ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

شماره مجوز مجله:۸۰۴۰۰ زمان چاپ:۱۴۰۲/۰۷/۲۰

روشی نوین در طراحی بتن پرمقاومت با استفاده از افزودنی بتن و سنگدانه سیلیسی

محمد احسان اکبریان فرد[۱]، حسین برزگر سلوکلائی[۲]

۱- مدیر کنترل کیفیت کارخانه سقف بهمن، (m.akbarian65@yahoo.com)

۲- کارشناس ارشد مهندسی عمران مدیر فنی صنایع شیمیایی رامکا، (salookola@gmail.com)

چکیده:

به کار بردن سازه بتن آرمه گسترش بسیار زیادی یافته است. دانشمندان بسیاری نیز سعی بر افزایش کیفیت و مقاومت بتن با استفاده از مواد مختلف و طرح اختلاط بهینه دارند. در این پژوهش نیز با استفاده از مواد افزودنی مختلف و مواد سیلیسی یک طرح اختلاط بهینه برای ساخت بتن پرمقاومت پیشنهاد گردیده است. استفاده از سیتریک اسید و شن سیلیسی در افزایش مقاومت بتن بسیار موثر بوده است. در این تحقیق مقدار نسبت آب به سیمان متغیر بوده و سعی بر کاهش این پارامتر و جبران روانی بتن با استفاده از فوق روان کننده نیز بوده است. در نهایت نیز مقادیر مقاومت فشاری ۳ روزه بتن در تمامی طرح‌های اختلاط ۱۴ گانه ارایه گردیده است.

کلمات کلیدی:

افزودنی بتن، سنگدانه سیلیسی، بتن پرمقاومت، روان کننده بتن، سیتریک اسید،

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

۱-مقدمه:

در منابع بین المللی بر اساس مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی مقاومت بیش از ۴۰ مگاپاسکال را بتن پرمقاومت و کمتر از این مقدار را بتن معمولی نامگذاری نموده‌اند. رفتار شناسی و تصاویر sem و tem بتن پرمقاومت نمایانگر ساختار ویژه و متفاوت بتن پرمقاومت در ابعاد میکروسکوپی می‌باشد.

بهینه سازی ساختمان و کاهش هزینه ساخت و استفاده از حداکثر فضای داخلی سبب شده تا دانشمندان و مهندسان تکنولوژی بتن حجم سازه بتنی را کم و همزمان مقاومت آن را افزایش دهند. به همین علت نتایج تحقیقات، ساخت سازه‌های ویژه و بلند مرتبه را بسیار آسان نمود. در کشورهای امریکا و ژاپن ساخت بتن پرمقاومت بسیار رایج شده و اکثر ساختمان‌های بیش از ۳۰ طبقه با این نوع بتن ساخته می‌شود. البته باز هم برای بهینه سازی اقتصادی یک سوم طبقات بالایی را با بتن معمولی طراحی می‌نمایند. به همین دلیل نیز امروزه سازه بتن آرمه در بلند مرتبه سازی جایگزین سازه فولادی شده است.

در طراحی بتن هواره سعی بر افزایش مقاومت ناحیه مشترک بین خمیر سیمان و سنگدانه بوده است. استفاده از طرح اختلاط مناسب و مصالح استاندارد به همراه کاهش تخلخل بتن مقاومت نمونه بتنی را بسیار افزایش خواهد داد. در این تحقیق نیز با کاهش نسبت آب به سیمان در طرح اختلاط سعی بر افزایش مقاومت بتن بوده که برای مقابله با گرانروی بتن از افزودنی‌های نوین بتنی استفاده گردیده است. تا قبل از اختراع افزودنی‌های روان کننده بتن عملا ساخت بتن با مقاومت بالا و تراکم آرماتور بالا غیر ممکن بوده چون روانی بتن در حدی نبوده که عمل قالب گیری به درستی انجام شود.

۲-مروری بر منابع:

در این قسمت خلاصه برخی از منابع بررسی شده و برای آگاهی از روش کار و طراحی اختلاط بتن، هم چنین بهره گیری از پیشنهادات محققان گذشته و کاهش خطا و اتلاف زمان و هزینه ارایه می‌گردد.

قاسم وتر و همکاران در سال ۱۳۹۸ در مورد افزایش مقاومت و شکل پذیری بتن به روش آزمایشگاهی تحقیقی را ارائه کردند. از اهداف اصلی این پژوهش کاهش ابعاد المان به همراه افزایش مقاومت نمونه بوده است. استفاده از الیاف FRP در این تحقیق راهگشای کار بوده و با استفاده از پوشش یک لایه و دولایه نمونه بتنی محصور گردیده که مقاومت نمونه یک لایه ۱/۲ برابر و نمونه دو لایه ۱/۴ برابر نمونه شاهد بوده است. یکی ار برجستگی‌های بارز این تحقیق استفاده از سنگدانه موجود در بازار بوده که توان اسمی بتن ساخته شده با مصالح موجود در کشور ایران بررسی شود. [۱]

فلاح حسینی و همکاران در سال ۱۳۹۸ تاثیرات الیاف پلی الفین و مقدار مصرف و اندازه آن را بر مقاومت بتن مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق از الیاف ۱۵ و ۳۰ و ۵۰ میلی‌متری استفاده شده که افزایش طول و مقدار مصرف الیاف در بتن سبب افزایش مقاومت نهایی بتن خواهد شد. مدت زمان مقاومت در برابر آزمایش خمشی نمونه دارای الیاف ساده بیشتر از بتن بدون الیاف و الیاف ساده نیز بیشتر از الیاف مشبک بوده است. البته در مورد انرژی شکست بتن با الیاف مشبک بسیار بهتر از بتن با الیاف ساده عمل کرده بودند. [۲]

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

کاوندی و همکاران در سال ۱۳۹۴ با استفاده از الیاف به بررسی مقاومت بالای بتن پرداختند. در این تحقیق از یک الی سه درصد الیاف به بتن اضافه شده و که طول الیاف نیز بین یک تا پنج سانتی‌متر می‌باشد. بتن حاوی الیاف در برابر ضربه و خستگی و مقاومت فشاری بسیار بالاتر حدود ۴۰ مگاپاسکال داشته و حتی بعد از شکست نیز به دلیل وجود الیاف کماکان قدرت باربری داشته است. در این تحقیق الیاف ۳ سانتی متری و مقدار مصرف ۱/۵ درصد وزنی سیمان به عنوان مقدار بهینه معرفی گردید. [۳]

ترابی و همکاران در سال ۱۳۹۸ به بررسی عملکرد بتن خود متراکم و پرمقاومت پرداختند. افزودنی نانو سیلیس و الیاف پلیمری و فوق روان کننده بتن در این تحقیق در طراحی بتن در نظر گرفته شده است. بیشترین مقاومت خمشی در این مطالعه مربوط به الیاف ۶ میلی‌متری و ۴ درصد وزنی بوده است. ولی در کشش الیاف ۱۲ میلی‌متری بهترین عملکرد را داشته‌اند. بهترین مقدار مصرف نانوسیلیس نیز در این تحقیق ۴ درصد وزن سیمان تعیین گردیده است. [۴]

بهفروز و همکاران در سال ۱۴۰۰ سعی بر جایگزینی قسمتی از سیمان مصرفی در بتن پرمقاومت را توسط برنامه نویسی و آزمایشگاه داشته‌اند. در بتن حاوی پودر کاشی به دلیل شروع فعالیت پوزولانی در سنین بالا مقاومت فشاری افزایش قابل توجهی داشته و مقدار ۲۰٪ جایگزینی پودر کاشی توسط برنامه کامپیوتری پیشنهاد گردیده است. [۵]

مهدی زاده و همکاران در سال ۱۳۹۹ عملکرد لرزه‌ای بتن پرمقاومت را تحت تحلیل دینامیکی غیر خطی بررسی کردند. در این تحقیق رفتار سازه بتنی ساخته شده با بتن‌های مرسوم مورد مطالعه قرار گرفت، که تعیین شد تنش کششی سازه با مقاومت بیشتر کاهش یافته و تنش فشاری آن زیاد می‌شود. سختی سازه زیاد شده و جذب انرژی بیشتر شده و تغییر شکل بتن با مقاومت بالا نیز بیشتر می‌شود. [۶]

ژانگ و همکاران در سال ۲۰۲۳ تاثیر نانو لوله کربنی را بر بتن پرمقاومت بررسی نمودند. در این تحقیق معلوم شد که ضربه دینامیکی و کرنش بتن حاوی این ترکیبات بهبود پیدا کرده است. کاهش نسبت آب به سیمان و تقویت واکنش هیدراسیون توسط این مواد از دلایل اصلی افزایش کیفیت بتن بوده است. [۷]

جیون بائو و همکاران در سال ۲۰۲۳ عملکرد بتن پرمقاومت حاوی سنگدانه سبک را در برابر آتش سوزی مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق از پوشش مواد نانو برای پایداری سطح سنگدانه سبک در دمای بالا استفاده شد و در نهایت بتن پرمقاومت در زمان طولانی‌تری نسبت به بتن معمولی پایداری خود را حفظ نمود. [۸]

محمود عبد الرحمن و همکاران در سال ۲۰۲۳ تاثیر افزودن فروسیلیس و الیاف فولادی بازیافتی را بر روی بتن فوق العاده پرمقاومت حاوی گرانیت بازیافتی را بررسی کردند. مقاومت خمشی و مقاومت کششی به همراه مدول الاسیسیته با استفاده از طرح اختلاط بهینه افزایش یافته است. افزودن یک درصد از الیاف فولادی و ۲۰٪ جایگزینی فروسیلیس به جای سیمان مقاومت نمونه را ۱۱ درصد نسبت به بتن شاهد افزایش داد. [۹]

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

احمد مگلد و همکاران در سال ۲۰۲۳ خواص بتن پرمقاومت حاوی ساقه نیشکر و خاکستر ساقه ذرت را مورد بررسی قرار دادند. با جایگزینی ۴٪ ساقه نیشکر و ۲۰٪ خاکستر ساقه ذرت بهترین مقاومت و با جایگزینی ۸٪ ساقه نیشکر و ۳۰٪ خاکستر ساقه ذرت کمترین نفوذپذیری نمونه بتن به دست آمد. [۱۰]

۳-مواد و روش پژوهش:

در این پژوهش بتن معمولی همچون سایر بتن‌های دیگر از آب و سیمان و سنگدانه استفاده شده و بتن پرمقاومت دارای افزودنی بتن نیز بوده است. در این قسمت توضیحاتی در مورد مسیر تحقیق و نحوه کار ارایه می‌گردد.

آب مورد استفاده در بتن باید عاری از مواد شیمیایی خطرناک مثل کلر باشد. برای این منظور یک دوره معین برای آزمایش کردن آب مصرفی در کارخانه بتن طبق استاندارد تعریف گردیده که در شرایط مختلف متفاوت می‌باشد. ولی آب آشامیدنی در صورت عدم وجود بو، مزه و رنگ بدون نیاز به انجام آزمایش کیفی در بتن قابل استفاده می‌باشد. در صورت استفاده از آب چاه حتما باید pH آب اندازه گیری شود. در صورت وجود این مقدار بین ۵ تا ۸/۵ طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۱۴۷۴۸ قادر به ساخت بتن با آب چاه خواهید بود. یون کلر موجود در آب مصرفی به هیچ وجه نباید از ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر بیشتر باشد؛ چون خوردنگی یون زیاد بوده و در نهایت بتن کرمو خواهد گردید. در مورد یون سولفات نیز استانداردهای متعددی حد مجاز را حدود 300ppm تعیین کرده که در این تحقیق پارامترهای مورد نظر کمتر از مقادیر تعیین شده می‌باشند. اگر در ظاهر آب تغییراتی مشاهده گردید و به نوعی آب مشکوک باشد می‌توان برای اطمینان حاصل کردن از کیفیت بتن مقاومت هفت روزه بتن نباید کمتر از ۹۰٪ نمونه شاهد و زمان گیرش خمیر سیمان نیز نباید از یک ساعت بیشتر تغییر نماید.

سنگدانه در بتن پرمقاومت اهمیت بسیار زیادی داشته و باید حدود بالای استاندارد آزمایش فرسایش ASTM C535 را تامین نماید. مقدار فرسایش سنگدانه در بتن پرمقاومت نهایتا باید ۴۰٪ باشد. در مورد شن مصرفی در بتن پرمقاومت به دلیل وجود مواد شیمیایی واکنش پذیر باید مقاومت شیمیایی سنگدانه نیز مورد بررسی قرار گیرد. مقدار ذغال سنگ و رس در ترکیب سنگدانه نباید بیش از ۱٪ باشد. به همین دلیل در این تحقیق سنگدانه باید از معادن دارای آزمایشگاه تهیه گردد، تا از مشخصات و کیفیت شن اطمینان یافت. در جدول ۱ نتایج بررسی آزمایشگاهی شن تهیه شده ارایه گردیده است. در جدول ۲ نیز نتایج حدود بالا و پایین دانه بندی مشخص شده است.

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

جدول(۱) نتیجه آزمون سنگدانه درشت مورد مصرف در بتن (بادامی) بر اساس استاندارد ملی ایران

ردیف	نمره الک	اندازه الک	وزن مانده	درصد عبوری	درصد استاندارد	مطابقت با استاندارد
1	1	25	0	100	100	دارد
2	$\frac{3}{4}$	19	35	99	90 - 100	دارد
3	$\frac{3}{8}$	9.5	1317.5	35	20 - 55	دارد
4	4	4.75	1449	3	0 - 10	دارد
5	8	2.36	75.5	1	0 - 5	دارد
6	درصد مواد ریزتر از الک ۲۰۰			0.34	1	دارد
7	درصد کلوخه های رسی			0.30	5	دارد
	مواد نامربوط			0.00	3	دارد
	ذغال سنگ و لیگنیت			0.00	0.5	دارد
8	درصد سلامت سنگدانه			5	12	دارد
9	درصد دانه های هم پهن و هم دراز			10	15	دارد
11	درصد سایش (لوس آنجلس)			12	50	دارد
	درصد شکستگی در دو وجه			74	74	دارد

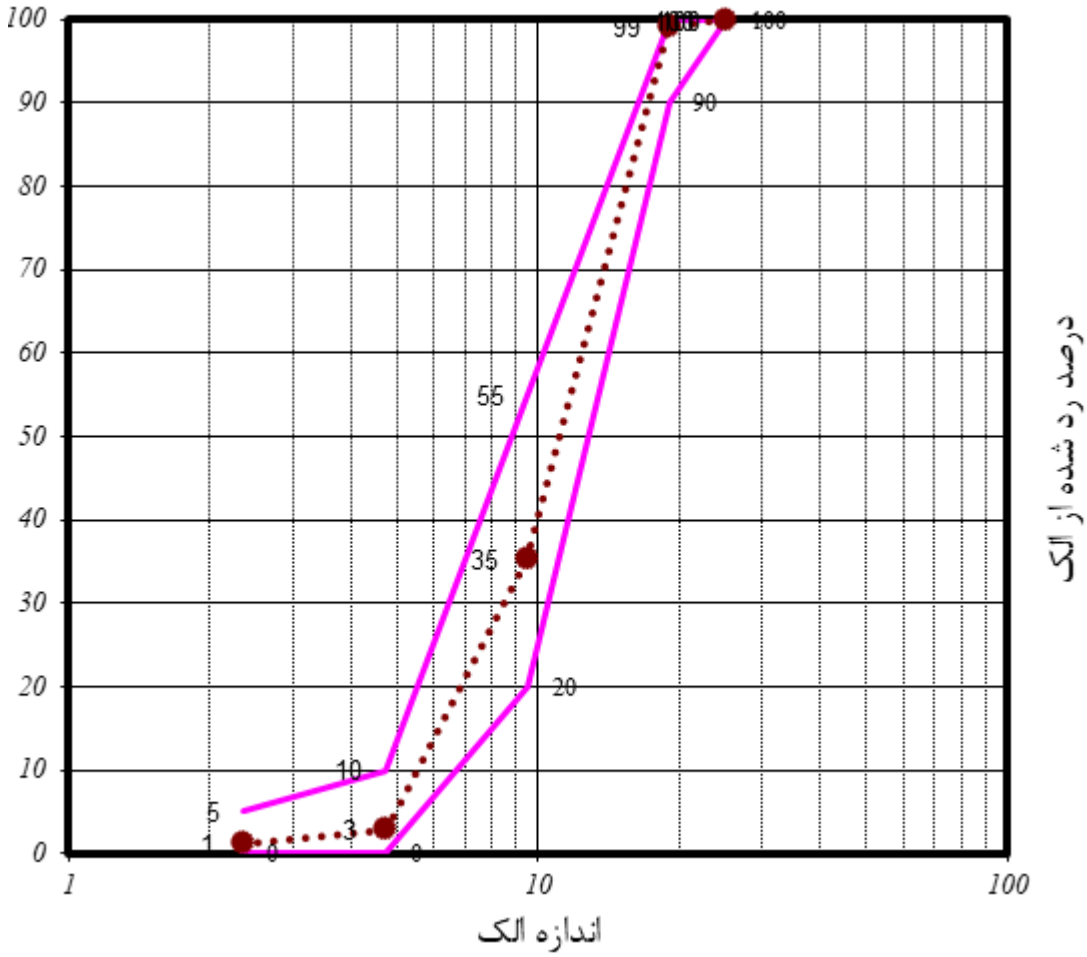
جدول(۲) محدوده استاندارد دانه بندی شن بر حسب درصد رد شده مصالح از الک

اندازه الک (mm)	حد پایین	حد بالا
25	100	100
19	90	100
9.5	20	55
4.75	0	10
2.36	0	5

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

از جدول ۲ نمودار دانه بندی شن و ماسه را ترسیم کرده و محدوده استاندارد را نیز تعیین می‌کنند. پراکندگی ابعادی شن و ماسه سبب ایجاد بتنی یکنواخت و با تخلخل کمتر خواهد نمود. این موضوع تاثیر مقاومت لایه اترینگایت در بتن را کاهش داده و نتیجه آن تولید بتنی با مقاومت بسیار بالاتر خواهد بود.



شکل(۱) محدوده دانه بندی شن مصرفی

طبق شکل ۱ که دانه بندی سنگدانه مصرفی و حدود استاندارد ۰/۰۶ تا ۲ میلی متر برای ماسه تعیین شده همخوانی اندازه ماسه مورد نظر را با استانداردهای لازم بیان می‌دارد. در مورد کانی شناسی و ترکیبات ماسه مورد استفاده طبق گزارشات معدن ماسه رازانی سیلیکا و کوارتز قسمت اصلی ماسه را تشکیل داده و وجود رنگ قرمز نیز به دلیل وجود رس و آهن در ذرات سنگدانه می‌باشد.

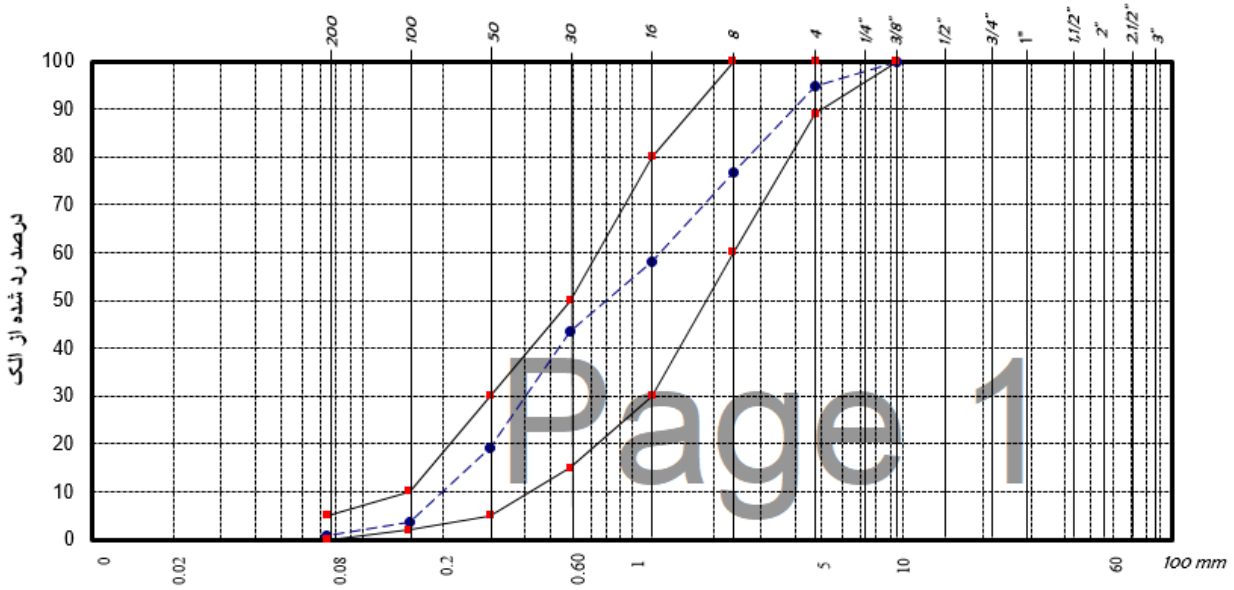
ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

جدول(۳) دانه بندی ماسه

شماره الک	اندازهmm	درصد رد شده	حدود پایین (درصد رد شده)	حدود بالا (درصد رد شده)	وزن مانده روی هر الک	درصد مانده روی هر الک	درصد تجمعی مانده روی الک
0.375	9.5	100.00	100	100	42.6	0	0
4	4.76	94.80	89	100	147.5	5.20%	5.20%
8	2.36	76.79	60	100	153	18.01%	23.21%
16	1.18	58.11	30	80	118.5	18.68%	41.89%
30	0.59	43.65	15	50	200.5	14.47%	56.35%
50	0.297	19.17	5	30	128	24.48%	80.83%
100	0.149	3.54	2	10	23.5	15.63%	96.46%
200	0.074	0.67	0	5	5.5	2.87%	99.33%

در صورت دسترسی به منابع رودخانه‌ای بهترین گزینه برای ساخت بتن با مقاومت بالای ۴۰ مگاپاسکال بوده ولی به دلیل کاهش این منابع و حفاظت از محیط زیست امروزه با استفاده از معادن موجود سنگ‌های سیلیس و کوارتز و شکستن این سنگ‌ها گزینه اصلی برای ساخت بتن پرمقاومت هستند. طبق جدول ۳ نیز مدول نرمی ماسه حدود ۳٪ بوده که در محدوده استاندارد می‌باشد.



شکل(۲) منحنی دانه بندی ماسه

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

سیمان عضو اصلی بتن بوده و عامل چسبندگی مصالح به یکدیگر می‌باشد. اگر سیمان اندکی از استانداردهای موجود دور شود بتن هرگز تامین مقاومت لازم را نخواهد داشت. برای اطمینان از کیفیت و آگاهی از کنترل کیفیت سیمان بنابر استانداردهای موجود از سیمان تیپ دو دلیجان استفاده شده است. طبق گزارشات نتایج شناخت ساختاری ترکیبات سیمان تعیین گردیده که عمده این محصول آهک و خاک رس با فرمولاسیون سیلیکات و کلسیم هیدروکسید می‌باشد. خمیر سیمان به تنهایی از مقاومت بسیار بالایی برخوردار بوده و در آزمایشات شکست بتن با کیفیت باید در سنگدانه شکستگی رخ دهد. در مقررات ملی ساختمان مبحث پنجم و نهم سیمان را متشکل از آسیاب کلینکر و سنگ گچ (سولفات کلسیم متبلور) دانسته و طبق سایر مواد تشکیل دهنده آن پنج گروه را برای سیمان در نظر گرفته است. کاربرد هر نوع از سیمان در این دستورات ارایه گردیده است. در استاندارد ASTM C959 به طور کامل مشخصات و ترکیبات سیمان تعیین گردیده که تجزیه و تحلیل سیمان دلیجان نیز توسط آزمایشگاه انجام شده و نتایج نیز برای سایر مصرف کنندگان و پژوهشگران ارایه شده است. در سیمان مصرفی این تحقیق ۶۴ درصد کلسیم اکسید و ۲۰ درصد سیلیسیوم اکسید و ۴ درصد آلومینیوم اکسید و ۳ درصد فریک به عنوان اجزای اصلی تشکیل دهنده سیمان و منیزیوم اکسید و سولفور تری اکسید و سدیم اکسید و پتاسیم اکسید به عنوان اجزای فرعی سیمان با استفاده از روش ولهارد اعلام شدند. در این روش حدود ۲ درصد از کل سیمان مورد تجزیه در سوختن از بین رفته است. در تجزیه سیمان به روش باگ نتایج نشان از کیفیت بالای سیمان و حضور ۶۴ درصد C_3S بوده که در جدول ۴ جزییات کامل این موضوع نمایش داده شده است. همچنین مقدار C_2S نیز ۱۰ درصد و C_4AF هم ۱۰ درصد و در نهایت نیز شش درصد C_3A در سیمان وجود داشته که طبق استاندارد ACI 389 مجموع مقادیر C_3A و C_3S باید بیشتر از ۷۰ درصد باشد که این سیمان شرایط را ارضا کرده و بتنی باکیفیت را نتیجه خواهد داد.

جدول(۴) نتایج آزمایش شیمیایی سیمان مصرفی

نام ماده	علامت اختصاری	شماره استاندارد ACI	نتیجه آزمایش(٪)
جرم از دست رفته تحت حرارت	L.O.I	۱۶۹۲	۲/۷
سیلسیوم اکسید	SiO_2	۱۶۹۲	۲۰/۲
آلومینیوم اکسید	Al_2O_3	۱۶۹۲	۴/۵۱
آهن (فریک) اکسید	Fe_2O_3	۱۶۹۲	۳/۴۱
کلسیم اکسید	CaO	۱۶۹۲	۶۳/۷۷
منیزیم اکسید	MgO	۱۶۹۲	۱/۶۳
سولفور تری اکسید	SO_3	۱۶۹۲	۲/۷۴
سدیم اکسید	Na_2O	۱۶۹۵	۰/۳
پتاسیم اکسید	K_2O	۱۶۹۵	۰/۷۴
کلراید	Cl	روش ولهارد	...
	جمع		۱۰۰
ذرات جامد معلق(نامحلول)	I.R.	۱۶۹۲	۰/۷۳

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

کلسیت آزاد	F. CaO	ASTM C778	۱/۸
فاکتور آهک اشباع	L.S.F.	L.S.F.	۹۶/۸۴
نسبت سیلیکا	SIM	SR	۲/۵۵
نسبت آلومینیوم	ALM	AR	۱/۳۲
تری کلسیم سیلیکات	C_3S	روش باگ	۶۳/۹۹
دی کلسیم سیلیکات	C_2S	روش باگ	۹/۶۴
تری کلسیم آلومینات	C_3A	روش باگ	۶/۱۸
کلسیم آلومینیوم فریت	C_4AF	روش باگ	۱۰/۳۸
C_3S+C_3A	...	۳۸۹	۷۰/۱۸
$2C_3A+C_4AF$	...	۳۸۹	۲۲/۷۴
قلیائیت	...	۳۸۹	۰/۸

برای تعیین مشخصات فیزیکی سیمان نیز استانداردهای فراوانی وجود دارد مثلا در استاندارد ASTM C430 روش کار مشخص گردیده که طبق آن سیمان دلیجان مساحت ویژه‌ای برابر با ۳۰۰۰ سانتی متر مربع بر گرم دارد. طبق نتایج ارائه شده در جدول ۵ مقدار باقیمانده سیمان روی الک ۴۵ میکرون ۹٪ و برای الک ۹۰ میکرون این مقدار ۱٪ بوده است. برای تعیین کیفیت سیمان خمیر سیمان تهیه کرده و مقاومت نمونه را به صورت عددی بیان کرده تا برای طراحی بتن بتوان طرح اختلاط مناسب بتن را تنظیم نمود. مقاومت فشاری سه روزه خمیر سیمان دلیجان ۳۵۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و مقاومت فشاری هفت روزه ۴۶۵ و مقاومت ۲۸ روزه ۵۸۸ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشد که مطابقت کامل با حدود استاندارد ACI C393 بوده است.

جدول(۵) نتایج آزمایش فیزیکی سیمان

آزمایش	استاندارد ACI	نتیجه
بلین	۳۹۰	۳۰۸۵
درصد باقی مانده روی الک ۴۵ میکرون	ASTM C430-96(c)	۹/٪۳
درصد باقی مانده روی الک ۹۰ میکرون	ASTM C430-96(c)	٪۱
مینیمم اولیه	۳۹۲	۱۶۰
مینیمم نهایی	۳۹۲	۲۰۵
مقاومت فشاری ۳ روزه	۳۹۳	۳۵۵
مقاومت فشاری ۷ روزه	۳۹۳	۴۶۵
مقاومت فشاری ۲۸ روزه	۳۹۳	۵۸۸

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

یکی از پارامترهای مهم در طراحی بتن بررسی زمان گیرش اولیه می‌باشد. زمان قالب برداری و حتی نحوه قالب گیری بتن در ابتدای بتن ریزی به گرانروی بتن و مقدار گیرش بستگی دارد. بتنی که روانی کمی دارد در نهایت کرمو شده و به شدت در برابر عوامل خارجی ضعف خواهد داشت که برای رفع این مشکل استفاده از مواد افزودنی نظیر روان کننده و روغن قالب به تراکم بالای بتن کمک خواهد نمود. از دیگر موارد بسیار با اهمیت در زمان بتن ریزی استفاده از ویبراتور بوده که نحوه صحیح استفاده از آن توسط کادر مجرب، کیفیت بتن ریخته شده در مقاطع پرآرماتور را بسیار افزایش خواهد داد. پس از ساخت بتن باکیفیت و استفاده از روش‌های متنوع برای ساخت بتن پرمقاومت مرحله عمل آوری بتن تا سن ۲۸ روزگی و رسیدن به مقاومت بیش از ۹۰ درصدی مراقبت و مرطوب نگه داشتن بتن در هوای گرم و جلوگیری از یخ زدن در هوای سرد برای جلوگیری از توقف فرآیند هیدراسیون سیمان حائز اهمیت می‌باشد.

استفاده از سیلیس در تکنولوژی و طراحی بتن بسیاری از مشکلات بتن از جمله تخلخل را کاهش داده و یک ماده قابل قبول برای افزایش مقاومت بتن در منابع مختلف می‌باشد. میکروسیلیس در صنعت آلیاژهای سیلیس محصول فرعی کوره قوس الکتریکی بوده و پس از اصلاح و بازیافت می‌توان از آن به عنوان یک افزودنی در سیمان و بتن استفاده نمود. در استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۲۷۸ و استاندارد ASTM C1240 حد خلوص سیلیسیوم اکسید را ۸۵ درصد تعیین کرده که مواد مورد مصرف در این پژوهش نیز آزمایشات کیفی را ارضا کرده‌اند.

۴-ساخت بتن شاهد:

برای ساخت هر بتنی در ابتدا باید نوع مصالح و مقدار مورد نیاز هر کدام تعیین گردد که توسط وزن یا حجم هر کدام از مواد برای ساخت بتن اضافه شوند. پس از کنترل کیفی و آزمایشات انجام شده روی مصالح شن و ماسه را با یک سوم آب موجود مخلوط کرده تا از مرطوب شدن همه سنگدانه اطمینان حاصل شود. سپس سیمان و بقیه آب را هم اضافه کرده و بتن را به مدت ۳ دقیقه تا رسیدن به یکنواختی مخلوط می‌کنند. برای بررسی گرانروی بتن آزمایش اسلامپ در محل با قیف برعکس انجام شده و برای کاهش خطا روی پنج نمونه بررسی شده و یک عدد به عنوان میانگین برای کل بتن شاهد اعلام گردیده است. عمل آوری بتن نیز در حوضچه استغراق انجام شده تا حالت اشباع برای نمونه یک و هفت و ۲۸ روزه حفظ شود. برای اعلام کیفیت بتن می‌توان از مقاومت فشاری نمونه بتنی و یا عیار سیمان بتن استفاده نمود. البته برای طراحی سازه معیار مقاومت بتن بوده و عیار سیمان فقط جنبه عمومی دارد چون امکان افزایش مقاومت با افزودنی بتن و کاهش مقدار سیمان وجود دارد.

بتن شاهد این تحقیق نسبت آب به سیمان حدودا ۰/۲۳ داشته و رن بتن نیز روشن بود. پس از تهیه نمونه بتن شاهد امکان کاهش آب در نمونه مشاهده گردید که در نمونه‌های دیگر این موضوع به دقت بررسی شد.

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

۵- ساخت بتن پر مقاومت:

با استفاده از استانداردهای موجود و مراجعه به منابع معتبر محدوده مجاز مصرف افزودنی بتن و نحوه اختلاط و سایر شرایط لازم را می‌توان به دست آورد. ارکان اصلی بتن آب و سیمان بوده و عمده تحقیقات دانشمندان روی مواد اضافه و درصد افزودن هر کدام از این مواد بوده و تاکنون منبع معتبری حذف کامل آب یا سیمان را از بتن و رسیدن به مقاومت بالا اعلام نکرده است.

هدف کلی این پژوهش رسیدن به یک طرح اختلاط بهینه با مقاومت فشاری بیشتر بوده که با تغییر در میزان مصالح می‌توان به این مهم دست یافت. افزایش مقاومت فشاری بتن کاهش شکل پذیری را در بر خواهد داشت. در طراحی بتن و به خصوص مساله جذب انرژی و نحوه شکست بتن باید این موضوع را در نظر گرفت.

۶-طرح اختلاط بتن:

در جدول ۶ اطلاعاتی در مورد وزن مصالح مصرفی در هر طرح اختلاط به طور مجزا تعیین شده است. دوه سیلیس و سیمان به عنوان معیار در تمام نمونه‌ها مقدار ثابتی داشتند.

جدول(۶) : طرح اختلاط بتن

	ماسه سیلیسی	شن	سیمان	دوده سیلیسی	آب	نئون	پودر zro2	حباب هوا(غیرعمدی)	پودر سیلیس	سیتریک اسید	شن سیلیسی
طرح ۱	600	750	600	48	207	3.6	0	30	280	0.12	0
طرح ۲	600	750	600	48	207	6	0	30	280	0.12	0
طرح ۳	650	970	600	45	144	6	0	35	0	0.12	0
طرح ۴	600	825	600	48	158	24	0	0.5	240	0.12	0
طرح ۵	565	400	600	48	158	24	0	10	280	0.12	350
طرح ۶	560	750	600	48	158	24	0	10	280	0.9	0
طرح ۷	556	750	600	48	158	24	6	10	280	0.12	0
طرح ۸	565	400	600	48	158	24	6	10	280	0.12	350
طرح ۹	570	0	600	48	158	18	6	10	280	0.9	760
طرح ۱۰	600	0	600	48	184	6	0	30	280	0.12	750
طرح ۱۱	650	0	600	48	158	12	0	20	300	0.9	690
طرح ۱۲	650	0	600	48	160	12	6	5	300	0.9	690
طرح ۱۳	620	0	600	48	210	25	0	10	300	0.9	690

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

طرح ۱۴	620	0	600	48	195	15	6	10	300	0.9	655
شاهد	600	750	600	48	138	6	6	30	280	0.12	0

در مورد جدول ۶ اعداد مصالح بتن ذکر شد. به هنگام مخلوط کردن مواد برای کاهش دمای شن ابتدا سطح آن آب پاشی شده و برای خشک کردن مجدد با بقیه شن مخلوط شد. برای اصلاح وزن کلی نمونه از اندکی تغییر در وزن شن و یا پودر سیلیس استفاده شده ولی طراح اختلاط کلی ثابت است.

۷-مشخصات دستگاه و نحوه انجام آزمایشات:

در این پژوهش معیار سنجش کیفیت بتن مقاومت فشاری نمونه مکعبی ۱۵ سانتی‌متری می‌باشد. برای بررسی روانی بتن از آزمایش جریان اسلامپ استفاده گردید. چگالی بتن شاهد نیز در این تحقیق ۲۴۰۰ کیلوگرم بر متر مربع می‌باشد. مشخصات دستگاه و نمونه بتنی مطابق با استاندارد ASTM می‌باشد.

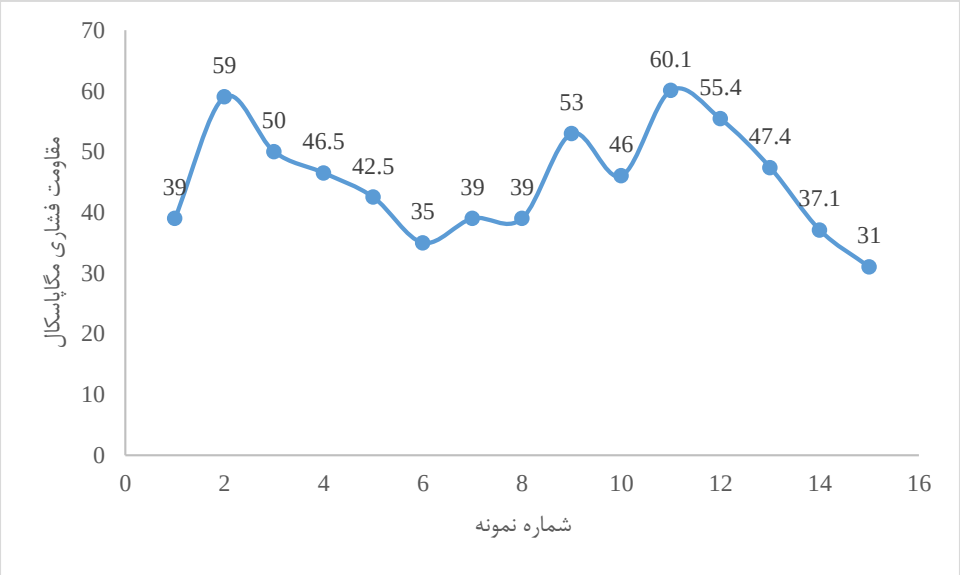
۸-نتیجه گیری:

مقاومت فشاری نمونه‌های سه روزه اندازه گیری شده و یک عدد میانگین برای بررسی شرایط اعلام گردیده است. همان گونه که در نمودار ۱ قابل مشاهده است بیشترین مقاومت مربوط به طرح اختلاط ۱۱ و ۲ می‌باشد. در طرح اختلاط دوم از شن معمولی و فوق روان کننده نئون شرکت رامکا استفاده شده و برای بهبود کیفیت در طرح اختلاط یازده از مصالح ریزدانه بیشتری استفاده شده که نتیجه این امر افزایش مقاومت نمونه بوده است. به همین دلیل طبق آزمایشات صورت گرفته طرح اختلاط دوم این پژوهش به عنوان یک روش اجرایی برای ساخت بتن پرمقاومت اعلام می‌گردد. طبق نتایج مقاومت نیز نمونه ۶ که حاوی سنگدانه بیشتر و اسیدسیتریک کمتر بود به عنوان نامناسب ترین طرح اختلاط تعیین می‌شود. هم چنین در جدول ۷ مشخصات مکانیکی و فیزیکی بتن مشخص شده که طرح اختلاط ۴و ۱۳ بیشترین تراکم و در نتیجه بالاترین چگالی را داشته و طرح اختلاط ۱۴ کمترین وزن مخصوص را داشته است.

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

نمودار(۱) : مقاومت فشاری میانگین نمونه های بتنی



جدول(۷): نتایج مقاومت فشاری و سایر مشخصات نمونه ها

	وزن مخصوص	w/c	عیار اسمی	درصد حجمی سنگدانه	مقاومت فشاری(Mpa) سه روزه
طرح۱	2488.72	0.31	648	0.21	39
طرح۲	2484.12	0.3	648	0.21	59
طرح۳	2415	0.22	645	0.24	50
طرح۴	2495.12	0.24	648	0.22	46.5
طرح۵	2425.12	0.24	648	0.21	42.5
طرح۶	2420.9	0.24	648	0.21	35
طرح۷	2422.12	0.24	648	0.21	39
طرح۸	2431.12	0.24	648	0.21	39
طرح۹	2440.9	0.24	648	0.21	53
طرح۱۰	2468.12	0.28	648	0.21	46
طرح۱۱	2458.9	0.24	648	0.24	60.1
طرح۱۲	2466.9	0.24	648	0.24	55.4
طرح۱۳	2493.9	0.32	648	0.32	47.4
طرح۱۴	2393.804	0.3	648	0.23	37.1
شاهد	2428	0.21	648	0.22	31

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

البته برای بررسی دقیق تاثیرات مواد افزودنی به سایر محققان و پژوهشگران توصیه می‌شود که مقاومت بتن را در سنین بالاتر نیز بررسی کرده و نتایج را مورد بحث قرار دهند.

منابع:

[۱] سعیدیان, مهدی, وتر, محمدقاسم محمدی, حمیدرضا. (۱۳۹۸). مطالعات نظری و آزمایشگاهی افزایش مقاومت و شکل پذیری بتنهای پر مقاومت .تحقیقات بتن, 12(4), 29-39. doi: 10.22124/jcr.2019.12063.1327

[۲] فلاح حسینی, سینا ,حاجی کریمی, پوریا. (۱۳۴۸). بررسی تأثیر درصد حجمی، طول و شکل هندسی الیاف پلی الفین بر مشخصات مکانیکی و ویژگی های شکست بتن های پرمقاومت .*تحقیقات بتن* , *12*(1), 59-70. doi: 10.22124/jcr.2018.10946.1307

[۳] کاوندی، پویا، و عبدالهی، سودابه. (۱۳۹۴). بررسی تاثیر تغییرات طول الیاف پلیمری در بتن سبک پرمقاومت. کنفرانس بین المللی پژوهش های نوین در عمران، معماری و شهرسازی. SID. https://sid.ir/paper/857027/fa

[۴] ترابی خداشهری، حامد، نوروزی نژاد، مسعود، و اعلمی، سیدجلال الدین. (۱۳۹۸). ارزیابی عملکردی و کیفی پارامترهای مقاومتی بتن پرمقاومت و خود تراکم. شباک، ۵(۸ (پیاپی ۴۷))، ۱۷-۲۸. SID. https://sid.ir/paper/524873/fa

[۵] بهفروز, بابک, معمارزاده, پرهام, افتخار, محمد رضا & ,فتحی, فرشید. (۱۴۰۰). مطالعه آزمایشگاهی و پیش‌بینی مقاومت فشاری بتن پرمقاومت حاوی پودر کاشی ضایعاتی با استفاده از روش برنامه‌نویسی بیان ژن .مهندسی سازه و ساخت*8* ,(شماره ویژه ۴), ۱۹۳-۲۱۱. doi: 10.22065/jsce.2021.273288.2363

[۶] مهدی زاده, کوروش, هاشمی, سیده وحیده, صادقی, عباسعلی & ,موافق قدیرلی, فرشید. (۱۳۹۹). بررسی عملکرد لرزه‌ای سازه‌ی بتنی با بتن اجرائی رایج و پر مقاومت تحت تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی .*عمران و پروژه*, *2*(2), 56-76 ,

[۷] Zhang, P., Su, J., Guo, J., & Hu, S. (2023). Influence of carbon nanotube on properties of concrete: A review. *Construction and Building Materials*, *369*, 130388.

[۸] Bao, J., Zheng, R., Sun, Y., Zhang, P., Cui, Y., Xue, S., & Song, Q. (2023). A state-of-the-art review on high temperature resistance of lightweight aggregate high-strength concrete. *Journal of Building Engineering*, 106267.

[۹] Abd-Elrahman, M. H., Agwa, I. S., Elsakhawy, Y., & Rizk, M. S. (2023). Effect of utilising ferrosilicon and recycled steel fibres on ultra-high-strength concrete containing recycled granite. *Case Studies in Construction Materials*, *18*, e01903.

[۱۰] Maglad, A. M., Amin, M., Zeyad, A. M., Tayeh, B. A., & Agwa, I. S. (2023). Engineering properties of ultra-high strength concrete containing sugarcane bagasse and corn stalk ashes. *Journal of Materials Research and Technology*, *23*, 3196-3218.