١٠٨٧٥٢

۸۷/۱/۱۰۰۲۳۵
۸۷/۱۰/۲

دانشگاه بین المللی امام خمینی
IMAM KHOMEINI INTERNATIONAL UNIVERSITY

دانشکده فنی و مهندسی

گروه عمران

مطالعه تاثیر نوع سیمان و نوع الیاف(فولادی و شیمیایی) بر نتایج بدست آمده از روش پیچش برای تعیین مقاومت درجای بتن

نگارش: علیرضا اسماعیلی

استاد راهنما: آقای دکترمحمود نادری

۱۳۸۷ /۹/ ۲۴

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی عمران- سازه

۱۳۸۷ /۹/ ۲۴

آبان ۱۳۸۷

۱۰۸۷۰۲

عنوان:

مطالعه تاثیر نوع سیمان و نوع الیاف (فولادی و شیمیایی) بر نتایج بدست آمده از روش پیچش برای تعیین مقاومت در جای بتن

نگارش:

علیرضا اسماعیلی

استاد راهنما:

آقای دکتر محمود نادری

بسمه تعالی

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)

صورت جلسه دفاع از پایان‌نامه

جلسه دفاع از پایان‌نامه آقای علیرضا اسماعیلی دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش سازه در روز ۲۵/ ۸ /۱۳۸۷ در محل آمفی تئاتر دانشکده علوم دانشگاه امام خمینی(ره) برگزار گردید و این پایان‌نامه مورد تایید نهایی هیئت داوران قرار گرفت.

درجه: عالی نمره: ۲۰ بیست

۱- استاد راهنما : **آقای دکتر محمود نادری**

عضو هیئت علمی دانشگاه امام خمینی (ره)

۲- داور خارجی : **آقای دکتر حسن صادقی**

عضو هیئت علمی دانشگاه امام حسین (ع)

۳- داور داخلی : **خانم دکتر فرزانه حامدی**

عضو هیئت علمی دانشگاه امام خمینی (ره)

٤- نماینده تحصیلات تکمیلی : **آقای دکتر قاسمعلی گروسی**

عضو هیئت علمی دانشگاه امام خمینی (ره)

چکیده:

بتن ساخته شده از سیمان هیدرولیکی، آب، شن و ماسه و الیاف مجزا، بتن الیافی نامیده می شود. در بتن های الیافی، مانند بتن معمولی، می توان از پوزولان ها و دیگر مواد مضاف استفاده کرد. الیاف در شکل ها و اندازه های متفاوت، و از جنس فولاد، شیشه، پلی پروپیلین، کربن، نایلون، کولار،کنف، بامبو و ... مورد استفاده قرار می گیرد. به طور کلی، هنگامی که از بتن های الیافی، برای کاربرد های سازه ای استفاده می شود، نقش آن باید به صورت یک نقش مکمل باشد. تا در نتیجه استفاده از آن، از ترک خوردگی جلوگیری شود، مقاومت بتن در مقابل ضربه و انفجار یا بارگذاری دینامیکی بهبود یابد، و از تخریب و از هم پاشیدگی مصالح جلوگیری شود. در مواردی که وجود آرماتور یکسره از نظر پایداری و ایمنی سازه ضروری نیست، برای مثال، در پیاده روها، روکشها، و روکش های بتن پاشی شده، الیاف به کار برده شده برای بهبود مقاومت خمشی، موجب کاهش ضخامت قابل توجه مقطع و بهبود عملکرد می شود. نمونه های استفاده از بتن الیافی در باند فرودگاه ها، تاسیسات تصفیه فاضلاب و بتن بدون جمع شدگی و مقاوم در برابر تخریب ناشی از انفجار و ضربه برای ساخت ایستگاه های راکتورها، زلال سازها، افزودنی های قوام آور، مخازن هضم، و ایستگاه های پمپاژ، به وفور یافت می شود. استفاده از الیاف، طاقت بتن را افزایش می دهد و تعداد و بعد ترکها را کم می کند. در نتیجه، کاهش ترکهای ناشی از جمع شدگی و ترکهای حرارتی را سبب می شود و نفوذپذیری بتن را پایین آورده و خوردگی بتن کمتر می شود.

معین نبودن خواص و رفتار مواد در شرایط خدمت، به تغییر شرایط اجرا، عمل آوری و عمر مفید سازه مرتبط می باشد. با توجه به ارزیابی تمامی این اطلاعات به طور کمی، توزیع تصادفی نتایج اجتناب ناپذیر است. نظر به اینکه اطلاعات کامل درباره توزیع آماری تمامی پارامترها در دسترس نمی باشد، انجام آزمون هایی جهت ارزیابی مقاومت بتن در محل از اهمیت خاصی برخوردار است. از جمله آزمون های نیمه مخرب، روش" پیچش[1] " می باشد. این روش دارای کاربری وسیع در تعیین مقاومت انواع بتن هم در آزمایشگاه و هم در محل می باشد. همچنین به عنوان روشی سریع، دقیق و کم هزینه با خرابی جزئی، می تواند پاسخگوی انجام آزمایش جهت ارزیابی مقاومت انواع بتن در محل و آزمایشگاه باشد.

هدف از تدوین این پایان نامه مطالعه تاثیر نوع سیمان و نوع الیاف(فولادی و شیمیایی) بر نتایج بدست آمده از روش پیچش برای تعیین مقاومت درجای بتن می باشد. برای ارائه نمودارهای کالیبراسیون مربوطه، مشخصه های مقاومت فشاری و مدول گسیختگی در مقابل نتایج بدست آمده از روش پیچش در نمودارهای مربوط به انواع بتن های ساخته شده در آزمایشگاه ترسیم شده اند. مطالعه این آزمون ها نشان می دهد که یک همبستگی شدید خطی میان مقاومت فشاری و مدول گسیختگی بتن الیافی با نتایج حاصل از انجام آزمون پیچش برقرار است.

کلمات کلیدی: بتن، الیاف، مقاومت، درجا، پیچش، مدول گسیختگی.

[1] Twist-Off

باسپاس از

الطاف بیکران حق تعالی

زحمات استاد راهنمای گرامی آقای دکتر نادری

حمایتهای بی دریغ پدر و مادر عزیزم و همسر مهربانم

و یاری تمام دوستان و همکلاسی هایم

تقدیم به

اساتید محترم دوره کارشناسی ارشدم

آقای دکتر نادری و خانم دکتر حامدی

فهرست مطالب

عنوان — صفحه

مقدمه ۱

فصل اول: رفتار مصالح بتن ۵

۱-۱ کلیات و اهمیت ۶
۱-۲ خواص مصالح بتن در ارتباط با مقاومت آن ۶
۱-۲-۱ سیمان ۷
۱-۲-۱-۱ ترکیبات شیمیایی سیمان پرتلند ۷
۱-۲-۱-۲ انواع سیمان ها ۱۰
۱-۲-۱ سنگدانه ۱۹
۱-۲-۲-۱ تاثیر شکل و بافت سنگدانه ها ۲۰
۱-۲-۲-۲ تاثیر مقاومت فشاری سنگدانه ها ۲۱
۱-۲-۲-۳ تاثیر توزیع اندازه دانه ها ۲۳
۱-۲-۲-۴ سایر خواص مکانیکی سنگدانه ها ۲۳
۱-۲-۳ فضاهای خالی ۲۳
۱-۳ خواص مکانیکی بتن سخت شده ۲۴

فصل دوم: بتن الیافی ۲۷

۲-۱ تاریخچه ۲۸
۲-۲ تعریف و اهمیت ۲۹
۲-۳ مکانیزم بهبود رفتار و افزایش طاقت ۳۰
۲-۴ ویژگیهای معرف الیاف مورد استفاده در بتن ۳۲
۲-۵ خواص و دوام بتن الیافی ۳۸
۲-۵-۱ خواص و دوام بتن مسلح به الیاف فولادی ۳۸
۲-۵-۲ خواص و دوام بتن مسلح به الیاف شیشه ۴۹
۲-۵-۳ خواص و دوام بتن مسلح به الیاف پلیمری ۵۲
۲-۶ تولید بتن الیافی ۵۸
۲-۶-۱ طرح اختلاط بتن الیافی ۵۸
۲-۶-۲ روش تولید بتن الیافی ۶۷
۲-۷ آزمایش های بتن الیافی ۶۹
۲-۷-۱ کارآیی ۶۹
۲-۷ کاربرد های بتن الیافی ۷۰

فصل سوم: روشهای آزمایشگاهی و تاثیر شرایط آزمون در تعیین مقاومت ۷۴

۳-۱ کلیات ۷۵
۳-۲ آزمون نمونه های فشاری استاندارد ۷۵
۳-۲-۱ خلاصه آزمون نمونه مکعبی ۷۶
۳-۲-۲ مکانیزم شکست نمونه های فشاری ۷۷
۳-۳ تاثیر شرایط آزمون بر تعیین مقاومت بتن ۷۹
۳-۳-۱ اثر اجزا ماشین فشار ۷۹
۳-۳-۲ تاثیر آهنگ بارگذاری ۸۱
۳-۳-۳ تاثیر وضعیت رطوبت و دما در حین انجام آزمایش ۸۲
۳-۳-۴ اثر اندازه نمونه بتنی مورد آزمایش ۸۳
۳-۴ آزمایش های مقاومت در کشش ۸۴
۳-۴-۱ آزمایش های مقاومت خمشی ۸۵

فصل چهارم: روش های تعیین مقاومت درجای بتن ۹۰

۴-۱ کلیات ۹۱
۴-۲ آزمون های غیر مخرب ۹۱
۴-۲-۱ آزمایش چکش اشمیت ۹۳
۴-۲-۲ آزمایش سرعت امواج اولتراسونیک ۹۶
۴-۲-۳ روش پتانسیل الکتریکی Half-Cell ۹۸
۴-۲-۴ روش تکامل یافتگی بتن ۱۰۰
۴-۳ آزمون های نیمه مخرب ۱۰۲
۴-۳-۱ مقاومت در برابر نفوذ میله ۱۰۲
۴-۳-۲ آزمایش بیرون کشیدن ۱۰۶
۴-۳-۳ آزمایش کشیدن از سطح ۱۰۸
۴-۳-۴ روش انتقال اصطکاک ۱۱۰
۴-۳-۴ روش پیچش ۱۱۲
۴-۴ آزمون های مخرب ۱۱۷
۴-۴-۱ روش مغزه گیری ۱۱۷

فصل پنجم: برنامه ریزی برای مطالعه و انجام آزمایشات ۱۲۰

۵-۱ برنامه ریزی برای مطالعه ۱۲۱
۵-۲ انجام آزمایشات ۱۲۲
۵-۲-۱ تهیه مصالح ۱۲۲
۵-۲-۱-۱ آب ۱۲۲
۵-۲-۱-۲ سیمان ۱۲۳
۵-۲-۱-۳ فوق روان کننده ۱۲۳
۵-۲-۱-۴ سنگدانه و مشخصات آن ۱۲۳
۵-۲-۱-۵ الیاف ۱۲۷

۵-۲-۱-۶ چسب اپوکسی و استوانه مورد استفاده در آزمون پیچش ۱۲۹
۵-۲-۲ طرح اختلاط بتن مورد استفاده در ساخت نمونه ها ۱۲۹
۵-۲-۳ آماده سازی نمونه ها ۱۳۰
۵-۲-۴ تعیین مقاومت فشاری نمونه های مکعبی $۱۵^{cm}\times۱۵^{cm}\times۱۵^{cm}$ ۱۳۳
۵-۲-۵ تعیین مقاومت خمشی و مدول گسیختگی تیرهای $۷۰^{cm}\times۱۰^{cm}\times۱۰^{cm}$ ۱۳۵
۵-۲-۵-۱ مکانیزم شکست تیرها در بارگذاری دو نقطه ای ۱۳۶
۵-۲-۵ تعیین مقاومت پیچشی نهایی با استفاده ار آزمون پیچش ۱۳۹

فصل ششم: ارائه نتایج و تحلیل آنها ۱۴۲
۶-۱ کلیات ۱۴۳
۶-۲ ارائه و بررسی نتایج آزمون "پیچش" بر روی نمونه های مکعب و تیر ۱۴۳
۶-۲-۱ نتایج حاصل برای بتن مسلح به الیاف پلی پروپیلین با سیمان پوزولانی(۲٪ حجمی الیاف و حداکثر قطر سنگدانه ۱۹ میلیمتر) ۱۴۵
۶-۲-۲ نتایج حاصل برای بتن مسلح به الیاف پلی پروپیلین با سیمان تیپ II(۲٪ حجمی الیاف و حداکثر قطر سنگدانه ۱۹ میلیمتر) ۱۵۰
۶-۲-۳ نتایج حاصل برای بتن مسلح به الیاف شیشه با سیمان پوزولانی(۲٪ حجمی الیاف و حداکثر قطر سنگدانه ۱۹ میلیمتر) ۱۵۵
۶-۲-۴ نتایج حاصل برای بتن مسلح به الیاف شیشه با سیمان تیپ II(۲٪ حجمی الیاف و حداکثر قطر سنگدانه ۱۹ میلیمتر) ۱۶۰
۶-۲-۵ نتایج حاصل برای بتن مسلح به الیاف فولادی با سیمان تیپ II(۲٪ حجمی الیاف و حداکثر قطر سنگدانه ۱۹ میلیمتر) ۱۶۵
۶-۲-۶ نتایج حاصل برای بتن معمولی با سیمان پوزولانی(حداکثر قطر سنگدانه ۱۹ میلیمتر) ۱۷۰
۶-۲-۷ نتایج حاصل برای بتن معمولی با سیمان تیپ II(حداکثر قطر سنگدانه ۱۹ میلیمتر) ۱۷۴
۶-۲-۸ جمع بندی و تحلیل نتایج ۱۷۹
۶-۳ مدلسازی و تحلیل غیرخطی آزمون پیچش با استفاده از نرم افزار اجزا محدود ABAQUS/CAE 6.9 ..... ۱۹۶
۶-۳-۱ مدلسازی قطعات آزمون پیچش ۱۹۶
۶-۳-۲ معرفی مواد و مشخصات مکانیکی آنها ۱۹۷
۶-۳-۳ بارگذاری و اعمال شرایط مرزی ۱۹۹
۶-۳-۴ مش بندی مدل و نوع المان های در نظر گرفته شده ۲۰۰
۶-۳-۵ انجام تحلیل و تفسیر نتایج ۲۰۱
۶-۳-۶ مقایسه نتایج حاصل با نتایج لوخینزهنگ در مطالعه لغزش آرماتور از بتن ۲۰۹

فصل هفتم: نتیجه گیری ۲۱۱
توصیه و پیشنهاد برای ادامه کار ۲۱۶
فهرست منابع و ماخذ ۲۱۷
چکیده انگلیسی ۲۲۱

مقدمه

روش های آزمایشگاهی تعیین مقاومت بتن، تنها کیفیت مصالح مورد استفاده در تهیه بتن را کنترل می نماید و ارزیابی مناسبی از روند کسب مقاومت بتن در سازه و کنترل استانداردهای پس از ساخت ارائه نمی نمایند. بنابراین ضرورت نیاز به انجام آزمون های تعیین مقاومت بتن در محل سرویس دهی سازه (آزمونهای درجا) به همراه کنترل کیفیت مصالح مصرفی اجتناب ناپذیر می باشد. همچنین در بسیاری از موارد تعیین مقاومت بتن، پس از ساخت نیازی مبرم احساس می گردد. مواردی همچون تغییر در کاربری سازه (تغییر در بار وارده)، نامطلوب بودن شرایط اجرا، آسیب دیدگی سازه از جمله مواردی است که تعیین مقاومت بتن در سازه را اجتناب ناپذیر می سازد. از سوی دیگر تعیین مقاومت بتن جهت تصمیم گیری در انجام تقویت، مقاوم سازی، ارزیابی و تعمیر سازه ها دارای اهمیت بسیار زیادی می باشد. در این خصوص اهمیت تعیین مقاومت بتن در سازه به حدی است که می تواند به دلیل عدم شناخت کافی از روش ها، منجر به اتلاف سرمایه ملی شود. زیرا امکان دارد مقاومت سازه ای در حد قابل قبول باشد اما تصمیم به تخریب آن گرفته شود یا بلعکس. نمونه های استفاده از بتن الیافی در باند فرودگاه ها، تاسیسات تصفیه فاضلاب و بتن بدون جمع شدگی و مقاوم در برابر تخریب ناشی از انفجار و ضربه برای ساخت ایستگاه های راکتورها، زلال سازها، افزودنی های قوام آور، مخازن هضم، و ایستگاه های پمپاژ، به وفور یافت می شود. حساس بودن محل های کاربرد بتن الیافی، اهمیت اطلاع از مقاومت بتن الیافی در خدمت را بیشتر جلوه گر می سازد.

روش های متعددی جهت آزمایش بتن در محل ابداع شده که به طور کلی به سه گروه مخرب، نیمه مخرب و غیر مخرب تقسیم می گردد.

روش مخرب قابل اطمینان ترین روش جهت تخمین مقاومت در سازه می باشد که شامل برداشتن قسمتی از بتن به وسیله مغزه گیری و آزمایش آن در آزمایشگاه و در شرایط استاندارد می باشد. معایب اصلی این روش خسارت قابل توجه وارده به سازه، هزینه بالا و قابلیت تکرار محدود آن می باشد .

روش های غیر مخرب مانند آزمون سرعت عبور امواج مافوق صوت، آزمون رادار وچکش ارتجاعی، می توانند بدون حضور نیروهای مخرب، برخی از ویژگیهای بتن مانند تغییر در خواص مصالح را نسبت به زمان با تکرار آزمایش بر روی نمونه ای معین ، اندازه گیری نمایند .

روش های نیمه مخرب مانند روش کشیدن از سطح، بیرون کشیدن، انتقال اصطکاک و .... می توانند با ایجاد خرابی کم نتایج با ارزشی از مقاومت فشاری بتن و با استفاده از منحنی های کالیبراسیون ارائه نمایند. آسیب حاصل از انجام این آزمونها کم و به سادگی قابل ترمیم می باشد.

روش پیچش که در قلمرو آزمونهای نیمه مخرب محسوب می گردد، روشی سریع، دقیق، کم هزینه و با کاربری وسیع در تعیین مقاومت بتن می باشد. آزمایش های وسیعی که در خصوص این روش صورت گرفته نشان می دهد از این روش می توان به خوبی در زمینه های تعیین مقاومت بتن، تعیین روند کسب مقاومت بتن، ارزیابی سازه های موجود، تعیین زمان حمل قطعات پیش ساخته، تعیین زمان اعمال نیروی پیش تنیدگی و ... استفاده نمود. خرابی حاصل از این روش جزئی بوده و از دقت بالاتری نسبت به سایر آزمونهای مشابه برخوردار است. حساس بودن کاربری محل های ساخته شده با بتن الیافی، اهمیت استفاده از روش های غیر مخرب یا نیمه مخرب نظیر آزمون پیچش برای تعیین مقاومت بتن الیافی در خدمت را پر اهمیت می کند.

لذا مطالب این پایان نامه با هدف ارائه منحنی های کالیبراسیون روش پیچش با استفاده از آزمون های آزمایشگاهی جهت تعیین مقاومت در جای بتن الیافی، و بررسی تاثیر نوع سیمان و نوع الیاف

بر نتایج حاصل از روش پیچش تدوین گردیده است. بدین منظور پنج نوع بتن الیافی با دو نوع بتن معمولی در گستره مقاومت MPa ۱۴ الی MPa ۶۱ مطالعه گردیده است. برای مطالعه تاثیر نوع سیمان و نوع الیاف، از دو نوع سیمان پوزولانی و سیمان تیپ II و سه نوع الیاف فولادی، الیاف شیشه و الیاف پلی پروپیلین استفاده شده و نتایج بدست آمده از بتن های الیافی مذکور، با بتن معمولی با سیمان پوزولانی و تیپ II مقایسه گردیده است. لازم به توضیح است که برای ارائه نمودارهای کالیبراسیون مربوطه، مشخصه های مقاومت فشاری و مدول گسیختگی در مقابل نتایج بدست آمده از روش پیچش در نمودارهای مربوط به انواع بتن های ساخته شده ترسیم شده اند. در جدول زیر پروسه کلی آزمایشات انجام شده برای این پایان نامه آمده است. مطالعه این آزمون ها نشان می دهد که یک همبستگی شدید خطی میان مقاومت فشاری و مدول گسیختگی بتن الیافی با نتایج حاصل از انجام آزمون پیچش برقرار است.

پروسه کلی آزمایشات انجام شده در این پایان نامه

نوع بتن	بتن الیافی						بتن معمولی		مجموع
نوع الیاف	فولادی	شیشه (E Glass)		پلی پروپیلن		-	-		۵
نوع سیمان	تیپ II	پوزولانی	تیپ II	پوزولانی	تیپ II	پوزولانی	تیپ II		۷
تعداد طرح های اختلاط	۶	۸	۸	۸	۸	۴	۴		۴۶
تعداد نمونه های آزمون فشار	۲×۶=۱۲	۳×۸=۲۴	۳×۸=۲۴	۳×۸=۲۴	۳×۸=۲۴	۳×۴=۱۲	۳×۴=۱۲		۱۳۲
تعداد نمونه های آزمون خمش	۲×۶=۱۲	۲×۸=۱۶	۲×۸=۱۶	۲×۸=۱۶	۲×۸=۱۶	۲×۴=۸	۲×۴=۸		۹۲
تعداد نمونه های آزمون پیچش	۱×۶=۶	۱×۸=۸	۱×۸=۸	۱×۸=۸	۱×۸=۸	۱×۴=۴	۱×۴=۴		۴۶
تعداد کل نمو نه های ساخته شده									۲۷۰

مطالعات انجام شده در قالب هفت فصل ارائه شده است. فصل اول به بررسی خواص مصالح و رفتار آنها در ارتباط با رفتار پیچیده بتن اختصاص یافته است. زیرا این خصوصیات در نتایج حاصل از آزمایشات و پیش بینی رفتار بتن تحت بارگذاری و بررسی نتایج یک تحقیق از اهمیت خاصی برخوراز می باشد. در فصل دوم به معرفی بتن الیافی، خصوصیات انواع الیاف، تاثیر انواع الیاف در خواص بتن، نحوه تولید بتن الیافی، آزمایشات بتن الیافی و کاربردهای بتن الیافی پرداخته شده

است. فصل سوم به معرفی روش های آزمایشگاهی و بررسی تاثیر شرایط آزمون در تعیین مقاومت بتن اختصاص یافته است. در این زمینه آشنایی با هر یک از روش ها و تاثیر شرایطی که آزمون تحت آن شراط صورت می گیرد در تعیین مقاومت اندازه گیری شده به ویژه در پژوهش ها و در مقایسه روش های تعیین مقاومت بتن ضروری می باشد. در فصل چهارم روش های موجود در تعیین مقاومت در جای بتن جهت مقایسه با روش پیچش، مورد مطالعه قرار گرفته است. فصل پنجم از این پایان نامه به برنامه ریزی برای مطالعه و انجام آزمایشات، تهیه مصالح و نمونه ها، انجام آزمون های تعیین مقاومت فشاری و مدول گسیختگی نمونه ها، و انجام آزمون پیچش در قالب آزمایشگاهی اختصاص یافته است. نتایج حاصل از انجام آزمونها، بررسی های آماری و ارائه منحنی های کالیبراسیون روش پیچش برای انواع بتن الیافی، و تحلیل غیر خطی آزمون پیچش با نرم افزار المان محدود در فصل ششم ارائه شده است. نتیجه گیری از مباحث صورت گرفته نیز فصل هفتم ارائه گردیده است.

نمایی از فصول این پایان‌نامه:

فصل اول: رفتار مصالح بتن

فصل دوم: بتن الیافی

فصل سوم: روشهای آزمایشگاهی وتأثیر شرایط آزمون در تعیین مقاومت بتن

فصل چهارم: روش‌های تعیین مقاومت درجای بتن

فصل پنجم: برنامه ریزی برای مطالعه و انجام آزمایشات

فصل ششم: ارائه نتایج و تحلیل آنها

فصل هفتم: نتیجه‌گیری

فصل ۱

رفتار مصالح بتن

- کلیات و اهمیت
- خواص مصالح بتن در ارتباط با مقاومت آن
- خواص مکانیکی بتن سخت شده

۱-۱ کلیات و اهمیت

علم مصالح در فعالیت های تحقیقاتی نقش مهم و قابل توجهی را در بررسی نتایج ایفا می نماید. در خصوص رفتار بتن، رفتار و خواص آن نه تنها به خواص و محتویات اجزاء وابسته است، بلکه به شرایط جدید معینی که به واسطه فعالیت های مرتبط مصالح به کار گرفته شده در ترکیب آن ظاهر می گردد نیز وابسته می باشد. این فصل مروری از اطلاعات تفصیلی در مورد یک ماده نیست و هدف از آن بررسی خواص مصالح و رفتار آنها در ارتباط رفتار پیچیده بتن می باشد . زیرا این خصوصیات در طراحی مصالح، آزمایش و پیش بینی رفتار بتن تحت بارگذاری و بررسی نتایج یک تحقیق از اهمیت خاصی برخوردار می باشد.

۱-۲ خواص مصالح بتن در ارتباط با مقاومت آن

بتن مصالحی مرکب است و اجزاء ترکیبی آن مخلوطی از سیمان پرتلند با آب، سنگدانه ریز (ماسه)، سنگدانه درشت (شن)، فضای بین دانه ها با ماتریسی که ملات سیمان نامیده می شود و آنها را به یکدیگر می چسباند پر شده است. منافذی بین دانه های سنگی و در خود ماتریس وجود دارند و همچنین فضاهای خالی که می تواند به عنوان محتویات یک ماتریس پیوسته، که سبب تمرکز تنش و آغاز ترک می شوند مورد ملاحظه و بررسی قرار گیرند[۱].

۱-۲-۱ سیمان

سیمان ها به دلیل سازگاری شان با سایر اجزاء تشکیل دهنده ترکیب، آنها را به یکدیگر می چسبانند و به عنوان چسباننده وظیفه انتقال نیروها و جابجایی را تضمین می نمایند[۱].

در معنای کلی کلمه، می توان سیمان را به عنوان ماده ای با خواص چسبندگی و چسباننده‌گی توصیف نمود، که قادر است ذرات معدنی را به صورت جسم یک پارچه و متراکم در آورد. البته این تعریف انواع متعددی از مواد سیمانی را در بر می گیرد[۲].

در صنعت ساختمان معنای کلمه سیمان به موادی که برای به هم چسباندن سنگ ها، ذرات ماسه، آجرها، بلوکهای ساختمانی و غیره به کار می روند، محدود می شود. اجزای اصلی این نوع سیمان را ترکیبات آهکی تشکیل می دهند، لذا در مهندسی عمران اغلب سیمان های آهکی مورد نظر می باشند. سیمان های مورد توجه در ساخت بتن دارای خاصیت گیرش و سخت شدن در زیر آب، در اثر واکنش شیمیایی با آن، بوده و لذا به آنها سیمان های آبی (هیدرولیکی) گفته می شود. سیمان های آبی اغلب از سیلیکات ها و آلومینات های آهک تشکیل شده اند و به صورت کلی می توان آنها را به گروه های سیمان های طبیعی، سیمان های پرتلند، و سیمان های برقی طبقه بندی نمود[۲].

۱-۲-۱-۱ ترکیب شیمیایی سیمان پرتلند

مواد خام مصرف شده در تولید سیمان پرتلند عمدتاً از سنگ آهک، سیلیس، آلومین و اکسید آهن تشکیل شده اند. در داخل کوره این ترکیبات با یکدیگر واکنش حاصل نموده، تشکیل یک سری ترکیبات پیچیده تری می دهند، به استثنای باقی مانده کمی از آهک ترکیب نشده ای که زمان کافی برای واکنش نداشته است مواد به حالت تعادل شیمیایی می رسند. ولیکن در جریان سرد شدن تعادل حفظ نمی شود و روند سرد شدن بر درجه تبلور و مقدار مواد بی شکل (آمورف) موجود در کلینکر سرد شده تأثیر خواهد گذاشت. خواص اینگونه مواد آمورف که شیشه نامیده می شوند به میزان قابل ملاحظه ای با خواص مواد متبلور که اسماً ترکیبات شیمیایی مشابهی دارند، متفاوت است. پیچیدگی دیگر در واکنش بخش مایع کلینکر با ترکیبات متبلوری که قبلاً به وجود آمده است ایجاد می شود. به هر حال می توان سیمان را در حالت تعادل منجمد در نظر گرفت؛ یعنی چنین فرض می شود که محصولات سرد شده مجدداً به دمای کلینکر شدن برسند. در حقیقت

چنین فرضی در محاسبه ترکیبات مرکب سیمان های تجاری صورت می گیرد: "استعداد" ایجاد ترکیبات را از مقادیر اندازه گرفته شده اکسیدهای موجود در کلینکر و با این فرض که تبلور کامل محصولات در حالت تعادل رخ داده باشد محاسبه می کنند[۲].

معمولاً چهار ترکیب را به عنوان مواد عمده تشکیل دهنده سیمان در نظر می گیرند. این ترکیبات در جدول ۱–۱ همراه با علائم اختصاری ای که شیمیدانان سیمان به کار می برند، بیان می شود. هر اکسید را به وسیله یک حرف نشان می دهند. یعنی $CaO=C$، $SiO_2=S$، $Al_2O_3=A$، $Fe_2O_3=F$، به همین صورت H_2O در سیمان هیدراته شده را بصورت H و SO_3 را با $\overline{S}$ نشان می دهند[۲].

جدول ۱–۱ ترکیبات اصلی سیمان پرتلند[۲]

نام ترکیب	*ترکیب اکسیدی*	*علامت اختصاری*
سه کلسیم سیلیکات	$3CaO.SiO_2$	C_3S
دو کلسیم سیلیکات	$2CaO.SiO_2$	C_2S
سه کلسیم آلومینات	$3CaO.Al_2O_2$	C_3A
ترا کلسیم آلومینات فریت	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF

علاوه بر ترکیبات اصلی داده شده در جدول ۱–۱ ترکیبات جزیی دیگری نیز مانند MgO، TiO_2، Mn_2O_3، K_2O و Na_2O وجود دارند که معمولاً بیش از چند درصدی از جرم سیمان را تشکیل نمی دهند. اکسیدهای سدیم[1] و پتاسیم[2]، که به اسم قلیایی ها شناخته می شوند، با بعضی از سنگدانه ها واکنش نشان داده و محصولات این فعل و انفعالات سبب از هم پاشیده شدن بتن می گردد. همچنین مشاهده شده است که قلیایی ها بر روند کسب مقاومت سیمان اثر دارند[۳].

[1] Na_2O
[2] K_2O

بنابراین لازم به تذکر است که عبارت "ترکیبات جزیی" اصولاً به مقدار آنها و نه الزاماً به اهمیت آنها ربط دارد[۲].

C_3S که معمولاً بیشترین مقدار سیمان را تشکیل می دهد به صورت دانه های بی رنگ هم اندازه وجود دارد. در هنگام سرد شدن در دمای کمتر از $^{\circ}C$ 1250، C_3S به آرامی تجزیه می شود ولی اگر سرد شدن خیلی کند نباشد، C_3S بی تغییر باقی می ماند و در دمای معمولی نسبتاً با ثبات است. C_2S به سه شکل و حتی احتمالاً به چهار شکل شناخته شده است . α-C_2S که در دماهای بالا وجود دارد، در $^{\circ}C$ 1450 به شکل β تبدیل می شود. β-C_2S در دمای $^{\circ}C$ 670 دگرگونی بیشتری حاصل نموده و به γ -C_2S تبدیل می شود، ولی در روند سرد شدن سیمان های تجاری β-C_2S در کلینکر حفظ می شود.

β-C_2S تشکیل دانه های گردی را می دهد که معمولاً به صورت دوقلو می باشند.

C_3A بلورهای چهارگوشه ای را تشکیل می دهدکه به صورت شیشه منجمد، فاز بی شکل در بین بلورها را بوجود می آورند.

C_4AF در واقع محلول جامدی است که از C_2F تا C_6A_2F متغیر می باشد که توصیف C_4AF یک ساده سازی آسان است[۴].

نسبت های واقعی ترکیبات مختلف به میزان قابل ملاحظه ای از سیمانی به سیمان دیگر تغییر می کند و در حقیقت انواع مختلف سیمان را از تنظیم نسبت های مناسب این مواد به دست می آورند.

یک ایده کلی از ترکیبات سیمان را می توان از جدول ۱–۲ که در آن حدود ترکیبات اکسیدی سیمان پرتلند آمده است، به دست آورد[۲].

جدول ۱-۲ حدود ترکیبات معمولی سیمان پرتلند[۲].

اکسید	مقدار - درصد
CaO	۶۰ – ۶۷
SiO_2	۱۷ – ۲۵
Al_2O_3	۳ – ۸
Fe_2O_3	۰/۵ – ۰/۶
MgO	۰/۵ – ۴/۰
قلیایی ها (به صورت Na_2O)	۰/۳ – ۱/۲
SO_3	۲/۰ – ۳/۵

۱-۲-۱-۲ انواع سیمان ها

برای مقاصد عملی، انتخاب سیمان پرتلند مناسب یا یک سیمان مخلوط، در نظر گرفتن طبقه بندی بر اساس خواص فیزیکی یا شیمیایی مربوط، مانند کسب سریع مقاومت، روند کند ایجاد حرارت هیدراتاسیون، یا مقاومت در برابر حمله سولفات ها مفید خواهد بود[۲].

برای ساده شدن بحث، فهرستی از سیمان های پرتلند گوناگون حاوی یا بدون مواد سیمانی دیگر، همراه با توصیف آمریکایی طبق آیین نامه ASTM C 150–94 یا ASTM C 595–94a در مواردی که موجود باشند، در جدول ۱–۳ داده شده است.

جدول ۱–۳ انواع عمده سیمان پرتلند[۲].

توصیف سنتی بریتانیایی	*توصیف ASTM*
پرتلند معمولی	نوع I
پرتلند زود سخت شونده	نوع III
پرتلند خیلی زود سخت شونده	–
پرتلند با مقاومت اولیه خیلی زیاد	–
پرتلند با حرارت کم	نوع IV
سیمان اصلاح شده	نوع II
سیمان ضد سولفات	نوع V
پرتلند سرباره کوره آهن گدازی	نوع IS و نوع I (SM)
پرتلند سفید	–
پرتلند پوزولانی	نوع IP و نوع I (PM)
سیمان سرباره ای	نوع S

بسیاری از سیمان ها جهت حصول اطمینان از دوام بتن تحت شرایط مختلف توسعه یافته اند. ولیکن امکان ندارد که بتوان جواب کامل مسأله دوام بتن را در ترکیبات سیمان یافت. خواص مکانیکی اصلی بتن سخت شده، مانند مقاومت، جمع شدگی، نفوذپذیری، مقاومت در برابر هوازدگی و خزش، تحت تأثیر عواملی به غیر از ترکیبات مرکب سیمان نیز قرار می گیرند، گو اینکه این ترکیبات تا حد زیادی روند کسب مقاومت را مشخص می نمایند. شکل ۱–۱ نشانگر روند توسعه مقاومت بتن های ساخته شده با انواع مختلف سیمان است. با وجود اینکه روندها به میزان قابل ملاحظه ای متفاوت اند، اختلاف کمی بین مقاومت ۹۰ روزه انواع سیمان وجود دارد. در بعضی موارد مانند شکل ۱-۲ اختلافات بیشترند. تمایل کلی بر این است که سیمان های با روند سخت شدن کم، مقاومت نهایی قدری بیشتر داشته باشند. به عنوان مثال، شکل ۱–۱ نشان می دهد که