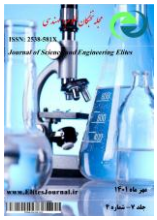
مجله نخبگان علوم و مهندسی

Journal of Science and Engineering Elites

جلد ۷- شماره ۴ - سال ۱۴۰۱

www.ElitesJournal.ir



بررسی تاثیرخاکستربادی بر مقاومت و دوام بتنهای طراحی شده برای موج گیرهای ساحلی دریای خزر

سیدرحیم بهارآور[1]*، نعمت الله قربانی[2]

۱- استادیار گروه عمران، موسسه آموزش عالی شمس، گنبدکاووس،ایران

۲- کارشناس ارشد عمران، گرایش سازه، موسسه آموزش عالی شمس، گنبد کاوس، ایران

*Seyedbah80@gmail.com

ارسال: مرداد ماه ۱۴۰۱ پذیرش: مهر ماه ۱۴۰۱

چکیده

همان طور که میدانیم ماده اصلی تشکیل دهنده بتن سیمان است و تولید سیمان از دیدگاه محیط زیستی یکی از مضررترین مواد تولید شده در جهان است . درتولید سیمان سنگ آهک به عنوان ماده اولیه از معدن استخراج می شود که این امر موجب تلفات زیادی در اکوسیستم محیط زیست می گردد و از سمتی دیگر برای تبدیل این سنگ آهک با فرمول CaCo3 به اکسید کلسیم (CaO) طی واکنشی دی اکسید کلسیم آزاد می شود که این مقدار دی اکسید کلسیم که آزاد می شود بیشترین مقدار تولیدی بین کارخانه های موجود در تولیدات دیگر صنایع است. از سوی دیگر نیز خاکستر بادی که به عنوان پسماند نیروگاههای دارای سوخت ذغالی هستند نیز هنگام دفن ان در طبیعت موجب خسارات عدیده ای بر محیط زیست می گردد. لذا مهندسی عمران بر خود وظیفه میداند تا با افزایش دوام بتنها موجب افزایش عمر آنها گردند تا با افزایش بازدهی نیاز به بتن ریزی مجدد و تخریب آن به حداقل برسد. در این تحقیق به بررسی و آزمایش مربوط به مقاومت و دوام عنصر سازه‌ای بتنی که جزء ضروری صنعت ساختمان است، پرداختیم. برای مشاهده تغییر شکل بتن در طول زمان، که ناشی از شرایط محیطی است که در آن به وجود می آید، ایده آل ترین کار این است که آزمایش را با گستراندن آن در مدت زمان طولانی بررسی کنیم. یعنی در طول یک یا چندین سال این آزنمایشها پیگیری شده و انجام شوند. در این پروژه برای اینکه بتوانیم به بهترین نتیجه در کوتاهترین زمان برسیم بعضی از آزمایشها را به صورت تسریع یافته در آزمایشگاه انجام داده ایم. برای این موضوع بتنهای تهیه شده با طرح اختلاط مشترک بعد از عمل آوری طبق استاندارد به مدت ۲۸روز و ۹۰ روز و ۱۲۰ روز در اب آب دریای خزر به صورت موج های مدل سازی شده قرار گرفته و آزمایشهای مقاومت فشاری، آزمایش تخلخل و کربناته شدن بر روی آنها انجام گرفت که نمونه های با افزایش خاکستر بادی نتایج بهتری را از خود نشان داده اند.

کلمات کلیدی: بتن، مقاومت فشاری، دوام، آب دریای خزر، خاکستر بادی.

۱- مقدمه

بتن از دیرباز به عنوان یکی از مواد اصلی در سازه ها مورد استفاده قرار میگیرد. اصلی ترین ماده موجود در بتن که نقش چسباندن مواد به یکدیگر و کسب مقاومت را دارد سیمان است. سیمان طی فرآیندی به نام هیدراتاسیون مراحل کسب مقاومت را طی میکند. واکنش اولیه پس از مخلوط شدن سیمان و آب رخ می‌دهد و اوج دما اتفاق می افتد. آلومینات (C3A) با H2O (یون

های کلسیم و سولفات) واکنش داده و اترینگایت (هیدرات آلومینات) را تشکیل می‌دهد. ترشح انرژی از این واکنش‌ها باعث اوج گیرش اولیه می‌شود. نتیجه این واکنش، پوشش سطحی ذرات سیمان است. این پوشش سرعت واکنش را کاهش خواهد داد زیرا دسترسی به H2O به اندازه زمان مخلوط شدن بتن، مناسب نیست. از این فاز برای انتقال و ریختن بتن استفاده می‌شود. آب به ۴ شکل می تواند به چهار شکل اشاره شده در زیر وارد بتن گردد[۱]:

۱) از طرق شستن سنگدانه ها برای سرد گردن یا تمیز کردن

۲) از طریق آب اختلاط

۳) از طریق عمل آوری بتن

۴) در شرایط بعد از بتن ریزی که ممکن است بتن در معرض اب های بارانی اسیدی و یا آب دریا و یا فاضلاب و غیره باشد.

۲- پیشینه پژوهش

روغن ها و چربی های گیاهی و حیوانی (که استرهای اسیدهای چرب با گلیسرول می باشند)، اسیدهای (نامحلول) با وزن مولکولی بالا (۲۴ C-12Cکه در روغن ها و چربی ها یافت می شوند مانند اسید اولئیک (C17H33COOH) و اسید استاریک (C17H33COOH)، و گلیسرول همگی می توانند دارای یک اثر مخرب بر روی بتن باشند. بنابراین، ممکن است مشکلاتی در تولید صابون، چربی ها و روغن های پخت و پز، برخی غذاهای فرآوری شده، شمع ها، روغن های مربوط به روغن کاری و غیره، به وجود بیاید. برخی اسیدهای آزاد به طور طبیعی در چربی ها و روغن ها به خصوص روغن های گیاهی یافت می شوند، اما اغلب آنها بر اثر قرارگیری در معرض هوا، تولید می شوند. بنابراین، حمله به بتنی که در معرض هوا قرار دارد سریع تر از بتنی که در زیر آب قرار دارد، صورت می گیرد. روغن ها و چربی ها نیز با مواد قلیایی موجود در بتن واکنش داده و طی فرآیندی که به صابونی شدن معروف می باشد، نمک های اسیدهای چرب و گلیسرول را تشکیل می دهند. لزجت یک روغن تعیین کننده مقدار نفوذ آن نبوده و در نتیجه بر میزان حمله آن بتن، تاثیر می گذارد. خود گلیسرول، آهک را حل می نماید و یک محلول ۲٪ برای بتن نابالغ ساخته شده از سیمان پرتلند، بسیار مضر است، اگرچه که دارای تاثیر کمی بر روی بتن بالغ خوب کربناته شده، می باشد. باید توجه شود که هرچه اغلب روغن های غیرمعدنی می توانند به تن حمله کنند، اما روغن های ویژه ای مانند روغن بذر کتان و tung در صورتی که به عنوان ترمیم سطحی بکار رفته و از طریق خشک شدن، سخت شوند (اکسیداسیون)، می توانند نقش حفاظتی داشته باشند[۲].

اجزاء نفت خام مانند بنزین، گازوئیل، کروسین و نفت کوره اگر چه به بتن بالغ حمله نمی کنند اما سخت شدن بتن تازه را به شدت تحت تاثیر قرار می دهند. این مطلب در مورد روغن های معدنی روغن کاری نیز صادق است، اما مواردی حاوی روغن های گیاهی را شامل نمی شود. از سوی دیگر، کوئوزوت ها حاوی مقداری مواد اسیدی مانند فنول ها بوده ودر نتیجه ممکن است به بتن حمله نمایند[۱].

محلول های رقیق قلیایی دارای تاثیر کمی بر بتن سیمان پرتلند می باشند، اما محلول های غلیظ مثلا (M5 از هیدروکسیدهای فلز قلیایی NaOH) و (KOH) به بتن حمله می کنند که احتمالا این کار از طریق تجزیه فازهای آلومینات هیدراته شده، صورت می گیرد. چنین غلظت های بالای قلیایی می تواند به صورت موضعی به دور کاتدهای فلزی در مواد سیمانی تولید شود که در معرض حفاظت های الکتروشیمیایی بلندمدت در چگالی های موجود بسیار بالا (>lA/m2) قرار دارند.

این پدیده ممکن است با نرم شدگی خمیر سیمان که وقوع آن بعضا در مجاورت کاتدهای موجود در داخل بتن در معرض الکترولیز شدید گزارش شده است، ارتباط داشته باشد. جدا از سولفات ها، نمک های دیگری نیز وجود دارند که می توانند تاثیرات مخربی بر بتن بگذارند. این موارد شامل نمک های حاصل از اسیدهای قوی بر بازهای ضعیف است که همانند اسیدهای ضعیف رفتار کرده و در نتیجه دارای اثری مشابه این اسیدها بر بتن می باشند. به علاوه، تبادل یون می تواند بین کاتیون های موجود

در نمک و آنهایی که در سیمان وجود دارند، اتفاق بیفتد. نمک های آمونیوم عموما مخرب تر از نمک های بازهای دیگر هستند. یون های $NH4+$ ، با یون های $Ca2+$ در خمیر سیمان، مثلا با هیدروکسید کلسیم، مبادله می شوند[۳].

$$2NH4Cl+Ca(OH)2=CaCl2+2NH4OH \quad (۱)$$

$$NH4OH=NH3+H2O \quad (۲)$$

آمونیای تولید شده ممکن است به تدریج در محلول از بین برود، به گونه ای که تعادل به سمت حل بیشتر یون های $Ca2+$ از خنیر سیمان، پیش می رود. به طور مشابه، چنانکه هنگام بررسی اثرا سولفات ها بیان گردید، نمک های منیزیم، مخرب تر از نمک های فلزات قلیایی دیگر یا کلسیم می باشند، چنانکه یون های $Mg2+$ با یون های $Ca2+$ در فازهای هیدرات سیمان، مبادله شده و هیدروکسید منیزیم (بروسیت) و ژل سیلیکا تشکیل می گردد.

این دو ماده نیز به آهستگی واکنش داده و سیلیکات منیزیم هیدراته تشکیل می شود که ایجاد خاصیت تردی و شکنندگی نموده و موجب کاهش مقاومت می گردد. محلول های نمک های کلرید با غلظت بالا مانند کلرید منیزیم، می توانند برای بتن مضر باشند، چنانکه بر اثر واکنش باهیدراتهای آلومینات کلسیم موجود در بتن سیمان پرتلندف هیدرات های کلر و آلومینات و بر اثر واکنش با CH، نمک های پایه منبسط شونده تشکیل می گردند.

انواع شکرها در بسیاری از صنایع تولید می شوند، مثلا به صورت شکرهای خالص یا اجزاء تشکیل دهنده میوه ها، شیرینی ها و دیگر خوراکی ها، نوشیدنی ها و خمیر چوب. واکنش هایی میان شکرها و یون های کلسیم در محصولات سیمان اتفاق افتاده و نمک های کلسیم تولید شده و موجب ته نشینی هیدروکسید کلسیم، C-S-H و هیدرات های آلومینات کلسیم می گردد که این شرایط منجر به افت مقاومت بتن می شود. به طور کلی، نرخ حمله مواد شیمیایی مهاجم به بتن ممکن است تحت تاثیر چندین فاکتور باشد که عبارتند از[۲].

- غلظت مواد شیمیایی واکنش دهنده و سرعت های بازسازی آنها در محیط آبی اطراف بتن.
- در مورد اسیدها، غلظت یون های $H+$ که وسط مقاومت های آنها، یعنی ثابت های جدایش آنها(Ka) ، و نیز توسط غلظت کلی اسید مورد نظر مشخص می شود. (توجه: اسیدهای معدنی مثل $H2SO4$ بسیار یونیزه و در نتیجه در غلظت کلی یکسان، با سرعت های بیشتری نسبت به اسیدهای ضعیف نسبتا یونیزه شده مانند اسید کربنیک، به بتن حمله می کنند).
- محصولات انحلال (Ksp) از میان محصولات واکنش و قابلیت آنها در تشکیل لایه های محافظ نامحلول.

۲-۱- شسته شدن توسط آب و اسیدها

آب خالص، آهک و تا حدی آلومینا از ترکیبات موجود در خمیر سیمان را در خود حل نموده و موجب افزایش نفوذپذیری و سرانجام رسوبی غیر متبلور از سیلیس هیدراته شده، اکسید آهن و آلومینا می گردد. این فرآیند، که به شسته شدن معروف است، شامل چندین مرحله است که در آن ابتدا پرتلندیت (CH) حل شده و سپس به C-S-H حمله می کند و هیدرات های آلومینات کلسیم ایجاد می شود. اما این انحلال به دلیل حلالیت محدود واکنش دهنده ها بسیار آهسته بوده Ksp) برای $Ca(OH)2$ در $25°C$برابر ۶-۱۰*۵/۵ می باشد) و در نتیجه آسیب به بتن معمولا قابل اغماض می باشد، مگر زمانی که نفوذپذیری بتن بسیار بالا باشد و آب به طور پیوسته در آن جریان یابد. جریان آب از ایجاد حالت اشباع جلوگیری نموده و موجب می شود که مواد بیشتری به صورت واکنش نداده باقی بمانند. این حالت همچنین موجب از بین رفتن مواد نامحلول با اتصال سست می شود که این مواد ممکن است لایه محافظتی را بر روی بتن پس از حمله شیمیایی اولیه، تشکیل داده باشند. بنابراین، انحلال ادامه می یابد و در حالت های حدی ممکن است عدم یکپارچگی کامل اتفاق بیفتد. در سازه های قرار گرفته در معرض فشار هیدرواستاتیکی قابل ملاحظه، نرخ ورود سیال افزایش می یابد مانند سدها، لوله های بتنی جدار نازک و مجاری عبور آب، و اثر مخرب نیز ممکن است شدت یابد. مشکلات شسته شدن ناشی از عمل حل کنندگی آب نسبتا خالص، در برخی سدهای ناحیه اسکاندیناوی که با بتن متخلخل

ساخته شده بودند، گزارش شده است. در صورتی که لوله ها به جای آنکه فقط در داخل رس واقع باشند، در ماسه یا رس ماسه دار قرار گیرند، آسیب وارده به آنها شدیدتر می شود[۳].

وجود اسیدها، سرعت تهاجم را از طریق واکنش و حل اجزاء تشکیل دهنده اصلی سیمان هیدراته شده (هیدروکسیدهای قلیایی، هیدروکسید کلسیم، هیدرات های سیلیکات کلسیم، هیدرات های آلومینات کلسیم، مونوسولفات و اترینگایت) و سنگدانه های ویژه ای مانند سنگ آهک، افزایش می دهد. در مورد مقاومت در برابر حمله اسید، کیفیت بتن مهم تر از نوع سیمان می باشد. بتن با عمل آوری خوب و تراکم مناسب با w/c پایین تا متوسط، نسبتا متراکم بوده و نفوذپذیری پایینی دارد و بنابراین نرخ ورود سیال و در نتیجه میزان حمله به بتن کاهش یافته و عموما به فرسایش سطحی محدود می گردد. وجود سرباره های کوره ذوب آهن یا پوزولان ها در بتن ممکن است منجر به نرخ آهسته تر حمله سید گردد که از طریق کاهش نفوذپذیری و کاهش مقدار هیدروکسید کلسیم صورت می گیرد. ما به نظر نمی رسد که تفاوت های موجود میان بتن های سیمان پرتلند و بتن های شامل مقداری سیمان های سرباره ای یا پوزولانی در مقایسه با تفاوت های میان بتن های با کیفیت های مختلف، اهمیت چندانی داشته باشند. سیمان های شامل میکروسیلیس، مقداری بهبود در مقاومت نسبت به اسیدهای آلی ویژه (مثلا استیک و لاکتیک) و اسیدهای معدنی HCI) و (H2SO4 را نشان داده اند. بهبود مقاومت در برابر اسیدها (استیک و لاکتیک) در انبار های علوفه تازه جریانی نیز در صورت افزودن متاکائولین به بتن سیمان پرتلند، گزارش شده است[۴].

اگر سنگدانه های آهکی بیشتر از سنگدانه های مقاوم به اسید مورد تهاجم واقع می شوند، این پدیده گاهی اوقات می تواند مفید واقع شود، چرا که در این حالت، منبعی از کربنات فراهم می گردد که توانایی بتن در خنثی نمودن اسید را طولانی نموده و در نتیجه عمر سرویس افزایش می یابد. به علاوه، حمله اسید به بتن به صورت یکنواخت تر اتفاق می افتد، چرا که سیمان و سنگدانه هر دو تخریب می شوند. این حالت مثلا در مورد لوله های قرار گرفته در معرض حمله اسیدها مهم می باشد، زیرا یک سطح نسبتا صاف ایجاد می شود که نسبت به بتن ساخته شده با سنگدانه شنی، از نظر هیدرولیکی کارآمدتر می باشد که در آن حمله اسید، سطحی ناصاف ایجاد نموده و سنگدانه های برآمده و خرده های ناشی از سنگدانه های جدا شده را برجا می گذارد. منابع عمده اسیدهایی که بر بتن تاثیر می گذارند عبارتند از: (۱) آب زیرزمینی و خاک های اسیدی (سولفوریک، کربنیک، هامیک، لاکتیک)، (۲) کشاورزی، مثلا خاک ها، انبارهای کود، زمین های نگهداری حیوانات (لاکتیک، بوتیریک، استیک)، (۳) باران اسیدی (کربنیک، سولفوریک، نیتریک)، (۴) آبروها و فرآیندهای صنعتی (هر نوعی از اسیدها)، (۵) مجاری فاضلاب (سولفوریک)، (۶) آب دریا (کربنیک). تنها اسید معدنی معمول در آب زیرزمینی طبیعی، عموما در نواحی باتلاقی و لجن زارها، اسید سولفوریک می باشد. این اسید، از طریق اکسیداسیون شیمیایی و باکتریایی کانی های سولفید مانند پاپریت و مارکاسیت (FeS2)موجود در خاک یا سنگ ها و نیز در مصالح پرکننده (معمولا شیل) در مناطق ساخت و ساز، تشکیل می شود. هر مقدار اسید سولفوریک خنثی ده توسط مواد معدنی در مجاورت خاک یا سنگ ها، می تواند به بتن حمله نماید. به علاوه واکنش های انبساطی می توانند میان اسید سولفوریک و مواد معدنی در خاک اتفاق بیفتند، مثلا تشکیل سنگ گچ از کلسیت که منجر به بالاآمدگی (تورم) و در نتیجه آسیب به سازه های بتنی مجاور می گردد[۵].

اسید سولفوریک نیز عامل خوردگی بتن در سیستم های فاضلاب می باشد که در آنها شرایط بسیار اسیدی می شود .(pH< l) نمونه های بیشتری از حمله اسید سولفوریک به بتن (و همچنین دیگر اسیدهای معدنی)، در موارد استفاده آن در فرآیندهای صنعتی (که اسید می تواند به محفظه های ذخیره سازی و کف ها، حمله نماید) و ریختن، چکه کردن و انباشته سازی آن به عنوان ضایعات شیمیایی، اتفاق می افتد. در شرایط رطوبتی، اسید سولفوریک و اسید کربنیک از گازهای ضایعاتی، SO2و CO2 تشکیل می شوند که این گازها در دودکش های نیروگاه ها و تونل های راه آهن تولید شده و می توانند موجب حمله به قسمت های بتنی سازه ها گردند. به صورت کلی تر، هوای آلوده شامل برخی گازهای اسیدی مانندSO2 ، NOxو CO2 می باشد که در رطوبت هوا حل شده و باران اسیدی را به وجود می آورند که اساسا شامل اسیدهای سولفوریک، نیتریک و کربنیک می باشد pH) برابر ۴/۵- ۳/۵). معمولا اثر باران اسیدی، تخریب سطوح بتنی سازه ها بوده و بنابراین اساسا ظاهر سازه را تحت تاثیر قرار می دهند. با

این وجود، نشان داده شده است که نگهداری نمونه ها در هوای غنی شده، با CO_2 در حضور نمک هایی مانند نیتریت سدیم سبب تجریه شدن NO_x شده و می تواند موجب تغییرات عمده ای در فرآیند عادی کربناسیون گردد. این پدیده منجر به ایجاد غلظت های بالای نیتریت و نیترات کلسیم محلول در فاز محلول حفره ای مصالح می گردد[۶].

اسیدهای اصلی یافت شده در آب های زیرزمینی سبک (شیرین) در برخی نواحی کوهستانی یا نواحی مردابی مرتفع عبارتند از اسید کربنیک و اسید هامیک. اسید کربنیک هنگامی تشکیل می شود که CO_2 در آب حل شود:

$$CO_2+H_2O=H_2CO_3 \quad (۳)$$

مقدار کمی از (CO_2 (03/0%) در هوای غیرآلوده وجود دارد، اما همین مقدار موجب قوی تر شدن یک محلول بسیار رقیق اسید کربنیک pH) در حدود ۵/۷) می گردد. به عنوان مثال در مناطق نمزارهای زغال سنگ، مقادیر بیشتری از CO_2 ناشی از تجزیه مواد آلی ممکن است در آب حل شود. هرچند که pH چندان کاهش نمی یابد، مگر آنکه اسیدهای دیگری وجود داشته باشند.

مقادیر بیشتری از اسید کربنیک می تواند به ندرت در آب حاصل از اعماق بیشتر به وجود آمده و pH را پایین تر بیاورد (تا ۳/۸) که این پدیده ناشی از افزایش حلالیت CO_2 در فشارهای بالاتر می باشد، درحالی که سطوح اسیدی ناشی از CO_2 معمولا در آب های سنگین (شامل نمک های کلسیم و منیزیم محلول) قابل ملاحظه نمی باشد.

CO_2حل شده در آب سبک (بدون نمک های محلول) برای بتن خورنده می باشد و ابتدا با هیدروکسید کلسیم واکنش داده و کربنات کلسیم نسبتا نامحلول تولید می نماید:

$$Ca(OH)_2+H_2CO_3=CaCO_3+H_2O \quad (۴)$$

سپس محصول این واکنش، با اسید کربنیک واکنش داده و ماده نامحلول بی کربنات کلسیم (که به کربنات هیدروژن کلسیم نیز معروف می باشد) تشکیل می شود:

$$CaCO_3+H_2CO_3=Ca(HCO_3) \quad (۵)$$

که این حالت منجر به حل شدن مقداری از خمیر بتن می شود[۵].

در مورد آب سخت شامل نمک های محلول، این وضعیت پیچیده تر می گردد. مثلا اسیدکربنیک موجود در آب عبوری از روی سنگ آهک، بر اثر انجام واکنش، ماده بی کربنات کلسیم تولید می نماید. در این صورت، خاصیت اسیدی کاهش یافته و معمولا مقدار دی اکسید کربن آزاد در آب، قابل اغماض خواهد بود. اما اگر مقداری CO_2 آزاد وجود داشته باشد، بخشی از آن در پایدار نمودن بی کربنات کلسیم شرکت نموده و بقیه آن که CO_2» مهاجم» نامیده می شود، قادر به واکنش با بتن می باشد. عموما، CO_2 مهاجم فقط در مقادیر قابل ملاحظه در داخل آب خالص (نرم) وجود دارد. مقدار CO_2 مهاجم همچنین تحت تاثیر تعادل های شامل نمک های دیگر مانند سولفات های کلسیم و منیزیم می باشد که اغلب در آب وجود دارند[۴].

دیگر عوامل اسیدی معمول در آب های زیرزمینی طبیعی یافت می شوند، جمعا با عنوان اسید هامیک شناخته می شوند که نشان دهنده مخلوطی پیچیده از اسیدهای ضعیف، با وزن های مولکولی از حدود ۱۰۰۰۰۰۰ تا حدود ۵۰۰ می باشد که بر اثر فساد و متلاشی شدن مواد آلی در خاک ها تولید می شوند. گاهی اوقات عبارت اسید فالویک برای بخش با وزن مولکولی پایین تر به کار برده می شود، درحالی که از عبارت اسید هامیک برای بخش با وزن مولکولی بالاتر استفاده می شود. آب اشباع شده با اسید هامیک برخلاف حلالیت پایین آن، دارای pH حدود ۴ در غیاب سنگ های خنثی کننده مانند سنگ آهک می باشد. خاصیت اسیدی واقعی، با شرایط آب و هوایی و فصلی، دارای نوسان می باشد. هنگامی که اسید هامیک با بتن واکنش می دهد، مخلوطی از نمک های کلسیم تشکیل می شوند که حلالیت های آنها برحسب وزن مولکولی هر یک از اسیدها، تغییر می نماید. اسیدهای دیگری که دارای اثر مخرب بر روی بتن می باشند عبارتند از اسیدهای آلی محلول در آب با وزن مولکولی نسبتا پایین. برای مثال، اسید لاکتیک در آب های باتلاقی یافت شده است. مقادیر زیادی از اسیدهای لاکتیک و استیک از منابع غذایی و کودی موجود در زمین های نگهداری حیوانات، تولید شده و می توانند موجب تخریب شدید بتن گردند. (در مورد زمین های نگهداری حیوانات، بسیاری از مواد مهاجم دیگر نظیر-Cl ،، +Mg2، +NH4نیز وجود دارند) .دیوارهای بتنی و کف های خاکی می توانند

در معرض حمله اسیدهای لاکتیک، استیک و بوتیریک که در تولید علوفه تازه تشکیل می شوند، قرار گیرند. اسید لاکتیک و بوتیریک، که در صورت ترش شدن شیر و کره تولید می شوند، موجب بروز مشکلاتی برای مخازن و کف های بتنی در تاسیسات تهیه پنیر و مواد لبنی می گردند. مشکلات مشابهی بر اثر اسید استیک در فرآیندهای تهیه سرکه و ترشیجات غذایی، و بر اثر اسید سیتریک، مالیک، تارتاریک و اکسالیک در صنایع شامل فرآوری میوه ها، ایجاد می شوند که میزان شدت حمله آنها بسته به حلالیت نمک های تشکیل شده، متفاوت می باشد[۶].

۲-۲- تأثیر آب دریا بر بتن

تکنولوژی بتن، تألیف پروفسور آدام نویل آب دریا حاوی سولفات ها می باشد که عامل حمله به بتن هستند. لکن کلرورها نیز در آب دریا وجود دارند که آنها نیز از عوامل حمله به بتن به شمار می آیند. تهاجم آب دریا به بتن معمولاً موجب انبساط حجمی بتن نمی شود، چراکه گچ و اترینگایت در محلول کلروری حل شده و توسط آب دریا شسته می شوند و در نتیجه تجریه یا ترک خوردگی در بتن ایجاد نمی گردد. لکن با شسته شدن لایه های بتن توسط آب دریا، تخلخل بتن افزایش یافته و منجر به کاهش مقاومت بتن می شود. از طرفی، فشار ناشی از تبلور نمکهای آب دریا در حفره های بتن می تواند باعث انبساط در سطح بتن شود. تبلور نمک آب دریا در بالای سطح آب (محل تبخیر آب) صورت می پذیرد. تهاجم آب دریا به بتن تنها زمانی رخ می دهد که نفوذ آب دریا به بتن انجام شود. بنابراین میزان نفوذپذیری بتن در مقابله با عوامل مهاجم به بتن بسیار حائز اهمیت می باشد[۷].

شکل۱- تاثیر آب دریا بر پایه های پل بتنی

بتن در فاصله بین ترازهای جذر و مد در معرض تر و خشک شدن متناوب بوده و به شدت مورد حمله عوامل مهاجم موجود در آب دریا قرار می گیرد. اما بخشی از بتن که همیشه داخل آب است، کمترین آسیب را خواهد دید. به دلیل مسدود شدن حفره های بتن که ناشی از رسوب هیدروکسید منیزیم و گچ (تشکیل شده از واکنش سولفات منیزیم و هیدروکسید کلسیم) می باشد، نفوذ آب دریا به داخل بتن آرامتر می گردد. در بعضی شرایط اثر آب دریا بر روی بتن با تأثیر مخرب یخبندان، تأثیر ضربه امواج آب و تأثیر سایش بتن همراه می گردد. با جذب نمک های کلرید و سولفات توسط بتن، خوردگی آرماتور های بتن در نتیجه فرآیند الکتروشیمیایی آغاز شده و در نتیجه بتن ترک می خورد که این امر می تواند موجب خرابی بیشتر بتن شود. در بتن مسلح واقع در معرض آب دریا، رعایت کاور بتن به میزان ۵ تا ۷.۵ سانتیمتر روی آرماتورها ضروری می باشد. توصیه هایی نیز برای عیار سیمان و نسبت آب به سیمان می توان به شرح زیر ارائه نمود[۱].

حداقل عیار سیمان مصرفی بتن در بالای سطح آب = ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب

حداقل عیار سیمان مصرفی بتن در زیر سطح آب = ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب

حداکثر نسبت آب به سیمان بتن = ۰.۴ الی ۰.۴۵

۳- مواد و روشها

۳-۱- مواد

مواد مورد استفاده در این تحقیق به شرح زیر است:

۱. سنگدانه

۲. سیمان

۳. آب

۴. خاکستر بادی

۳-۱-۱- سنگدانه

سنگدانه با درصدهای۴۵٪، ۳۵٪ و ۲۵٪ به ترتیب شن ریز و شن درشت و ماسه بوده است که همانگونه که قبلا اشاره شد از سنگ شکن کارخانه آسفالت و با وزن مخصوص به ترتیب ۲.۴، ۲.۵ و ۲.۷ تن بر مترمکعب بوده اند.

۳-۱-۲- سیمان

سیمان مورد استفاده در این پروژه سیمان ۱-۵۲۵ N و سیمان سفید ۵۲.۵ می باشد. که در این سیمان با توجه به مشخصه های موجود به عنوان سیمان آزمایشگاهی مورد استفاده قرار می گیرد و سیمان مورد نظر از کازخانه سیمان شاهرود تهیه گردیده است که مشخصات شیمیایی و فیزیکی آن به شرح زیر می باشد.

جدول۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی سیمان مورد استفاده

عنصر فیزیکول	بلین Cm^2/gr	گیرش اولیه min	گیرش نهایی min	مقاومت فشاری ۲ روز	۳روز	۷ روز	۲۸ روز	گسترش اتوکلاو(٪)
سیمان شاهرود	۳۲۰۰	۲۲۰	۲۵۵	۱۸۵	۲۴۰	۳۳۰	۴۸۰	۰.۰۸
انحراف استاندارد	۱۵۰	۳۰	۳۵	۱۵	۲۰	۲۵	۲۵	۰.۰۳
استاندارد ملی ایران	□ ۲۸۰۰	□۴۵	□۳۶۰	□۱۰۰	-	-	□۴۲۵	۰.۸۰
EN1971	5-	□۶۰	-	□۱۰۰	-	-	□۴۲۵	-

۳-۱-۳- خاکستر بادی

استفاده از خاکستر بادی باعث افزایش زمان گیرش می‌شود اما به همان نسبت استحکام مخلوط را به میزان قابل توجهی بالا می‌برد. به عنوان مثال اگر نسبت استفاده از خاکستر بادی در مخلوط بتن ۳۰ درصد به جای سیمان باشد، زمان استحکام و گیرش آن نزدیک به ۲ ساعت افزایش می‌یابد. همچنین استفاده از خاکستر بادی به کاهش اتلافی اتصلات سرد در بتن موم ساز کمک می‌کند. میزان کارآیی، کیفیت و بالا رفتن راندمان تولید به ترکیبات و درصد خاکستر بادی در مخلوط بتن بستگی دارد که به طورکلی با توجه به انواع آن عبارت است از:

- در نوع خاکستر F ترکیبات بتن با این ماده ۱۵ تا ۲۵ درصد به جای سیمان است.
- در نوع خاکستر C ترکیبات بتن با این ماده ۱۵ الی ۳۶ درصد به جای سیمان است.
- خاکستر بادی نوع C نیز با نسبت ۱۵ الی ۳۶ درصد به جای سیمان جایگزین می شود.

خاکستر بادی مورد استفاده در این پژوهش از شهر آنکارای ترکیه تهیه شده است و و از نوع C می باشد که ترکیب شیمیایی و فیزیکی ان به شرح جدول زیر است.

جدول۲- آنالیز خاکستر بادی مورد استفاده

نام عنصر	مقدار ٪
SiO2	۳۸/۳۸
Al2O3	۱۸/۷۲
Fe2O3	۵/۰۶
CaO	۲۴/۶۳

MgO	۵/۰۸
SO3	۱/۳۷
Na2O	۱/۷۱
K2O	۰/۵۶

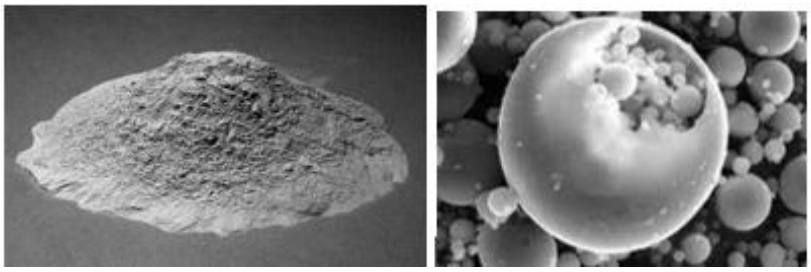
همانطور که در جول بالا مشاهده می نماییم مقدار سه عنصر اصلی یعنی سیلیس اکسید و الومینیوم اکید و اکسید آهن بالای ۶۰ درصد خاکستر بادی را تشکیل می دهد.

۳-۱-۴- آب

آب مورد استفاده برای تختلاط آب شهری قابل شرب در شهر گنبد کاووس می باشد که برای انجام آزمایش نیز آب دریای خزر مور استفاده قرار گرفته است.

۳-۲- روش

ما در این پژوهش ابتدا نمونه بتنهای شاهد را که بدون هیچ گونه مواد افزدونی است تهیه و قالب گیری نمودیم و سپس بتن دوم را که دارای درصهای مختلف خاکستر بادی بوده است را در قالبهای مربوطه ریختیم.



شکل۲- نمونه ای از خاکستر بادی مورد استفاده

بتنهای دارای خاکستر بادی بعد از ۵۶ روز عمل آوری از حوضچه خارج و بعد از یک روز نگهداری در محیط آزمایشگاه و هم دما شدن با آن در داخل آب دریا قرار گرفتند و به وسیله موج مصنوعی خیس و خشک شدند و این عمل ۲۸ و ۹۰ و ۱۲۰ روز ادامه داشت که در پایان سنین مذکور آزمایشهای مربوطه طبق استاندارد بر روی نمونه ها اعمال و نتایج در فصل بعدی ارایه گردید.

شکل۳- نمونه بتنهای تهیه شده برای آزمایش های فشاری

در این آزمایش نمونه های مکعبی ۱۵ سانتیمتری برای مقاومت فشاری و نمونه های استوتنه ای ۱۵ در ۳۰ سانتیمتر برای مقاومت خمشی و نمونه های مکعبی ۱۰ سانتیمتری برای جذب آب و کربناته شدن در نظر گرفته شده اند.

۳-۲-۱- طرح اختلاط

برای انجام بتن ریزی مواد مورد نیاز برای ترکیب بتن با ترازوهای حساس وزن و در میکسر آزمایشگاهی اختلاط گردیده و نمونه های بتنی تهیه شده است. مقدار مصالح مورد استفاده در یک متر مکعب از هر یک از انواع بتن قالب گیری شده به شرح جدول زیر می باشد:

جدول۳- اختلاط برای یک متر مکعب بتن

نام بتن	ماسه ٪	شن ریز(۰/۴-۸)٪	شن درشت(۸-۱۴)٪	سیمان kg/M3	آب kg/M^3	خاکستر بادی kg/M^3
C1F0	۴۵	۳۵	۲۵	۳۵۰	۱۷۵	۰
C1F10	۴۵	۳۵	۲۵	۳۱۵	۱۷۵	۳۵
C1F20	۴۵	۳۵	۲۵	۲۸۰	۱۷۵	۷۰
C1F30	۴۵	۳۵	۲۵	۲۴۵	۱۷۵	۱۰۵
C1F40	۴۵	۳۵	۲۵	۲۱۰	۱۷۵	۱۴۰

طبق جدول اختلاط خاکستر بادی به مقدار ۱۰، ۲۰،۳۰ و ۴۰ درصد جایگزین سیمان گشته است.

۴- آزمایشها و نتایج

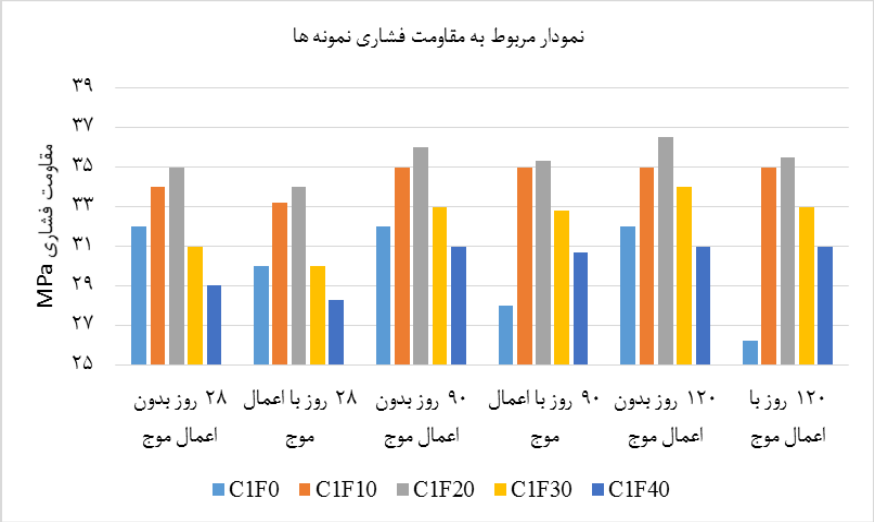
۴-۱- نتایج آزمایش مقاومت فشاری

همانطور که قبلا نیز اشاره شد نمونه ها طبق استاندارد چون دارای مواد افزودنی پوزولانی هستند بعد از ۵۶ روز عمل آوری در آب اشبا با آهک در ازمایشگاه از حوضچه عمل آوری خارج و به مدت ۲۸ و ۹۰ و ۱۲۰ روز تحت امواج مصنوعی با بازه زمانی ۵ ثانیه قرار گرفت به طوری که از هر ۵ ثانیه یکبار امواج به بتنها با سعت ۸ کیلومتر بر ثانیه اثابت می کردند. سپس مقاومت فشاری نمونه ها طبق استاندارد American Society for Testing Materials ASTM C39/C39M انجام شد که نتایج زیر حاصل گردیده است[۹].

جدول۴- مقاومت فشاری نمونه های بتنی در معرض امواج و در معرض هوای محیط مگاپاسکال

	۲۸ روز بدون اعمال موج	۲۸ روز با اعمال موج	۹۰ روز بدون اعمال موج	۹۰ روز با اعمال موج	۱۲۰ روز بدون اعمال موج	۱۲۰ روز با اعمال موج
C1F0	۳۲	۳۰	۳۲	۲۸	۳۲	۲۶/۲
C1F10	۳۴	۳۳	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵
C1F20	۳۵	۳۴	۳۶	۳۵/۳	۳۶/۵	۳۵/۵
C1F30	۳۱	۳۰	۳۳	۳۲/۸	۳۴	۳۳
C1F40	۲۹	۲۸	۳۱	۳۱	۳۱	۳۱

با دقت در جدول بالا متوجه می شویم که نمونه های حاوی ۲۰ ٪خاکستر بادی در ۲۸ روز بعد از خروج از حوضچه هم در محیط و هم در معرض امواج مقاومت بهتری از خود نشان داده اند و حتی با گذشت زمانن نیز مقدار مقاومت آنها به خاط اکتیو شدن خاصیت گوزلانی ارتقا یافته است. همچنین با تمرکز بر روی داده ها شاهد آن هستیم که با افزایش خاکستر بادی در مقایسه یا نمونه شاهد که بدون خاکستر است اختلاف بین نمونه های نگهداری شده در محیط(بدون اعمال موج) با نمونه های در معرض امواج بسیار ناچیزتر می باشد.



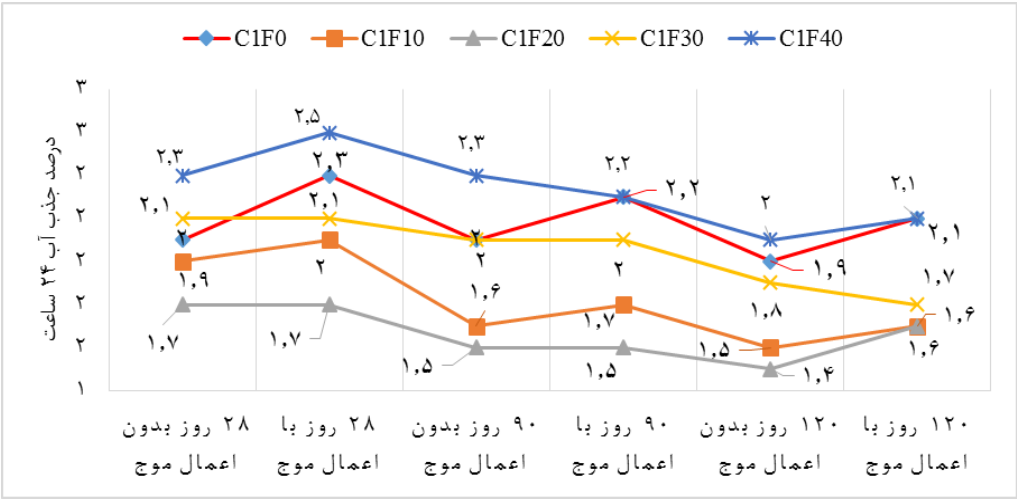
شکل۵- نمودار مقاومت فشاری نمونه ها بر حسب مگاپاسکال

با دقت در نمودار بالا متوجه می شویم که مقاومت بتنها در هر یک از پکیجهای سنی با افزایش خاکستر بادی در هر دو شرایط بهبود داشته است که در همه نمونه ها بتنهای دارای ۲۰٪ خاکستر بادی بهترین مقاومت فشاری را از خود نشان داده اند. و بعد از ۲۰٪ خاکستر بادی نمونه ها شروع به حرکت نزولی نموده اند.

۴-۲- نتایج آزمایش جذب آب (تخلخل)

بسیاری از عوامل سبب می شوند که بتن دارای نفوذ پذیری و جذب آب زیادی می شود مانند عدم تناسب آب، سیمان و سنگدانه ی مناسب در ملات، عمل آوری، درجه تراکم و ...اما همانطور که می دانید بتن هایی با نفوذپذیری بالا به ضعف مقاومتی و عدم کارآمدی مناسب دچار هستند و بزرگترین مشکل نفوذ پذیری، مناسب بودن شرایط حمله مخرب های شیمیایی مانند کلرید می باشد که برای جلوگیری از استفاده ی این نوع ملات های بی کیفیت آزمایش جذب آب که روش کارگاهی بسیار ساده ای هم که دارد توصیه می گردد.

آزمانه مکعبی بتنی را طبق ASTM C 20 با اندازه های ۱۰*۱۰*۱۰ در آب، توزین کرده سپس زیر ارتفاع ۲۰۰ mmغوطه ور می کنیم و با ثبت دقیق زمان با توجه به مقادیر زمانی در جدول زیر به آن فرصت می دهیم سپس آب سطحی آزمانه را به وسیله یک پارچه خشک کرده و مجدد توزین می کنیم[۱۰].



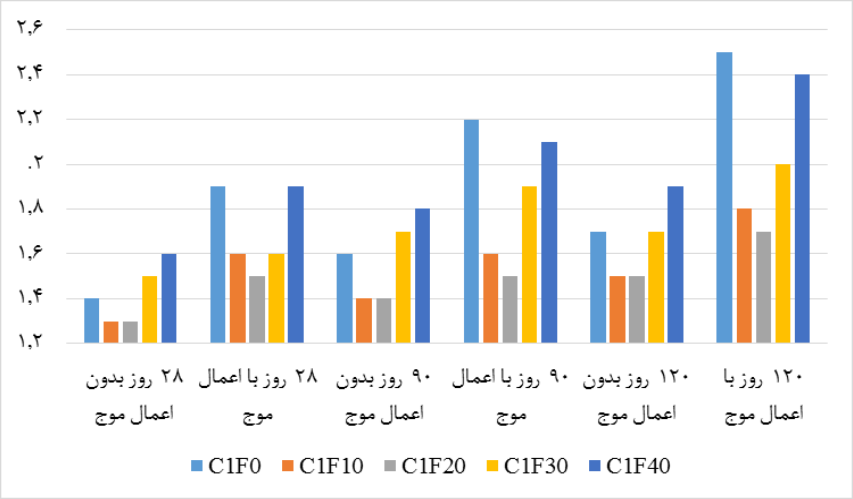
شکل۶- نمودار جذب آب نمونه های بتنی

با توجه به نمودار جذب آب مشاهده می نماییم که نتایج حاصله تابعی از مقاومت فشاری بوده اند در این آزمایش نیز در تمام سنین نمونه دارای ۲۰٪ خاکستر بادی بهترین نتایج را در هر دو محیط و درصدها و سنین ازخود نشان داده است. طبق نتایج آزمایش

جذب آب در ۲۴ ساعت نمونه بتنهای دارای ۴۰ درصد خاکستر بادی نتیجه خوبی از خود نشان نداده اند و اکتیویته پوزولان مربوطه پاسخگوی جایگزینی آن با سیمان نبوده است.

۴-۳- نتایج آزمایش کربناته شدن

کربناته شدن نمونه ها طبق iSO 1920-12 بر روی نمونه های مکعبی ۱۰ سانتیمتری انجام شد و نتایج زیر حاصل گردید.



شکل۷-مقدار کربناته شدن نمونه ها تحت آزمایش تسریع کربناته

با توجه به نمودار کربناته شدن می توان مشاهده نمود که نمونه بدون خاکستر بادی و نمونه دارای ۴۰٪خاکستر بادی بیشترین کربناته شدن را ثبت نموده اند. در نمونه بدون خاکستر بادی چون میزات کلسیم اکسید سیمان بیشتر از خاکستر بادی است و این ماده اصلی ترین عنصر کربناته شدن است لذا مقدار کربناته شدن زیاد است و اما در نمونه دارای ۴۰ ٪ خاکستر بادی نیز به علت بالا رفتن تخلخل و پایین بودن مقاومت نفوذ دی اکسید کربن و رطوبت افزایش داشته است که این امر موجب افزایش کربناته شدن گردیده است. و اما نمونه های ۱۰ و ۲۰ ٪ بهترین نمایش را از خود نشان داده اند که البته نمونه حاوی ۲۰ درصد خاکستر بادی مانند دیگر آزمایشها بهترین بازدهی را داشته است. با گذشت زمان و فعال شدن پوزولانیته خاکستر بادی نیز مقدار کربناته شدن بین سنین مختلف نزولی بوده است.

۵- جمع بندی نتایج و پیشنهادات

طبق آزمایشهای انجام شده بر روی نمونه های بتنی و نمودارهای حاصله که برآیند تاثیرات خاکستر بادی به عنوان پسماندهای نیروگاهی و همچنین در موازات آن تاثیر آب دریا بر بتن بود می توانیم نتایج زیر را از این واکنشها استخراج نماییم:

۱) خاکستر بادی چون پوزولان فعال است با جایگزین شدن به جای سیمان می تواند هزینه بتن را کاهش و با جایگزینی آن گامی بزرگ هم در راستای استفاده از یک پسماند صنعتی و جلوگیری از ورود آن به طبیعت و هم با کم کردن مصرف سیمان مانع از تخریب معادن و طبیعت و تولید دی اکسید کربن اضافی گردد.

۲) خاکستر بادی تا ۲۰ درصد تاثیر مصبت بر تمام ویژگیهای مقاومتی و دوام بتن داشته است.

۳) تاثیر آب دریای خزر بر روی نمونه هایی که دارای خاکستر بادی بوده اند بسیار کمتر بوده است و به علت تشکیل کلسیم سیلیکا هیدرات در فعال شدن اثر پوزولانی و کمتر شدن تخلخل بتن موجب کمتر شدن نفوذ آب و کربناته شدن گردیده است.

۴) استفاده از خاکستر بادی بعد از ۳۰ درصد هرچند نتایج بهتری از نمونه بدون خاکستر در بحث دوام داشته است ولی در روند نموداری که ۲۰ ٪ نقطه عطف بوده است روند مقاومت و دوام معکوس گردیده است.

۵) پیشنهاد می گردد در تحقیقات آتی از انواع الیاف ها استفاده گرد تا تاثیر آن نیز در شرایط محیطی و دریایی سنجیده شود.

۶) طبق نتایج حاصله پیشنهاد می گردد در اختلاطهای بتنی از خاکستر بادی بالای ۲۰٪ جایگزین سیمان استفاده نشود.

۶- مراجع

1. Akinkurolere O. O. Jiang and, C. O. Shobola .M., "The Influence of Salt Water on Compressive Strength of Concrete", Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 2, pp.412-415, 2007.

2. Eiamekamornkul. S. and Saksurpharp. S. "Effect of Sea Water on Compressive Strength of Fly Ash Concrete ", 1998.

3. Griffin .D. F. and Henry .R. L., "The Effect of Salt in Concrete on Compressive Strength, Water Vapor Transmission, and Corrosion of Reinforcing Steel", Technical Report, U.S. Naval Civil Engineering Laboratory, 22 Jully, 2004.

4. Baradan. B. and Yazıcı. H., "Durability in Reinforced Concrete Structures and Innovations Brought by the TS EN 206-1 Standard", Turkey Engineering News, Issue 426-2003/4, pp. 62-69, 2003

5. Uyan .M. and Akkaya .Y., "The Effect of Sea Water as Mixed Water on Concrete Properties", Ready Mixed Concrete Magazine, Turkish Ready Mixed Concrete Association Publication, pp 80-84, Istanbul., July-August 1995.

6. Najatara, M.C., Dhang, N. ve Gupta, A.P., Statiscal Variations in Impact Resistance of Steel-Reinforced Concrete Subjected to Drop Weight Test, Cement and Concrete Research, 29 (1999) 989–995.

7. Wang, N., Mindness, S. ve Ko, K., Fiber Reinforced Concrete Beams under Impact Loading, Cement and Concrete Research, 26, 3 (1996) 363-376.

8. Balaguru, P., N. ve Ramakrishnan, V., Properties of Fiber Reinforced Concrete : Workability, Behavior under Long – Term Loading, Air – Void Characteristics, ACI Material Journal, 85, 3 (1988) 189-196

9. ASTM C39: Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens,. 2016.

10. ASTM C 20 – 00 Standard Test Methods for Apparent Porosity, Water Absorption, Apparent Speci ., (Reapproved 2005).