نشریه عمران و پروژه
Civil & Project Journal(CPJ)
www.cpjournals.com

Investigation of Heavy Concrete Durability under the Influence of Chlorine Ion Penetration

Farzad Lohrasbi[۱]*, Amirhossein Bazaee[۲] , Mohamad Mehdi Jabbari[۳]

۱- Master Student Of Structural Engineering, Department Of Civil Engineering, Islamic Azad University, Shiraz Branch, Fars, Iran*
Email: Farzadlohrasbi۱۳۶۲@Gmail.Com

۲- Instructor, Department Of Civil Engineering, Islamic Azad University, Meymand Branch (Firoozabad), Fars, Iran
Email: Amirhosseinbazaee@Gmail.Com

۳- Assistant Professor, Department Of Civil Engineering, Islamic Azad University, Shiraz Branch, Fars, Iran
Email: Jabari@Iaushiraz.Ac.Ir

ABSTRACT

One of the important differences between the properties of ordinary concrete and heavy concrete is the use of metal or mineral aggregates instead of sand in concrete. Using ilmenite powder as a substitute for currently used heavy metals such as lead in concrete can reduce costs as well as sustainability and environmental protection. Use of heavy concrete to prevent harmful radiation for construction of hospital, military, nuclear centers and also to increase durability and resistance to wear and penetration of chloride ions for the construction of offshore concrete structures such as ports, offshore oil rigs, breakwater walls and Lighthouse or used in dam industry. In this research, an attempt was made to evaluate the durability of heavy concrete against intrusion by using a laboratory program using heavy grain of ilmenite and in order to support the production of domestic industries and mines using ilmenite powder of titanium mine in Kahnooj city of Kerman province. Chloride attack ions should be treated by RCMT method. In this research, samples made according to ACI standard by absolute volumetric method and laboratory optimization based on the type and properties of materials used have been prepared. The heavy concrete mixing plan has been adapted by replacing ilmenite powder with a maximum size of ۱ mm in volume ratios of ۱۰٪, ۲۰٪, ۳۰٪, ٤۰٪, replacing sand in concrete and cement grade of ٤۵۰ kg per cubic meter. The results of this study show that the use of ilmenite powder in heavy concrete increases the density of concrete and reduces the penetration rate of attack ions in concrete, so that by adding ۲۰٪ and ۳۰٪ ilmenite powder in the concrete structure, respectively, chloride ion penetration coefficient of ۲۷٪ And is reduced by ۲۲٪.

Keywords: Heavy Concrete, Ilmenite, Chloride Ion Infiltration, RCMT Test

نشریه عمران و پروژه ((Civil & Project Journal(CPJ) ISSN:۲۶۷۶-۵۱۱X www.cpjournals.com
سال سوم، دوره ۳، شماره ۹، آذر ۱۴۰۰،شماره پیاپی ۳۱،صفحه ۳۲ تا صفحه ۵۰

بررسی دوام بتن سنگین تحت اثر نفوذ یون کلر

فرزاد لهراسبی[1*]، امیرحسین بازایی[2]، محمد مهدی جباری[3]

[1]-دانشجو کارشناسی ارشد مهندسی سازه، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، فارس، ایران*
پست الکترونیکی: farzadlohrasbi۱۳۶۲@gmail.com

۲- مربی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد میمند (فیروزآباد)، فارس، ایران
پست الکترونیکی: Amirhosseinbazaee@gmail.com

۳- استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، فارس، ایران
پست الکترونیکی: jabari@iaushiraz.ac.ir

تاریخ دریافت:۱۴۰۰/۰۴/۱۰ تاریخ پذیرش:۱۴۰۰/۰۵/۱۵

چکیده

از تفاوت های مهم خواص بتن معمولی و بتن سنگین، استفاده از سنگ دانه های فلزی یا معدنی به جای شن و ماسه در بتن می باشد. بکارگیری از پودر ایلمنیت بعنوان جایگزین فلزات سنگین مورد استفاده حال حاضر مانند سرب در بتن می تواند باعث کاهش هزینه ها و نیز سبب پایداری و حفظ محیط زیست شود. کاربری بتن سنگین جهت جلوگیری از تشعشعات مضر برای ساخت مراکز بیمارستانی، نظامی، هسته ای و نیز جهت افزایش دوام و مقاومت در برابر سایش و نفوذ یون مهاجم کلراید برای احداث سازه های بتنی دریایی مانند اسکله بنادر، سکوهای نفتی دریایی، دیوار موج شکن و فانوس دریایی و یا در صنایع سد سازی مورد استفاده قرار می گیرد. در این تحقیق تلاش گردید تا با بهره گیری از یک برنامه آزمایشگاهی با استفاده از سنگین دانه ایلمنیت و در راستای حمایت از تولید صنایع و معادن داخلی با استفاده از پودر ایلمنیت معدن تیتانیوم شهرستان کهنوج استان کرمان به بررسی میزان مقاومت دوام بتن سنگین در برابر نفوذ یون مهاجم کلراید به روش RCMT اقدام گردد. در این تحقیق نمونه های ساخته شده بر اساس استاندارد ACI به روش حجمی مطلق و بهینه یابی آزمایشگاهی بر اساس نوع و خصوصیت مصالح مورد استفاده تهیه شده است. طرح اختلاط بتن سنگین با جایگزینی پودر ایلمنیت با حداکثر اندازه ۱ میلیمتر در نسبت های حجمی ۱۰٪، ۲۰٪، ۳۰٪، ۴۰٪ جایگزین ماسه موجود در بتن و عیار سیمان ۴۵۰ کیلوگرم در هر متر مکعب اقتباس شده است. نتایج این تحقیق نشان می دهد که استفاده از پودر ایلمنیت در بتن سنگین باعث افزایش تراکم بتن و کاهش نرخ نفوذ یون مهاجم در بتن می گردد بطوریکه با افزودن به ترتیب ۲۰٪ و ۳۰٪ پودر ایلمنیت در ساختار بتن نیز ضریب نفوذ یون کلراید ۲۷٪ و ۲۲٪ کاهش پیدا می کند.

کلمات کلیدی: بتن سنگین، ایلمنیت، نفوذ یون کلراید، تست RCMT

۱- مقدمه

امروزه انواع مختلفی از بتن ها تولید و عرضه می شوند که هر کدام از بتن ها نیز با داشتن ویژگی ها و خصوصیات بسیار متفاوت خود، دارای کاربردهای فراوانی هستند و در صنایع مختلفی نیز از آن ها استفاده می شود. یکی از مهم ترین عناوین بتن نیز بتن سنگین می باشد که با داشتن ویژگی های خاص در صنایع بسیار گسترده ای مورد استفاده واقع شود. بتن سنگین بتنی می باشد که در آن به جای استفاده از سنگدانه های معمولی، از مواد و عناصر سنگین وزنی مانند دانه های فلزی یا معدنی و سنگدانه های ویژه استفاده می شود. به همین دلیل وزن بتن های سنگین در مقایسه با بتن های معمولی بیشتر می باشد. (م.حیدری, ۱۳۹۵) وزن بتن های سنگین نیز بر اساس مقدار سنگدانه ی به کار رفته در تولید آن متفاوت خواهد بود اما مطابق تعریف استاندارد ACI از بتن سنگین نیز بتنی که اساساً دارای وزن مخصوص بیشتری نسبت به بتن های معمولی که عمدتاً می تواند بین ۱/۵ تا ۲/۵ برابر وزن مخصوص بتن معمولی باشد نیز بتن سنگین تلقی می شود. همچنین مطابق با تعریف مبحث نهم مقررات ملی ساختمان به بتنی که دارای وزن مخصوص بالای ۳۰۰۰ کیلوگرم در هر متر مکعب باشد نیز بتن سنگین بحساب می آید. (ع.باقری, ۱۳۹۱) در طرح مخلوط ساخت بتن های سنگین، مهم ترین هدف دستیابی به وزن زیاد آن است و حتی میزان مقاومت آن در اولویت های بعدی قرار دارد. به همین منظور در اکثر آیین نامه ها، حداقل وزن مخصوص مجاز را لحاظ می کنند. بدلیل آنکه سنگدانه های بتن سنگین اکثراً دارای چگالی بالا هستند و وزن بتن را تا حدود زیادی افزایش می دهند. (م.حیدری, ۱۳۹۵)

یکی از موارد استفاده از بتن سنگین، ساخت سازه های دریایی است. در محیط دریا بسیاری از سازه ها نظیر پایه های پل، موج شکن ها، اسکله ها، فانوس دریایی، تونل های زیر دریا و غیره از بتن سنگین ساخته شده اند. استفاده از بتن سنگین در ساخت سازه های دریایی بسیار رایج است و دلیل آن نیز وزن مخصوص بالا و دوام سایشی و صلبیت آن در برابر موج های دریا می باشد. لازم به ذکر است که در هنگام استفاده از بتن در ساخت سازه های دریایی باید بررسی هایی انجام شود در نتیجه باید بتن بر مبنای اصول تایید شده باشد تا مشکلی در ساخت و نگهداری این سازه ها ایجاد نشود. اگر در انتخاب مصالح بکار گرفته شده جهت ساخت بتن سنگین شناخت کافی حاصل نشود کیفیت سازه تا حد زیادی کاهش پیدا می کند و در نتیجه سازه دریایی در زمان کوتاه تری دچار فساد و خرابی می شود. (ف.راثی, ۱۳۹۸) علرغم آنکه بتن و بتن مسلح در مقایسه با فولاد از دوام بسیار زیادی برخوردار هستند ولی در محیط های خورنده سخت نظیر سواحل و بنادر و جزایر خلیج فارس و دریای عمان به شدت در معرض آسیب قرار می گیرند و لذا عمر مفید آن ها بسیار کاهش می یابد. یکی از عمده ترین خرابی های این نوع سازه ها، خوردگی آرماتور در بتن مسلح بر اثر نفوذ یون کلراید و کربناتاسیون بتن است. این خسارت عمده ترین خسارت وارد بر سازه های بتن آرمه می باشد. (ع.دلنواز, ۱۳۹۸) لذا با توجه به چالش های موجود و برطرف نمودن این عوارض با بکارگیری از پودر ایلمنیت [۱] در بتن جهت ساخت بتن سنگین و افزایش وزن مخصوص بتن جهت کاربری های مختلف باید بررسی گردد که میزان دوام بتن ساخته شده با پودر ایلمنیت در معرض نفوذ یون کلراید چگونه خواهد بود.

استفاده از پودر ایلمنیت در بتن بعنوان جایگزین بخشی از سنگدانه ها برای ساخت و تهیه بتن سنگین، از نگاه زیست محیطی حائز اهمیت می باشد. با در نظر گرفت آنکه ایلمنیت نوعی پسماند صنعتی تلقی می شود، این امر موجب صرفه جویی در بکارگیری از منابع طبیعی و هم چنین کاهش آلودگی محیط زیست ناشی از ذخیره سازی این ضایعات صنعتی می گردد. (ع.یداللهی، ۱۳۹۳) در عین حال بتن تولیدی دارای تخلخل کمتر، مقاومت بیشتر و ارزانتر در دسترس قرار می گیرد. سنگ دانه های معمولی حدوداً بین ۶۰ تا ۷۵ درصد حجم بتن را تشکیل می دهند از این رو با جایگزینی سنگین دانه های فلزی یا معدنی به جای سنگدانه های معمولی سبب تغییر خواص فیزیکی، دوام و در بعضی اوقات، شیمیایی در بتن می گردد. پژوهش های زیادی برای ارزیابی مصرف سنگدانه های سنگین به عنوان مصالح برای تولید بتن سنگین انجام شده است. باریت، هماتیت، دولومیت و سایر سنگدانه ها یا فلزات سنگین به عنوان یک ماده جایگزین شن یا ماسه در بتن برای چندین دهه استفاده شده است. استاندارد ASTM-C۳۳ ملزومات را برای استفاده از تنظیم دانه بندی و حفظ تخلخل و

[۱] Ilmenite

تراکم فلزات سنگین را به عنوان سنگ دانه بتن فراهم نموده است. اما تحقیقات زیادی به منظور بررسی استفاده از ضایعات اکسید تیتانیوم یا ایلمنیت در بتن صورت نگرفته است. طبق اندک تحقیقات انجام شده ثابت شده است، استفاده از ایلمنیت به عنوان سنگ دانه در مخلوط های بتنی باعث بهبود مقاومت فشاری و خمشی بتن شده و علاوه بر آن میزان جذب آب بتن تولیدی را افزایش داده است.. همچنین موجب افزایش وزن مخصوص بتن شده و میزان عبور تششعات را کاهش می دهد.

ساکر[۲] و همکاران در سال ۲۰۰۶ میلادی به بررسی اثر پودر سیلیس و خاکستر پوسته برنج بر خصوصیات رفتاری بتن سنگین پرداخت. در این تحقیق تاثیر استفاده از پودر سیلیس و خاکستر پوسته برنج به عنوان جایگزینی جزئی برای سیمان در بتن مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین سنگدانه های ایلمنیت و باریت به عنوان سنگدانه های با چگالی بالا جایگزین بخشی از شن و ماسه مصرفی در بتن مورد استفاده قرار گرفتند. در این تحقیق رفتار فیزیکی و مکانیکی و دوام مانند: رفتار فشاری، کششی، خمشی و مدول الاسیسیته و مقاومت چسبندگی نمونه های ساخته شده بتن سنگین مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین در این مطالعه به بررسی ریز ساختار بتن با کمک تصاویر الکتریکی روبشی و تجزیه و تحلیل اثر امواج مادون قرمز و پرتو گاما و امواج حرارت زا در نمونه های ساخته شده پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که بتن حاوی سنگدانه ایلمنیت به میزان ۱۵٪ جایگزینی ماسه مصرفی در بتن به همراه ۱۵٪ پودر سیلیس جایگزین سیمان مصرفی در بتن دارای بیشترین تراکم بوده است. همچنین مخلوط بتن با خاکستر پوسته برنج و سنگدانه ایلمنیت میزان جذب موثری در برابر تششعات مضر داشته ولی مخلوط بتن با سیلیس مقاومت فشاری و کششی بیشتری نسبت به نمونه قبلی (نمونه حاوی پوسته برنج) کسب نموده است.

خلف[۳] و همکاران در سال ۲۰۱۹ میلادی به مروری بر بتن های سنگین و بررسی نقش انواع سنگدانه های سنگین در ترکیب این دسته از بتن ها پرداختند. آن ها از ریز دانه های ایلمنیت، باریت، هماتیت، دولومیت، مگانیت، جهت دستیابی به یک بتن متراکم و توپر برای کاهش عبور تششعات و پرتوها گاما و ایکس در ساختمان های هسته ای و بیمارستان ها استفاده کردند. در این تحقیق ساخت بتن با چگالی بالا و میزان مناسب کارایی (اسلامپ) مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت تا ضمن مرتفع نمودن نیاز برای ساخت بتن مقاوم و سازه ای بتوان مانع گسترش تششعات مضر گردید. به همین منظور نسبت آب به سیمان نمونه های بتنی را کاهش داده و برای حفظ کارایی بتن از روان کننده استفاده نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از پودر ایلمنیت می تواند تا ۳۰درصد عبور پرتوها زیان بار را کاهش دهد.

کنتراس[۴] و همکاران در سال ۲۰۱۸ میلادی به بررسی بازیافت سنگدانه ایلمنیت (پودر ایلمنیت بازیافتی حاصل از لنت ترمز اتومبیل و گل جوش) به عنوان یک افزودنی در سیمان های تجاری پرتلند OPC پرداختند. این افزودنی در نسبت های وزنی ۲/۵، ۵ و ۱۰ درصد وزنی سیمان در بتن اضافه شده است. در این پژوهش آزمایشات مربوط به عبور تششعات گاما، ایکس و آلفا مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان داد که وجود اکسید تیتانیوم در ساختار پودر ایلمنیت موجب جذب تششعات رادیو اکتیو در بتن می گردد. از دیگر نتایج حاصل از این پژوهش که می توان به آن اشاره کرد نیز افزودن گل ایلمنیت به همراه سیمان OPC است که نقش مفیدی در جهت کاهش گرمای هیدراتاسیون، تنظیم زمان گیرش، انبساط و انقباض خطی در مقایسه با سیمان معمولی می گردد. علاوه بر موضوعات ذکر شده مشخص گردید که افزودن ۵٪ پودر ایلمنیت در بتن باعث کاهش عبور تششعات رادیو اکتیو و سایر تششعات زیان بار از بتن می گردد.

سامارین[۵] و همکاران در سال ۲۰۱۴ به بررسی تاثیر دمای بالا با کوره آتش بر روی خواص بتنی سنگین (بتن حاوی باریت و ایلمنیت) پرداختند. آنها اذعان داشتند که دما در استفاده از بتن برای محافظت از راکتورهای هسته ای نقش مهمی دارد. در این تحقیق به اثر دوام مختلف (۱ ، ۲ و ۳ ساعت) در دمای بالا (۲۵۰ ، ۵۰۰ ، ۷۵۰ و ۹۵۰ سانتی گراد) بر خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و دوام بتن

[۲] Sakr
[۳] Khalaf
[۴] Conteras
[۵] Samarin

سنگین مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بتن دارای افزودنی سنگدانه ایلمنیت بیشترین تراکم، مدول الاستیسیته و کمترین درصد جذب را دارد و همچنین دارای مقادیر مقاومت فشاری، کششی، خمش و پیوند نسبت به بتن شن و ماسه است. بتن دارای سنگدانه ایلمنیت بالاترین میزان تضعیف پرتوهای گاما را نشان داد. زمان قرار گرفتن در معرض آتش (گرمایش) با خصوصیات مکانیکی انواع بتن متناسب بود. بتن دارای سنگدانه ایلمنیت در برابر درجه حرارت بالا مقاومت بیشتری داشت. همچنین ثابت شد که هوا به عنوان یک سیستم خنک کننده در ساختار بتنی در معرض دمای بالا از آب بهتر است زیرا آب منجر به آسیب زیادی در خصوصیات بتن می شود.

۲- اهداف

بصورت کلی علت خرابی و زوال بتن هایی که در معرض و مجاورت آب دریا هستند، به چندین پارامتر فیزیکی و شیمیایی مختلف بستگی دارد. تخمین عملکرد دوام بتن در معرض آب دریا امکان پذیر نیست. بدلیل آنکه مجموعی از واکنش های شیمیایی در شرایط نابرابر در حال فعل و انفعالات است که موجب شروع این خرابی می گردد و انجام آزمایشات شبیه سازی این شرایط جهت تخمین و بررسی دوام بتن در بهترین حالت، تنها می تواند به عنوان یک کنش از چند واکنش مورد استفاده قرار گیرد. تهدیدات بتن را در مجاورت با آب دریا می توان به چندین عامل از قبیل: ۱. یون های مخرب ۲. نمک و سولفات ها ۳. جزر و مد یا سیکل تر و خشک شدن پیاپی ۴. جانواران دریایی (ترشح اسیدی بعضی از نرم تنان و باکتری ها) ۵. فشاری هیدرو استاتیک ۶. تغییرات دمایی ۷. مه دریایی (وجود باد و رطوبت) ۸. نیروی امواج و سایر موارد دانست که وقوع یک یا چند عامل با یکدیگر نیز باعث خرابی زودرس در بتن ها خواهد گردید. (س.لسانی، ۱۳۹۴)

با توجه به گوناگونی عوامل تهدید بتن در مجاورت دریا و عدم امکان بررسی های همه جانبه در راستای سنجش دوام بتن نیز در این تحقیق صرفاً به بررسی میزان مقاومت فشاری ۲۸ روزه و تاثیر یون های مهاجم کلراید به روش RCMT در بتن سنگین بسنده خواهیم نمود که تا چه اندازه بکارگیری پودر ایلمنیت در ساختار بتن موجب بهبود خواست افزایش وزن مخصوص و کیفیت بتن می گردد. با در نظر گرفتن اینکه یکی از بزرگترین معادن سنگ ایلمنیت دنیا و بزرگترین معدن سنگ تیتانیوم خاورمیانه در شهرستان کهنوج واقع در استان کرمان قرار گرفته است و نیز بدلیل عدم توجه به این ماده، تاکنون به لحاظ تجاری به تولید و استفاده انبوه در بتن نگردیده است. بنابراین هدف از انجام این تحقیق نیز ساخت بتن سنگین و بررسی میزان دوام در برابر یون مهاجم کلراید با افزودن پودر ایلمنیت در بتن می باشد. در این تحقیق استفاده از ماده ارزان قیمت کنسانتره معدنی ایلمنیت به عنوان عنصر سنگین وزنی که باعث افزایش وزن مخصوص بتن می گردد و تحلیل دوام آن در محیط های خورنده بررسی می گردد. روش تحقیق مبتنی بر روش آزمایشگاهی می باشد.

۳- علل خرابی بتن در آب دریا

طبعاً آب دریا حاوی یون های مخرب بسیاری می باشد که هر کدام بصورت جداگانه اثر سویی بر روی بتن می گذارند، لکن ممکن است اثر تخریب ترکیب تمامی عوامل، کمتر از اثر هر کدام به صورت جداگانه باشد. بطور میانگین آب دریا دارای ۳/۵ درصد وزنی نمک محلول است. (س.لسانی، ۱۳۹۴) نتیجه سایر پژوهش های انجام شده نشان می دهد که میزان یون های موجود در آب خلیج فارس در مقایسه با سایر دریاهای دیگر بیشتر است که از جمله دلایل آن نیمه بسته بودن خلیج فارس است که تنها دروازه خروجی آن تنگه هرمز می باشد و مورد بعدی به دلیل جزر و مد بسیار محدود آب های خلیج فارس و دریای عمان می باشد که تبادل خیلی کم دارند.(ع.پرتویی، ۱۳۹۵) تبخیر آب باعث می شود که لایه هایی از نمک بر روی سطوح جزر و مد باقی بماند. نمک باقیمانده پس از گذشت مدت زمان و تبخیر متوالی در حجم قابل توجهی افزایش می یابد. همچنین این عارضه در طول روزهای سال در معرض رطوبت نسبی هوا که ممکن است بین ۵ تا ۹۰ درصد متغیر باشد و تحت تاثیر وزش باد که حاوی یون کلر است قرار گرفته که باعث تشدید اثر خوردگی می گردد. خوردگی فولاد مدفون در بتن بدلیل واکنش های شیمیایی است که به وسیله مقاومت الکتریکی موجود سطح فولاد، PH خمیر سیمان و نفوذ مخرب هایی مانند کلرایدها و اکسیژن درون بتن بوجود می آید. برای اینکه فولاد مدفون در بتن الکتروشیمیایی شود نیز بتن باید به اندازه کافی نفوذپذیر بوده تا اکسیژن به عمق بتن و فولاد راه یابد. قابل ذکر است که هنگام جزر و مد آب دریا این اکسیژن برای تخریب

تامین می گردد. اما سرعت خوردگی فولاد مدفون در بتن بستگی به غلظت یون کلراید و PH بتن دارد. شایان ذکر است که میزان نفوذپذیری بتن مهم ترین عامل تعیین کننده در دوام دراز مدت بتن می باشد. همچنین ترک های خمشی بوجود آمده در بتن، سرعت نفوذ یون کلر و سایر یون ها را افزایش می دهد و در نتیجه خوردگی تشدید می شود. در این حالت خوردگی نیز موجب افزایش ترک در بتن می شود. بنابراین طرح اختلاط مناسب بتن و اجرای صحیح بتن ریزی از عوامل مهم در دوام دراز مدت می باشد. اما پوشش بتنی که در قسمت زیر منطقه جزر و مد وجود دارد به دلیل آنکه اکسیژن وجود ندارد و همچنین لایه های محافظتی تشکیل می شوند، وضعیت به بحرانی منطقه جزر و مد نیست. در بالای منطقه جزر و مد عامل دیگری که باعث تخریب بتن می شود، سایش است. (س.لسانی، ۱۳۹۴) در این شرایط استفاده از بتن سنگین و کاملاً متراکم شده، مناسب می باشد. همچنین استفاده از دانه های سنگین جهت ساخت بتن چگال نیز مقاومت سایشی را به مقدار قابل توجهی افزایش می دهند. (م.گلدوست، ۱۳۹۵)

۴- کاربردهای بتن سنگین

بتن سنگین به طور ویژه به عنوان سپر محافظ در مقابل تشعشع به کار می‌رود. این بتن جهت جلوگیری از تشعشع سایر اشعه ها بکار می رود و اصولاً در سازه های تاسیسات اتمی و یا بیمارستان ها و هر جا که امکان تشعشعات رادیواکتیو یا پرتوهای X، گاما و آلفا وجود دارد استفاده می شود. همچنین از بتن سنگین در ساخت وزنه های تعادلی (بتن های وزنی) و یا در مواردی که نیاز به افزایش بار مرده سازه، (بدون افزایش حجم) نیاز باشد استفاده می گردد. بعنوان مثال جهت وزنه بار تعادل در تاور کرین ها استفاده می شود. استفاده از بتن سنگین در سازه های نظامی و پدافند غیر عامل نیز مورد استفاده قرار می گیرد. به وفور برای ساخت سنگرهای نظامی و یا ساخت پناه گاه های زیر زمینی یا ساخت انبارهای مقاوم در برابر انفجار مانند دیواره های گاوصندوق برای نگهداری ملزومات گران بها و سایر موارد مشابه کاربرد دارد. استفاده از بتن سنگین جهت ساخت سازه های دریایی مانند انواع پایه های پل، دیوار موج شکن، فانوس دریایی و امثالهم به دلیل صلبیت و کنترل جابجایی در اثر امواج دریا نیز مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین بدلیل تراکم بالای بتن های سنگین نیز احتمال خرابی و سولفاته شدن این نوع بتن در قیاس با سایر بتن های معمولی کمتر می باشد قابل ذکر است که در ایران در ساخت نیروگاه های اتمی بوشهر و نیروگاه آب سنگین اراک، از بتن سنگین استفاده شده است.

الف) کاربرد بتن سنگین در سدسازی

ب) کاربرد بتن سنگین در دیوار موج شکن

ج) کاربرد بتن سنگین در ساخت مراکز هسته ای

تصویر ۱ کاربردهای بتن سنگین در سازه های مختلف

۵- برنامه آزمایشگاهی

استفاده از روش وزنی، که اساس روش ACI برای مخلوط های بتنی با وزن معمولی را تشکیل می دهد، برای طرح اختلاط بتن سنگین مناسب نیست. دلیل آن هم این است که با توجه به وزن مخصوص بالای سنگین دانه های مورد استفاده در ساخت بتن سنگین نیز امکان جایگزینی آن با سنگدانه معمولی بتن را ندارد، زیرا از لحاظ حجمی یکسان نخواهند بود. بنابراین می بایست افزودنی های با چگالی بالا را جایگزین حجمی از سنگدانه مورد استفاده در بتن نمود. در این تحقیق برنامه آزمایشگاهی ساخت بتن سنگین با پودر ایلمنیت جهت

تعیین مقاومت فشاری و دوام بتن در برابر نفوذ یون مهاجم کلراید به روش RCMT انجام گرفته است. برای این منظور مجموعاً ۱۵ نمونه بتنی ساخته شده است که تعداد ۱۰ نمونه مکعبی (میانگین دو نمونه برای هر طرح) با ابعاد ۱۵۰ * ۱۵۰* ۱۵۰ میلیمتر جهت سنجش مقاومت فشاری ۲۸ روزه مطابق با استاندارد ASTM-C۱۰۹ و همچنین تعداد ۵ نمونه استوانه ای ۵۰ *۱۰۰ میلیمتر جهت بررسی دوام در برابر یون کلراید با سن ۲۸ روزه مطابق با استاندارد NT-BUILD-D۴۹۲ برای آزمایش در نظر گرفته شد. تعیین نسبت های مصالح بتن سنگین مشابه بتن معمولی است، اما به دلیل خشن بودن مخلوط بتن سنگین باید از ماسه با مدول نرمی کمتر استفاده شود و یا نسبت ماسه به شن افزایش یابد. طرح اختلاط نمونه شاهد مورد استفاده در این تحقیق نیز بر مبنای روش حجم مطلق محاسبه و پس از آن با توجه به نوع مصالح مصرفی به روش آزمون و خطا و به استناد از نتایج سایر پژوهش های قبلی بهینه یابی شده و انتخاب گردیده است. طرح اختلاط بتن سنگین با در نظر گرفتن حداکثر اندازه اسمی شن ۱۹ میلیمتر و عیار سیمان ۴۵۰ کیلوگرم در هر متر مکعب و نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ اقتباس شده است. طرح مخلوط بر اساس جایگزینی پودر ایلمنیت در نسبت های حجمی ۱۰٪، ۲۰٪، ۳۰٪، ۴۰٪ ماسه موجود در بتن صورت گرفته است. در ادامه وزن مخصوص کلیه نمونه ها مطابق با استاندارد ASTM-C۱۳۸ و میزان روانی بتن نیز مطابق با استاندارد ASTM-C۱۴۳ انجام گرفته است.

جدول ۱ طرح اختلاط نمونه های بتنی مورد آزمایش

طرح	ردیف	نام انحصاری	سیمان	شن	ماسه	ایلمنیت	آب	نسبت حجمی ایلمنیت جایگزین ماسه
			kg/m³	kg/m³	kg/m³	kg/m³	lit/m³	
شاهد	۱	CON	۴۵۰	۷۲۰	۱۲۸۰	-	۲۰۲	-
بتن سنگین	۲	HC-I ۱۰٪	۴۵۰	۷۲۰	۱۱۵۰	۴۲۴	۲۰۲	۱۰٪
	۳	HC-I ۲۰٪	۴۵۰	۷۲۰	۱۰۲۴	۸۴۸	۲۰۲	۲۰٪
	۴	HC-I ۳۰٪	۴۵۰	۷۲۰	۸۹۶	۱۲۷۲	۲۰۲	۳۰٪
	۵	HC-I ٪۴۰	۴۵۰	۷۲۰	۷۶۸	۱۶۹۶	۲۰۲	۴۰٪

۶- اختلاط

در این تحقیق برای ساخت بتن سنگین، کلیه سنگ دانه ها پس از آبکش کردن و رسیدن به حالت اشباع با سطح خشک (حالت SSD) به همراه ماسه طبیعی به داخل میکسر ریخته شده و به مدت ۳۰ ثانیه مخلوط شدند. در ادامه سیمان و نصف آب و پودر ایلمنیت مورد نیاز اضافه و پس از ۳۰ ثانیه اختلاط، نصف دیگر آب اضافه و به مدت ۲ دقیقه دیگر مخلوط شدند. در پایان، آزمایش اسلامپ و وزن مخصوص بتن تازه برای تمامی نمونه ها انجام شد. قابل ذکر است که سرعت دوران میکسر بتن ۱۵ دور در دقیقه بوده است.

تصویر ۲ فلوچارت تصویری ترتیب و زمان اختلاط مصالح در این تحقیق

۶-۱- سیمان

سیمان مورد استفاده در این آزمایش از نوع تیپ ۲ با برند تجاری سیمان سپاهان اصفهان می باشد. سیمان سپاهان تیپ ۲ معمولاً دیرگیرتر و در مقایسه با سیمان تیپ ۱ حرارت کمتری تولید می کند. بنابراین در بتن ریزی های حجیم نیز می تواند گزینه مناسبی باشد. این سیمان دارای وزن مخصوص ۱/۱۵ کیلوگرم می باشد. سایر مشخصات این سیمان مطابق با جدول شماره ۲ و ۳ می باشد.

جدول ۲ ساختار شیمیایی سیمان تیپ ۲ سپاهان (ماخذ: شرکت سیمان سپاهان اصفهان)

SiO_4	AL_2O_3	FE_2O_3	MgO	OS_3	L.O.I	I.R	C_3A
٪۲۰/۹	٪۴/۷۰	٪۳/۹۵	٪۲/۲۰	٪۲/۳۵	٪۱	٪۰/۳۵	٪۵/۸۰

جدول ۳ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سیمان تیپ ۲ سپاهان (ماخذ: شرکت سیمان سپاهان اصفهان)

سطح مخصوص (بلین)	انبساط اولیه (اتوکلاو)	زمان گیرش دقیقه		مقاومت فشاری کیلوگرم بر سانتیمتر مربع			وزن مخصوص
cm/gr	٪	اولیه	نهایی	۳روزه	۷روزه	۲۸روزه	کیلوگرم
۲۸۵۰	۰/۰۷	۱۵۰	۱۸۵	۱۸۵	۳۰۴	۴۲۰	۱/۳ – ۱

۶-۲- ماسه

ماسه مورد استفاده برای ساخت بتن سنگین در این آزمایش از نوع ماسه شکسته کوهی معدن مرادی که در فاصله ۱۲ کیلومتری شمال غرب شهرستان شیراز واقع شده است، استفاده گردیده. ماسه مذکور دارای وزن مخصوص ظاهری با سطح اشباع (SSD) ۲۵۹۰ کیلوگرم بر متر مکعب و در حالت خشک نیز ۱۶۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب تعیین شده است. میزان جذب آب ماسه مطابق با استاندارد ASTM-C۱۲۸ نیز ۱/۵۷ درصد می باشد. در این آزمایش، حداکثر اندازه دانه بندی ماسه بین ۰ تا ۴/۷۵ میلیمتر در نظر گرفته شده. همچنین مدول نرمی ماسه استفاده شده در این تحقیق به استناد از استاندارد ASTM-C۱۳۶ نیز ۳ می باشد.

جدول ۴ مشخصات ماسه مصرفی جهت ساخت بتن سنگین در این تحقیق

نوع سنگدانه	حداکثر قطر سنگدانه	مدول نرمی	وزن مخصوص خشک	وزن مخصوص SSD	جذب آب
	mm		kg/m۳	kg/m۳	٪
ماسه	۴/۷۵	۳	۱۶۵۰	۲۵۹۰	۱/۵۷

۶-۳- شن

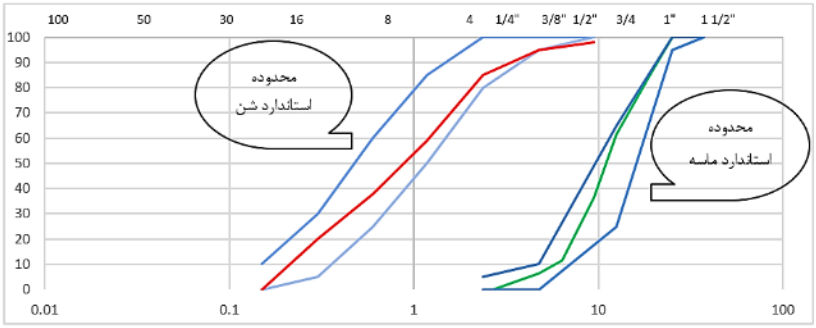
درشت دانه مورد استفاده جهت ساخت بتن مورد آزمایش در این تحقیق، مخلوط نخودی و بادامی با حداکثر اندازه ۱۹ میلیمتر می باشد که از معدن مرادی واقع در ۱۲ کیلومتری شمال غرب شهرستان شیراز، تهیه گردیده است. وزن مخصوص ظاهری در حالت SSD، ۲۷۴۰ کیلوگرم در هر متر مکعب و در حالت خشک نیز ۱۴۲۰ کیلوگرم در هر متر مکعب می باشد. میزان جذب آب درشت دانه نیز برابر با ۱/۹ درصد می باشد.

جدول ۵ مشخصات شن مصرفی جهت ساخت بتن سنگین در این تحقیق

نوع سنگدانه	حداکثر قطر سنگدانه	میزان جذب آب	وزن مخصوص SSD	وزن مخصوص خشک
بادامی	mm	%	kg/m³	kg/m³
نخودی	۱۹	۱/۹	۲۷۴۰	۱۴۲۰

۶-۴- دانه بندی سنگدانه

تقسیم بندی سنگدانه های مصرفی جهت ساخت بتن سنگین در این تحقیق نیز مطابق با استاندارد ASTM-C۳۳ صورت پذیرفت. هدف از این کار، توزیع ذرات و دانه های سنگی طی ابعاد و اندازه مختلف جهت تراکم بهتر مصالح در بتن است. در آزمایش دانه بندی سنگدانه ها، مصالح خشک سنگی با ایجاد لرزه توسط الک های مختلف شماره بندی شده عبور داده شدند و اندازه دانه های روی هر الک و مقدار آن مشخص گردید. نمودار شماره ۱ محدوده دانه بندی و دامنه سنگدانه ها را نشان می دهد.



نمودار ۱ نمودار دانه بندی شن و ماسه مورد استفاده جهت ساخت بتن و انطباق آن با محدوده استاندارد

۶-۵- ایلمنیت

سنگدانه ایلمنیت، اولین بار در کشور روسیه کشف و از آن به عنوان یک ماده با سختی و وزن مخصوص بالا یاد می شود. میزان سختی ماوس[۶] این ماده بین ۵/۵ تا ۶ گزارش شده است. ایلمنیت جزو کانی های سنگین و با چگالی بالا محسوب می شود به نحوی که به خاطر چگالی نسبتاً بالا، از آن برای سنگین کردن یا تقویت مقاومت سایشی مواد مانند تولید لنت ترمز یا ساخت بدنه چاه نفت استفاده می شود. (sakr, ۲۰۰۶) این ماده معدنی که غالب ساختمان ترکیب آن را عنصر تیتانیوم تشکیل داده است، منبع خوبی برای به دست آوردن این

[۶] Hardly Mouse

عنصر نیز محسوب می شود. عمده ساختار تشکیل دهنده ایلمنیت، اکسید آهن و اکسید تیتانیوم است که با نماد $FeTio_3$ معرفی می شود. در واقع ایلمنیت زائده سنگ معدن تیتانیوم می باشد که امروزه در صنایع مختلف به کار برده می شود. (khalaf,۲۰۱۹) شکل ظاهری این ماده بواسطه نوع معدن و استخراج آن متفاوت می باشد همچنین رنگ آن بسته به خلوص آن از سیاه تا قهوه ای می تواند متغیر باشد. این ماده معدنی در معادن مختلفی در سراسر جهان از جمله روسیه، برزیل، کانادا، سریلانکا، نروژ، چین، آفریقای جنوبی موجود است. در ایران نیز معادنی از این ماده معدنی وجود دارد که بارزترین آن ها در شهرستان کهنوج واقع در استان کرمان و منطقه قره آغاج در استان آذربایجان غربی قرار دارد. (م.گلدوست, ۱۳۹۵) ایلمنیت بدلیل داشتن چگالی بالا، سختی ماوس بالا، بسیار مناسب برای ساخت بتن سنگین با مقاومت فشاری بالا، انقباض کم و دوام بالا می باشد.

سنگ ایلمنیت به کار برده شده در این تحقیق از معادن شهرستان کهنوج واقع در استان کرمان تهیه شده است. پودر مربوطه در اندازه دانه بندی حداکثر ۱ میلیمتر بصورت آماده خریداری شده و با توجه به نوع آزمایش نیز جهت جایگزین نمودن بخشی از ماسه مورد استفاده قرار داده شده است. وزن مخصوص ایلمنیت تهیه شده در این آزمایش ۴۲۴۰ کیلوگرم در متر مکعب می باشد.

جدول ۶ ساختار شیمیایی پودر ایلمنیت مورد استفاده در این تحقیق (ماخذ: واحد تحقیقات معدن تیتانیوم استان کرمان)

نام عنصر	ساختار شیمیایی	مقدار ٪
اکسید تیتانیوم	TiO_2	۴۸/۱
اکسید سوم آهن	Fe_2O_3	۳۱/۲
آهک	CaO	۰/۱۲
اکسید آهن	FeO	۱۱/۹
سیلیس	SiO_2	۲/۴
اکسید آلومینیوم	Al_2O_3	۱/۵۲
اکسید باریم	$BaSO_4$	۲/۲۳
سولفات باریوم	BaO	۱/۷۲

جدول ۷ مشخصات فیزیکی پودر ایلمنیت مورد استفاده در این تحقیق (ماخذ: واحد تحقیقات معدن تیتانیوم استان کرمان)

حداکثر اندازه اسمی	درصد تخلخل	جذب آب	درصد ساییدگی	مدول نرمی
mm	%	%	%	
۱	۳	۲/۲	۸	۱/۸۵

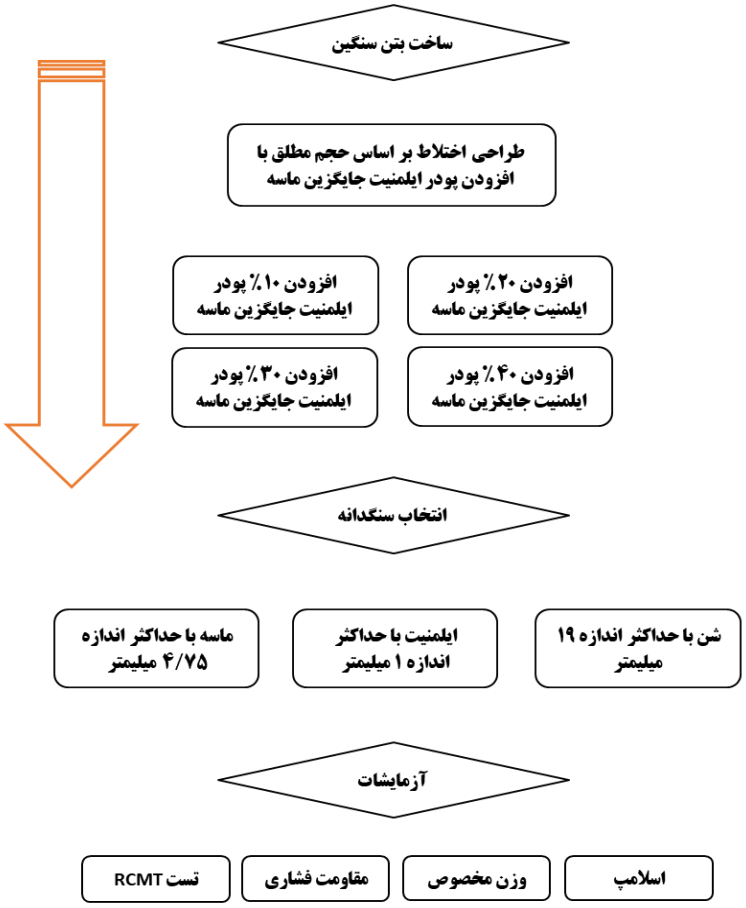
الف) پودر ایلمنیت

ب) شن با حداکثر اندازه ۱۹میلیمتر

ج) سیمان تیپ ۲

د) ماسه با حداکثر اندازه ۴/۷۵ میلیمتر

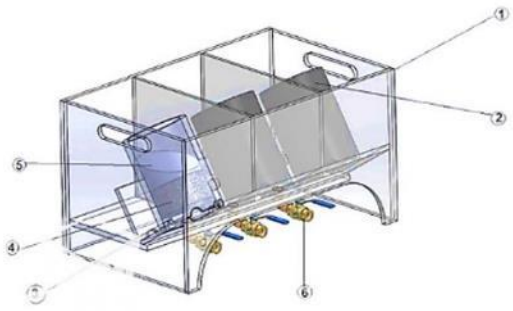
تصویر ۳ مصالح بکاربرده شده جهت ساخت بتن سنگین در این تحقیق



تصویر ۴ فلوچارت مراحل صورت گرفته در این تحقیق

۷- تست RCMT

هدف از انجام این آزمایش، تعیین مدلی است که بتوان در پیش بینی فرآیند خوردگی منجر به خرابی بتن مورد استفاده قرار گیرد. این آزمایش شبیه سازی حالت غیر پایدار است و مقاومت بتن را در مقابل نفوذ کلرید ارزیابی می کند. (ا.پیلوار, ۱۳۹۵) نمونه ها بتنی بصورت استوانه ای مطابق با استاندارد NT-BUILD-D۴۹۲ در ابعاد به قطر ۱۰۰ و ارتفاع ۵۰ میلیمتر بریده شدند. در تست RCMT نمونه ها ابتدا باید کاملاً شسته و تمیز شوند که هیچ گونه آلودگی بر روی آن ها باقی نماند. سپس سطح نمونه ها کاملاً خشک گردد و در درون محفظه خلاء طوری قرار داده شوند که هر دو سطح نمونه ها در فضای خالی قرار گیرند. نحوه قرار گیری نمونه ها مطابق با تصویر شماره ۵ می باشد. در مخزن محلول نیز مقدار ۱۰ درصد نمک طعام به عنوان محلول کاتولیت قرار داده می شود. همچنین به میزان ۰/۳ محول سدیم هیدروکسید به عنوان آنولیت بر روی نمونه ها ریخته می شوند. سپس ۳۰ ولت پتانسیل بین الکترودها اعمال می شود. البته شدن جریان قابل اندازه گیری می باشد و اگر ضرورت داشته باشد پتانسیل اعمال شده باید تنظیم شود. مدت آزمایش بستگی به پتانسیل اعمال شده دارد. بعنوان مثال اگر جریان اولیه حدود ۳۵ میلی آمپر باشد نشان می دهد که پتانسیل ۳۰ ولت نیز مناسب است. در این مطالعه هر کدام از نمونه ها به مدت ۲۴ ساعت در وضعیت مذکور مورد آزمایش قرار گرفتند. وضعیت قرار گیری هر نمونه در دستگاه مشابه تصویر شماره ۵ می باشد.



۱)محفظه کلی
۲)استوانه نگهداری نمونه بتنی
۳)محلول نمک
۴)نمونه بتن عمل آوری شده
۵)محلول هیدروکسید

تصویر ۵ آزمایش RCMT و قرار گیری محفظه بتن در محلول

در پایان آزمایش می توان ضریب مهاجرت را مطابق رابطه (۱) محاسبه کرد. (ا.پیلوار, ۱۳۹۵)

$$D_{nssm}=\frac{۰.۰۲۳۹\ (۲۷۳+T)L}{(U-۲)t} * [[X_d - ۰/۰۲۳۸]*\sqrt{\frac{(۲۷۳+T)Txd}{U-۲}}] \quad (۱)$$

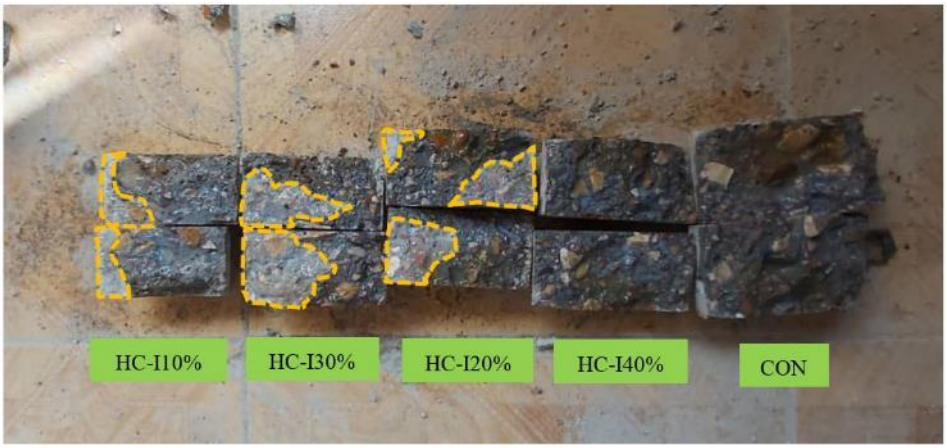
D_{nssm} : ضریب مهاجرت حالت غیر پایدار
U : ولتاژ اعمال شده
T : مقدار میانگین دمای اولیه و نهایی در محلول آنولیت بر حسب سانتی گراد
L : ضخامت نمونه بر حسب میلیمتر
X_d : مقدار میانگین، عمق نفوذ بر حسب میلیمتر
t : مدت زمان انجام آزمایش بر حسب ساعت

تصویر ۶ تست RCMT بر روی نمونه های مورد مطالعه

برای آنکه عمق نفوذ کلراید در اندازه گیری شود، نمونه ها را پس از اتمام آزمایش به دو نیم تقسیم نموده و سپس محلول نیترات نقره با خلوص ۰/۱ درصد بر روی سطح شکسته شده اسپری می گردد. لذا میزان عمق بتن که در اثر این روند دچار تغییر رنگ می گردد نیز اندازه گیری شده و با استفاده از رابطه ۲ این میزان معین می گردد.

$$M=\frac{h}{Vt} \qquad (۲)$$

در این رابطه M نرخ نفود یون کلر برحسب میلیمتر در ولت ساعت، h میانگین عمق نفوذ یون کلر بر حسب میلیمتر، V ولتاژ اعمال شده به آزمونه ها برحسب ولت، t مدت زمان آزمایش برحسب ساعت می باشد.



تصویر ۷ پاشش محلول جهت اندازه گیری عمق نفوذ

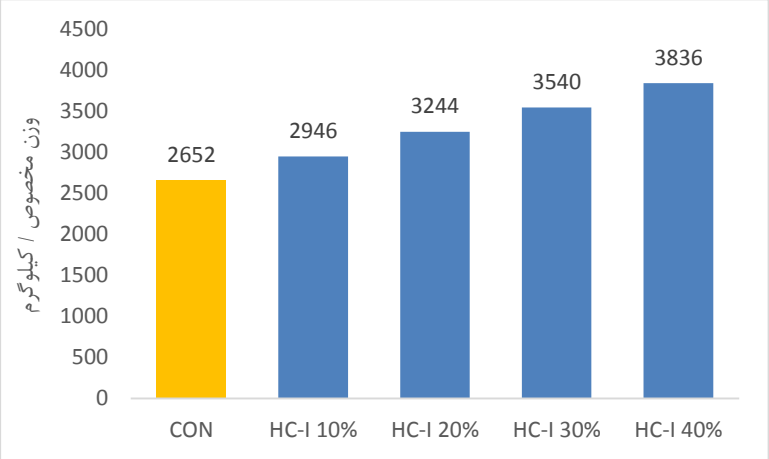
۱۰- یافته‌ها

۱۰-۱- وزن مخصوص

یکی از مهم ترین پارامترها و معیارهای طرح مخلوط مورد پژوهش در این تحقیق میزان وزن مخصوص بتن می باشد. مطابق با تعریف مبحث نهم مقررات ملی ساختمان از بتن سنگین نیز بتن با وزن مخصوص بالای ۳۰۰۰ کیلوگرم در هر متر مکعب، بتن سنگین تلقی می گردد. میزان وزن مخصوص هر نمونه ی مورد آزمایش در جدول شماره ۸ آورده شده است. نتایج این آزمایش مشخص نمود که نمونه بتن دارای ۱۰٪ پودر ایلمنیت با وزن مخصوص ۲۹۴۶ کیلوگرم در هر متر مکعب در زمره بتن های سنگین قرار نمی گیرد. اما با این حال طرح ۱۰٪ HC-I در مقایسه با نمونه شاهد ۱۱٪ درصد افزایش وزن را نشان می دهد. در طرح ۲۰٪ HC-I که بیانگر بتن دارای ۲۰٪ پودر ایلمنیت می باشد نیز میزان وزن مخصوص در مقایسه با نمونه شاهد ۲۲٪ افزایش یافته است. همچنین وزن مخصوص طرح HC-I ۳۰٪ با ۳۰٪ پودر ایلمنیت در مقایسه با نمونه شاهد ۳۳٪ افزایش یافته است. در انتها طرح ۴۰٪ HC-I با ۴۰٪ پودر ایلمنیت در مقایسه با نمونه شاهد ۴۴٪ افزایش وزن داشته است. پرواضح است که با افزودن هر چه بیشتر پودر ایلمنیت بعنوان جایگزین حجمی ماسه، وزن مخصوص بتن افزایش پیدا می نماید که این مهم نشات گرفته از چگالی بالای ایلمنیت می باشد.

جدول ۸ مقایسه وزن مخصوص تمامی نمونه های مورد آزمایش

نام طرح	CON	HC-I ۱۰٪	HC-I ۲۰٪	HC-I ۳۰٪	HC-I ٤۰٪
وزن مخصوص kg/m^3	۲۶۵۲	۲۹۴۶	۳۲۴۴	۳۵۴۰	۳۸۳۶



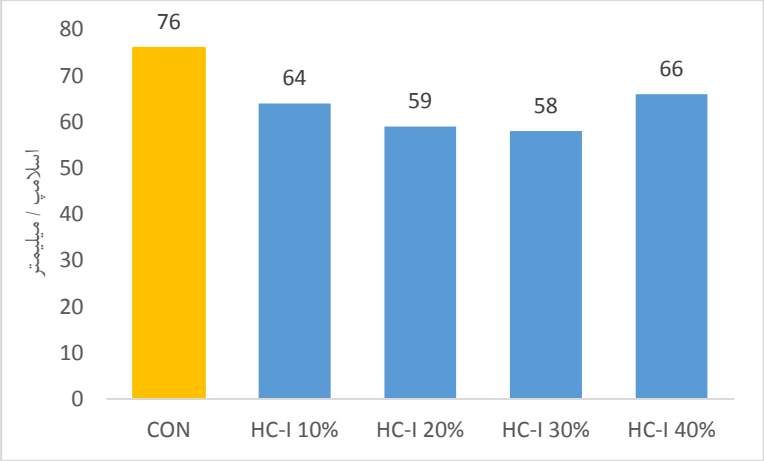
نمودار ۲ مقایسه وزن مخصوص نمونه های مورد آزمایش

۱۰-۲- روانی بتن

میزان اسلامپ بتن، معیاری برای بررسی جریان‌پذیری یا روانی بتن تازه پیش از استفاده در محل مورد نیاز می باشد. همچنین بر مبنای الزامات مبحث نهم مقررات ملی ساختمان در خصوص میزان روانی بتن های سنگین نیز میزان کارایی لازم را بین ۵۰ تا ۷۵ میلیمتر، کفایت می کند. با توجه به در نظر گرفتن استفاده از پودر ایلمنیت خشک (بدون رطوبت) و میزان جذب آبی که این ماده در بتن خواهد داشت و همچنین دارا بودن سطح خشن بتن سنگین نیز با افزودن هر چه بیشتر از پودر ایلمنیت در بتن میزان روانی آن کاهش می یابد. از طرفی ضمن در نظر گرفتن سطح مخصوص دانه های ایلمنیت که دارای ابعاد گرد گوشه هستند و به راحتی بر روی یکدیگر لغزش دارند نیز با افزودن آن بعضاً شاهد افزایش روانی بتن خواهیم بود. این دو عامل مهم سبب شد تا در نمونه حاوی ۱۰٪ پودر ایلمنیت شاهد ۱۵٪ کاهش روانی بتن در مقایسه با نمونه شاهد باشیم، که علت آن می تواند جذب آب بتن توسط ایلمنیت موجود در آن باشد. در طرح دارای ۲۰٪ پودر ایلمنیت نیز شاهد کاهش ۲۲٪ روانی بتن نسبت به نمونه شاهد هستیم که علت آن مشابه انند از وضعیت قبل می باشد. در نمونه دارای ۳۰٪ پودر ایلمنیت، ضمن افزایش قابل توجه پودر ایلمنیت در بتن نیز به همان اندازه شاهد کاهش روانی بتن نخواهیم بود، زیر دو عامل جذب آب پودر ایلمنیت و لغزش دانه های گرد گوشه این ماده سبب خنثی شدن هر دو عامل گردید و در نهایت میزان کارایی در مقایسه با نمونه شاهد ۲۳٪ کاهش یافت. در انتها، نمونه دارای ۴۰٪ پودر ایلمنیت متاثر از حالت قبل، میزان جذب آب ایلمنیت مغلوب سطح مخصوص آن گردید و در نهایت باعث کاهش ۱۳٪ روانی بتن در مقایسه با نمونه شاهد شده است. در مجموع کلیه اسلامپ های بدست آمده در طرح های مورد آزمایش در محدوده مجاز بوده اما به جهت مرتفع نمودن این پدیده نیز می توان قبل از استفاده از پودر ایلمنیت در بتن، سطح آن را به حالت ssd یا اشباع درآورد و یا از فوق روان کننده استفاده نمود تا ضمن برآورد میزان کارایی مناسب نیز شاهد افت کیفیت و مقاومت در بتن نباشیم.

جدول ۹ مقایسه میزان روانی تمامی نمونه های مورد آزمایش

نام طرح	CON	HC-I ۱۰٪	HC-I ۲۰٪	HC-I ۳۰٪	HC-I ٤۰٪
میزان روانی (میلیمتر)	۷۶	۶۴	۵۹	۵۸	۶۶



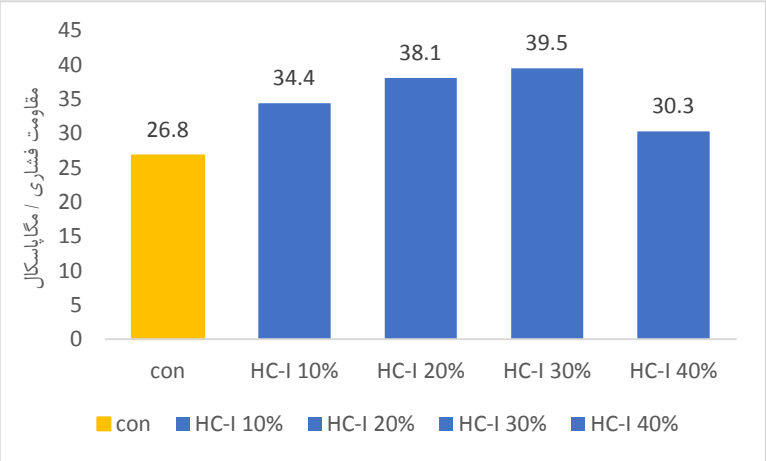
نمودار ۳ مقایسه میزان روانی تمامی نمونه های مورد آزمایش

۱۰-۳- مقاومت فشاری بتن

به کارگیری سنگدانه های سنگین علرغم افزایش چگالی نسبت به سنگدانه های معمولی نیز تأثیر خوبی هم بر روی مشخصه مقاومت بتن می گذارند. مطابق مشاهدات و نتایج کسب شده می توان اذعان نمود که نوع دانه بندی و اندازه سنگین دانه ایلمنیت به سبب متراکم نمودن بتن و پر نمودن فضای خالی بین سنگدانه های معمولی و همچنین به دلیل مقاومت و سختی بالای این ماده، سبب افزایش مقاومت فشاری بتن می گردد. نتایج بدست آمده از آزمایشات مقاومت فشاری نمونه ها در سن ۲۸ روزه، مطابق جدول شماره ۱۰ و نمودار شماره ۴ نشان می دهد که بهینه ترین طرح اختلاط ساخت بتن سنگین نیز متعلق به طرح HC-I ۲۰% یعنی بتن دارای ۲۰٪ پودر ایلمنیت می باشد و در ادامه آن بیشترین میزان مقاومت فشاری کسب شده متعلق به طرح مخلوط HC-I ۳۰٪ یعنی بتن دارای ۳۰٪ پودر ایلمنیت جایگزین حجمی ماسه می باشد. نتایج این آزمایش صراحتاً مشخص نمود که افزودن بیش از حد از پودر ایلمنیت در بتن به تناسب باعث افزایش مقاومت فشاری نخواهد شد. چه بسا که این امر مستلزم آزمایش و بهینه یابی بر اساس نوع مصالح مصرفی و اندازه مصرفی آن ها می باشد. در طرح مخلوط HC-I ۴۰٪ شاهدیم که با افزایش پودر ایلمنیت به میزان ۴۰٪ حجمی جایگزین ماسه نیز میزان مقاومت فشاری بتن کاهش می یابد که علت آن ناشی از برهم خوردن دانه بندی بین ریز دانه و درشت دانه بتن و در نتیجه ایجاد فضای خالی مابین سنگدانه ها می باشد.

جدول ۱۰ مقایسه مقاومت فشاری کسب شده تمامی نمونه های بتن مورد آزمایش

زمان نمونه	CON	HC-I ۱۰٪		HC-I ۲۰٪		HC-I ۳۰٪		HC-I ٤۰٪	
	مقاومت فشاری MPA	مقاومت فشاری MPA	درصد تغییر نسبت به نمونه شاهد	مقاومت فشاری MPA	درصد تغییر نسبت به نمونه شاهد	مقاومت فشاری MPA	درصد تغییر نسبت به نمونه شاهد	مقاومت فشاری MPA	درصد تغییر نسبت به نمونه شاهد
۲۸ روزه	۲۶/۸	۳۴/۴	۲۲٪	۳۸/۱	۲۹٪	۳۹/۵	۳۲٪	۳۰/۳	۱۱٪



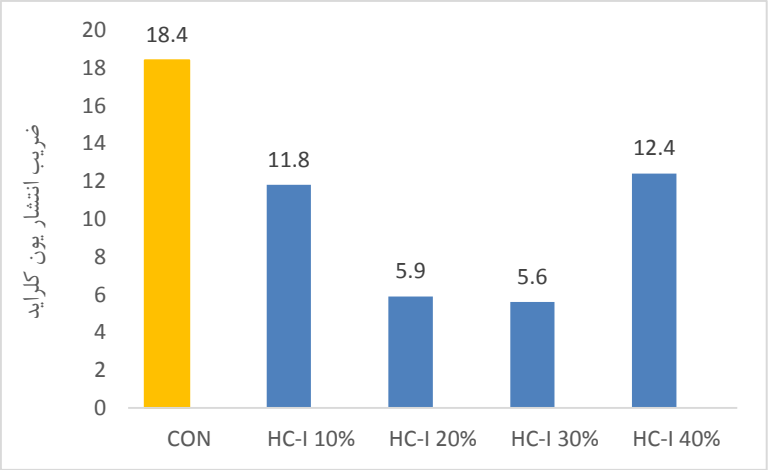
نمودار ۴ مقایسه مقاومت فشاری کسب شده تمامی نمونه های بتن مورد آزمایش

۱۰-۳- نفوذ یون کلراید

نتایج بدست آمده از تست RCMT به شرح جدول شماره ۱۱ می باشد که بیانگر ضریب نفوذ یون کلراید در هر نمونه بتنی است. بر مبنای آزمایشات صورت گرفته نیز میزان ضریب نفوذ یون کلراید در بتن شاهد $۱۸/۴ * ۱۰^{-۱۲}$ می باشد. همچنین میزان ضریب نفوذ یون کلراید در بتن HC-I۱۰٪ که دارای ۱۰٪ پودر ایلمنیت می باشد نیز در مقایسه با نمونه شاهد ۳۵٪ کاهش داشته است. در ادامه طرح HC-I۲۰&۳۰٪ که دارای ۲۰٪ و ۳۰٪ ایلمنیت هستند به ترتیب در مقایسه با نمونه شاهد کاهش ۲۷٪ و ۲۲٪ درصدی نفوذ یون کلراید در بتن را کسب کرده اند. در انتها طرح HC-I۴۰٪ که دارای ۴۰٪ پودر ایلمنیت است، نیز کاهش ۳۲٪ ضریب نفوذ یون کلراید را نشان می دهد. نتایج بدست آمده نشان می دهد که سنگ دانه های ایلمنیت به دلیل اندازه، نوع دانه بندی و خاصیت جذب می توانند ضریب نفوذ کلراید را در بتن کاهش دهند اما با افزایش این ماده و برهم خوردن ترکیب و نظم دانه بندی و نیز به تناسب آن افزایش فضای مویینه باعث می گردد تا یون کلراید در خلل و فرج و عمق بتن نفوذ کرده و باعث خرابی و زوال آن گردد. در نتیجه بهینه یابی طرح مخلوط با توجه به نوع و خصوصیات هر مصالح جهت بهبود و افزایش دوام و خواص بتن سنگین از اهمیت زیادی برخوردار می باشد. بنظر می رسد با تولید یا تهیه ایلمنیت در دامنه اندازه ماسه می تواند تاثیر به مراتب بهتری را در بتن سنگین ایجاد نمود.

جدول ۱۱ مقایسه ضریب یون کلراید در نمونه های مورد آزمایش

نام طرح	CON	HC-I ۱۰٪	HC-I ۲۰٪	HC-I ۳۰٪	HC-I ٤۰٪
ضریب انتشار یون کلراید $x۱۰^{-۱۲}$ $m^۲/s$	۱۸/۴	۱۱/۸	۵/۹	۵/۶	۱۲/۴



نمودار ۵ مقایسه ضریب یون کلراید در نمونه های مورد آزمایش

۱۱- نتیجه گیری

در این تحقیق تلاش گردید تا با بهره گیری از سنگین دانه معدنی ارزان قیمت و در راستای حمایت از تولید صنایع و معادن داخلی با استفاده از پودر ایلمنیت معدن تیتانیوم شهرستان کهنوج استان کرمان که بعنوان بزرگترین معدن خاورمیانه محسوب می شود استفاده شود. همچنین در ادامه به بررسی دوام بتن ساخته شده در برابر نفوذ یون کلراید جهت بکارگیری در سازه های بتنی دریایی مانند اسکله بنادر، سکوهای نفتی و یا هر نوع سازه بتنی که در مجاورت یون کلراید می باشند نیز بهینه یابی طرح اختلاط ضمن در نظر گرفتن رفتار و مقاومت آن مورد بررسی قرار گیرد. با مقایسه نتایج بدست آمده و جمع بندی آن ها نیز می توان اذعان نمود که بتن دارای ۲۰٪ پودر ایلمنیت جایگزین حجمی ماسه موجود در بتن سنگین دارای بهینه ترین حالت ممکن می باشد.

- نتایج آزمون مقاومت فشاری بتن سنگین مورد مطالعه ثابت کرد که استفاده از ۳۰٪ پودر ایلمنیت جایگزین حجمی ماسه در بتن نیز باعث افزایش ۳۲٪ مقاومت ۲۸ روزه بتن سنگین بعنوان بالاترین مقاومت فشاری کسب شده در بین سایر طرح ها و پس از آن افزودن ۲۰٪ پودر ایلمنیت جایگزین حجمی ماسه در بتن موجب افزایش ۲۹٪ مقاومت فشاری در بتن بعنوان بهینه ترین حالت از منظر اقتصادی خواهد گردید. همچنین افزودن بیش از ۳۰٪ حجمی پودر ایلمنیت در بتن نیز باعث برهم خوردن دانه بندی و تراکم بتن گردیده و باعث کاهش مقاومت بتن می گردد.
- نتایج حاصل از آزمایش روانی بتن سنگین مورد مطالعه ثابت نمود که استفاده از حداکثر ۳۰٪ حجمی پودر ایلمنیت در بتن بدلیل میزان درصد جذب آب و خشن بودن سطح بتن سنگین نیز میزان کارایی یا روانی بتن را کاهش می دهد. اما در صورت استفاده از بیش از ۳۰٪ حجمی پودر ایلمنیت در بتن به دلیل سطح مقطع کروی شکل و لغزیدن دانه ها و ساختار بتن بر روی یکدیگر نیز میزان

روانی یا کارایی بتن ضمن خشک بودن نیز افزایش می یابد. لذا توصیه می گردد قبل از استفاده از پودر ایلمنیت در بتن ابتدا آن را به حالت مرطوب با سطح خشک (SSD) در آورده و در راستای کاهش نسبت آب به سیمان و افزایش کیفیت و دوام بتن از انواع مکمل های روان کننده استفاده گردد.

- مطابق با تعاریف مراجع و استانداردهای مختلف در خصوص تعریف بتن سنگین با وزن مخصوص بالای ۳۰۰۰ کیلوگرم در هر متر مکعب نیز بررسی ها نشان داد که استفاده از حداقل ۲۰٪ پودر ایلمنیت جایگزین حجمی ماسه موجود در بتن، مجاز است.
- مطابق نتایج بدست آمده از تست RCMT انجام شده بر روی نمونه های مورد مطالعه محرز گردید که استفاده از ۳۰٪ حجمی پودر ایلمنیت در بتن نیز تا ۲۷٪ باعث کاهش نرخ ضریب نفوذ پذیری یون کلراید در بتن و همچنین با کمی اختلاف استفاده از ۲۰٪ حجمی پودر ایلمنیت در بتن سنگین تا ۲۲٪ کاهش ضریب نفوذ پذیری یون مهاجم در بتن گردیده که متناسب با آن افزایش دوام بتن در برابر یون مهاجم پدید می آید.

سپاسگزاری

قدردانی فراوان از دپارتمان فنی و مهندسی موسسه آموزشی "ماهرشو...!" شهرستان شیراز برای همکاری در روند انجام آزمایشات و کوشش های موثر و لازم که جهت ثمربخش بودن این تحقیق داشته اند.

مراجع

[۱] K. Sakra, E. El-Hakim, Atomic Energy Authority, Hot Laboratory Center, Radiation Protection Department, P.O. Box۱۳۵۷۵۹, Kalubiuah, Cairo-A.R.E., Egypt B Metallurgy Department–Nuclear Research Center, Atomic Energy Authority, Cairo, Egypt, “Effect Of High Temperature Or Fire On Heavy Weight Concrete Properties” ۲۰۰۶

[۲] Mohammed A. Khalaf, Cheah Chee Ban, Mahyuddin Ramli , School Of Housing, Building And Planning, Universiti Sains Malaysia, ۱۱۸۰۰ Usm, Malaysia, “The Constituents, Properties And Application Of Heavyweight Concrete: A Review” ۲۰۱۹

[۳] Manuel Contreras Llanes۱ & Manuel Jesús Gázquez González۲ & Silvia María Pérez Moreno۱ & Juan Pedro Bolívar Raya , “Recovery Of Ilmenite Mud As An Additive In Commercial Portland Cements” ۲۰۱۸

[٤] Misagh Goldoost Rezaei, Hadi Tarvirdizadeh Sangari, "Study Of The Advantages And Disadvantages Of Light And Heavy Structural Concretes" Fourteenth International Congress Of Civil Engineering - Tehran, Iran , ۲۰۱٦ (Persian)

[٥] Ali Yadollahi, Ali Mohammad Ajrlou, Ahmad Reza Zolfaghari ,"Protection Against Gamma Rays Using Heavy Concrete Containing Lead Slag" Journal Of Engineering Geology, Volume ۹, Number ٤ Winter ۲۰۱٥ (Persian)

[٦] Farnaz Rathi, Mansour Razavi, Iman Mobasherpour, "The Effect Of Temperature On The Behavior Of Iron-Titanium Carbide Composite Prepared From Ilmenite Mineral By Spark Plasma Center" Quarterly Journal Of Advanced Materials And Technologies, Volume ۸, Number ۳ , Fall ۲۰۱۸, Pp. ۳۷-۳ (Persian)

[۷] Shahriar Ghamami, Amir Kazemi, Nastrin Bagheri, "Extraction And Purification Of Titanium Dioxide Nanoparticles With Titanium Tetrachloride From Ilmenite Concentrate Of Kahnooj Mine In Kerman" Journal Of Applied Chemistry, Year ۱٥, Issue Summer ۲۰۱٦ (Persian)

[۸] Alireza Habibi, Yaser Rahmani, Sarkoot Saeedpour, "Optimization Of Heavy Concrete Mixing Design Based On Laboratory Results" Journal Of Civil Engineering Modares, Volume ۱۸, Number ٦, ۲۰۱٦ (Persian)

[۹] Saeed Lisani, Ali Sadr Mumtazi "Effect Of Acid Corrosive Environments On The Performance Of Lightweight Concrete Containers Containing Silica Soot" M.Sc. Thesis In Civil Engineering, Islamic Azad University, Shahroud Branch, Faculty Of Engineering, ۲۰۱٦ (Persian)

[۱۰] Abbas Partovi Deilami, Mirahmad Leshteh Nashaei, Mir Abdolhamid Mehrdad "Study Of The Effect Of Using Sea Salt Water Instead Of Drinking Water On The Mechanical Behavior Of Concrete" Master Thesis In Civil Engineering, University Of Guilan, University Campus, ۲۰۱۵ (Persian)