

# بررسی تاثیر پودر مگنتیت (اکسید آهن)

## بر خواص مکانیکی بتن خود تراکم

حسین اینانلو عربی شاد

دانشجوی دکتری دانشگاه صنعتی شاهرود  
h.inanloo@shahroodut.ac.ir

فرهنگ سرشکی

دانشیار دانشگاه صنعتی شاهرود  
Farhang-sereshki@shahroodut.ac.ir

محمد عطایی

استاد دانشگاه صنعتی شاهرود  
ataei@shahroodut.ac.ir

سعید بزرگمهر

مدیر تحقیق و توسعه شرکت آپتوس ایران  
Saeed.bozorgmehr@gmail.com

لیلا اکبری نسب

کارشناس ارشد تحقیق و توسعه شرکت آپتوس ایران،  
leila.akbarinasab67@gmail.com

چکیده:

بتن خود تراکم، بتنی است که بدون اعمال هیچگونه انرژی خارجی و تحت اثر وزن خود متراکم می‌گردد. این بتن که ماده ای بسیار سیال و روان و مخلوطی همگن است، بررسی اثر موادمعدنی بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی بتن خود تراکم به عنوان یکی از موارد با اهمیت در سال های اخیر مورد مطالعه قرار گرفته شده است. از آنجا که کشور ایران دارای مناطق فراوانی از ذخایر عظیم سنگ آهن است، بنابراین در این تحقیق خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و خصوصیات شکست بتن خود تراکم حاوی مگنتیت مورد مطالعه قرار گرفت. از این بتن در محل هایی که پرتوهای X و گاما وجود دارند و یا تشعشعات نترون ها دخالت دارند استفاده می شود. در این مطالعه از ذرات مگنتیت با اندازه ۰ تا ۲ میلی متر به میزان ۲، ۵ و ۱۰ درصد وزنی سیمان جایگزین ماسه شده است و در صورتی که در ابعاد ریز یا نانو به کار برده شود می تواند به عنوان فیلر به منظور افزایش کارایی با عملکردی شبیه مواد پوزولانی یا سرباره عمل کند و جهت بررسی خصوصیات مکانیکی، فیزیکی، نحوه و پارامترهای موثر بر شکست بتن خود تراکم استفاده شده است. آزمایش های مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مقاومت خمشی و سرعت انتشار امواج فراصوتی برای بررسی خصوصیات مکانیکی نمونه ها مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش درصد مگنتیت، خصوصیات مکانیکی و فیزیکی بتن خود تراکم در سنین پایین کاهش می یابد ولی با افزایش سن نمونه ها این خصوصیات جبران خواهد شد. همچنین خصوصیات مکانیکی نمونه ها در مقدار ۲ درصد تفاوت چندانی با نمونه های شاهد فاقد مگنتیت نشان نمی داد. در بررسی خصوصیات شکست بتن خود تراکم مشخص شد که با افزایش درصد مگنتیت شکست های فرادانه ای کاهش و شکست های بین دانه ای و درون دانه ای به دلیل کاهش چسبندگی سیمان و دانه های مصالح و موجب افزایش تخلخل و به دنبال آن سبب کاهش جذب آب می شود.

واژه های کلیدی: پودر مگنتیت، خواص مکانیکی بتن خود تراکم، خصوصیات شکست

بتن خود تراکم، انقلابی در تولید بتن می باشد. طبق تعریف کمیته ACI-237R-07 بتن خود تراکم بتنی است فوق روان و مقاوم در برابر جداشدگی که قابلیت پخش شدگی داشته و قالب را پر میکند و آرماتورها را در بر می گیرد. [۱] [بتن یکی از مواد معدنی متداول و نسبتاً ارزان مورد استفاده در پروژه‌های عمرانی، ساختمانی می‌باشد. بتن خود تراکم نخست در سال ۱۹۸۶ توسط H.Okamura در ژاپن پیشنهاد گردید و در سال ۱۹۸۸ این نوع بتن در کارگاه ساخته شد و نتایج قابل قبولی را از نظر خواص فیزیکی و مکانیکی بتن ارائه داد. [۲] در سال ۱۹۹۳ تحقیقات گسترده ای تحت عنوان پروژه Brite- Euam با همکاری کشورهای اروپایی آغاز شد که بر روی پروژه های عمرانی و خانه سازی به عنوان پروژه های تجربی انجام شد. [۳] این بتن به راحتی توانایی پر کردن قالب در محل شبکه های آرماتور فشرده را دارا می باشد و حتی در مواردی که دسترسی به آنها دشوار است به راحتی عبور می کند. تعیین نسبت مواد بتن خود تراکم، به دلیل الزامات مختلف برای حصول اطمینان از خصوصیات عالی جاری شدن و خواص مکانیکی مطلوب، پیچیده است. بتن خود تراکم با استفاده از مصالح بتن معمولی و در اغلب موارد با استفاده از مواد افزودنی ساخته می شود. استفاده از بتن خود تراکم، یک فرآیند سودمند در صنعت ساختمان برای حل مشکل بتن ریزی می باشد. بتن خود تراکم تحت تأثیر مهارت کارگران بتن ریز، شکل قالب و تراکم آرماتور نبوده و با توجه به روانی بسیار بالا و عدم جداشدگی دانه ها، می تواند تا فواصل بیشتری پمپ شود. لی و همکاران در سال ۲۰۰۴ مطالعه ای در زمینه جایگزینی ۳، ۵ و ۱۰ درصدی نانو ذرات هماتیت با سیمان انجام دادند. آنها در این تحقیق نشان دادند که مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه نمونه ها حاوی نانو ذرات هماتیت از نمونه های شاهد بیشتر است [۴] همچنین لی و همکاران در سال ۲۰۰۶ تحقیقاتی در زمینه مقاومت در برابر سایش و مقاومت تراکمی بتن های حاوی نانو ذرات اکسید تیتانیوم (TiO<sub>2</sub>) و اکسید سیلیسیم (SiO<sub>2</sub>) انجام دادند. ایشان در این تحقیق جایگزینی ۳ و ۵ درصدی نانو ذرات سیلیسیم و جایگزینی ۱، ۳ و ۵ درصدی نانو ذرات تیتانیوم با سیمان را انجام دادند. آنها عنوان کردند که بتن های حاوی نانو ذرات مقاومت در برابر سایش و مقاومت تراکمی بیشتری در مقایسه با نمونه های شاهد دارند. همچنین آنها عنوان کردند که بتن های حاوی نانو ذرات تیتانیوم دارای مقاومت تراکمی و مقاومت در برابر سایش بیشتری نسبت به نمونه های حاوی نانو ذرات سیلیسیم دارند [۵] نظری و ریاحی در سال ۲۰۱۱ مطالعه ای در خصوص تأثیر جایگزینی ۱، ۲، ۳ و ۴ درصدی نانو ذرات تیتانیوم با سیمان بر خصوصیات مکانیکی و گرمایی بتن خود تراکم انجام دادند. نتایج تحقیق ایشان نشان می داد که افزایش نانو ذرات تیتانیوم تا ۳ درصد خصوصیات مکانیکی بتن به دلیل تشکیل بیشتر محصولات هیدراته افزایش می یابد. همچنین آنها عنوان کردند که افزایش نانو ذرات تیتانیوم تا ۳ درصد می تواند پیدایش اولین قله (اوج) آزمایش رسانش گرمایی<sup>۱</sup> رابه دلیل تشکیل محصولات هیدراته سیمان تسریع بخشد. [۶] ریاحی و نظری در سال ۲۰۱۱ مطالعاتی در خصوص اثر نانو ذرات اکسید روی بر خصوصیات مکانیکی و گرمایی بتن در حالت غوطه وری نمونه ها در آب و آب حاوی آهک انجام دادند. در این تحقیق آنها جایگزینی ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ درصدی اکسید روی با سیمان را انجام دادند. نتایج نشان می داد که افزایش نانو ذرات اکسید روی در حالت غوطه وری در آب حاوی آهک سبب افزایش خصوصیات مکانیکی بتن می گردد. در حالی که در حالت غوطه وری در آب تأثیر چندانی بر خصوصیات مکانیکی نمونه ها ندارد و در جایگزینی ۲ درصد نانو ذرات اکسید روی با سیمان سبب کاهش خصوصیات مکانیکی بتن می گردد. همچنین آنها عنوان کردند که افزایش نانو ذرات اکسید روی می تواند پیدایش اولین قله (اوج) آزمایش رسانش گرمایی را به دلیل تشکیل محصولات هیدراته سیمان تسریع بخشد. [۷] تاکنون تحقیقات مناسبی در زمینه تأثیر پودر مگنتیت بر روی بتن خود تراکم و اثر آنها بر روی نحوه شکست و میکروترک های ایجاد شده در هنگام شکست بتن های مذکور صورت نگرفته است. از آنجایی که کشور ایران دارای مناطق فراوانی با ذخایر عظیم سنگ آهن است و با توجه به اهمیت

<sup>1</sup>- Conduction calorimetry test

تحقیق درباره بتن های سنگین در پروژه های انرژی اتمی، نظامی و جلوگیری از تشعشعات، هدف از این تحقیق بررسی تأثیر پودر کانی فلزی مگنتیت بر خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و نحوه شکست و ریز ترک های ایجاد شده در بتن های خودتراکم است.

## ۲- پدیده نرم شدگی و ساز و کار ترک

نرم شدگی<sup>۲</sup> به عنوان تغییر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی سنگ به دلیل وسعت ترک های اولیه و ایجاد ترک های جدید تعریف شود. این پدیده می تواند با دو مقیاس متفاوت، ماکرو شکست و میکرو شکست اتفاق بیفتد. ریز ترک ها، ترک های هستند که اندازه آنها در برابر ساختار ماده معدنی کوچک و اغلب با چشم غیر مسلح قابل رویت نیستند. به عبارت دیگر یک باز شدگی ترک گونه ای در سنگ است که نسبت عرض به طول آن کمتر از  $0/01$  و معمولاً بین  $10^{-3}$  تا  $10^{-5}$  متر می باشد. طول یک ریز ترک معمولاً به اندازه یک دانه یا تقریباً ۲ میلی متر است. با توجه به طبقه بندی شکستگی ها در سنگ، سه نوع شکستگی در متون علمی شناسایی شده است که شامل بین دانه ای<sup>۳</sup>، فرادانه ای<sup>۴</sup> و درون دانه ای<sup>۵</sup> است. شکست های بین دانه ای، شکست هایی هستند که در امتداد مرز دانه ها ایجاد می شود: فرادانه ای، شکست هایی هستند که چند دانه را قطع می کنند: درون دانه ای، شکست هایی هستند که درون دانه ایجاد می شوند [۸] (شکل-۱)



شکل (۱) - طبقه بندی انواع شکستگی ها

## ۲-۱- نرم شدگی ناشی از بارگذاری استاتیکی و طبیعی

پدیده های زمین شناسی از قبیل تشکیل سنگ ها، زمین لرزه ها، فوران های آتشفشانی یا انقباضات حرارتی، ریز شکست و شکست هایی با رشد زیاد را در توده سنگ ایجاد می کند که می تواند به شرایط مرزی و سطوح تنش مرتبط باشد. جهت و شدت تنش ها، خصوصیات سنگ (کانی شناسی، بافت، تخلخل) بر الگوهای انتشار و درجه ریز شکستگی مؤثر است. [۹ و ۱۰]

کومانو و گلداسم<sup>۶</sup> در سال ۱۹۸۲ ریز شکست های موجود در امتداد مرز دانه های مواد معدنی را مشاهده کردند. آن ها عنوان کردند که ساختار دانه ها، شکل گیری شکست های ریز سکویی را از جهت مقدار و نوع آن کنترل می کند. [۱۱] شیلد و همکارانش<sup>۷</sup> در سال ۱۹۹۸ گزارش کردند که سیستم های تخلخلی با جهت مشخص، موجب ناهمسانی

2- Preconditioning

3- Intergranular

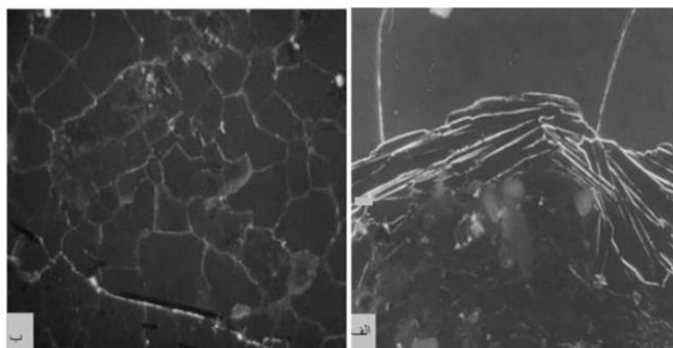
4- Transgranular

5- Intragranular

6- Kumano and Goldsmith

7- Schild et al.

سرعت موج الاستیک می‌شود. در نتیجه نرم‌شدگی خرده‌ها در یک جهت خاص توسعه می‌یابد. [۱۲] شیلد و همکارانش در سال ۲۰۰۱ نمونه‌های گرانیته را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نه تنها وجود ریز شکست‌ها در امتداد مرز دانه‌های معدنی، بلکه در امتداد صفحات تورق بیوتیت نیز مشاهده کردند (شکل ۲-الف). آن‌ها همچنین الگوی متفاوتی از ریز شکست‌ها را در گرانیته شناسایی کردند که تقریباً به بافت گروه موادمعدنی، اندازه و شکل وابسته است (شکل ۲-ب). از این‌رو، به نظر می‌رسد که جهت شکست به ریز بافت سنگ ارتباط دارد [۱۳] ماچک و همکارانش<sup>۸</sup> در سال ۲۰۰۷ نتیجه گرفتند که وجود موادمعدنی متورق، عامل مهم دیگر در تعیین جهت ریز شکستگی است. [۱۴]



شکل (۲) - الف - ترک‌های ناشی از تورق در دانه بیوتیت ب - ترک‌های بین‌دانه‌ای در کوارتز پلی‌کریستال

اکسون و همکارانش در سال ۲۰۰۴ بر اساس آزمون‌های بارگذاری تک‌محوره، تحقیق جامعی را انجام دادند. تحقیق آن‌ها نشان می‌داد که میکاها و کانی‌های کدر انتشار ترک را به سبب تفاوت بین خصوصیات این کانی‌ها و کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده ماتریس، تسهیل می‌کند. این تحقیق به ارتباط بین کانی‌شناسی و الگوهای ریز شکستگی کمک می‌نمود. همچنین آنها دریافتند که ریز شکست‌های درون‌دانه‌ای با احتمال بیشتری می‌تواند در کوارتز و فلدسپار تشکیل شود. [۸] عمر و همکارانش<sup>۹</sup> نیز در سال ۲۰۰۹ عنوان کردند که کانی‌های تشکیل‌دهنده گرانیته، احتمال شکست‌های بین و درون‌دانه‌ای را بالا می‌برد. [۱۵] بریس<sup>۱۰</sup> در سال ۱۹۷۷ نشان داد که بافت درشت گرانیته، شکاف‌های طولی تری را موجب می‌شود. این طول بین ۱۰ تا ۱۰۰ ریز متر در گرانیته دانه درشت و حدود ۱ ریز متر در گرانیته دانه ریز متغیر بود [۱۶] کرانز<sup>۱۱</sup> در سال ۱۹۸۳ ثابت کرد که نسبت بین تعداد ریز شکست‌های بین‌دانه‌ای و درون‌دانه‌ای با به‌کارگیری نرخ بارگذاری بالاتر کاهش می‌یابد. [۱۷] این بدان معناست که نرخ بارگذاری پایین به طور عمده سبب نرم‌شدگی بین‌دانه‌ای، یا به عبارتی ریز شکست‌هایی در امتداد مرز دانه‌ها می‌گردد. ایشان همچنین به سنگ‌هایی که جهت شکست مهمی در آن‌ها به دلیل بافت اولیه و یا شرایط تخلخل خاص وجود نداشت، توجه نمود. بررسی‌های ایشان نشان می‌داد که جهت ترک‌ها دارای زاویه تقریبی ۳۰ درجه نسبت به جهت تنش تراکمی بیشینه است. به طور کلی فاکتورهای اصلی مؤثر بر شکل شکستگی‌ها و در حالت کلی نرم‌شدگی شامل تنش ایجادشده، ساختار کانی‌شناسی، بافت، خصوصیات مکانیکی و الاستیکی سنگ و تخلخل طبیعی یا ترک‌های اولیه است. [۱۸] همان‌طور که اشاره شد یکی از فاکتورهای مهم که با قابلیت نرم‌شدگی در ارتباط است، ریز تخلخل‌های طبیعی یا عیوب اولیه است. بر اساس نظریه گریفیث<sup>۱۲</sup> در سال ۱۹۲۴، این فرض وجود دارد که فضاهای

<sup>8</sup> - Machek et al.

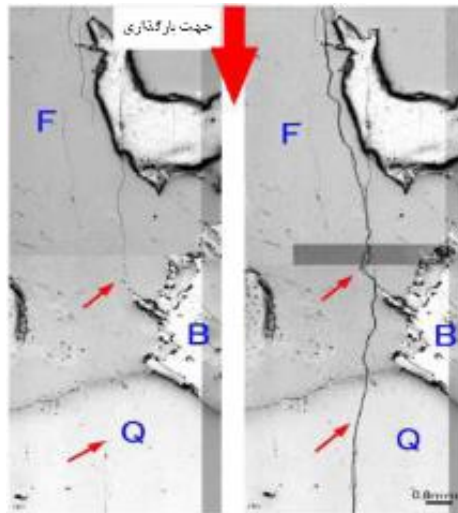
<sup>9</sup> - Omar et al.

<sup>10</sup> - Brace

<sup>11</sup> - Kranz

<sup>12</sup> - Griffith

خالی، تحت تأثیر تنش‌ها برای فروریختن و ایجاد شکست‌های عمود بر جهت بارگذاری، متراکم می‌شوند. [۱۹] این مطلب توسط لیو و همکارانش در سال ۲۰۰۶ از طریق استفاده از اسکن لیزری هم‌کانون در نمونه‌های گرانیتی اثبات شد. با بکارگیری این تکنیک، ایجاد و گسترش شکست‌هایی با رشد زیاد ناشی از عیوب اولیه قابل رؤیت است. در شکل (۳) گسترش شکستگی از ترک‌های اولیه در دانه‌های فلدسپار، کوارتز و بیوتیت نشان داده شده است [۴].



(۳) - ترک‌های طبیعی (سمت چپ)، شکستگی ایجاد شده از انتهای ترک‌های اولیه در فلدسپار و گسترش موازی با جهت بارگذاری (بیوتیت) (B: فلدسپار، F):

### ۳- مشخصات مصالح مصرفی

#### ۳-۱- آب

برای عمل آوری بتن خود تراکم و ساخت نمونه‌ها، از آب موجود در شبکه آبرسانی شهر کرج استفاده شده است.

#### ۳-۲- سیمان

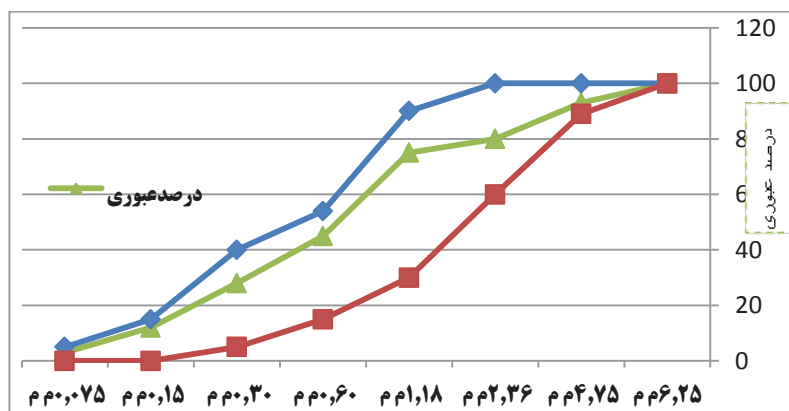
سیمان به کار رفته در این تحقیقات از نوع سیمان پرتلند نوع ۴۲۵-۱ تولید کارخانه سیمان سپاهان می‌باشد. دارای وزن مخصوص ۳۱۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب بوده است و ترکیبات شیمیایی عناصر و اکسیدهای موجود سیمان پرتلند تیپ ۴۲۵-۱ در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱) - مشخصات شیمیایی و درصد ترکیبات سیمان مورد استفاده

| ترکیب                          | مقدار (%) |
|--------------------------------|-----------|
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۳,۲       |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۵,۶       |
| SiO <sub>2</sub>               | ۲۱,۶۸     |
| MgO                            | ۱,۸       |
| CaO                            | ۶۳,۲      |
| SO <sub>3</sub>                | ۱,۷       |
| Na <sub>2</sub> O              | ۰,۲       |
| K <sub>2</sub> O               | ۰,۷       |
| افت سرخ شدگی                   | ۱,۲۴      |

### ۳-۳- ماسه

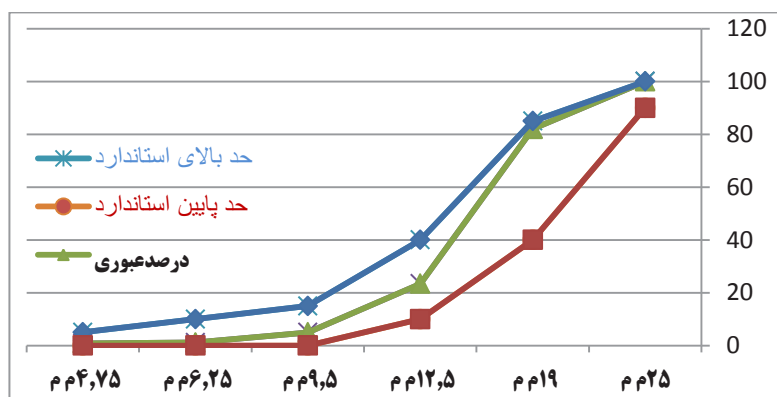
ماسه مصرفی به صورت طبیعی در محدوده ۰-۶ میلی متر بوده که پس از دانه بندی و کنترل کیفیت مطابق استاندارد ASTM C33 مورد استفاده قرار گرفته است. نمودار دانه بندی بتن مصرفی در شکل (۴) نشان داده شده است. [۲۰]



شکل (۴) - نمودار دانه بندی ماسه مصرفی

### ۳-۴- شن

شن به صورت ترکیبی از سنگدانه های شکسته و طبیعی با بزرگترین اندازه سنگدانه ۱۹ میلی متر بوده که پس از دانه بندی و مطابقت آنها با استاندارد ASTM C33 مورد استفاده قرار گرفته و همچنین درصد خاک موجود در آن (عبوری از الک ۲۰۰) توسط آزمایش های مربوطه مورد تایید قرار گرفته است و مقدار آن کمتر از ۳٪ وزنی می باشد. مقادیر وزن مخصوص اشباع با سطح خشک و جذب آب شن نیز در جدول (۲) نشان شده است. نمودار دانه بندی درشت دانه ها در شکل (۵) نمایش داده شده است. [۲۰]



شکل (۵) - نمودار دانه بندی درشت دانه مصرفی

جدول (۲) - مشخصات مصالح مصرفی

| مصالح                           | شن  | ماسه |
|---------------------------------|-----|------|
| وزن مخصوص (gr/cm <sup>3</sup> ) | ۲,۶ | ۲,۵۵ |
| جذب آب (%)                      | ۲,۱ | ۲,۷  |

### ۳-۵- میکرو سیلیس

میکرو سیلیس مصرفی به عنوان پرکننده، از کارخانه صنایع فرو سیلیس سمنان تهیه شده است. مشخصات شیمیایی ریز سیلیس مصرفی در جدول (۳) آورده شده است.

جدول (۳) - مشخصات شیمیایی ریز سیلیس مصرفی

| مشخصات شیمیایی                 | درصد |
|--------------------------------|------|
| SiO <sub>2</sub>               | ۹۵/۱ |
| CaO                            | ۰/۴۹ |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۱/۳۲ |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰/۸۷ |
| MgO                            | ۰/۹۷ |
| SO <sub>3</sub>                | ۰/۱  |

### ۳-۶- فوق روان کننده

در این طرح از فوق روان کننده دیرگیر با پایه کربوکسیلیک اصلاح شده استفاده شده است. مشخصات فوق روان کننده ی مصرفی در جدول (۴) مشخص شده است.

جدول (۴) - مشخصات فوق روان کننده ی مصرفی

| مشخصات                   | ساختار                          |
|--------------------------|---------------------------------|
| مایع غلیظ قهوه ای کم رنگ | ظاهر                            |
| ۱/۰۸ تا ۱/۱ در ۲۰ °C     | وزن مخصوص (gr/cm <sup>3</sup> ) |
| ۶/۹                      | PH                              |
| وجود ندارد               | یون کلر                         |
| ۰/۵ تا ۱ درصد وزنی سیمان | میزان مصرف                      |

### ۳-۷- پودر اکسید آهن<sup>۱۳</sup>

مگنتیت، هماتیت و گوتیت سه کانی اصلی تشکیل دهنده سنگ آهن به ترتیب دارای ساختار بلورشناسی کوبیک، هگزاگونال (تری‌انگولار) و اورتورومبیک هستند [۲۰-۲۴]. کانی مگنتیت دارای ترکیب شیمیایی Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> است ولی معمولاً در تجزیه شیمیایی مقدار قابل ملاحظه‌ای منگنز و منیزیوم به جای آهن دو ظرفیتی و مقداری منگنز سه ظرفیتی و تیتان به جای آهن سه ظرفیتی قرار می‌گیرد. مگنتیت را از خاصیت مغناطیسی شدید آن، رنگ سیاه خاکه و سختی ۶ می‌توان تشخیص داد. مگنتیت کانی فراوانی است و در اغلب سنگ‌های آذرین به صورت کانی فرعی پراکنده است. در این پژوهش ترکیبات شیمیایی مگنتیت با استفاده از آزمایش XRF مورد بررسی قرار گرفت (جدول- ۵). در این تحقیق از مگنتیت شامل ذرات ۰-۲ تولید معدن چادر ملو یزد با وزن مخصوص ۵,۹ gr/cm<sup>3</sup> استفاده شده است.

<sup>13</sup> Magnetite

جدول (۵) - ترکیبات شیمیایی تشکیل دهنده مگنتیت

| ترکیب                          | مقدار (%) |
|--------------------------------|-----------|
| Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> | ۸۵/۱۶     |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰/۵۱۶     |
| SiO <sub>2</sub>               | ۲/۸۵۷     |
| MgO                            | ۰/۳۲۹     |
| CaO                            | ۰/۴۸۶     |
| V                              | ۰/۱۵۴     |
| Mn                             | ۰/۰۲۶     |
| TiO <sub>2</sub>               | ۰/۱۶۵     |
| P                              | ۰/۰۸۵     |

#### ۴- نسبت های مخلوط

برای بدست آوردن بتن خود تراکم با خصوصیات و عملکرد مورد نظر، اولین قدم انتخاب مصالح می باشد. توصیه های عمومی در بتن های خودتراکم، کاهش حجم درشت دانه و افزایش حجم ریزدانه ها است. به این ترتیب همگنی بتن بهبود یافته و احتمال ایجاد ناپایداری در بتن کاهش می یابد. زیرا با افزایش حجم درشت دانه احتمال بروز انسداد افزایش یافته و مقاومت در برابر جدایش کاهش می یابد. تعیین نسبت های اختلاط بتن خود تراکم، مرحله ای است که با آن می توان به ترکیب مناسبی از سیمان، سنگدانه ها و آب برای ساخت بتن خود تراکم از طریق مشخصات مربوطه رسید. از این رو برای ساخت بتن خود تراکم در آزمایشگاه از میکسر با ظرفیت ۵۰ لیتر بتن خود تراکم استفاده شده است. در این مطالعه نسبت آب به مصالح سیمانی ۰/۳۵ و عیار مصالح سیمانی ۴۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب می باشد. همچنین از مصالح سنگی که به ترتیب ماسه ۱۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و مقدار شن ۷۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب مورد استفاده قرار گرفته است. در این تحقیق کانی مگنتیت با اندازه ۰ تا ۲ میلی متر به میزان ۵، ۱۰ و ۲۰ درصد به عنوان افزودنی معدنی استفاده شده است. نمونه های بتنی با استفاده از سیمان پرتلند نوع ۴۲۵-۱ و افزودنی دوده سیلیسی ساخته شدند. میزان دوده سیلیسی، آب، ماسه رودخانه ای با اندازه ۰ تا ۶ میلی متر، شن با اندازه ۶ تا ۱۹ میلی متر و فوق روان کننده در سری های مختلف ثابت در نظر گرفته شد. حداکثر اندازه مصالح استفاده شده در تمامی سری ثابت ۱۹ میلی متر در نظر گرفته شد. وزن مخصوص برجای کانی مگنتیت (در طبیعت و بدون خردشدگی) استفاده شده ۴۶۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب در حالی که وزن مخصوص دانه های خرد شده با اندازه ۰ تا ۲ میلی متر مورد استفاده در این تحقیق ۴۲۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب بود. نمونه های شاهد با همان شرایط دانه بندی و بدون مگنتیت ساخته شده است. در جدول (۶) طرح اختلاط سری های مختلف مورد استفاده ارائه شده است.



جدول (۶) - طرح مخلوط های مورد استفاده در نمونه ها

| ترکیبات                            | واحد وزن (کیلوگرم بر مترمکعب) |             |             |              |
|------------------------------------|-------------------------------|-------------|-------------|--------------|
|                                    | شاهد                          | مگنتیت (۲٪) | مگنتیت (۵٪) | مگنتیت (۱۰٪) |
| نام نمونه<br>مواد تشکیل دهنده      |                               |             |             |              |
| سیمان پرتلند نوع ۴۲۵-۱             | ۴۱۰                           | ۴۱۰         | ۴۱۰         | ۴۱۰          |
| میکرو سیلیس                        | ۴۰                            | ۴۰          | ۴۰          | ۴۰           |
| آب                                 | ۱۶۰                           | ۱۶۰         | ۱۶۰         | ۱۶۰          |
| ماسه رودخانه‌ای ۰-۶                | ۱۱۳۹                          | ۱۱۳۹        | ۱۱۳۹        | ۱۱۳۹         |
| شن ۱۹-۶                            | ۶۱۰                           | ۶۱۰         | ۶۱۰         | ۶۱۰          |
| مگنتیت ۰-۲                         | -                             | ۹           | ۲۲/۵        | ۴۵           |
| فوق روان کننده (درصد وزن سیمان)    | ۲/۵                           | ۲/۵         | ۲/۷         | ۳            |
| وزن مخصوص بتن [kg/m <sup>3</sup> ] | ۲۳۲۳                          | ۲۳۶۰        | ۲۳۹۵        | ۲۴۱۴         |

### ۵- آماده‌سازی نمونه‌ها و روش آزمایش

نمونه‌های مکعبی بتنی با ابعاد 100 mm x 100 mm x 100 mm (شکل ۶-الف)، نمونه‌های استوانه‌ای با ابعاد 150 mm x 300 mm (شکل ۶-ب) و نمونه‌های تیر منشوری شکل با ابعاد 150 mm x 150 mm x 650 mm (شکل ۶-ج)، برای بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی سری‌های بتنی ساخته شده تهیه شد. تمامی نمونه‌های ساخته شده در دمای ثابت ۲۳ درجه سانتیگراد نگهداری و آماده شدند. پس از عمل آوری آزمایش‌های مقاومت فشاری، مقاومت کششی به روش برزیلی، مقاومت خمشی، سرعت انتشار امواج فراصوتی، چگالی و ضریب جذب آب برای روی نمونه‌ها انجام گرفت. در این مطالعه خصوصیات فیزیکی و مکانیکی ۲۸ روزه نمونه‌ها مورد آزمایش و بررسی قرار گرفت.



شکل (۶) - نمونه های مورد آزمایش

### ۵-۱- آزمایش مقاومت فشاری

آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه های مکعبی به ابعاد 100 mm x 100 mm x 100 mm انجام گرفته است. نمونه‌های مکعبی در قالب‌های فولادی با ابعاد مذکور ریخته شده و با توجه به خودتراکم بودن بتن نیازی به ریختن آنها در سه لایه و اعمال تراکم در لایه ندارند و بتن تحت اثر وزن خود قالبها را پر می‌کنند. نمونه‌ها پس از ۲۴ ساعت از قالب بیرون آورده شدند و تا زمان فرارسیدن سن مورد نظر جهت آزمایش در آب نگه داشته شدند. در هنگام آزمایش نمونه‌ها در امتداد مرکز صفحه فوقانی اعمال نیروی دستگاه آزمایش قرار گرفتند. نمونه‌ها می‌بایست دارای شرایط اشباع با سطح خشک تحت آزمایش قرار گیرند. (شکل ۷-۷) بارگذاری به صورت پیوسته و با سرعت مشخص مطابق استاندارد ASTM C39 انجام گرفت. [۲۵]



شکل (۷) - آزمایش مقاومت فشاری

### ۵-۲- آزمایش مقاومت کششی

براساس استاندارد ASTM C496 در این روش آزمون، یک نیروی فشاری قطری با سرعت مشخصی در امتداد طول نمونه استوانه‌ای بتن اعمال می‌شود تا گسیختگی رخ دهد. [۲۶] این بارگذاری باعث به وجود آمدن تنش‌های کششی در سطحی که تحت بار و تنش‌های فشاری نسبتاً بالا قرار گرفته است، می‌شود. گسیختگی کششی نسبت به گسیختگی فشاری زودتر اتفاق می‌افتد زیرا بتن در کشش ضعیف‌تر از فشار عمل می‌کند و مقاومت کششی بتن حدود ۰٫۱ مقاومت فشاری آن می‌باشد. (شکل-۸)



شکل (۸) - آزمایش مقاومت کششی برزیلی

### ۵-۳- آزمایش مقاومت خمشی

براساس استاندارد ASTM C78 این آزمایش جهت تعیین مقاومت خمشی نمونه به ابعاد 150 mm x 150 mm x 650 mm در سن ۲۸ روزه صورت پذیرفت. [۲۷] آزمایش‌های خمشی نمونه‌های عمل‌آوری شده در رطوبت باید بلافاصله پس از خارج کردن نمونه‌ها از حوضچه رطوبت، انجام شود. جهت قرارگیری نمونه‌ها در دستگاه اندازه‌گیری مقاومت خمشی می‌بایست کناره‌های نمونه‌ها که در تماس با قالب بوده‌اند را روی بلوک‌های تکیه‌گاهی دستگاه قرار دهیم. بارگذاری نمونه‌ها باید به طور یکنواخت و بدون تغییرات ناگهانی اعمال گردد. بار باید با یک سرعت ثابت تا گسیختگی نمونه‌ها اعمال شود. سرعت اعمال بار طوری باشد که فشار تارهای نهایی به گونه‌ای ثابت بین ۰٫۸۶ تا ۱٫۲۱ مگاپاسکال بر دقیقه تا گسیختگی نمونه ادامه یابد. (شکل-۹)



شکل (۹) - آزمایش مقاومت خمشی

#### ۵-۴ - آزمایش سرعت امواج فراصوتی

یکی از روش های متداول در زمینه ارزیابی کمی و کیفی بتن در محل، استفاده از روش غیر مخرب امواج مافوق صوت می باشد که به روش فراصوتی معروف است. در این آزمایش، سرعت امواج طولی (فشاری) تعیین می شود. این عمل شامل سنجش زمان لازم برای آن که پالس، فاصله ی معینی را طی کند و روش آزمایش توسط ASTM C 597 پیشنهاد شده است. [۲۸] آزمایش پالس ماورای صوت دارای مزیت قابل توجه برای فراهم نمودن اطلاعات درباره داخل یک قطعه بتنی از جمله یکنواختی بتن می باشد. اساس کار دستگاه به اینصورت است که مولد الکتروصوتی که تولید کننده پالس ارتعاشات طولی است، روی سطح بتن تحت آزمایش قرار می گیرد. پس از عبور پالس از طول معینی (L) از بتن، ارتعاشات پالس توسط مولد ثانیه به علامت های الکترونیکی تبدیل می گردد. مدار الکترونیکی دستگاه قادر است زمان عبور پالس را بر حسب ریز ثانیه (T) اندازه گیری کند. (جدول - ۷)

جدول (۷) - طبقه بندی کیفیت بتن معمولی بر اساس سرعت پالس براساس ASTM C597

| کیفیت بتن  | سرعت پالس طولی km/s |
|------------|---------------------|
| بسیار عالی | بیشتر از ۴/۵        |
| خوب        | ۳/۵ تا ۴/۵          |
| مشکوک      | ۳ تا ۳/۵            |
| ضعیف       | ۲ تا ۳              |
| خیلی ضعیف  | کمتر از ۲           |

سرعت پالس بر حسب km/s یا m/s از فرمول زیر بدست می آید:

$$V = L/T$$

فرمول (۱)

از این میان، روش انتقال مستقیم مطلوب ترین آرایش قرارگیری مولدها می باشد. در این تحقیق آزمایش سرعت امواج فراصوتی توسط دستگاه Pundit (با فرکانس ۵۴ کیلوهرتز) بر نمونه های مکعبی ۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰ میلی متر انجام شد.

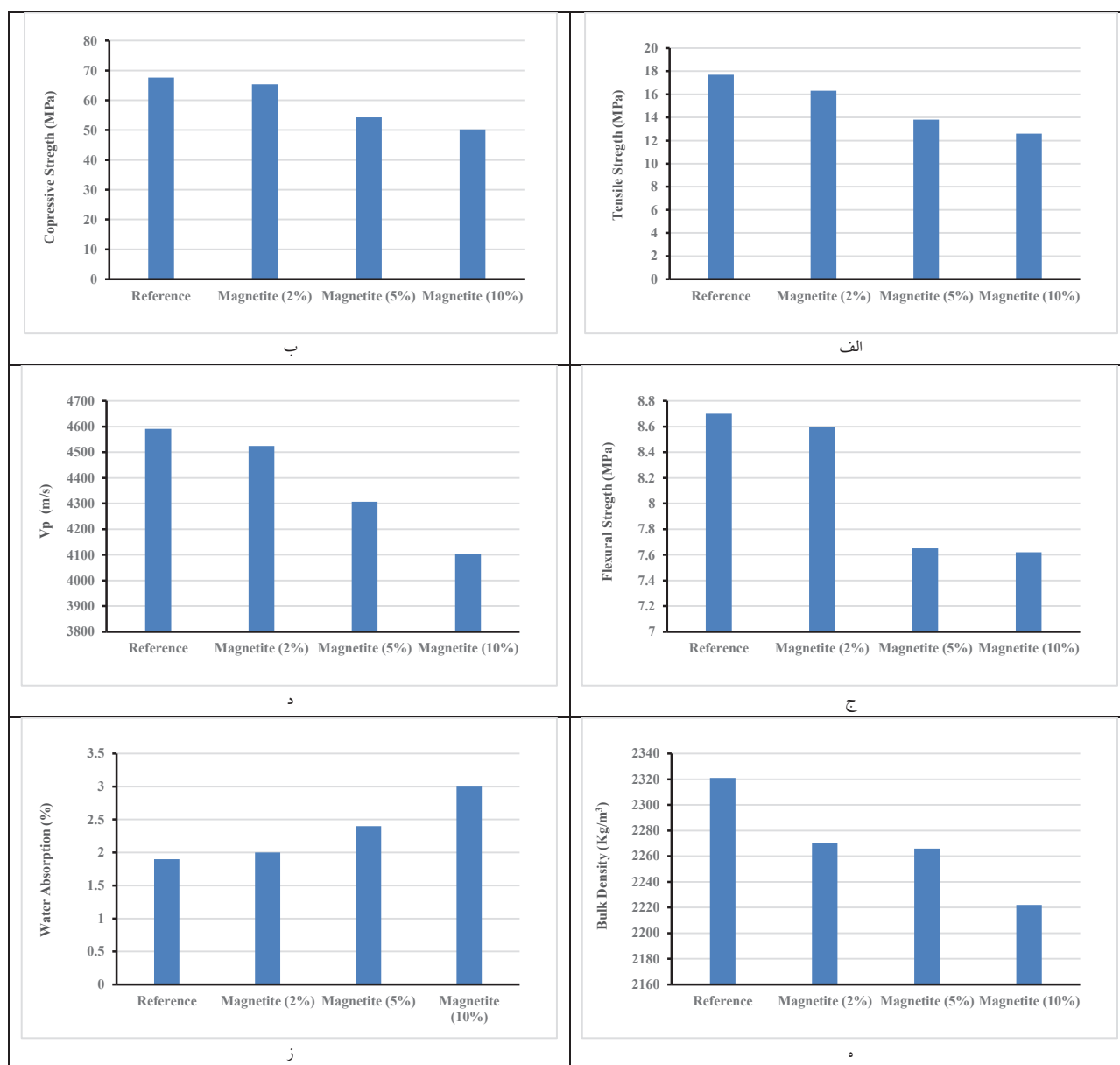
#### ۶- نتایج آزمایش ها

##### ۶-۱ - نتایج آزمایشات مقاومت فشاری، کششی و خمشی

نتایج آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی سری‌های مختلف بتن در جدول (۸) و شکل (۱۰) ارائه شده‌است. همان‌طور مشاهده می‌شود با افزایش درصد مگنتیت خصوصیات فیزیکی و مکانیکی نمونه‌ها کاهش می‌یابد.

جدول (۸) - خصوصیات فیزیکی و مکانیکی سری‌های مختلف بتن پس از ۲۸ روز

| نمونه        | مقاومت فشاری (MPa) | مقاومت کششی (MPa) | مقاومت خمشی (MPa) | سرعت انتشار امواج (m/s) | چگالی (Kg/m <sup>3</sup> ) | میزان جذب آب (%) |
|--------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|----------------------------|------------------|
| شاهد         | ۶۷/۶               | ۶/۲               | ۷/۷               | ۴۵۰۴                    | ۲۳۲۳                       | ۱/۹              |
| مگنتیت (۲٪)  | ۶۵/۴               | ۶                 | ۷/۱               | ۴۶۱۰                    | ۲۳۶۰                       | ۲                |
| مگنتیت (۵٪)  | ۵۴/۳               | ۵/۸               | ۶/۸               | ۴۶۲۰                    | ۲۳۹۵                       | ۲/۴              |
| مگنتیت (۱۰٪) | ۵۰/۲               | ۵/۱               | ۶/۲               | ۴۶۳۰                    | ۲۴۱۴                       | ۳                |



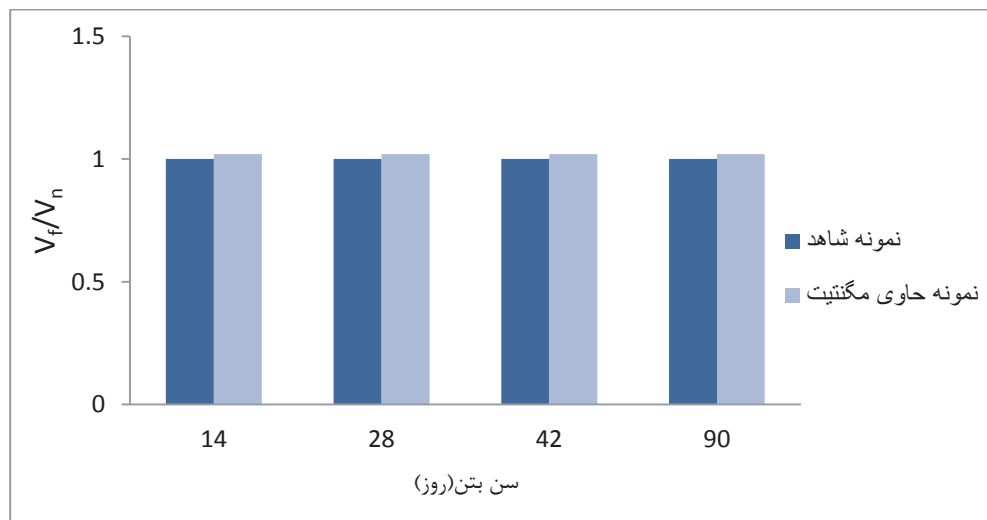
## ۶-۲- نتایج آزمایش سرعت امواج فراصوتی

اندازه گیری سرعت امواج مافوق صوت بر روی بتن خود تراکم معمولی و بتن های خودتراکم حاوی مگنتیت به ابعاد  $150 \times 150$  میلی متر و در سنین ۲۸ و ۹۰ روز، تحت عمل آوری مرطوب صورت گرفته است. این آزمایش برای جمع آوری اطلاعات در مورد تخمین تراکم و یکنواختی نمونه های بتن مورد استفاده قرار می گیرد. در جدول (۹) و شکل (۱۱)، سرعت امواج در برابر افزایش سن آورده شده است.

جدول (۹) - نتایج امواج فراصوتی بتن خود تراکم معمولی و بتن خود تراکم حاوی مگنتیت

| سرعت امواج فراصوتی ( Km/s) |            |                      |                      |                       |
|----------------------------|------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| طرح مخلوط                  | نمونه شاهد | نمونه حاوی مگنتیت 2% | نمونه حاوی مگنتیت 5% | نمونه حاوی مگنتیت 10% |
| سن بتن (روز)               |            |                      |                      |                       |
| ۲۸                         | ۴/۵۰۴      | ۴/۶۱۰                | ۴/۶۲۰                | ۴/۶۵۰                 |
| ۹۰                         | ۴/۸۷۴      | ۴/۹۵۰                | ۴/۹۷۰                | ۴/۹۹۰                 |

همانطور که از جدول (۹) و شکل (۱۱) مشاهده می شود با افزایش سن نمونه های بتن، سرعت امواج فراصوتی اندکی افزایش می یابد. بنابراین رابطه سرعت امواج با گذشت زمان، نتایج بدست آمده از آزمایش مقاومت فشاری را تایید می کند که گذر عمر، میزان مقاومت و تراکم نمونه ها را افزایش می دهد.



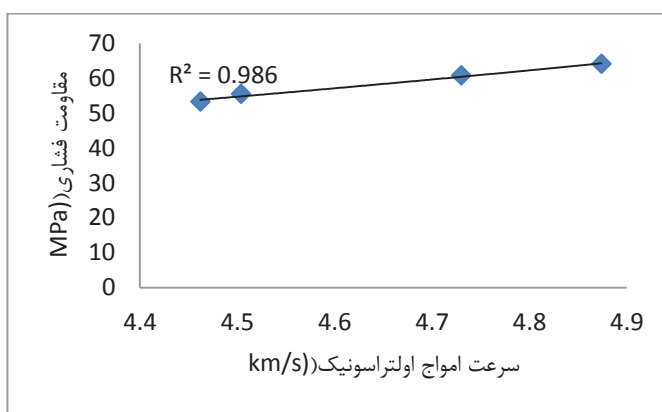
شکل (۱۱) - مقایسه نسبت سرعت امواج فراصوتی بتن های خود تراکم حاوی مگنتیت ( $VM$ ) به بتن خود تراکم معمولی ( $Vn$ ) در سنین مختلف

همانطور که از شکل (۱۱) مشاهده می شود، حضور مگنتیت تاثیر چشمگیری روی سرعت امواج فراصوتی ندارد. رابطه ی سرعت امواج عبوری و مقاومت فشاری برای دو نوع بتن مورد آزمایش در جدول (۱۰) نشان داده شده است.

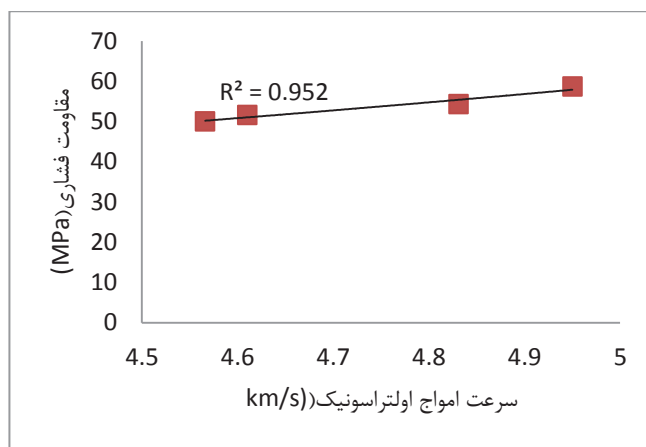
جدول (۱۰) - رابطه سرعت امواج فراصوتی و مقاومت فشاری برای بتن خود تراکم بدون مگنتیت و حاوی مگنتیت

| رابطه                                    | طرح اختلاط |
|--|------------|
| $f_c = 7.863e^{0.431V}$<br>$R^2 = 0.986$ | Control    |
| $f_c = 9.22e^{0.371V}$<br>$R^2 = 0.952$  | Magnetit   |

در روابط فوق  $f_c$  مقاومت فشاری نمونه های مکعبی استاندارد بر حسب مگاپاسکال و  $V$  سرعت امواج فراصوتی بر حسب کیلومتر بر ثانیه می باشد.



شکل (۱۲) - رابطه سرعت امواج فراصوتی و مقاومت فشاری بتن خود تراکم بدون مگنتیت (نمونه شاهد)

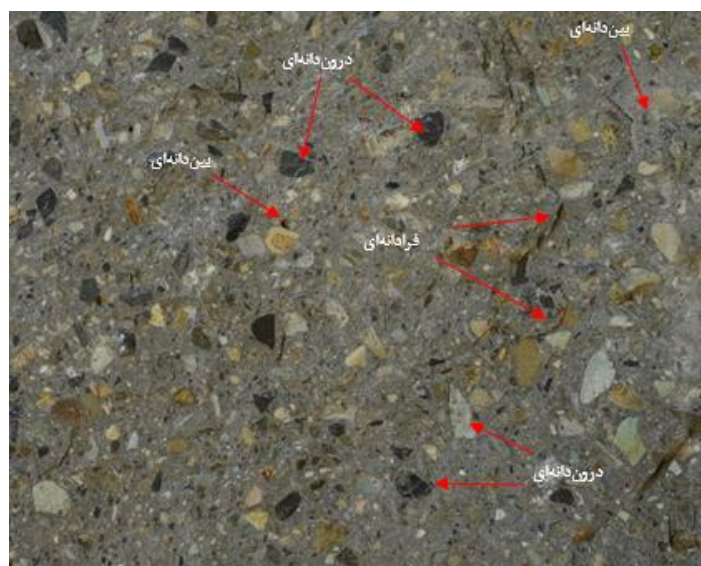


شکل (۱۳) - رابطه سرعت امواج فراصوتی و مقاومت فشاری بتن خود تراکم حاوی مگنتیت

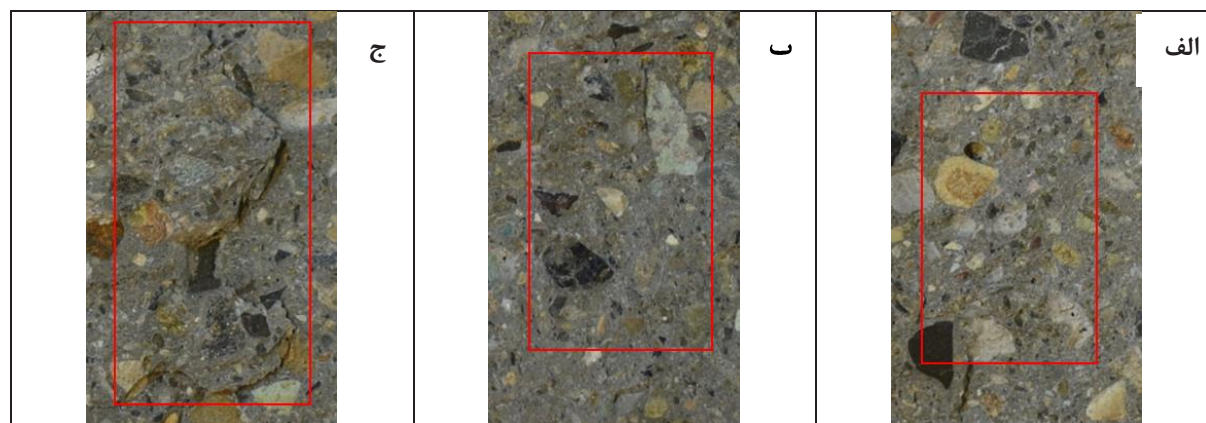
همان طور که از جدول شماره (۸) و شکل های (۱۰ و ۱۱) مشاهده می شود اختلاف خصوصیات فیزیکی و مکانیکی نمونه های شاهد و مگنتیت ۲ درصد بسیار ناچیز است. در حالی که در نمونه هایی با درصد ۵ و ۱۰ درصد خصوصیات فیزیکی و مکانیکی آنها دچار کاهش شد. به عبارت دیگر مقاومت فشاری، کششی، تیر خمشی و سرعت انتشار امواج فراصوتی در نمونه هایی با بیش از ۲ درصد دارای تفاوت قابل ملاحظه ای با نمونه های شاهد است. افزایش درصد پودر آهن در سنین اولیه باعث کاهش مقاومت فشاری می گردد. از دلایل این امر می توان به عدم فعالیت پوزولانی

ذرات آهن در درصدهای بالای مگنتیت که منجر به ایجاد نقاط ضعف در بتن و افزایش تخلخل شود، اشاره کرد. علت این امر شاید پراکنده نشدن کافی و مناسب ذرات مگنتیت با درصدهای استفاده بالا در مخلوط سیمان می باشد که از تجمع آنها مناطق ضعیفی در مخلوط سیمان تشکیل می شود. افزایش فضاهای خالی باعث ایجاد خلل و فرج<sup>۱۴</sup> در ابعاد ساختاری ریز، شده و این موضوع بر روی خصوصیات مکانیکی نمونه‌ها در سنین پایین تأثیر منفی گذاشته و آنها را کاهش می دهد. این امر تأیید کننده مطالعات پیشین است که تخلخل را به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش خصوصیات مکانیکی ذکر کرده اند. تخلخل، نفوذپذیری و جذب آب دانه‌ها بر روی چسبندگی بین دانه‌ها، خمیرسیمان و مقاومت بتن در مقابل سرما، یخ زدن، آب شدن و دوام بتن تأثیر می گذارد. خلل و فرج سنگدانه‌ها در اندازه‌های متغیری وجود دارند، لیکن کوچکترین آنها از اندازه حفرات ژلی خمیرسیمان بزرگتر می باشد.

در بررسی شکستگی‌های موجود در نمونه‌های شاهد مشخص شد که بیشتر شکستگی‌ها از نوع بین‌دانه‌ای و درون‌دانه‌ای است. در حالی که ترک‌های بین‌دانه‌ای ناشی از جدایش دانه‌ها از ماتریس سیمان می باشد، نسبت به انواع دیگر شکستگی‌ها بسیار کمتر است. در شکل‌های (۱۴) تا (۱۸) شکستگی‌های موجود در نمونه‌های شاهد مشخص شده است.



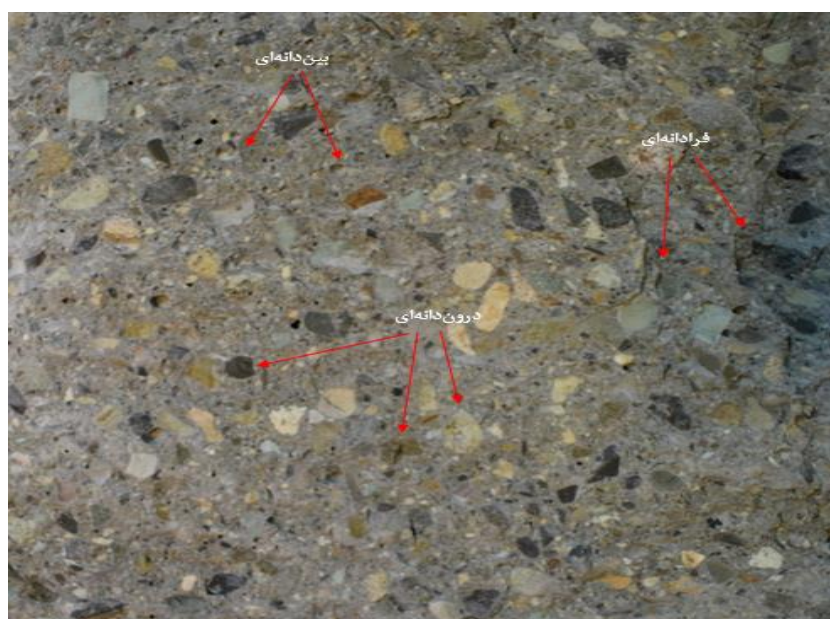
شکل (۱۴) - ترک های ایجاد شده در آزمون شاهد



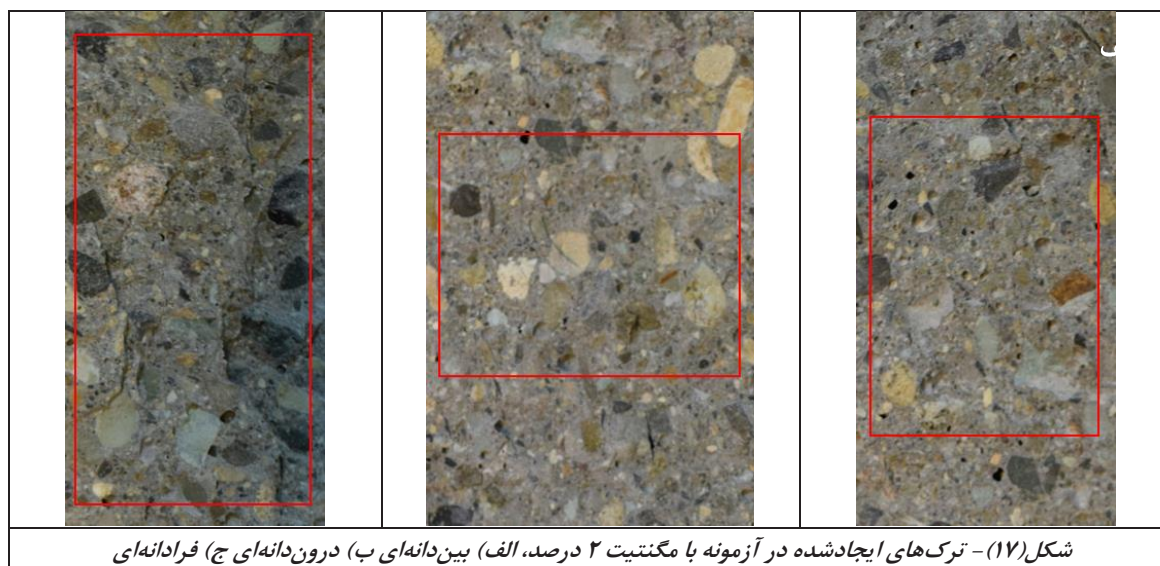
شکل (۱۵) - ترک های ایجاد شده در آزمون شاهد

<sup>14</sup> void

در بررسی‌های نمونه‌های با درصد مگنتیت ۵ و ۱۰ مشخص شد که هر چه در صد مگنتیت افزایش می‌یابد، شکستگی‌های فرادانه‌ای کاهش یافته و شکستگی‌های بین‌دانه‌ای و درون‌دانه‌ای افزایش می‌یابد. دلیل افزایش شکستگی‌های بین‌دانه‌ای کاهش مقاومت ماتریس دربرگیرنده دانه‌ها و افزایش تخلخل در نمونه‌های با درصد مگنتیت بالا می‌باشد. کاهش مقاومت ماتریس دربرگیرنده دانه‌ها سبب ایجاد شکست در مرز بین دانه‌ها و ماتریس می‌شود که این امر خود به عنوان شکست بین‌دانه‌ای تلقی و مقاومت کلی مواد معدنی را کاهش می‌دهد. همچنین افزایش تخلخل به عنوان نقاط ضعف مواد معدنی سبب ایجاد آسان‌تر سطوح شکست و کاهش مقاومت می‌گردد. همان‌طور که اشاره شد با افزایش درصد مگنتیت سرعت انتشار امواج فراصوتی کاهش می‌یابد و نتایج نشان می‌دهد که با کاهش سرعت انتشار امواج فراصوتی، شکستگی‌های بین‌دانه‌ای افزایش و مقاومت کلی نمونه‌ها کاهش می‌یابد.



شکل (۱۶) - ترک‌های ایجادشده در آزمون شاهد مگنتیت ۲ درصد

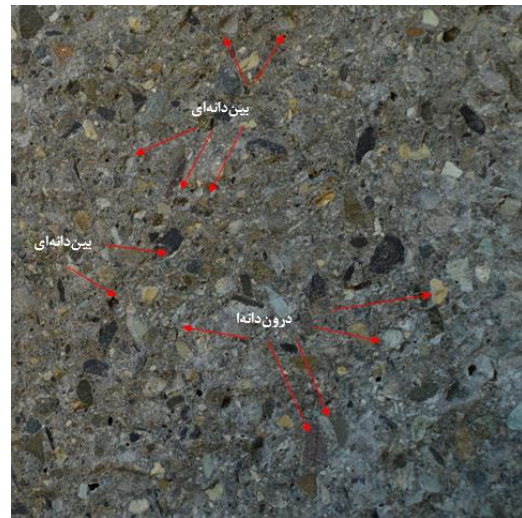


شکل (۱۷) - ترک‌های ایجادشده در آزمون با مگنتیت ۲ درصد، الف) بین‌دانه‌ای ب) درون‌دانه‌ای ج) فرادانه‌ای





شکل (ب)



شکل (الف)

شکل (۱۸-الف) - ترک های ایجاد شده در آزمون با مگنتیت ۵ درصد - شکل (۱۸-ب) - ترک های ایجاد شده در نمونه با مگنتیت ۱۰ درصد

## ۷-۲- دوام

با جایگزینی پودر اکسید آهن در مقادیر بالاتر به دلیل پراکنده نشدن کافی و مناسب ذرات در مخلوط سیمان و تجمع آن ها، مناطق ضعیفی در مخلوط سیمان تشکیل می شود. البته میزان افزایش فضاهای خالی و درصد جذب آب در اندازه های زیر ۳ درصد زیاد نیست و توصیه می شود از ذرات اکسید آهن به صورت بسیار ریزدانه<sup>۱۵</sup> استفاده کرد. البته بعضی از تحقیقات دوام بتن های حاوی ذرات فولادی را در برابر سیکل های ذوب و یخ مورد بررسی قرار داده اند. نتایج نشان داده اند که رفتار بتن های حاوی ذرات آهن به دلیل افزایش مقدار هوا، مقاومت بتن در برابر ذوب و انجماد افزایش می یابد. [۲۹] توصیه هایی نیز مبنی بر نسبت های آب به سیمان کمتر از ۰,۴ و مقدار سیمان کمتر از ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب شده است که در آن به منظور کنترل درصد هوا، بیشترین اندازه سنگدانه بزرگتر از ۱۹ میلیمتر نگردد. [۳۰]

## ۷- نتیجه گیری

بررسی خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و شکست بتن های خود تراکم حاوی موادمعدنی مختلف در سال های اخیر به منظور بررسی اثر آنها بر بتن های مذکور مورد مطالعه قرار گرفته شده است. یکی از موادمعدنی فراوان با ذخایر عظیم و مناسب در کشور ایران سنگ آهن است. بنابراین در این تحقیق خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و شکست نمونه های حاوی مگنتیت به عنوان یکی از موادمعدنی فراوان در کشور ایران در بتن خود تراکم مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش های مقاومت فشاری، کششی، تیر خمشی و سرعت انتشار امواج فراصوتی به منظور بررسی خصوصیات مکانیکی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج به دست آمده از این تحقیق می تواند به صورت زیر بیان شود:

- افزایش درصد مگنتیت به بتن بین ۲ تا ۵ درصد وزنی سیمان در سنین اولیه باعث کاهش مقاومت فشاری می شود. ذرات مگنتیت باعث ایجاد مناطق ضعیفی در بتن می گردد که خود باعث کاهش مقاومت فشاری می گردد که این ضعف در سنین نهایی جبران می شود.
- خصوصیات مکانیکی نمونه ها در مقدار درصد ۲ درصد تفاوت چندانی با نمونه های شاهد فاقد مگنتیت نشان نمی داد.
- با افزایش درصد مگنتیت شکست های درون دانه ای و فرادانه ای کاهش و شکست های بین دانه ای به دلیل کاهش چسبندگی سیمان و دانه های مصالح و افزایش تخلخل، افزایش می یابد.

- دلیل افزایش شکست‌های بین‌دانه‌ای کاهش مقاومت ماتریس دربرگیرنده دانه‌ها و افزایش تخلخل در نمونه‌ها با درصد مگنتیت بالا می‌باشد.
- در این تحقیق علاوه بر تأیید مطالعات صورت گرفته پیشین، نقش تخلخل را به عنوان یکی از مهم‌ترین علل در شکست موادمعدنی تحت بارگذاری استاتیکی عنوان نمود.
- با افزایش تخلخل علاوه بر تأثیر بر نحوه شکست سبب کاهش چگالی نمونه‌ها می‌گردد.
- با کاهش سرعت انتشار امواج فراصوتی در نمونه‌های با درصد مگنتیت بالا، شکستگی‌های بین‌دانه‌های افزایش و مقاومت کلی نمونه‌ها کاهش می‌یابد.

#### ۸- تقدیر و تشکر

بدین وسیله از مدیریت محترم مجتمع تولیدی و تحقیقاتی آپتوس ایران جناب آقای دکتر ظهوری در انجام آزمایش‌های این تحقیق، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

#### ۹- مراجع:

- [۱] American Concrete Institute, (2007), *ACI 237-R-07, Self-Consolidating Concrete*.
- [2] Okamura H., Ozawa K., (June 25, 1995), *Mix Design for Self-Compacting Concrete*, Concrete Library of Japanese Society of Civil Engineers, p. 107-120.
- [3] Bartos, P.J.M and Grauers, M. (1999), *Self-Compacting Concrete*, Concrete, ol.33, No.4, pp9-.
- [4] Li H, Xiao H, Yuan J, Ou J. (2004), *Microstructure of cement mortar with nano-particles*, Composites, Part B 35, pp. 185-189.
- [5] Li H, Zhang M, Ou J (2006). *Abrasion resistance of concrete containing nano-particles for pavement*. Wear. 260: 1262-1266.
- [6] Nazari A, Riahi Sh (2011) *TiO2 nanoparticles effects on physical, thermal and mechanical properties of selfcompacting concrete with ground granulated blast furnace slag as binder*, Energy and Buildings 43: 995-1002.
- [7] Riahi Sh, Nazari A (2011) *Physical, mechanical and thermal properties of concrete in different curing media containing ZnO2 nanoparticles*. Energy and Buildings 43: 1977-1984.
- [8] Åkesson, U., Hansson, J. & Stigh, J. (2004). *Characterisation of microcracks in the Bohus granite, western Sweden, caused by uniaxial cyclic loading*. Engineering Geology, 72(1-2), 131-142. <http://doi.org/10.1016/j.enggeo.2003.07.001>.
- [9] Takemura T, Golshani A, Oda M, Suzuki K (2003) *Preferred orientations of open microcracks in granite and their relation with anisotropic elasticity*. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2003, 40(4):443-454.
- [10] Liu S, Faisal Anwar AHM, Cheol Kim B, Ichikawa Y (2006) *Observation of microcracks in granite using a confocal laser scanning microscope*. Int J Rock Mech Min Sci 43(8):1293-1305. doi:10.1016/j.ijrmms.2006.04.006.
- [11] Kumano, A and Goldsmith, (1982), *An analytical and experimental investigation of the effect of impact on coarse granular rocks*, Rock Mechanics, vol. 15, 67-97.
- [12] Schild, M, Vollbrecht, A, Siegesmund, S & Reutel, (1998), *Microcracks in granite cores from the EPS-1 geothermal drill hole, Soultz-sous-Forêts (France): paleostress directions, paleofluid sand crack-related Vp-anisotropies*, Geol Rundsh., vol. 86, pp 775-785.
- [13] Schild, M, Siegesmund, S, Vollbrecht, A & Mazurek, (M 2001), *Characterization of granite matrix porosity and pore-space geometry by in situ and laboratory methods*, Geophysic Journal International, vol. 146, pp 111-125.
- [14] Machek, M, Špaček, P, Ulrich, S & Heidelberg, (F 2007), *Origin and orientation of microporosity in eclogites of different microstructure studied by ultrasound and microfabric analysis*, Engineering Geology, vol 89, 266-277.
- [15] Omar, H, Irfah Mohd Pauzi, N, Abu-Shariah, M, Yusof, Z & Maail, (2009), *Microcracks pattern and the degree of weathering in granite*, The Electronic Journal of Geotechnical Engineering, vol. 14, Bundle B.

- [16] Brace, ( 1977), *Permeability from resistivity and pore shape. Journal of Geophysical Research*, vol. 82, pp 3343-3349.
- [17] Kranz R. (1983) ,*Microcracks in rocks: A review, Tectonophysics*, 100, pp 449-480.
- [18] Jern M (2002) *Micro and macro crack growth as a result of blasting. In: Proceedings of the 7th International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting. Beijing, China, August 11-15, pp 155-161.*
- [19] Griffith, AA ,(1924), *Theory of rupture, Proceedings of the International Congress Applied Mechanics, Delft, Netherlands*, pp 55–63.
- [20] ASTM C33, (2005), *Standard Specification for Leight weight Aggregates for Structural Concrete.*
- [21] Morgan JW, Anders E ,(1980) ,*Chemical composition of Earth, Venus, and Mercury. Proc Natl Acad Sci USA* 77(12):6973-6977. doi:10.1073/pnas.77.12.6973.
- [22] Ohmoto H, (2003) ,*Nonredox transformations of magnetite-hematite in hydrothermal systems. Econ Geol* 98:299-304.
- [23] Clout J M F, Manuel J R, (2015), *Iron Ore: Mineralogy, Processing and Environmental Sustainability. Woodhead,Elsevier Ltd.*
- [24] Waychunas G A, (1991), *Crystal chemistry of oxides and oxyhydroxides. Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 25:11–68.
- [25] ASTM C39, (2003), *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.*
- [26] ASTM C496, (2004),*Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens.*
- [27] ASTM C78,(2002 ) , *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading).*
- [28] ASTM C597, (2003), *Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete.*
- [29] Balaguru,P.N.,and Ramakrishnan,V.(1986).*Freeze thaw durability of fiber reinforced concrete,ACI Journal Proceedings*,83(3), 374-382.
- [30] Hoseini,M., Bindiganavile, V., and Banathia, N.(2009). *The effect of mechanical stress on permeability of concrete: A review, Cement and Concrete Composites*,31(4),213-220.

# Investigation of the effect of magnetite powder (iron oxide) on the mechanical propertice of self-compacting concrete

**Hossein Inanloo arabi shad**

PhD Condidate, Shahrood University of technology, H.inanloo@shahroodut.ac.ir

**Farhang Sereshki**

Professor Assoeiat of Shahrood University of technology, Farhang-sereshki@shahroodut.ac.ir

**Mohammad Ataei**

Full Professor Shahrood University of technology, ataei@shahroodut.ac.ir

**Saeed Bozorgmehr**

R&D Manager of Aptus Iran Company, Saeed.bozorgmehr@gmail.com

**Leila Akbari nasab**

R&D Expert of Aptus Iran Company, Leila.akbarinasab76@gmail.com

## **Abstract:**

*Self-compacting concrete is a kind of concrete that flowing without any external energy under its own weight. This concrete, is a very fluid and flow mixture, has been studied in recent years to study the effect of minerals on the physical and mechanical properties of self-compacting concrete. Since the Iran has vast areas of large reserves of iron ore, so in this study, the physical, mechanical and concrete properties of self-compacting concrete containing oxide magnetite were studied. In this study, 2, 5 and 10 wt% cement magnetite particles with size 0 to 2 mm were used to determine the mechanical, physical, behavioral and effective parameters of self-compacting concrete. The compressive strength tests, tensile strength, flexural strength and ultrasonic emission velocity were used to study the mechanical properties of the samples. The results showed that with increasing magnetite percentage, the mechanical and physical properties of self-compacting concrete decreased in the early ages, but with the age of the samples, these properties would be increased. Also, the mechanical properties of the specimens in the 2% difference were not significantly different with the control samples without magnetite. In studying the properties of self-compacting concrete in micro structure, it was determined that with increasing magnetite percentage, reduce the outside fractures and the loss of between and inside fraeture due to reduced adhesion of cement and aggregates and increased porosity in the paste and subsequently reduced water absorption.*