

رابطه مقاومت بتن در سنین مختلف با سیمان های گوناگون

محسن تدین^۱، علیرضا رحمتی^۲، الهام سلامی^{۳*}، علی رحمتی^۴، ایمان ملکشاهی^۴،
بهمن پیرهادی^۴

۱- رئیس هیأت مدیره انجمن بتن ایران

۲- مدیر آزمایشگاه پاکدشت بتن (آزمایشگاه مرجع سازمان ملی استاندارد)

۳- مسئول فنی آزمایشگاه پاکدشت بتن -

۴- کارشناس آزمایشگاه پاکدشت بتن

چکیده:

بتن یکی از پر مصرف ترین مصالح ساختمانی است. مقاومت بالای بتن در مقابل آب، سهولت شکل دادن به آن برای ساخت اجزای مختلف سازه و سهولت دسترسی و ارزیابی از دلایل عمده کاربرد گسترده بتن است. دسته بندی بتن ها از نقطه نظر مقاومت، در اروپا و بسیاری دیگر از کشورها رایج است و بتن با مقاومت متوسط (۲۰ تا ۴۰ مگاپاسکال) که به بتن معمولی نیز معروف است در اغلب کارهای ساختمانی استفاده می شود. [۱]

در ساختمان ها و سازه های متعارف، بویژه وقتی از سیمان های پرتلند با روند عادی کسب مقاومت مانند نوع ۱ استفاده می شود، معمولاً از سن مقاومت مشخصه ۲۸ روزه در مشخصات فنی و آیین نامه ها استفاده می گردد. در برخی سازه ها ممکن است سن مقاومت مشخصه کمتر یا بیشتر از ۲۸ روز باشد. در سال های اخیر با توجه به گستردگی استفاده از سیمان های آمیخته (با درصد های قابل توجهی از پوزولان های طبیعی یا مصنوعی و یا سرباره ها) و برای کاهش تولید و مصرف کلینکر سعی می شود در حد امکان سن مقاومت مشخصه بتن پروژه ها بیش از ۲۸ روز انتخاب شود تا از پتانسیل مقاومتی این نوع سیمان ها به نحو احسن استفاده گردد. [۲]

از آنجا که مقاومت بتن تابعی است از پیشرفت هیدراته شدن سیمان، که پدیده ای نسبتاً کند است، بنابراین روند کسب مقاومت بتن هایی که با شرایط یکسان، ولی با انواع مختلف سیمان پرتلند ساخته می شوند یکسان نیست و بتن های ساخته شده با سیمان های مختلف در سنین مختلف روند رشد مقاومت متفاوتی دارند.

با وجود طیف وسیعی از انواع سیمان در کشور، بعضاً بتن های تهیه شده از انواع مختلف سیمان های استاندارد، ویژگی های متمایز کننده مورد انتظار را دارا نمی باشند.

در این تحقیق با انتخاب سیمان نوع ۴۲۵-۱ و ۲ به عنوان پر مصرف ترین سیمان های کشور و ساخت بتن با عیار $350 \text{ (Kg/cm}^3\text{)}$ به عنوان پر مصرف ترین عیار بتن با مصالح یکسان و روانی برابر و عمل آوری در شرایط یکسان سعی در ارزیابی، تحلیل و مقایسه همزمان نتایج مقاومت فشاری بتن ها شده است تا روند رشد مقاومت و همچنین نسبت مقاومت فشاری بتن های ساخته شده با سیمان های مختلف در سنین ۳ و ۷ و ۲۸ روزه بررسی شود.

کلمات کلیدی: بتن، مقاومت فشاری ۲۸ روزه، انواع سیمان

۱- مقدمه

یکی از اهداف برنامه بتن ۱۴۰۴ افزایش مقاومت متوسط و دوام بتن های سازه ای در سطح کشور می باشد که برای رسیدن به این هدف، شناخت خصوصیات واقعی سیمان های متنوع موجود در ایران از ابعاد مختلف ضروری می باشد. در راستای این موضوع شناخت خصوصیات کلی مواد اولیه ساخت بتن و مسائل بومی مربوطه ضروری می باشد ویژگی های سنگدانه های دارای نشان استاندارد و در دسترس واحدهای تولید کننده بتن آماده اغلب با دانه بندی ASTM فاصله ی زیادی دارد که همین امر باعث اثر منفی بر پمپ پذیری و در ادامه با افزایش آب باعث کاهش مقاومت فشاری و دوام بتن ها می شود و یکی از مهمترین دلایل وجود بتن های بی کیفیت می باشد، از طرفی دیگر قیمت نسبتاً بالای افزودنی های مرغوب بتن و عدم وجود فرهنگ سازی مناسب برای پذیرش این هزینه ها، باعث عدم مصرف آن در صنعت بتن شده است.

افزودنی ها، سنگدانه ها و سیمان مطابق استاندارد های ملی تولید می شوند و عموماً حداقل کیفیت را برآورد می کنند بنابراین ساخت بتن مرغوب با چنین مواد اولیه ای اغلب کار بسیار سخت و همراه با اتلاف منابع خواهد بود.

البته بدیهی است تأمین شرایط فوق در حالت بهینه در پروژه های خاص عمرانی با صرف هزینه های متعدد مربوطه و تولید سنگدانه و افزودنی به شکل سفارشی امکان پذیر بوده و بعضاً در کشور در حال اجرا نیز می باشد ولی موضوع در سطح کلان در صنعت ساخت و ساز در اکثر نقاط کشور فعلاً به عنوان مشکلی اساسی وجود دارد.

در این میان یکی از موضوعات مورد علاقه جامعه مهندسی پیش بینی مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن با توجه به مقاومت در سنین پائین تر مانند ۷ و ۳ روزه و یا ارتباط مقاومت بتن های ساخته شده با سیمان های مختلف در سنین متفاوت و ایجاد رابطه بین آنها می باشد.

در این پژوهش سعی شده است در ابتدا به بررسی موضوع روند کسب مقاومت بتن های ساخته شده با سیمان های مختلف از دیدگاه منابع معتبر موجود داخلی و خارجی پرداخته شود و سپس با بررسی نتایج آزمایش های انجام شده بر روی بتن های ساخته شده با سیمان های نوع ۴۲۵-۱ و ۲ اقدام به نتیجه گیری نهایی می شود. تمامی آزمایش ها در آزمایشگاه پاکدشت بتن به عنوان آزمایشگاه مرجع سازمان ملی استاندارد انجام شده است.

۲- مقاومت فشاری

مقاومت، میزان تنش لازم برای به شکست رساندن مصالح می باشد و تئوری تنش های مجاز در طراحی بتن آن را اغلب به عنوان مصالحی مناسب برای تحمل بارهای فشاری مطرح می کند و به همین دلیل است که بتن اغلب با مقاومت فشاری آن مشخص می گردد. از آنجا که مقاومت بتن تابعی است از پیشرفت هیدراته شدن سیمان، که پدیده ای نسبتاً کند است، لذا مشخصات و آزمایش های مقاومت بتن معمولاً بر روی نمونه های عمل آوری شده در دما و رطوبت استاندارد در مدت ۲۸ روز بیان می گردد. [۱]

مقاومت بتن یکی از مهمترین خواص بتن نزد طراحان و مهندسان کنترل کیفیت بتن می باشد. در جامدات رابطه معکوس بین تخلخل (حجم فضاهای خالی) و مقاومت، یک اصل است. در نتیجه در بتن و مواد ترکیبی نظیر آن تخلخل هر جز تشکیل دهنده می تواند بر مقاومت تاثیر بگذارد. از آنجا که سنگدانه ها عموماً متراکم و با مقاومت بالا هستند، لذا تخلخل خمیر سیمان سخت شده و ناحیه انتقال بین سنگدانه و خمیر اغلب تعیین کننده مقاومت مشخصه بتن های معمولی است. [۱]

از آن جا که بتن یک جسم سخت شده از مصالح غیر متجانس است، خواص آن تحت تاثیر عوامل متعددی قرار دارد که مربوط به تفاوت های در انواع و مقادیر اجزای تشکیل دهنده، تفاوت ها در مراحل اجرایی بتن از جمله مخلوط کردن، حمل و نقل، جا دادن و تفاوت در ساخت نمونه ها و جزئیات روش آزمون آنها است. به همین دلیل روش های کنترل کیفیت بتن باید به کار گرفته شوند. روش معمول عبارت از ساختن نمونه های مقاومت به طور همزمان با ریختن بتن در عضو مربوطه و منظور نمودن مقاومت نمونه به عنوان مقدار مقاومت بتن در سازه است. البته اعتبار این فرض همواره مورد سوال است، زیرا شرایط نگهداری سازه و نمونه بتنی متفاوت است. [۳]

افزایش مقاومت بتن با گذشت زمان تحت شرایط زیر ادامه پیدا می کند:

- (۱) وجود سیمان هیدراته نشده
- (۲) مرطوب ماندن بتن با وجود رطوبت نسبی بیش از ۸۰٪
- (۳) مطلوب ماندن دمای بتن
- (۴) وجود فضای کافی جهت تشکیل محصولات هیدراته شدن

زمانی که رطوبت نسبی بتن به زیر ۸۰٪ کاهش پیدا می کند یا دمای بتن به زیر نقطه انجماد نزول می کند هیدراته شدن و افزایش مقاومت به طور واقعی متوقف می گردد. [۴]

مقاومت فشاری را می توان به صورت حداکثر مقاومت اندازه گیری شده نمونه بتن یا ملات در برابر بارگذاری محوری تعریف کرد. این مقاومت معمولاً بر حسب مگاپاسکال (MPa) و در سن ۲۸ روزه بیان می شود. از نتایج آزمون در سنین دیگر نیز استفاده می شود اما به هر حال درک رابطه میان مقاومت ۲۸ روزه و دیگر سنین آزمایش دارای اهمیت است. [۴]

برای آزمون تعیین مقاومت فشاری بتن، استاندارد ها و روش های آزمون زیر مورد استفاده قرار می گیرد.

جدول ۱- استانداردهای آزمون تعیین مقاومت فشاری بتن سخت شده

ردیف	آزمون تعیین مقاومت فشاری	شکل آزمونه	روش نمونه برداری و عمل آوری
۱	ISIRI 6048 ASTM C39	آزمونه های استوانه ای	ISIRI3205 ISIRI 12306 ISIRI 581 ASTM C192 ASTM C617 ASTM C873 ASTM C1231
۲	*ISIRI3206 ISO 4012	کلیه آزمونه های سخت شده بتنی	ISIRI 3201-1 ISO 1920-1 *ISIRI 581
۳	ISIRI 1608-3 EN 12390-3	مکعبی، استوانه ای	ISIRI 1608-2 EN 12390-2

*آزمایش های انجام شده در این تحقیق بر اساس استاندارد های مشخص شده می باشد.

۳- انواع سیمان

سیمان پرتلند بی آب، ماسه و شن را به هم نمی چسباند، بلکه خاصیت چسبندگی را فقط وقتی که با آب مخلوط می شود، به دست می آورد. این امر، بدین علت است که واکنش شیمیایی سیمان با آب، که معمولاً به آن هیدراته شدن سیمان گفته می شود، محصولاتی را تولید می کند که دارای مشخصات گیرش و سخت شدگی هستند. [۹]

سیمان هایی با ترکیبات شیمیایی و خصوصیات فیزیکی مختلف می توانند پس از هیدراته شدن خواص متفاوتی از خود بروز دهند. لذا با انتخاب مخلوط های مناسب مواد خام، می توان سیمان هایی با خواص مختلف مورد نیاز را تولید نمود. [۵]

تا آنجا که به بتن ارتباط دارد، مواد سیمانی همیشه حاوی سیمان پرتلند از انواع سنتی آن می باشد (یعنی سیمان پرتلند خالص) بنابراین وقتی مواد دیگری مصرف می شوند، امکان دارد که به مجموعه مواد سیمانی به کار رفته نام سیمان های مرکب پرتلند را اطلاق نمود. این عبارت و همچنین عبارت سیمان های پرتلند آمیخته منطقی به نظر می رسد. [۵]

استانداردهای سیمان در دنیا به طور کلی در اصول مشابه یکدیگرند، ولی در جزئیات فرعی با یکدیگر متفاوتند. انواع اصلی سیمان در استاندارد ویژگی های سیمان پرتلند با عنوان ASTM C150 و AASHTO M85 مشخص شده است. در کنار انواع سیمان های پرتلند، باید سیمان های سفید، سیمان های کم قلیا و سیمان های هیدرولیکی آمیخته (ASTM C 595 & AASHTO M240) و سیمان های هیدرولیکی (ASTM C1157) را اضافه کرد. [۶]

یکسان نمودن استانداردها در اتحادیه اروپا که شامل برخی دیگر از کشورهای اروپایی نیز می گردد، منجر به انتشار اولین استاندارد مشترک مربوط به سیمان توسط کمیته اروپایی استانداردها به صورت EN 197-1:1992 "سیمان-ترکیبات، ویژگی ها و ضوابط پذیرش: بخش اول: سیمان های معمولی" گردیده است. [۹]

استاندارد مذکور پس از ویرایش های متعدد، در حال حاضر با عنوان EN 197-1:2011 در اروپا معتبر و جاری است. در سال ۱۳۹۳ این استاندارد در سازمان ملی استاندارد ایران با عنوان INSO 17518-1 ترجمه و تدوین شده است که در آن ترکیبات، ویژگی ها و معیارهای انطباق ۳۵ نوع سیمان معمولی مورد مصرف در ساخت و ساز مشخص شده است.

در ایران مطابق استاندارد ملی ۳۸۹، سیمان پرتلند مشتمل بر ۵ نوع به شرح ذیل است: [۷]

- سیمان پرتلند نوع یک با نشانه "پ-۱": به عنوان سیمان پرتلند معمولی برای مصارف عمومی در ساخت ملات یا بتن به کار می رود.
- سیمان پرتلند نوع دو با نشانه "پ-۲": به عنوان سیمان پرتلند اصلاح شده مصرف ویژه آن در ساخت بتن هائی است که حرارت هیدراتاسیون متوسط برای آنها ضرورت داشته و حمله سولفات ها به آنها در حد متوسط باشد.
- سیمان پرتلند نوع سه "پ-۳": به عنوان سیمان پرتلند با مقاومت اولیه زیاد در شرایطی که مقاومت اولیه زیاد مورد نظر باشد به کار می رود.
- سیمان پرتلند نوع چهارم "پ-۴": به عنوان سیمان پرتلند با حرارت کم در شرایطی که حرارت هیدراتاسیون کم بتن مورد نظر باشد به کار می رود.
- سیمان پرتلند نوع پنج "پ-۵": به عنوان سیمان پرتلند ضد سولفات در شرایطی که مقاومت زیاد بتن در برابر سولفات ها مورد نظر باشد به کار می رود.

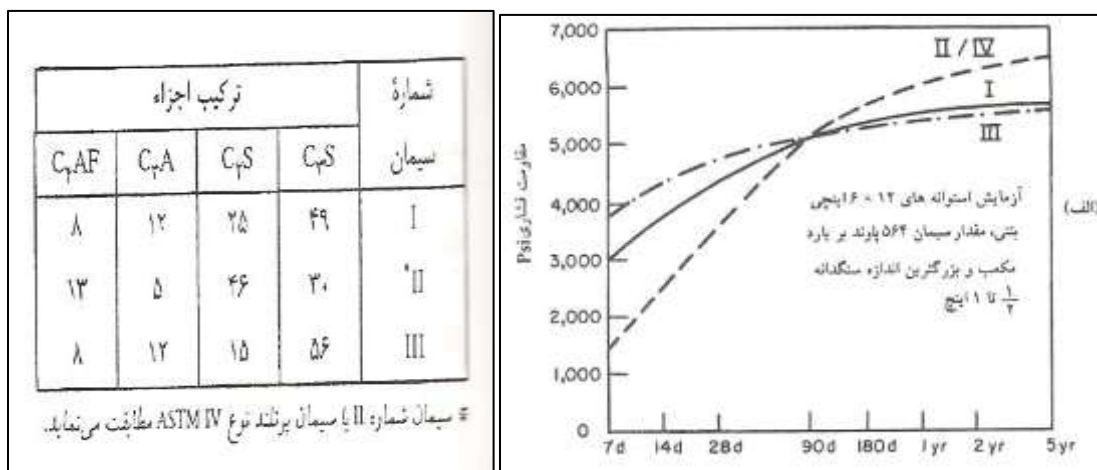
جدول ۲- ویژگی های فیزیکی انواع سیمان پرتلند مطابق استاندارد ملی ۳۸۹ ایران

نوع سیمان							ویژگی ها	
۵	۴	۳	۲	۱-۵۲۵	۱-۴۲۵	۱-۳۲۵		
۲۸۰۰							نرمی - سطح مخصوص (cm ² /gr)-حداقل	
۰/۸							انبساط- آزمایش اتوکلاو- (%) -حداکثر	
۴۵							زمان گیرش - ابتدائی (min)-حداقل	
۶							نهایی (hr)-حداکثر	
-	-	۱۲۵	-	-	-	-	یک روزه-حداقل	
-	-	-	-	۲۰۰	۱۰۰	-	دو روزه-حداقل	
۸۵	-	۲۱۰	۱۰۰	-	-	۱۲۰	سه روزه-حداقل	
۱۵۰	۷۰	-	۱۷۵	-	-	۲۰۰	هفت روزه-حداقل	
۲۷۰	۱۸۰	-	۳۱۵	۵۲۵	۴۲۵	۳۲۵	حداقل	بسیست وهشت روزه
-	-	-	-	-	۶۲۵	۵۲۵	حداکثر	روزه

در تعاریف کلاسیک موجود از سیمان های نوع ۱ و ۲ و ۵ عمدتاً به تفاوت در گرمزایی، گیرش، روند کسب مقاومت، مقاومت ۲۸ روزه و مقاومت در برابر سولفات اشاره شده است که مبنای استفاده جامعه مهندسی از این سیمان ها در کاربری های مختلف می باشد.

۴- تاثیر مشخصات سیمان بر مقاومت

تاکنون مقاومت سیمان به عنوان متغیری در مقاومت بتن در نظر گرفته نشده است. در این جا منظور اختلافات در خواصی که مقاومت سیمان را ایجاد می نمایند نمی باشد بلکه تغییرات در بین سیمان های اسما یکسان است. این سیمان ها به صورت نسبتا گسترده ای متغیرند و این تغییرات است که در این بند مورد بررسی قرار می گیرد. به طور سنتی فقط یک حداقل مقاومت در عمرهای معین تجویز شده است. [۵] با دانستن مقادیر نسبی واکنش زایی و محصولات هیدراته شدن ترکیبات جداگانه، طراحی سیمان هایی با مشخصات ویژه مانند مقاومت اولیه زیاد، حرارت هیدراته شدن کم، مقاومت سولفاتی زیاد و حرارت هیدراته شدن متوسط یا مقاومت سولفاتی متوسط امکان پذیر می باشد. [۱] تقسیم بندی سیمان ها به انواع مختلف، الزاما چیزی بیش از یک طبقه بندی کلی عملکردی نیست و گاه ممکن است اختلاف های زیادی بین سیمان هایی که اسما از یک نوع هستند وجود داشته باشد. از طرفی اغلب هیچ گونه عدم پیوستگی ناگهانی در خواص انواع سیمان وجود ندارد و بسیاری از سیمان ها می توانند در دو یا چند طبقه قرار گیرند. [۵] از آنجا که سرعت واکنش زایی هر یک از اجزای مختلف سیمان پرتلند با آب، به طور قابل توجهی با یکدیگر تفاوت دارند، لذا ممکن است که روند افزایش مقاومت سیمان را به سادگی از طریق ترکیب اجزای سیمان تغییر داد. برای مثال، اگر سیمان دارای مقادیر نسبتا زیادی از C_3S و C_2S باشد، مقاومت های اولیه ۳ و ۷ و ۲۸ روزه زیاد خواهند بود و اگر سیمان دارای نسبت زیادتری C_2S باشد، مقاومت اولیه کم خواهد بود. [۱]

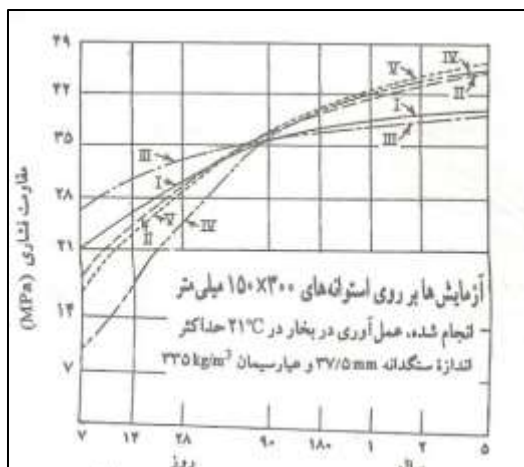


شکل ۱- تاثیر ترکیب سیمان بر مقاومت بر روی بتن با مقدار سیمان ۵۶۴ پاوند بر یارد مکعب (حدود ۳۳۵ کیلوگرم بر متر مکعب)

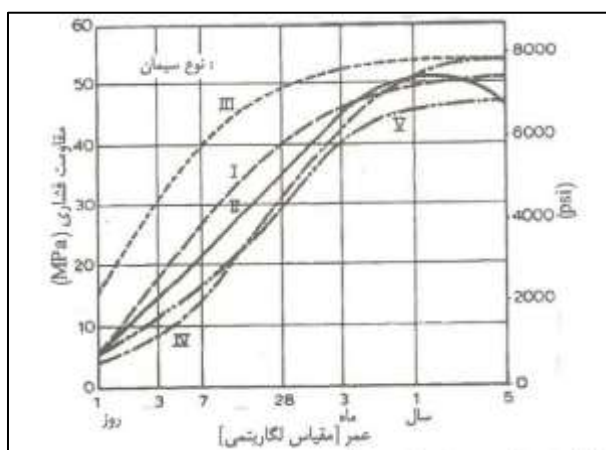
[۱]

شکل زیر نشانگر آهنگ رشد مقاومت بتن های ساخته شده با انواع سیمان را نشان می دهد. با اینکه این آهنگ ها به میزان قابل ملاحظه ای متفاوتند اختلاف کمی بین مقاومت ۹۰ روزه انواع سیمان وجود دارد در بعضی موارد مانند شکل بعدی این اختلاف ها بیشترند. نظر کلی آن است که سیمان هایی با آهنگ سخت شدن کم، دارای مقاومت نهایی اندکی بیشتر هستند. کاهش مقاومت بتن سخت شده با سیمان نوع II، مشخصه این نوع سیمان نمی باشد. الگوی مقاومت اولیه کم و مقاومت نهایی زیاد، با تاثیر چارچوب اولیه خمیر سیمان سخت شده بر کسب مقاومت نهایی مطابقت می کند. هر چه این چارچوب کندتر ایجاد گردد، ژل متراکم تر و مقاومت نهایی بیشتر می شود. به هر حال فقط در مراحل اولیه هیدراته شدن، اختلاف فاحش در خواص فیزیکی انواع مختلف سیمان، مشاهده می شود. در خمیرهای کاملاً هیدراته، اختلافات فقط جزئی خواهند بود. [۵]

شکل ۵، تغییرات مقاومت فشاری بتن را بر حسب سن برای پنج نوع سیمان پرتلند بر اساس تقسیم بندی ASTM ارائه می دهد. همه منحنی ها تقریباً در سن سه ماهه (۹۰ روزه) همدیگر را قطع می کنند. بتن ساخته شده با سیمان زودگیر (نوع III) در سنین تا سه ماهه نسبتاً مقاومت بالایی را دارا است ولی پس از آن اندکی کمتر از بتن ساخته شده با سیمان معمولی (تیپ I) و به میزان قابل ملاحظه ای کمتر از مقاومت بتن ساخته شده با سیمان اصلاح شده (نوع II) یا کم حرارت (نوع IV) یا سیمان ضد سولفات (نوع V) است. [۳]



شکل ۲- رشد مقاومت بتن های حاوی ۳۳۵ کیلوگرم سیمان در مترمکعب و ساخته شده با انواع سیمان مختلف [۳] و [۵]



شکل ۳- رشد مقاومت بتن هایی با نسبت آب به سیمان ۰/۴۹ ساخته شده با انواع سیمان مختلف [۵]

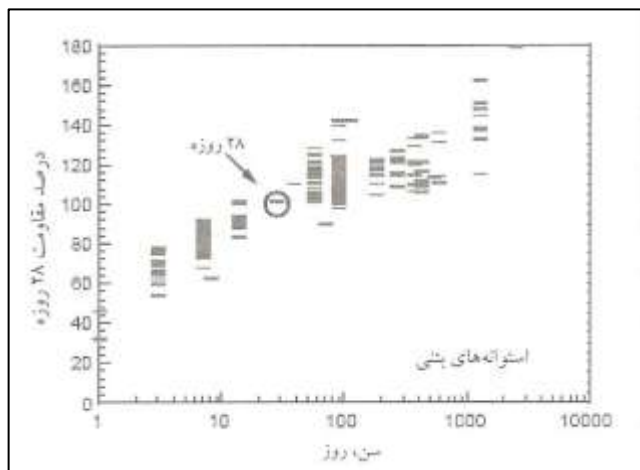
روند کسب مقاومت بتن هایی که با شرایط یکسان، ولی با انواع مختلف سیمان پرتلند ساخته می شوند، یکسان نیست. ولی در عین حال، مقاومت ۹۰ روزه تمامی آنها با یکدیگر برابر بوده و مساوی ۱/۲ برابر مقاومت نمونه ۲۸ روزه ای است که با سیمان نوع یک ساخته شده است. در صورت استفاده از انواع سیمان پرتلند استاندارد می توان با اجازه دستگاه نظارت، مقاومت های فشاری مشخصه موردانتظار را با استفاده از جدول زیر به دست آورد [۸]

یکی از موضوعات مورد بررسی در این تحقیق بررسی جامعیت جدول زیر می باشد.

جدول ۳- تاثیر نوع سیمان و سن بتن بر روی مقاومت فشاری نسبی بتن [۸]

مقاومت فشاری بتن (به صورت نسبی)				نوع سیمان
۹۰ روزه	۲۸ روزه	۷ روزه	۱ روزه	
۱/۲۰	۱/۰۰	۰/۶۶	۰/۳۰	سیمان نوع I
۱/۲۰	۰/۹۰	۰/۵۶	۰/۲۳	سیمان نوع II
۱/۲۰	۱/۱۰	۰/۷۹	۰/۵۷	سیمان نوع III
۱/۲۰	۰/۷۵	۰/۴۳	۰/۱۷	سیمان نوع IV
۱/۲۰	۰/۸۵	۰/۵۰	۰/۲۰	سیمان نوع V

نوع سیمان و شرایط عمل آوری به عنوان دو عامل مهم در میزان کسب مقاومت مورد انتظار تاثیر گذارند. بر اساس رابطه مایندس و یونگ^۱، نسبت مقاومت فشاری ۲۸ روزه و ۷ روزه بین ۱/۳ و ۱/۷ است و معمولاً از ۱/۵ کمتر است و مقاومت ۷ روزه معمولاً بین ۶۰٪ تا ۷۵٪ از مقاومت ۲۸ روزه است. معمولاً بالای ۶۵٪ از نمونه های استوانه ای در $139 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$ (یعنی ۶۶٪ از مقاومت مشخصه $210 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$) شکسته می شوند و بر اساس قانون مایندس و یونگ، این نمونه ها باید مقاومت مشخصه سن ۲۸ روزه را بدست بیاورد [۹]. مقاومت هفت روزه اغلب در حدود ۷۵٪ مقاومت ۲۸ روزه تخمین زده می شود و مقاومت های ۵۶ روزه و ۹۰ روزه در حدود ۱۰ تا ۱۵٪ از مقاومت ۲۸ روزه بیشترند. [۴]

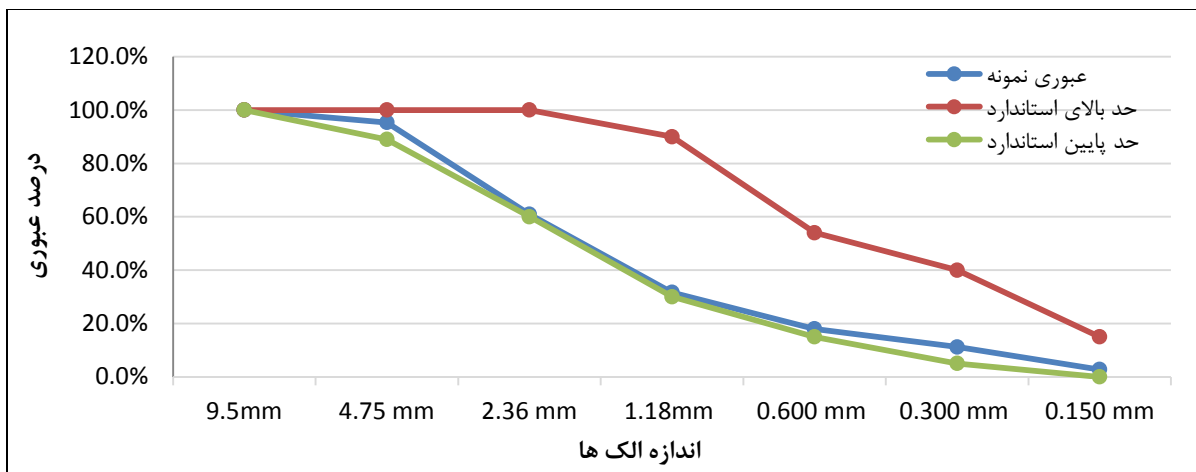


شکل ۴- رشد مقاومت فشاری بتن های مختلف به صورت درصد مقاومت ۲۸ روزه [۱۰]

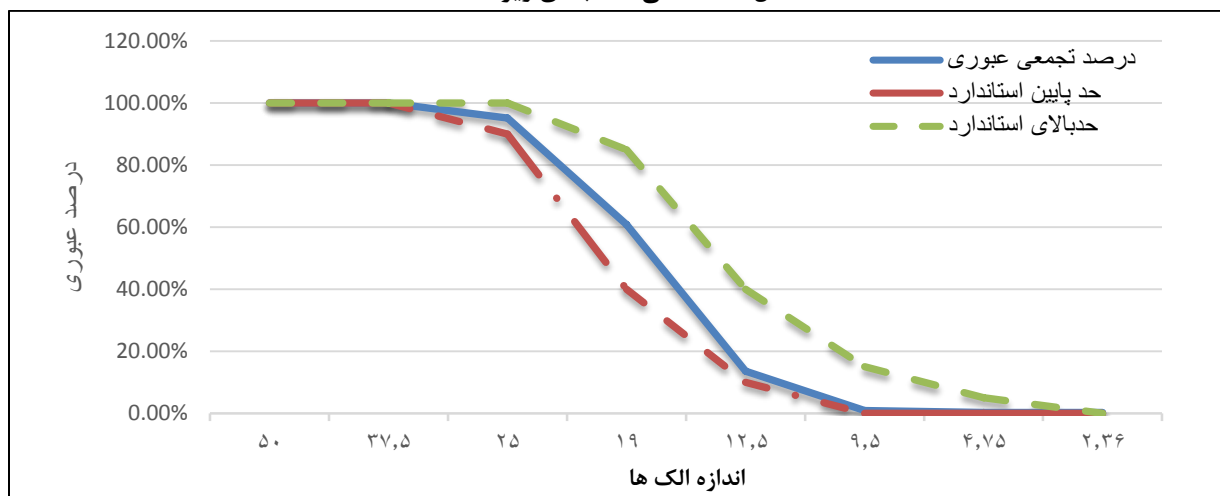
۵- برنامه آزمایشگاهی

به منظور بررسی روند کسب مقاومت بتن های ساخته شده با سیمان های مختلف در آزمایشگاه پاکدشت بتن به عنوان آزمایشگاه مرجع سازمان ملی استاندارد، اقدامات زیر طراحی و صورت گرفته است:
تعداد ۱۹ نمونه سیمان نوع ۴۲۵-۱ محصول ۵ کارخانه و ۴۳ نمونه سیمان نوع ۲ محصول ۹ کارخانه بعنوان پرمصرف ترین سیمان های کشور ایران در فواصل زمانی متفاوت تهیه شد. لازم به ذکر است تمامی نمونه ها دارای پروانه کاربرد استاندارد بودند. مشخصات سنگدانه های درشت و ریز مورد مصرف در ساخت نمونه ها در نمودار زیر آمده است:

¹ Mindness & Young



شکل ۵- منحنی دانه بندی ریزدانه



شکل ۶- نمودار دانه بندی سنگدانه درشت

جدول ۳- مشخصات فیزیکی سنگدانه ها

روش آزمون	سنگدانه درشت	سنگدانه ریز	مشخصه
ISIRI 4980 (سنگدانه ریز) ISIRI 4982 (سنگدانه درشت)	۲۶۰۰	۲۵۶۸	جرم مخصوص (در حالت اشباع با سطح خشک)- (Kg/m^3)
ISIRI 4980 (سنگدانه ریز) ISIRI 4982 (سنگدانه درشت)	۱/۴	۳/۰	جذب آب - (/.)
ISIRI 4978	۰/۲	۰/۲	کلوخه های رسی - (/.)
ISIRI 446	۰/۲۵	۱/۵	مواد ریزتر از الک ۷۵ میکرون - (/.)
ISIRI 11269	۲	-	دانه های سوزنی - (/.)
ISIRI 11269	۴	-	دانه های پولکی - (/.)
ISIRI 448	۹	-	سایش (لس آنجلس) - (/.)

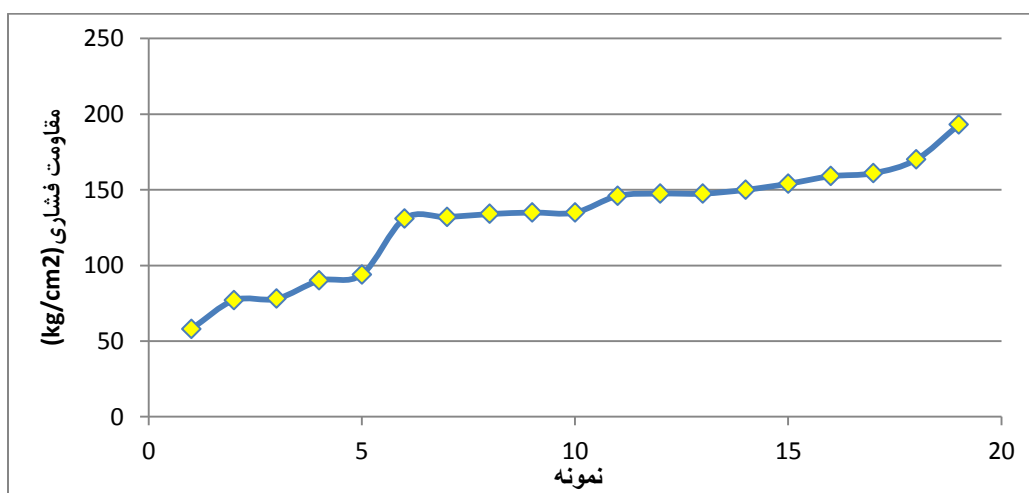
جدول ۴- مشخصات شیمیایی سنگدانه ها

مشخصه	سنگدانه ریز	سنگدانه درشت	روش آزمون
سولفات های محلول در آب-(%)	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	ISIRI 8672
کلریدهای محلول در آب-(%)	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	ISIRI 7147
سلامت سنگدانه در برابر سولفات منیزیم-(%)	۳	۱	ISIRI 449
زغال سنگ و لیگنیت-(%)	۰	۰	ISIRI 4984

بعد از تهیه مصالح مذکور و انجام آزمایش های اولیه، طرح اختلاط تمامی بتن ها طبق روش ملی طرح مخلوط بتن ایران محاسبه شد. دستورالعمل ساخت نمونه ها طبق روش استاندارد ISIRI 581 (ASTM C192) انجام شد و روانی نمونه های بتن تازه به روش اسلامپ مطابق استاندارد ISIRI 3203-2، 10 ± 80 میلی متر بوده است، زیرا در ایران بتن های بدون مواد افزودنی روان کننده، اغلب در حالت بهینه با این روانی تولید می شوند و در اینجا بررسی شرایط واقعی صنعت بتن مد نظر بوده است. نمونه گیری از بتن ها در قالب های مکعبی $15 \times 15 \times 15$ سانتی متر که متعارف ترین نوع قالب نمونه گیری در ایران می باشد طبق استاندارد ملی ISIRI 3201-1 انجام شد و نگهداری ۲۴ ساعت اول و عمل آوری غرقابی طبق استاندارد ISIRI 581 صورت گرفت و در سنین مختلف ۳ و ۷ و ۲۸ روزه نمونه ها از حوضچه ها خارج شدند و آزمون مقاومت فشاری با جک با ظرفیت ۲۰۰ تن (دارای گواهینامه کالیبراسیون معتبر) و سرعت بارگذاری طبق استاندارد ISIRI 3206 تحت آزمایش مقاومت فشاری قرار گرفتند و نتایج ذیل در نمودارهای ۱ تا ۶ حاصل گردید. مقاومت فشاری هر نمونه در هر سن، متوسط ۲ آزمون بوده است.

جدول ۵- مقاومت ۳ روزه بتن عیار $350 (Kg/cm^2)$ ساخته شده با سیمان پرتلند نوع ۱-۴۲۵
۱۹ نمونه مکعبی $(15 \times 15 \times 15 cm)$ - بر حسب (Kg/cm^2)

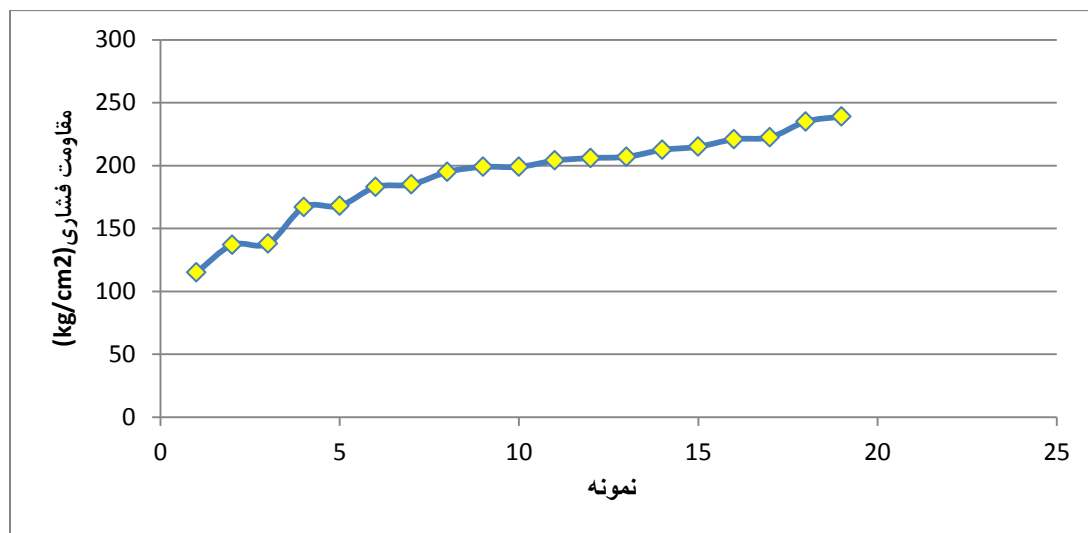
حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
۵۸	۱۹۳	۱۳۱/۱	۳۴/۷



نمودار ۱- مقاومت ۳ روزه بتن عیار $350 (Kg/cm^2)$ ساخته شده با سیمان پرتلند نوع ۱-۴۲۵
۱۹ نمونه مکعبی $(15 \times 15 \times 15 cm)$ - بر حسب (Kg/cm^2)

جدول ۶- مقاومت ۷روزه بتن عیار $350(\text{Kg}/\text{cm}^2)$ ساخته شده با سیمان پرتلند نوع ۱-۴۲۵
۱۹ نمونه مکعبی $(15 \times 15 \times 15 \text{ cm})$ بر حسب (Kg/cm^2)

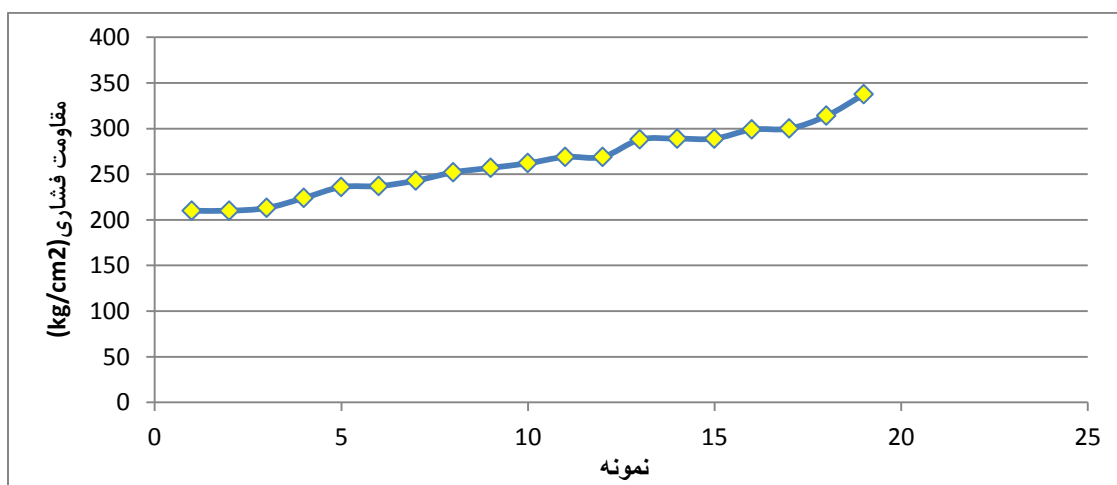
انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل
۳۳/۰	۱۹۲	۲۳۹	۱۱۵



نمودار ۲- مقاومت ۷روزه بتن عیار $350(\text{Kg}/\text{cm}^2)$ ساخته شده با سیمان پرتلند نوع ۱-۴۲۵
۱۹ نمونه مکعبی $(15 \times 15 \times 15 \text{ cm})$ بر حسب (Kg/cm^2)

جدول ۷- مقاومت ۲۸روزه بتن عیار $350(\text{Kg}/\text{cm}^2)$ ساخته شده با سیمان پرتلند نوع ۱-۴۲۵
۱۹ نمونه مکعبی $(15 \times 15 \times 15 \text{ cm})$ بر حسب (Kg/cm^2)

انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل
۳۵/۹	۲۶۳/۱	۳۳۷/۵	۲۱۰



نمودار ۳- مقاومت ۲۸روزه بتن عیار $350(\text{Kg}/\text{cm}^2)$ ساخته شده با سیمان پرتلند نوع ۱-۴۲۵
۱۹ نمونه مکعبی $(15 \times 15 \times 15 \text{ cm})$ بر حسب (Kg/cm^2)

جدول ۸- نسبت مقاومت های حاصل شده از ۱۹ نمونه بتن عیار $350 (Kg/cm^2)$ ساخته شده با سیمان پرتلند نوع ۱-۴۲۵

ویژگی	حداقل	حداکثر	میانگین
نسبت مقاومت فشاری ۳ به ۷ روزه	۰/۵۰	۰/۸۲	۰/۶۷
نسبت مقاومت فشاری ۳ به ۲۸ روزه	۰/۲۸	۰/۶۵	۰/۴۹
نسبت مقاومت فشاری ۷ به ۲۸ روزه	۰/۵۵	۰/۸۸	۰/۷۳

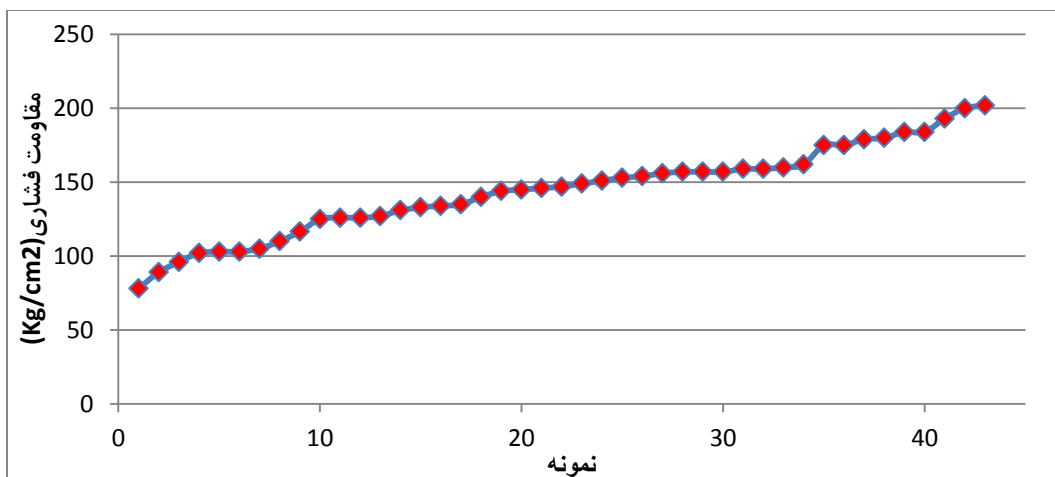
جدول ۱۰- خلاصه نتایج حاصل شده از ۱۹ نمونه بتن عیار $350 (Kg/cm^2)$ ساخته شده با سیمان پرتلند نوع ۱-۴۲۵

مقدار	ویژگی
۱۳۱/۲	میانگین مقاومت فشاری ۳ روزه
۱۹۲	میانگین مقاومت فشاری ۷ روزه
۲۶۳/۱	میانگین مقاومت فشاری ۲۸ روزه
۰/۶۸۳	نسبت میانگین مقاومت فشاری ۳ به ۷ روزه
۰/۴۹۹	نسبت میانگین مقاومت فشاری ۳ به ۲۸ روزه
۰/۷۳۰	نسبت میانگین مقاومت فشاری ۷ به ۲۸ روزه

جدول ۱۱- مقاومت ۳ روزه بتن عیار $350 (Kg/cm^2)$ ساخته شده با سیمان پرتلند نوع ۲

۴۳ نمونه مکعبی $(15 \times 15 \times 15 \text{ cm})$ - بر حسب (Kg/cm^2)

حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
۷۸	۲۰۲	۱۴۴/۴	۳۰/۱

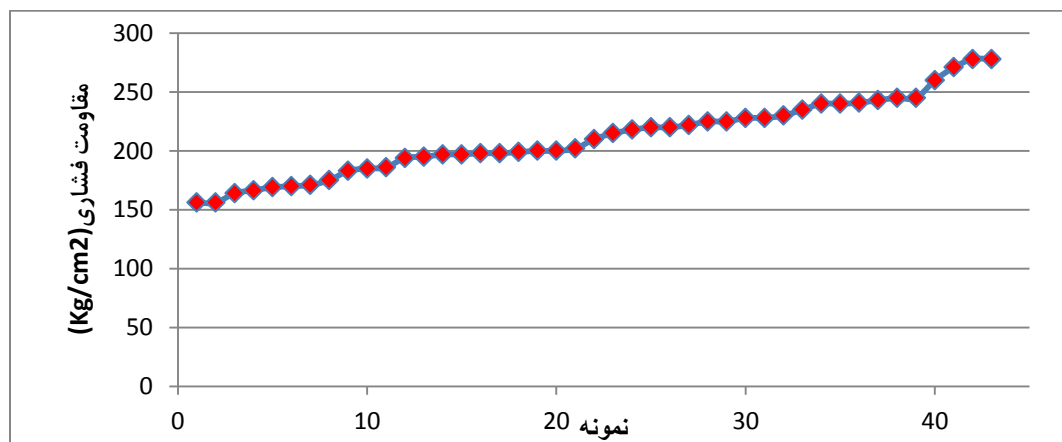


نمودار ۴- مقاومت ۳ روزه بتن عیار $350 (Kg/cm^2)$ ساخته شده با سیمان پرتلند نوع ۲

۴۳ نمونه مکعبی $(15 \times 15 \times 15 \text{ cm})$ - بر حسب (Kg/cm^2)

جدول ۱۲- مقاومت ۷روزه بتن عیار $350 (Kg/cm^2)$ ساخته شده با سیمان پرتلند نوع ۲
 ۴۳ نمونه مکعبی $(15 \times 15 \times 15 cm)$ - بر حسب (Kg/cm^2)

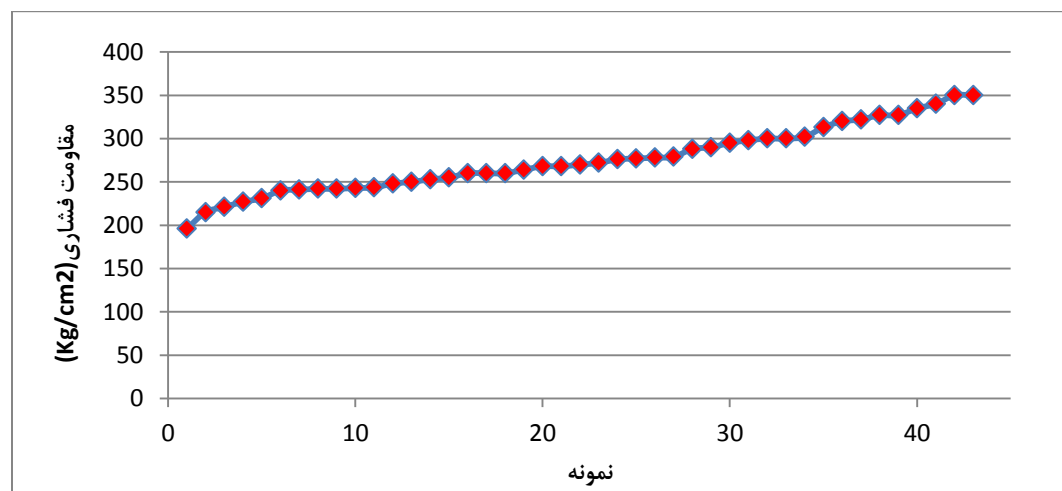
انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل
۳۲/۲	۲۱۱/۱	۲۷۸	۱۵۶



نمودار ۵- مقاومت ۷روزه بتن عیار $350 (Kg/cm^2)$ ساخته شده با سیمان پرتلند نوع ۲
 ۴۳ نمونه مکعبی $(15 \times 15 \times 15 cm)$ - بر حسب (Kg/cm^2)

جدول ۱۳- مقاومت ۲۸روزه بتن عیار $350 (Kg/cm^2)$ ساخته شده با سیمان پرتلند نوع ۲
 ۴۳ نمونه مکعبی $(15 \times 15 \times 15 cm)$ - بر حسب (Kg/cm^2)

انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل
۳۷/۹	۲۷۵/۳	۳۵۰	۱۹۶



نمودار ۶- مقاومت ۲۸روزه بتن عیار $350 (Kg/cm^2)$ ساخته شده با سیمان پرتلند نوع ۲
 ۴۳ نمونه مکعبی $(15 \times 15 \times 15 cm)$ - بر حسب (Kg/cm^2)

جدول ۱۴- نسبت مقاومت های حاصل شده از ۴۳ نمونه بتن عیار (Kg/cm^2) ۳۵۰ ساخته شده با سیمان پرتلند نوع ۲

ویژگی	حداقل	حداکثر	میانگین
نسبت مقاومت فشاری ۳ به ۷ روزه	۰/۳۹	۰/۹۲	۰/۶۸
نسبت مقاومت فشاری ۳ به ۲۸ روزه	۰/۳۱	۰/۷۲	۰/۵۲
نسبت مقاومت فشاری ۷ به ۲۸ روزه	۰/۵۹	۰/۹۷	۰/۸۰

جدول ۱۵- خلاصه نتایج حاصله از ۴۳ نمونه بتن عیار (Kg/cm^2) ۳۵۰ ساخته شده با سیمان پرتلند نوع ۲

مقدار	ویژگی
۱۴۴/۴	میانگین مقاومت فشاری ۳ روزه
۲۱۱/۱	میانگین مقاومت فشاری ۷ روزه
۲۷۵/۳	میانگین مقاومت فشاری ۲۸ روزه
۰/۶۸۴	نسبت میانگین مقاومت فشاری ۳ به ۷ روزه
۰/۵۲۴	نسبت میانگین مقاومت فشاری ۳ به ۲۸ روزه
۰/۶۷۶	نسبت میانگین مقاومت فشاری ۷ به ۲۸ روزه

جدول ۱۶- تاثیر نوع سیمان و سن بتن بر روی مقاومت فشاری نسبی بتن با توجه نتایج آزمایش ها

نوع سیمان	نوع نسبت	۳ روزه	۷ روزه	۲۸ روزه
سیمان پرتلند نوع ۲	نسبت به ۲۸ روزه نوع ۱-۴۲۵	۰/۵۰	۰/۷۳	۱
	نسبت به ۲۸ روزه نوع ۱-۴۲۵	۰/۵۵	۰/۸۰	۱/۰۵
	نسبت به ۲۸ روزه نوع ۲	۰/۵۲	۰/۷۷	۱

۶- نتیجه گیری

با توجه به مطالب ذکر شده و نمودارهای حاصل تحقیق چنین بنظر می رسد که ارائه نسبت های رشد مقاومت بتن در سنین مختلف و برقراری رابطه الزام آور بین روند رشد مقاومت بتن ساخته شده با سیمان های مختلف، موضوع صحیحی نمی باشد زیرا هر قانونی با ارائه حتی یک مثال نقض مردود می شود و در اینجا همانطور که مشاهده می شود جدول الزام آور شماره ۳ موجود در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان در این تحقیق نقض شده و منابع بین المللی هم که به این موضوع اشاره کرده اند صرفاً بعنوان بررسی موردی جهت کاربرد مقایسه ای و درک مطلب نمودارهایی ارائه داده اند و به هیچ وجه الزام و یا قانون تعیین نکرده اند. ضمناً از جدول مقررات ملی بر می آید که تحقیقات اصلی برای سیمان های منطبق بر استاندارد آمریکا انجام و ارائه شده است و الزاماً در ایران صحیح نمی باشد. در ضمن باید توجه داشت که در جداول ۹ و ۱۱ مقادیر حداقل و حداکثر نسبت ها در سنین مختلف لزوماً مربوط به یک نمونه نمی باشد، به این معنی که نمونه ای که نسبت مقاومت فشاری ۳ به ۲۸ روزه آن کمینه می باشد لزوماً نسبت مقاومت فشاری ۷ به ۲۸ روزه یا مقاومت فشاری ۳ به ۷ روزه آن کمینه نیست.

در ایران نیز به هیچ وجه نمی توان برای نسبت های رشد مقاومت بتن ساخته شده با یک نوع خاص سیمان و یا نسبت رشد مقاومت بتن های ساخته شده با انواع مختلف سیمان (در نسبت آب به سیمان برابر و یا روانی برابر) نسبت به یکدیگر قانون وضع کرد. هم چنین باید گفت که چنانچه عیار سیمان، توزیع دانه بندی سیمان، روانی یا نسبت آب به سیمان و حتی دمای ساخت بتن تغییر نماید این نسبت ها مسلماً تغییر خواهد کرد. در تحقیقات بعدی که به تدریج منتشر خواهد گردید موارد مذکور در خصوص تغییرات عیارسیمان، روانی یا نسبت آب به سیمان و سایر پارامترها مد نظر قرار خواهد گرفت و به بررسی شیمیایی و فیزیکی سیمان های مختلف و ارتباط آن با فاکتورهای مهم بتن تازه و سخت شده خواهیم پرداخت.

۹-مراجع

- [۱] پ. مهتا ; ج. مونته ئیرو، "ریزساختار، خواص و اجزای بتن (تکنولوژی بتن پیشرفته)", مترجمین (رضانیانپور و همکاران) انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، (۱۳۸۳).
- [۲] "اثین نامه بتن ایران (آبا)", معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، ۱۳۸۸.
- [۳] وادل; دوبروولسکی، "دستنامه اجرای بتن", مترجمین (رضانیانپور و همکاران) انتشارات علم و ادب، ۱۳۸۰.
- [۴] انجمن سیمان پرتلند; انجمن سیمان کانادا. "طراحی و کنترل مخلوط های بتنی", مترجم (اردشیر اطمیایی)، انتشارات جویبار، ۱۳۸۹.
- [۵] نویل، آدام، "ویژگی های بتن", مترجم (فامیلی، هرمز)، انتشارات ندای آریانا، ۱۳۹۱.
- [6] V.C.Johansen, P.C.Taylor; P. D.Tennis, Effect of Cement Characteristics on Concrete Properties, Portland Cement Association, 2006.
- [۷] ویژگی های سیمان پرتلند (ISIRI 389), سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۷۱.
- [۸] مقررات ملی ساختمان ایران. مبحث نهم. طرح و اجرای ساختمان های بتن آرمه. وزارت راه و شهرسازی، معاونت مسکن و شهرسازی، ویرایش چهارم، ۱۳۹۲.
- [9] "Concrete Construction," October 1994. [Online]. Available: http://www.concreteconstruction.net/how-to/relationship-between-seven-and-28-day-strengths_o.
- [10] D. A. Lange, "Long-term Strength Development of Concrete", Portland Cement Association, 1994.
- [11] S. M. Dehayes, "Concrete Strengths: A Preliminary Investigation" Proceedings of the Twelfth International Conference on Cement Microscopy, Duncanville, Texas, USA., 1990.
- [12] R. Gaynor, "Cement Strength and Concrete Strength "An Apparition or a Dichotomy ?" Cement, Concrete and Aggregates, 1993.
- [13] W. Weaver, H. Isabelle ; F. Williamson, "A Study of Cement and Concrete Correlation," Journal of Testing and Evaluation, Vol.2, pp. 260-303, 1974.