

# تاثیر پودرسنگ آهک و براده آهن بر خواص مکانیکی و خوردگی بتن

افسانه حق بین<sup>۱\*</sup>، دکتر محمد ابراهیم بحر العلوم<sup>۲</sup>، دکتر محمد حسین شریعت<sup>۳</sup>، دکتر محمود پاکشیر<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مواد، دانشگاه شیراز

<sup>۲</sup> استاد، بخش مهندسی مواد، دانشگاه شیراز

<sup>۳</sup> دانشیار، بخش مهندسی مواد، دانشگاه شیراز

\* نویسنده مسئول: Afsanehghagbin1@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۴/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۶/۱۸

## چکیده

در این تحقیق آزمایشگاهی، بررسی اثر پودرسنگ و براده آهن بر خواص بتن انجام شده است. بتن همراه ۵ درصد پودرسنگ آهک و ۲ درصد براده آهن، بتن همراه ۴ درصد پودرسنگ آهک و ۳ درصد براده آهن با بتن بدون مواد جایگزین با هم مقایسه شده اند که پودر سنگ آهک و براده آهن نقش پرکننده و جایگزین ماسه در بتن شده است و باعث کاهش خوردگی آرماتور در بتن و افزایش خواص مکانیکی بتن می شوند. در ستین مختلف آزمایش های مقاومت فشاری، میزان نفوذ آب و کلرید، پتانسیل آرماتور، تغییر وزن و تصویر میکروسکوپ نوری آرماتور در بتن انجام شده است. نتایج نشان داد که در بتن شامل ۴ درصد پودرسنگ آهک و ۳ درصد براده آهن نسبت به دو حالت دیگر بتن میزان نفوذ آب و کلرید، پتانسیل آرماتور، درصد کاهش وزن آرماتور کاهش و مقاومت فشاری افزایش داشته است.

**کلمات کلیدی:** بتن، براده آهن، مقاومت فشاری، نفوذ آب و یون کلرید، پتانسیل آرماتور

# Effect of Limestone Powder and Iron Particle on Mechanical and Corrosion Properties of Concrete

Afsaneh Haghbin<sup>1\*</sup>, Mohammad Ebrahim Bahrololoom<sup>2</sup>, Mohammad Hosein Shariat<sup>2</sup>,  
Mahmoud Pakshir<sup>3</sup>

<sup>1</sup> M.Sc Student of Materials Science Engineering, Shiraz University, Shiraz.

<sup>2</sup> Professor, Materials Science and Engineering, Shiraz University, Shiraz.

<sup>3</sup> Associate Professor, Materials Science and Engineering, Shiraz University, Shiraz

\* Corresponding Author: afsanehhaghbin1@gmail.com

Submission: July 11, 2013      Acceptance: September 09, 2013

## *Abstract*

In this study, experiments were conducted to evaluate the effect of limestone powder and iron particle on the properties of concrete. Therefore, the concrete specimen with replacement of 5% limestone powder and 2% iron particle, the concrete with 4% limestone powder and 3% iron particle were compared with the concrete specimen without replacement. In fact, limestone powder and iron particle are filler and they are replacement of sand in concrete and they decrease water and chloride penetration of concrete and therefore, decrease corrosion and increase mechanical properties of concrete. In present paper, water and chloride penetration, compressive strength of concrete and also, reinforcement potential, changing weight and optical microscopic images of reinforcement in concrete specimens were evaluated in various conditions and different ages of concrete. The results show water and chloride penetration and also, reinforcement potential, percent of changing weight of reinforcement in concrete specimens decrease and compressive strength of concrete increases in the concrete with 4% limestone powder and 3% iron particle with respect to the concrete with replacement of 5% limestone powder and 2% iron particle and concrete without replacement at various ages.

**Keywords:** Concrete, Iron particle, Compressive strength, Water and chloride penetration, Reinforcement potential

## ۱- مقدمه

خواص بتن می تواند با افزودن مواد خاصی به مخلوط های بتنی اصلاح شده و باعث رشد صنعت مواد جایگزین در بتن شود. از دلایل استفاده از مواد جایگزین در بتن، اصلاح ماسه موجود، کنترل افزایش مقاومت فشاری بتن، کاهش میزان نفوذ آب و یون کلرید در بتن، کم شدن پتانسیل خوردگی بتن و کاهش وزن آرماتور می باشد. معمولاً در ساخت بتن مشکلاتی در دانه بندی ماسه ها وجود دارد و علت آن شسته شدن ماسه در دستگاه ماسه شور است. به همین دلیل اگر از پودر سنگ آهک و براده آهن استفاده شود اثر پرکنندگی دارد و جایگزین ماسه از دست رفته می شود. این دو ماده جایگزین باعث کاهش نفوذ آب و یون کلرید در بتن، کاهش پتانسیل خوردگی آرماتور در بتن و افزایش مقاومت فشاری بتن می شود و از نظر فنی و اقتصادی بهینه می باشند. زیرا کاهش نفوذ آب باعث کاهش خوردگی بتن در مناطق آب خیز و مرطوب می شود. در صورت بکار بردن مواد دیگری مانند میکروسیلیس در بتن علاوه بر اینکه اثر دراز مدت آن در بتن مشخص نیست، از لحاظ زیست محیطی خطرناک است و هزینه بالاتری دارد. در سال ۲۰۱۰ دیامتونیسو و همکاران تحقیقاتی در زمینه اضافه کردن پودر سنگ آهک و خاکستر به بتن انجام دادند و نشان دادند که افزایش ۴۰ درصد پودر سنگ آهک می تواند خواص تغییر شکل سیمان را بهبود بخشد. همچنین اضافه کردن ۲۰ درصد پودر سنگ آهک و ۲۰ درصد خاکستر می تواند دانسیته بتن را افزایش دهد [۱]. چایگنا و همکاران تحقیقاتی در ارتباط با اضافه کردن پرکننده کوارتز و پرکننده پودر سنگ آهک به سیمان انجام دادند و خاصیت هر دو پرکننده را مقایسه کردند و نشان دادند که پرکننده پودر سنگ آهک سرعت خودگیری و مقاومت سیمان را بالا می برد [۲]. یازس و همکاران پودر خاکستر کربن در کارخانه های زغال سنگ، را به بتن اضافه کردند و نتایج نشان داد که استحکام فشاری و پیچشی در شرایط استاندارد بیشتر شده است [۳].

بختیاری و همکاران تحقیقاتی در ارتباط با بتن خود متراکم شامل پودر سنگ آهک انجام دادند و نتایج نشان داد که بتن خود متراکم مخلوط شده با پودر سنگ آهک توانایی تغییر شکل در دمای بالا را دارد [۴]. کورینالدس و همکاران در سال ۲۰۱۱ بتن خود متراکم با استفاده از رشته های فولاد، پلی وینیل الکل و پلی پروپیلن را مورد بررسی قرار دادند که باعث افزایش مقاومت فشاری، بتن خود متراکم همراه با رشته های فولاد است می شود [۵]. دوتو و همکاران در سال ۲۰۰۴ با اضافه کردن ۶٪ فوم سیلیکا به این نتیجه رسیدند که مقاومت الکتریکی بتن زیاد می شود و در نتیجه خوردگی بتن کم می شود همچنین نتایج نشان می دهد که افزودن فوم سیلیکا در حفاظت میله گرد فولاد در مقابل خوردگی کارایی دارد [۶]. یاسال و همکاران تحقیقاتی روی بتن خود متراکم شامل فیبر پلی پروپیلن در دمای ۲۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی گراد انجام دادند و نتایج نشان داد که مقاومت فشاری ایجاد شده کمتر از بتن بدون فیبر پلی پروپیلن است [۷]. در سال ۲۰۱۲ بلایدی و همکاران تحقیقاتی در زمینه افزودن ۵ تا ۳۰ درصد پودر سنگ مرمر به بتن انجام دادند و نتایج نشان داد که مقاومت فشاری نسبت به بتن شاهد کاهش می یابد [۸]. اسوکان و همکاران تحقیقاتی در ارتباط با اضافه کردن ۵ تا ۷ درصد ترکیبات پلاستیکی به بتن انجام دادند و نتایج نشان داد که مقاومت فشاری و کششی در بتن افزایش می یابد [۹]. در این تحقیق بینسی و همکاران تکنیک های استفاده از گرافیت، سنگ مرمر بازیافتی و سرباره کوره زمینی برای اضافه کردن به سیمان در بتن را بررسی کردند. نتایج نشان می دهد استفاده از سنگ مرمر و سرباره کوره زمینی باعث افزایش مقاومت فشاری می شود. مقاومت در برابر نفوذ یون کلرید برای بتن هایی که شامل سنگ مرمر، گرافیت و سرباره کوره زمینی است، بیشتر از بتن شاهد می باشد [۱۰]. شفیق و همکاران روغن پوست درخت نخل برای ساختن بتن سبک با استحکام بالا مصرف کردند. در مالزی از روغن پوست درخت نخل در صنعت استفاده می کنند. جذب آب بتن

## ۲- مواد و روش تحقیق

برای مقایسه خواص بتن با پودر سنگ آهک و براده آهن با بتن بدون مواد جایگزین، سه بتن با طرح اختلاط مختلف در نظر گرفته شده است. طرح اختلاط ها شامل بتن همراه با مواد جایگزین ۳ درصد براده آهن و ۴ درصد پودرسنگ آهک، بتن همراه با جایگزین ۲ درصد براده آهن و ۵ درصد پودرسنگ آهک و همچنین بتن بدون مواد جایگزین می باشد. طرح اختلاط، تعیین مقادیر مواد اولیه تشکیل دهنده بتن یعنی شن، ماسه، سیمان، آب و مواد جایگزین می باشد. خصوصیات لازم برای بتن سخت شده توسط طراح بتن مشخص می شود و جداول مربوط به طرح اختلاط بتن به کار رفته در این تحقیق در نتایج بیان شده است. در تمام طرح اختلاط ها پودر سنگ آهک و براده آهن جایگزین ماسه شده است زیرا ماسه در دستگاه ماسه شور قرار گرفته و ذرات پرکننده را از دست داده است و ایجاد تخلخل در بتن میکند. همچنین باعث کاهش مقاومت فشاری بتن، افزایش نفوذ آب و کلرید در بتن، افزایش پتانسیل خوردگی آرماتور، کاهش تغییر وزن و تخریب آرماتور در بتن می شود، پس این دو ماده پرکننده جایگزین ماسه می شوند. در تعیین طرح اختلاط بتن مجموع ماسه، شن بادامی و شن نخودی ۱۰۰٪ می باشد و به طور مثال در بتن همراه با جایگزین ۳ درصد پودر سنگ آهک و ۴ درصد براده آهن، ۷ درصد از ماسه کم شده و این دو مواد جایگزین وارد طرح اختلاط بتن شده است و بتنی با طرح اختلاط ۷۰٪ ماسه، ۱۵٪ شن بادامی، ۸٪ شن نخودی، ۴٪ پودر سنگ آهک و ۳٪ براده آهن ساخته شده است. در تمام طرح اختلاط های بتن های مورد نظر عیار سیمان  $400 \text{ kg/m}^3$  و تیپ ۲ در نظر گرفته شده است.

شامل OPS در محدوده بهینه ای قرار دارد [۱۱]. نوچایا و همکاران تحقیقاتی در زمینه بتن که شامل خاکستر، فوم سیلیس و سیمان پرتلند است، مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان می دهد مقاومت فشاری وقتی که فوم سیلیس است، کم می شود. استفاده از فوم سیلیس با خاکستر کربن باعث افزایش مقاومت فشاری بتن می شود [۱۲]. ریبرو و همکاران گزارش کردند که تاثیر اضافه کردن گل قرمز بر روی پارامترهای خوردگی بتن مسلح را بررسی کردند. گل قرمز مهم ترین مواد زائد تولید شده توسط آلومینیوم و بوسیله پروسه Bayer می باشد. در pH بالا یک لایه حفاظتی ایجاد می کند که باعث کاهش پتانسیل خوردگی در بتن می شود. در واقع گل قرمز در بتن به عنوان یک ممانعت کننده خوردگی عمل می کند [۱۳]. در تحقیق انجام شده توسط ارملسه و همکاران تاثیر استفاده از از متیل آمین به عنوان ممانعت کننده خوردگی در بتن های شامل میله گرد کربنی در محیط قلیایی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که متیل آمین باعث کاهش خوردگی بتن می شود [۱۴]. در تحقیق انجام شده توسط جمیل و همکارانش مکانیسم ممانعت کنندگی آمینو الکل بازی برای جلوگیری از خوردگی فولاد در محیطی که شامل یون کلرید است، بررسی شد. اندازه گیری الکتروشیمیایی نشان می دهد که لایه ممانعت کننده روی سطح مانع از ایجاد خوردگی می شود [۱۵]. به این ترتیب جهت دستیابی به بتن با خواص بهتر در این مقاله تحقیقاتی انجام شده و هدف این تحقیق بررسی آزمایشگاهی تاثیر پودرسنگ آهک و براده آهن به عنوان مواد جایگزین ماسه، بر خواص مکانیکی و خوردگی بتن بوده است. در آزمایش های انجام شده تاثیر این مواد بر میزان نفوذ آب و یون کلرید، تغییر وزن و تصویر میکروسکوپ نوری آرماتور در بتن، پتانسیل خوردگی آرماتور و مقاومت فشاری بتن در سنین مختلف بررسی شد.

جدول ۱- مشخصات شیمیایی اجزای پودر سنگ آهک مورد استفاده در بتن

| LOI   | TiO <sub>2</sub> | K <sub>2</sub> O | SO <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO | SiO <sub>2</sub> | CaO   | اجزای پودر سنگ آهک |
|-------|------------------|------------------|-----------------|--------------------------------|--------------------------------|-----|------------------|-------|--------------------|
| ۴۲/۲۳ | ۰/۰۵             | ۰/۰۸             | ۰/۰۶            | ۰/۲۹                           | ۰/۲۲                           | ۰/۳ | ۱/۹۴             | ۵۴/۷۷ | درصد وزنی          |

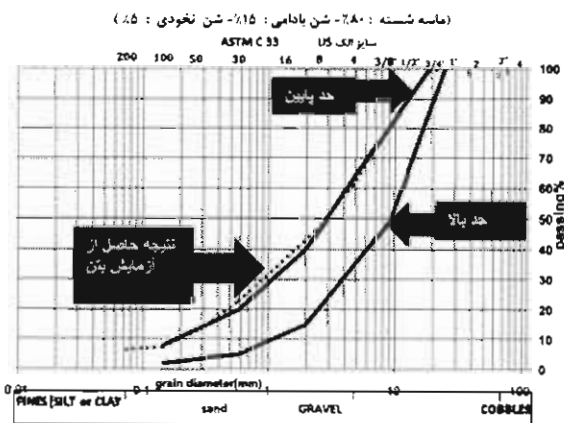
ماندند و در این مدت سطح نمونه ها مرطوب نگهداشته شد و پس از باز شدن قالبها و خشک شدن نمونه ها، مقاومت فشاری توسط دستگاه جک بتن شکن تعیین شد و دمای میانگین محیط آزمایشگاه ۲۵ تا ۳۲ درجه سلسیوس تنظیم می شود. آزمایش تعیین مقاومت فشاری طبق استاندارد ASTM C469 انجام شده و ظرفیت دستگاه جک بتن شکن ۲۰۰ تن است [۱۷]. نمونه های ساخته شده تا سن آزمایش مورد نظر در محیط آبی قرار گرفت و آزمایش تعیین مقاومت فشاری در سنین ۷، ۱۱، ۲۸ و ۴۲ روز انجام شد. میزان نفوذ پذیری آب در بتن توسط قرار دادن بتن تحت فشار ۵ بار آب می باشد و تعیین میزان نفوذ آب بر اساس استاندارد DIN 1048 پس از شکستن نمونه در فاصله زمانی مشخص بر حسب سانتی متر به دست می آید [۱۷]. همچنین برای انجام آزمایش نفوذ تسریع شده یون کلرید مطابق استاندارد ASTM C 1202، یک نمونه بتنی اشباع، با استفاده از دستگاه RCPT در معرض یک ولتاژ ۶۰ ولتی جریان مستقیم به مدت ۶ ساعت قرار می گیرد. نمونه را در محفظه از محلول سدیم کلرید ۳ نرمال قرار می دهند و در مجموع بار الکتریکی عبوری اندازه گیری می شود. نکته قابل ذکر اینکه نمونه های قابل استفاده در دستگاه RCPT، بصورت استوانه های ۱۰×۵ سانتی متر می باشد که این نمونه ها، نهایتاً جهت استفاده در آزمایش به سه قطعه با ارتفاع ۵ سانتی متری برش می خورند. قابل ذکر است که با توجه به حساسیت دستگاه RCPT، لازم است نهایت دقت در برش نمونه ها به کار گرفته شود [۱۷]. برای تعیین پتانسیل نیم پیل آرماتور در بتن که احتمال شروع خوردگی آرماتور را مشخص می کند باید بر طبق استاندارد ASTM C876 نمونه های بتنی استوانه ای با قطر ۷/۵ سانتی متر و ارتفاع ۳۰ سانتی متری که یک آرماتور با قطر ۱۴ میلی متر در وسط آنها قرار داده شده است و به صورت نیمه مغروق در محلول سدیم کلرید (۲۱ گرم در لیتر) نگهداری شوند و در سنین آزمایش ۲۸ و ۱۸۰ روز پتانسیل خوردگی آرماتور در نمونه ها با طرح اختلاط مختلف تعیین می شود و همچنین نمونه های استوانه ای بتن مسلح بر طبق استاندارد ملی ایران

جدول ۱ مشخصات شیمیایی اجزای پودر سنگ آهک استفاده شده را نشان می دهد و پودر سنگ آهک  $\text{CaCO}_3$  می باشد که در انجام آنالیز به آن حرارت زیادی وارد شده و بیشتر به  $\text{CaO}$  تجزیه می شود بقیه مواد به صورت ناخالصی در پودر سنگ آهک وجود دارد. LOI که مخفف loss on ignition است، همان افت حرارتی است که برای تعیین اجزای پودر سنگ آهک حساب می شود.

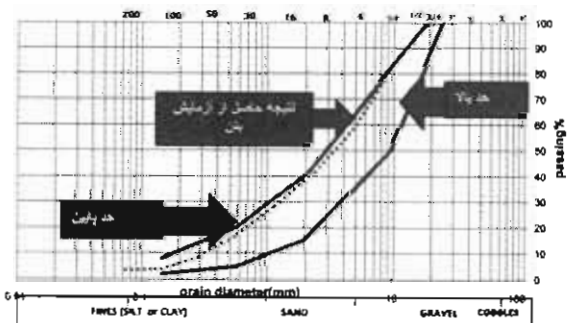
دانه بندی، توزیع ذرات دانه ها در اندازه های مختلف است که معمولاً به صورت درصد های تجمعی بیشتر یا کمتر از هریک از مری اندازه های چشمه الکتها بیان می شوند [۱۶]. چندین دلیل برای تصریح حدود دانه بندی و حداکثر اندازه سنگدانه وجود دارد. مهمترین دلیل، تاثیرشان بر کارایی و قیمت می باشد. برای مثال ماسه های خیلی درشت تولید مخلوطهای بتنی خشن و ناکارامی کنند.

جدول و نمودار مربوط به دانه بندی مصالح سنگی در نتایج وجود دارد. برای تعیین میزان روانی و شلی بتن آزمایش اسلامپ انجام می شود. اسلامپ وسیله ای فلزی به شکل مخروط ناقص می باشد که بتن را در آن می ریزند و بتن ساخته شده را توسط میله ای می کوبند. با برداشتن قالب مخروط میزان روانی و سفتی بتن مشخص می شود [۱۶]. در این تحقیق اسلامپ ثابت برابر با ۵ سانتی متر است. سنگدانه ریز و درشت از نوع تجاری بر اساس آیین نامه ASTM C32 استفاده شدند. درشت دانه های از نوع سنگدانه های شکسته نامنظم با حداکثر اندازه ذرات ۱۹ میلی متر و چگالی ویژه (SSD)  $2.53 \text{ kg/m}^3$ ، وزن مخصوص توده ای  $1580 \text{ kg/m}^3$  و جذب آب ۰/۹ درصد وزنی می باشند و ریزدانه ها از نوع مخلوط طبیعی و شکسته با چگالی ویژه  $2.66$  و وزن مخصوص توده ای  $1770 \text{ kg/m}^3$  و جذب آب ۳/۱ درصد وزنی از معدن دوکوهک شیراز تهیه شدند. در آزمایش های مکانیکی تعیین مقاومت فشاری و میزان نفوذ پذیری آب، نمونه های بتن مکعبی با ابعاد ۱۵ cm در نظر گرفته شده است. نمونه های ساخته شده ۱۲ تا ۲۴ ساعت درون قالب

شکل ۲ و ۳ به ترتیب نمودار دانه بندی طرح اختلاط بتن بدون مواد جایگزین و بتن همراه با ۴ درصد پودر سنگ آهک و ۳ درصد براده آهن بر اساس استاندارد ASTM C33 نشان داده شده است. شکل ۳ نسبت به شکل ۲ طرح اختلاط بهینه را نشان می‌دهد و حداقل منافذ و تخلخل ایجاد می‌شود. زیرا خط نتیجه در شکل ۳ بین دو خط حد بالا و پایین قرار دارد و در شکل ۲ خط نتیجه از بین دو حد خارج شده است. در نتایج به دست آمده بتن همراه با ۳ درصد براده آهن و ۴ درصد پودر سنگ آهک نسبت به بتن بدون مواد جایگزین خوردگی کمتر و خواص مکانیکی بهتری ایجاد کرده است.



شکل ۲ - نمودار دانه بندی مخلوط (ماسه و شن نخودی و بادامی) بتن بدون مواد جایگزین



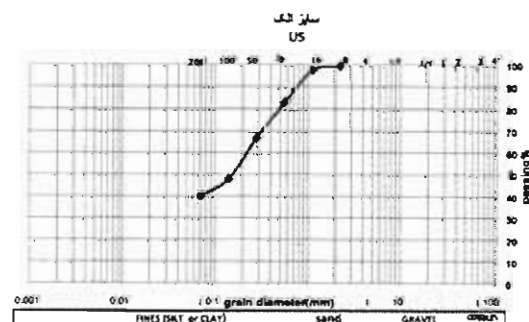
شکل ۳ - نمودار دانه بندی مخلوط (ماسه، شن نخودی، بادامی، پودر سنگ آهک و براده آهن) بتن همراه با جایگزین ۴ درصد پودر سنگ آهک و ۳ درصد براده آهن

۱۹۰۰ ساخته می‌شود که نمونه‌های استوانه‌ای با قطر ۶/۴ سانتی متر و ارتفاع ۱۶ سانتی متر، در وسط آن آرماتور با قطر ۶ میلی متر قرار داده می‌شود. جهت تعیین درصد کاهش وزن آرماتور در بتن، آرماتور در داخل حوض شامل محیط خورنده ۳/۵ درصد وزنی سدیم کلرید در سنین ۷، ۱۱، ۲۸ و ۴۲ روز قرار داده و وزن آرماتور قبل از قرار گیری در محیط خورنده اندازه گرفته شده ( $m_1$ ) نامیده می‌شود پس از اینکه بتن‌ها در سنین آزمایش در محیط خورنده قرار گرفتند نمونه‌ها را کوبیده آرماتور را خارج و وزن نموده ( $m_2$ ) نامیده می‌شود توسط فرمول ۱ درصد کاهش وزن آرماتور در بتن بیان می‌شود و تصاویر آرماتور در بتن پس از ۴۲ روز در محیط خورنده توسط میکروسکوپ نوری با بزرگ نمایی ۷/۵ برابر در نتایج وجود دارد.

$$C_w = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \quad (1)$$

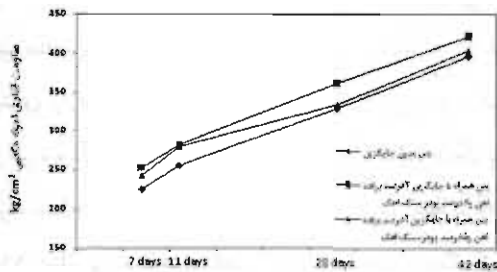
### ۳- نتایج و بحث

در این تحقیق، تاثیر پودر سنگ آهک و براده آهن به عنوان ماده جایگزین ماسه بر خواص مکانیکی و خوردگی بتن بررسی شده است. در این بخش نتایج آزمایش‌های انجام شده روی بتن ارائه می‌شود. همانطور که در روش تحقیق اشاره شد، شکل ۱ دانه بندی براده آهن را نشان می‌دهد و مشاهده می‌شود که در الک ۲۰۰ (هر اینچ ۲۰۰ سوراخ) ۴۰٪ براده آهن عبور کرده است بنابراین ذرات ریز و پرکننده براده آهن تخلخل بتن را پر می‌کند و خواص مکانیکی و خوردگی بتن بهینه می‌شود.



شکل ۱ - نمودار دانه بندی براده آهن

وجود دارد. وجود ریز ترکها در ناحیه انتقال، بین سنگدانه و خمیر سیمان مقاومت را نیز کم می کند [۱۷]. پس با استفاده از پودر سنگ آهک و براده آهن که به عنوان پرکننده جایگزین ماسه در سنگدانه مصرفی در بتن است می توان مقاومت را بالا برد، زیرا تخلخل بتن را کم می کند.



شکل ۴ - مقایسه مقاومت فشاری نمونه ها در سنین مختلف

### ۳-۲- تاثیر مواد جایگزین بر نفوذپذیری آب، یون کلرید و پتانسیل خوردگی آرماتور بتن

آب عنصر اولیه بوجود آمدن بسیاری از مصالح طبیعی و افزایش خوردگی بتن است. مولکولهای آب، به دلیل کوچک بودن قادر به نفوذ در منافذ یا حفره های خیلی ریز می باشند. پس اگر میزان نفوذ آب در بتن کم باشد باعث افزایش دوام و کاهش خوردگی بتن می شود [۱۶]. در شکل ۵ مقایسه میزان نفوذ آب در بتن های مختلف مشخص شده است. میزان نفوذ آب در بتن های همراه با جایگزین پودر سنگ آهک و براده آهن نسبت به بتن بدون مواد جایگزین در سنین مختلف کمتر شده است. نفوذپذیری آب در بتن شامل ۴ درصد پودر سنگ آهک و ۳ درصد براده آهن نسبت به دو حالت دیگر بتن در سنین بالاتر کاهش بیشتری داشت. زیرا در بتن شامل ۴ درصد پودر سنگ آهک و ۳ درصد براده آهن طبق شکل ۳ خط بهینه بین حد بالا و حد پایین است، اصلاح دانه بندی انجام شده است هرچه درصد براده آهن زیادتر از پودر سنگ آهک می شود خواص مکانیکی و خوردگی بتن در محدوده بهینه قرار می گیرد زیرا براده آهن نسبت به پودر سنگ آهک خاصیت پرکنندگی بیشتری دارد. منافذ و تخلخل کاهش یافته و میزان نفوذ آب کمتر شده است با گذشت زمان، میزان

۳-۱- تاثیر مواد جایگزین بر مقاومت فشاری بتن همانطور که در شکل ۴ دیده می شود، مقاومت فشاری نمونه های مکعبی پس از گذشت سنین ۱۱، ۷ و ۲۸ و ۴۲ روز در بتن های همراه با جایگزین پودر سنگ آهک و براده آهن بالاتر از بتن بدون مواد جایگزین هستند. پودر سنگ آهک و براده آهن اثر پرکنندگی در سنین بالاتر را افزایش می دهد. پس در سن ۴۲ روز مقاومت فشاری بتن شامل ۴ درصد پودر سنگ آهک و ۳ درصد براده آهن از بتن شامل ۵ درصد پودر سنگ آهک و ۲ درصد براده آهن بیشتر است. دلیل افزایش مقاومت فشاری بتن مورد نظر با نتایج نشان داده شده در شکل ۳ که بر اساس ASTM C33 می باشد، در ارتباط است. شکل ۳ منحنی دانه بندی ایده آل را نشان می دهد. در منحنی ایده آل دانه بندی نتیجه حاصل از آزمایش طرح اختلاط بتن بین دو خط حد بالا و حد پایین قرار گیرد و اگر انحراف داشته باشد نمودار دانه بندی ایده آل نیست. در شکل ۳ ترکیبات با اندازه های مختلف، حداقل فضای منافذ را موجب می شود و مهم ترین تاثیرشان بر کارایی و قیمت می باشد. در شکل ۳ در الک ۲۰۰ (هر اینچ ۲۰۰ سوراخ) خط نتیجه بدست آمده، در محدوده دو خط حد بالا و حد پایین قرار گرفته است که نشان دهنده وجود ذرات بسیار ریز است. پس تخلخل بتن کاهش یافته که باعث افزایش مقاومت فشاری، کاهش نفوذ یون کلرید، آب و خوردگی بتن می شود. در نتیجه بتن شامل ۴ درصد پودر سنگ آهک و ۳ درصد براده آهن مقاومت فشاری بیشتری (شکل ۴) ایجاد کرده است. چون هر چه میزان براده آهن زیادتر می شود اثر پرکنندگی بتن افزایش می یابد. برای مثال ماسه های خیلی درشت تولید مخلوط های بتنی خشن می کنند و ماسه های خیلی ریز نیاز به آب زیاد دارند که این آب فراوان باعث افزایش مصرف سیمان می شود که از نظر اقتصادی بهینه نیست [۱۷].

به این ترتیب استفاده از این مواد جایگزین در اقتصاد طرح نیز تاثیر دارد. یکی از پارامترهای مهم و اثرگذار در تعیین مقاومت بتن اندازه کانی ها و سنگدانه ها است. به طور کلی رابطه معکوس بین مقاومت و تخلخل یک جسم جامد

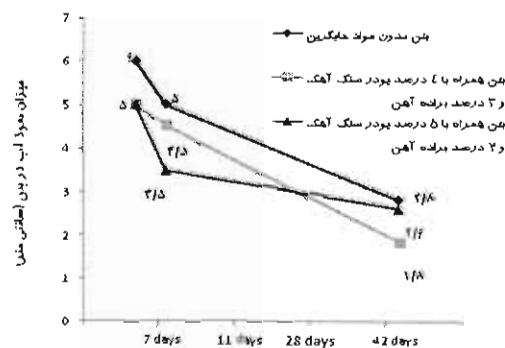
نفوذپذیری یون کلرید نمونه ساخته شده همراه با جایگزین ۴ درصد پودر سنگ آهک و ۳ درصد براده آهن نسبت به نمونه همراه با ۵ درصد پودر سنگ آهک و ۲ درصد براده آهن و نمونه بدون مواد جایگزین، کمتر می‌باشد. همچنین در نمونه همراه با جایگزین ۵ درصد پودر سنگ آهک و ۲ درصد براده آهن نسبت به بتن بدون مواد جایگزین نفوذپذیری آب و یون کلرید کمتر شده است. زیرا هر چه درصد براده آهن زیاد می‌شود اثر پرکنندگی آن افزایش یافته و نفوذپذیری کمتر می‌شود. به عنوان مثال نفوذپذیری یون کلرید در بتن ۷ روزه در نمونه همراه با جایگزین ۳ درصد براده آهن و ۴ درصد پودر سنگ آهک نسبت به بتن بدون مواد جایگزین حدود ۶۵ درصد کمتر (شکل ۶) می‌باشد. این نتیجه نشان دهنده همبستگی بین مقدار نفوذ آب در بتن و نفوذ تسریع شده یون کلرید می‌باشد و هر دو پارامتر پس از افزودن مواد جایگزین کم شده است. در نتیجه میزان خوردگی بتن کمتر می‌شود.

نتایج آزمایش پتانسیل خوردگی در جدول ۲ مشاهده می‌شود پتانسیل خوردگی آرماتور در بتن همراه با ۳ درصد براده آهن و ۴ درصد پودر سنگ آهک نسبت به بتن بدون مواد جایگزین و بتن همراه با ۲ درصد براده آهن و ۵ درصد پودر سنگ آهک کاهش بیشتری داشته است درصد کاهش پتانسیل خوردگی آرماتور در بتن همراه با ۳ درصد براده آهن و ۴ درصد پودر سنگ آهک نسبت به بتن بدون مواد جایگزین در سن ۲۸ روز ۴۰٪ است و جدول ۳ با توجه به استاندارد ASTM C 876 طبقه بندی احتمال خوردگی آرماتورها در بتن را مشخص می‌کند.

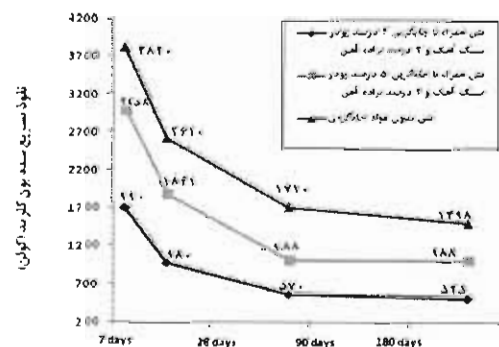
جدول ۲- پتانسیل خوردگی آرماتور (میلی ولت) نمونه‌ها در سنین آزمایش

| نوع بتن   | روز ۲۸ | روز ۱۸۰ |
|---|--------|---------|
| بتن بدون مواد جایگزین                               | -۸۲۰   | -۶۶۰    |
| بتن همراه با ۳ درصد براده آهن و ۴ درصد پودر سنگ آهک | -۵۱۰   | -۲۴۶    |
| بتن همراه با ۵ درصد پودر سنگ آهک و ۲ درصد براده آهن | -۶۸۹   | -۴۴۶    |

کاهش نفوذ آب (شکل ۵) بیشتر می‌شود. زیرا اثر پرکنندگی در سنین بالاتر افزایش می‌یابد. در نتیجه از خوردگی میله گرد در بتن کاسته و همچنین هوازدهی بتن کم می‌شود هوازدهی بتن در اثر عوامل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی ایجاد می‌شود به طور مثال با کاهش نفوذ آب در بتن در محیط‌های با دمای زیر صفر درجه سلسیوس، آب کمتر منجمد شده و حجم آب کاهش می‌یابد، به بتن فشار کمتری وارد شده در نتیجه باعث کاهش تخریب و شکست بتن می‌شود [۱۶]. در نتیجه بتن‌های بدون مواد جایگزین و همراه با ۲ درصد براده آهن و ۵ درصد پودر سنگ آهک که درصد براده آهن کمتر دارند، خواص مکانیکی و خوردگی نسبت به بتن همراه با ۳ براده آهن و ۴ درصد پودر سنگ آهک در محدوده بهینه قرار ندارند.



شکل ۵- مقایسه میزان نفوذ آب نمونه‌ها در سنین مختلف



شکل ۶- مقایسه میزان نفوذ تسریع شده یون کلرید نمونه‌ها در سنین مختلف

در شکل ۶ مقادیر کل بار الکتریکی عبوری اندازه گیری شده برای طرح اختلاط‌های مختلف پس از برقراری جریان الکتریکی نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که



#### ۴- نتیجه گیری

در این تحقیق تاثیر وجود پودرسنگ آهک و براده آهن بر مقاومت فشاری، میزان نفوذ آب، نفوذ تسریع شده یون کلرید، پتانسیل خوردگی آرماتور، درصد کاهش وزن و تصویر میکروسکوپ نوری آرماتور در بتن بررسی شد و نتایج با شرایط بتن بدون مواد جایگزین مقایسه شده است. نتایج تاثیر قابل قبول پرکنندگی دو ماده جایگزین ماسه، پودر سنگ آهک و براده آهن بر خواص بتن را نشان می دهد و هر چه درصد براده آهن بیشتر می شود خواص مکانیکی و خوردگی بهینه تر می شود.

۱- نتایج نشان می دهد که در اثر خاصیت پرکنندگی پودر سنگ آهک و براده آهن، بتن شامل ۳ درصد براده آهن و ۴ درصد پودرسنگ آهک مقاومت فشاری بیشتری نسبت به بتن بدون مواد جایگزین و بتن همراه با جایگزین ۲٪ براده آهن و ۵ درصد پودر سنگ آهک داشته است.

در سن ۴۲ روزدر شکل ۴ نسبت مقاومت فشاری بتن شامل ۳ درصد براده آهن و ۴ درصد پودر سنگ آهک نسبت به بتن بدون مواد جایگزین ۱/۰۳ است.

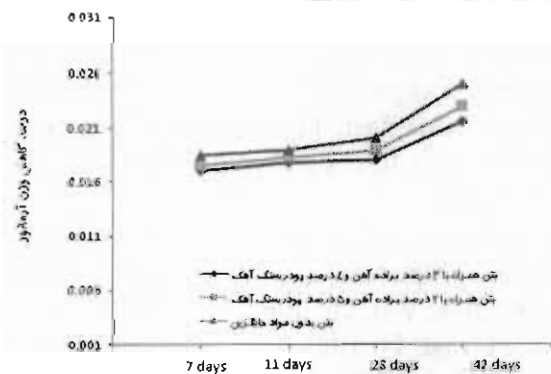
۲- به طور کلی در طرح اختلاط شامل ۳٪ براده آهن و ۴٪ پودرسنگ آهک نسبت به دو طرح اختلاط دیگر بتن به دلیل خاصیت پرکنندگی، میزان نفوذ آب و نفوذ یون کلرید، پتانسیل خوردگی آرماتور و درصد تغییر وزن آرماتور کاهش یافته است و درصد کاهش پتانسیل خوردگی آرماتور در بتن همراه با ۳ درصد براده آهن و ۴ درصد پودر سنگ آهک نسبت به بتن بدون مواد جایگزین در سن ۲۸ روز ۴۰٪ است همچنین درصد کاهش نفوذ آب در بتن همراه با ۳ درصد براده آهن و ۴ درصد پودر سنگ آهک نسبت به بتن بدون مواد جایگزین در سن ۴۲ روز ۳۵ درصد است. کاهش نفوذپذیری محیط خورنده با افزایش سن نمونه ها بیشتر شده است. در نتیجه باعث کاهش خوردگی آرماتور شده و از نظر فنی و اقتصادی بهینه می باشد.

جدول ۳- طبقه بندی احتمال خوردگی در آزمایش نیم پیل (ASTM C876)

| پتانسیل نیم پیل ( میلی ولت ) | احتمال وقوع خوردگی |
|------------------------------|--------------------|
| کمتر از ۲۰۰-                 | ۵٪                 |
| ۲۰۰ تا ۳۵۰-                  | ۵۰٪                |
| بیشتر از ۳۵۰-                | ۹۵٪                |

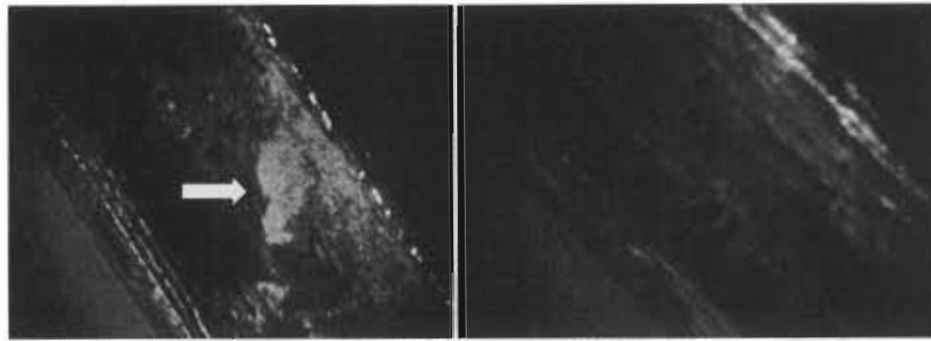
#### ۳-۳- تاثیر مواد جایگزین بر درصد کاهش وزن آرماتور

نتایج نشان دهنده این است که درصد کاهش وزن آرماتور در بتن همراه با ۳ درصد براده آهن و ۴ درصد پودر سنگ آهک نسبت به بقیه طرح اختلاط ها، کاهش بیشتری داشته است. زیرا به دلیل بهینه بودن شکل ۳ منافذ و تخلخل کمتر وجود دارد. در شکل ۷ مقایسه درصد کاهش وزن آرماتور در بتن با طرح اختلاط های مختلف در سنین ۷، ۱۱، ۲۸ و ۴۲ روز وجود دارد. شکل ۸ مقایسه تصویر میکروسکوپ نوری با بزرگ نمایی ۷/۵ برابر آرماتور پس از ۴۲ روز در محیط خورنده را نشان می دهد.



شکل ۷- مقایسه درصد کاهش وزن آرماتور نمونه ها در سنین مختلف

شکل ۸ مربوط به بتن همراه با ۳ درصد براده آهن و ۴ درصد پودر سنگ آهک و بتن بدون مواد جایگزین است. نتایج نشان می دهد که کمترین تخریب و خوردگی را بتن همراه با ۳ درصد براده آهن و ۴ درصد پودر سنگ آهک و بیشترین نفوذ محیط خورنده را مربوط به بتن بدون مواد جایگزین است که بیشترین تخریب و خوردگی را نشان می دهد (شکل ۷).



شکل ۸- تصاویر میکروسکوپ نوری آرماتور پس از ۴۲ روز در محیط خورنده ( سمت چپ بتن بدون مواد جایگزین، سمت راست بتن همراه با ۳ درصد براده آهن و ۴ درصد پودر سنگ آهک)

### مراجع:

- [1] N. Diamantonisa, I. Mariono, M. S. Katsiotis, A. Sakellariou, A. Papathanasiou, "Investigations about the influence of fine additives on the viscosity of cement paste for self-compacting concrete ", *Construction and Building Materials* , Vol. 24, 2009, Pp. 1518-1520.
- [2] L. Pelletier Chaignat, F. Winnefeld, B. Lothenbach, "Beneficial use of limestone filler with calcium sulphoaluminate cement", *Construction and Building Materials* , Vol. 26, 2012, Pp. 619-627.
- [3] H. Yazlcl, M. Yucel, S. Aydin, S. Karabulut, "Mechanical properties of reactive powder concrete containing mineral admixtures under different regimes", *Construction and Building Materials*, Vol. 23, 2009, Pp. 1223-1231.
- [4] S. Bakhtiyari, A. Allahverdi, M. Rais Ghasemi, B. Zarrabi, "Self- compacting concrete containing different powders at elevated temperatures- Mechanical properties and changes in the phase composition of the paste ", *Thermochimica Acta*, Vol. 514, 2011, Pp. 74-81.
- [5] V. Corinaldesi, G. Moriconi. "Characterization of self- compacting concretes prepared with different fibers and mineral additions", *Cement & Concrete Composites*, Vol. 33, 2011, Pp. 596-601.
- [6] J. Dotto, A. Abreu, D. Dal molin, L. Muller, "Influence of silica fume on concrete physical properties and on corrosion behavior of reinforcement bars", *Cement Concrete Composites*, Vol. 26, 2004, Pp. 31-39.
- [7] M. Uysal, H. Tanyildizi, "Estimation of compressive strength of self compacting concrete containing polypropylene fiber and mineral additives exposed to high temperature using artificial neural network", *Construction and Building Materials*, Vol. 27, 2012, Pp. 404-414.
- [8] A. Belaidi, L. Azzouz, E. Kadri, "Effect of natural pozzolana and marble powder on the properties of self-compacting concrete", *Construction and Building Materials*, Vol. 31, 2012, Pp. 251-257.
- [9] P. Asokan, M. Osmani, A. Price, "Improvement of the mechanical properties of glass fibre reinforced plastic waste powder filled concrete", *Construction and Building Materials*, Vol. 24, 2010, Pp. 448-460.
- [10] Binici. H, Shah. T, Aksogan. O, Kaplan. H, "Durability of concrete made with granite and marble as recycle aggregates", *Journal of Materials Processing Technolog* , Vol. 208, 2008, Pp. 299-308.
- [11] P. Shafigh, M.Z. Jumaat., H. Mahmud, " Oil palm shell as a lightweight aggregate for production high strength lightweight concret", *Construction and Building Materials*, Vol. 25, 2011, Pp.1848-1853.

- [12] Nochaiya. T, Wongkeo. W, Chaipanich. A, " Utilization of fly ash with silica fume and properties of portland cement-fly ash- silica fume concrete ", Fuel, Vol. 89, 2010, Pp.768-774.
- [13] Ribeiro. D, V. Labrincha, J. A. Morelli, " Effect of the addition of red mud on the corrosion parameters of reinforced concrete" ,Cement and Concrete Research, Vol. 42, 2012, Pp: 124-133.
- [14] Ormellese. M, Lazzari . L, Goidanich. S, Fumagalli. G, Brenna. A, " A study of organic substances as inhibitors for chloride-induced corrosion in concrete", Corrosion Science, Vol. 51, 2009, Pp:2959-2968.
- [15] Jamil. H.E, Montemor . M.F, Boulif. R, Shriri. A, Ferreira. M.G.S, "An electrochemical and analytical approach to the inhibitor for reinforced concrete" , Electrochimica Acta, Vol. 48, 2003, Pp: 3509-3518.
- [16] N. Adam, "Properties of concrete" , 3rd Ed., 1986.
- [17] Mehta, " Microstructure Properties and Materials" , 3rd Ed., 2006.