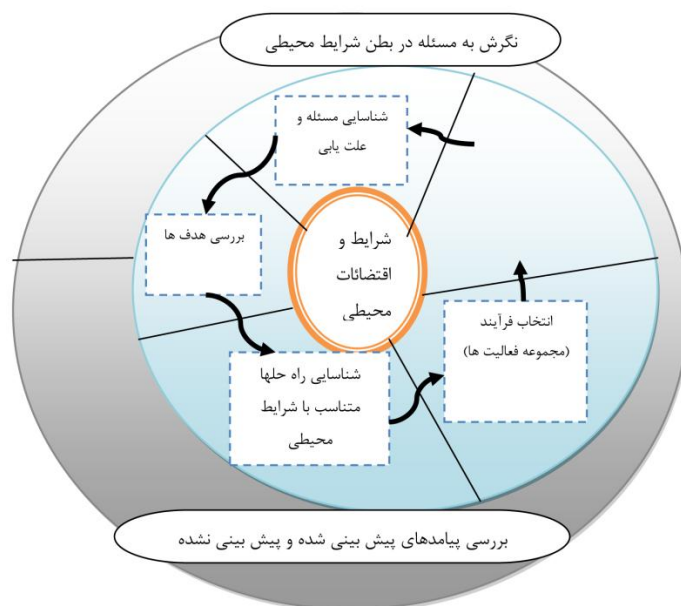
چکیده:

بطور کلی دلایل مختلفی برای مقاوم سازی سازه ها وجود دارد از جمله آنها می توان به ساختمان های آسیب دیده در اثر وقوع زلزله و ساختمان هایی که به دلیل تغییر ضوابط آئین نامه مقاومت کافی ندارند و یا ساختمان هایی که کاربری آنها تغییر داده شده است، اشاره کرد در این راستا مهندسين و محققين کشور در تلاش هستند تا با استفاده از روش های محاسباتی، بهترین راه حل را با کمترین هزینه و بالاترین ضریب اطمینان بدست آورند. با توجه به این که برخی از سازه های موجود در شهرستان کازرون ویژگی های یک سازه مقاوم در برابر زلزله را ندارند، و بیشتر آنها مطابق با آئین نامه ویرایش دوم زلزله ایران و قبل از آن ساخته شده اند، لازم است نسبت به بررسی آنها، اقدام شود تا در ادامه با راه حل های مناسب، بهسازی در آن صورت گیرد. در این پژوهش، در ابتدا به تحلیل و بررسی روش های مقاوم سازی لرزه ای ساختمان های متعارف بتن مسلح که در شهرستان کازرون مورد مطالعه قرار گرفته و پس از آن با استفاده از نظر متخصصین و توزیع و جمع آوری و تحلیل پرسشنامه هدفمند و روش TOPSIS به اولویت بندی روش مناسب برای مقاوم سازی لرزه ای ساختمان های بتن مسلح متعارف در شهرستان کازرون پرداخته شده است. نتایج این پژوهش نشان دهنده این است که از اولویت های مهم مقاوم سازی ساختمان های بتن مسلح متعارف در شهرستان کازرون روش های غلاف فولادی، غلاف بتن مسلح و دیوار برشی بتن مسلح و استفاده از FRP است.

کلمات کلیدی: ساختمان بتن مسلح، بهسازی و مقاوم سازی، TOPSIS، شهرستان کازرون

زلزله می تواند یکی از اثرگذارترین پدیده های طبیعی در زندگی و رفتار مردم یک جامعه باشد. کشور ایران نیز به علت واقع شدن بر روی کمربند لرزه ای آلپ-همالیا درگیر این مسئله بوده و زلزله های بزرگی را تاکنون تجربه کرده است. زلزله بم، منجیل، طبس، زرنند و نظایر آن می تواند موید این گفتار باشد. با توجه به آنچه گفته شد لزوم داشتن ساختمان های مقاوم که در سطح عملکرد مناسب توانایی به حداقل رساندن خسارت جانی و مالی هنگام زلزله را داشته باشند، امری ضروری بوده و یکی از مهم ترین چالش های مهندسين سازه در دهه های اخیر به شمار می رود. آیین نامه های متعددی نیز به همین منظور تهیه شده اند. (۱) استفاده از ساختمان های بتن مسلح از چند دهه پیش در کشور ما متداول بوده است. بسیاری از ساختمان های موجود زمانی طراحی و اجرا شده اند، که مبانی طراحی لرزه ای به خوبی شناخته شده نبوده است. آئین نامه ها، دستورالعمل های مشخصی و استاندارد ۲۸۰۰ یا وجود نداشته و یا در صورت وجود، به دلیل نو پا بودن به صورت الزام آور اجرا نمی شده، لذا این ساختمان ها دارای مقاومت، سختی و شکل پذیری کافی برای پاسخ به نیازهای لرزه ای نیستند (۲-۳).

در حالت کلی دو روش برای افزایش ظرفیت لرزه ای سازه ها وجود دارد. می توان کل سازه را با اضافه کردن اعضای جدید همانند دیوار برشی فولادی یا بتن مسلح، مهاربند فولادی، دیوارهای پرکننده، کابل های پس تنیده، میراگرها و غیره تقویت نمود و یا اینکه با ترمیم و تقویت اعضای موجود همانند استفاده از پوشش های FRP و سایر روش های مرسوم برای تقویت موضعی تیرها و ستون های بتن مسلح آسیب پذیر و نیازمند به تقویت استفاده کرد. البته لازم به ذکر است، روش منحصر به فردی برای رسیدن به پاسخ سازه ای قانع کننده وجود ندارد و الگوهای مقاوم سازی متفاوتی را می توان برای تقویت یک سازه خاص به کار برد. ولی در تمامی روش ها، معمولاً اهداف و معیارها افزایش استحکام و مقاومت سازه ها، افزایش انعطاف پذیری و شکل پذیری و یا مجموعه ای از دو خاصیت مذکور دنبال می گردد که اهمیت هر یک از معیارهای فوق به منظور انتخاب روش ترمیم بستگی به اهمیت، ارتفاع، مقاومت و انعطاف پذیری سازه و همچنین پلان مربوطه دارد. (۴) انتخاب روش های مقاوم سازی بستگی به پارامترهای متعددی از جمله نوع سیستم باربر قائم و جانبی، نوع مصالح، فناوری موجود و نیروی کار ماهر دارد. در فرآیند اتخاذ تصمیم های سازمانی، مدیران معمولاً برای پیروی از عقلانی بودن رویکردها، مسئله پیش روی خود را تعریف و تمام حقایق آن را با توجه به افق زمانی، سطح پوشش و حساسیت گردآوری می کنند. راهکارها را تنظیم و آنها را اولویت بندی می کنند، سپس یکی از راهکارها را که با شرایط، توانمندی ها، امکانات و زمان تطابق پیدا می کند انتخاب می کنند و به اجرا در می آورند. اساساً در شناسایی مسائل دو نوع طرز تفکر خطی (تحلیلی تجزیه مدار) و طرز تفکر غیرخطی (سیستمی) که منجر به تدوین مدل باز تصمیم گیری با تعامل با محیط می شود، وجود دارد (شکل ۱).



شکل (۱) - نگرش طرز تفکر سیستمی (۵)

هدف از انتخاب راه کار، حل مسئله برای رسیدن به هدف های از پیش تعیین شده است. تصمیم یک پایان نیست، بلکه فقط ابزاری برای نیل به پایان (هدف) است. که تصمیم گیر، راهکاری را انتخاب می کند که او را به هدف برساند. بنابراین، این انتخاب را نباید به منزله یک عمل مجزا تلقی کرد. اگر این طور باشد که عواملی که منجر به اخذ تصمیم و هدایت آن می شود احتمالاً کنار گذاشته خواهند شد. به ویژه اینکه، مراحل تصمیم گیری باید، اجرا، کنترل و ارزشیابی آثار راه کارها را هم شامل شوند. نقطه حساس و با اهمیت این است که تصمیم گیری یک عمل مکانیکی نیست، بلکه یک فرآیند پویاست. در حالی که اکثر مدیران راه کارهایی انتخاب می کنند که دستیابی به آنها به زیان هدف های دیگر منجر می شود. عوامل متعددی در انتخاب تکنیک مقاوم سازی تاثیر دارند که در زیر به بخشی از آنها می پردازیم:

الف- ارزش سازه در مقابل اهمیت آن

ب- نیروی انسانی موجود.

پ- طول مدت اجرا یا زمان عدم استفاده.

ت- تکمیل و تقویت براساس عملکرد مورد نظر کارفرما.

ث- توجه به تناسب زیبا شناسی (معماری).

ج- تداخل برگشت پذیری.

چ- کنترل کیفی سطح عملکرد.

ح- اهمیت تاریخی و سیاسی سازه.

خ- سازگاری روش مقاوم سازی با سیستم سازه ای موجود.

د- نامنظمی در سختی، مقاومت و شکل پذیری.

ذ- مواد ترمیمی و روش های موجود مقاوم سازی.

۲- بررسی روش های مقاوم سازی و بهسازی لرزه ای ساختمانهای بتن مسلح

۲-۱) تقویت سازه با اضافه کردن اعضای جدید

الف) اضافه کردن دیوار برشی

دیوارهای برشی به لحاظ دارا بودن سختی و مقاومت زیاد، در برابر نیروهای جانبی و مهمترین عنصر مقاوم سازه در برابر نیروهای جانبی می باشند. به عبارت دیگر افزایش تعداد دیوارهای برشی از روش های مناسب برای تقویت سازه موجود در برابر زلزله و بهبود رفتار آن است. استفاده از دیواربرشی بتنی با توجه به وزن بالایی که به سازه تحمیل می کنند و حجم بالایی که دارد برای مقاوم سازی ساختمان های کوتاه مرتبه توصیه می شود. در این حالت برش پایه افزایش یافته و به دلیل افزایش فشار، تقویت شالوده سازه موجود زیر دیوار برشی اضافه شده هزینه بالایی را در پی دارد. استفاده از دیوار برشی فولادی به دلیل زمان نصب و ساخت از لحاظ اقتصادی مزایایی دارد و همچنین هزینه تقویت سایر اجزاء ساختمان نظیر شالوده را چندان تحت تأثیر قرار نمی دهد. اما یکی از معایب این دیوارهای برشی فولادی کمانش موضعی یا کلی در نواحی فشاری است که مقاومت برشی، سختی و ظرفیت استهلاک انرژی را کاهش می دهد که برای جلوگیری از این کمانش، سخت کننده به آن اضافه کرده که باعث افزایش هزینه های ساخت می گردد (۴).

ب) اضافه کردن بادبندهای فولادی

اضافه شدن بادبندهای هم محور و برون محور فولادی به قاب های بتن مسلح باعث افزایش مقاومت جانبی قاب می گردد. بادبندها به حالت های فشاری، کششی و به اشکال V، X (Chevron) و زانویی اجرا می گردند. اصولاً بادبندهای کششی نسبت به بادبندهای فشاری در سیکل های متناوب بارگذاری، رفتار لرزه ای بهتری داشته و حلقه های هیستریزس آنها باریک شدگی کمتری داشته و افت سختی کمتری دارند. مزایای این روش عبارتند از: افزایش مقاومت و شکل پذیری سازه، اعمال وزن کمتر به سازه، امکان استفاده از بازو و پنجره در قاب بادبندی شده، اجرای نسبتاً آسان و کنترل کیفیت ساده تر می باشد. عیب روش فوق عدم اتصال مناسب بین بادبند فولادی و قاب بتن مسلح است که اتصال را حین زلزله آسیب پذیر می سازد. در صورتی که در اعضای فشاری بادبند کمانش اتفاق نمی افتد و امکان تشکیل مفصل خمیری فشاری فراهم می گردد، یعنی رفتار این اعضا در کشش و فشار یکی شوند، اعضای مهار می توانند در کشش و فشار به تسلیم برسند. در مقاوم سازی قاب های بتن مسلح به کمک بادبندهای فولادی مشخص شد که بادبندهای فولادی می توانند تا ۹۰ درصد ظرفیت باربری جانبی سازه را ارتقا ببخشند و مهمترین نکته که باید مورد توجه قرار گیرد نوع اتصال مهاربند به قاب می باشد که بالاترین تأثیر را روی عملکرد مهاربند می گذارد (۶).

ج- اضافه کردن میراگرها

اضافه کردن میراگرها سبب می شود میرایی افزایش یافته و باعث کاهش دامنه نوسان و به دنبال آن کاهش پاسخ لرزه ای سازه شود. معمولاً میراگرها روی بادبند، بین بادبند، تیر، بین دیوارها یا بین دیوار و تیر نصب می شوند.

۲-۲) تقویت سازه با ترمیم اعضای موجود به وسیله ورق های FRP

FRP^۱ نوعی ماده کامپوزیت متشکل از دو بخش فیبر یا الیاف تقویتی است که به وسیله یک ماتریس رزین از جنس پلیمر احاطه شده است. فیبرهای تشکیل دهنده می توانند در یک راستا یا دو راستای عمود بر هم قرار داشته باشند. به طور کلی FRP ها به دو شکل ورقه های FRP و میلگردهای FRP وجود دارند و براین اساس فیبر تشکیل دهنده آن به دسته های CFRP با الیاف از جنس کربن، GFRP با الیاف از جنس شیشه و AFRP با الیاف از جنس آرامید هستند. از آنجایی که در قریب به اتفاق ساختمان ها تنها یک بار عملیات مقاوم سازی صورت می گیرد، انتخاب بهترین روش با توجه به نیاز ساختمان بسیار حائز اهمیت است. در مقاوم سازی ساختمان ها روش کاملی وجود ندارد و تمام روش ها دارای محاسن و معایبی هستند که برای انتخاب هر کدام از آنها باید علاوه بر محاسن، به معایب و

^۱ Fiber Reinforced polymer or plastic

محدودیت‌های آنها نیز توجه شود. در زمینه روش های مختلف مقاوم سازی ساختمان های بتنی تحقیقات بسیاری انجام شده است. به عنوان مثال می توان به نتایج محققانی که با استفاده از الیاف تقویت کننده پلیمری در ستون های بتن مسلح باعث می شود که ۱۹ درصد افزایش مقاومت و افزایش شکل پذیری به میزان 38 درصد منجر شود و بدینوسیله باعث هدایت نقطه شکست سازه از داخل ستون ها به داخل تیرها می شود (۷).

۳-مروری بر تحقیقات صورت گرفته

عباسی دزفولی و همکارش با توزیع پرسشنامه به تحلیل و بررسی روش های مرسوم مقاوم سازی لرزه ای ساختمان ها از دیدگاه مدیریت ساخت پرداختند. در مطالعات آنها روش های شناسایی شده مشتمل بر موارد مطابق جدول (۱) بوده است.

جدول (۱):انواع روش های شناخته شده برای مقاوم سازی ساختمان های بتنی

روش های شناخته شده برای مقاوم سازی ساختمان های بتنی	غلاف بتن مسلح	پارچه FRP	غلاف بتن مسلح	غلاف فولادی
	میلگرد FRP	مهاربند فولادی	پیش تنیدگی	میان قاب
	دیوار برشی فولادی	جداساز	FRP	مهاربند پیرامونی

همچنین براساس مطالعات آنها شش معیار اصلی برای انتخاب روش مقاوم سازی مشتمل بر محدودیت زمانی، هزینه اجرایی، اهداف عملکردی، پرهیز از ریسک، ضرورت در خدمت بودن ساختمان، محدودیت پلان و نما برای اجرا بود. در مطالعات آنها استفاده از دیوار برشی بتن مسلح، غلاف فولادی، پارچه FRP مرسوم ترین روشهای مقاوم سازی لرزه ای نتیجه گیری شد (۸).

Jirsa و Badoux (۹) در سال ۱۹۹۰ یک آزمایش بارگذاری چرخه ای را روی قاب های مقاوم سازی شده با مهاربندهای داخل قابی انجام دادند. برخی دیگر از محققین (۱۰-۱۱) تاثیر بکارگیری اعضاء خرپایی را برای مقاوم سازی قاب بتن مسلح بررسی نمودند.

در مطالعه روشنگار و همکارش معمول ترین روش های یاد شده مقاوم سازی، استفاده از دیوار برشی بتن مسلح، بادنبد فولادی، غلاف بتن مسلح، غلاف فولادی، پوشش FRP، مصالح میان قاب عنوان شده است. در بین روش های موجود برای تقویت ساختمان های دارای قاب بتن مسلح، استفاده از بادنبد فولادی به دلیل سرعت عمل و سادگی در اجرا، آسان بودن و کم هزینه تر بودن ترمیم و یا تعویض سیستم بادنبدی آسیب دیده بعد از وقوع زلزله و نداشتن محدودیت جهت عبور لوله های آب، برق و تأسیسات، بهترین روش شناخته شد (۱۲).

ناطق الهی (۱۳) مهاربندهای فولادی داخلی را برای بهبود ظرفیت باربری ساختمان هشت طبقه در ایران به کار برد. Ghobarah و همکارانش (۱۴) ساختمان های بتن مسلح غیرشکل پذیر موجود را به کمک مهاربندهای فولادی V معکوس هم محور و برون محور مقاوم سازی نمودند.

عباسی طرئی و همکارانش روش های سبک سازی و کاهش وزن ساختمان، محدود نمودن در استفاده از سازه یا تغییر کاربری، استفاده از ورق های پوشش یا غلاف، افزودن مهاربند هم محور یا برون محور فولادی، افزودن دیوار برشی بتن مسلح یا فولادی، استفاده از جداگرهای پایه و پی های لغزشی، استفاده از میراگرهای اصطکاکی هیستریز و ویسکوالاستیک، و استفاده از روش های ترکیبی فوق برای بهسازی لرزه ای سازه های بلند مرتبه فولادی معرفی کردند (۱۵).

ماهری و کوهساری (۱۶) یک کار آزمایشگاهی بارافزون (Pushover) را روی قاب های بتن مسلح مهاربندی شده با اعضاء فولادی انجام دادند. در این مطالعه به منظور دستیابی اهداف ابتدا قاب های بتن مسلح برای مقاوم سازی، بر اساس ویرایش دوم "آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله" (۱۷) بارگذاری لرزه ای گردیده و طراحی کردند.

سپس بارهای لرزه ای افزایش یافته که بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم (۱۸) محاسبه شده به قاب ها اعمال گردیدند.

احمدی مقدم و همکارش در مقاله خود استفاده از دیوار برشی فولادی، تقویت مهاربند، تقویت و سبک سازی اعضای سازه ای، تقویت مسیر بار و اضافه کردن اجزا قائم باربر جانبی جدید، منظم سازی شکل کلی ساختمان، مقابله با اثر ساختمان های مجاور و کاهش نیروهای زلزله وارد به ساختمان ها را روش های مقاوم سازی برای سازه عنوان کردند. در مطالعه آنها روش های عمومی مقاوم سازی اسکلت، شامل تعبیه مهاربندهای مناسب در هر دو راستا و تعبیه دیوار برشی و تعبیه میان قاب های مناسب نتیجه گیری کردند (۱۹).

براساس گزارش FEMA روش های بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود عبارتند از:

الف- رفع بی نظمی های موجود در پلان و ارتفاع

ب- تکمیل مسیر انتقال نیرو.

پ- اضافه کردن سیستمهای باربر جانبی.

ت- کاهش وزن ساختمان.

ث- افزایش مقاومت و یا جایگزین کردن اعضا و المانهای ضعیف سازه.

ج- استفاده از سیستم های جداساز لرزه ای.

چ- استفاده از سیستمهای فعال و غیر فعال اتلاف انرژی (۲۰).

روش غلاف فولادی و دیوار برشی در حالاتی که به تعداد کمتری از آنها در بهسازی احتیاج باشد در موارد خاص مناسب هستند. در حالی که بادبندهای فولادی در صورت اطمینان از اجرای مناسب و کنترل کیفی دقیق گزینه مناسب است. نتیجه مطالعات باورسایبی موارد مذکور را نشان داد (۲۱).

۴- معرفی منطقه مورد مطالعه

وجود گستره پایدار سپر اوراسیا و تنش های فشارشی ناشی از حرکت صفحه عربی در راستای شمال-شمال شرقی و حرکت صفحه هند در راستای شمال-شمال غربی، موجب حرکت و جابجایی های نسبی متفاوت در قطعات گوناگون پوسته ایران می شود. شهرستان کازرون در ۵۱ درجه و ۳۹ دقیقه و ۱۵ ثانیه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. شهرستان کازرون مرکز **شهر کازرون** در بخش باختری **استان فارس** و در جنوب غربی ایران است. این شهرستان با برخورداری از ارزش های معماری و نیز از آنجا که مجموعه ای از آثار باستانی و بناهای تاریخی را در خود جای داده است، در بین شهرهای ایران حائز اهمیت است. قرارگیری شهرستان کازرون در بین راه های ارتباطی کشور (از خاور به **شهر شیراز**، از شمال به **شهرستان ممسنی** و از باختر و جنوب به **استان بوشهر** و از جنوب خاوری به **شهرستان فراهبند**)، موقعیت ویژه ای به این شهرستان بخشیده است (شکل ۲). این ناحیه که در ایالت لرزه زمین ساختی زاگرس واقع شده، از نظر زمین ساختی ناحیه ای فعال است.



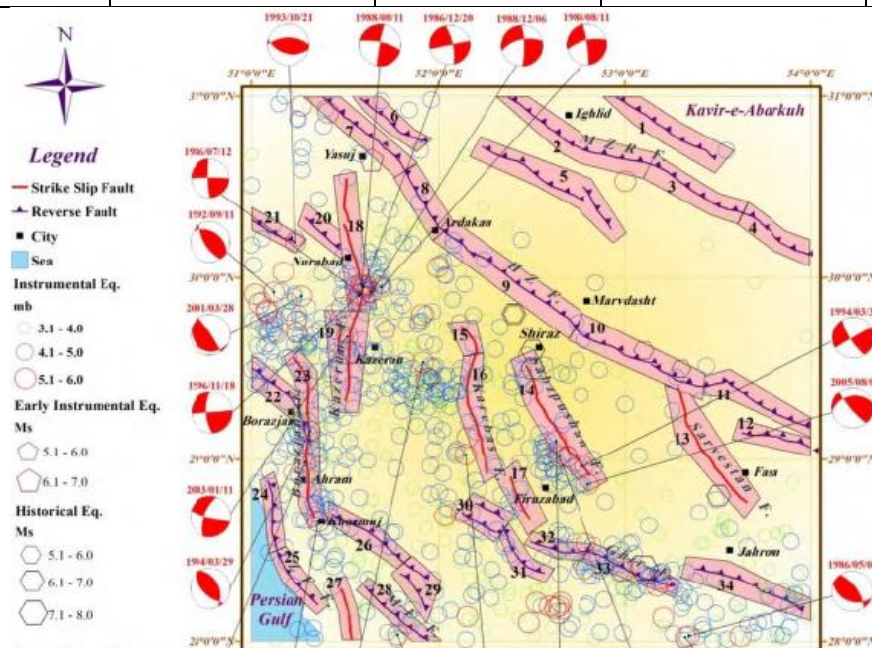


شکل (۲): موقعیت ناحیه مورد مطالعه (قسمت دایره ای) بر روی نقشه

در شهرستان کازرون، گسل کازرون که به گسل قطر کازرون معروف است و گسل منطقه کوهمره سرخی از جمله گسل های این شهرستان به شمار می روند که نسبت به دیگر گسل ها فعال ترند. سوابق لرزه خیزی شهرستان کازرون نشان دهنده آن است که کازرون روی کمر بند زلزله است و بارها به سبب زلزله با خاک یکسان شده است. درجه ی خطر نسبی زلزله در شهرستان کازرون دارای دامنه زیاد است (جدول ۲- شکل ۳). آخرین زلزله در شهرستان کازرون، زلزله ی سال ۱۳۸۹ به قدرت ۶/۱ ریشتر بود. جمعیت این شهر در سال ۱۳۹۰ بالغ بر ۱۴۰,۸۶۹ نفر بوده است. ارتفاع این شهر از سطح دریا ۸۶۰ متر بوده و دارای آب و هوایی معتدل است.

جدول (۲): خطر نسبی زمین لرزه در شهرستان کازرون (۲۲)

ناحیه ی خطر	خطر زمین لرزه (کیفی)	محدوده ی شتاب مینای طراحی (g)	محدوده سرعت مینای طراحی (cm/s)	وسعت ناحیه (کیلومتر مربع)
ناحیه ۲	بالا	$0.37 \leq a < 0.32$	$15 < v < 20$	۵۶۳۴۰



شکل (۳)- نقشه لرزه زمین ساختی استان فارس (۲۳)

۵-روش تحقیق

جمع آوری اطلاعات و تحلیل آنها باید به نوعی باشد که جامعه ی آماری مورد بررسی را به طور کامل پوشش دهد و حجم اطلاعات دریافتی به حدی باشد که سطح اطمینان آن بالا باشد و بتوان به آن استناد شود. در این مطالعه روش های گردآوری اطلاعات به شرح زیر می باشد.

۵-۱) پرسشنامه

در این تحقیق تمام اعضای جامعه شانس یکسانی در انتخاب نمونه دارند و با توزیع پرسشنامه میان ۱۳ متخصص بتن با درجه کارشناسی ارشد و دکتری و میانگین سابقه اجرایی ۱۴/۳ سال در پروژه های کشور بودند که بیشتر افرادی که پرسشنامه را تکمیل کرده اند متخصصین ساخت و ساز در شهرستان کازرون و همچنین از اساتید دانشگاهی این شهرستان بوده اند. در نهایت عوامل مؤثر به ترتیب درجه اهمیت مرتب شده و مهمترین عامل انتخاب شده است. در این پژوهش، از قاعده ی ترکیبی به منظور استخراج اطلاعات استفاده شده است. این قاعده بدین صورت است که ترکیب وزنی از هر دسته را به عنوان یک اولویت به کار می گیرد (۲۴).

۵-۲- روش TOPSIS

روش TOPSIS، یکی از روش های معروف تصمیم گیری چندمعیاره کلاسیک می باشد که اولین بار توسط هوانگ و یون (۲۵) معرفی شد. این روش بر اساس این مفهوم است که گزینه منتخب باید کمترین فاصله را از راه حل مثبت ایده آل داشته باشد (یعنی دستیابی به کمترین شکاف در هر معیار) و بیشترین راه حل منفی ایده آل را داشته باشد (یعنی دستیابی به سطوح حداکثری در هر معیار). TOPSIS شاخصی را تعریف می کند که شباهت به راه حل مثبت ایده آل و دوری از راه حل منفی ایده آل خوانده می شود. سپس در این روش گزینه ای انتخاب می شود که بیشترین شباهت را به راه حل ایده آل مثبت دارد (۲۶) این روش خصوصاً در حل مسائل تصمیم گیری گروهی در فضای فازی کارایی دارد. (۲۷) در ادامه بطور مختصر به منطق نظریه فازی پیش از توسعه TOPSIS فازی می پردازیم. این مفهوم ریاضی برگرفته شده از کار بایوکوزکان و فیض اوگلو و نبول^۲ (۲۸) کو و دیگران (۲۰۰۷) و وانگ و چانگ (۲۰۰۷) است.

۵-۲-الف) الگوریتم

الف) تبدیل ماتریس تصمیم گیری موجود به یک ماتریس بی مقیاس شده با استفاده از رابطه (۱) نشان داده شده است:

$$n_v = \frac{r_v}{\sqrt{\sum_{i=1}^m r_v^2}} \quad \text{رابطه ۱}$$

ب) ایجاد ماتریس بی مقیاس وزین با مفروض بودن بردار W به عنوان ورودی به الگوریتم یعنی:

$$w = \{w_1, w_2, \dots, w_n\} \approx (DM)$$

$$F = V = N_D W_{n \times n} = \begin{vmatrix} v_{11}, \dots, v_{1j}, \dots, v_{1n} \\ \vdots \\ v_{m1}, \dots, v_{mj}, \dots, v_{mm} \end{vmatrix} \quad \text{رابطه ۲}$$

F = ماتریس بی مقیاس وزین

به طوری که N_D ماتریسی است که امتیازات شاخص ها در آن بی مقیاس و قابل مقایسه شده است و $W_{n \times n}$ ماتریسی است قطری که فقط عناصر قطر اصلی آن، غیر صفر خواهد بود.

^۲ Buyukozkan, Feyzioglu and Nebol
^۳ Kuo

برای گزینه ایده آل مثبت (A^+) و ایده آل منفی (A^-) تعریف کنیم:

رابطه ۳

$$A^+ = \left\{ \left(\max_{ij} V_{ij} I_j \in J \right), \left(\min_{ij} V_{ij} I_j \in J^\circ \right) \mid i = 1, 2, \dots, m \right\} = \{V_1^+, V_2^+, \dots, V_j^+, \dots, V_n^+\}$$

$$A^- = \left\{ \left(\min_{ij} V_{ij} I_j \in J \right), \left(\max_{ij} V_{ij} I_j \in J^\circ \right) \mid i = 1, 2, \dots, m \right\} = \{V_1^-, V_2^-, \dots, V_j^-, \dots, V_n^-\}$$

به طوری که

$$J = \{j = 1, 2, \dots, n\} \longrightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{Iهای مربوط به سود} \end{array} \right\}$$

$$J^\circ = \{j = 1, 2, \dots, n\} \longrightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{Iهای مربوط به سود} \end{array} \right\}$$

(پ) محاسبه اندازه جدائی (فاصله)

فاصله گزینه i ام یا ایده آل با استفاده از روش اقلیدسی بدین قرار است:

$$d_{i+} = \left\{ \sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2 \right\}^{0.5} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

رابطه ۴

d_{i+} = فاصله گزینه i ام از ایده آل مثبت

$$d_{i-} = \left\{ \sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2 \right\}^{0.5} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

d_{i-} = فاصله گزینه i ام از ایده آل منفی

(ت) محاسبه نزدیکی نسبی A_i به راه حل ایده آل منفی، این نزدیکی نسبی به صورت زیر تعریف می گردد:

$$0 \leq cl_{i+} < 1$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

$$cl_i = \frac{d_i}{(d_{i+} + d_{i-})}$$

رابطه ۵

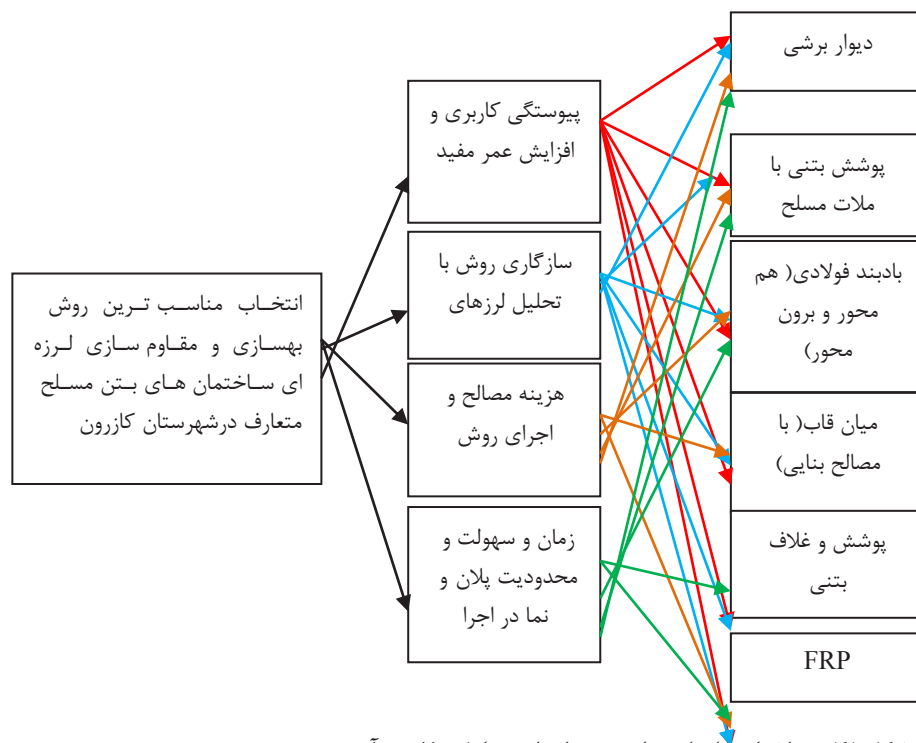
ملاحظه می شود که چنانچه $A_i = A^+$ گردد آنگاه $d_{i+} = 0$ بوده و بر این اساس $cl_{i+} = 1$ خواهد شد و در صورتی که $A_i = A^-$ شود آنگاه $d_{i-} = 0$ بوده و $cl_{i+} = 0$ خواهد شد. بنابراین هر اندازه گزینه A_i به راه حل ایده آل (A^+) نزدیک تر باشد، ارزش cl_{i+} به واحد نزدیک تر خواهد بود.

ج) رتبه بندی گزینه ها بر اساس ترتیب نزولی cl_{i+} می توان گزینه های موجود از مساله مفروض را رتبه بندی نمود (۲۹).

۶- گزینه ها و معیارهای مورد ارزیابی

با توجه به قسمت های پیشین معیارهای در نظر گرفته شده در این مدل سازی، زمان و سهولت و محدودیت پلان و نما در اجرا، هزینه مصالح و اجرای روش، سازگاری روش با تحلیل لرزه ای، پیوستگی کاربری و افزایش عمر مفید بوده است و عوامل مؤثر در اولویت بندی روش های متعارف بهسازی عبارتند از: بادبند فولادی (هم محور و برون محور)، دیوار برشی، میان قاب (با مصالح بنایی)، غلاف بتن مسلح، استخراج شد، که در شکل شماره (۴) ساختار سلسله مراتبی این مسئله نشان داده شده است. در سطح اول ساختار، هدف مسئله که اولویت بندی روش های

متعارف بهسازی در شهرستان کازرون می باشد، آورده شده است. در سطح دوم معیارهای مؤثر در این اولویت بندی و در سطح سوم روش های شناسایی شده برای اولویت بندی نشان داده شده است. قابل ذکر است که، استفاده از روش های مشتمل بر کابل های پس تنیده و پیش تنیده و جدایش گرهای پایه و میراگرهای استاتیکی هیستریزیس و ویسکوالاستیک که از روش های متعارف نمی باشد، از محدوده این پژوهش خارج است.



شکل (۴): ساختار سلسله مراتبی معیارها و عوامل مؤثر بر آن

۷- نتایج حاصل از روش TOPSIS

در ماتریس مقایسات زوجی، مقدار هر عنصر ماتریس بیان گر درجه اهمیت معیار سطر نسبت به معیار ستون می باشد. در جدول (۳) ماتریس مقایسه زوجی گزینه ها با توجه به معیار زمان و سهولت اجرا و محدودیت پلان و نما در اجرا نشان داده شده است. درایه های این ماتریس حاصل میانگین حسابی نظرات تصمیم گیرندگان مختلف با قدرت تصمیم گیری یکسان می باشند.

جدول (۳): ماتریس مقایسه زوجی گزینه ها با توجه به معیار زمان و سهولت اجرا و محدودیت پلان و نما در اجرا

روش های مقاوم سازی	بادبند فولادی (هم محور و برون محور)	دیوار برشی	میان قاب (با مصالح بنایی)	غلاف بتن مسلح	پوشش بتن مسلح	FRP
بادبند فولادی (هم محور و برون محور)	۱	۶,۹	۵	۳,۲	۱,۴	۱,۶
دیوار برشی	۱,۸	۱	۱,۴	۱,۶	۱,۹	۲
میان قاب (با مصالح بنایی)	۱,۶	۳,۲	۱	۱,۴	۱,۸	۲
غلاف بتن مسلح	۱,۴	۵	۳,۲	۱	۱,۶	۱,۸
پوشش بتن مسلح	۳,۲	۸	۷	۵	۱	۱,۴
FRP	۵	۹	۹	۷	۳,۲	۱

همان طور که مطابق جدول شماره (۳) نشان داده شده است استفاده از FRP بهترین عملکرد را با توجه به معیار زمان و سهولت اجرا و محدودیت پلان و نما خواهد داشت. به همین ترتیب بقیه معیارها نیز وزن دهی می شوند پس از به دست آوردن وزن هر یک از گزینه ها با توجه به معیارهای مختلف، اولویت هر یک از گزینه ها با توجه به معیارهای مختلف در جدول شماره (۴) نشان داده شده است.

جدول ۴: اولویت بندی گزینه ها با توجه به معیارهای مختلف

معیارها / اولویت ها	زمان و سهولت و محدودیت پلان و نما در اجرا	هزینه مصالح و اجرای روش	سازگاری روش با تحلیل لرزه ای	پیوستگی کاربری و افزایش عمر مفید
اولویت اول	ورق FRP	ورق FRP	دیوار برشی	ورق FRP
اولویت دوم	پوشش بتن مسلح	پوشش بتن مسلح	بادبند فولادی هم محور و برون محور	پوشش بتن مسلح
اولویت سوم	بادبند فولادی هم محور و برون محور	میان قاب با مصالح بنایی	پوشش بتن با بتن مسلح	دیوار برشی
اولویت چهارم	غلاف بتن مسلح	غلاف بتن بتن مسلح	میان قاب با مصالح بنایی	غلاف بتن مسلح
اولویت پنجم	میان قاب با مصالح بنایی	بادبند فولادی هم محور و برون محور	غلاف بتن مسلح	میان قاب با مصالح بنایی
اولویت ششم	دیوار برشی	دیوار برشی	FRP	بادبند فولادی هم محور و برون محور

برای محاسبه ساختار با استفاده از روش TOPSIS نیاز به مقایسه زوجی معیارها نسبت به هم می باشد که این ماتریس مقایسات زوجی در جدول شماره (۵) نشان داده شده است.

جدول (۵): ماتریس مقایسه زوجی معیارها نسبت به هم

معیارها / مقادیر	زمان و سهولت اجرا و محدودیت پلان و نما	هزینه مصالح و اجرای روش	سازگاری روش با تحلیل لرزه ای	سازگاری روش در حالت بهره برداری بی وقفه
زمان و سهولت اجرا و محدودیت پلان و نما	۱	۳,۲	۱,۶	۱,۴
هزینه مصالح و اجرای روش	۱,۴	۱	۱,۸	۱,۶
سازگاری روش با تحلیل لرزه ای	۵	۷	۱	۳,۲
سازگاری روش در حالت بهره برداری بی وقفه	۳,۲	۵	۱,۴	۱

در روش TOPSIS لازم است مقادیر حداقل و حداکثر هر یک از معیارها تعیین گردد که در جدول شماره (۶) نشان داده شده است.

جدول (۶): مقادیر حداقل و حداکثر هر یک از مقادیر معیارها در روش TOPSIS

معیارها / مقادیر	زمان و سهولت اجرا و محدودیت پلان و نما	هزینه مصالح و اجرای روش	سازگاری روش با تحلیل لرزه ای	سازگاری روش در حالت بهره برداری بی وقفه
حداقل	۰,۰۰۰۸۲	۰,۰۰۰۹۷	۰,۱۰۳۲۲	۰,۰۰۶۲۶
حداکثر	۰,۱۷۰۹۶	۰,۲۰۵۱۱	۱,۷۹۶۶۱	۱,۱۴۲۶۹

برای هر یک از گزینه ها مقادیر ایده آل مثبت و منفی در جداول شماره (۷ و ۸) نشان داده شده است.

جدول (۷): مقادیر ایده آل مثبت هر یک از گزینه ها در روش TOPSIS

گزینه ها	وزن
بادبند فولادی (هم محور و برون محور)	۱,۲۳۷
دیوار برشی	۰,۶۴۷
میان قاب (با مصالح بنایی)	۱,۷۴۴۳
پوشش و غلاف بتنی	۱,۷۶۱۷
پوشش بتن مسلح	۰,۹۶۷۷
FRP	۱,۷۰۴۳۹

جدول (۸): مقادیر ایده آل منفی هر یک از گزینه ها در روش TOPSIS

گزینه ها	وزن
بادبند فولادی (هم محور و برون محور)	۱,۲۸۹۹۱
دیوار برشی	۱,۸۱
میان قاب (با مصالح بنایی)	۰,۴۱۲
غلاف بتن مسلح	۰,۳۷۴۸۲
پوشش بتن مسلح	۰,۹۶۷۸
FRP	۱,۱۷۸

نزدیکی نسبی هر یک از گزینه ها به راه حل ایده آل محاسبه شده که در جدول شماره (۹) نشان داده شده است.

جدول ۹: مقدار نزدیکی نسبی گزینه ها به راه حل ایده آل و اولویت بندی گزینه ها با روش TOPSIS

گزینه ها	وزن
بادبند فولادی (هم محور و برون محور)	۰,۵۲۱۶۷
دیوار برشی	۰,۷۴۷۸۴
میان قاب (با مصالح بنایی)	۰,۱۹۸۶۷
غلاف بتن مسلح	۰,۱۸۴۳۱
پوشش بتن مسلح	۰,۶۲۶۲۷
FRP	۰,۴۱۲

در روش TOPSIS، هر چه مقدار نزدیکی نسبی بیشتر باشد، گزینه متناظر با آن ایده آل تر است. با توجه به نتایج به دست آمده از روش TOPSIS مشخص شد که روش دیوار برشی بهترین سیستم به منظور بهسازی و مقاوم سازی لرزه‌های ساختمان های بتن مسلح می باشد.

۶- نتیجه گیری:

شهرستان کازرون ازجمله مناطقی درکشوراست که درمنطقه‌ی بالرزه‌خیزی زیادقراردارد. نتایج به دست آمده از این تحقیق پس از بررسی و آنالیز مقادیر به شرح زیر می باشد:

۱- با توجه به نتایج به دست آمده از جدول شماره (۴) استفاده از FRP بهترین سیستم بهسازی و مقاوم سازی سازه‌های بتن مسلح با توجه به معیار زمان وسهولت و محدودیت پلان و نما دارد.

- ۲- با توجه به نتایج به دست آمده از جدول شماره (۴) استفاده از FRP بهترین سیستم بهسازی و مقاوم سازی سازه‌های بتن مسلح با توجه به معیار هزینه مصالح و اجرای روش دارد.
- ۳- با توجه به نتایج به دست آمده از جدول شماره (۴) دیوار برشی بهترین سیستم بهسازی و مقاوم سازی سازه‌های بتن مسلح با توجه به معیار سازگاری روش با تحلیل لرزه ای دارد.
- ۴- با توجه به نتایج به دست آمده از جدول شماره (۴) استفاده از FRP بهترین سیستم بهسازی و مقاوم سازی سازه‌های بتن مسلح با توجه به معیار پیوستگی کاربردی و افزایش عمر مفید دارد.
- ۵- با توجه به جدول شماره (۵) مشخص شد که معیار سازگاری روش با تحلیل لرزه ای مهمترین معیار در انتخاب بهترین سیستم بهسازی و مقاوم سازی است.
- ۶- با در نظر گرفتن وزن تک تک معیارها و استفاده از روش TOPSIS و همچنین در نظر گرفتن تمامی جوانب دیوار برشی به عنوان بهترین سیستم بهسازی و مقاوم سازی انتخاب شده است.

۷- قدردانی

بدین وسیله از اساتید محترم رشته‌ی مهندسی عمران دانشگاه خلیج فارس بوشهر و همچنین سازمان نظام مهندسی شهرستان کازرون که در طول انجام این پروژه همکاری‌های لازم را به عمل آورده اند تشکر به عمل می‌آید.

منابع

- ۱-ح-عرب زاده، ا. شرفایی و ا. بارانی، "مقایسه عملکرد سیستم ترکیبی قاب خمشی بتنی با مهاربند فولادی و دیگر سیستم‌های دوگانه"، دومین کنفرانس بتن ایران، ۱۳۹۲.
- ۲-ه، حسینی، "بهسازی ساختمان‌های بتنی با استفاده از پانلهای سه بعدی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ۱۳۹۱.
- ۳-یاسر یدالهی، مسعود قلیزاده، حامد همدانی "بررسی اثر الیاف FRP در مقاوم سازی قابهای بتن مسلح" مجموعه مقالات هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۱۳۹۲.
- ۴-محسن احمدی "بررسی روشهای مقاوم سازی در سازه های بتن آرمه" مجموعه مقالات اولین همایش منطقه ای مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد جویبار، ۱۳۹۰.
- ۵-جواد خزایی، میثم شایسته "بررسی عوامل مؤثر در تصمیمگیری "مجموعه مقالات همایش ملی سیازه، راه، معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، ۱۳۹۰.
- ۶-گرامی، م. و. بزاز، م. و. عندلیب، ز، "مقاوم سازی قاب های بتن مسلح به کمک بادبندهای فولادی "چهاردهمین کنفرانس دانشجویان مهندسی عمران سراسر کشور، تهران، ۱۳۸۷.
- ۷-قدرتی، ا. و رادمان، ب.، "بهسازی لرزه‌ای ساختمان های بتن مسلح تقویت شده با الیاف CFRP چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، تهران، ۱۳۸۷.
- ۸-عبدالکریم عباسی دزفولی، محمد ایزدیار "تحلیل و بررسی روشهای مرسوم مقاوم سازی لرزه‌ای ساختمان های بتنی از دیدگاه مدیریت ساخت" مجموعه مقالات هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، زاهدان، ۱۳۹۲.
- 9-Badoux M, Jirsa JO. Steel bracing of RC frames for seismic retrofitting. J Structural Engineering ASCE 1990; 116(1): 55-74.
- 10-Higashi Y, Endo T, Shimizu Y. Experimental studies on retrofitting of reinforced concrete structural members. In: Proceedings of the second seminar on repair and retrofit of structures. Ann Arbor (MI): National Science Foundation; 1981. p.p. 126-155.
- 11- Ohishi H, Takahashi M, Yamazaki Y. A seismic strengthening design and practice of an existing reinforced concrete school building in Shizuoka city. In: Proceedings of the ninth world conference on earthquake engineering. Vol. VII. 1988. p.p. 415-420.

۱۲- شهاب روشنکار، علی ضیا شمس "ارائه یک روش بهینه مقاوم سازی لرزه‌ای با توجه به پارامترهای کارایی، هزینه و زمان" مجموعه مقالات سومین کنفرانس سالیانه بتن ایران، تهران، ۱۳۹۰.

13-Nateghi-Alahi F. Seismic strengthening of eightstorey RC apartment building using steel braces. *Engineering Structure* 1995; 17(6): 455-461.

14-Ghobarah A., Abou Elfath H. Rehabilitation of a reinforced concrete frame using eccentric steel bracing. *Engineering Structure* 2001; 23:745-755.

۱۵- مرضیه عباسی طرئی، عباس حق اللهی، محمد صادق طاهر طلوع دل "پیشنهاد روش نوین بهسازی لرزه‌ای سازه‌های بلند مرتبه فولادی" مجموعه مقالات دومین کنفرانس ملی سازه، زلزله، ژئوتکنیک، مازندران، ۱۳۹۱.

16-Maheri MR, Kousari R, Razazan M. Pushover tests on steel X-braced and knee-braced RC frames. *Engineering Structure* 2003; 25(13): 1697-1705.

۱۷- مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، «آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)» ویرایش دوم، ۱۳۷۸.

۱۸- مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، «آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)» - ویرایش سوم، ۱۳۸۴.

۱۹- حامد احمدی مقدم، لیلا کاسب نژاد "بررسی روشهای مقاوم سازی و بهسازی سازه‌های فلزی موجود (مطالعه موردی: سالن ورزشی مرکز تربیت معلم رشت)" مجموعه مقالات دومین کنفرانس ملی سازه، زلزله، ژئوتکنیک، مازندران، ۱۳۹۱.

20-FEMA-172: "Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings", Federal Emergency Management Agency, Washington, 2007.

۲۱- محمد باورسای "مقایسه چند روش بهسازی ساختمان های بتنی در برابر نیروی زلزله" مجموعه مقالات سومین کنفرانس ملی عمران شهری، دانشگاه آزاد اسلامب واحد سمنج، ۱۳۹۰.

۲۲- آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش ۴.

۲۳- مدنی، ح.، (۱۳۸۵)، زمین شناسی ساختمانی و تکتونیک [کتاب]، انتشارات جهاد دانشگاهی.

۲۴- حامد رضا طارقیان، "برنامه ریزی و کنترل پروژه"، چاپ اول، مشهد، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۸.

25-Hwang C.L., Zadeh L.A., Decision-making in a fuzzy environment, *Management Sciences* 17, 141-164 1970.

26-Wang, T.-C., & Chang, T.-H. (2007). Application of TOPSIS in evaluating initial training aircraft under a fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 33(4), 870-880.

27-Kuo, M.-S., Tzeng, G.-H., & Huang, W.-C. (2007). Group decision making based on concepts of ideal and anti-ideal points in fuzzy environment. *Mathematical and Computer modeling*, 45(3/4), 324-339.

28-Buyukozkan, G., Feyzioglu, O., & Nebol, E. (2007). Selection of the strategic alliance partner in logistics value chain. *International Journal of Production Economics*, 113(1), 148-158.

29- اصغر پور، محمد جواد. "تصمیم گیری های چندمعیاره"، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۸.

Study on Seismic Retrofitting Methods of Reinforced Concrete Buildings in Kazerun City by Using TOPSIS Method

Mohammadreza Ehsandoost*

*Msc Graduate of civil engineer, Department of Civil Engineer Young Researchers Club Kazerun Branch Islamic Azad University Kazerun, Iran
e.ehsandoost20@gmail.com*

Yaser Aryanpour

PhD student of civil engineer, Department of Civil Engineering, Irian Institute of Higher Education, Bushehr, Iran

Abstract

In this paper, it is attempted to obtain the best solution with the lowest cost and highest reliability coefficient using computational methods. Due to the fact that some of the existing structures in Kazerun do not have the characteristics of an earthquake resistant structure and most of them are made in accordance with the provisions of the second edition of Iran's earthquake before and after it, it is necessary to review their design. In this research, at first the seismic retrofitting methods of conventional RC structures analyzed and evaluated that were studied in Kazerun city and then, using experts' opinion, distributed, collected and analyzed by purposeful questionnaire using TOPSIS method to prioritize the appropriate method for seismic retrofit of conventional reinforced concrete buildings in Kazerun city. The results of this research indicate that the main priorities of retrofitting of conventional reinforced concrete buildings in the Kazerun city are steel sheets, reinforced concrete jacket, reinforced concrete shear walls or using of FRP wrapping.

key words: Reinforced Concrete Building, Refurbishment and Retrofitting, TOPSIS, Kazerun City

مقاوم سازی دال بتن مسلح با استفاده از کامپوزیت‌های مسلح سیمانی الیافی توانمند

دریافت مقاله: ۱۳۹۷-۳-۲

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷-۴-۲۴

علی همتی*

استادیار، مرکز تحقیقات ژئوتکنیک لرزه‌ای و بتن توانمند، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان، ایران.
ali.hemmati@semnaniau.ac.ir

مطهره ذوالفقاری

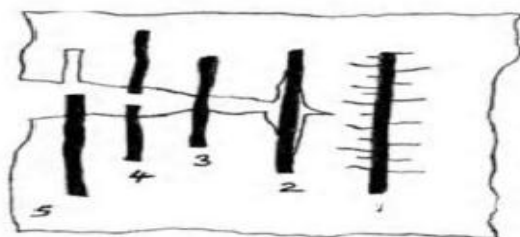
کارشناس ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان، ایران.
En.m.zolfaghari@gmail.com

چکیده:

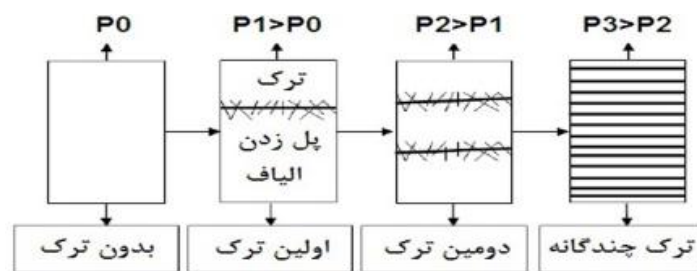
گذشت زمان، تغییر کاربری، به روز شدن آیین نامه‌های طراحی و وقوع رخدادهای طبیعی از جمله عواملی هستند که سبب می‌شوند اعضا و یا سازه‌ها نیاز به مقاوم سازی پیدا کنند. ساختمان‌های بتنی نیز با توجه به گستردگی خود از این امر مستثنی نبوده و روش‌های مختلفی برای مقاوم سازی آنها ارائه گردیده است. یکی از روش‌های مقاوم سازی اعضای بتن مسلح، استفاده از مصالح بتنی توانمند است. کامپوزیت‌های سیمانی مسلح الیافی توانمند (HPFRCC) مصالحی توانمند و شکل پذیر است که از ترکیب ملات سیمان و الیاف تشکیل می‌شود. سخت شوندگی کرنش کششی و قابلیت تشکیل ترک‌های چندگانه ناشی از ساز و کارهای الیاف داخل ملات، از مهم ترین ویژگی‌های این مصالح توانمند است که آن را برای مقاوم سازی اعضای بتن مسلح، مناسب نموده است. در این مقاله از لایه‌های HPFRCC در ضخامت‌های مختلف، برای مقاوم سازی یک دال بتن مسلح استفاده گردیده و با استفاده از روش اجزای محدود، ظرفیت دال‌های مقاوم سازی شده، محاسبه و با ظرفیت دال بتن مسلح مبنا مقایسه شده است. نتایج نشان داد که استفاده از مصالح HPFRCC در مقایسه با بتن مسلح معمولی، باعث افزایش بیشتری در میزان بار نهایی و شکل پذیری دال‌ها می‌گردد. در مدل‌هایی که با افزودن لایه HPFRCC به آنها، ضخامت دال افزایش یافته، پس از وقوع بار نهایی، منحنی‌های ظرفیت دچار افت شده و نرم شوندگی در آنها رخ داده است. این افت بار در مدل‌های بتنی و مدل‌های دارای HPFRCC به طور متوسط به ترتیب حدود ۱۵/۴ و ۸/۵۵ درصد می‌باشد. اما در مدل‌هایی که لایه HPFRCC جایگزین بتن معمولی گردیده و افزایش ضخامت دال ایجاد نشده، افت بسیار کمی در منحنی ظرفیت آنها ایجاد شده است.

واژه‌های کلیدی: شکل پذیری، HPFRCC، دال، مقاوم سازی، بار نهایی

گسترش روز افزون استفاده از بتن در صنعت ساختمان و ضرورت مقاوم سازی سازه‌ها و اعضای که به دلایل مختلف نیاز به تقویت دارند، سبب شده تا روش‌های مختلفی برای مقاوم سازی پیشنهاد گردد. مصالح بتنی توانمند که دارای ویژگی‌های مناسبی باشند از مدت‌ها پیش برای مقاوم سازی این سازه‌ها مد نظر بوده است. یکی از این مصالح بتنی توانمند، کامپوزیت‌های سیمانی مسلح الیافی توانمند (HPFRCC) هستند که از ترکیب ملات سیمان و الیاف تشکیل شده و برای تقویت سازه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. ساز و کارهای مختلف رفتار الیاف داخل بتن در شکل (۱) نشان داده شده که شامل آسیب دیدگی ملات، جدا شدن الیاف و ملات، پل زدن الیاف، پارگی الیاف و بیرون کشیده شدن الیاف است. استفاده از انواع مختلف الیاف برای بهبود ویژگی‌های بتن شامل کنترل ترک و افزایش شکل پذیری از مدت‌ها پیش مورد توجه پژوهشگران بوده است و بتن مسلح الیافی (FRC) به طور گسترده در پروژه‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. رفتار بتن‌های الیافی در کشش شبیه بتن معمولی است اما بخش نرم شونده منحنی تنش کرنش کششی آنها با شیب ملایم تری نسبت به بتن معمولی همراه است. نامان و رینه‌ه‌ارت در سال ۲۰۰۳ مصالحی نوین را معرفی نمودند که برخلاف FRC ها شامل یک بخش سخت شوندگی کرنش در منحنی تنش-کرنش کششی خود بودند و در رده مصالح توانمند HPFRCC قرار گرفتند [۱]. در مصالح HPFRCC، پس از وقوع اولین ترک کششی، الیاف شروع به پل زدن می‌کنند (حالت ۳ در شکل ۱) و با این ساز و کار از گسترش ترک، جلوگیری می‌نمایند. با افزایش نیروی کششی، این ترک دیگر رشد نمی‌کند و ترک جدیدی در نقطه‌ای دیگر تشکیل می‌شود و این رفتار تا تشکیل چندین ترک در محل‌های مختلف نمونه HPFRCC ادامه می‌یابد. تشکیل ترک‌های چندگانه و جلوگیری از گسترش زیاد اولین ترک خوردگی، سبب می‌شود که برخلاف بتن معمولی، رفتار سخت شونده کششی در این مصالح شکل بگیرد. چگونگی تشکیل ترک‌های چندگانه در مصالح HPFRCC در شکل (۲) نشان داده شده است. الیاف مصرفی معمولاً با نسبت حجمی ۱ تا ۸ درصد به مجموعه آب، سیمان و ریزدانه‌ها اضافه شده و با استفاده از فوق روان کننده‌ها، مصالح HPFRCC تولید می‌شود. باید توجه داشت که الیاف به آرامی و طی چندین مرحله به مخلوط اضافه گردد تا از پدیده گلوله شدن الیاف جلوگیری به عمل آید. بدین ترتیب که ابتدا کل سیمان و ماسه و ۲۵ درصد الیاف با حدود ۲۵ درصد آب مخلوط شود و سپس مابقی الیاف در ۷۵ درصد آب باقیمانده ریخته شده و به تدریج و به صورت مرحله‌ای به ترکیب اضافه گردد تا الیاف به شکل یکنواخت در بافت HPFRCC توزیع شود. پژوهشگران زیادی بر روی مشخصات این مصالح توانمند مطالعه نموده‌اند که خلاصه‌ای از این مشخصات در جدول (۱) ارائه شده است. ویژگی‌های این مصالح توانمند بویژه مشخصات کششی مناسب و اینکه از بافتی بسیار مشابه بتن برخوردار است، باعث شده که از آن به عنوان مصالحی مناسب برای مقاوم سازی سازه‌های بتن مسلح استفاده شود.



شکل (۱) ساز و کارهای مختلف رفتار الیاف داخل بتن [۲]



شکل (۲) تشکیل ترک‌های چندقانده در مصالح HPFRCC [۲]

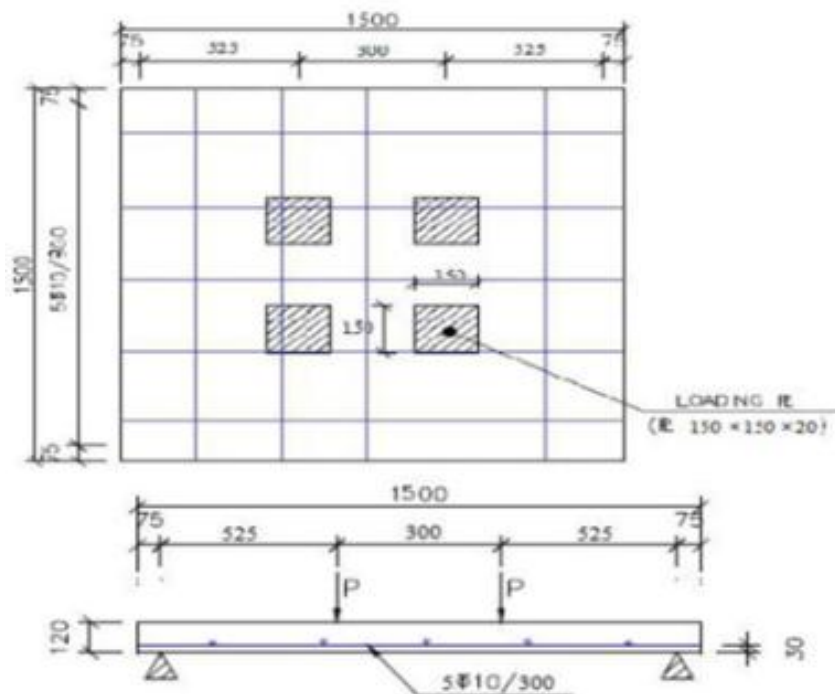
جدول (۱) مشخصات مصالح HPFRCC [۲، ۳ و ۴]

چگالی ($\frac{ton}{m^3}$)	ضریب ارتجاعی (GPa)	کرنش فشاری نهایی (%)	کرنش کششی نهایی (%)	مقاومت کششی (MPa)	ضریب پواسون	مقاومت فشاری (MPa)
۰/۹۵-۲/۳	۱۸-۳۴	۰/۵-۱	۱-۸	۴-۱۲	۰/۲۲۶-۰/۲۳	۲۰-۹۵

در سال ۲۰۰۸ بونالدو و همکاران به بررسی مقاوم سازی دال‌های بتن مسلح مقاوم سازی شده با CFRP در وجه کششی و بتن الیافی FRC در وجه فشاری پرداختند. این روش نسبت به استفاده از CFRP تنها در وجه کششی دال، موثرتر بود. زیرا کرنش فشاری نهایی بالاتر بتن الیافی نسبت به بتن معمولی باعث می‌شد که از ظرفیت CFRP استفاده بیشتری به عمل آید [۵]. تریانتافیلو و پاپانیکیولا در سال ۲۰۱۳ مقاوم سازی دال‌های دوطرفه با تیر پیرامونی توسط ملات مسلح بافته شده (TRM) را مطالعه کردند. این لایه تقویتی تحتانی، روی سه نمونه بتنی نصب شد و به همراه یک نمونه بتنی مبنا تحت بارگذاری قرار گرفت. نتایج نشان دهنده افزایش بار ترک‌خوردگی، شکل پذیری و ظرفیت دال‌های مقاوم سازی شده بود که به جهت قرار گیری الیاف بافته شده و تعداد لایه‌های آن هم بستگی داشت [۶]. خرم و شریبتدار به بررسی تحلیلی مقاوم سازی دال‌های بتن مسلح با HPFRCC پرداخته و به رفتار شکل پذیرتر و بار نهایی بیشتری نسبت به دال بتنی مبنا دست یافتند. در این پژوهش تحلیلی، لایه‌های HPFRCC به ضخامت ۳۰، ۴۰، ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌متر جایگزین بتن معمولی دال گردید (بدون افزایش ضخامت دال) و منحنی ظرفیت آنها با هم مقایسه شد [۷]. غلامحسینی و همکاران در سال ۲۰۱۶ شانزده دال بتنی الیافی (FRC) را در مقیاس واقعی تحت آزمایش قرار دادند که نتایج نشان داد بتن الیافی باعث کاهش ۵۰ درصدی عرض ترک‌ها در دال، نسبت به دال بتن مسلح معمولی می‌گردد [۸]. کوتاس و همکاران در سال ۲۰۱۶ مقاوم سازی دال دوطرفه بدون تیر پیرامونی را با مصالح TRM بررسی نموده و معادلاتی نیز برای آن ارائه کردند [۹]. فاکونی و همکاران همین سال یازده دال بتن الیافی (FRC) ساخته و مورد آزمایش قرار دادند که این دال‌ها بار ترک‌خوردگی بیشتری نسبت به دال بتن معمولی داشتند و رفتار شکل پذیرتری از خود بروز دادند [۱۰]. افروزنیا در سال ۲۰۱۷ مقاوم سازی دال‌های یک طرفه بتنی با ضخامت‌ها و چیدمان‌های مختلف HPFRCC را در دستور کار قرار داد. ۱۵ دال یک طرفه مقاوم سازی و آزمایش شدند که نتایج نشان داد استفاده از این مصالح توانمند سبب افزایش شکل پذیری و جذب انرژی بیشتری می‌گردد [۱۱]. در سال ۲۰۱۷ عباس زاده و همکاران مقاوم سازی دال دوطرفه با نوارهای HPFRCC که داخل شیارهایی قرار می‌گرفتند را مطالعه نمودند تا از ظرفیت HPFRCC استفاده بیشتری به عمل آید و پیوستگی بهتری بین بتن و HPFRCC ایجاد شود [۱۲]. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، مقاوم سازی دال‌های بتن مسلح عمدتاً با انواع مختلف FRP و شیارزنی انجام شده و مقاوم سازی با مصالح HPFRCC موضوعی است که در سالان اخیر، مورد توجه قرار گرفته است. لذا در این مقاله، بر مبنای یک کار آزمایشگاهی که در دانشگاه سمنان، توسط به زرد انجام شده، مقاوم سازی یک دال بتنی با لایه‌های HPFRCC مورد بررسی قرار می‌گیرد [۱۳].

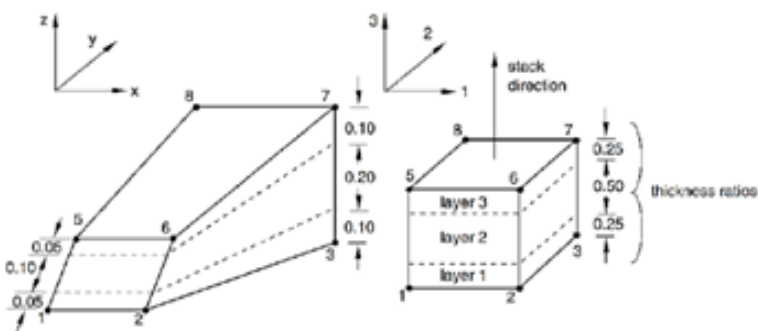
۲- نمونه آزمایشگاهی و مدل سازی

ابعاد و مشخصات دال بتن مسلح دوطرفه مورد بررسی در این مقاله در شکل (۳) نشان داده شده است. بارگذاری چهار نقطه ای به دال‌هایی مربعی به ابعاد ۱۵۰ میلی‌متر و ضخامت ۱۲۰ میلی‌متر وارد شده و به صورت افزایشی اعمال گردیده است. میلگردهای کششی از میلگرد به قطر ۱۰ میلی‌متر و به فاصله ۳۰۰ میلی‌متر از یکدیگر در وجه پایینی دال و به صورت عمود بر هم قرار داشتند. بار قائم از طریق چهار صفحه فولادی به ابعاد ۱۵۰ در ۱۵۰ در ۲۰ میلی‌متر به دال‌ها وارد گردیده است. فاصله مرکز تا مرکز محل اعمال نیرو ۳۰۰ میلی‌متر بود. مقاومت فشاری بتن مورد استفاده ۲۸ مگاپاسکال و تنش تسلیم میلگردهای فولادی ۳۵۰ مگاپاسکال بوده است. تکیه‌گاه‌های دال بتن مسلح آزمایشگاهی، مفصلی بوده و در هر چهار طرف آن قرار داشتند [۱۳].



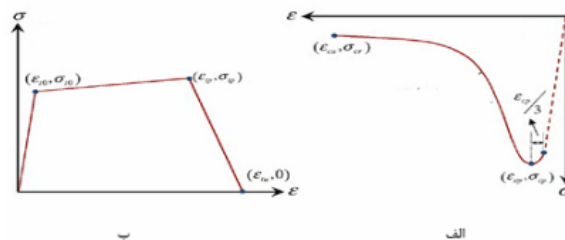
شکل (۳) ابعاد و مشخصات دال‌های مورد بررسی (ابعاد به میلی‌متر) [۱۳]

برای مدل سازی بتن و کامپوزیت‌های سیمانی از المان Solid و برای مدل سازی فولاد از المان Truss استفاده شده است. المان Solid مورد استفاده، همان‌طور که در شکل (۴) نشان داده شده، دارای قابلیت مدل سازی بصورت لایه‌ای نیز می‌باشد.



شکل (۴) المان Solid مورد استفاده برای مدل سازی بتن و HPFRCC [۱۴]

منحنی تنش کرنش فشاری و کششی مصالح HPFRCC مورد استفاده برای مدل سازی، در شکل (۵) ارائه شده که این منحنی‌ها به صورت گسترده‌ای توسط محققین مختلف برای مدل سازی منحنی تنش کرنش HPFRCC بکار برده شده است [۱۵].

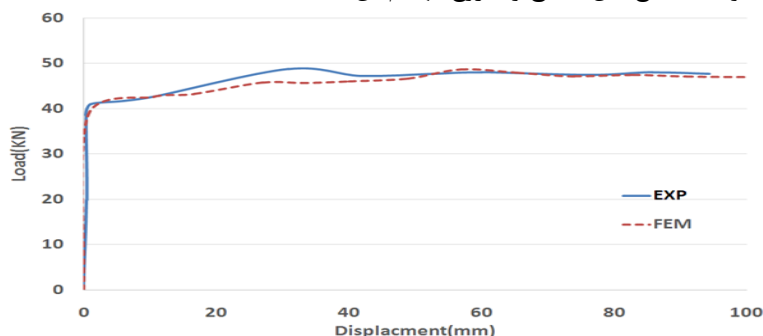


شکل (۵) منحنی تنش-کرنش مصالح HPFRCC (الف) فشاری، (ب) کششی [۱۵]

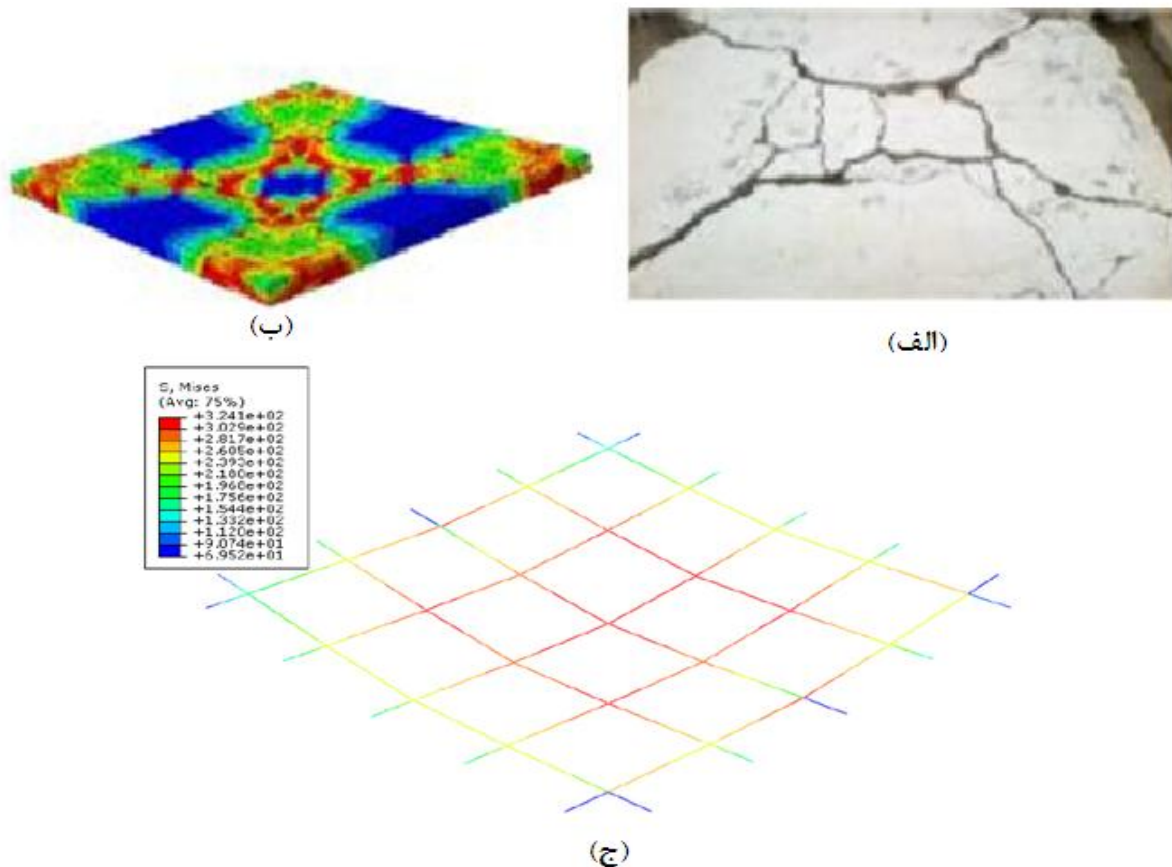
برای مدل سازی این سازه‌ها از نرم افزار ABAQUS استفاده شده است که در ادامه پارامترهای مدل سازی این دو مصالح، معرفی می‌گردد. بتن مدل سازی شده دارای مقاومت فشاری و کششی ۲۸ و ۲/۸ مگاپاسکال و ضریب ارتجاعی ۲۸ گیگاپاسکال است. کرنش نهایی فشاری بتن برابر ۰/۰۳۵ در نظر گرفته شد. مقاومت فشاری و کششی HPFRCC به ترتیب برابر ۲۴ و ۳/۵ مگاپاسکال، ضریب ارتجاعی معادل ۲۵ گیگاپاسکال و کرنش نهایی کششی و فشاری نیز به ترتیب برابر ۱/۳۵ و ۰/۶ درصد منظور گردید. فولادهای طولی دارای تنش تسلیم ۳۵۰ مگاپاسکال و تنش نهایی ۵۲۰ مگاپاسکال بوده و ضریب ارتجاعی آنها ۲۰۰ گیگاپاسکال در نظر گرفته شد. ماهیت و اجزای تشکیل دهنده بتن و HPFRCC بسیار به هم نزدیک هستند. از طرف دیگر مطالعات آزمایشگاهی متعدد بر روی رفتار تیرهای بتن مسلح مقاوم سازی شده با لایه‌های HPFRCC نشان داده که هیچ گونه جداسازی بین این دو مصالح (در نقطه اتصال آنها) رخ نداده و تیر مقاوم سازی شده، به صورت یکپارچه تحت بارگذاری قرار گرفته و تا مرحله انهدام پیش رفته است. لذا اتصال بتن و HPFRCC در این مقاله نیز به صورت پیوستگی کامل منظور گردید [۱۶].

۳- صحت سنجی و مدل‌های مورد بررسی

منحنی نیرو-تغییر مکان دال بتن مسلح آزمایشگاهی و نمونه مدل سازی شده در شکل (۶) نشان داده شده است. همان گونه که در این شکل دیده می‌شود، بار نهایی و تغییر مکان نهایی نقطه میانی نمونه آزمایشگاهی و نمونه مدل سازی شده به ترتیب برابر ۴۷/۲ کیلونیوتن و ۹۹/۶۷ میلی‌متر و ۴۵/۱ کیلونیوتن و ۱۰۳/۱۲ میلی‌متر است که کمتر از ۵ درصد با یکدیگر اختلاف دارند. نحوه انهدام نمونه آزمایشگاهی و مدل مورد بررسی نیز در شکل (۷) با هم مقایسه شده است. همان گونه که دیده می‌شود، بخش میانی دال دچار ترک خوردگی شده و به صورت قطری تا گوشه‌ها امتداد یافته که در هر دو نمونه مشابه است. البته منحنی ظرفیت آزمایشگاهی در تغییر مکان حدود ۳۵ میلی‌متر دارای یک فراز و سپس فرود است که عمدتاً ناشی از نحوه اعمال بار در آزمایشگاه می‌باشد. چون بارهای مونوتونیک در آزمایشگاه به صورت مرحله‌ای به نمونه وارد می‌گردند و در پایان هر مرحله، زمانی برای ثبت چگونگی ترک خوردگی نمونه، صرف می‌شود و سپس بارگذاری مجدداً شروع می‌گردد، لذا این فراز و فرودها در منحنی‌های ظرفیت آزمایشگاهی به چشم می‌خورد. اما باید توجه داشت که آخرین افت که پس از بار بیشینه رخ می‌دهد، مربوط به از دست دادن مقاومت مقطع بتن مسلح و شروع انهدام آن است.



شکل (۶) صحت سنجی دال بتن مسلح



شکل (۷) الگوی انهدام دال بتن مسلح مرجع (الف) آزمایشگاهی، (ب) مدل سازی شده، (ج) تسلیم میگردهای کششی

بعد از صحت سنجی مدل تحلیلی با نمونه‌های آزمایشگاهی، تاثیر تغییر مقاومت فشاری بتن و HPFRCC، ضخامت ناحیه مقاوم سازی شده با HPFRCC و محل قرارگیری آن بر رفتار دال بتن مسلح مورد بررسی قرار گرفت. نام گذاری مدل‌های اجزای محدود و مشخصات هر یک از آنها در جدول‌های (۲ و ۳) تشریح شده است.

جدول (۲) نام گذاری مدل‌های مورد بررسی

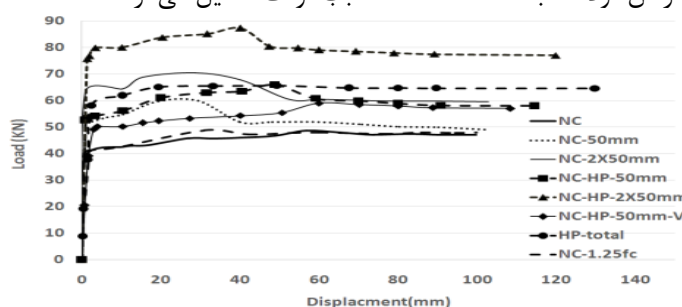
نام مدل	توضیح
NC	دال بتن مسلح مبنا
NC-50mm	دال بتن مسلح با لایه بتنی تحتانی اضافه شده به ضخامت ۵۰ میلی‌متر
NC-2x50mm	دال بتن مسلح با لایه بتنی فوقانی و تحتانی اضافه شده هر کدام به ضخامت ۵۰ میلی‌متر
NC-1.25fc	دال بتن مسلح مبنا با مقاومت فشاری ۱/۲۵ برابر
NC-HP-50mm	دال بتن مسلح با لایه HPFRCC تحتانی اضافه شده به ضخامت ۵۰ میلی‌متر
NC-HP-2X50mm	دال بتن مسلح با لایه HPFRCC فوقانی و تحتانی اضافه شده هر کدام به ضخامت ۵۰ میلی‌متر
NC-HP-50mm-V	دال بتن مسلح با لایه HPFRCC تحتانی جایگزین بتن به ضخامت ۵۰ میلی‌متر
HP-total	دال HPFRCC

جدول (۳) مشخصات مدل‌ها

نام مدل	مقاومت کششی HPFRCC (MPa)	مقاومت فشاری HPFRCC (MPa)	مقاومت کششی بتن (MPa)	مقاومت فشاری بتن (MPa)	ضخامت کل دال (mm)	ضخامت لایه تقویتی (mm)
NC	-	-	۲/۸	۲۸	۱۲۰	-
NC-50mm	-	-	۲/۸	۲۸	۱۷۰	۵۰
NC-2x50mm	-	-	۲/۸	۲۸	۲۲۰	۱۰۰
NC-1.25fc	-	-	۲/۸	۳۵	۱۲۰	-
NC-HP-50mm	۳/۵	۲۴	۲/۸	۲۸	۱۷۰	۵۰
NC-HP-2x50mm	۳/۵	۲۴	۲/۸	۲۸	۲۲۰	۱۰۰
NC-HP-50mm-V	۳/۵	۲۴	۲/۸	۲۸	۱۲۰	۵۰
HP-total	۳/۵	۲۴	-	-	۱۲۰	-

۴- نتایج تحلیل

منحنی نیرو-تغییر مکان مدل‌های نام گذاری شده در جدول (۳)، در شکل (۸) نشان داده شده است. خلاصه‌ای از نتایج تحلیل نیز در جدول (۴) ارائه شده است. معیار توقف تحلیل در مدل‌های مختلف، متفاوت است. در مدل‌هایی که منحنی ظرفیت آنها کاهنده است، تحلیل تا جایی ادامه می‌یابد که ظرفیت تیر به ۸۵٪ ظرفیت بیشینه (بار نهایی) آن برسد. در سایر مدل‌ها، رسیدن کرنش فشاری بتن به $\epsilon_{cu} = 0.0035$ ، رسیدن کرنش فشاری HPFRCC به $\epsilon_{cu} = 0.006$ یا رسیدن کرنش فولادها به $\epsilon_{su} = 0.015$ سبب توقف تحلیل می‌گردد.



شکل (۸) منحنی ظرفیت مدل‌های مورد بررسی

جدول (۴) خلاصه‌ای از نتایج تحلیل

نام مدل	P_y (kN)	δ_y (mm)	P_u (kN)	δ_u (mm)	$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y}$	$\frac{P_u}{P_{u(NC)}}$	$\frac{\mu}{\mu(NC)}$
NC	۴۲/۶۳	۱۰/۶۸	۴۸/۶۳	۹۹/۶۷	۹/۳۳	۱	۱
NC-50mm	۵۴/۷۳	۱۰/۴۲	۵۹/۸۸	۱۰۲/۱	۹/۸۳	۱/۲۳	۱/۰۵
NC-2x50mm	۶۴/۳۲	۱۰/۳۴	۷۰/۵	۱۰۲/۸۳	۹/۹۴	۱/۴۵	۱/۰۷
NC-1.25fc	۴۲/۷	۱۰/۶۵	۴۸/۷۳	۹۹/۸۱	۹/۳۷	۱/۰۱	۱/۰۱
NC-HP-50mm	۵۶/۱۲	۱۰/۳۹	۶۵/۹۲	۱۱۴/۶	۱۱/۰۲	۱/۳۶	۱/۱۸
NC-HP-2x50mm	۸۰/۰۵	۱۰/۱۸	۸۷/۲۴	۱۱۹/۸۷	۱۱/۸	۱/۷۹	۱/۲۶
NC-HP-50mm-V	۵۰/۲	۱۰/۴۱	۵۹/۵۷	۱۰۸/۴۷	۱۰/۴۲	۱/۲۲	۱/۱۱
HP-total	۶۱/۸۷	۱۰/۳۳	۶۵/۵۸	۱۲۹/۷۸	۱۲/۵۶	۱/۳۵	۱/۳۴

در مدل NC-50mm، بار بیشینه در تغییر مکان حدود ۲۰ تا ۳۰ میلی‌متر رخ داد و سپس با افتی حدود ۱۴ درصدی در نیرو، روبرو گردید که این افت، ناشی از ترک خوردگی بتن غیر مسلح اضافه شده به ناحیه کششی دال مرجع بود. پس از این افت ناگهانی، منحنی ظرفیت دال مقاوم سازی شده با شیب ملایمی به سمت پایین حرکت کرده و تحلیل پس از رسیدن ظرفیت دال به ۸۵ درصد ظرفیت بیشینه آن، متوقف گردید. در مدل NC-HP-50mm، بار بیشینه در تغییر مکان حدود ۴۹ میلی‌متر رخ داد و پس از آن با افتی حدود ۱۰ درصد که ناشی از ترک خوردگی HPFRCC اضافه شده به قسمت پایینی دال است، روبرو گردید. سپس حرکت رو به پایین منحنی ظرفیت نمونه مقاوم سازی شده، ادامه یافت و با رسیدن کرنش بتن فشاری به مقدار ۰/۰۰۳۵، روند تحلیل پایان پذیرفت.

در مدل NC-HP-50mm-V، بار بیشینه در تغییر مکان حدود ۶۰ میلی‌متر رخ داد ولی افت ناگهانی نیرو در آن مشاهده نشد. علت آن است که ارتفاع دال با مصالح بتنی غیر مسلح افزایش نیافته است. لذا تحلیل پس از رسیدن کرنش فشاری بتن به ۰/۰۰۳۵ خاتمه یافت. در مدل HP-total، بار بیشینه در تغییر مکان حدود ۶۵ میلی‌متر رخ داد و پس از آن با روند کاهش مقاومت با شیبی بسیار ملایم ادامه یافت و با رسیدن کرنش فولاد کششی به مقدار ۰/۰۱۵، روند تحلیل پایان پذیرفت.

در مدل NC-50mm، بار بیشینه در تغییر مکان حدود ۲۰ تا ۳۰ میلی‌متر اتفاق افتاد و سپس با افتی حدود ۱۴ درصدی در نیرو، روبرو شد. این افت، ناشی از ترک خوردگی بتن غیر مسلح اضافه شده به ناحیه کششی دال مرجع بود. پس از این افت ناگهانی، منحنی ظرفیت دال مقاوم سازی شده با شیب ملایمی به سمت پایین حرکت کرده و تحلیل پس از رسیدن ظرفیت دال به ۸۵ درصد ظرفیت بیشینه آن، متوقف گشت. در مدل NC-HP-50mm، بار بیشینه در تغییر مکان حدود ۴۹ میلی‌متر رخ داد و پس از آن با افتی حدود ۱۰ درصد که ناشی از ترک خوردگی HPFRCC اضافه شده به قسمت پایینی دال است، روبرو گردید. سپس حرکت رو به پایین منحنی ظرفیت نمونه مقاوم سازی شده، ادامه یافت و با رسیدن کرنش بتن فشاری به مقدار ۰/۰۰۳۵، روند تحلیل پایان پذیرفت.

همان‌گونه که در این شکل و جدول دیده می‌شود، بیشترین افزایش بار نهایی نسبت به نمونه مرجع (NC) در مدل مقاوم سازی شده NC-HP-2X50mm و بیشترین شکل پذیری در مدل HP-total ایجاد گردید. به طور کلی می‌توان گفت که با جایگزینی مصالح HPFRCC به جای بتن مسلح معمولی، میزان افزایش شکل پذیری و بار نهایی نسبت به نمونه مرجع با نرخ رشد بیشتری رخ می‌دهد. به گونه ای که با استفاده از این مصالح توانمند به جای بتن معمولی در نمونه‌های مقاوم سازی شده NC-HP-50mm و NC-HP-2X50mm نسبت به نمونه‌های مشابه بتنی (NC-50mm و NC-2x50mm) بار نهایی و شکل پذیری به طور متوسط، به ترتیب حدود ۱۶/۸۵ و ۱۵/۴ درصد افزایش می‌یابند.

هر چند که مقاومت فشاری بتن مورد استفاده در این نمونه‌ها مشابه مقاومت فشاری مصالح HPFRCC می‌باشد، اما دال‌های دارای HPFRCC، بار نهایی بیشتری نسبت به نمونه کاملاً بتن مسلح تحمل کرده‌اند. از طرف دیگر با افزایش ضخامت این لایه، بار نهایی دال هم افزایش یافته است. همان‌گونه که در شکل (۹) نشان داده شده، به نظر می‌رسد که در صورت استفاده از لایه HPFRCC (به ضخامت محدود یا کل ارتفاع)، ارتفاع تار خنثی مقطع C افزایش یافته و سبب افزایش لنگر مقاوم و در نتیجه افزایش بار نهایی عضو خمشی می‌گردد. این اثر افزایش به حدی است که می‌تواند اثر کاهنده HPFRCC تحت کشش بر لنگر مقاوم تیر را جبران نموده و در کل سبب افزایش لنگر مقاوم آن گردد [۱۷].

عمق بلوک تنش فشاری معادل ($a = \beta_1 c$) و لنگر مقاوم یک مقطع HPFRCC (M_r) نشان داده شده در شکل (۹) تحت خمش، از روابط (۱) تا (۳) محاسبه می‌شوند.

$$af_c'ab + A_s'f_y - A_sf_y - \sigma_0 b(h - c) = 0 \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$a = \frac{(A_s - A_s') \cdot f_y + \sigma_{0t} b h}{\alpha f_c' b + \sigma_{0t} \frac{b}{\beta_1}} = \beta_1 c \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$M_r = \alpha f_c' a b \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_y (d - d') - \sigma_{0t} b (h - c) \left[\left(\frac{h - c}{2} \right) - (h - d) \right] \quad \text{رابطه (۳)}$$

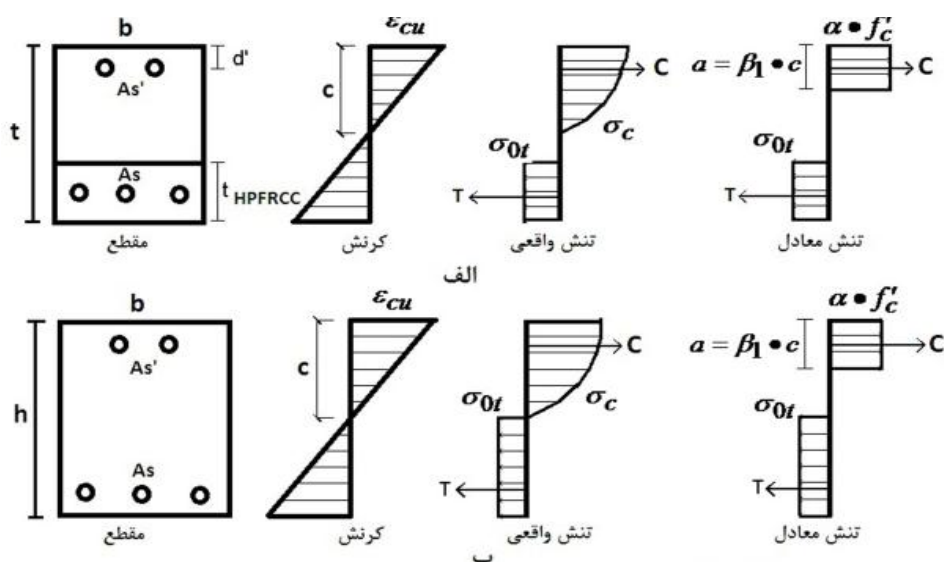
که در این معادله f_c' مقاومت فشاری HPFRCC، b عرض مقطع، f_y تنش تسلیم آرماتور، A_s مساحت فولادهای کششی، A_s' مساحت فولادهای فشاری، σ_{0t} مقاومت کششی HPFRCC، h ارتفاع عضو و d ارتفاع موثر عضو می‌باشند. علاوه بر آن، عمق بلوک تنش فشاری معادل و لنگر مقاوم یک مقطع بتن مسلح با لایه HPFRCC کششی تحت خمش از روابط (۴) تا (۶) محاسبه می‌شود.

$$0.85 f_c' a b + A_s' f_y - A_s f_y - \sigma_{0t} b t_{HPFRCC} = 0 \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$a = \frac{(A_s - A_s') f_y}{0.85 f_c' b} + \frac{\sigma_{0t} b t_{HPFRCC}}{0.85 f_c' b} = \beta_1 c \quad \text{رابطه (۵)}$$

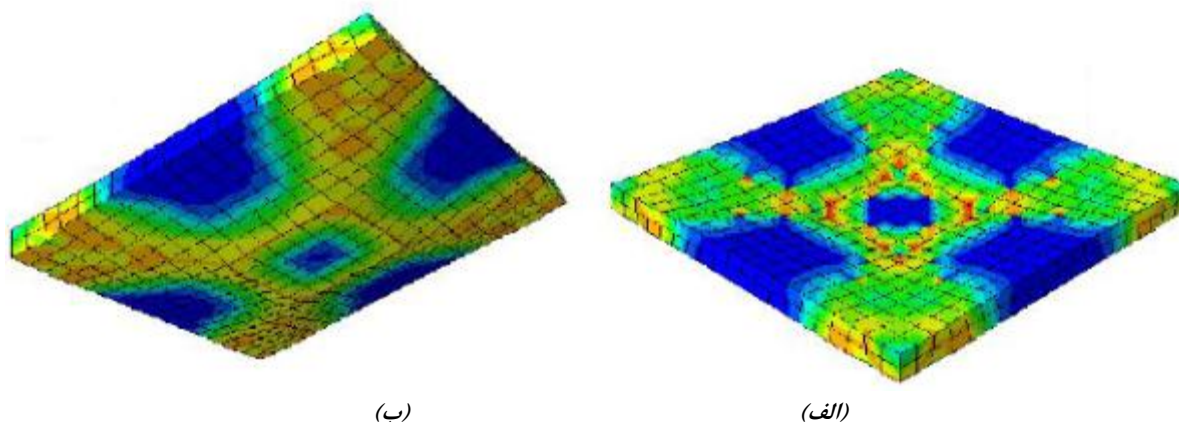
$$M_r = 0.85 f_c' a b \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_y (d - d') - \sigma_{0t} b t_{HPFRCC} \left[\frac{t_{HPFRCC}}{2} - (t - d) \right] \quad \text{رابطه (۶)}$$

همان‌گونه که در این مجموعه معادلات مشخص است، استفاده از HPFRCC در بخش پایینی تیر بتن مسلح معمولی سبب افزایش عمق بلوک تنش فشاری معادل ($a = \beta_1 c$) شده که این افزایش نیز به نوبه خود سبب افزایش لنگر مقاوم مقطع می‌گردد. باید توجه داشت که در این حالت اثر افزایشده ($a = \beta_1 c$) از اثر کاهشده عبارت ($\sigma_{0t} b t_{HPFRCC} \left[\frac{t_{HPFRCC}}{2} - (t - d) \right]$) بیشتر است.



شکل (۹) توزیع تنش و کرنش در یک مقطع تحت خمش الف) بتنی با لایه تحتانی HPFRCC ب) HPFRCC کامل [۱۷]

از طرف دیگر، مصالح HPFRCC به سبب رفتار سخت شونده‌گی کرنشی در کشش و کرنش نهایی فشاری بالاتر نسبت به بتن می‌تواند یکپارچگی خود را حفظ کند و در نتیجه، میلگردهای فولادی به تنش‌های بالاتری از حد تسلیم و نزدیک به تنش نهایی برسند. بنابراین چنین به نظر می‌رسد که استفاده از این مصالح توانمند می‌تواند نرم شونده‌گی منحنی ظرفیت دال‌ها را به تاخیر انداخته و سبب افزایش لنگر مقاوم و به دنبال آن نیروی نهایی گردد. مدل‌هایی که با افزودن لایه HPFRCC به آنها، ضخامت دال افزایش یافته است شامل NC-50mm، NC-2X50mm، NC-HP-50mm و NC-HP-2X50mm هستند که در این مدل‌ها، پس از وقوع بار نهایی، منحنی‌های ظرفیت دچار افت شده اند و نرم شونده‌گی در آنها رخ داده است. این افت بار در مدل‌های بتنی و مدل‌های دارای HPFRCC به طور متوسط به ترتیب حدود $15/4$ و $8/55$ درصد می‌باشد. لذا مشاهده می‌شود که افت بار در مدل‌هایی که با HPFRCC تقویت شده اند، با شدت کمتری اتفاق می‌افتد که می‌تواند ناشی از ساز و کار عمل الیاف داخل ملات و بخش سخت شونده‌گی کرنش منحنی تنش-کرنش کششی مصالح HPFRCC باشد. اما به طور کلی می‌توان گفت که این افت در هر چهار نمونه وجود دارد. علت اصلی کاهش ناگهانی بار این است که در این مدل‌ها، بخش تحتانی اضافه شده به دال بتن مسلح مرجع، فاقد میلگرد بوده و پس از تشکیل ترک در آن، عملاً اثر خود را از دست می‌دهد و با کاهش ارتفاع موثر دال، مقاومت آن کاهش می‌یابد. در مورد مصالح HPFRCC به علت تشکیل ترک‌های چندگانه و اثر مسلح کنندگی الیاف، این کاهش مقاومت با شیب ملایم‌تری رخ می‌دهد. اما در سایر مدل‌ها که ارتفاع دال مرجع تغییر نمی‌کند، این افت مقاومت مشاهده نمی‌شود. الگوی ترک‌خوردگی دال HP-total در شکل (۱۰) ارائه شده که نشان دهنده رفتار مناسب‌تر این دال نسبت به دال مرجع است. بعلاوه، افزایش مقاومت فشاری بتن نیز تاثیر چندانی بر نیروی نهایی قابل تحمل برای دال و شکل پذیری آن ندارد.



شکل (۱۰) الگوی ترک‌خوردگی مدل HP-total (الف) وجه فشاری (ب) وجه کششی

۵- نتیجه گیری

استفاده از مصالح HPFRCC برای تقویت دال‌های بتن مسلح مناسب به نظر می‌رسد. تقویت دال‌های بتن مسلح با این مصالح توانمند در صورت افزایش یا ثابت ماندن ضخامت دال، سبب افزایش بار نهایی و شکل پذیری این دال‌ها می‌گردد. هر چند که افزایش ضخامت دال منجر به افزایش بار مرده آن می‌شود اما این اثر بهبود بخش قابل ملاحظه می‌باشد. مصالح HPFRCC به دلیل ماهیت آن که بسیار نزدیک به بتن است می‌تواند پیوستگی مناسبی را با بتن ایجاد نموده و مسائلی نظیر جداشدگی در آن وجود ندارد. افزایش مقاومت فشاری بتن تاثیر چندانی بر منحنی ظرفیت دال مرجع ندارد اما با جایگزینی بخشی از بتن معمولی با HPFRCC (بدون افزایش در ضخامت دال) می‌توان به رفتار مناسب‌تری دست یافت.

- [1] Naaman, A.E., and Reinhardt, H.W., (2003), *High performance fiber reinforced cement composites, HFRCC- 4, France.*
- [2] Li, V.C., (2007), *Engineered cementitious composites (ECC)-material, structural, and durability performance, University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109.*
- [3] JSCE, (2008), *Recommendations for design and construction of high performance fiber reinforced cement composites.*
- [4] Qian, S., and Li, V.C., (2007), *Simplified inverse method for determining the tensile strain capacity of strain hardening cementitious composites, Journal of Advanced Concrete Technology, 5(2): 235-246.*
- [5] Bonaldo, E., Barros, J., and Lourenco, P.B. (2008), *Efficient strengthening technique to increase the flexural resistance of existing RC slabs, Journal of Composites for Construction, Vol. 12(2): 149-159.*
- [6] Triantafillou, T., and Papanicolaou, C., (2013), *Innovative applications of textile-based composites in strengthening and seismic retrofitting as well as in the prefabrication of new structures, Advanced Materials Research, 639: 26-41.*
- [۷] خرم، نگین، شربتدار، محمدکاظم، (۱۳۹۳)، بررسی تقویت خمشی دال‌های ضعیف بتن آرمه با لایه‌های متفاوت کامپوزیت‌های الیافی توانمند"، تحقیقات بتن، سال هفتم، ۲: ۸۱-۹۱.
- [8] Gholamhoseini, A., Khanlou, A., MacRae, G., Scott, A., Hicks, S., and Leon, R., (2016), *An experimental study on strength and serviceability of reinforced and steel fiber reinforced concrete continuous composite slabs, Engineering Structures, 114: 171-180.*
- [9] Koutas, L.N., and Dionysios, A.B., (2016), *Flexural strengthening of two-way RC slabs with textile reinforced mortar: experimental investigation and design equations, Journal of Composites for Construction, 21(1): 149-159.*
- [10] Facconi, L., Minelli, F., and Plizzari, G., (2016), *Steel fiber reinforced self compacting concrete thin slabs-experimental study and verification against Model Code 2010 provisions, Engineering Structures, 122: 226-237.*
- [۱۱] افروزنیا، محمد، (۱۳۹۶)، بررسی آزمایشگاهی مقاوم سازی دال‌های ضعیف بتن آرمه یک طرفه با استفاده از ورقه‌های بتن توانمند الیافی پیش ساخته"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سمنان.
- [12] Abbaszade, M., Sharbatdar, M.K., and Kheyroddin, A., (2017), *Performance of two-way RC slabs retrofitted by different configurations of high performance fiber reinforced cementitious composite strips, The Open Civil Engineering Journal, 11(1): 650-663.*
- [۱۳] به زرد، پژمان، (۱۳۹۴)، مقاوم سازی دال‌های دو طرفه با استفاده از الیاف مسلح پلیمری به روش نزدیک سطح"، پایان نامه دکتری، دانشگاه سمنان.
- [14] Help of ABAQUS, (2008), *Getting started with ABAQUS.*
- [15] Gencturk B., and Elnashai A.S., (2012), *Numerical modeling and analysis of ECC structures, materials and structures, 46(4): 663-682.*
- [16] Hemmati, A., Kheyroddin, A., and Sharbatdar, M.K., (2015), *Plastic hinge rotation capacity of reinforced HFRCC beams, Journal of Structural Engineering (ASCE), 141 (2).*
- [17] Hemmati, A., Kheyroddin, A., and Sharbatdar, M.K., (2014), *Proposed equations for estimating the flexural characteristics of reinforced HFRCC beams, Iranian Journal of Science and Technology IJST, Transactions of Civil Engineering, 38 (C2): 395-407.*

Strengthening of Reinforced Concrete Slab by HPFRCC Material

Ali Hemmati*

Assistant Professor, Seismic Geotechnical and High Performance Concrete Research Center, Civil Engineering Department, Islamic Azad University, Semnan Branch, Semnan, Iran
ali.hemmati@semnaniau.ac.ir

Motahhare Zolfaghari

MSc, Civil Engineering Department, Islamic Azad University, Semnan Branch, Semnan, Iran

Abstract

A great part of the structures in the world must be strengthened due to some reasons including age of the structures, changed of their use revisions in the structural codes and occurrence of natural disasters. Reinforced concrete buildings are widely constructed in the world., different methods have been proposed for strengthening of these buildings. High performance fiber reinforced cementitious composites (HPFRCC) are cement matrices with strain hardening behavior under tension loading. In these composites, the cement mortar with only fine aggregates is reinforced by randomly distributed fibers and may be used for various applications, such as rehabilitation of structural members. Multiple cracking in the HPFRCC occurs due to bridging and pull out mechanisms of the fibers in this material and subsequently, the strain hardening response is observed. In this paper, HPFRCC layers with different thicknesses have been used for strengthening of the existing reinforced concrete slab. Capacity curves of these strengthened slabs are determined using finite element method and compared with that of reinforced concrete slab. Results show that using HPFRCC material in these members leads to higher ultimate load and ductility compared to those of reinforced concrete slab. With increasing the total height of the strengthened models by HPFRCC, softening occurred in the capacity curves of these models. This softening behavior leads to decrease in ultimate loads of the strengthened models by HPFRCC and concrete by 15.4 % and 8.55 % respectively. In the strengthened models with no variation in the total height, this softening behavior is negligible.

Key words: Ductility, HPFRCC, Slab, Strengthening, Ultimate Load.

بررسی اثر استئارات ها بر مشخصات مکانیکی و دوام بتن

دریافت مقاله: ۱۳۹۷-۳-۸

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷-۴-۲۴

رامین ناصرالاسلامی*

کارشناس ارشد سازه از دانشگاه تفرش

Ramin.Naseroleslami@Igmail.com

مهدی نعمتی جاری

استادیار بخش فناوری بتن مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

مجتبی حاجی مهدی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع و مدیر تحقیق و توسعه شرکت دانش بنیان نانو بتن امین

محمدعلی یعقوبی

کارشناس ارشد سازه از دانشگاه آزاد اسلامی و مدیر کارخانه در شرکت دانش بنیان نانو بتن امین

چکیده:

ورود آب و یون‌های مخرب همراه با آن به داخل بتن ازجمله مهم‌ترین عوامل تهدیدکننده پایداری سازه‌های بتنی می‌باشند. استئارات‌های کلسیم و روی به‌عنوان در دست رس‌ترین مواد به‌دست آمده از اسیدهای چرب، قادرند با ایجاد یک لایه آب‌گریز در منافذ موئینه و تغییر در کشش سطحی دیواره این منافذ، سرعت انتقال رطوبت را به داخل منافذ موئینه بتن در شرایط عدم وجود فشار هیدرو استاتیک کاهش دهند. ازاین‌رو در مطالعه حاضر، اثر استئارات‌های کلسیم و روی به‌عنوان مواد افزودنی نم‌بند روی مشخصات مکانیکی و دوام بتن‌های رایج (با نسبت آب به سیمان ۰/۴۷) بررسی شده است. به همین منظور، استئارات کلسیم و استئارات روی به مخلوط‌های بتنی عادی و خمیرهای سیمان، اضافه شده و تأثیر آن‌ها روی ویژگی‌های بتن و خمیر تازه شامل کارایی و درصد حباب هوای بتن، زمان‌گیرش خمیر سیمان، مشخصه‌های بتن سخت‌شده شامل مقاومت فشاری، مقاومت الکتریکی، جذب آب موئینه، جذب آب حجمی و مهاجرت تسریع شده یون‌های کلراید موردبررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داده است که این مواد در غلظت نرمال و زمان‌گیرش خمیر سیمان استاندارد و همچنین درصد حباب هوای بتن تازه تأثیر محسوسی نداشته‌اند؛ اما نتایج آزمایش‌های بتن سخت‌شده نشان داد که با افزایش مقدار استئارات‌ها، مقاومت فشاری، جذب آب حجمی و موئینه بتن کاهش می‌یابد. به‌طوری‌که استئارات‌های کلسیم و روی در مقداری معادل ۲ کیلوگرم در یک مترمکعب (۰/۵ درصد وزن سیمان)، جذب آب نیم‌ساعته و عمق نفوذ موئینه را به‌طور میانگین ۵۴٪ و ۲۵٪ نسبت به بتن کنترل کاهش داده‌اند؛ اما این مواد به دلیل عدم تغییر در ساختار منافذ موئینه بتن، باعث تغییر قابل توجه در مقاومت الکتریکی و ضریب مهاجرت تسریع شده یون‌های کلراید نشده‌اند.

کلمات کلیدی: افزودنی‌های نم‌بند، استئارات کلسیم، استئارات روی، دوام، نفوذپذیری

نفوذ آب به داخل بتن چه از طریق مکش موئینه و چه به وسیله فشار هیدرو استاتیک، نه تنها خود زمینه ساز بسیاری از خرابی های فیزیکی و شیمیایی بتن می شود، بلکه زمینه را نیز برای انتقال یون ها و املاح مخرب به داخل بتن فراهم می کند. کاهش نسبت آب به سیمان و استفاده از مواد جایگزین سیمان از جمله روش هایی است که جهت محدود نمودن ورود آب به بتن همواره مدنظر مهندسان و پژوهشگران بوده است [۱]. گرچه موارد ذکر شده می تواند به محدود شدن آب وارده به داخل بتن بیانجامد اما بتن هیچ گاه به طور مطلق نفوذناپذیر نمی شود؛ زیرا بتن دارای تخلخل و ریزترک های ذاتی است و به همین دلیل، آب می تواند تحت فشار هیدرو استاتیک یا فرآیند مکش موئینه به داخل آن نفوذ نماید. در کنار روش های ذکر شده، استفاده از افزودنی های شیمیایی کاهنده نفوذپذیری مانند افزودنی های نم بند نیز اخیراً مدنظر پژوهشگران قرار گرفته است [۲].

شکل ۱ وضعیت قطره آب را در منافذ موئینه نم بندی شده و نم بندی نشده نشان می دهد، طبق این شکل، افزودنی های نم بند با ایجاد یک لایه آب گریز در دیواره منافذ موئینه باعث تغییر در زاویه تماس آب با دیواره منافذ می شوند و از این طریق می توانند نفوذپذیری بتن را در شرایط عدم وجود فشار هیدرو استاتیک کاهش دهند. بر اساس قوانین فیزیک، زمانی که $\theta < 90^\circ$ می باشد، جاذبه مولکولی به وجود آمده بین مایع و بتن، باعث تر شدن سطح منافذ موئینه بتن، رخداد پدیده موئینگی در لوله های موئینه و در نتیجه جذب آب توسط بتن می گردد؛ اما با افزایش زاویه تماس آب با سطح منافذ که به واسطه لایه آب گریز ناشی از مواد افزودنی نم بند ایجاد می شود، نیروی مورد نیاز برای تر شدن سطح، رخداد پدیده موئینگی و در نتیجه جذب آب توسط بتن افزایش یافته و بدین طریق، نفوذ موئینه و میزان آب جذب شده، محدود می شود [۳]. از طرف دیگر همان طور که از مکانیسم عملکرد این مواد مشخص است، به دلیل عدم تغییر در ساختار منافذ موئینه، آب می تواند تحت فشار هیدرو استاتیک وارد بتن شود.



مروری بر پژوهش های انجام شده، نشان می دهد که از طیف گسترده ای از مواد برای نم بندی بتن استفاده شده است. پژوهش آگوس موریتو^۱ نشان دهنده عدم تأثیر گذاری استئارات کلسیم بر مقاومت بتن های عادی با نسبت آب به سیمان ۰/۴۲ است [۴]. پژوهش های دیگری از افزایش مقاومت فوم بتن های نم بندی شده با استئارات کلسیم و ملات های آهکی هوادهی شده و نم بندی شده با اولئات سدیم و استئارات کلسیم تا ۶۰٪ نسبت به بتن کنترل حکایت دارد [۵]. این در حالی است که یک پژوهش دیگر حاکی از کاهش ۵۰٪ و ۶۰٪ مقاومت های فشاری و خمشی ملات های آهکی متاکائولنی حاوی استئارات است [۶]. دامین^۲ و همکارش نیز با استفاده از سه نم بند مختلف در بتن های سبک هوادهی شده، تأثیر متفاوتی از هر کدام از این مواد بر مقاومت فشاری را مشاهده نمودند [۷]. هنگ ونگ^۳ و همکارانش نیز نشان دادند که جایگزینی سیمان با خاکستر لجن کاغذ باعث تغییر در مقاومت و چگالی بتن و خمیرسیمان حاوی این مواد نمی شود [۸]. یا^۴ و همکارانش نیز نشان دادند که مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن های حاوی ستگدانه های بازیافتی و ۱٪ ماده نم بند بر پایه سیلان سیلوکسان، ۳۰٪ کاهش

می‌یابد [۹]. تیتارلی^۵ و همکارانش نیز نشان دادند که نم بندی با همین پایه باعث کاهش ۱۵٪ تا ۲۳٪ بتن‌های ترک‌خورده و ترک نخورده در سن ۲۸ روز می‌شود [۱۰، ۱۲ و ۱۳]. به‌طور کلی افزودنی‌های نم بند با اخلال در فرآیند مویینگی، جذب آب بتن و ملات سیمان را به‌شدت کاهش می‌دهند، به‌طوری‌که پژوهش‌های فراوانی حاکی از کاهش مقدار آب جذب‌شده در فرآیند مویینگی نسبت به نمونه کنترل از ۶۶٪ تا ۹۸٪ است [۵، ۹، ۱۰، ۱۵ و ۱۶]. در این پژوهش‌ها از دوزهای مختلف اولئات سدیم، استئارات کلسیم، استئارات روی، استئارات آلومینیوم و نم بندهای بر پایه سیلان سیلوکسان در ملات‌های بتنی، آهکی-پوزولانی، آهکی-هواهی شده و مصالح آجری استفاده شده است. با توجه به کاهش چشمگیر جذب آب مویینه، کاهش جذب آب حجمی کوتاه‌مدت از ۴۰٪ الی ۹۵٪ در بتن‌ها و ملات‌های حاوی مواد نم بند که در مطالعات پیشین بیان شده است، منطقی به نظر می‌رسد [۷، ۹ و ۱۴]. کاهش خوردگی میلگردها تا ۶۵٪ در بتن ترک‌خورده حاوی استئارات کلسیم و سیلان سیلوکسان در نسبت‌های آب به سیمان ۰/۴۲ الی ۰/۷۰ و افزایش میزان خوردگی در نمونه‌های ترک‌خورده حاوی سیلان سیلوکسان در نسبت‌های آب به سیمان ذکر شده، گزارش شده است. البته در این پژوهش دلیلی برای این مشاهده ارائه نشده است [۱۱ و ۱۷]. کاهش ۵۰٪ در عمق نفوذ آب نیز در بتن‌های حاوی استئارات کلسیم در نسبت آب به سیمان ۰/۴۲ از سایر نتایج پژوهش‌های پیشین بوده است، هرچند این نتیجه گیری با توجه به مکانیسم عملکردی این مواد غیر منطقی به نظر می‌رسد. [۴]

نگاهی به پژوهش‌های انجام‌شده که اغلب به‌منظور بهبود مشخصات ملات سیمان انجام شده است، نشان می‌دهد پارامترهای دوامی ملات‌های مختلف به‌ویژه جذب آب حجمی کوتاه‌مدت و جذب آب مویینه در صورت استفاده از افزودنی‌های نم بند بهبود می‌یابد؛ اما توجه کمتری به کاربرد این مواد در بتن شده است. به‌طور مشخص تأثیر این مواد بر مقاومت الکتریکی، ضریب مهاجرت تسریع‌شده یون‌های کلراید و جذب آب حجمی بلندمدت بتن‌های حاوی این مواد در پژوهش‌های پیشین به‌صورت کامل مطالعه نشده است. بر این اساس، پژوهش حاضر باهدف بررسی پارامترهای ذکر شده، بتن‌های حاوی استئارات کلسیم و استئارات روی را که در ایران در دسترس می‌باشند، مورد بررسی قرار می‌دهد. بدین منظور، بتن‌ها و خمیرهای سیمانی حاوی مقادیر مختلفی از استئارات کلسیم، استئارات روی و ترکیب آن‌ها ساخته شده و رفتارشان با رفتار آزمون‌های کنترل مقایسه شده است.

۲- برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- مصالح

سیمان پرتلند^۶ به‌کاررفته برای ساخت مخلوط‌های بتنی، سیمان پرتلند نوع ۲ با چگالی ۳/۱۵ گرم بر سانتی‌متر و نرمی (بلین) ۳۱۶۰ سانتی‌متر مربع بر گرم، منطبق بر الزامات استاندارد ISIRI 389 می‌باشد که آنالیز شیمیایی آن در جدول ۱ آمده است.

شن^۷ و ماسه^۸ مصرفی از نوع طبیعی با اندازه (۲۵-۴/۷۵ میلی‌متر) و (۰-۴/۷۵ میلی‌متر) بوده که مشخصات و دانه‌بندی آن‌ها در جدول ۲ و شکل ۱ و شکل ۲ آمده است. آب مصرفی، آب شهری تصفیه شده است که با الزامات استاندارد ASTM 1602 تطابق دارد و همچنین استئارات کلسیم و روی به‌کاررفته در این پژوهش، محصول شرکت فن‌آوران شیمی تجزیه می‌باشد. استئارات روی و کلسیم پودرهای سفید رنگ و نامحلول در آب با چگالی ۱۴۰ گرم بر لیتر می‌باشند

جدول ۱- آنالیز شیمیایی سیمان پرتلند مصرفی (درصد وزنی)

نام ترکیب	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
درصد ترکیب	۶۴/۲	۲۰/۷	۴/۷	۴/۰	۱/۳	۰/۶۵	۰/۳۲	۶۰	۱۴	۶	۱۲

^۵ Titarelli

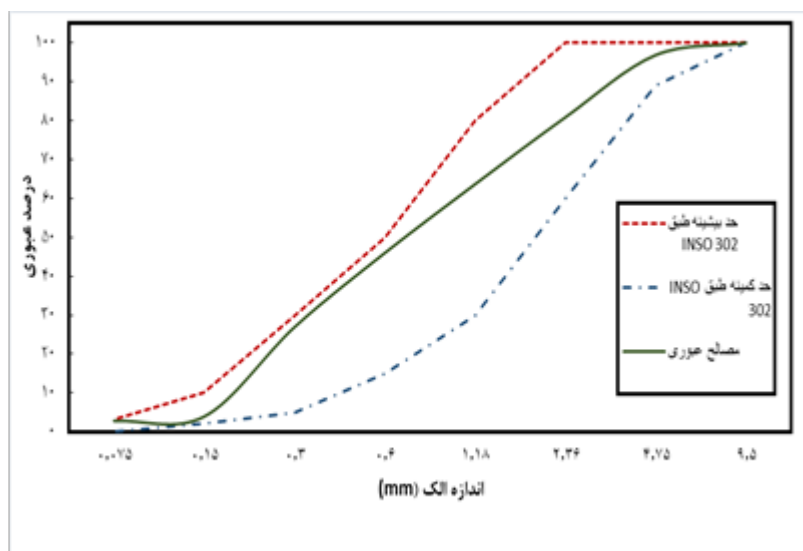
^۶ تولید شرکت سیمان دلیجان

^۷ تولید شرکت دانش بنیان نانو بتن امین

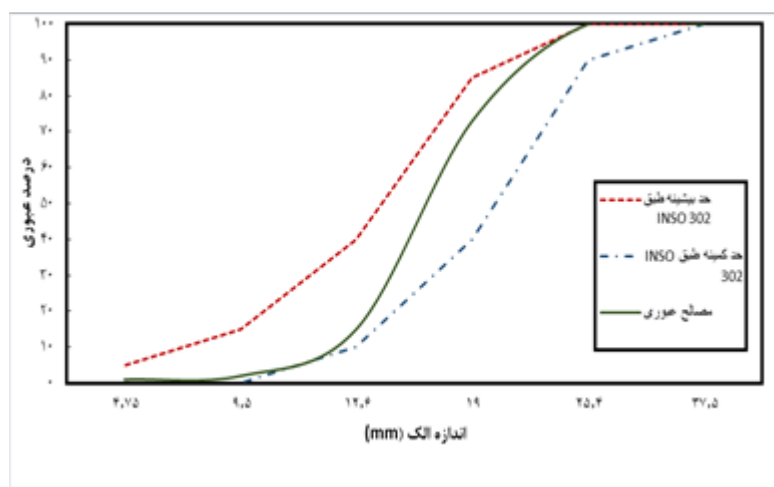
^۸ تولید معدن شن گستر کویر

جدول ۲- وزن مخصوص و چگالی مصالح سنگ دانه

مصالح	وزن مخصوص اشباع سطح خشک	درصد جذب آب
شن	۲/۶۷	۱/۱
ماسه	۲/۶۵	۲/۳



شکل ۱- دانه بندی بندی ماسه مصرفی به همراه حدود INSO 302



شکل ۲- دانه بندی شن مصرفی به همراه حدود INSO 302

۲-۲- طرح های مخلوط

برای بررسی اثر استتارات روی و استتارات کلسیم بر پارامترهای موردنظر، ۷ مخلوط بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۴۷ و عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و ۴ خمیر سیمان استاندارد ساخته شده است که طرح مخلوط آنها^۹ در جدول ۳ و جدول ۴ ارائه شده است

^۹ طرح های مخلوط بر اساس روش ملی طرح مخلوط ارائه شده اند

جدول ۳- طرح مخلوط بتن‌های ساخته شده

نام مخلوط	سیمان (kg/m ³)	آب (kg/m ³)	شن بند (kg/m ³)	ماسه (kg/m ³)	نوع استنارات	مقدار استنارات (kg/m ³)	مقدار استنارات (درصد وزنی سیمان)
Co	۴۰۰	۱۸۸	۷۰۸	۱۰۵۳	-	-	-
Ca-1	۴۰۰	۱۸۸	۷۰۸	۱۰۵۳	کلسیم	۱	۰/۲۵
Ca-2	۴۰۰	۱۸۸	۷۰۸	۱۰۵۳	کلسیم	۲	۰/۵۰
Zn-1	۴۰۰	۱۸۸	۷,۸	۱۰۵۳	روی	۱	۰/۲۵
Zn-2	۴۰۰	۱۸۸	۷,۸	۱۰۵۳	روی	۲	۰/۵۰
Mi-1	۴۰۰	۱۸۸	۷,۸	۱۰۵۳	کلسیم و روی	۱	۰/۲۵
Mi-2 ^{۱۰}	۴۰۰	۱۸۸	۷,۸	۱۰۵۳	کلسیم و روی	۲	۰/۵۰

جدول ۴- طرح مخلوط خمیرهای سیمان ساخته شده

نام مخلوط	سیمان (g)	آب (g)	نوع استنارات	مقدار استنارات (g)	مقدار استنارات (درصد وزنی سیمان)
Co	۶۵۰	۱۵۷	-	-	-
۱۱Ca-3.25	۶۵۰	۱۵۷	کلسیم	۳/۲۵	۰/۵۰
Zn-3.25	۱۸۸	۱۵۷	روی	۳/۲۵	۰/۵۰
۱۲Mi-3.25	۱۸۸	۱۵۷	کلسیم و روی	۳/۲۵	۰/۵۰

۳-۲- برنامه آزمایش‌ها

۳-۲-۱- آزمایش‌های بتن و خمیرسیمان تازه

آزمایش‌های کارایی و سنجش درصد حباب هوای بتن تازه به ترتیب طبق استانداردهای INSO 3203-2 و INSO 3520 بلافاصله پس از ساخت بتن تازه انجام شده‌اند. برای انجام آزمایش زمان‌گیرش نیز ابتدا غلظت نرمال خمیر سیمان کنترل و خمیرهای حاوی استنارات ها طبق استاندارد ISIRI 11895 به‌دست آمده است و پس‌ازآن، آزمایش زمان‌گیرش طبق استاندارد INSO 392 روی این خمیرها، انجام شده است.

۳-۲-۲- آزمایش‌های بتن سخت شده

برای آزمایش مقاومت فشاری در سنین ۱۴، ۲۸ و ۹۰ روز، میانگین مقاومت فشاری دو آزمون به طبق استاندارد INSO 1608-3 گزارش شده است. برای آزمایش جذب آب مویینه، میانگین نتایج سه آزمون در سنین ۲۸ و ۹۰ روز طبق استاندارد ASTM C1585 گزارش شده است. ذکر این نکته ضروری است که جهت انجام این آزمایش، کلیه آزمون‌ها باید در رطوبت یکسان تحت آزمایش قرار گیرند، اما در این پژوهش به‌جای شرایط رطوبتی اولیه آزمون‌ها که در استاندارد ASTM C1585 ذکر شده است، آزمون‌ها تا رسیدن به وزن ثابت در گرمخانه خشک شده‌اند. برای آزمایش جذب آب حجمی، میانگین درصد آب جذب شده توسط سه آزمون به طبق استاندارد BS1881: Part 122 به‌دست آمده، گزارش شده است. جذب آب نیم‌ساعته (به‌عنوان جذب آب کوتاه‌مدت) و جذب آب ۲۱ روزه (به‌عنوان جذب آب بلندمدت) آزمون‌های خشک گزارش شده است. برای آزمایش مهاجرت تسریع‌شده یون‌های کلراید،

^{۱۰} در مخلوط‌های Mi-1 و Mi-2 از کل مقدار استنارات، نیمی به استنارات کلسیم و نیمی به استنارات روی اختصاص داده شده است.

^{۱۱} در خمیرهای ساخته شده، مقادیر ذکر شده از استنارات به خمیر کنترل اضافه شده است.

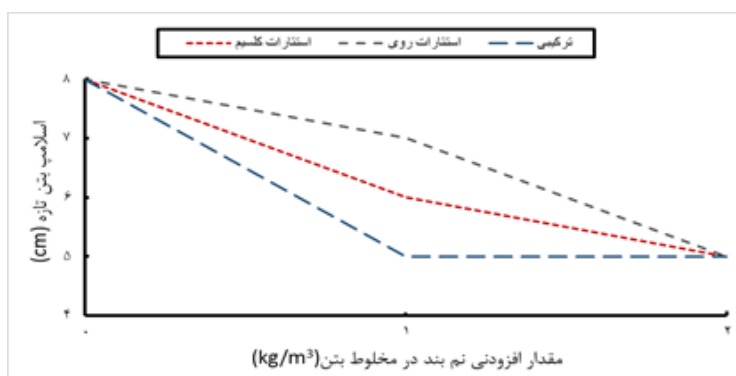
^{۱۲} در این خمیر از کل مقدار استنارات، نیمی به استنارات کلسیم و نیم دیگر به استنارات روی اختصاص داده شده است.

میانگین ضرایب مهاجرت تسریع شده سه آزمون طبق استاندارد INSO 21479 تعیین و گزارش شده است. لازم به ذکر است که برای آزمایش های جذب آب حجمی و مویینه و آزمایش مهاجرت تسریع شده یون های کلراید، از یک آزمون استوانه ای 10×20 سانتی متری، سه آزمون برش خورده 10×5 سانتی متری، تهیه شده و آزمایش موردنظر روی آن ها انجام شده است و نهایتاً برای آزمایش مقاومت الکتریکی، میانگین ۸ اندازه گیری از یک آزمون استوانه ای طبق AASHTO T358 در سنین ۱۴، ۲۸ و ۹۰ روز بر روی نمونه های کاملاً اشباع که بلافاصله از حوضچه عمل آوری خارج شده اند، گزارش شده است.

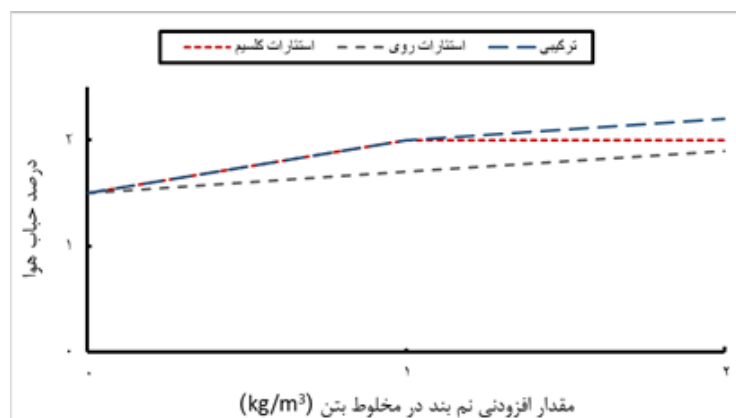
۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج آزمایش های بتن و خمیرسیمان تازه

شکل ۳ کارایی بتن کنترل در مقایسه با بتن های حاوی درصد های مختلف استئارات های فلزی را نشان می دهد. این نمودار نشان می دهد که استفاده از این مواد در مخلوط بتن، باعث کاهش کارایی بتن تازه می گردد؛ به طوری که با استفاده از استئارات کلسیم و استئارات روی و ترکیب استئارات ها تا ۲ کیلوگرم در مترمکعب، اسلامپ بتن تازه ۶۲٪ کاهش می یابد از این شکل مشخص است که در صورت استفاده از ۱ کیلوگرم در مترمکعب بیشترین و کمترین میزان کاهش در اسلامپ مربوط به ترکیب استئارات ها و استئارات روی بوده است. همچنین شکل ۴، درصد هوای بتن تازه در نمونه بتن کنترل و بتن های حاوی مقادیر مختلف ماده نم بند را نشان می دهد. طبق این نمودار استئارات ها باعث افزایش درصد هوای بتن تازه شده اند هرچند نمودار نشان می دهد که این افزایش چندان قابل توجه نمی باشد.



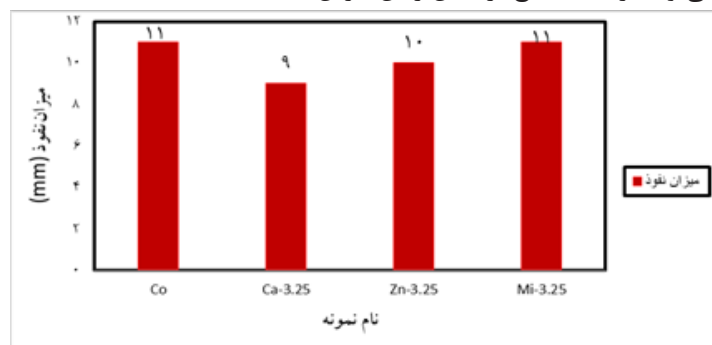
شکل ۳- مقایسه کارایی بتن تازه در بتن کنترل با بتن های حاوی افزودنی نم بند



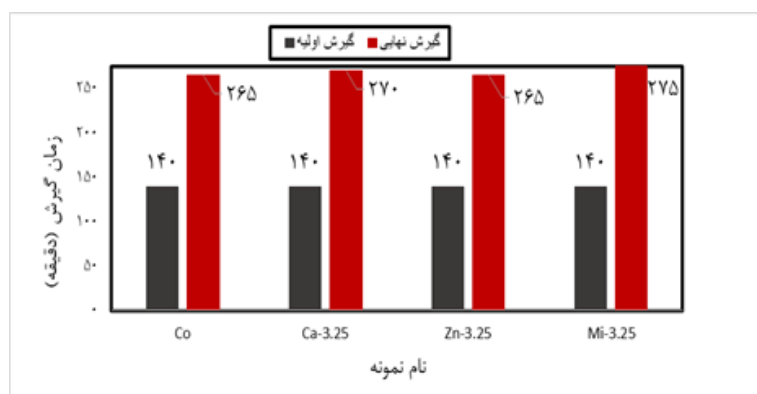
شکل ۴- مقایسه درصد هوای بتن تازه در بتن کنترل و بتن های حاوی افزودنی نم بند

شکل ۶ میزان نفوذ سوزن و یکات در خمیرهای سیمان ساخته شده را نشان می دهد. ثابت بودن میزان آب اختلاط خمیرهای ساخته شده طبق جدول ۴ نشان می دهد که استئارات ها تأثیری بر غلظت نرمال خمیر سیمان ندارند. با

توجه به شکل ۶، نتیجه‌گیری مشابهی نیز در مورد پارامترهای زمان گیرش اولیه و ثانویه قابل حصول است. نتایج آزمایش غلظت نرمال با نتایج آزمایش اسلامپ سازگاری ندارد. در آزمایش اسلامپ با افزایش میزان مصرف استئارات، اسلامپ بتن کاهش یافته است اما نتایج آزمایش تعیین غلظت نرمال، عدم تأثیرگذاری این مواد روی آب موردنیاز برای رسیدن به میزان نفوذ یکسان را نشان می‌دهد. عدم ورود این مواد به واکنش هیدراسیون و عدم تأثیر آن‌ها بر آگیری سیمان نیز می‌تواند ازجمله نتایج آزمایش زمان گیرش باشد.



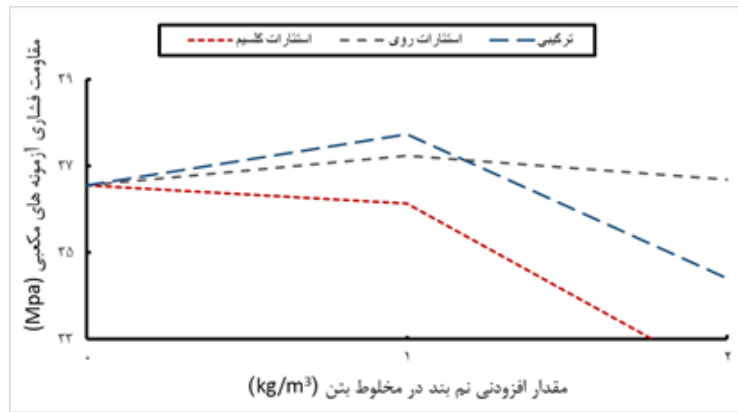
شکل ۵- مقایسه میزان نفوذ سوزن و یکات در خمیر کنترل و خمیرهای حاوی افزودنی نم بند در آزمایش غلظت نرمال



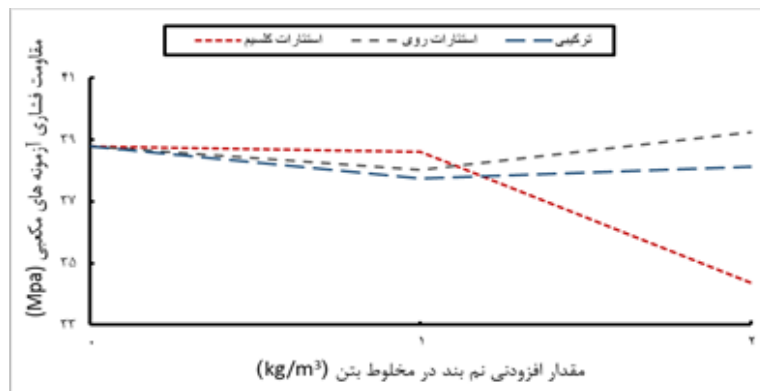
شکل ۶- مقایسه زمان گیرش در خمیر کنترل و خمیرهای حاوی افزودنی نم بند

۳-۲- نتایج آزمایش‌های بتن سخت شده

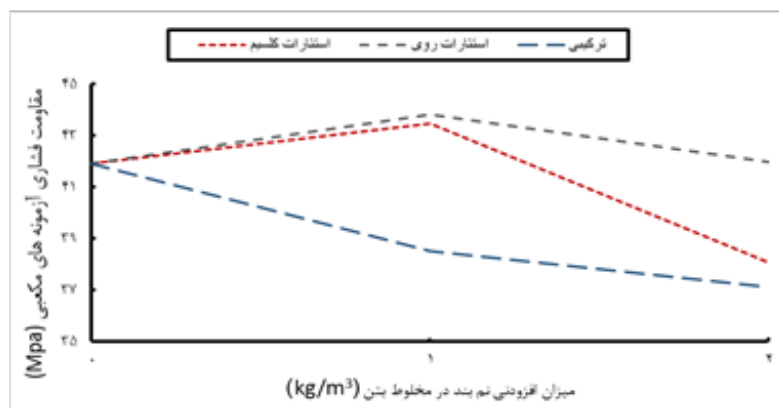
در شکل ۷ الی شکل ۹، مقاومت فشاری نمونه‌های بتن در سنین مختلف، ارائه شده است. این نتایج نشان می‌دهد که به‌طور کلی استفاده از استئارات‌ها باعث کاهش مقاومت فشاری می‌شوند و این کاهش مقاومت در صورت استفاده از ۲ کیلوگرم استئارات کلسیم به ترتیب به ۱۱٪ و ۹٪ کاهش مقاومت نسبت به نمونه کنترل در سنین ۲۸ و ۹۰ روزه، منجر خواهد شد. هم‌چنین ترکیب استئارات روی و استئارات کلسیم باعث ۲٪ و ۱۱٪ درصد کاهش در مقاومت فشاری ۲۸ روزه و ۹۰ روزه نسبت به نمونه بتن کنترل شده است. این کاهش مقاومت مشاهده‌شده، نتیجه به‌دست آمده در تطابق با نتایج پژوهش آگوس ماریوتو مبنی بر عدم تأثیرگذاری استئارات کلسیم (در میزان مصرف معادل ۰.۸۲٪ وزن سیمان) بر مقاومت فشاری بتن نیست. در پژوهش‌های گذشته استدلالی برای توجیه کاهش مقاومت ناشی از این مواد ارائه نشده است، از طرف دیگر مکانیسم اثرگذاری ارائه‌شده برای این مواد مبنی بر تشکیل یک‌لایه آب‌گریز در دیواره منافذ نیز نمی‌تواند باعث کاهش مقاومت شود و عملاً توجیه این مشاهده نیازمند داده‌های بیشتر و بررسی‌های ریزساختار بتن می‌باشد.



شکل ۷- مقایسه مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه بتن کنترل با نمونه‌های بتن حاوی افزودنی نم بند

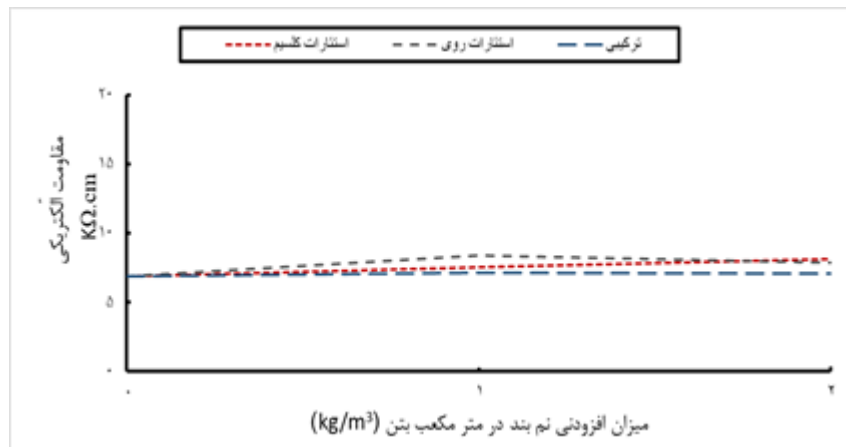


شکل ۸- مقایسه مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه بتن کنترل با نمونه‌های بتن حاوی افزودنی نم بند

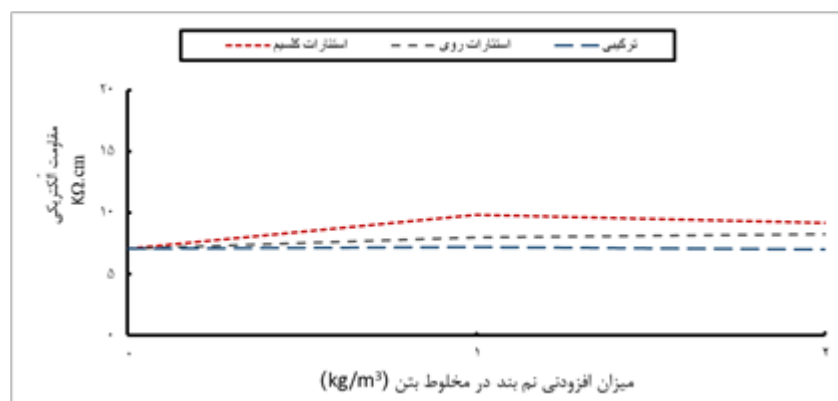


شکل ۹- مقایسه مقاومت فشاری ۹۰ روزه نمونه بتن کنترل با نمونه‌های بتن حاوی افزودنی نم بند

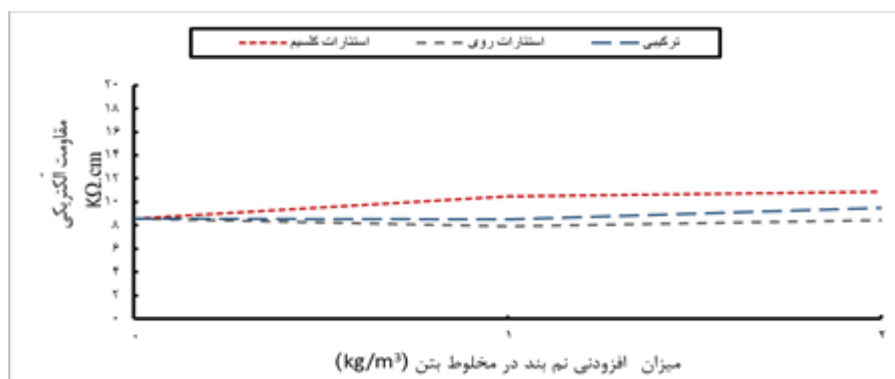
شکل ۱۱ الی ۱۳ نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی را در سنین مختلف نمایش می‌دهد. نتایج این آزمایش به‌نوعی با سهولت حرکت یون‌ها در بتن ارتباط دارد. هرچند که البته این موضوع به میزان یون‌های موجود در بتن و مسیر حرکت آن‌ها در منافذ بستگی دارد. عدم تغییر قابل توجه مقاومت‌های الکتریکی اندازه‌گیری شده در آزمون‌های مختلف، به‌نوعی نشان‌دهنده عدم تغییر ساختار منافذ موئینه بتن‌های حاوی ماده نم بند نسبت به بتن کنترل می‌باشد.



شکل ۱۰- مقایسه مقاومت الکتریکی ۷ روزه بتن کنترل با بتن‌های افزودنی‌های نم بند



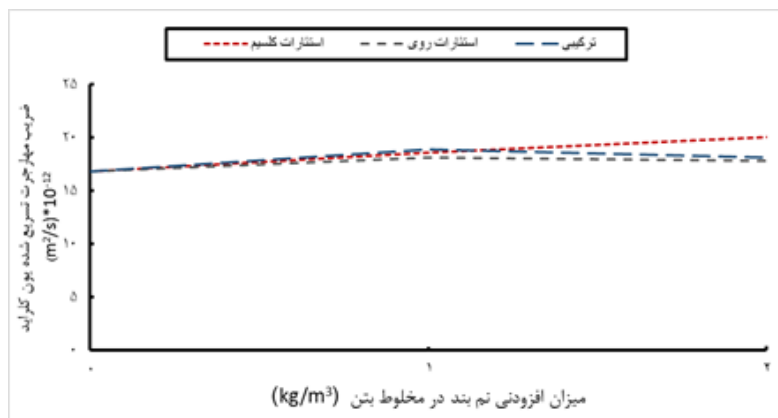
شکل ۱۱- مقایسه مقاومت الکتریکی ۲۸ روزه بتن کنترل با بتن‌های حاوی افزودنی نم بند



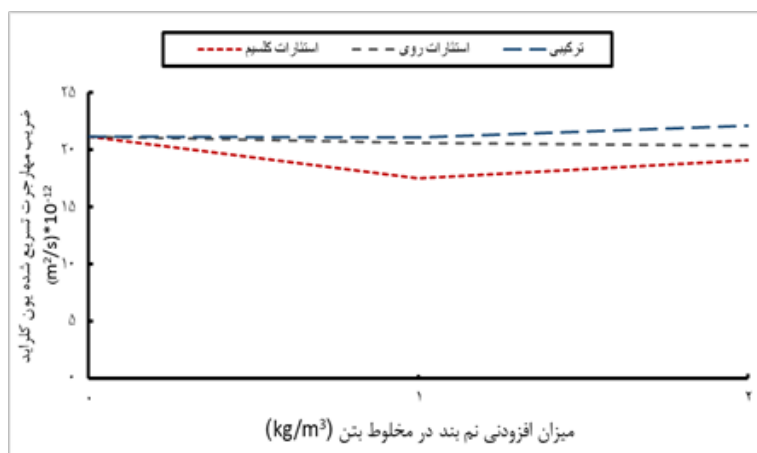
شکل ۱۲- مقایسه مقاومت الکتریکی ۹۰ روزه بتن کنترل با بتن‌های حاوی افزودنی نم بند

شکل ۱۳ و شکل ۱۴، نتایج آزمایش مهاجرت تسریع شده یون‌های کلراید را روی نمونه‌های مختلف در سنین ۲۸ و ۹۰ روز نشان می‌دهد. در این آزمایش نیز مانند آزمایش مقاومت الکتریکی، ضریب مهاجرت تسریع شده یون‌های کلراید در بتن‌های حاوی استئارات‌ها با بتن کنترل، تفاوت محسوسی نداشته است. نتیجه این آزمایش با نتیجه آزمایش مقاومت الکتریکی مبنی بر عدم تغییر ساختار منافذ موئینه سازگار است. نتایج آزمایش‌های مهاجرت تسریع شده یون‌های کلراید و مقاومت الکتریکی نشان می‌دهد که افزودنی‌های نم بند بررسی شده در این پژوهش باعث آب‌بند شدن بتن نمی‌شوند، زیرا آب‌بند شدن بتن به کاهش میزان نفوذ آب و یون‌های مخرب در شرایط وجود فشار هیدرو استاتیک اطلاق می‌شود که این موضوع نیازمند محدود شدن قطر منافذ موئینه یا افزایش پیچاپیچی

آن‌ها است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در آزمایش مقاومت الکتریکی و مهاجرت تسریع‌شده یون‌های کلراید که نشانگر عدم تغییر در ساختار منافذ مویینه بتن است، می‌توان اظهار داشت که نتیجه ارائه‌شده در پژوهش آگوس ماریوتو [۴] مبنی بر کاهش ۵۰٪ نفوذ آب در صورت استفاده از استئارات کلسیم در تطابق با نتایج این مطالعه نیست. با توجه به اینکه در پژوهش ماریوتو صرفاً به روش آزمون و ارائه نتایج بسنده شده است، امکان مقایسه نتایج وجود ندارد اما نتایج این پژوهش با [۲] در تطابق است زیرا طبق [۲] این افزودنی‌ها به دلیل عدم تغییر در ساختار منافذ مویینه نفوذپذیری را در شرایط وجود فشار هیدرواستاتیک تغییر نمی‌دهد.



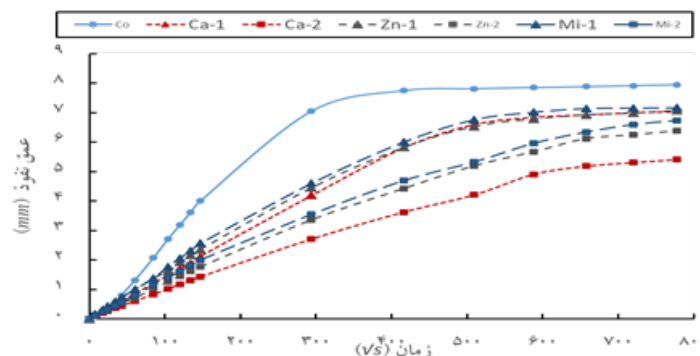
شکل ۱۳- مقایسه ضریب مهاجرت تسریع شده یون‌های کلراید در بتن کنترل و بتن‌های حاوی نم بند در سن ۲۸ روز



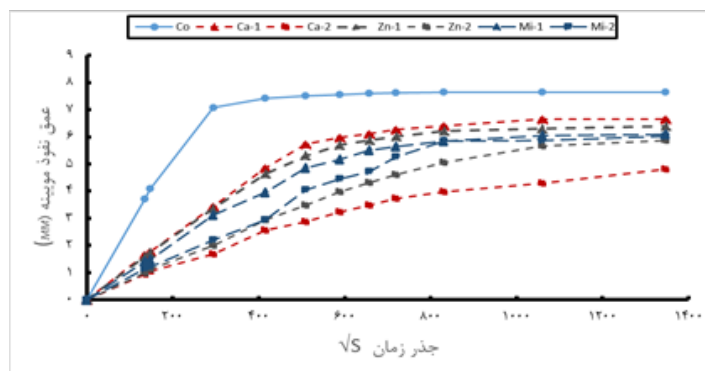
شکل ۱۴- مقایسه ضریب مهاجرت تسریع شده یون‌های کلراید در بتن کنترل و بتن‌های حاوی نم بند در سن ۹۰ روز

شکل ۱۶ و شکل ۱۷ نتایج آزمایش جذب آب مویینه نمونه‌های ۲۸ و ۹۰ روزه را نشان می‌دهد. نتایج این آزمایش‌ها حاکی از تأثیر مثبت استئارات‌ها بر نتایج این آزمایش است؛ به‌طوری‌که کاهش قابل‌توجه در میزان نفوذ آب پس از پایان آزمایش در تمامی نمونه‌های حاوی ماده نم بند نسبت به بتن کنترل قابل‌مشاهده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، کاهش در نفوذ مویینه آب در نمونه‌های ۲۸ و ۹۰ روزه حاوی ۲ کیلوگرم استئارات کلسیم از مقدار مشابه استئارات روی و ترکیب استئارات‌ها بیشتر بوده است. در صورت استفاده از یک کیلوگرم افزودنی نم بند نیز، در سن ۲۸ روز، هر سه افزودنی نم بند بررسی‌شده، نفوذ مویینه آب را ۱۱٪ کاهش می‌دهند اما در سن ۹۰ روز بیشترین کاهش در میزان نفوذ مویینه به ترتیب مربوط به ترکیب استئارات‌ها؛ استئارات روی و استئارات کلسیم، به ترتیب با ۲۳٪، ۱۹٪ و ۱۶٪ کاهش نسبت به بتن کنترل می‌باشد. هم‌چنین این‌گونه تصور می‌شود که نتایج مربوط به ترکیب استئارات‌ها باید بین نتایج مربوط به استئارات کلسیم و استئارات روی باشد اما نتایج آزمایش جذب آب مویینه در تطابق با این فرضیه نمی‌باشد. با توجه به مکانیسم ارائه‌شده برای عملکرد این مواد، لایه آب‌گریز

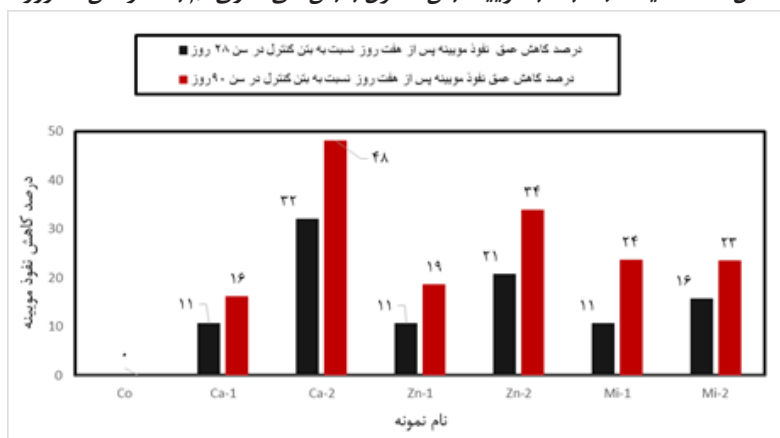
ایجادشده در دیواره منافذ مویینه باعث این کاهش در نرخ جذب آب و میزان نفوذ در بتن‌های حاوی ماده نم بند شده است. همچنین هرچقدر میزان منافذ مویینه در بتن کمتر باشد، چگالی استنارات بر دیواره منافذ افزایش یافته و ورود آب به بتن سخت‌تر می‌شود. بر این اساس با پیشرفت هیدراسیون و کم شدن منافذ مویینه، اثرگذاری این مواد در بتن افزایش می‌یابد، به‌طوری‌که شکل ۱۷ نشان می‌دهد که در مقدار ثابت از یک ماده نم بند، درصد کاهش نفوذ مویینه پس از ۷ روز قرار گرفتن نمونه‌ها در معرض رطوبت، در سن ۹۰ روز از سن ۲۸ روز بیشتر است. لازم به ذکر است که محور افقی جذر زمان برحسب ثانیه می‌باشد.



شکل ۱۵- مقایسه جذب آب مویینه بتن کنترل با بتن‌های حاوی نم بند در سن ۲۸ روز



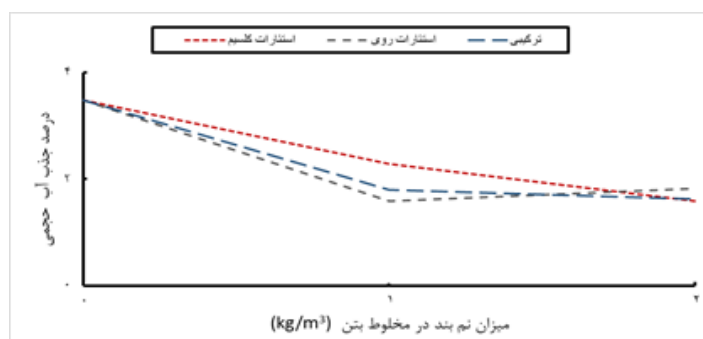
شکل ۱۶- مقایسه جذب آب مویینه بتن کنترل با بتن‌های حاوی نم بند در سن ۹۰ روز



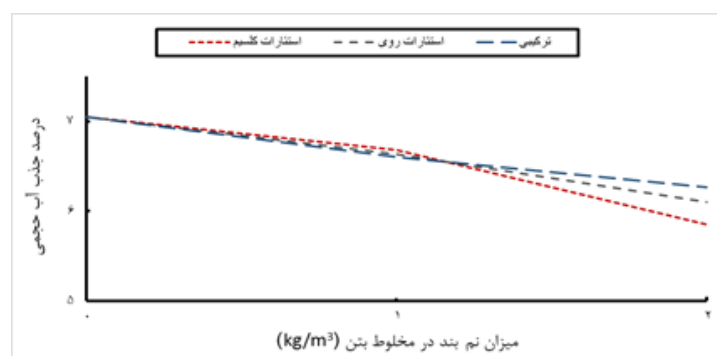
شکل ۱۷- مقایسه درصد کاهش عمق نفوذ مویینه پس از هفت روز در بتن کنترل و بتن‌های حاوی افزودنی نم بند در سنین ۲۸ و ۹۰ روز

شکل ۱۸ و شکل ۱۹، میزان جذب آب حجمی بلندمدت (بیست‌ویک روزه) و کوتاه مدت (نیم‌ساعته) نمونه‌های ۹۰ روزه را نشان می‌دهند. طبق این نمودار، استفاده از استنارات ها باعث کاهش جذب آب کوتاه‌مدت و بلندمدت بتن

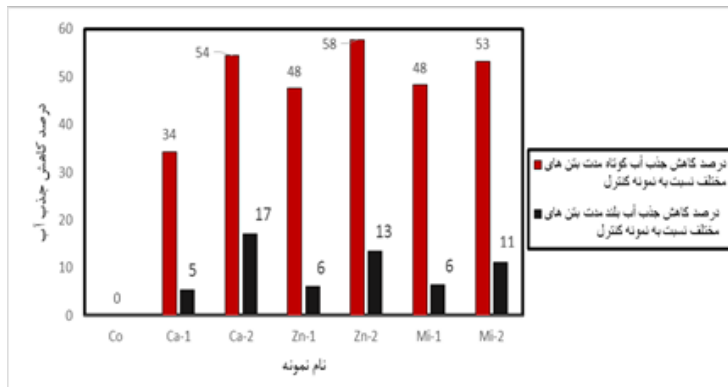
می‌شود. طبق شکل ۲۰ نیز استفاده از ۲ کیلوگرم استئارات کلسیم می‌تواند جذب آب کوتاه‌مدت و بلندمدت را به ترتیب ۵۴٪ و ۱۷٪ نسبت به بتن کنترل کاهش دهد، درحالی‌که استئارات روی ۵۸٪ و ۱۳٪ و ترکیب استئارات‌ها ۵۳٪ و ۱۱٪ جذب آب حجمی کوتاه‌مدت و بلندمدت را در صورت استفاده از همین مقدار افزودنی نم‌بند کاهش می‌دهند. در صورت استفاده از ۱ کیلوگرم استئارات کلسیم، جذب آب حجمی کوتاه‌مدت و بلندمدت به میزان ۳۴٪ و ۵٪ کاهش می‌یابد، درحالی‌که استفاده از همین مقدار استئارات روی، جذب آب حجمی کوتاه‌مدت و بلندمدت را به ترتیب ۴۸٪ و ۶٪ کاهش می‌دهد و در صورت استفاده از ترکیب استئارات‌ها، این پارامترها، ۴۸٪ و ۶٪ نسبت به بتن کنترل کاهش می‌یابند. با توجه به این شکل در تمامی آزمایش‌های انجام‌شده استفاده از استئارات کلسیم، روی و ترکیب آن‌ها در کوتاه‌مدت، جذب آب حجمی را به میزان چشمگیرتری کاهش داده‌اند. هرچند پس از گذشت حتی ۲۱ روز نیز، بتن‌های حاوی ۲ کیلوگرم افزودنی نم‌بند، به‌طور میانگین ۱۵٪ و بتن‌های حاوی ۱ کیلوگرم افزودنی نم‌بند، ۶٪ جذب آب کمتری نسبت به نمونه بتن کنترل داده داشته‌اند؛ درحالی‌که تصور می‌شود به دلیل عدم تغییر در ساختار منافذ موئینه، جذب آب بلندمدت بتن‌های حاوی افزودنی نم‌بند و نمونه بتن کنترل برابر باشد. این نتایج با نتایج آزمایش جذب آب موئینه همسو بوده و کاهش در میزان آب جذب‌شده را می‌توان به لایه آب‌گریز ایجادشده در دیواره منافذ موئینه نسبت داد. در صورت استفاده از ۱ کیلوگرم افزودنی نم‌بند در هر مترمکعب از بتن، جذب آب کوتاه‌مدت و بلندمدت ترکیب استئارات‌ها نتیجه استئارات کلسیم و روی داشته، در صورتی‌که چنین نتیجه‌ای برای آزمایش‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت در صورت کاربرد ۲ کیلوگرم ماده نم‌بند در هر مترمکعب از بتن، قابل حصول نیست. به‌طور کلی بیشترین کاهش در جذب آب بلندمدت و کوتاه‌مدت به ترتیب مربوط به ۲ کیلوگرم در مترمکعب استئارات روی و استئارات کلسیم بوده است. در پژوهش‌های پیشین، جذب آب حجمی بتن در صورت استفاده از استئارات کلسیم بررسی نشده است، اما این پژوهش‌ها کاهش در جذب آب حجمی را در صورت استفاده از نم‌بندهای دیگر گزارش کرده‌اند که با نتیجه به‌دست‌آمده در این پژوهش تطابق دارد.



شکل ۱۸- مقایسه جذب آب نیم‌ساعته بتن کنترل با بتن‌های حاوی افزودنی نم‌بند در سن ۹۰ روز



شکل ۱۹- مقایسه جذب آب بلندمدت بتن کنترل با بتن‌های حاوی نم‌بند در سن ۹۰ روز



شکل ۲۰- درصد کاهش جذب آب کوتاه مدت و بلند مدت نسبت به بتن کنترل در سن ۹۰ روز

۴- نتیجه گیری

در پژوهش حاضر، تأثیر استئارات روی، استئارات کلسیم و ترکیب مساوی از آن‌ها در مقادیر ۱ کیلوگرم در هر مترمکعب (۰/۲۵٪ وزن سیمان) و ۲ کیلوگرم در هر مترمکعب (۰/۵٪ وزن سیمان) در بتن‌های با نسبت آب به سیمان ۰/۴۷ و عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و خمیرهای سیمان نرمال حاوی ۳/۲۵ گرم (۰/۵٪ وزن سیمان) از این مواد، بررسی شده است. مهم‌ترین نتایج این پژوهش به شرح زیر قابل‌ارائه است:

- استفاده از استئارات‌ها، در هر دو مقدار ۱ و ۲ کیلوگرم بر مترمکعب مخلوط بتنی، نرخ و میزان نفوذ مویینه را در بازه ۷ روزه انجام آزمایش کاهش می‌دهند. نتایج، نشان می‌دهند که در نمونه‌های ۲۸ روزه حاوی ۱ کیلوگرم افزودنی نم بند در هر مترمکعب، هر سه ترکیب افزودنی نم بند بررسی شده میزان نفوذ مویینه را ۱۱٪ درصد کاهش می‌دهند، اما در مقدار مصرف ۲ کیلوگرم از افزودنی نم بند در هر مترمکعب بتن، بیشترین کاهش به ترتیب مربوط به ترکیب استئارات‌ها بوده و پس‌از آن، استئارات روی و استئارات کلسیم در رده‌های بعد قرار می‌گیرند. اما در سن ۹۰ روز و مقدار یک کیلوگرم افزودنی نم بند، ترکیب استئارات‌ها بهترین عملکرد را داشته و استئارات روی و استئارات کلسیم در رده‌های بعد قرار می‌گیرند. در این سن، در نمونه‌های حاوی ۲ کیلوگرم افزودنی نم بند، به ترتیب استئارات کلسیم، استئارات روی و ترکیب استئارات‌ها باعث بیشترین کاهش در میزان نفوذ مویینه شده‌اند. در این آزمایش در بین کلیه آزمایش‌های انجام‌شده، استفاده از ۲ کیلوگرم استئارات کلسیم در بین نمونه‌های ۲۸ و ۹۰ روزه، بیشترین کاهش را در میزان نفوذ مویینه نسبت به بتن کنترل ایجاد کرده‌اند.

- با پیشرفت هیدراسیون و کاهش میزان منافذ مویینه بتن، چگالی استئارات بر منافذ مویینه بتن بیشتر شده و اثرگذاری افزودنی‌های نم بند افزایش می‌یابد.

- استفاده از مقادیر ذکرشده از استئارات‌ها تا ۲ کیلوگرم در مترمکعب، جذب آب حجمی کوتاه مدت و بلند مدت را نیز کاهش می‌دهد. در صورت استفاده از ۱ کیلوگرم افزودنی نم بند در هر مترمکعب بتن، بیشترین کاهش در جذب آب کوتاه مدت مربوط به استئارات روی و ترکیب استئارات‌ها بوده و پس‌از آن‌ها، استئارات کلسیم در رده بعد قرار می‌گیرد. در این مقدار از ماده نم بند، استفاده از هر سه افزودنی نم بند بحث شده، تأثیر تقریباً یکسانی در جذب آب حجمی بلند مدت داشته است. در صورت استفاده از ۲ کیلوگرم افزودنی نم بند، بیشترین کاهش میزان جذب آب حجمی کوتاه مدت مربوط به استئارات روی بوده و پس‌از آن، استئارات کلسیم و ترکیبشان در رده‌های بعد قرار می‌گیرند. در این مقدار، بیشترین کاهش در جذب آب بلند مدت مربوط به استئارات کلسیم است و پس‌از آن، استئارات روی و ترکیب استئارات‌ها در رده‌های بعد قرار می‌گیرند. به‌طور کلی نمونه‌های حاوی ۲ کیلوگرم استئارات روی، بیشترین کاهش را در جذب آب کوتاه مدت نسبت به نمونه‌های بتن کنترل داشته‌اند و نمونه‌های حاوی ۲ کیلوگرم استئارات کلسیم، بیشترین کاهش را در میزان جذب آب حجمی بلند مدت نسبت به بتن کنترل داشته‌اند.

- در صورت استفاده از استئارات‌های کلسیم و روی، مقاومت الکتریکی و ضریب مهاجرت تسریع شده یون‌های کلراید تغییر محسوسی نداشته است که این نتیجه با مکانیسم اثرگذاری این مواد مبنی بر تشکیل یک‌لایه آب‌گریز در دیواره منافذ مویینه سازگار است. - استفاده از استئارات‌های کلسیم و روی به‌ویژه در مقادیر ۲ کیلوگرم در هر مترمکعب بتن، باعث کاهش مقاومت فشاری شده است. - استئارات‌های کلسیم و روی، تأثیری بر غلظت نرمال و زمان گیرش خمیرهای سیمان نرمال حاوی ۰/۰۵٪ استئارات، در مقایسه با خمیر سیمان کنترل نداشته‌اند.

-استثنایات‌های کلسیم و روی، تأثیری بر درصد هوای بتن تازه نداشته‌اند، اما در صورت استفاده از ۲ کیلوگرم استثنایات (۰.۵٪ وزن سیمان)، اسلامپ بتن‌های تازه تا ۶۲٪ کاهش یافته است.

۶- پیشنهادهایی برای پژوهش‌های بیشتر

۱. انجام آزمایش‌هایی با در نظر گرفتن شرایط رطوبتی نمونه مشابه ASTM C1585 و مقایسه جذب آب مویینه نمونه‌های حاوی استثنایات در شرایط خشک و مرطوب
۲. بررسی تأثیر استثنایات‌ها در مقادیر مصرف بالاتر بر مشخصات مکانیکی و دوام بتن
۳. بررسی تأثیر استثنایات‌ها بر مشخصه‌های بتن تازه مانند، افت اسلامپ
۴. بررسی اندرکنش استثنایات‌ها با افزودنی‌های جایگزین سیمان

۵- تشکر و قدردانی

آزمایش‌های انجام‌شده در این تحقیق در شرکت دانش‌بنیان نانو بتن امین انجام‌گرفته و نویسندگان مقاله بدین‌وسیله از زحمات آقای مهندس بصیرنیا، مدیرعامل شرکت دانش‌بنیان نانو بتن امین و همچنین کمک‌های ارزنده کارکنان آزمایشگاه این شرکت تشکر و قدردانی می‌نمایند.

۶- مراجع

- [۱] رمضانپور، ا، قدوسی، پ، گنجیان، ا (۱۳۹۵) "ریزساختار، خواص و اجزای بتن" دانشگاه صنعتی امیرکبیر
- [2] ACI 212.3R-10- Report on chemical admixtures for concrete
- [3] Zhichao, L. Will, H. (2016) "Effect of hydrophobic surface treatment on freeze-thaw durability of concrete. Journal of cement and concrete composite
- [4] Maryoto, A. (2015). "Improving microstructure of concrete using $\text{Ca}(\text{C}_{18}\text{H}_{35}\text{O}_2)_2$. The 5th international conference of Euro Asia civil engineering forum.
- [5] Cong, M. Bing, C. (2016). "Properties of foamed concrete containing water repellents" Journal of construction and building materials. Vol 123-pp 106-114
- [6] Eva, V. Dana, K. Monica, C. Martin, K. Roberr, C. (2012) "Effect of hydrophobization on properties of lime-metakaolin plasters. Journal of construction and building materials Vol 36-pp 556-561
- [7] Damin, B. Zbigniew, M. (2011). "Influence of selected hydrophobic agents on some properties of autoclaving cellular concrete. Journal of constructional and building materials. Vol 25- pp 282-287.
- [8] Hong, W. Robert, B. Abdulla, A. (2015). "Hydrophobic concrete using waste paper sludge ash". Journal of cement and concrete composite. Vol 70- pp 9-20
- [9] Ya, G. Shi, C. Chi, S. (2013). "Influence of silane based water repellent on durability properties of recycled aggregate concrete". Journal of cement and concrete composite. Vol 30- pp 32-38.
- [10] Tittareli, F. Carsana, M. (2014). "Effects of hydrophobic admixtures and recycled aggregate on physical-mechanical properties and durability aspects of no fine concrete. Journal of construction and building materials. Vol 66- pp 30-37
- [11] Tittareli, F. Moriconi, G. (2008). "The effect of silane based hydrophobic admixture on corrosion of steel reinforcement in concrete". Journal of cement and concrete composite. Vol 38- pp 1354-1357.
- [12] Tittareli, F. Moriconi, G. (2011). "comparison between bulk and surface hydrophobic treatment against corrosion of galvanized reinforcing steel in concrete. Journal of cement and concrete composite. Vol 41- pp 609-614
- [13] Marcos, L. Encarnacion, M. (2017). "Use of zinc stearate to produce highly hydrophobic adobe material with extended durability to water and acid rain". Journal of construction and building materials. Vol 139- pp 114-122
- [14] Marcos, L. Garsia, R. (2009). "Evaluation of capillary water absorption in rendering mortars made with powdered waterproofing additive". Journal of construction and building materials. Vol 23. Pp 3287-3291.
- [15] Lagazzo, A. Vicini, S. (2016). "Effect of fatty acid soap on microstructure of lime-cement mortar". Journal of construction and building materials. Vol 116- pp 384-390
- [16] Laura, F. Urs, M. (2013). "Influence and effectiveness of water repellent admixtures on pozzolana-lime mortars for restoration application". Journal of construction and building materials. Vol 49- pp
- [17] Maryoto, A. (2017). "Resistance of concrete with calcium stearate duo to chloride attack, tested by accelerated corrosion". Journal of Procedia engineering. Vol 171- pp 511-516.

The Effects of Stearates on Mechanical and Durability Properties of Concrete

Ramin Naseroleslami*

Master of science in structural engineering , Tafresh university
Ramin.Naserolesalmil@gmail.com

Mehdi Nemati Chari

Assistant professor, Road, House and urban development research center(BHRC)
Nematichari@gmail.com

Mojtaba Haji Mahdi

Research and development department, Nano beton Amin

Mohamad Ali Yaghoobi

Management department, Nano beton Amin

Abstract

Moisture and aggressive ions transfer into concrete can be considered as a significant threat to the durability of concrete. Calcium stearate and zink stearate as damp-proofing admixtures can provide a water repellent layer along capillary pores and this layer restricts moisture transfer through the capillary pores of the concrete. this research studies the impacts of calcium stearate and zink stearate on characteristics of ordinary concrete and fresh cement paste. Results of fresh concrete and paste evaluation shows that these admixtures reduce workability of fresh concrete, but their impacts on air content of fresh concrete, normal consistency, and setting time of the fresh paste are fairly negligible. Additionally, investigating the mechanical characteristics demonstrates that they mainly cause compressive strength loss in concrete. Furthermore, these admixtures do not improve the durability properties under hydro-static pressure. By contrast, the durability properties under non-hydrostatic condition have been drastically improved due to their inclusion. In this regard, utilizing 2kg/m³ of calcium stearate and zink stearate averagely reduced short term water absorption and final capillary penetration depth by respectively 54% and 25%.

Keywords: Calcium Stearate, Zink Stearate, Durability, Damp-Proofing Admixtures, Permeability.

امکان سنجی ساخت بتن مگر با استفاده از خرده شیشه و سنگدانه های بتن بازیافتی

دریافت مقاله: ۱۱-۱۱-۱۳۹۶

پذیرش مقاله: ۲۴-۴-۱۳۹۷

محمد کمالی

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

سیدفتح اله ساجدی*

دانشیار گروه عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

sajedi@iauahvaz.ac.ir

چکیده:

امروزه استفاده از ضایعات یا خروجی های بلااستفاده صنایع در بتن، مورد توجه فعالان صنعت بتن قرار گرفته است. با استفاده از مواد ضایعاتی همچون خرده شیشه و سنگدانه های بتن بازیافتی در بتن، می توان علاوه بر کاهش آلودگی های زیست محیطی و صرفه جویی در مصرف منابع طبیعی، به خواص مثبت در بتن نیز دست یافت. بر این اساس در این تحقیق به بررسی آزمایشگاهی خواص بتن مگر حاوی خرده شیشه و سنگدانه های ریز بتن بازیافتی به عنوان جایگزین بخشی از ماسه پرداخته شده است. در مجموع ۱۹۲ نمونه برگرفته از ۱۶ طرح اختلاط مختلف که مواد سیمانی و نسبت آب به مواد سیمانی در تمامی آن ها ثابت است، مورد ارزیابی قرار گرفتند. تنها عامل تعیین کننده اختلاف آن ها، نوع و مقدار مصالح جایگزین شده با ماسه موجود در طرح اختلاط اولیه بتن مگر بود. مقادیر ۵٪، ۱۲٪ و ۲۰٪ خرده شیشه و همچنین ۲۰٪، ۳۰٪ و ۵۰٪ سنگدانه های ریز بتن بازیافتی برای جایگزینی با ماسه طبیعی در نظر گرفته شدند. میزان اسلامپ و وزن مخصوص بتن تازه مورد بررسی قرار گرفت و همین طور مقاومت فشاری و میزان عمق نفوذ آب در بتن های ساخته شده اندازه گیری شدند. نتایج آزمایش ها نشان داد که تقریباً در تمامی این جایگزینی ها خواص مکانیکی بتن مگر دچار افت نسبی شدند. با این حال، جایگزینی خرده شیشه و سنگدانه های ریز بتن بازیافتی به ترتیب با درصدهای کمتر از ۱۲٪ و ۲۰٪، علاوه بر دارا بودن توجیه اقتصادی و اثرات مثبت زیست محیطی، می تواند خواص مکانیکی بتن مگر را تا حدود زیادی بدون تغییر نگه دارد.

کلمات کلیدی: بتن مگر، بتن بازیافتی، سنگدانه، خرده شیشه، ماسه، محیط زیست..

جهان امروز نیازمند انواعی از مصالح ساختمانی است که مساعد و مناسب برای محیط زیست باشند؛ به گونه‌ای که برای تولید آن‌ها انرژی کم‌تری مصرف گردد، به صورت مستقیم و غیر مستقیم سوخت کم‌تری استفاده کنند و آلاینده‌های کم‌تری وارد محیط زیست کنند [۱]. با این حال، عملیات تولید بتن با متغیرها و ابهاماتی همراه است؛ مگر این که در مراحل اولیه برنامه‌ریزی، بسیاری از مواردی که منتج به فعالیت‌های بی‌فایده و ضایعاتی می‌شوند، مورد توجه قرار گیرند و اصول ساخت بتن مگر^۱ به شناسایی و مدیریت این ابهامات کمک می‌کند [۲]. بتن مگر یا بتن تراز کف قالب‌بندی فنداسیون، بتنی سبک است (با سیمان کم، بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم سیمان در هر متر مکعب بتن) که نام دیگر آن بتن نظافت می‌باشد و در زیر فنداسیون ریخته می‌شود و معمولاً ضخامت آن بین ۱۰ الی ۱۵ سانتی‌متر می‌باشد و از هر طرف ۱۰ الی ۱۵ سانتی‌متر بیش‌تر از ابعاد فنداسیون ریخته می‌شود. این بتن جهت آماده سازی بستر خاکبرداری شده برای آرماتوربندی و صفحه گذاری اجراء می‌گردد [۳].

از طرفی امروزه استفاده از ضایعات یا خروجی‌های بلااستفاده صنایع در بتن، مورد توجه فعالان صنعت بتن قرار گرفته است؛ این امر منجر به برداشت کمتر از مصالح سنگی زمین می‌گردد و در برخی موارد باعث بهبود خواص بتن نیز می‌شود [۴]. اگر بتوان درصدی از بتن را توسط مصالحی از قبیل خرده شیشه جایگزین نمود، علاوه بر کاهش قیمت نهایی، با استفاده از ضایعات شیشه می‌توان در حفظ محیط زیست نیز نقش داشت [۵]. شیشه یکی از پرمصرف‌ترین مواد در صنایع مختلف می‌باشد. تعداد شرکت‌های تولید کننده شیشه در کشور بسیار زیاد بوده و حجم بالای تولید این شرکت‌ها باعث ایجاد ضایعات و پسماند فراوانی می‌شود؛ به گونه‌ای که سالانه هزاران تن از شیشه‌های ضایعاتی بدون هیچ‌گونه بازیافتی در طبیعت رها می‌شود [۱،۴]. بنابراین دلیل استفاده از بتن با سنگدانه‌های شیشه‌ای را می‌توان جلوگیری از تخریب بیش‌تر محیط زیست با استفاده مجدد از شیشه‌های ضایعاتی که غیر قابل بازیافت می‌باشند و هم‌چنین در صورت امکان، بهبود برخی مشخصات بتن دانست [۶].

از سوی دیگر، نیاز به تولید مصالح اولیه برای ساخت بتن به عنوان یکی از پیش شرط‌های ساخت و ساز که پرمصرف‌ترین ماده ساختمانی نیز می‌باشد، باعث برداشت حجم وسیعی از ذخایر سنگدانه‌های طبیعی برای تولید بتن می‌گردد. به همین دلیل از دیرباز محققان در جست و جوی راهی برای کاهش استفاده از مصالح طبیعی زمین بوده‌اند [۱]؛ لذا مسأله بازیافت را مورد توجه قرار دادند. سازه‌های بتن مسلح که در اثر عواملی نظیر زلزله، انفجار، بتن نامرغوب از لحاظ ظاهر، مقاومت فشاری، فرسایش، ناپایداری نابود می‌شوند، بتن بازیافتی را به وجود می‌آورند. بتن ضایعاتی حاصل از تخریب سازه‌ها را می‌توان دوباره خرد کرد و به عنوان سنگدانه در ساخت بتن استفاده نمود. با استفاده از بتن بازیافتی از مشکلات زیست محیطی ناشی از خرده بتن‌های انباشته شده در سطح زمین کاسته می‌گردد و هم‌چنین از استخراج بی‌رویه مصالح سنگی از طبیعت، جلوگیری می‌شود [۷].

در کشورهای پیشرفته از اواخر دهه هفتاد میلادی همگام با صنعت، در زمینه آموزش و پژوهش بتن تحول اساسی صورت پذیرفته و در سال‌های اخیر علیرغم مصرف نسبتاً کنترل شده بتن در این کشورها، مطالعات زیرساختاری و بهره‌گیری از امکانات و تجهیزات ویژه به منظور پژوهش در حوزه بتن متداول گشته است. این در حالی است که در کشورهای در حال توسعه نظیر کشور ما، با وجود این که میزان مصرف سرانه بتن از متوسط سرانه در جهان بیش‌تر است، توجه کافی به آموزش و پژوهش مبذول نمی‌گردد و اثرات سوء آن در کیفیت نازل بتن‌های مصرفی مشهود است [۱]. با توجه به این که در بیان و معرفی اصول بنیادین شهرهای پایدار، یکی از مسائلی که به آن‌ها اشاره می‌شود، مسأله تقلیل آلودگی‌ها است، در این تحقیق سعی شده است تا نوع خاصی از بتن مگر را که در تهیه

¹ Lean Concrete

آن از خرده شیشه و سنگدانه‌های ریز بتن بازیافتی به عنوان جایگزینی برای سنگدانه استفاده می‌شود، معرفی شود. همچنین به منظور ارائه یک راه کار عملی جهت دفع و بهره‌گیری از ضایعات و حفظ محیط زیست، به بررسی امکان استفاده از خرده شیشه و سنگدانه‌های ریز بتن بازیافتی به عنوان جایگزین بخشی از سنگدانه مصرفی بتن مگر پرداخته شده است. با به کارگیری خرده شیشه‌های ضایعاتی در بتن، بتنی ویژه ساخته می‌شود که در کلیه پروژه‌های ساختمانی و عمرانی کاربرد خواهد داشت. به منظور امکان‌سنجی جایگزینی این مصالح، نمونه‌های متعددی از بتن مگر با جایگزینی سنگدانه با خرده شیشه و سنگدانه ریز بتن بازیافتی یا ترکیبی از سنگدانه ریز بازیافتی و خرده شیشه با درصدهای متفاوت ساخته شده است. به تناسب استفاده از خرده شیشه سنگدانه بازیافتی در بتن، از مقدار سنگدانه معمول بتن کسر می‌گردد که این امر باعث صرفه‌جویی در مصرف منابع و حفظ آن برای آیندگان می‌شود. در این تحقیق، تأثیر جایگزینی این مصالح بر خواص بتن مگر، مورد بررسی گرفته است.

۲. پیشینه تحقیق

بازیافت برخی مواد ضایعاتی جهت استفاده در بتن راه کار مناسبی برای نیل به دو هدف، دفع مواد زاید و دستیابی به خواص مثبت در بتن می‌باشد. در این راستا، استفاده از برخی مواد ضایعاتی در بتن علاوه بر حفاظت از محیط زیست، باعث صرفه‌جویی در مصرف مواد اولیه نیز می‌شود. یکی از این مواد زاید، خرده شیشه‌های ضایعاتی است [۸]. یکی دیگر از مواد، سنگدانه‌های ریز بتن بازیافتی است؛ به این صورت که بتن ضایعاتی می‌تواند دوباره خرد شده، به عنوان سنگدانه در ساخت بتن استفاده گردد [۷]. همچنان که آمران و تاگنیت-هامو^۱ (۲۰۱۶) در تحقیق خود نشان دادند که بتن ساخته شده با جایگزینی ۲۰ درصد پودر شیشه، افزایش مقاومت فشاری، مقاوت کششی، مقاومت خمشی و مقاومت در برابر نفوذ یون کلراید را به همراه دارد [۹]. نتایج به دست آمده از تحقیق نیلی، بیگلری‌جو و رزم آرا (۱۳۹۴) حاکی از آن بود که امکان کاربرد بتن‌های تخریبی و شیشه‌های بازیافتی در بتن‌های جدید وجود دارد [۱۰]. جانی و هوگلند^۲ (۲۰۱۴) بیان کردند که می‌توان در تهیه سیمان و بتن از شیشه بازیافتی استفاده کرد [۱۱]. امام علی و الترساوی^۳ (۲۰۱۴) استفاده از شیشه بازیافتی را به جایگزین بخشی از ریزدانه بتن خودتراکم را کاملاً موفقیت آمیز دانستند [۱۲]. در تحقیق ساریک و همکاران^۴ (۲۰۱۳) مشخص شد که افزایش حضور خرده شیشه بازیافتی در بتن پلیمری باعث بهبود قابل توجه در مقاوت فشاری و مقاوت خمشی می‌شود [۱۳]. نتایج تحقیق فرخ‌زاد و همکاران (۱۳۹۲) بیانگر بهبود نسبی خواص مکانیکی بتن با افزایش میزان جایگزینی بود [۱۴]. رنجبر و همکاران (۱۳۹۲) میزان بهینه استفاده از شیشه در نمونه‌های بتنی ساخته شده را حداکثر ۵٪ اعلام کردند [۱۵]. عباسی دزفولی و همکاران (۱۳۹۱) کاربرد بتن حاوی خرده شیشه در اماکن در معرض خوردگی را توجیه پذیر و اقتصادی اعلام کردند [۱۶]. لی و همکاران^۵ (۲۰۱۲) آثار استفاده از سنگدانه شیشه بازیافتی بر خواص بلوک‌های بتنی را مورد بررسی قرار دادند و مشاهده نمودند که افزودن خرده شیشه کاهش مقاوت بتن را به همراه دارد [۱۷]. نتایج بدست آمده از تحقیق کاسترو و بریتو^۶ (۲۰۱۲) نشان دهنده تأثیر ابعاد خرده شیشه بازیافتی بر کارایی بتن بود [۱۸]. خالو، خداوردی زنجان و حسینی (۱۳۸۹) به بررسی ساخت بتن خودتراکم با استفاده از درشت دانه‌های بازیافتی پرداختند و مشاهده شد که جایگزینی ۲۵٪ درشت دانه بازیافتی با درشت‌دانه غیربازیافتی منجر به ساخت بتن خودتراکم می‌شود [۱۹]. نتایج تحقیق مقیمی و همکاران (۱۳۸۹) نشان داد که استفاده از میکروسلیس و فوق روان کننده، باعث دستیابی به بتن بازیافتی با مقاومت فشاری و کششی بیشتر، نسبت به بتن معمولی می‌گردد [۲۰].

¹ Omrana & Tagnit-Hamoua

² Jani & Hogland

³ Emam Ali & Al-Tersawy

⁴ Sariviyik et al.

⁵ Lee et al

⁶ Castro & Brito

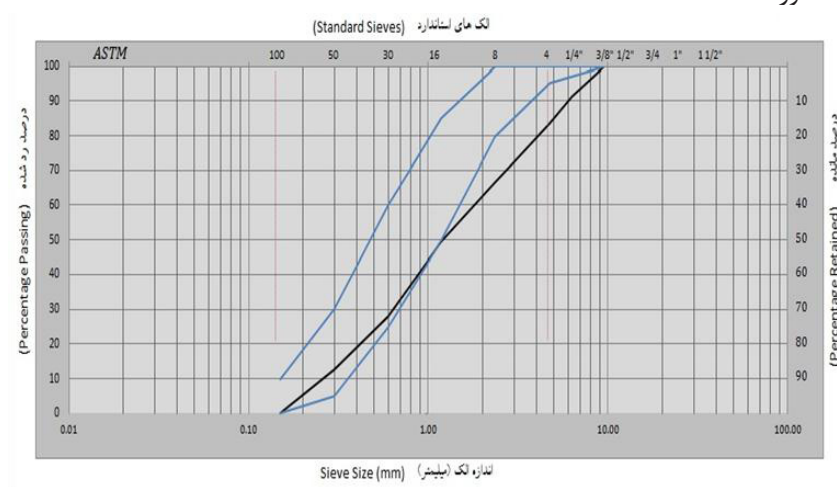
۳. روش تحقیق

با توجه به این که هدف کلی از انجام این تحقیق جایگزینی خرده‌شیشه و سنگدانه ریز بتن بازیافتی در ساخت بتن مگر می‌باشد، روند تحقیق به صورت خلاصه این گونه است که پس از تهیه خرده‌شیشه و سنگدانه بتن بازیافتی شروع به ساختن نمونه‌های اولیه این بتن نموده و پس از گذشت زمان گیرش بتن و عمل‌آوری بتن، آزمایش‌های مختلفی بر روی نمونه‌ها انجام گرفت. نتایج حاصل به صورت جدول و نمودار ارائه شده است و پس از مقایسه با نتایج حاصل از نمونه ساخته شده فاقد خرده شیشه و سنگدانه ریز بتن بازیافتی، تأثیر این جایگزینی‌ها بر خواص مکانیکی بتن مگر مشخص گردید.

۴. اجزای ساخت بتن مگر

۴-۱- ماسه طبیعی

ماسه طبیعی مورد نیاز در این تحقیق از معادن منطقه رستم‌آباد شهرستان رامهرمز واقع در استان خوزستان تهیه شده است. منحنی دانه‌بندی ماسه طبیعی مصرفی در این تحقیق در شکل ۱ و مقادیر مربوط به وزن مخصوص (ظاهری و حقیقی)، درصد رطوبت، درصد جذب آب، هم‌ارز ماسه‌ای، افت وزنی در برابر سولفات سدیم^۱ و مدول نرمی در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۱- منحنی دانه‌بندی ماسه طبیعی استفاده شده در این تحقیق

جدول ۱- نتایج آزمایش‌های وزن مخصوص (ظاهری و حقیقی)، درصد رطوبت، درصد جذب آب، هم‌ارز ماسه‌ای، افت وزنی در برابر سولفات

سدیم و مدول نرمی ماسه طبیعی

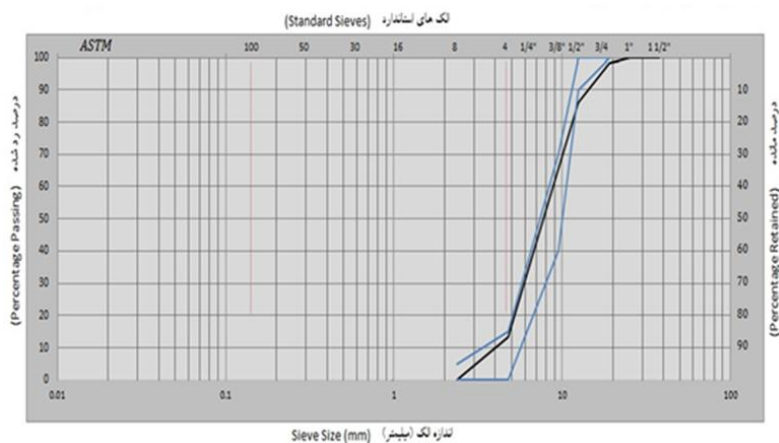
وزن مخصوص g/cm ³	رطوبت %	جذب آب %	هم‌ارز ماسه‌ای %	افت وزنی در برابر سولفات سدیم %	مدول نرمی
ظاهری	حقیقی				
۲/۵۲۰	۲/۴۴۷	۰/۳۳	۱/۱	۰/۹۳	۳/۶۰

۴-۲- شن به ابعاد ۳/۴ و ۳/۸ اینچ

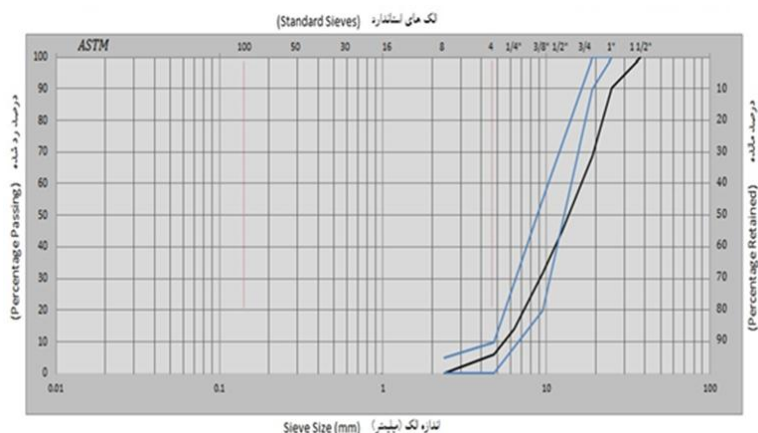
شن مصرفی جهت ساخت تمام طرح‌های اختلاط این تحقیق مانند مصالح ریزدانه از معادن منطقه رستم‌آباد شهرستان رامهرمز واقع در استان خوزستان تهیه شده است. منحنی دانه‌بندی شن ۳/۸ اینچ در شکل ۲ و منحنی دانه‌بندی شن ۳/۴ اینچ در شکل ۳ آورده شده است. همچنین مقادیر مربوط به وزن مخصوص (ظاهری و حقیقی)،

¹ Sandenss

درصد رطوبت، درصد جذب آب، درصد سنگدانه طویل و درصد سنگدانه متورق، افت وزنی در برابر سولفات سدیم و افت وزنی در برابر سایش در جداول ۲ و ۳ به ترتیب برای شن ۳/۸ و ۳/۴ اینچ ارائه شده است.



شکل ۲- منحنی دانه‌بندی شن ۳/۸ اینچ استفاده شده در این تحقیق



شکل ۳- منحنی دانه‌بندی شن ۳/۴ اینچ استفاده شده در این تحقیق

جدول ۲- نتایج آزمایش‌های وزن مخصوص (ظاهری و حقیقی)، درصد رطوبت، درصد جذب آب، درصد سنگدانه طویل و درصد سنگدانه متورق، افت وزنی در برابر سولفات سدیم و افت وزنی در برابر سایش شن ۳/۸ اینچ

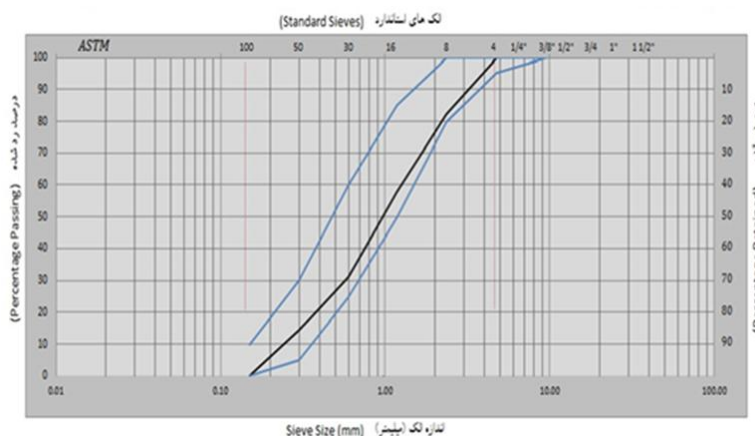
وزن مخصوص (g/cm ³)	رطوبت (%)	جذب آب (%)	سنگدانه طویل (%)	سنگدانه متورق (%)	افت وزنی در برابر سولفات سدیم (%)	افت وزنی در برابر سایش (%)
ظاهری	حقیقی					
۲/۶۶۶	۲/۶۰۳	۰/۲۸	۱/۰	۸	۰/۳۳	۲۳

جدول ۳- نتایج آزمایش‌های وزن مخصوص (ظاهری و حقیقی)، درصد رطوبت، درصد جذب آب، درصد سنگدانه طویل و درصد سنگدانه متورق، افت وزنی در برابر سولفات سدیم و افت وزنی در برابر سایش شن ۳/۴ اینچ

وزن مخصوص (g/cm ³)	رطوبت (%)	جذب آب (%)	سنگدانه طویل (%)	سنگدانه متورق (%)	افت وزنی در برابر سولفات سدیم (%)	افت وزنی در برابر سایش (%)
ظاهری	حقیقی					
۲/۶۵۸	۲/۵۹۵	۰/۲۸	۰/۹	۱۱	۰/۲	۱۹

۳-۴- خرده شیشه بازیافتی

در این تحقیق خرده شیشه مورد نیاز از ضایعات شیشه‌های ساختمانی تهیه شد و پس از جمع‌آوری ضایعات شیشه جهت خرد کردن آن‌ها از چکش فلزی استفاده شد؛ سپس خرده شیشه به‌دست آمده از الک نمره ۴ عبور داده شد تا ذرات خرده شیشه در محدوده ماسه قرار گیرند. منحنی دانه‌بندی خرده شیشه مصرفی در شکل ۴ و مقادیر مربوط به آزمایش‌های وزن مخصوص (ظاهری و حقیقی)، درصد رطوبت، درصد جذب آب، افت وزنی در برابر سولفات سدیم و مدول نرمی این مصالح در جدول ۴ آورده شده است. هم‌چنین تصویر خرده شیشه مصرفی در این تحقیق در شکل شماره ۵ ارائه شده است.



شکل ۴- منحنی دانه‌بندی خرده شیشه بازیافتی استفاده شده در این تحقیق

جدول ۴- نتایج آزمایش‌های وزن مخصوص (ظاهری و حقیقی)، درصد رطوبت، درصد جذب آب، افت وزنی در برابر سولفات سدیم و مدول نرمی خرده شیشه بازیافتی

وزن مخصوص (g/cm ³)	رطوبت (%)	جذب آب (%)	هم‌ارز ماسه‌ای (%)	افت وزنی در برابر سولفات	
				سدیم (%)	مدول نرمی
ظاهری ۲/۳۹۶	۰	۰	-	۳/۲۴	۳/۱۵
حقیقی ۲/۳۷۸	۰	۰	-	۳/۲۴	۳/۱۵



شکل ۵- خرده شیشه استفاده شده در این تحقیق

۴-۴- سنگدانه‌های ریز بتن بازیافتی

جهت کاربردی بودن هر چه بیش‌تر این تحقیق، سنگدانه ریز بتن بازیافتی از خرد کردن بتن‌هایی با مقاومت فشاری متفاوت تهیه شد. سنگدانه ریز بتن بازیافتی این تحقیق پس از خرد کردن نمونه بتن‌های قدیمی با استفاده از چکش فلزی و عبور دادن مصالح به‌دست آمده از الک نمره ۴ مورد استفاده قرار گرفت. منحنی دانه‌بندی در شکل ۶

و مقادیر مربوط به درصد جذب آب، درصد رطوبت، وزن مخصوص در جدول شماره ۵ آورده شده است. همچنین تصویر سنگدانه ریز بتن بازیافتی مصرفی در این تحقیق در شکل ۷ ارائه شده است.



شکل ۶: منحنی دانه‌بندی سنگدانه ریز بتن بازیافتی استفاده شده در این تحقیق

جدول ۵: نتایج آزمایش‌های وزن مخصوص (ظاهری و حقیقی)، درصد رطوبت، درصد جذب آب، افت وزنی در برابر سولفات سدیم و مدول نرمی سنگدانه ریز بتن بازیافتی

مدول نرمی	افت وزنی در برابر سولفات سدیم (%)	هم‌ارز ماسه‌ای (%)	جذب آب (%)	رطوبت (%)	وزن مخصوص (g/cm ³)	
					ظاهری	حقیقی
۳/۱۵	۸/۰۷	-	۱۱/۳۸	۴/۵۱	۲/۲۳۸	۲/۳۰۳



شکل ۷: سنگدانه ریز بتن بازیافتی استفاده شده در این تحقیق

۵-۴- آب اختلاط

آب لازم در این تحقیق جهت ساخت تمام نمونه‌های بتنی از آب لوله‌کشی شهرستان رامهرمز در استان خوزستان تأمین شده است و خواص شیمیایی آن در جدول ۶ آمده است.

جدول ۶- نتایج آزمایش‌های شیمیایی آب مصرفی در این تحقیق

ردیف	نوع ماده زیان آور	استاندارد آزمایش	مقادیر محاسبه شده (ppm)	نوع بتن و شرایط محیطی	حداکثر غلظت مجاز (ppm)
۱	باقیمانده تبخیر (mg/l)	ASTM D1881	۲۱۵۰	بتن آرمه در شرایط محیطی ملایم	۲۰۰۰
				بتن بدون آرماتور	۳۵۰۰
۲	سولفات‌ها (mg/l)	ASTM D514	۹۷۰	بتن آرمه و بتن پیش‌تنیده	۱۰۰۰
				بتن بدون آرماتور	۳۰۰۰
۳	کلورها (mg/l)	ASTM D512	۳۷۶	بتن آرمه در شرایط محیطی شدید	۵۰۰
				بتن بدون آرماتور	۱۰۰۰۰
۴	ذرات جامد معلق (mg/l)	ASTM D1881	۱۰۰	بتن آرمه در شرایط محیطی شدید و بتن پیش‌تنیده	۱۰۰۰
				بتن آرمه در شرایط محیطی ملایم و بتن بدون آرماتور	۲۰۰۰
۵	قلیائیت معادل $\text{Na}_2\text{O}+0.658\text{K}_2\text{O}$	ASTM D1067	۲۱۰	انواع بتن	۶۰۰
۶	pH		۸/۶۵	انواع بتن	۵ تا ۸/۵

۴-۶- سیمان

سیمان مصرفی در این تحقیق سیمان پرتلند نوع ۲ کارخانه سیمان بهبهان می باشد. این نوع از سیمان بر اساس استاندارد ملی ایران^۱ تولید شده است و نتایج تجزیه شیمیایی انجام شده بر روی آن در جدول ۷ آورده شده است.

جدول ۷- اجزای شیمیایی سیمان مصرفی در تحقیق											
ردیف	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
اکسید	سیلیسیم	آلومینیم	آهن	کلسیم	منیزیم	سدیم	پتاسیم	گوگرد	افت جرم حرارتی	باقی مانده نامحلول	قلیائیت کل بر حسب Na_2O
درصد	۲۱/۳۶	۵/۳۰	۴/۷۰	۶۲/۳۰	۱/۷۵	۰/۳۷	۰/۶۱	۲/۱۲	۱/۱۸	۰/۶۵	۰/۶۷
فازهای چهارگانه سیمان مصرفی											
	فاز		C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF					
درصد			۴۲/۹	۲۸/۹	۶/۰۹	۱۴/۳					

۵- آماده سازی مصالح و برنامه آزمایشگاهی

۵-۱- طرح های اختلاط تحقیق

طرح اختلاط اولیه همه نمونه‌ها یکسان در نظر گرفته شد و سعی گردید تا عوامل تأثیرگذار بر شرایط آزمایش از جمله درجه حرارت محیط، رطوبت، درجه آب عمل‌آوری و دیگر عوامل تأثیرگذار ثابت نگه داشته شوند و تنها تفاوت نمونه‌های ساخته شده در مقدار جایگزینی خرده شیشه و سنگدانه‌های ریز بتن بازیافتی باشد. مقادیر ۵٪، ۱۲٪ و ۲۰٪ برای جایگزینی خرده شیشه با ماسه طبیعی و همچنین مقادیر ۲۰٪، ۳۰٪ و ۵۰٪ برای جایگزینی سنگدانه ریز بتن بازیافتی با ماسه طبیعی در نظر گرفته شد. علاوه بر طرح‌های اختلاط فوق، تعداد ۹ طرح اختلاط دیگر جهت بررسی ترکیب همزمان جایگزینی خرده شیشه و سنگدانه ریز بتن بازیافتی با ماسه طبیعی نیز ساخته شد. در آخر جهت بررسی آثار این مصالح جایگزین، تمام طرح‌های اختلاط ساخته شده با یک طرح اختلاط شاهد و بدون جایگزینی مقایسه گردید. مقادیر مصالح به کار رفته برای هر طرح اختلاط در جدول ۸ ارائه شده است.

^۱ Institute of Standard & Industrial Research of Iran (ISIRI)

جدول ۸- جزئیات طرح‌های اختلاط بتن‌های ساخته شده در تحقیق

ردیف	علامت اختصاری	درصد جایگزینی خرد شیشه	درصد جایگزینی دانه طبیعی	ریزدانه طبیعی	خرد شیشه جایگزین شده	بتن بازیافتی جایگزین شده	آب	عیار سیمان	اسلامپ	وزن مخصوص
					(Kg/m ³)	(Kg/m ³)	(Kg/m ³)	(Kg/m ³)	(mm)	(g/cm ³)
۱	Ref	۰	۰	۹۷۰	۱۱۵۰	۰	۱۲۸	۱۵۰	۵۰	۲/۱۸۵
۲	S01,05,00	۵	۰	۹۷۰	۱۰۹۲/۵	۵۷/۵	۱۲۸	۱۵۰	۵۰	۲/۱۷۹
۳	S02,12,00	۱۲	۰	۹۷۰	۱۰۱۲	۱۳۸	۱۲۸	۱۵۰	۵۰	۲/۱۶۳
۴	S03,20,00	۲۰	۰	۹۷۰	۹۲۰	۲۳۰	۱۲۸	۱۵۰	۵۰	۲/۱۵۳
۵	S04,00,20	۰	۲۰	۹۷۰	۹۲۰	۰	۱۲۸	۱۵۰	۵۰	۲/۱۵۵
۶	S05,00,30	۰	۳۰	۹۷۰	۸۰۵	۰	۱۲۸	۱۵۰	۴۵	۲/۱۳۸
۷	S06,00,50	۰	۵۰	۹۷۰	۵۷۵	۰	۱۲۸	۱۵۰	۴۵	۲/۱۱۱
۸	S07,05,20	۵	۲۰	۹۷۰	۸۶۲/۵	۵۷/۵	۱۲۸	۱۵۰	۵۰	۲/۱۵۰
۹	S08,12,20	۱۲	۲۰	۹۷۰	۷۸۲	۱۳۸	۱۲۸	۱۵۰	۵۰	۲/۱۳۱
۱۰	S09,20,20	۲۰	۲۰	۹۷۰	۶۹۰	۲۳۰	۱۲۸	۱۵۰	۵۵	۲/۱۰۱
۱۱	S10,05,30	۵	۳۰	۹۷۰	۷۴۷/۵	۵۷/۵	۱۲۸	۱۵۰	۴۵	۲/۱۲۹
۱۲	S11,12,30	۱۲	۳۰	۹۷۰	۶۶۷	۱۳۸	۱۲۸	۱۵۰	۴۵	۲/۱۱۳
۱۳	S12,20,30	۲۰	۳۰	۹۷۰	۵۷۵	۲۳۰	۱۲۸	۱۵۰	۴۵	۲/۰۸۹
۱۴	S13,05,50	۵	۵۰	۹۷۰	۵۱۷/۵	۵۷/۵	۱۲۸	۱۵۰	۴۵	۲/۱۱۷
۱۵	S14,12,50	۱۲	۵۰	۹۷۰	۴۳۷	۱۳۸	۱۲۸	۱۵۰	۴۰	۲/۰۸۸
۱۶	S15,20,50	۲۰	۵۰	۹۷۰	۳۴۵	۲۳۰	۱۲۸	۱۵۰	۴۰	۲/۰۶۹

Si,a,b یعنی طرح اختلاط شماره آم که در آن درصد های مصرفی خرد شیشه و سنگدانه های ریز بتن بازیافتی به ترتیب a و b می باشند.

۵-۲- شرایط ساخت نمونه

قبل از شروع به ساخت، درصد رطوبت و جذب آب سنگدانه ها تعیین گردید و مقدار آب مصرفی در طرح مخلوط با توجه به مقادیر اندازه گیری شده تصحیح شد. پس از آماده شدن مقادیر لازم برای یک طرح اختلاط خاص، مصالح به-طور دقیق توزین گشت و قبل از ریختن مصالح درون مخلوط کن، ابتدا داخل آن یک ملات ساده ساخته می شد تا هنگام ساخت مخلوط اصلی، مصالح به جداره دیگ مخلوط کن نچسبد. با توجه به تعداد طرح های اختلاط و به

منظور جلوگیری از هدر رفت مصالح مصرفی، جهت انجام آزمایش‌ها به میزان حجم ۲۰ نمونه مکعبی ۱۵۰*۱۵۰*۱۵۰ میلی‌متری برای هر طرح اختلاط بتن با رعایت نسبت مقادیر طبق جدول شماره ۷، بتن تازه ساخته شد. همچنین از یک مخلوط‌کن برقی با جام متحرک و چرخشی جهت ساخت بتن در تحقیق استفاده شد. اختلاط اجزاء بتن در مخلوط‌کن جهت ساخت تمام طرح‌ها به ترتیب زیر در سه مرحله به شرح زیر صورت گرفت:

الف: کل شن و نصف آب محاسبه شده به مدت یک دقیقه

ب: کل ماسه (و مصالح جایگزین) و یک چهارم از آب محاسبه شده به مدت یک دقیقه

ج: کل سیمان و یک چهارم از آب محاسبه شده به مدت دو دقیقه

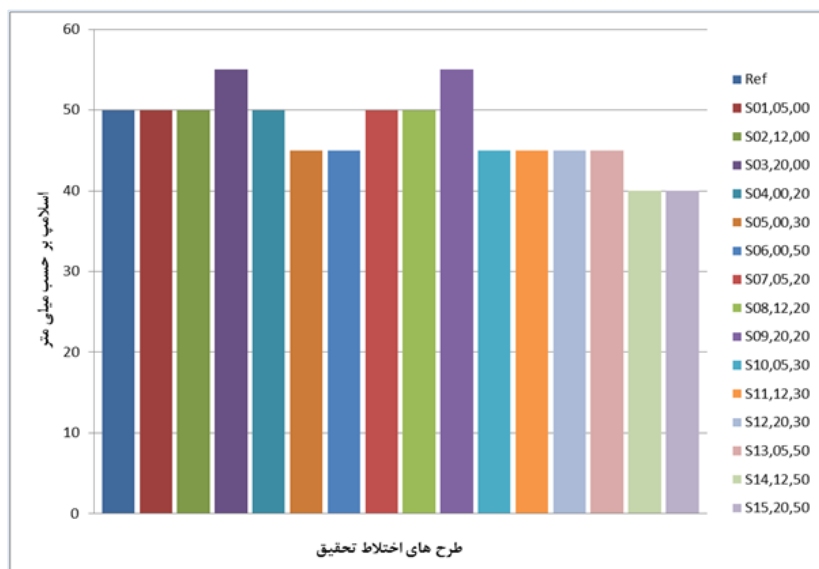
۵-۳- واکنش قلیایی-سیلیسی^۱ در حضور خرده‌شیشه بازیافتی

در اثر هیدراسیون سیمان، واکنشی بین سنگدانه‌های سیلیکاتی و برخی محلول‌های با خاصیت قلیایی ایجاد می‌شود که از آن به عنوان واکنش قلیایی-سیلیسی یاد می‌شود. در نتیجه واکنش قلیایی-سیلیسی^۱ ژل با انبساط زیادی تولید خواهد شد که منجر به ترک و خرابی در بتن می‌شود. به‌طور کلی این واکنش در بتن به سه عامل بستگی دارد: آب، قلیای آزاد شده از سیمان در زمان هیدراسیون و نوع سنگدانه [۲۱،۲۲]. اما عوامل مختلفی مثل تخلخل بتن، نفوذپذیری بتن، رطوبت محل بتن‌ریزی و حجم سنگدانه‌های فعال در مصالح در میزان انبساط ناشی از واکنش قلیایی-سیلیسی دخالت دارند [۲۳،۲۴]. حضور خرده‌شیشه بازیافتی در بتن باعث مساعد شدن شرایط واکنش قلیایی-سیلیسی می‌شود. بنابراین قبل از مصرف خرده‌شیشه بازیافتی به عنوان جایگزین بخشی از ماسه در بتن مگر، لازم است تحقیق تکمیلی جهت بررسی دقیق و آزمایشگاهی میزان تأثیر این نوع از مصالح بازیافتی بر واکنش قلیایی-سیلیسی در بتن مگر انجام گردد.

۶. تحلیل نتایج

۶-۱- تحلیل نتایج آزمایش میزان روانی (اسلامپ) بتن تازه

نتایج آزمایش اندازه‌گیری کارایی مخلوط‌های بتنی با استفاده از استاندارد ASTM C143 تعیین شده است؛ هدف از انجام این آزمایش بررسی تأثیر جایگزینی مصالح بازیافتی بر میزان روانی بتن می‌باشد. نتایج به دست آمده از این آزمایش در نمودار ۱ ارائه شده است.

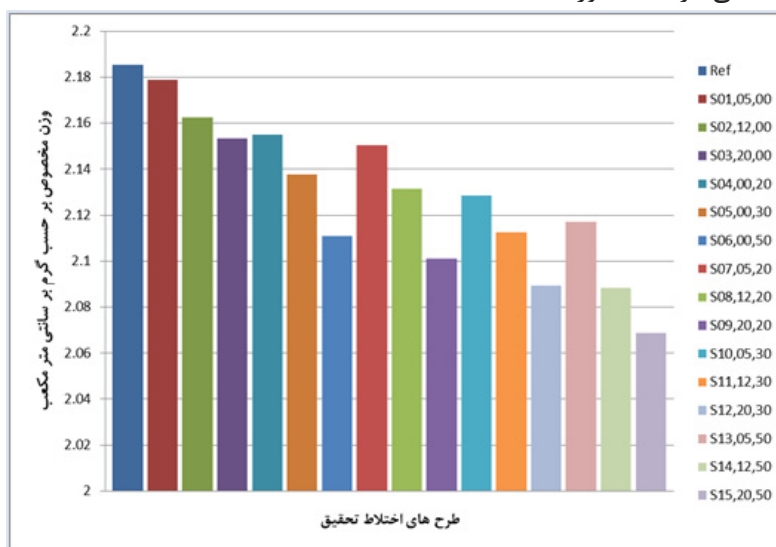


نمودار ۱- تغییرات در اسلامپ مرتبط با طرح‌های اختلاط تحقیق

¹ Alkali-Silica Reaction (ASR)

۲-۶- تحلیل نتایج آزمایش وزن مخصوص بتن تازه

پس از ساخت طرح‌های اختلاط، به منظور کنترل یکنواختی مخلوط‌های ساخته شده با حضور مصالح بازیافتی در طول دوره انجام آزمایش‌ها، وزن مخصوص بتن تازه مگر مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج به دست آمده در نمودار ۲ بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب آورده شده است.



نمودار ۲- تغییرات در وزن مخصوص مرتبط با طرح‌های اختلاط تحقیق

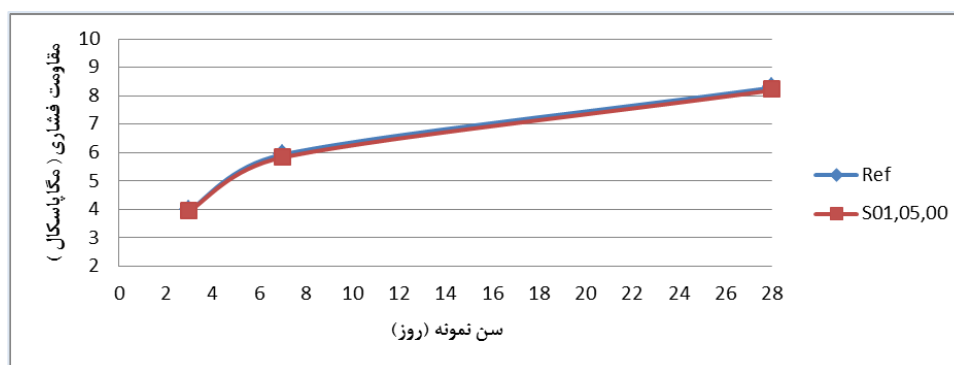
با دقت در نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام شده روی سنگدانه‌های بازیافتی و با در نظر گرفتن این موضوع که وزن مخصوص نمونه‌های بتنی کاملاً تحت تأثیر وزن مخصوص مصالح مصرفی در آن‌ها می‌باشند، کاهش وزن مخصوص در نمونه‌های ساخته شده در این تحقیق قابل توجیه می‌باشد. در جدول ۴-۲ کاملاً مشهود است که وزن مخصوص نمونه‌های بتنی و درصد جایگزینی مصالح بازیافتی با ماسه، رابطه مستقیم دارد.

۳-۶- تحلیل نتایج مقاومت فشاری

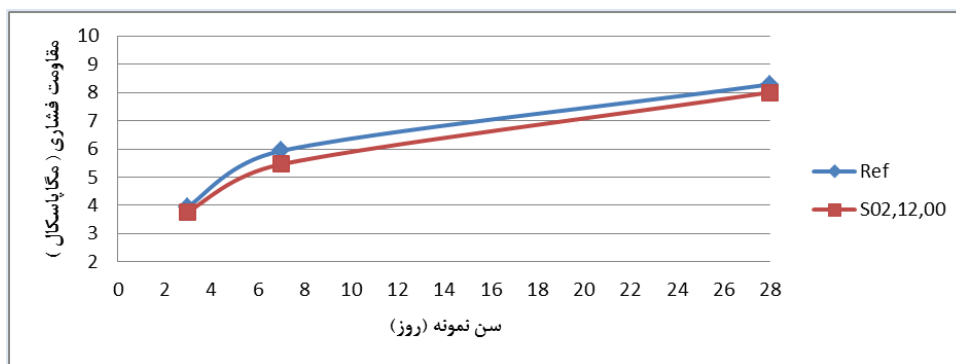
آزمایش مقاومت فشاری طبق استاندارد BS1881-Part116 بر روی نمونه‌های عمل‌آوری شده به صورت مرطوب در سنین ۳، ۷ و ۲۸ روزه انجام شده است. نتایج این آزمایش‌ها در سنین مختلف و با در نظر گرفتن نوع مصالح جایگزین شده به طور جداگانه ارائه شده است.

۱-۳-۶- طرح‌های اختلاط ساخته شده با خرده شیشه بازیافتی

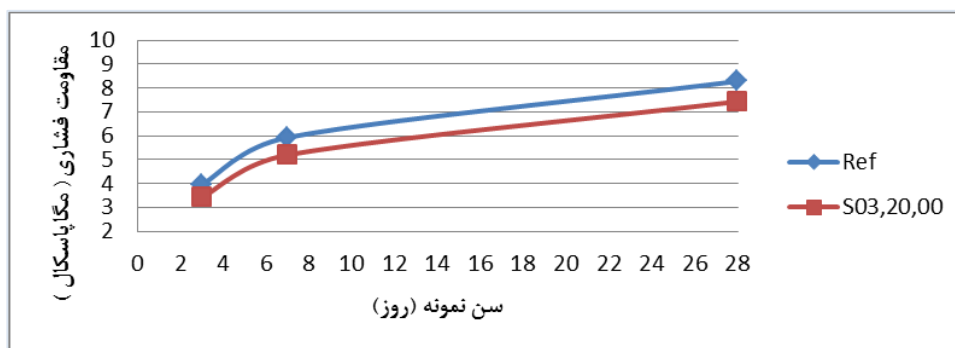
برای بررسی آثار استفاده از خرده شیشه بازیافتی در بتن مگر، این مصالح بازیافتی به ترتیب با ۵٪، ۱۲٪ و ۲۰٪ وزن ماسه جایگزین شد و نتایج این جایگزینی در نمودارهای شماره ۳ الی ۶ آمده است.



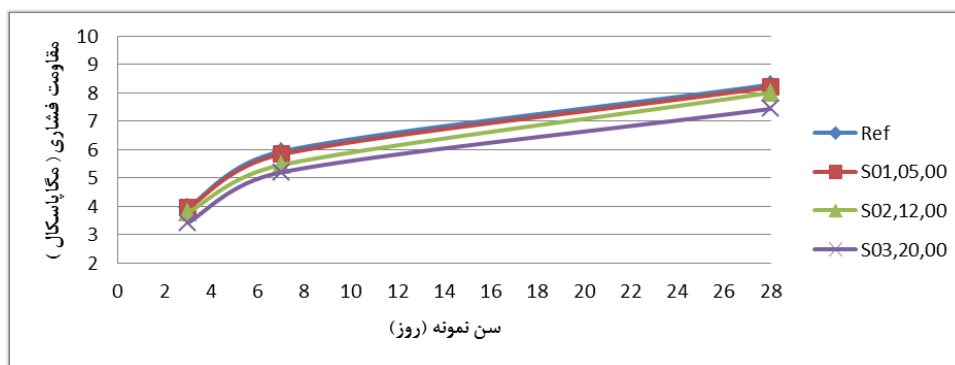
نمودار ۳- تغییرات مقاومت فشاری در طرح اختلاط S01,05,00 بر حسب سن نمونه



نمودار ۴- تغییرات مقاومت فشاری در طرح اختلاط S02,12,00 بر حسب سن نمونه



نمودار ۵- تغییرات مقاومت فشاری در طرح اختلاط S03,20,00 بر حسب سن نمونه

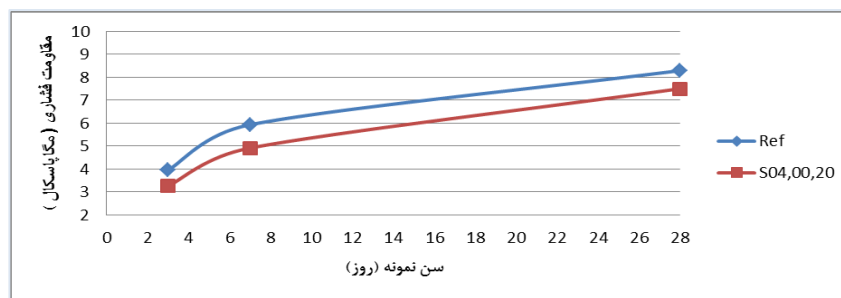


نمودار ۶- تغییرات مقاومت فشاری در تمام طرح‌های اختلاط ساخته شده با خرده شیشه بازیافتی بر حسب سن نمونه

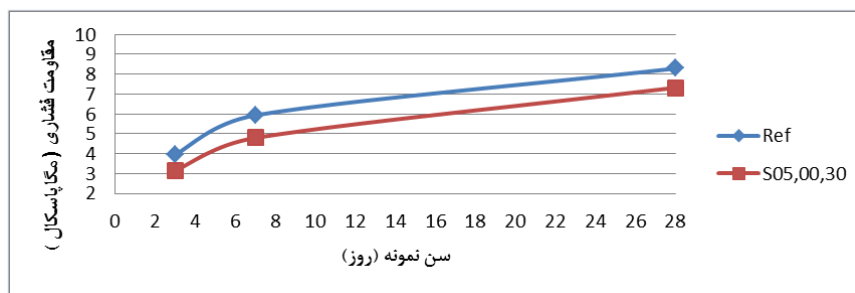
بر اساس نتایج بدست آمده مشخص شد که تأثیر جایگزینی خرده شیشه بازیافتی با مقادیر کمتر از ۱۲٪ وزنی ماسه بر مقاومت فشاری بتن مگر بسیار ناچیز است (کمتر از ۳/۵٪)؛ اما آثار این جایگزینی با درصدهای بالاتر کاملاً محسوس است به نحوی که با جایگزینی این مصالح بازیافتی با ۲۰٪ وزن ماسه موجود در طرح اختلاط اولیه، کاهش مقاومت فشاری به بیش از ۱۱٪ خواهد رسید. دلیل این کاهش مقاومت را باید در خصوصیات فیزیکی خرده شیشه بازیافتی جستجو کرد. با توجه به سطح صیقلی این مصالح بازیافتی، مشخص است که هیچ‌گونه چسبندگی بین دیگر مصالح و خرده شیشه‌های بازیافتی به واسطه حضور سیمان به‌وجود نخواهد آمد و همین امر باعث افزایش تخلخل و در نتیجه کاهش مقاومت فشاری بتن می‌شود.

۶-۳-۲- طرح‌های اختلاط ساخته شده با سنگدانه‌های ریز بتن بازیافتی

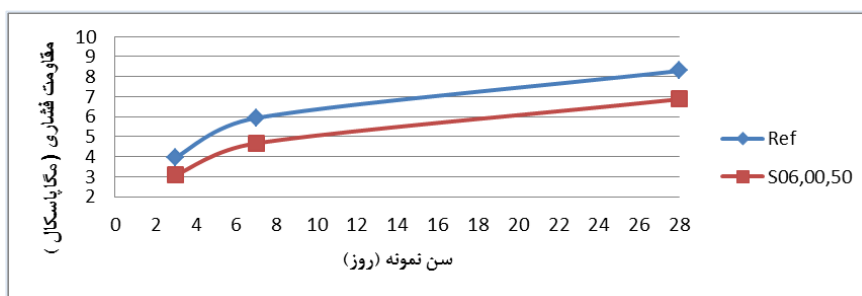
در این تحقیق، سنگدانه ریز بتن بازیافتی به ترتیب با ۲۰٪، ۳۰٪ و ۵۰٪ وزن کل ماسه موجود در طرح اختلاط اولیه جایگزین شد. نتایج این جایگزینی در نمودارهای ۷ الی ۱۰ ارائه شده است.



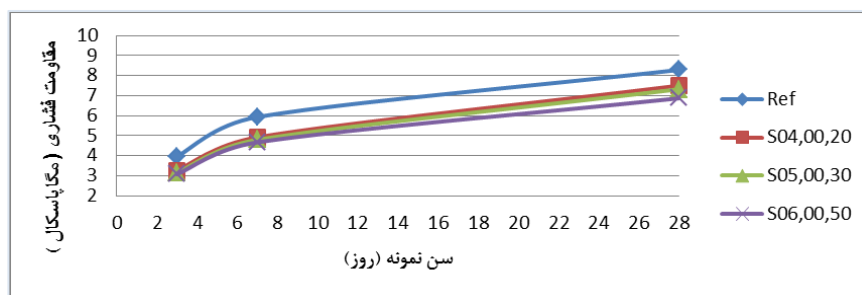
نمودار ۷- تغییرات مقاومت فشاری در طرح اختلاط S04,00,20 بر حسب سن نمونه



نمودار ۸- تغییرات مقاومت فشاری در طرح اختلاط S05,00,30 بر حسب سن نمونه



نمودار ۹- تغییرات مقاومت فشاری در طرح اختلاط S06,00,50 بر حسب سن نمونه



نمودار ۱۰- تغییرات مقاومت فشاری در تمام طرح‌های اختلاط ساخته شده با سنگدانه‌های ریز بتن بازیافتی بر حسب سن نمونه

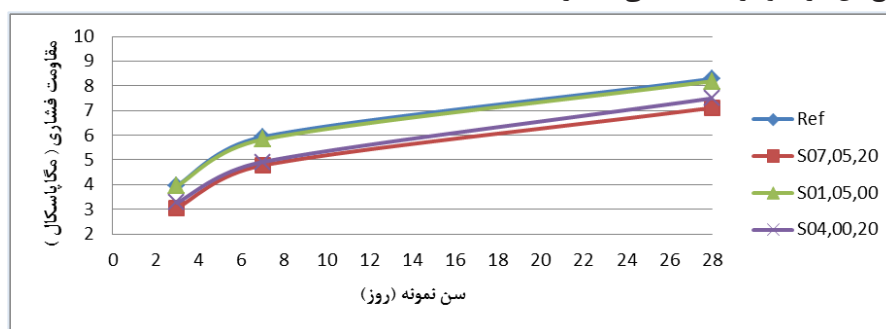
هم‌چنان که از نتایج مشخص است کاهش مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی با مقدار جایگزینی خرده بتن بازیافتی نسبت مستقیم دارد به نحوی که کاهش مقاومت فشاری برای نمونه‌های با سن ۲۸ روزه و با جایگزینی ۲۰٪، ۳۰٪ و ۵۰٪ به ترتیب برابر ۹/۴٪، ۱۱/۶٪ و ۱۷/۱٪ ثبت شد.

کاهش مقاومت فشاری در این نمونه‌ها با عوامل مختلفی مرتبط است که مهم‌ترین این عوامل را می‌توان استحکام پایین سنگدانه‌های به‌دست آمده از بتن بازیافتی دانست. دلیل استحکام پایین این سنگدانه‌ها، سیمانی است که از طرح اختلاط قبلی بر روی این نوع از مصالح بازیافتی به جای مانده است. در حین اختلاط قسمت‌های ضعیف بتن

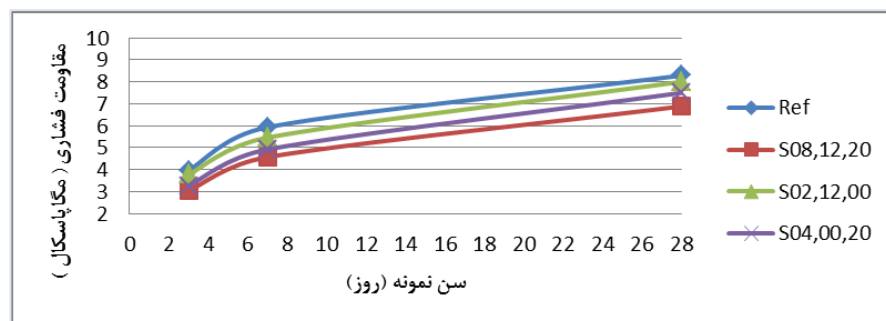
خرد شده، که معمولاً ملات سیمان سخت شده بر روی آن‌ها می باشد به قطعات ریزتر خرد می شوند؛ این مسأله باعث افزایش حضور ریزدانه‌ها در مخلوط بتن می شود که خود باعث افت مقاومت بتن می گردد. هم چنین به دلیل اینکه بتن خرد شده همراه با ملات سیمان سخت شده بر روی آن‌ها، ضعیف تر از سنگ شکسته طبیعی می باشد، مقاومت بافت کریستالی بین دو قطعه ملات سخت شده و یا یک قطعه ملات سخت شده و سنگ شکسته کمتر از مقاومت بافت کریستالی بین دو قطعه سنگ شکسته طبیعی می باشد که خود باعث کاهش مقاومت بتن بازیافتی می شود. دلیل دیگر برای توضیح این کاهش مقاومت فشاری جذب آب بالای این نوع مصالح بازیافتی می باشد؛ جذب آب بالای سنگدانه های ریز بتن بازیافتی به طور غیر مستقیم باعث افزایش تخلخل بتن می شود و در نتیجه این تغییر در ساختار درونی بتن، مقاومت فشاری تنزل خواهد کرد [۲۵].

۳-۳-۶ طرح های اختلاط ساخته شده از خرده شیشه بازیافتی و سنگدانه ریز بتن بازیافتی به صورت همزمان

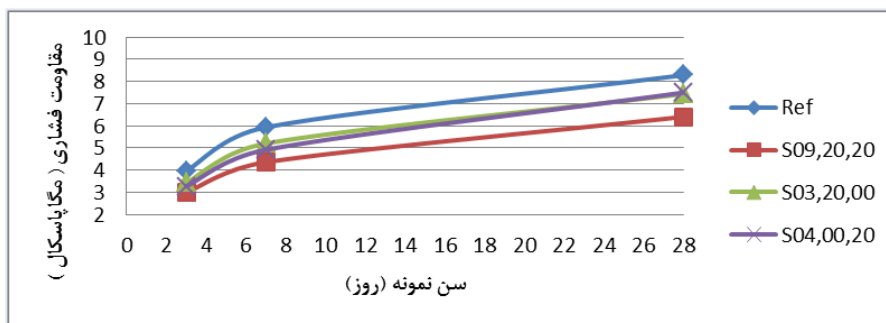
در این بخش به بررسی جایگزینی همزمان ترکیب خرده شیشه بازیافتی و سنگدانه ریز بتن بازیافتی در بتن مگر پرداخته خواهد شد. تمام مقادیر در نظر گرفته شده برای هر کدام از مصالح بازیافتی به نوبت و یک به یک با هم ترکیب شدند و نتایج آن در نمودارهای ۱۱ الی ۱۹ ارائه شده است.



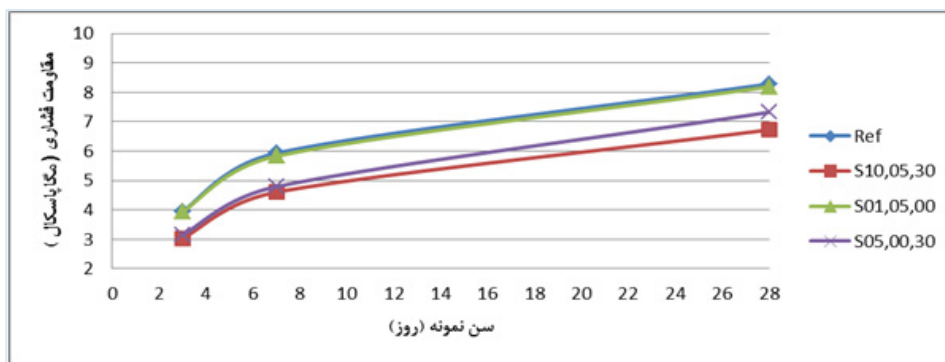
نمودار ۱۱- تغییرات مقاومت فشاری در طرح اختلاط S07,05,20 بر حسب سن نمونه



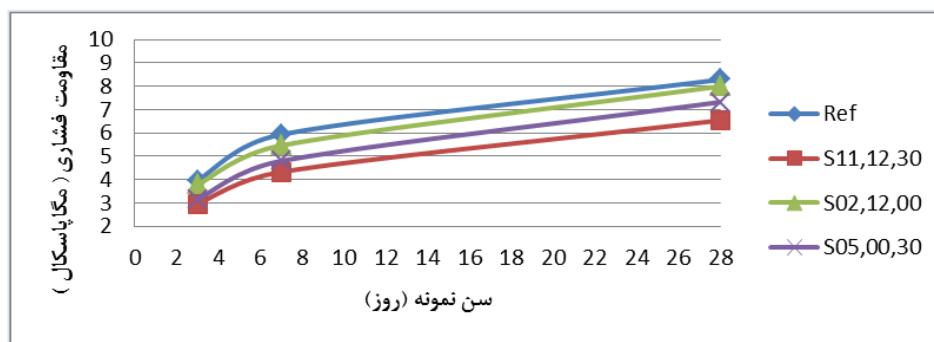
نمودار ۱۲- تغییرات مقاومت فشاری در طرح اختلاط S08,12,20 بر حسب سن نمونه



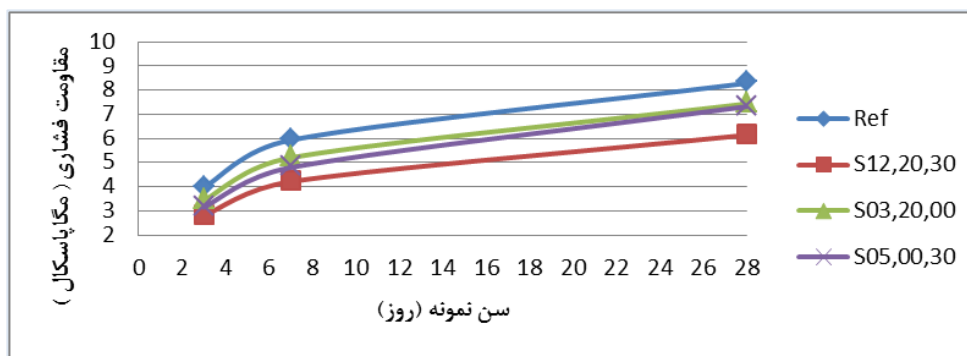
نمودار ۱۳- تغییرات مقاومت فشاری در طرح اختلاط S09,20,20 بر حسب سن نمونه



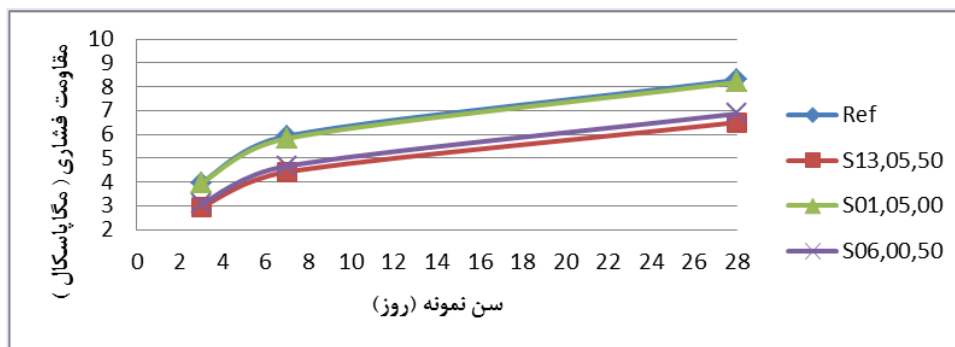
نمودار ۱۴- تغییرات مقاومت فشاری در طرح اختلاط $S10,05,30$ بر حسب سن نمونه



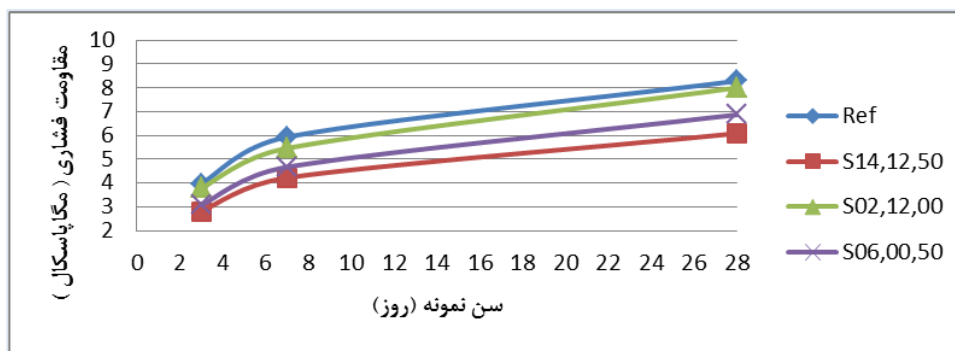
نمودار ۱۵- تغییرات مقاومت فشاری در طرح اختلاط $S11,12,30$ بر حسب سن نمونه



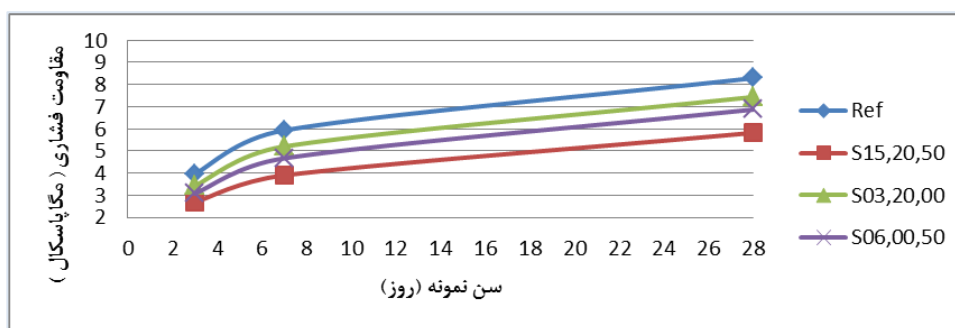
نمودار ۱۶- تغییرات مقاومت فشاری در طرح اختلاط $S12,20,30$ بر حسب سن نمونه



نمودار ۱۷- تغییرات مقاومت فشاری در طرح اختلاط $S13,05,50$ بر حسب سن نمونه



نمودار ۱۸- تغییرات مقاومت فشاری در طرح اختلاط S14,12,50 بر حسب سن نمونه



نمودار ۱۹- تغییرات مقاومت فشاری در طرح اختلاط S15,20,50 بر حسب سن نمونه

در بررسی اولیه نتایج به دست آمده به وضوح مشخص است که کاربرد ترکیب خرده شیشه بازیافتی و سنگدانه ریز بتن بازیافتی به عنوان جایگزین بخشی از ماسه، باعث افت بیش تر مقاومت فشاری نمونه های بتنی می شود. دلیل این کاهش مقاومت فشاری، تأثیر همزمان حضور این مصالح بازیافتی بر ساختار درونی بتن می باشد که با افزایش تخلخل و کاهش پیوستگی بین دانه ها، شرایط را برای تنزل مقاومت فشاری مهیا می کنند. تغییرات ثبت شده در مقاومت فشاری نمونه های ساخته شده با جایگزینی همزمان خرده شیشه بازیافتی و سنگدانه ریز بتن بازیافتی با ماسه، در جدول ۹ آمده است.

جدول ۹- مقایسه مقاومت فشاری طرح های مختلف ترکیبی نسبت به طرح اختلاط مرجع در سن ۲۸ روزه

ردیف	کد طرح اختلاط	متوسط مقاومت فشاری در سن ۲۸ روزه (MPa)	تغییرات مقاومت فشاری طرح های ترکیبی نسبت به طرح مرجع (%)
۱	Ref	۸/۳	۰
۲	S07,05,20	۷/۱	-۱۴/۴
۳	S10,05,30	۶/۷	-۱۹/۳
۴	S13,05,50	۶/۵	-۲۱/۷
۵	S08,12,20	۶/۹	-۱۶/۹
۶	S11,12,30	۶/۵	-۲۱/۷
۷	S14,12,50	۶/۱	-۲۶/۵
۸	S09,20,20	۶/۴	-۲۲/۹
۹	S12,20,30	۶/۱	-۲۶/۵
۱۰	S15,20,50	۵/۸	-۳۰/۱

علامت منفی در ستون سمت چپ به این معنی است که مقاومت های فشاری در تمام طرح های اختلاط ترکیبی نسبت به طرح اختلاط مرجع کاهش داشته اند.

۶-۳-۴- تعیین درصد بهینه مصالح جایگزین

برای انتخاب نمونه‌های منتخب جهت انجام آزمایش میزان عمق نفوذ آب و همچنین تعیین درصدهای جایگزینی بهینه برای مصالح بازیافتی، می‌بایست نتایج آزمایش‌های میزان روانی (اسلامپ)، وزن مخصوص و مقاومت فشاری برای تمام طرح‌های اختلاط مورد مقایسه قرار گیرند. از بررسی میزان روانی بتن می‌توان نتیجه گرفت که با جایگزینی هر کدام از مصالح بازیافتی در روانی بتن که مشخصه مهمی برای اجراء انواع بتن می‌باشد، چه تغییری حاصل می‌شود. همچنین با مقایسه مقاومت فشاری و وزن مخصوص طرح‌های اختلاط آثار این جایگزینی‌ها بر باربری، تخلخل و دوام بتن مشخص خواهد شد. در این تحقیق معیار انتخاب مقادیر جایگزینی بهینه کمترین تغییر در خصوصیات بتن مگر ساخته شده با مصالح بازیافتی در مقایسه با نمونه بتن مگر شاهد می‌باشد. به همین منظور در جداول ۱۰ الی ۱۲ مشخصات نمونه‌های بتنی که تغییرات به وجود آمده در آن‌ها به واسطه حضور مصالح بازیافتی حداقل بوده است، ارائه شده است.

جدول ۱۰- مقایسه نتایج آزمایش روانی بتن برای طرح‌های منتخب

ردیف	کد طرح اختلاط	متوسط روانی (mm)	تغییرات روانی طرح نسبت به طرح مرجع (%)
۱	Ref	۵۰	۰
۲	S01,05,00	۵۰	۰
۳	S04,00,20	۵۰	۰
۴	S07,05,20	۵۰	۰

جدول ۱۱- مقایسه نتایج وزن مخصوص بتن برای طرح‌های منتخب

ردیف	کد طرح اختلاط	متوسط وزن مخصوص (g/cm^3)	تغییرات وزن مخصوص طرح نسبت به طرح مرجع (%)
۱	Ref	۲/۱۸۵	۰
۲	S01,05,00	۲/۱۷۹	-۰/۳۰
۳	S04,00,20	۲/۱۵۵	-۱/۴۰
۴	S07,05,20	۲/۱۵۰	-۱/۶۰
علامت منفی در ستون سمت چپ به این معنی است که وزن مخصوص در تمام طرح‌های اختلاط منتخب نسبت به طرح اختلاط مرجع کاهش داشته است.			

جدول ۱۲- مقایسه نتایج آزمایش مقاومت فشاری در سن ۲۸ روزه برای طرح‌های منتخب

ردیف	کد طرح اختلاط	متوسط مقاومت فشاری ۲۸ روزه (MPa)	تغییرات مقاومت فشاری طرح نسبت به طرح مرجع (%)
۱	Ref	۸/۳	۰
۲	S01,05,00	۸/۲	-۱/۲
۳	S04,00,20	۷/۵	-۹/۶
۴	S07,05,20	۷/۱	-۱۴/۵
علامت منفی در ستون سمت چپ به این معنی است که مقاومت‌های فشاری در تمام طرح‌های اختلاط منتخب نسبت به طرح اختلاط مرجع کاهش داشته‌اند.			

در نمونه‌های با جایگزینی ۵٪ خرده شیشه بازیافتی و ۲۰٪ سنگدانه ریز بتن بازیافتی، تغییرات بسیار اندکی در خصوصیات بتن مگر به وجود خواهد آمد و همچنین با ترکیب همین مقادیر (۵٪ خرده شیشه بازیافتی و ۲۰٪

سنگدانه ریز بتن بازیافتی)، روانی بتن بدون تغییر خواهد ماند؛ میزان تغییرات در وزن مخصوص و مقاومت فشاری ۲۸ روزه به ترتیب کمتر از ۲٪ و ۱۴٪ می‌باشد. با در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی و محیط زیستی، جایگزینی بهینه ترکیب همزمان ۵٪ خرده شیشه بازیافتی و ۲۰٪ سنگدانه ریز بتن بازیافتی به جای ماسه می‌باشد. با جایگزینی این مقادیر با ماسه، ضمن کاهش مصرف ۲۵٪ مصالح طبیعی برای ساخت یک متر مکعب بتن مگر، خصوصیات بتن مگر ساخته شده به طور قابل قبولی ثابت خواهند ماند.

۴-۶- تحلیل نتایج آزمایش عمق نفوذ آب

تعیین نفوذپذیری نمونه‌های بتنی در این تحقیق بر اساس استاندارد EN-12390 مشخص شده است. هدف از انجام این آزمایش بر روی نمونه‌های بتنی مشخص کردن تخلخل نسبی نمونه‌ها و همچنین سنجش دوام بتن در حضور مصالح بازیافتی به کار رفته می‌باشد. نتایج به دست آمده از این آزمایش بر روی نمونه‌های منتخب در جدول ۱۱ ارائه شده است.

جدول ۱۳- نتایج آزمایش میزان عمق نفوذ آب در بتن (cm)

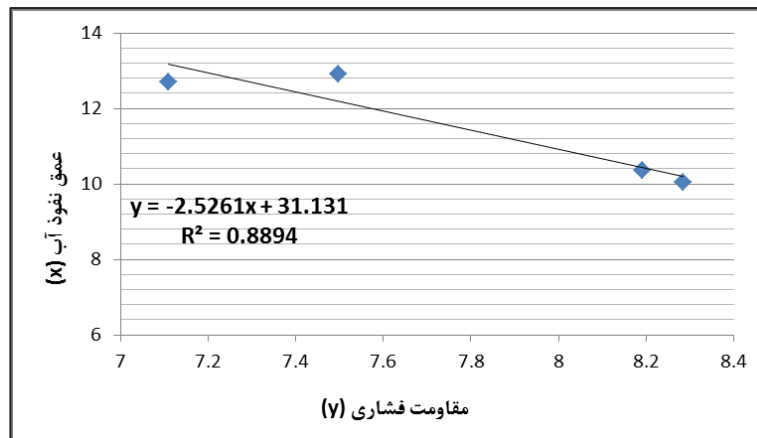
کد طرح اختلاط	عمق نفوذ آب (cm)		
	نمونه اول	نمونه دوم	میانگین
Ref	۹/۸	۱۰/۳	۱۰/۰۵
S01,05,00	۱۰/۶	۱۰/۱	۱۰/۳۵
S04,00,20	۱۳/۰	۱۲/۸	۱۲/۹۰
S07,05,20	۱۲/۵	۱۲/۹	۱۲/۷۰

با دقت در جدول ۱۲ تأثیر جایگزینی خرده شیشه و سنگدانه‌های ریز بتن بازیافتی با ماسه بر میزان عمق نفوذ آب در بتن مشخص خواهد شد، به نحوی که در همه نمونه‌های منتخب برای این آزمایش، میزان عمق نفوذ آب به طور محسوسی افزایش یافته است. تأثیر جایگزینی این مصالح بازیافتی بر میزان عمق نفوذ آب به نحوی است که با جایگزینی ۲۰٪ سنگدانه‌های ریز بتن بازیافتی با ماسه، میزان عمق نفوذ ۲۸٪ افزایش را نشان داده است. علت اصلی در افزایش عمق نفوذ آب در بتن را باید با تخلخل بتن مرتبط دانست. استفاده از خرده شیشه و سنگدانه‌های ریز بتن بازیافتی در بتن، به دلایلی که کاهش چسبندگی بین سنگدانه‌ها به واسطه حضور سیمان را به دنبال دارند، باعث افزایش تخلخل در ساختار درونی بتن می‌شوند.

۵-۶- تعیین رابطه بین عمق نفوذ آب و مقاومت فشاری بتن

همخوانی بین آزمایش‌های مقاومت فشاری و میزان عمق نفوذ آب در بتن در بررسی نتایج مشهود است، به نحوی که با افزایش میزان جایگزینی مصالح بازیافتی با ماسه، علاوه بر کاهش مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی، در عمق نفوذ آب در بتن نیز افزایش به وجود آمده است. ضریب همبستگی^۱ بین مقاومت فشاری در سن ۲۸ روزه و میزان عمق نفوذ آب در بتن برای نمونه‌های منتخب که در نمودار ۲۰ نشان داده شده است، برابر با ۰/۸۸۹۴ می‌باشد که همبستگی قوی میان این دو متغیر را نشان می‌دهد.

^۱ Correlation Coefficient (R^2)



نمودار ۲۰- تغییرات عمق نفوذ آب بر حسب مقاومت فشاری بتن در سن ۲۸ روزه

با توجه به رابطه معکوس این دو متغیر (عمق نفوذ آب در بتن و مقاومت فشاری)، استفاده از درصدهای جایگزینی بهینه مصالح بازیافتی در بتن جهت ساخت بتنی اقتصادی - کاربردی بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

۷. نتیجه گیری

نتایج کلیدی حاصل از تحقیق به شرح زیر می‌باشند:

۷-۱- اثر جایگزینی‌ها بر روانی بتن تازه

- جایگزینی خرده شیشه بازیافتی در بتن مگر با مقادیر کمتر از ۱۲٪ وزن ماسه، تأثیر چندانی بر میزان روانی بتن ندارد، در صورتی که با جایگزینی ۲۰٪، میزان روانی بتن تا ۱۰٪ افزایش یافت.
- میزان روانی بتن با استفاده از سنگدانه‌های ریز بتن بازیافتی به عنوان جایگزین بخشی از ماسه تا حداکثر ۲۰٪ تغییری نخواهد داشت، اما جایگزینی ماسه با درصدهای ۳۰ و ۵۰ باعث افت ۱۰٪ روانی بتن مگر گردید.
- استفاده همزمان از خرده شیشه و سنگدانه‌های ریز بتن بازیافتی به عنوان مصالح جایگزین ماسه در بتن مگر با شرایطی که میزان حضور سنگدانه‌های ریز بتن بازیافتی در بتن مگر کمتر از ۲۰٪ وزن کل ماسه باشد، تأثیری بر میزان روانی بتن نخواهد داشت. در همین حالت اگر حضور سنگدانه‌های ریز بتن بازیافتی از ۲۰٪ بیش‌تر شود، میزان روانی بتن به شدت کاهش خواهد یافت، به نحوی که با جایگزینی ماسه به صورت همزمان با ۲۰٪ خرده شیشه بازیافتی و ۵۰٪ سنگدانه‌های ریز بتن بازیافتی، میزان روانی بتن مگر تا ۲۰٪ کاهش می‌یابد.

۷-۲- اثر جایگزینی‌ها بر وزن مخصوص بتن تازه

- در تمام طرح‌های اختلاط با جایگزینی خرده شیشه و سنگدانه‌های ریز بتن بازیافتی با ماسه، وزن مخصوص بتن مگر کاهش یافت.
- وزن مخصوص بتن مگر ساخته شده با خرده شیشه بازیافتی تا حدود زیادی ثابت ماند، به طوری که با جایگزینی ۲۰٪ ماسه با این مصالح، وزن مخصوص بتن مگر حدود ۳٪ کاهش یافت.
- وزن مخصوص بتن مگر با استفاده از سنگدانه‌های ریز بتن بازیافتی به عنوان جایگزین بخشی از ماسه تا سقف ۲۰٪ تغییر چندانی نداشت؛ به نحوی که میزان این تغییرات با جایگزینی ۲۰٪ کل ماسه، حدود ۳٪ بوده است.
- میزان تغییرات در وزن مخصوص با جایگزینی مقادیر بیش‌تری از ماسه با سنگدانه‌های ریز بتن بازیافتی رشد زیادتری را نشان داد، به طوری که این میزان با جایگزینی ۵۰٪، حدود ۴/۵٪ می‌باشد.
- استفاده همزمان خرده شیشه و سنگدانه‌های ریز بتن بازیافتی به عنوان جایگزین بخشی از ماسه در بتن مگر، باعث تشدید افت وزن مخصوص گردید. حداکثر افت وزن مخصوص در طرح اختلاط با کد S15,20,50 به میزان ۵/۳٪ حاصل شد.

۷-۳- اثر جایگزینی‌ها بر مقاومت فشاری

- تأثیر جایگزینی خرده شیشه بازیافتی تا سقف ۱۲٪ وزن ماسه بر مقاومت فشاری بتن مگر بسیار کم بود، در صورتی که با جایگزینی ۲۰٪، مقاومت فشاری بتن در سن ۲۸ روزه حدود ۱۱٪ کاهش یافت.

- میزان افت مقاومت فشاری با استفاده از سنگدانه‌های ریز بتن بازیافتی به عنوان جایگزین بخشی از ماسه در بتن مگر کاملاً مشهود بود؛ میزان افت مقاومت فشاری در سن ۲۸ روزه برای جایگزینی‌های ۲۰٪، ۳۰٪ و ۵۰٪ ماسه به ترتیب برابر با ۱۰٪، ۱۲٪ و ۱۸٪ بوده است.

- استفاده همزمان از خرده شیشه و سنگدانه‌های ریز بتن بازیافتی به عنوان جایگزین بخشی از ماسه باعث افت بیش‌تر مقاومت فشاری بتن مگر گردید. تأثیر سنگدانه‌های ریز بتن بازیافتی در کاهش مقاومت فشاری در تمام نمونه‌های ساخته شده با استفاده همزمان این دو نوع مصالح بازیافتی مشهود بود. بیش‌ترین افت مقاومت فشاری در سن ۲۸ روزه در طرح اختلاط با کد S15,20,50 و به میزان ۳۰٪ اتفاق افتاد.

۷-۴- اثر جایگزینی‌ها بر میزان عمق نفوذ آب در بتن

- جایگزینی ماسه با هر یک از مصالح بازیافتی استفاده شده در تحقیق باعث افزایش عمق نفوذ آب در بتن مگر شد.

- جایگزینی خرده شیشه بازیافتی در بتن مگر تا سقف ۵٪ وزنی ماسه، عمق نفوذ آب در بتن را تا ۳٪ افزایش داد.

- تأثیر کاربرد سنگدانه‌های ریز بتن بازیافتی به عنوان جایگزین بخشی از ماسه بر عمق نفوذ آب در بتن مگر بسیار شدید بود، به گونه‌ای که افزایش ۲۸٪ عمق نفوذ در نتیجه جایگزینی ۲۰٪ از وزن ماسه با مصالح بازیافتی، ثبت شد.

تقدیر

آزمایش‌های مربوط به تحقیق در آزمایشگاه بتن دانشگاه آزاد اسلامی واحد رامهرمز انجام شدند، لذا نویسندگان مراتب تقدیر خود را در خصوص همکاری مدیریت معزز دانشگاه و همین‌طور کمک کارشناسان محترم آزمایشگاه اعلام می‌دارند.

مراجع

- [۱] شکرچی زاده، محمد، و میرزایی، زانیار، "آینده آموزش مهندسی بتن و سیمان با نگرش به محیط زیست"، کنفرانس آموزش مهندسی در ۱۴۰۴، ۱۳۸۸.
- [2] Dunlop, P. Smith, S.D. "Planning, Estimation and Productivity in the Lean Concrete Pour Engineering", *Construction and Architectural Management*, Vol. 11, ISS. 1., PP. 55-64, 2004.
- [۳] هاشمی، فرشید، بتن مگر یا بتن رگلاژ کف: تعریف و نکات کلیدی استفاده، سامانه ملی تدارکات الکترونیک صنعت ساختمان کشور، کمیته تدوین ضوابط و معیارهای فنی، ۱۳۹۲.
- [۴] فرخ زاد، رضا، کریمی نیا، میثم، پیروی، محمد، و امینیان، نیما، "بررسی خواص مکانیکی و دوامی بتن معمولی حاوی درصد‌های متفاوت محصول فرعی تولید شیشه (GBP) کد (G)"، پنجمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران، تهران، ۱۳۹۲.
- [۵] شابختی، ناصر، و کاظمی بندپی، شاهین، "بررسی خواص مکانیکی بتن خودتراکم (SCC) حاوی خرده‌شیشه و پودر شیشه"، نخستین کنفرانس بین‌المللی تکنولوژی بتن، ۱۳۸۸.
- [۶] حسن زاده، محسن، حسن زاده، فهیمه، طغیانی، حمیدرضا، و صادقی، محمد، "بررسی آزمایشگاهی برخی از خصوصیات مکانیکی بتن حاوی خرده شیشه‌های ضایعاتی"، دومین کنفرانس ملی بتن ایران، ۱۳۸۹.
- [7] Malhotra, V.M. Neville, A. "Symposium on concrete technology in the use of demolition waste in concrete", *BYWAIN Wright*, PJ26 (179-197), 1995.
- [۸] یآوری نسب، کاظم، زینلی زاده، میلاد، حیدری جامع بزرگی، مهران. "بررسی اثر درصد خرده‌شیشه بر مشخصات مکانیکی بتن، دومین همایش ملی مصالح ساختمان و فن‌آوری‌های نوین در صنعت ساختمان، ۱۳۹۳.
- [9] Omran, A. Tagnit Hamou, A. "Performance of Glass-Powder Concrete in Field Applications," *Construction and Building Materials*, Vol. 109 (84-95), 2016.

- [۱۰] نیلی، محمود، بیگلری جو، نادر، رزم آرا، مهرداد. "تأثیر سنگدانه‌های حاصل از بتن های بازیافتی، شیشه و پلاستیک‌های زائد در خواص بتن"، مهندسی عمران شریف، دوره ۲-۳، شماره ۱، ۱۳۹۴، ۱۱۱-۱۱۹.
- [11] Jani, Y. Hogland, W. "Waste Glass in the Production of Cement and Concrete-a Review," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, DOI: 10.1016/ 03.016, 2014.
- [12] EmamAli, E. Al-Tersawy, S. "Recycled Glass as a partial Replacement for Fine Aggregate in Self Compacting Concrete," *Construction and Building Materials*, 35: 758-791, 2012.
- [13] Saribiyik, M. Piskin, A. Saribiyik, A. "The effects of waste glass powder usage on polymer concrete properties," *Construction and Building Materials*, Vol. 47 (840-844), 2013.
- [۱۴] فرخ‌زاد، رضا، کریمی نیا، میثم، پیروی، محمد، و امینیان، نیما، "بررسی خواص مکانیکی و دوامی بتن معمولی حاوی درصد‌های متفاوت محصول فرعی تولید شیشه (GBP) کد (G)"، پنجمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران، تهران، ۱۳۹۲.
- [۱۵]. رنجبر، ملک محمد، نامنویس، مریم، موسوی، سیدیاسین، حسینی، سیمین السادات. "بررسی تأثیر افزودن پودر شیشه ضایعاتی بر خواص مکانیکی ملات خودتراکم حاوی پرکننده‌های مختلف"، پنجمین کنفرانس ملی بتن خودتراکم ایران، ۱۳۹۲.
- [۱۶] عباسی دزفولی، عبدالکریم، اولی‌پور، مسعود، برنا، مسعود، و پورزنگنه، بهرام، "مدیریت ساخت و توسعه استفاده از خرده شیشه‌های ضایعاتی در بتن از طریق تعیین مشخصات فیزیکی و مکانیکی آن"، اولین همایش بین-المللی بحران‌های زیست محیطی ایران و راهکارهای بهبود آن. ۱۳۹۱.
- [17] Lee, G. Poon, S.C. Wong, Y.L. Ling, T.C. "Effect of recycled fine glass aggregates on the properties of dry-mixed concrete blocks", *Construction and Building Materials*, Vol. 38, pp. 638-643, 2013.
- [18] De Castro, S. De Brito, J. "Evaluation of the durability of concrete made with crushed glass aggregate", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 41, 7-14, 2013.
- [۱۹] خالو، علیرضا، خداوردی زنجان، محمد مهدی، حسینی، پیام. "بررسی ساخت بتن خودتراکم با استفاده از درشت‌دانه‌های بازیافتی"، مجله تحقیقات بتن، سال سوم، شماره ۱، ۱۳۸۹.
- [۲۰] مقیمی، محمود، شفیق، پیام، برنجیان، جواد، و نعمتی، کامران، "بررسی تجربی تاثیر استفاده از میکرو سیلیس و فوق‌روان کننده بر بعضی خواص مکانیکی بتن بازیافتی ساخته شده از خرده بتن"، نشریه مهندسی عمران، سال بیست و یکم، شماره ۲، ۱۳۸۹.
- [21] Capra, B.; Bournazel, J. P., *Modeling of Induced Mechanical Effects of Alkali-Aggregate Reactions*, *Cem. Concr. Res.*, Vol. 28, No. 2, pp. 251-260, 1998.
- [22] Pigeon, M., Plante, P., Pleau, R., Banthia, N., *Influence of Soluble Alkalis on the Production and Stability of the Air-void System in Super-plasticized and Non-super-plasticized Concrete*, *ACI Mater. J.*, Vol. 89, No. 1, pp. 24-31, 1992.
- [23] Ferraris, C., Garboczi, E., Davis, F., Clifton, J., *Stress Due to Alkali-silica Reaction in Mortars*, *Proceedings of the 4th Materials Engineering Conference*, ASCE, Washington, DC, pp. 1379-1388, 1996.
- [24] Prezzi, M., Monteiro, P. J., Sposito, G., *The Alkali-Silica Reaction: Part I. Use of Double-layer Theory to Explain the Behavior of Reaction-product Gels*, *ACI Mater. J.*, Vol. 94, No. 1, pp. 10-17, 1997.
- [۲۵] معاونت امور فنی، دفتر امور فنی و تدوین معیارها، آیین نامه بتن ایران (آبا)، نشر: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، مرکز مدارک علمی و انتشارات، چاپ اول، ۱۳۷۹.

Feasibility of Production of Lean Concrete using Crushed Glass and Recycled Concrete Aggregates

Mohamad Kamali

M.Sc. student, Department of Civil Engineering, Ahvaz Branch, IAU, Ahvaz, Iran

Seysed Fathollah Sajedi*

Associate professor, Department of Civil Engineering, Ahvaz Branch, IAU, Ahvaz, Iran
sajedi@iauahvaz.ac.ir

Abstract

Nowadays, the use of waste products in concrete has attracted the attention of concrete industry activists. In addition to reducing environmental pollution and saving natural resources, waste materials such as crushed glass and recycled concrete aggregates (RCA) can also improve properties of concrete. Accordingly, in this research, the properties of the lean concrete of the crushed glass and fine recycled aggregates of concrete as a part of the sand are investigated. A total of 192 specimens were made of 16 different mix design; in which cement materials and the ratio of water-cement in all of them were constant. The determinants of their differences were the type and amount of materials replaced with the sand which used in the lean concrete reference mix design. The values of 5%, 12%, and 20% were used to replace natural sandstone glasses, as well as values of 20%, 30% and 50% for replacing fine recycled concrete aggregates with natural sand. The amount of slump and specific gravity of fresh concretes determined, and the compressive strength and depth of water penetration in the hardened concretes were also measured. The results of the experiments showed that, in almost all of the substitutions, the mechanical properties of the lean concrete slightly decreased. However, the replacement of crushed glass and fine RCA with values of less than 12% and 20%, respectively, in addition to having economic justification and positive environmental effects, can maintain the mechanical properties of the lean concrete to a great extent.

KEYWORDS: Feasibility Study, Lean Concrete, Crushed glass, Recycled Concrete Aggregates (RCA), Sand, Environment..

تاریخ:

پیوست:

فرم اشتراک مجله علمی - ترویجی انجمن علمی بتن ایران
مصالح و سازه های بتنی

خواننده گرامی !

در صورت تمایل به اشتراک سالانه مجله علمی - ترویجی مصالح و سازه های بتنی برگه زیر را با دقت تکمیل و هزینه اشتراک سالانه خود را، به مبلغ ۳۰۰۰۰ تومان، به شماره حساب ۳۲۸۰۶۰۲۹۹ بانک تجارت شعبه شهرآرا به نام انجمن علمی بتن ایران واریز فرمایید و اصل فیش واریزی را به همراه فرم تکمیل شده از طریق نمابر انجمن، نشانی پستی و یا پست الکترونیک به دبیرخانه انجمن علمی بتن ایران ارسال فرمایید. لطفاً"

۱ - فرم اشتراک را کامل و خوانا پر کنید و کد پستی ده رقمی خود را حتماً ذکر فرمایید.

۲ - کپی فیش بانکی را تا زمان دریافت نخستین شماره مجله نزد خود نگاه دارید.

۳ - در صورت تغییر نشانی، امور مشترکان را مطلع فرمایید.

۴ - با توجه به اینکه تنها عدم وصول مجلاتی که بصورت سفارشی ارسال می شوند قابل پیگیری است، توصیه می شود از خدمات پست سفارشی استفاده کنید.

○ اشتراک جدید

اشتراک حقوقی

نام سازمان یا شرکت: نام فرد متقاضی:

سمت:

اشتراک حقیقی

نام و نام خانوادگی: رشته و مقطع تحصیلی:

تاریخ تولد: محل تحصیل:

نشانی:

کد پستی: تلفن ثابت: تلفن همراه:

رایانامه:

نشانی دبیرخانه انجمن علمی بتن ایران: تهران، شهرآرا، خیابان آرش مهر، بلوار غربی، پلاک ۱۳، طبقه اول

کد پستی: ۱۴۴۵۸۴۳۴۶۴ تلفن: ۸۸۲۳۰۵۸۵-۸ فاکس: ۸۸۲۷۰۰۵۹ وبگاه: www.ici.irپست الکترونیک: iciir@yahoo.com

فرم درخواست عضویت پیوسته انجمن علمی بتن ایران



محل الصاق
عکس

شماره عضویت :
تاریخ عضویت:

در این بخش چیزی ننویسید

اطلاعات شخصی

نام:	First Name:		
نام خانوادگی:	Last Name:		
نام پدر:	شماره شناسنامه:	تاریخ تولد:	محل تولد:
نشانی:			
تلفن:	کد:	همراه:	Email:
فاکس:	کد:	صندوق پستی:	کد پستی:

سوابق تحصیلی

مدرک	محل تحصیل	رشته و گرایش تحصیلی	نام پروژه پایانی
کارشناسی			
کارشناسی ارشد			
دکترا			

سوابق شغلی

	محل خدمت	سمت	از تاریخ	تا تاریخ
۱				
۲				
۳				
۴				

کتاب و مقالات

	عنوان	موضوع	محل انتشار	تاریخ
۱				
۲				
۳				

عضویت در سایر انجمن ها

	نام انجمن	موضوع	نوع عضویت	تاریخ عضویت
۱				
۲				
۳				

معرف ها

	نام و نام خانوادگی	شماره عضویت	تاریخ عضویت	امضا
۱				
۲				

اینجانب صحت مندرجات این برگه را تأیید نموده و با آگاهی نسبت به اساسنامه انجمن علمی بتن ایران

امضا:

تاریخ :

درخواست عضویت در این انجمن را دارم.

– شرایط عضویت پیوسته

مؤسسان انجمن و کلیه افرادی که حداقل دارای درجه کارشناسی ارشد در رشته‌های عمران، معماری، معدن، شیمی، مکانیک، ژئوتکنیک، صنایع، محیط زیست و رشته‌های وابسته باشند، می‌توانند به عضویت پیوسته درآیند.

تبصره ۱: افراد دارای درجه کارشناسی در یکی از رشته‌های مذکور می‌توانند با تصویب هیئت مدیره به عضویت پیوسته انجمن درآیند.

– شرایط عضویت وابسته

افراد دارای درجه کارشناسی در یکی از رشته‌های مذکور به عضویت وابسته انجمن در می‌آیند. تبدیل وضعیت از عضویت وابسته به پیوسته منوط به بررسی سوابق در کمیته پذیرش و حداقل بعد از ۲ سال از شروع عضویت خواهد بود.

– مدارک مورد نیاز عضویت پیوسته و وابسته

– فرم عضویت تکمیل شده – ۲ قطعه عکس ۳*۴ – تصویر شناسنامه – تصویر کارت ملی – تصویر آخرین مدرک تحصیلی – سوابق مستند آموزشی، پژوهشی و حرفه‌ای
– حق عضویت اعضای پیوسته و وابسته : مبلغ ۲۰۰/۰۰۰ ریال بابت ورودیه – مبلغ ۳۰۰/۰۰۰ ریال بابت حق عضویت سالیانه

– شرایط عضویت دانشجویی

کلیه دانشجویانی که در رشته‌های عمران، معماری، معدن، شیمی، مکانیک، ژئوتکنیک، صنایع، محیط زیست و رشته‌های وابسته مشغول به تحصیل باشند، می‌توانند به عضویت دانشجویی درآیند.

– مدارک مورد نیاز عضویت دانشجویی

– فرم عضویت تکمیل شده – ۲ قطعه عکس ۳*۴ – تصویر شناسنامه – تصویر کارت ملی – تصویر کارت دانشجویی معتبر – سوابق مستند آموزشی، پژوهشی
– حق عضویت دانشجویی : مبلغ ۱۵۰/۰۰۰ ریال بابت حق عضویت دو ساله

– شرایط عضویت موسسات (حقوقی)

سازمانهایی که در زمینه علمی، پژوهشی، آموزشی و تحقیقاتی با صنعت بتن فعالیت می‌کنند و دارای واحد تحقیق و توسعه (R&D) می‌باشند. پس از بررسی توسط کمیته پذیرش می‌توانند به عضویت حقوقی درآیند.

تبصره ۱: آن دسته از موسساتی که به طور حقوقی و رسمی دارای واحد R&D نیستند لیکن دارای سوابق پژوهشی مرتبط کافی می‌باشند می‌توانند با ارایه مدارک پژوهشی انجام پذیرفته اعضا، درخواست عضویت حقوقی نمایند.

– مدارک مورد نیاز عضویت حقوقی

– فرم عضویت تکمیل شده توسط نماینده – ۲ قطعه عکس ۳*۴ – تصویر شناسنامه – تصویر کارت ملی – تصویر آخرین مدرک تحصیلی هیئت مدیره – سربرگ شرکت، کپی آخرین تغییرات در روزنامه رسمی، کپی رتبه بندی فعالیت، سوابق پژوهشی مرتبط
– حق عضویت اعضای حقوقی : مبلغ ۲/۰۰۰/۰۰۰ ریال بابت حق عضویت سالیانه

تذکرات مهم:

– این فرم باید توسط فرد متقاضی تکمیل گردد و مشخصات خواسته شده در فرم عضویت باید به صورت خوانا تکمیل شود
– حق عضویت، سالیانه می‌باشد و هر سال نیاز به تمدید دارد.

– این برگه را همراه مدارک مورد نیاز به آدرس دفتر انجمن علمی بتن ایران ارسال نمایید.

– شماره حساب ۳۲۸۰۶۰۲۹۹ بانک تجارت شعبه شهرآرا – شماره شبا ۳۲۸۰۶۰۲۹۹۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰ IR

– نشانی انجمن علمی ایران

تهران – شهرآرا – خیابان آرش مهر – بلوار غربی – پلاک ۱۳ – طبقه اول – کدپستی: ۱۴۴۵۸۴۳۴۶۴

تلفن : ۸ – ۸۸۲۳۰۵۸۵ – ۰۲۱ فاکس : ۸۸۲۷۰۰۵۹ – ۰۲۱ iciir@yahoo.com

درخواست عضویت در جلسه مورخ کمیته پذیرش انجمن علمی ایران مطرح و با

عضویت ایشان موافقت ☐ مخالفت ☐ بعمل آمد.

امضا کمیته پذیرش:

تاریخ: