

رویکردهای نوین بتن فروسیمانی، راهنمایی برای طرح و کاربرد

دکتر آرش گرگین کرجی^۱، دکتر حمیدرضا عباسیان جهرمی^۲، دکتر سهیل منجمی نژاد^۳

^۱ دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکز، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، تهران (نویسنده مسئول)

^۲ استادیار دانشکده عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی تهران

^۳ استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی

Ara.gorginkaraji.eng@iauctb.ac.ir

چکیده

پیشرفت در فناوری و نیاز روزافزون بشر به انواع سازه های گوناگون سبب شده، تا تحقیقات وسیعی بر روی خواص، رفتار مواد و مصالح تشکیل دهنده آنها، همچنین بهینه سازی استانداردهای طراحی صورت پذیرد. بتن فروسیمانی یا به اصطلاح فروسمنت فرم دیگری از بتن مسلح با تسلیحات فولادی شبکه ای یا مفتولهای با قطر کوچک که ملات بتن در آنها بتواند نفوذ کرده و جسمی توپر و سخت را پدید آورد. فروسمنت سازه ترکیبی جدار نازک بوده که در آن یک ماده پر کننده بنام بتن، با شبکه های فلزی در سراسر مقطع مسلح شده و به اجرای ساختار بهتری منجر میگردد. کاربردهای فروسمنت در سازه یا عناصر سازه ای و ترمیمی ساختمانها که برای آنها مهارت ویژه ای نیاز نیست بسیار زیاد است. استفاده از این ماده شاید ساده باشد، اما در طراحی مخلوط نکات ویژه ای را داشته که آنرا از بتن سنتی متمایز کرده است. هدف این پژوهش آشنایی با رویکردهای طراحی، ضوابط و کاربردهای این ماده ترکیبی و کاربردی است. پژوهش حاضر از نظر ماهیت کاربردی- توسعه ای، روش کار آمیخته یا ترکیبی استفاده شده است. همچنین علاوه بر رعایت اصول علمی پژوهشی، با هدف کاربردی برای آموزش دانشجویان ایفای نقش کند.

واژه های کلیدی: فروسمنت، طرح اختلاط، بتن، شبکه، ترکیبی.

۱. مقدمه

از موضوعاتی که محقق و پژوهشگران در رشته سازه و ساختمان، بطور مستمر بر این مسأله وا داشته که علاوه بر دستیابی به روشهای نوین و فناوریهای جدید، برای تحلیل و آنالیز سازه ها؛ درصدد دستیابی به مواد و مصالحی باشند که بتوان در ساخت سازه ها از آنان بهره گرفته و نیز سه شرط اساسی زیر را دارا باشند:

الف. اقتصادی بودن. دارا بودن مقاومت کافی (مطابق استانداردهای موجود) {پایداری و حفظ محیط زیست} ج. سبک بودن از نظر وزنی (کاهش جرم سازه).

گسترده‌گی موارد استفاده از فروسمنت؛ کارایی و عدم نیاز به تخصصهای ویژه و نیز فراوانی عناصر تشکیل دهنده که از نکات برجسته و مثبت فروسمنت است، علاوه بر سه شرط مذکور، باعث رجحان و برتری آن بر دیگر رقبای خود شده است. زیرساخت فکر دستیابی به فروسمنت را میتوان درک صحیح از مفهوم سطح مخصوص در بتن دانست. زیرا طبق تحقیقات پیشین، مقاومت بتن رابطه مستقیمی با سطح فولادی که بتن با آن در تماس و درگیر است، خواهد داشت. لذا هرچه این سطح مخصوص بیشتر باشد، مقاومت آن در برابر کشش، خمش ایجاد ترک و دوام بیشتر خواهد شد. از این رو اندیشه استفاده از تعداد بیشتر تسلیحات فولادی، قوت یافته و بدلیل محدود بودن حجم سازه، بکار گرفتن تسلیحات زمانی عملی میشود که فولادها قطر کوچکتری داشته باشند {الگوی برای طراحی جلیقه ضدگلوله}. از طرف دیگر وجود تسلیحات در دو جهت برای یکسان نمودن عملکرد سازه یا المان فروسمنتی در مقابل بارگذاری ضروری است. [۱] فناوری فروسیمان با هدف ایجاد یک فناوری کم هزینه و دوستدار محیط زیست در سراسر جهان به ویژه کشورهای درحال توسعه در حال پیشرفت روزافزون میباشد. فروسیمان یک نوع بتن مسلح با ضخامت کم است که در واقع ساختار آن از توری با قطر سوراخهای نسبتاً کوچک بوده که با ملات ماسه سیمان درزهای آن پر میشود. این نوع بتن کاربردهای بسیار زیادی از جمله ساخت قایق، مخازن آب، سیلوها، سقفها، ترمیم سازهها و بسیاری دیگر از کاربردها را دارا میباشد. سازه های فروسیمانی به دلیل سبک بودن میتواند جایگزین خوبی برای بسیاری از سازهها شود. این بتن به دلیل داشتن توری بعنوان مسلح کننده از ایمنی بالایی به هنگام وارد آمدن صدمات برخورداریده و همچنین به همین دلیل انعطاف پذیری بالایی نیز داشته و میتواند در تمامی شکلهای مورد نظر ساخته شود. [۲].

امروزه استفاده از بتن فروسیمان در اعضای ساختمانی و عمرانی پیش ساخته رو به افزایش بوده و همچنین با توجه به وجود پارامترهای مختلف تاثیرگذار در طراحی این نوع بتن، داشتن توجیه اقتصادی این مصالح امری اجتناب ناپذیر میباشد. برای این منظور یکی از مهمترین مشخصه های این نوع بتن طرح اختلاط آن میباشد. با توجه به اینکه پارامترهای گوناگونی در طراحی فروسیمان دخیل هستند و ملات آن نیز یکی از ارکان این نوع بتن میباشد، لذا بهینه سازی این نوع ملات میتواند تاثیرات مثبتی بر خواص و هزینه های آن داشته باشد [۳]. در این مطالعه ضمن بررسی خصوصیات فروسمنتها و کاربرد در ساخت و ترمیم سازه ها، به مباحث و نکات طراحی مخلوط بتن با استفاده از استاندارد جهانی می پردازد.

۲. مبانی نظری و ادبیات موضوع تحقیق:

بتن سیمانی، یا سنگ دج ساختگی است که از مخلوط کردن و بهم زدن جسم چسباننده (دوغاب سیمان) و سنگدانه (بعنوان استخوانبندی مخلوط) و انجام عمل آوری آندو و مراقبت ساخته میشود. بتن سیمانی باربر، جسم استخوانبندی شده که از سنگ دانه بندی شده با کمترین جای خالی {رعایت رواداری اندازه - منحنی گسترده دانه بندی} که دوغاب سیمان آنرا تبدیل به جسم سخت و سنگی مینماید در گروه بندی سنگدانه ها، قطر درشت ترین دانه سنگ بستگی به چگونگی استفاده بتن در زمان ساخت ملات سیمان دارد. سنگدانه ها تا ۸ میلیمتر در ساخت بتن مسلح در کارخانه قطعات پیش ساخته، به درستی تا ۲۵ میلیمتر، در ساخت بتن مسلح در کارگاه ساختمانی، به درستی ۳۱،۵ میلیمتر در ساخت بتن غیر مسلح و

حداکثر تا ۶۳ میلیمتر برای بتن پی و بتن زمخ درشت تر از ۶۳ میلیمتر نیز مصرف شود. بزرگی درشت ترین دانه سنگ در بتن نباید از ۲۰٪ باریکترین جای خالی بتن بیشتر باشد (فضای خالی یا فاصله آرماتورها). استخوانبندی سنگدانه بتن خوب، بایستی دارای دانه بندی درشت ترین دانه ها، کمترین فضای خالی و پیوستگی منحنی دانه بندی باشد. در ساخت بتن ممتاز ۳ یا ۴ گروه سنگدانه دانه بندی شده را با هم مخلوط (از ۰ تا ۳ میلیمتر، دو یا سه گروه درشت تر از آن) بطوریکه منحنی شکل دانه بندی پیوسته باشد

جدول ۲-۲: ضوابط الزامی دانه بندی سنگدانه های ریز مصرفی در بتن

دانه بندی	میزان دانه بندی (mm)	میزان دانه بندی (mm)
۱	۹۵۰	۱۰۰
۲	۲۷۵	۸۰-۱۰۰
۳	۲۳۵	۸۰-۱۰۰
۴	۱۹۰	۷۵-۱۰۰
۵	۱۶۰	۷۵-۱۰۰
۶	۱۴۰	۷۵-۱۰۰
۷	۱۲۵	۷۵-۱۰۰

ردیف	انبار اسمی آگه‌ها یا بعد چشمه مربع (mm)	اعداد داخل جدول درصد وزنی مصالح سنگی رد شده از الکها را نشان می‌دهند								
		۲/۳۶ mm	۴/۷۵ mm	۹/۵ mm	۱۲/۵ mm	۱۹ mm	۲۵ mm	۳۷/۵ mm	۵۰ mm	۶۳ mm
۱	۵۰ تا ۲۵	-	-	-	۱۰۰-۵	-	۱۰۰-۵	۲۵-۷۰	۹۰-۱۰۰	۱۰۰
۲	۵۰ تا ۴/۷۵	-	۱۰۰-۵	-	۱۰۰-۳۰	-	۲۵-۷۰	-	۹۵-۱۰۰	۱۰۰
۳	۳۷/۵ تا ۱۹	-	-	۱۰۰-۵	-	۱۰۰-۱۵	۲۰-۵۵	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	-
۴	۳۷/۵ تا ۴/۷۵	-	۱۰۰-۵	۱۰۰-۴۰	-	۲۵-۷۰	-	۹۵-۱۰۰	۱۰۰	-
۵	۲۵ تا ۱۲/۵	-	-	۱۰۰-۵	۱۰۰-۱۰	۲۰-۵۵	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	-	-
۶	۲۵ تا ۹/۵	-	۱۰۰-۵	۱۰۰-۱۵	۱۰۰-۴۰	۲۰-۵۵	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	-	-
۷	۲۵ تا ۴/۷۵	۱۰۰-۵	۱۰۰-۴۰	-	۲۵-۶۰	-	۹۵-۱۰۰	۱۰۰	-	-
۸	۱۹ تا ۹/۵	-	۱۰۰-۵	۱۰۰-۱۵	۲۰-۵۵	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	-	-	-
۹	۱۹ تا ۴/۷۵	۱۰۰-۵	۱۰۰-۳۰	۲۰-۵۵	-	۹۵-۱۰۰	۱۰۰	-	-	-
۱۰	۱۲/۵ تا ۴/۷۵	۱۰۰-۵	۱۰۰-۱۵	۲۰-۷۰	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	-	-	-	-

[۹]

ضوابط الزامی دانه بندی سنگدانه های درشت مصرفی در بتن

شکل ۱- ضوابط دانه بندی و محدودیت ابعاد

لازم به ذکر است بتن ممتاز را با سنگهایی از جنس سیلیس یا سیلیکاتی و سیمان ممتاز و با روان کننده جایگزین ۱۵ تا ۲۰٪ حجم آب مصرفی، ساخته میشود (کاهش حجم آب به سیمان). سیمان پرتلند ممتاز در زمان تهیه در کارخانه سیمان، مواد خام ریزتر آسیاب شده تا واکنش میان آهک و سیلیس در کوره پخت سیمان تندتر شود همچنین کلینکر تولیدی ریزتر آسیاب و تبدیل به سیمان گردد. [۴].

پیشرفت در فناوری و نیاز روزافزون بشر به انواع سازه های گوناگون سبب شده، تا تحقیقات وسیعی بر بروی خواص، رفتار مواد و مصالح تشکیل دهنده آنها، همچنین بهینه سازی استانداردهای طراحی صورت پذیرد. در اوایل دهه ۱۹۶۰، ساخت و ساز های فروسمنتی در استرالیا، نیوزیلند و انگلستان بطور گسترده پذیرفته شد. از آن زمان به بعد، هزاران کشتی و سازه فروسمنت در تعداد زیادی کشور ساخته شد که از فروسمنت برای بهسازی خانه های موجود استفاده میشود. خانه های فروسمنتی با استفاده از مواد محلی مانند چوب، بامبو یا چوب بوش به عنوان جایگزینی معادل فولاد در بنگلادش، اندونزی و پاپوا گینه نو ساخته شده اند. بتن فروسیمانی یا به اصطلاح فروسمنت فرم دیگری از بتن مسلح با تسلیحات فولادی شبکه ای یا مفتولهای با

قطر کوچک که ملات بتن در آنها بتواند نفوذ کرده و جسمی توپر و سخت را پدید آورد. کاربردهای فروسمنت در سازه یا عناصر سازه ای و ترمیمی ساختمانها که برای آنها مهارت ویژه ای نیاز نداشته بسیار زیاد است.[۱]

با پیشرفت روزافزون تکنولوژی و ایجاد نیازهای جدید بشری و همچنین اهمیت ویژه مسائل اقتصادی و معماری، استفاده از مصالح و فناوریهای نوین، اجتناب ناپذیر می نماید. در این راستا فناوری بتن فروسیمانی با خواص منحصر بفرد خود، بسیار جذاب و پرکاربرد می باشد. خواصی همچون مقاومت در برابر ترک خوردگی و همچنین مقاومت کششی بیشتر نسبت به جرم در مقایسه با بتن مسلح معمولی و نیز سازگاری با محیط زیست، مقاومت برابر آتش، عایق بودن در برابر آب و صرفه جویی در زمان و هزینه ساخت و ایضا توانایی ایجاد فرمهای هندسی پیچیده، این فناوری را ممتاز ساخته و باعث کاربرد فراوان آن در ساخت مخازن، ترمیم سازه ها، سازه های با فرم پیچیده معماری، پانلهای فروسیمانی و پوشش نما، واحدهای مسکونی، سقفهای پوسته ای، گنبد، سیلوها، استخرهای شنا و قایقهای ماهیگیری گردیده است [۵].

امروزه با پیشرفت روزافزون تکنولوژی و ایجاد نیازهای جدید بشری و همچنین اهمیت ویژه مسائل اقتصادی و معماری، استفاده از مصالح و فناوریهای نوین، اجتناب ناپذیر مینماید. در این راستا فناوری بتن فروسیمانی با خواص منحصر بفرد خود، بسیار جذاب و پرکاربرد است. خواصی همچون مقاومت در برابر ترک خوردگی و همچنین مقاومت کششی بیشتر نسبت به جرم در مقایسه با بتن مسلح معمولی و نیز سازگاری با محیط زیست، مقاومت برابر آتش، عایق بودن در برابر آب و صرفه جویی در زمان و هزینه ساخت و ایضا توانایی ایجاد فرمهای هندسی پیچیده، این فناوری را ممتاز ساخته و باعث کاربرد فراوان آن در ساخت مخازن، ترمیم سازه ها، سازه های با فرم پیچیده معماری، پانلهای فروسیمانی و پوشش نما، واحدهای مسکونی، سقفهای پوسته ای، گنبد، سیلوها، استخرهای شنا و قایقهای ماهیگیری گردیده است [۵].

اندازه و دانه بندی، دانه های سنگ بستگی به کیفیت بتن مورد نیاز و کاربرد بتن دارد. اصولاً دانه های زیر برای ساختن استخوانبندی بتن بکار می روند و معمولاً برای بالاتر بردن وزن مخصوص مخلوط حاصله، مخلوطی از دانه های زبر با ابعاد مختلف (دو نوع یا بیشتر) بکار برده میشوند. مهمترین خاصیت کاربردی دانه های ریز (نرم)، کمک به یکنواخت تر شدن مخلوط بتن و کارپذیری بیشتر آنست. دانه های نرم به معلق بودن دانه های زیر کمک میکنند. این خاصیت، باعث افزایش خاصیت شکل پذیری بتن و همچنین مانع جدا شدن ذرات درشت از خمیر سیمان (در زمان حمل بتن) میشود [۹].

تعاریف و مفاهیم تحقیق:

- ساز و کار (Mechanism):

الف- فرایند یا فنی برای رسیدن به یک نتیجه که گاهی اوقات به وسیله عمل یا تلاش حاصل میشود، ترکیب فرایندهای فکری که نتیجه ای از آنها بدست آید. ب- عملیات ذهنی و فکری که از اثر آن نتیجه ای به دست آید [۱۲].

- مبانی طراحی (Bases of design):

مبانی طراحی عبارت است از: حصول ایمنی، قابلیت بهره برداری، پایایی و عملکرد مطلوب [۱۲].

- معیارهای طراحی (Design criteria):

مجموعه ضوابط فنی هستند که قضاوت و تصمیم گیریهایی طراحی بر آنها استوار میگردد [۱۲].

- طراحی بهینه (Design, optimal):

طراحی سیستم مبتنی بر انتخاب یا تلفیق مناسب ترین متغیرها (گزینه ها) به منظور به حداکثر رسانیدن برخی توابع هدفهای مورد نظر (مثلاً سود خالص) بر اساس ضوابط طراحی [۱۲].

تعریف بتن:

بتن سیمانی، یا سنگ دج ساختگی است که از مخلوط کردن و بهم زدن جسم چسباننده (دوغاب سیمان) و سنگدانه (بعنوان استخوانبندی مخلوط) و انجام عمل آوری آندو و مراقبت ساخته میشود. بتن سیمانی باربر، جسم استخوانبندی شده که از

سنگ دانه بندی شده با کمترین جای خالی {رعایت رواداری اندازه - منحنی گسترده دانه بندی} که دوغاب سیمان آنرا تبدیل به جسم سخت و سنگی مینماید [۴].

مصارف مصالح سنگی:

سنگدانه ها مصالحی طبیعی یا مصنوعی هستند که در ساخت ملات، بتن سازه ای یا غیر سازه ای، بتن آسفالتی، زیرسازی و روسازی راهها همچنین راه آهن به مصرف میرسند. مصالح سنگی باید از نظر مشخصات فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی (ابعاد، اندازه، شکل، دانه بندی) آزمایش سنگ نگاری، میزان رطوبت سطحی و محتوایی، مشخصات ظاهری و رنگ (در مورد بتن نما) با مشخصات فنی پروژه مطابقت نمایند. معادن، دپوی مصالح سنگی قبل از مصرف مورد آزمایش قرار گرفته و با ذکر دقیق محل برداشت، به تصویب دستگاه نظارت برسد [۱۴].

جدول ۹-۱۰ ضوابط الزامی دانه بندی سنگدانه های ریز مصرفی در بتن

ردیف	اندازه الک (mm)	درصد وزنی رد شده از الک
۱	۹/۵۰	۱۰۰
۲	۴/۷۵	۸۹-۱۰۰
۳	۳/۳۵	۶۰-۱۰۰
۴	۱/۱۸	۳۰-۹۰
۵	۰/۷۵	۱۵-۵۴
۶	۰/۳	۵-۴۰
۷	۰/۱۵	۰-۱۵

جدول ۹-۱۱ ضوابط الزامی دانه بندی سنگدانه های درشت مصرفی در بتن

ردیف	اندازه اسمی الکها با بعد چشمه مربع (mm)	اعداد داخل جدول درصد وزنی مصالح سنگی رد شده از الکها را نشان می دهند							
		۲/۴۶	۴/۷۵	۹/۵	۱۶/۵	۲۵	۴۷/۵	۵۰	۶۳
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
۱	۵۰ تا ۷۵	-	-	-	۰-۵	۰-۱۵	۳۵-۷۰	۹۰-۱۰۰	۱۰۰
۲	۵۰ تا ۴۷/۵	-	-۵	-	۱۰-۳۰	۳۵-۷۰	-	۹۵-۱۰۰	۱۰۰
۳	۴۷/۵ تا ۳۵	-	-	-۵	-	۱۵-۳۵	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	-
۴	۴۷/۵ تا ۴/۷۵	-	-۵	۱۰-۳۰	-	۳۵-۷۰	-	۹۵-۱۰۰	۱۰۰
۵	۳۵ تا ۲۵	-	-	-۵	-۱۰	۲۰-۵۵	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	-
۶	۲۵ تا ۹/۵	-	-۵	-۱۵	۱۰-۴۰	۴۰-۸۵	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	-
۷	۲۵ تا ۴/۷۵	-	-۱۰	-	۲۵-۴۰	-	۹۵-۱۰۰	۱۰۰	-
۸	۱۹ تا ۹/۵	-	-۵	-۱۵	۴۰-۵۵	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	-	-
۹	۱۹ تا ۴/۷۵	-	-۱۰	۲۰-۵۵	-	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	-	-
۱۰	۱۹ تا ۴/۷۵	-	-۱۵	۴۰-۴۰	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	-	-	-

شکل ۲- ضوابط الزامی سنگدانه ها مطابق مبحث ۹ مقررات ملی

سیمان:

مطابق مقررات ملی ساختمان، مبحث نهم، طراحی سازه های بتن آرمه جدول شکل زیر ارائه شده است:

جدول ۹-۱: حداقل مقدار سیمان، نوع سیمان و نسبت آب به سیمان با توجه به دسته بندی

شرایط محیطی بتن مسلح در معرض یون های کلرید

شرایط	نوع سیمان انتخابی	حداقل مقدار مواد سیمانی kg/m^3	حداکثر نسبت آب به مواد سیمانی	حداقل رده بتن (مقاومت مشخصه)
متوسط - A	سیمان پرتلند نوع (۱) و (۲) و یا به همراه مواد جایگزین سیمان*	۳۰۰	۰/۵	C۳۰
شدید - B	سیمان پرتلند نوع (۱) و (۲) و یا به همراه مواد جایگزین سیمان	۳۲۵	۰/۴۵	C۳۰
شدید - C	سیمان پرتلند نوع (۱) و (۲) و یا به همراه مواد جایگزین سیمان	۳۵۰	۰/۴۵	C۳۵
خیلی شدید - D	سیمان پرتلند نوع (۲) به همراه مواد جایگزین سیمان	۳۵۰	۰/۴	C۳۵
فوق العاده شدید - E	سیمان پرتلند نوع (۲) به همراه مواد جایگزین سیمان	۳۷۵	۰/۴	C۴۰

* مواد جایگزین سیمان شامل دوده سیلیس، ریزه، خاکستر پازی و پرولانه های طبیعی یا مصنوعی هستند که باید مشخصات آنها و عملکرد آنها قبل از مصرف تأیید شده باشد.

* حداکثر مواد سیمانی به ۴۲۵ کیلوگرم در متر مکعب محدود می گردد. در صورت لزوم استفاده از مواد سیمانی به مقدار بیش از حداکثر مقدار مجاز باید اقداماتی لازم به منظور جلوگیری از ترک خوردگی ناشی از خشک شدن و کاهش حرارت ایجاد شده در قطعات حجیم، اعمال گردد و کیفیت کار توسط مهندس ناظر تأیید گردد.

شکل ۳- جدول حداقل، عیار و نسبت آب به سیمان مطابق م. ۹ مقررات ملی

تأثیر نوع سیمان و سن بتن بر مقاومت فشاری:

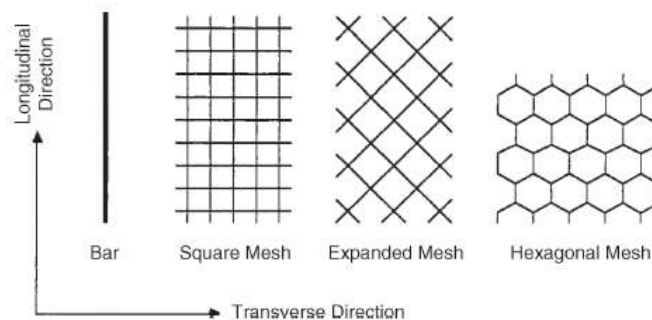
بر اساس مبحث نهم مقررات ملی، تأثیر نوع سیمان و سن بتن بر روی مقاومت فشاری نسبی بتن در جدول شکل زیر آمده است:

نوع سیمان	مقاومت فشاری (به صورت نسبی)			
	۱ روزه	۷ روزه	۲۸ روزه	۹۰ روزه
سیمان نوع I	۰/۳۰	۰/۶۶	۱/۰۰	۱/۲۰
سیمان نوع II	۰/۲۲	۰/۵۶	۰/۹۰	۱/۲۰
سیمان نوع III	۰/۵۷	۰/۷۹	۱/۱۰	۱/۲۰
سیمان نوع IV	۰/۱۷	۰/۴۳	۰/۷۵	۱/۲۰
سیمان نوع V	۰/۲۰	۰/۵۰	۰/۸۵	۱/۲۰

شکل ۴- جدول مقاومت فشاری نمونه بتنی متداول

تعریف فروسمنت:

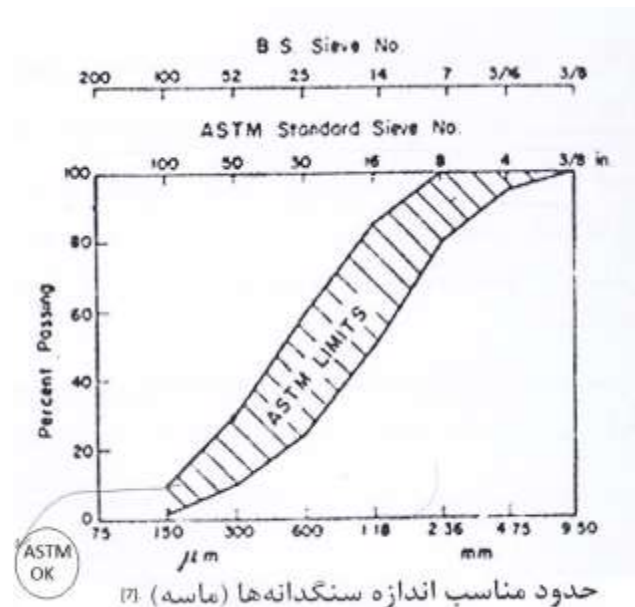
فروسمنت نوعی بتن مسلح می باشد که با نوع معمولی تفاوت دارد. بعبارت دیگر فروسمنت از ملات سیمانی و چندین لایه و میلگردهای با قطر نازک ساخته میشود (wire mesh) از شبکه های فلزی نسبتاً نازک فشرده شده و متصل به هم ملات سیمانی علاوه بر ایجاد پوششی برای شبکه های فلزی و پر کردن شکافهای ما بین شبکه ها، باعث استحکام قطعه نیز میشود. [۶]. فروسمنت سازه ترکیبی جدار نازک بوده که در آن یک ماده پر کننده بنام بتن، با شبکه های فلزی در سراسر مقطع مسلح شده و به اجرای ساختار بهتری منجر میگردد. باید متذکر شد، فروسمنت علاوه بر کاربردهای بالقوه بعنوان یک ماده مجزا طبقه بندی شده و رفتاری بسیار متفاوت تر از بتن آرمه را به نمایش میگذارد. [۱].



DESIGN GUIDE FOR FERROCEMENT (ACI 549.1R-18)

شکل ۵- شبکه ها و مفتولهای مورد استفاده در فروسمنت

مشخصات اصلی فروسمنت که آنرا از بتن آرمه سنتی متمایز میکند؛ اندازه، تعداد و توزیع تسلیحات فولادی (شبکه فلزی) است. بعلاوه در فروسمنت از ملاتی که حداکثر اندازه سنگدانه ها بین ۲ تا ۵ میلیمتر است، استفاده میشود. نسبت سطح فولاد در بتن به حجم کلی مخلوط را "ضریب پوشش" یا "سطح مخصوص" گویند. این ماده بجای بتن آرمه فروسمنت نامیده شده و نسبت ضریب پوشش یا سطح مخصوص بیشتر یا برابر ۰,۰۸ در هر میلیمتر باشد. [۱].



حدود مناسب اندازه سنگدانه ها (ماسه) [7]

شکل ۶- نمودار محدوده مناسب سنگدانه ها برای استفاده در فروسمنت (قسمت هاشور خورده)

کاربرد سنگدانه ها در بتن:

مصالح سنگی بتن با سنگدانه ها معمولاً ۷۰ تا ۸۰ درصد حجم بتن را تشکیل داده، بسیاری از ویژگیهای فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی بتن به سنگدانه های بتن ارتباط دارد. نقش سنگدانه از دیدگاه ویژگی و مشخصات فنی، طرح اختلاط و مسائل اقتصادی حائز اهمیت بوده که از منابع طبیعی بصورت رودخانه ای (گردگوشه) یا کسب مجوزهای قانونی جهت برداشت و استفاده و یا خرد شده (تیزگوشه) تولیدی کارخانجات سنگ شکن یا مخلوطی از هردو نوع طبیعی و مصنوعی باشند. مصالح سنگی به ۳ دسته سبک، معمولی و سنگین برحسب توده ویژه تقسیم میشوند. این سنگدانه ها با توجه به ماهیت جنس سنگها، روش شکسته شدن میتواند شکل ظاهری گردگوشه، تیزگوشه یا نامنظم داشته باشند [۱۴].

در گروه بندی سنگدانه ها، قطر درشت ترین دانه سنگ بستگی به چگونگی استفاده بتن در زمان ساخت ملات سیمان دارد. سنگدانه ها تا ۸ میلیمتر در ساخت بتن مسلح در کارخانه قطعات پیش ساخته، به درستی تا ۲۵ میلیمتر، در ساخت بتن مسلح در کارگاه ساختمانی، به درشتی ۳۱،۵ میلیمتر در ساخت بتن غیر مسلح و حداکثر تا ۶۳ میلیمتر برای بتن پی و بتن زمخت درشت تر از ۶۳ میلیمتر نیز مصرف شود. بزرگی درشت ترین دانه سنگ در بتن نباید از ۲۰٪ باریکترین جای خالی بتن بیشتر باشد (فضای خالی یا فاصله آرماتورها). استخوانبندی سنگدانه بتن خوب، بایستی دارای دانه بندی درشت ترین دانه ها، کمترین فضای خالی و پیوستگی منحنی دانه بندی باشد. در ساخت بتن ممتاز ۳ یا ۴ گروه سنگدانه دانه بندی شده را با هم مخلوط (از ۰ تا ۳ میلیمتر، دو یا سه گروه درشت تر از آن) بطوریکه منحنی شکل دانه بندی پیوسته باشد. لازم به ذکر است بتن ممتاز را با سنگهایی از جنس سیلیس یا سیلیکاتی و سیمان ممتاز و با روان کننده جایگزین ۱۵ تا ۲۰٪ حجم آب مصرفی، ساخته میشود (کاهش حجم آب به سیمان). سیمان پرتلند ممتاز در زمان تهیه در کارخانه سیمان، مواد خام ریزتر آسیاب شده تا واکنش میان آهک و سیلیس در کوره پخت سیمان تندتر شود همچنین کلینکر تولیدی ریزتر آسیاب و تبدیل به سیمان گردد. [۴].

نقش سنگدانه ها در عملیات ترمیمی بتن:

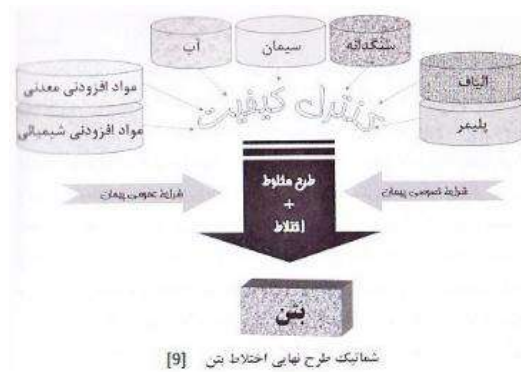
عملیات ترمیمی بتن که با استفاده از سنگدانه هایی با ابعاد، دانه بندی و خصوصیت مشابه با بتن سازه اصلی صورت میگیرد، هنوز بعنوان یک روش خوب شناخته میشود. با این حال برخی از مواقع لازم است که سنگدانه های بتن ترمیمی کمی کوچکتر از حداکثر اندازه سنگدانه های بتن سازه اصلی در نظر گرفته شوند. این امر بدلیل لزوم دستیابی به مخلوطهای بتنی با کارپذیری زیاد، بخصوص در هنگام بتن ریزی با لوله های ترمی یا پمپ بتن استفاده میشود. باید از سنگدانه های گردگوشه، با درصد شکستگی پایین که توزیع گسترده (از نظر منحنی دانه بندی) و مناسبی داشته، استفاده کرد [۱۳].

مواد افزودنی در بتنهای ترمیمی:

هرگاه عملیات ترمیمی مختص به بخش کوچکی از یک سازه دارای آرماتور بندی فشرده است (یا بصورت فروسیمانی اجرا شود) به کمک مواد افزودنی فوق روان کننده (نوع ممتاز) تا قابلیت روان شدن لازم برای بتن فراهم شود. همچنین به منظور حفظ پایداری مخلوطهای بتنی، احتیاج به اصلاحاتی در مشخصات اجزای بتن ممکن است نیاز باشد. در صورت احتمال وقوع تأخیر قابل توجه، بین زمان اختلاط و بتن ریزی، باید از مواد دیرگیر کننده {مطابق استانداردها و با دستور مهندسین مشاور دستگاه نظارت} استفاده شود تا گیرش بتن به تعویق افتد اما در صورت استفاده از آب سرد در ساخت بتن گاهی نیاز به دیرگیر کننده نیست. در عملیات ترمیمی بتن ریزی برای سازه های بتن مسلح بزرگ یا بتن غیر مسلح حجیم، به منظور رسیدن به مقاومت لازم، مقدار سنگدانه ها با ابعاد کوچکتر را کمی بیشتر در نظر میگیرند اما در عوض میزان مصرف سیمان را تقریباً ۲۵٪ افزایش میدهند. این تمهیدات ضمن افزایش چسبندگی و قابلیت جابجایی بتن از کاهش مقاومت آن در اثر آب شستگی و عدم ایجاد تراکم جلوگیری میکند. لازم به ذکر است پیش از اجرای عملیات ترمیمی سطوح آسیب دیده توسط برس سیمی، یا لوازم مکانیکی آنرا برداشت. برای رش آرماتورها با توجه به تعداد و قطر کم در فروسمنت بهتر است از وسایل مکانیکی نظیر قیچی استفاده شود [۱۳].

ماتریس مخلوط بتن:

بطور عمده مصالحی که بعنوان مخلوط در این ترکیب بتنی استفاده میشود؛ سیمان پرتلند، آب، شن و ماسه و افزودنیها معدنی یا مجاز:



شکل ۷- طرح اختلاط بطور شماتیک

با توجه به نیاز و نحوه کاربرد فروسمنت باید بعضی یا تمام موارد زیر را برآورده کند:

- ۱- درجه سختی؛ نفوذپذیری و مقاومت فشاری آن میبایست بالا باشد.
 - ۲- دارای درجه انقباض پایین بوده و در برابر خوردگی شیمیایی مقاوم باشد.
- عوامل موثر بر خواص ملات شامل:

- ۱- نسبت آب به سیمان
- ۲- نسبت ماسه به سیمان
- ۳- دانه بندی پیوسته، شکل، حداکثر ابعاد و کیفیت ماسه
- ۴- مواد افزودنی
- ۵- شرایط خودگیری بتن
- ۶- اختلاط، بتن ریزی، قابلیت ویبره کردن و لرزاندن.

جدول ۹- مقادیر تقریبی اختلاط بتن در رده های مقاومتی [9]

ردیف	طبقه یا نوع بتن	اختلاط تقریبی بتن	مقدار مصالح برای متر مکعب بتن			اسلاپ بتن cm	مقدار آب برای متر مکعب بتن (لیتر)
			سیمان Kg	ماسه Kg	شن Kg		
۱	۴۰۰	۱/۵-۲/۵	۴۵۰	۰/۴۷	۰/۷۸	۵-۱۰	۱۵۰-۱۷۰
۲	۳۵۰	۲-۳	۴۰۰	۰/۵۳	۰/۷۸	۵-۱۰	۱۴۰-۱۶۰
۳	۳۰۰	۲/۵-۳/۵	۳۵۰	۰/۵۳	۰/۸۳	۵-۱۰	۱۳۰-۱۵۰
۴	۲۵۰	۲-۵	۳۰۰	۰/۵۳	۰/۸۸	۲/۵-۵	۱۳۰-۱۴۵
۵	۲۰۰	۴-۷	۲۵۰	۰/۵۳	۰/۹۳	۲/۵-۵	۱۲۵-۱۴۵
۶	۱۵۰	۴-۶	۲۰۰	۰/۵۳	۰/۹۷	۲/۵-۵	۱۲۵-۱۴۰
۷	۱۰۰	۶/۵-۱۳	۱۵۰	۰/۵۳	۱/۰۵	۳/۵-۵	۱۲۰-۱۴۰

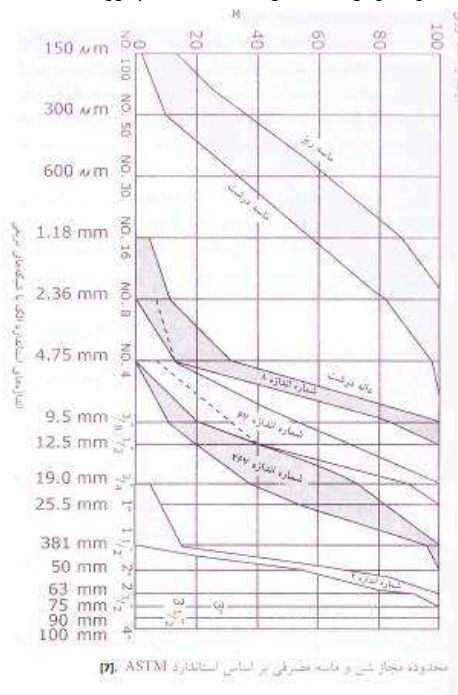
شکل ۸- جدول مقادیر تقریبی اختلاط بتن در رده های مختلف مقاومت

• مواد سازنده فروسمنت:

ملاحظات (بدون آرماچور)		
آب : ماسه - سیمان	1 : 1.5 : 0.4	
مقاومت نهایی	5500 psi	37.9 N/mm ²
مدول الاستیسیته	3.19 × 10 ⁶ psi	2.2 × 10 ⁴ N/mm ²
شبکه های فلزی		
اندازه شبکه	0.33 × 0.33 in	8.5 × 8.5 mm
قطر	0.034 in	0.92 mm
مقاومت نهایی کششی	52000 psi	358 N/mm ²
تنش کششی در کرنش	40000 psi	276 N/mm ²
مدول الاستیسیته	29 × 10 ⁶ psi	2 × 10 ⁵ N/mm ²
بازل مسلح (دیوار فروسمنتی) به ضخامت 22 mm		
تنش خمشی در اولین ترک	1617 psi	11.15 N/mm ²
تنش خمشی نهایی	3718 psi	25.65 N/mm ²
مدول الاستیسیته	3.63 × 10 ⁶ psi	2.5 × 10 ⁴ N/mm ²
پوشش کف به ضخامت 30 mm		
تنش خمشی در اولین ترک	1850 psi	12.76 N/mm ²
تنش خمشی نهایی	4050 psi	27.93 N/mm ²
مدول الاستیسیته	3.69 × 10 ⁶ psi	2.55 × 10 ⁴ N/mm ²

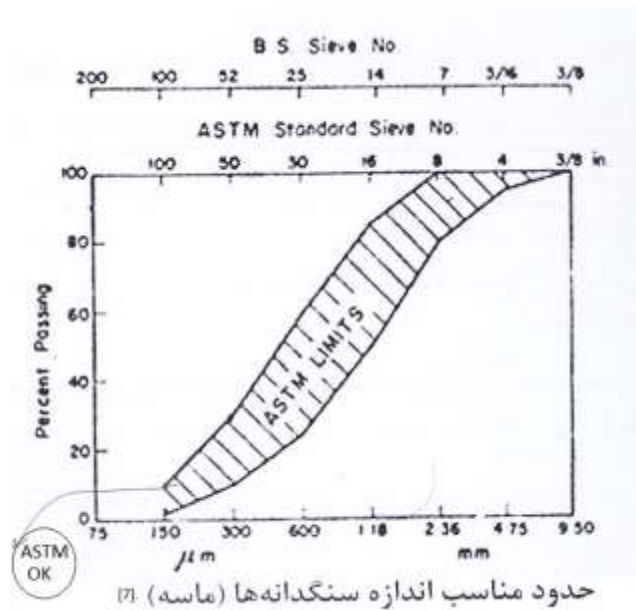
شکل ۹- عناصر تشکیل دهنده فروسمنت

مصالح سنگی فروسمنت عمدتاً ریز دانه بوده و از استاندارد (ASTM) پیروی میکند:



شکل ۱۰- نمودار دانه بندی استاندارد سنگدانه ها

ماتریس مخلوط بتن معمولاً بیش از ۹۵٪ حجم فروسمنت را تشکیل میدهد. استاندارد شن و ماسه مطابق (ASTM) در نظر گرفته میشود [۱].



شکل ۱۱- حدود مناسب ابعاد سنگدانه ها

طرح مخلوط بتن، روند تعیین نسبت اجزای بتن است به نحویکه بتن تا حد امکان مقرون به صرفه شود و الزامات مورد نیاز شامل خواص فیزیکی، مکانیکی و دوام برآورده شود. طرح مخلوط به مفهوم فرآیندی است که طی آن ترکیب مناسب اجزای بتن، طبق مشخصات فنی داده شده، تعیین گردد. ساز و کار طراحی مخلوط پیچیده و تخصصی است، زیرا با تغییر دادن یک متغیر ممکن است خواص بتن بصورت متضاد تحت تاثیر قرار بگیرد. بنابراین، طرح مخلوط بتن، هنر متعادل کردن این اثرهای متضاد است. البته در مخلوط ممکن است معیارهایی دیگری مانند کاهش جمع شدگی، خزش و ... در نظر گرفته شود. روشهای متفاوتی برای طرح اختلاط بتن در دنیا ارائه شده؛ روشهای طرح مخلوط بتن ملی ایران (برگرفته از استاندارد آلمانی)، روش طرح اختلاط انگلستان (BS) و روش استاندارد طرح اختلاط آمریکا (ACI) [۹].

جدول ۱- روشهای طرح اختلاط [۹].

شرایط تولید و کنترل	وضعیت کنترل کیفیت		
	الف	ب	ج
توزین یا پیمانه کردن سیمان	وزنی	وزنی	حجمی
توزین یا پیمانه کردن سنگدانه	وزنی	حجمی	حجمی
کنترل دانه بندی سنگدانه	کنترل شده	کنترل شده	بدون کنترل
کنترل رطوبت سنگدانه	کنترل شده	کنترل شده	بدون کنترل
نظارت بر تولید	در سطح عالی	در سطح خوب	در سطح ضعیف
امکانات آزمایشگاهی	موجود است	موجود است	در سطح محدود
تداوم در آزمایش	مداوم	گاهی اوقات	در سطح محدود
نیروی متخصص تولید بتن	وجود دارد	وجود دارد	در سطح محدود

پارامترهای موثر در طرح اختلاط:

- ✓ کارایی و روانی مناسب
- ✓ دوام (بستگی به؛ نوع سیمان - نوع سنگدانه - حداقل/حداکثر سیمان (عیار) - حداکثر نسبت آب به سیمان (W/C) - استفاده از مواد افزودنی).
- ✓ مقاومت (مقاومت مشخصه - انحراف معیار - کنترل کیفیت)
- ✓ سنگدانه ها (ایجاد ساختار بتن - کاهش فضای خالی)
- ✓ نسبت آب به مواد سیمانی (W/C).
- ✓ سیمان (نوع سیمان - ترکیب شیمیایی - ریزی/نرمی). [۹].

روشهای تعیین نسبتهای طرح اختلاط:

اهداف از بکارگیری نسبتهای صحیح مصالح مورد استفاده در بتن در تدوین طرح اختلاط بتن؛ رسیدن به مقاومت کافی - تأمین دوام کافی - رسیدن به اسلامپ مورد نظر، است [۹]. مصالحی که در ساخت بتن از آنها استفاده می‌شوند عبارتند از: مصالح سنگی سیمان آب مواد افزودنی.

مواد افزودنی به بتن در طرح اختلاط:

این مصالح باید تامین کننده ضوابط طراحی سازه و سازگار با شرایط محیطی آن باشند، در مصالح مصرفی بتن معمولاً درصدیهای بسیار کمی از مواد زیان آور مانند رسها دیده میشود، باید توجه داشت که درصد آن از مقادیر مجاز تجاوز ننماید، اگر به هر علتی مصالح مصرفی در بتن منطبق با ضوابط طراحی تشخیص داده نشد باید به دقت اثرات آن بر طراحی بررسی شود و تدابیر لازم اتخاذ گردد.

فوق روان کننده ها در مقایسه با روان کننده ها دارای اثر قویتری هستند. این مواد ضمن حفظ انسجام بتن و بدون کاهش مقاومت آن باعث افزایش کارایی بتن یا ملات میشوند. علاوه بر این، این مواد قادرند آب مورد نیاز بتن را به میزان ۲۵ تا ۳۵ درصد کاهش داده لذا باعث افزایش بسیار زیاد مقاومت میشوند. توسعه آینده تولید بتن، وابسته به افزودنیها مخصوصاً فوق روان کننده ها است. از مهمترین این افزودنیها مواد روان کننده و فوق روان کننده هستند. عملکرد اصلی مواد افزودنی روان کننده، افزایش کارایی بتن یا ملات و یا به نوعی دیگر، کاهش آب لازم برای اختلاط بتن و یا ملات و لذا افزایش مقاومت بتن است. همچنین استفاده از این مواد باعث صرفه جویی مصرف سیمان در بتن و باعث سادگی عمل تراکم بتن میگردد و مانع آب انداختن بتن میشود. افزودنیهایی که در بتن استفاده می‌شوند به دو دسته کلی شیمیایی و معدنی تقسیم میشوند: مواد افزودنی شیمیایی نظیر حباب سازها، اشاره کرد و میتواند برخی از مزیت این حبابهای محبوس بعد از سخت شدن بتن اشاره نمود:

- افزایش کارایی بتن و امکان بتن ریزی در حجم بالای آرماتور.
 - ممانعت از جداسدگی دانه‌ها که به آب انداختن بتن منتهی میشود.
 - موادی که آب مصرفی در طرح اختلاط را کاهش میدهد:
 - با کاهش دادن نسبت آب به سیمان مقاومت بالاتری را به بتن می‌دهد.
 - افزایش کارایی بتن بدون نیاز به افزایش نسبت آب به سیمان.
- افزودنیهای معدنی: مواد افزودنی معدنی را به منظور افزایش کیفیت مطلوب بتن، کاهش نارسایی و یا تغییر بعضی از مشخصه های بتن به آن اضافه می نمایند.

جدول ۲- ییشینه تاریخی تحقیقات

[illegible]

پژوهش حاضر باتوجه به بیان مسأله؛ در حیطه یک تحقیق علمی می باشد که از حیث هدف، کاربردی و به نوعی توسعه‌ای است [۱۸]. که با توجه به روش فراترکیب (روش کیو) راست آزمایی شده که بعنوان پژوهش آمیخته [۲۰] به منظور الگوبرداری بین رشته ای می باشد. روش آمیخته بحث شده (کمی- کیفی)، که کاربرد وسیعی در حوزه علوم انسانی (پژوهشهای کیفی) دارد بنام روش فراترکیب معروف است و شاید بتوان اظهار نمود در حیطه پژوهشگری حوزه فنی و مهندسی، این مقاله جزو نخستین آثار است که سعی در معرفی و توسعه کاربردهای آن به منظور کمک به پژوهشگران بکار گرفته شده است. نظرات خبرگان؛ مدیران و سرپرستان پروژه با روش فراترکیب و کیو تدوین شده و ارائه میشود.

فروم‌های اطلاعاتی و پیگیری‌های مکرر جهت دریافت پاسخ آنها اطلاعات دریافت شده مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار

گرفت. برای تحلیل داده های کیفی بدست آمده از تحقیقات کتابخانه ای سه فعالیت کلی انجام شده است که عبارتند از: تلخیص داده ها، عرضه داده ها و نتیجه گیری. تلخیص داده های کیفی به صورت انتخاب از میان داده ها، خلاصه کردن عبارت ها یا اختیار عبارات مترادف، منظور داشتن آنها در دسته بندی های وسیع تر و امثال آنها می باشد که در جلسات گروهی تیم پژوهش صورت گرفته است (مصاحبه با خبرگان و ارائه پرسشنامه به روش دلفی). [۲۱] و [۲۲]. در این پژوهش از روش فراترکیب برای مقایسه، تفسیر، ترجمه و ترکیب چارچوب های مختلف استفاده میشود. روش شناسی فراترکیب به ترجمه مطالعات کیفی به یکدیگر و به فهم عمیق پژوهشگر برمیگردد. ترجمه ها تنها به تفسیرهای فردی اشاره نمیکند بلکه اختلاف بین مطالعات مختلف را معلوم میکند و پژوهشگران را قادر می سازد تا همزمان درک کنند که چطور مطالعات مختلف به یکدیگر مرتبط هستند روش شناسی فراترکیب و روش کیو [۲۳] در آن از نوع پژوهشهای آمیخته (کمی - کیفی) است. روش شناسی فراترکیب و روش کیو، روشهایی ترکیبی شامل بکارگیری همزمان روشهای کمی و کیفی هستند؛ بنابراین، نتایج بررسی و تحلیل اطلاعات بدست آمده در این پژوهش دربر گیرنده استخراج عوامل اصلی مورد اشاره در مطالعات پیشین و همراستایی این بررسیها به علاوه انجام مصاحبه کیو برای استخراج دیدگاهها و تفکرات صاحب نظران است. این پژوهش منطبق با رویکرد ۷ مرحله ای نوبلت و هیر [۲۳] است که شامل فازهای ۱. شروع؛ ۲. تصمیم بر مواردی که مرتبط با مطالعه ۳. خواندن مطالعات؛ ۴. تعیین ارتباط مطالعات با یکدیگر؛ ۵. ترجمه مطالعات به یکدیگر؛ ۶. ترکیب است؛ ترجمه ها و ۷. بیان کردن و شرح تلفیق و ترکیب است [۲۲]

- مدلهای تطبیقی و مقایسه ای:

اندیشیدن بدون مقایسه غیر قابل تصور است. بدون مقایسه، کل تفکر و پژوهش علمی نیز غیر قابل تصور است. مطابق نظر محققان علوم اجتماعی، همه موارد تجربی را بنحوی متضمن مقایسه قرار دادند. مطالعات تطبیقی به شناخت شباهت و تفاوتها واحدهای کلان اجتماعی علاقمند است. هر قدر تعداد مطالعات کاهش یابد امکان آزمون و استدلال هم کم میشود علت پیش آمدن پیچیدگی علی است. محققان به کمک تحلیل مقایسه کیفی یا بطور خلاصه روش تطبیقی پیچیدگی ترکیبات مختلف شرایط بوجود آورنده آنها را مطالعه کنند [۲۲].

۴- بررسی و ارزیابی تطبیقی الگوی بهینه سازی طرح اختلاط و قابلیت پیش بینی مقاومت فشاری بتن:

انجام پروژه های وسیع تحقیقاتی بر روی مواد مختلف تشکیل دهنده بتن و آزمایش بتنهای مختلف با مواد جدید در سالهای آخر قرن اخیر منجر به پیدایش بتنهایی شده که علاوه بر تأمین مقاومت، خواص دیگری از این ماده نظیر دوام، کارایی، نرمی و مقاومت در برابر عوامل مختلف را دستخوش تغییرات اساسی نموده است. باید اذعان نمود که نتایج تحقیقات سالهای آخر قرن حاضر و ادامه آنها میتواند نگرش تازه ای به بتن بعنوان یک ماده ساختمانی پرمصرف داده که با مقاومت فشاری خوب و خواص ویژه بتنهای جدید، نظر اکثر دست اندرکاران پروژه های بزرگ عمرانی را در جهان بخود معطوف سازد. تعیین مقاومت فشاری بتن اغلب از طریق آزمایشهای مخرب صورت میگیرد که زمان بر و پرهزینه است. مدلهای پیش بینی مقاومت فشاری بتن بدلیل صرفه جویی در زمان و هزینه همواره مورد توجه محققین بوده اند. بویژه آنکه در دهه های اخیر رشد دانش بشر در زمینه هوش مصنوعی منجر به گسترش مدلهای پیش بینی مبتنی بر هوش مصنوعی شده است. اما دستیابی به مدلی قابل اعتماد، چالش پیش روی پژوهشگران بوده و توجه آنان را به مقایسه دقت مدلهای مختلف معطوف کرده است. بتن بعنوان پر مصرف ترین و مهمترین مصالح ساختمانی قرن بیستم معرفی شده است که مواد تشکیل دهنده آن به وفور یافت میشود بهینه سازی مصالح ساختمانی از جمله بتن یکی از پایه های توسعه پایدار میباشد و اصول ابتدایی آن بر صرفه جویی در استخراج منابع طبیعی، صرفه جویی در مصرف انرژی، حفظ محیط زیست و بکارگیری ضایعات صنعتی و مواد مضر برای محیط زیست و... استوار است. پژوهشهای بسیاری در زمینه بتن با هدف رسیدن به مقاومت فشاری بالاتر، دوام و پایداری بیشتر و کاهش آلایندهای در ساخت بتن انجام گرفته است. علاوه بر تستهای آزمایشگاهی متعدد، روشهای رایانه ای بسیاری را نیز به خدمت گرفتند. محققین در سراسر دنیا با روشهای

هوش مصنوعی و الگوریتمهای برنامه ریزی به ارائه مدلهایی جهت پیش بینی پارامترهای مختلف مصالح ساخت پرداخته تا توجه ویژه ای به این مبحث محاسبات شود. تعیین مقاومت فشاری بتن اغلب از طریق آزمایشهای مخرب صورت میگیرد که زمان بر و پرهزینه است. مدلهای پیش بینی مقاومت فشاری بتن بدلیل صرفه جویی در زمان و هزینه همواره مورد توجه محققین بوده اند. بویژه آنکه در دهه های اخیر رشد دانش بشر در زمینه هوش مصنوعی منجر به گسترش مدلهای پیش بینی مبتنی بر هوش مصنوعی شده است. اما دستیابی به مدلی قابل اعتماد، چالش پیش روی پژوهشگران بوده و توجه آنان را به مقایسه دقت مدلهای مختلف معطوف کرده است [۱۶]. در ادامه بحث به دو نمونه از تحقیقات خارجی صورت گرفته بعنوان مقایسه تطبیقی با مباحث فروسمنتی اشاره میکنیم:

*** یک روش آماری برای بهینه سازی طرح مخلوط بتن:

بهینه سازی طرح مخلوط بتن فرایندی برای تعیین مخلوطی است که مجموع هزینه های مواد تشکیل دهنده کمترین میزان و در عین حال عملکرد مورد نیاز بتن مانند مقاومت کار و دوام را بیشینه برآورده شود. مواد اولیه بتن را میتوان به دو گروه طبقه بندی کرد: خمیر سیمان و سنگدانه. اگرچه کیفیت خمیر سیمان عمدتاً با نسبت آب به سیمان تعیین میشود، اما مقدار خمیر سیمان مورد نیاز برای دستیابی هدفمند به کیفیت مناسب بتن بستگی به ویژگیهای سنگدانه ها دارد. این خصوصیات عمدتاً شامل مساحت سطح و حفره ها در سنگدانه ها است. در حالیکه سطح مخصوص توسط شکل و حداکثر ابعاد سنگدانه ها تعیین میشود، فضای خالی عمدتاً توسط توزیع گسترده اندازه ذرات سنگدانه ها تحت تأثیر قرار میگیرد. با استفاده از دانه بندی مناسب مصالح، همچنین با افزایش نسبت سنگدانه/سیمان میتوان مقدار خمیر را کاهش داد. با تنظیم سطوح مخصوص یا ضریب پوشش فاکتورهای اصلی مخلوط مانند نسبت آب به مواد سیمانی، نسبت حجم درشت دانه به نسبت کل سنگدانه، و میزان یا عیار سیمان یا نسبت ماسه به سیمان میتوان به طرح اختلاط بتن را بهینه کرد. برای بهینه سازی طراحی مخلوط بتن با استفاده از روش کامل تجربی یا روشهای کاملاً تحلیلی و یا روشنیمه تحلیلی یا روشهای آماری را مورد ارزیابی قرار داد. روشهای کاملاً آزمایشی شامل مجموعه گسترده ای از آزمایشات است که گاه به صورت آسعی - خطا انجام میشود و نتایج بهینه سازی اغلب فقط برای طیف محدودی از مواد محلی اعمال میشود. روشهای تحلیلی به جستجوی مخلوط بهینه بتن مبتنی بر دانش دقیق درباره وزنها و اجزای مخلوط و فرمولهای اساسی خاص، کمک می کند تا تجربه قبلی بدون انجام کارهای تجربی گران و پرهزینه حاصل شود. روش (نیمه تحلیلی) بر اساس ترکیب پایگاه داده های تجربی و یا مدل های پیش بینی تجربی توسعه یافته و ابزارهای مختلف تحلیلی مانند شبکه عصبی مصنوعی، الگوریتم ژنتیک، و برنامه ریزی ریاضی و روشهای آماری تلفیق یا ترکیب میشود (۲۰۱۴).

در مقاله "جی نامیونگ و همکاران، ۲۰۱۸" معادله رگرسیون برای پیش بینی مقاومت فشاری بتن درجا ارائه شده است. برای این هدف، از مطالعه داده های نسبتهای طرح مخلوط بتن آماده و نتایج تست فشاری در کارگاه ساختمانی استفاده شده است. در این مطالعه از ۱۴۴۲ نتایج تست مقاومت فشاری بدست آمده از مورد ۵۹ نمونه های متفاوت استفاده شده است. انواع مخلوطها با مقاومت فشاری مشخص شده $18 \sim 27 \text{ MPa}$ ، نسبت آب به سیمان $0.39 \sim 0.62$ حداکثر اندازه سنگدانه ها ۲۵ میلیمتر و اسلامی در حدود $15 \sim 12 \text{ cm}$ است. عوامل اصلی مؤثر بر مقاومت فشاری بتن با استفاده از تحلیل همبستگی انتخاب شده و سپس تحلیل رگرسیون خطی چندگانه برای پیش بینی مقاومت فشاری با توجه به نسبت آب به سیمان عیار سیمان و نسبت سیمان به ماسه انجام شد. از این مطالعه نتیجه گیری زیر استنباط میشود:

انحراف استاندارد از فشاری مقاومت بتن درجا با توجه به $ACI 214$ تقریباً "عالی" است با اینحال، مقاومت فشاری نمونه های عمل آوری شده در آب آزمایشگاه (۲۹٪ ~ ۱۴) بیش از مقاومت فشاری مشخصه نمونه های کارگاه ساختمانی است. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل همبستگی عوامل تأثیرگذار نسبت آب به سیمان، سیمان به سنگدانه است. نسبت آب به سیمان (w/c) از همه در قابل اعتماد برای پیش بینی مقاومت و دوام تأثیرگذارتر است. معادلات پیش بینی مقاومت فشاری بودند برای بتن درجا با نسبت آب به سیمان ($0.39 \sim 0.62$) تهیه شده است و مقاومت فشاری مشخص

شده از (۲۷~۱۸ MPa) در مدت عمر ۷ و ۲۸ روزه، با فرمول آبرامز با توجه به عیار سیمان و نسبت سیمان به ماسه اصلاح شده اند. خطای پیش بینی استاندارد از معادله پیش بینی (۱،۱ MPa) است. برای پیش بینی مقاومت فشاری در ۷ روز و ۲۸ روزه معادله زیر بدست می آید.

$$f_p = \exp[2.393 - 1.217(w/c) - 0.0048c + 6.16\{c/(s+g)\}]$$

To predict the compressive strength at 28 days the following equation is obtained.

$$f_p = \exp[2.98 - 1.588(w/c) - 0.00642c + 7.6888\{c/(s+g)\}]$$

where, f_p : prediction compressive strength, MPa
 w/c : water-cement ratio
 c : cement contents, kg/m³
 w : water contents, kg/m³
 $c/(s+g)$: cement-aggregate ratio

شکل ۱۲- فرمول آبرامز برای مقاومت ۷ و ۲۸ روزه نمونه بتنی

بحث و بررسی پیش بینی مقاومت فروسمنت بدون انجام آزمایش نمونه:

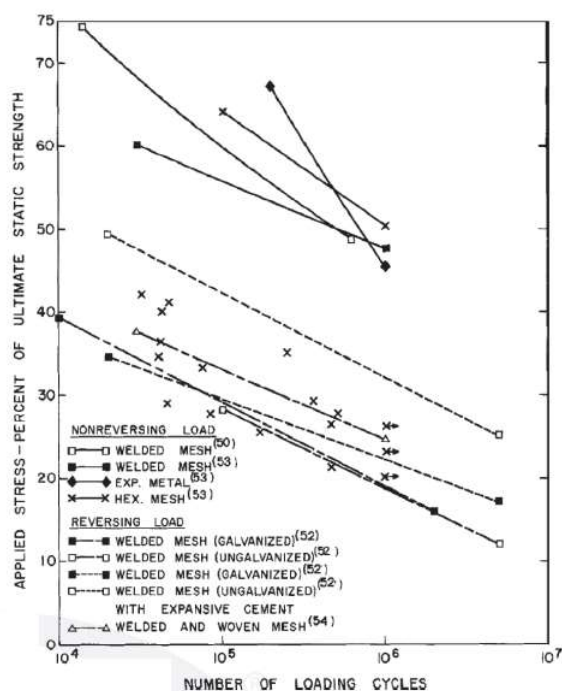
با توجه به مطالعات صورت گرفته، بحث و تبادل نظر نویسندگان با صاحبزنان صنعت ساختمان، بویژه طرح و ساخت بتن، نقاط مبهم و مغایری پیش آمد. مثلاً چگونگی پیش بینی مقاومت فشاری بتن با استفاده از طرح اختلاط بتن؛ به تحقیقات جالبی در مورد بتن سنتی رسیدیم که منطقی و موجه بود اما در بحث پیش بینی مقاومت فروسمنت بر اساس مدل طرح اختلاط بدون نمونه گیری به نتیجه معقول و قابل اطمینانی دست نیافتیم. حتی در آیین نامه بتن امریکا تأکید بر ساخت نمونه و آزمایش آن شده بود. لذا در جلسه ای که خدمت استاد گرانقدر جناب آقای دکتر رامشت رسیدیم نکات بسیار ارزشمندی فرمودند که بطور خلاصه ذکر میشود:



شکل ۱۳- معرفی استاد برجسته و صاحب نظر عالیقدر

با توجه به ریز دانه بودن سنگدانه ها و محدودیت ابعاد آنها جهت اتصال کامل با خمیر سیمان و شبکه های فلزی، ایجاد محیط یکپارچه، سنگدانه در فرو سمنت برخلاف بتن معمولی یا سنتی خاصیت استخوانبندی و استحکام را نداشته بلکه مجموعه عناصر ساختاری فروسمنت در کسب مقاومت، دوام و پایایی جسم ترکیبی حاصل تأثیر گذار هستند. لذا پیش بینی مقاومت بدون ساخت نمونه قابل قبول نیست و خطاها بیش از مقدار مجاز خواهد بود، یعنی قابلیت اعتماد به نتیجه

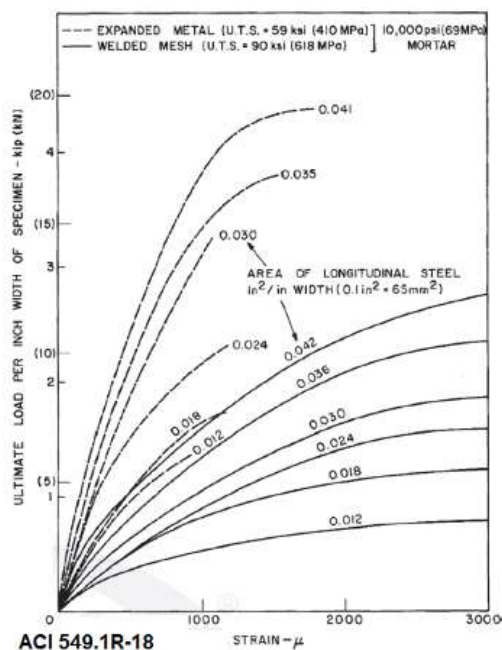
آزمایش مخدوش است. همچنین تنها مرجع طراحی و کنترل در طرح - ساخت فروسمنت (ACI 549.1R-18, 2018) است. نمودار روابط انعطاف پذیری فروسمنت مطابق شکل زیر است:



(ACI 549.1R-18) relationships for ferrocement in flexure

شکل ۱۴ - نمودار روابط انعطاف پذیری فروسمنت

همچنین در این استاندارد، روابط تغییر شکل بار-تنش مستقیم برای فروسمنت با انواع روشهای مختلف تقویت بصورت نمودار شکل زیر نشان داده شده است:



ACI 549.1R-18

شکل ۱۵ - روابط تغییر شکل بار-تنش مستقیم برای فروسمنت با انواع روشهای مختلف تقویت

۵- نتیجه گیری

بتن در مقیاس بزرگ یعنی ماده ای که بشر امروز در تمامی زیر ساختهای مهم و حیاتی خود بکار برده است، فروسمنت یک ماده نوآورانه است و در دسترس بودن مواد و سهولت ساخت و ساز، آن را در کشورهای در حال توسعه برای مسکن، و ساختارهای ذخیره آب و مواد غذایی مناسب می کند. فروسمنت به عنوان ماده مناسب برای ترمیم یا تعمیر عناصر سازه ای و تقویت عملکرد آن است. از آنجاییکه عملکرد فروسمنت تا حد زیادی به ویژگیهای مش تقویت کننده، عیار سیمان، نسبت آب به سیمان، نسبت سیمان به سنگدانه، در نهایت گسترده دانه بندی و رعایت محدودیت حداکثر ابعاد بستگی دارد، نیاز به تعیین و مشخص کردن دامنه بهینه از خواص برای مش، مانند فاصله سیم، قطر سیم و ویژگیهای سیستم مش وجود دارد. روشهای استاندارد ساخت فروسمنت و تأثیر شکل که به واسطه آن شکلهای جدید تولید می شود باید مورد بررسی قرار گرفته و مزایای آن بدست آید. با توجه به ویژگیهای منحصر به فرد، پتانسیل بسیار خوبی برای کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته دارد. همچنین در پایان باید اشاره کرد که تعیین مقاومت فشاری نهایی بتن در مراحل ابتدایی تهیه بتن مشکل است و اغلب دقیق ترین روش آزمایشهای مخرب هستند که زمان و هزینه تولید را بالا می برند. بعلاوه بدلیل رقابت شدید در بازار بتن، کارگاههای تولید بتن و قطعات پیش ساخته بتنی مایل نیستند که وقت و هزینه خود را با آزمایشهای مخرب و بدست آوردن طرح اختلاط مناسب از طریق آزمایشهای متعدد هدر دهند. پیش بینی مقاومت فشاری در ملاتهای میتواند تأثیرات مثبتی بر خواص و هزینه های آن داشته باشد اما با توجه به ریز دانه بودن سنگدانه پیش بینی دقیق به هیچ عنوان ممکن نیست. مثلاً مقدار محاسباتی بدست آمده از راه حل گرافهای مندرج در آیین نامه (ACI) ۹,۳ درصد بزرگتر از مقدار حاصل از آنالیز دقیق است یعنی ۹,۳٪ خطا. از آنجا که ACI قرن دوم پیشرفت دانش بتن را آغاز می کند، هدف اصلی منشور آن "تأمین یک راه دوستانه/منصفانه/معقول در یافتن بهترین راههای انجام همه نوع کارهای خاص و گسترش دانش است". در راستای دستیابی به این هدف، ACI از فعالیتهای عمده بخصوص کمیته های فنی که گزارشهای جامع، راهنماها، مشخصات و کدها را تهیه میکنند، پشتیبانی می کند.

۶- تقدیر و تشکر:

از زحمات ارزشمند استاد گرانقدر، دانشمند فرزانه؛ جناب آقای دکتر محمدحسن رامشت، تشکر و قدردانی میشود. همچنین؛ به پاس نکو داشت اسطوره اخلاق، علم و انسانیت؛ چهل سال تلاش دلسوزانه پدر مدیریت پروژه و ساخت ایران؛ استاد فقید، مینویی روان، جناب آقای دکتر سید مجتبی حسینیعلیپور ادای احترام نموده و یادشان را تا همیشه زنده نگه میداریم.

مراجع:

- [۱]. دکتر رامشت، محمدحسن، ۱۳۹۳، سازه های فروسیمانی و کاربردهای آن، انتشارات پیام کوثر، فروردین ۹۳، تهران.
- [۲]. اسکندری، حمید و امیرحسین مددی، ۱۳۹۳، مدلسازی و بررسی بهینه سازی طرح اختلاط بتن فروسیمان، همایش ملی معماری، عمران و توسعه نوین شهری، تبریز.
- [۳]. عظیمی پور، محمد و حمید اسکندری، ۱۳۹۳، طراحی و پیش بینی مقاومت فشاری ملات فروسیمان، ششمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران، تهران.
- [۴]. حامی، احمد، ۱۳۹۰، راهنمای بتن ساز، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دهم، تهران.
- [۵]. حاتمی برق، فرزاد؛ امیرسجاد مصطفوی و فرشاد حاتمی برق، ۱۳۹۳، بتن فروسیمانی و کاربرد آن در سازه ها، پانزدهمین کنفرانس دانشجویان عمران سراسر کشور، ارومیه.
- [۶]. طالبی لاسکی، عباس، ۱۳۹۷، فروسمنت و کاربردهای آن، نشریه فن و هنر، سازمان نظام مهندسی ساختمان گیلان، شماره ۵۲، رشت.
- [۷]. دکتر رامشت، محمدحسن، ۱۳۸۶، فناوری بتن، انتشارات نیک پی، چاپ ۱، تهران.

- [۸]. مبحث اول مقررات ملی ساختمان ایران، ۱۳۹۲، تعاریف، دفتر مقررات ملی ساختمان، نشر توسعه ایران، ویرایش اول ۹۲، تهران.
- [۹]. دکتر روانشادنی، مهدی، قنبری، میلاد، ۱۳۹۴، مدیریت تولید و اجرای بتن، انتشارات سیمای دانش، تهران.
- [۱۰]. احمد، اس.اچ، شاه، اس.پی، ۱۳۸۳، بتنهای توانمند و کاربردهای آنها، مترجمان؛ پروفیسور علی اکبر رضانیانپور - دکتر موسی مظلوم، انتشارات دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، چاپ دوم، زمستان ۸۳، تهران
- [۱۱]. مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران، ۱۳۹۲، طرح و اجرای ساختمانهای بتن آرمه، دفتر مقررات ملی ساختمان، نشر توسعه ایران، ویرایش اول ۹۲، تهران
- [۱۲]. نشریه ۲۹۷، ۱۳۸۳، فرهنگ واژگان نظام فنی و اجرایی کشور، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، تهران.
- [۱۳]. دکتر رهایی، علیرضا، نعمتی، سعید، ۱۳۸۰، ارزیابی مقاومت و روشهای ایمن سازی سازه های بتنی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، تهران.
- [۱۴]. دکتر روانشادنی، مهدی، ۱۳۹۲، تأسیسات تولید مصالح سنگی در کارگاههای عمرانی و معدنی (سنگ شکن، انتشارات نوآور، تهران.
- [۱۵]. مونتهئرو، پائولو، مهتانش، پوویندار، ۱۳۹۲، ریزساختار، خواص و اجزای بتن (تکنولوژی بتن پیشرفته)، مترجمان؛ پروفیسور علی اکبر رضانیانپور، دکتر پرویز قدوسی، دکتر اسماعیل گنجیان، نشر دانشگاه امیرکبیر چاپ ۵، تهران.
- [۱۶]. دکتر رامشت، محمد حسن، گرگین کرجی، آرش، ۱۳۹۶، پیش بینی مقاومت فشاری بتنهای حاوی خاکستر پسته برنج با شبکه های عصبی مصنوعی، پنجمین کنفرانس ملی پژوهشهای کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران
- [۱۷]. ریکسون، راجر، میلوگنام، نوئل، ۱۳۹۲، مواد افزودنی شیمیایی بتن، مترجمان؛ علیرضا صالحین، رضا عسگری اصل، انتشارات دانشگاهی فرهنگ، تهران
- [۱۸]. نوبخت، محمدباقر، ۱۳۹۶، روش تحقیق پیشرفته برای دانشجویان کارشناسی ارشد و دکتری، انتشارات جهاد دانشگاهی، تهران.
- [۱۹]. صفا یخش، رضا، ۱۳۹۲، پژوهش در مهندسی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران
- [۲۰]. خلیلی شورینی، سیاوش، ۱۳۹۲، روشهای تحقیق آمیخته، انتشارات یادواره کتاب، چاپ سوم، تهران.
- [۲۱]. میرزایی، خلیل، ۱۳۹۷، مقاله نویسی؛ از بحثهای نظری تا رویه های عملی، انتشارات اندیشه احسان، تهران.
- [۲۲]. ریگین، چارلز، ۱۳۹۷، روشهای تطبیقی فراسوی راهبردهای کمی و کیفی، مترجم؛ محمد فاضلی، انتشارات آگه، تهران.
- [۲۳]. Noblit G.W., Hare R.D. ۱۹۹۸. Meta-Ethnography: Synthesizing qualitative studies. Newbury Park, CA: USA.
- [۲۴]. ACI ۵۴۹, 1R-18, 2018, Design Guide for Ferrocement, American Concrete Institute, USA.
- [۲۵]. Namyong.Jee, Sangchun.Yoon & Cho Hongbum, 2018, Prediction of Compressive Strength of In-Situ Concrete Based on Mixture Proportions, Journal of Asian Architecture and Building Engineering, ISSN: 1346-7081 (Print) 1347-2802 (Online) Journal homepage: <https://www.tandfonline.com/loi/tabe20>
- [۲۶]. Ahmad. Shamsad * and Saeid A. Alghamdi, 2014, A Statistical Approach to Optimizing Concrete Mixture Design, ScientificWorldJournal. 2014; doi: 10.1155/2014/561039. <http://www.artasaze.com>