

# The effect of magnetic water on the mechanical properties of hardened self-compacting mortar

# تأثیر آب مغناطیسی بر مشخصات مکانیکی ملات خودتراکم سخت شده

Mahdi Mahdikhani\*  
Assistant Professor, Department of Civil Engineering,  
Imam Khomeini International University (IKIU), Qazvin,  
Iran.  
Omid Bamshad\*  
M.Sc. Student, Faculty of Technical & Engineering,  
University of Tehran, Tehran, Iran.

مهدی مهدی خانی  
استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی  
امام خمینی (ره)، قزوین، ایران  
امید بامشاد\*  
دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تهران، تهران،  
ایران

\*Corresponding author's email address:  
Omid.Bamshad@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۱۸، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۰۳

## Abstract

Self-compacting concrete is one of the most important and significant achievements of concrete technology. In some countries, studies are being conducted on the use of magnetic water and its effect on concrete. According to the results of this research, by applying a magnetic field to ordinary water, the structure of its molecules changes so that it can be said that as water molecules pass through a magnetic field, there is a significant change in the arrangement of them in the liquid. In this paper, changes in the properties of hardened self-compacting mortars due to the use of magnetic water in the fabrication and processing stage have been investigated. It has been done for 5, 10, 15 and 20 minutes using ordinary water as well as processed water. The results of the experiments show that magnetic water improves the strength standards of hardened concrete. Therefore, in order to achieve a certain level of efficiency and strength, if the magnetic water is used, the ratio of water to concrete or superplasticizer can be reduced.

## Keywords

Self-compacting mortar, magnetic water, compressive strength, bending beam, capillary water absorption.

## چکیده

بتن خودتراکم یکی از دستاوردهای مهم و قابل توجه علم تکنولوژی بتن است. در برخی کشورها مطالعاتی در مورد کاربرد آب مغناطیسی و تأثیر آن بر بتن در حال انجام است. طبق نتایج این تحقیقات، با اعمال میدان مغناطیسی به آب معمولی، ساختار مولکول‌های آن دچار دگرگونی می‌شود بطوریکه می‌توان گفت با عبور مولکول‌های آب از میان یک میدان مغناطیسی، تغییر بسزایی در طرز آرایش آنها در مایع ایجاد می‌شود. در این مقاله تغییرات خواص ملات‌های خودتراکم سخت شده ناشی از کاربرد آب مغناطیسی در مرحله ساخت و عمل‌آوری بررسی شده است و لذا آزمایشات مقاومت فشاری، تیر خمشی و جذب آب موئینه به عنوان معیارهای مهم در حالت سخت شده بر روی نمونه‌های آزمایشگاهی ساخته شده با استفاده از آب‌های معمولی و نیز آب‌های فراوری شده به مدت ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دقیقه انجام گرفته است. نتایج آزمایش‌ها نشان دهنده آن است که آب مغناطیسی سبب بهبود معیارهای مقاومتی بتن سخت شده می‌شود. بنابراین برای رسیدن به رده مشخصی از کارایی و مقاومت، در صورت استفاده از آب مغناطیسی می‌توان نسبت آب به سیمان بتن و یا فوق‌روان‌کننده را کاهش داد.

## کلمات کلیدی

ملات خودتراکم، آب مغناطیسی، مقاومت فشاری، تیر خمشی، جذب آب موئینه.

دوام و مشخصات مکانیکی ملات خود تراکم بهبود یافته است [۹]. محسنی و همکاران تحقیقاتی در مورد تأثیر نانوذرات  $Al_2O_3$ ،  $SiO_2$  و  $TiO_2$  بر روی مشخصات ملات خودتراکم تازه و سخت شده حاوی خاکستر بادی انجام دادند و نشان دادند که مقاومت فشاری ملات خود تراکم حاوی  $Al_2O_3$ ،  $SiO_2$  و  $TiO_2$  به ترتیب برابر با ۳، ۱ و ۵ درصد، در حالت بیشینه قرار دارد [۱۰]. بنلی و همکاران مطالعاتی را در مورد تأثیرات آب دریا و محلول  $MgSO_4$  بر خواص مکانیکی ملات خودتراکم حاوی خاکستر بادی و میکروسلیس انجام دادند و نشان دادند که نمونه‌هایی که در محلول  $MgSO_4$  مستغرق بودند مقاومت کشتی بیشتری نسبت به نمونه‌هایی داشتند که در آب دریا مستغرق بودند [۱۱]. آب مغناطیسی آبی است که از یک میدان مغناطیسی که طبق محاسبات معینی ایجاد شده عبور کرده که باعث

## ۱- مقدمه

پیشرفت و نوآوری در فناوری بتن، دستیابی به بتن‌ها با خواص مطلوب و کاربردی‌تر را ممکن ساخته است. در کشورهای پیشرفته، امروزه بخش قابل‌ملاحظه‌ای از بتن‌های مصرفی را بتن‌های خاص تشکیل می‌دهد. با مشخص شدن کاربردهای فراوان بتن خودتراکم در کشورهای مختلف، پیشرفت‌هایی در این زمینه حاصل شده و ادامه دارد. یکی از راه‌های افزایش کارایی و مقاومت استفاده از تکنولوژی مغناطیسی در ساخت ملات است [۱-۵]. در سال‌های اخیر برای ارتقا خصوصیات ملات‌های سیمانی، استفاده از انواع افزودنی مانند خاکستر بادی، نانو ذرات و ... در رواج یافته است [۶-۸]. مدن‌دوست و همکاران مطالعاتی در مورد دوام ملات‌های خودتراکم حاوی  $SiO_2$ ،  $Fe_2O_3$  و  $CuO$  انجام دادند و دریافتند که



4 (4) , 2020

دوره ۴، شماره ۴  
زمستان ۱۳۹۸

فصلنامه پژوهشی



آب مغناطیسی استفاده نمود. در شکل ۱ دستگاه استفاده شده نشان داده شده است.



شکل ۱ دستگاه فراوری آب مغناطیسی

## ۲-۲- مصالح مصرفی

سیمان بکار رفته در کلیه طرح ها سیمان پرتلند تیپ ۲ می باشد [۱۲]. سنگدانه مورد نظر در تهیه نمونه ها از نوع ماسه ملاتی شسته بوده و عبوری از الک نمره ۴ می باشد که دارای مدول نرمی ۲/۶ و درصد رطوبت ۵/۸ درصد است. جزئیات دانه بندی ماسه مصرفی در این مقاله در جدول ۱ ارائه شده است [۱۳]. آب مصرفی در این پژوهش جهت ساخت و عمل آوری نمونه ها، آب شرب شهری می باشد. در این مقاله برای ساخت ملات خودتراکم از یک رده آب معمولی و ۴ رده آب مغناطیسی استفاده شده است. همچنین در مرحله عمل آوری از دو حوضچه یکی حاوی آب معمولی و دیگری حاوی آب مغناطیسی (۱۰ دقیقه فراوری شده) بهره گرفته شده است. علامت های اختصاری آب مصرفی در جدول ۲ ارائه شده است. افزودنی فوق روان کننده مورد استفاده بر پایه پلی کربوکسیلات اثر می باشد [۱۴].

جدول ۱ دانه بندی ماسه مصرفی

نمره الک	درصد عبوری
۴	۱۰۰
۸	۶۹/۲۸
۱۶	۴۲/۸۷
۳۰	۲۹/۶۹
۵۰	۱۲/۷۸
۱۰۰	۲/۱۹

## ۲-۳- طرح اختلاط و ساخت نمونه ها

طرح اختلاط در نظر گرفته شده به صورت جدول ۳ برای آزمایشات این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است. قبل از وزن کشی دقیق مصالح و مواد مصرفی براساس طرح اختلاط نهایی برای هر رده آب مصرفی، ماسه شسته بعد از رد شدن از الک نمره ۴ در هوای آزاد قرار گرفت تا وضعیت اشباع با سطح خشک (SSD) فراهم باشد. سپس ماسه و پودر خاک سنگ در مرحله اول به ترتیب وارد میکسر (از نوع الکتریکی کچ شونده) شده سپس به مدت ۳۰ ثانیه با هم مخلوط شدند. با اضافه نمودن سیمان و بعد دو سوم آب به مدت سه دقیقه اختلاط ادامه پیدا کرد. سپس دوده سیلیسی را مقداری از آب مخلوط و به صورت ژل درآمد. لازم به ذکر است در تهیه این ژل، دوده سیلیسی نباید یکجا روی آب ریخته شود، بلکه به صورت مرحله ای

تغییر و بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی آن می گردد [۱]. در آب های معمولی و در دمای محیط، بیش از ۷۰ درصد مولکول های آب به صورت نامنظم قرار گرفته و بارهای مثبت و منفی آن ها در جایگاه طبیعی خود قرار ندارند. از آنجا که به طور طبیعی بین نیروهای خالص مولکول های آب اختلاف کمی وجود دارد، مولکول های آب به صورت کاملاً تصادفی کنار یکدیگر قرار می گیرند. با مغناطیسی شدن آب، تعداد مولکول ها در اجتماع مولکولی کمتر شده و این امر باعث می شود که فعالیت آنها بیشتر شود. به دلیل اندازه کوچک تر اجتماع مولکول های آب این مولکول ها به راحتی می توانند درون اجتماع ذرات سیمان نفوذ کنند. در نتیجه فرایند هیدراتاسیون کامل تری اتفاق می افتد [۴ و ۵]. در این مقاله با ساخت نمونه هایی از ملات خودتراکم با آب مغناطیسی و آب معمولی (شاهد) و انجام آزمایش های مرتبط با این نوع ملات و مقایسه نتایج، تلاش گردید ضمن بررسی اثرات ناشی از کاربرد آب مغناطیسی در تهیه و عمل آوری ملات، محدوده مناسبی برای مدت زمان اعمال میدان مغناطیسی جهت فراوری آب مغناطیسی بدست آید. به همین منظور، آب مصرفی در پنج طرح معمولی، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دقیقه فراوری شده و در مرحله ساخت ملات مورد استفاده قرار گرفت. همچنین با تشکیل دو حوضچه آب یکی حاوی آب معمولی و دیگری حاوی آب مغناطیسی، مقایسه ی بین نتایج مقاومتی و دوام ملات های سخت شده ی قرار گرفته در این دو نوع حوضچه انجام گردید. در این پنج مدل طرح مخلوط، با تغییر در مدت فراوری آب برحسب دقیقه (۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰)، تأثیر مدت های مختلف فراوری و نیز عمل آوری دوگانه معمولی و مغناطیسی بررسی شد.

## ۲- برنامه ی آزمایشگاهی

### ۲-۱- ساخت دستگاه

دستگاه ساخته شده برای این مقاله شامل یک آهنربای مغناطیسی با بزرگی میدان ۰/۶ تسلا، یک عدد پمپ کوچک آب، دو عدد مخزن آب ۱۰ لیتری از جنس پلکسی شفاف، لوله های پلاستیکی رابط به قطر ۰/۵ اینچ و سه عدد شیر خروجی آب می باشد. با هدف جلوگیری از کاهش خاصیت مغناطیسی آب حاصله از فراوری صورت گرفته در دستگاه، جنس تمامی لوله ها و مخازن بکار برده شده از نوع پلاستیکی انتخاب گردیده است. نحوه بهره گیری از دستگاه به این ترتیب است که ابتدا حجم مورد نیاز آب از روزنه تعبیه شده در سقف مخزن پایینی به داخل آن ریخته شده و سپس با روشن کردن پمپ، آب با سرعت ۲۰ لیتر بر دقیقه در مدار دستگاه به چرخش درآمده و تا زمان خاموش کردن پمپ به مدت دلخواه ( بسته به طرح اختلاط مورد آزمایش) در معرض میدان مغناطیسی آهنربای تعبیه شده در مسیر چرخش آب قرار می گیرد. پس از گذشت زمان دلخواه از شروع فرایند فراوری مغناطیسی آب، با بستن شیر مابین دو مخزن، چرخش آب فراوری شده متوقف می شود و به جهت کارکرد پمپ، آب مغناطیسی شده درون مخزن بالایی انباشته می گردد. پس از تخلیه کامل مخزن پایینی، پمپ خاموش می گردد. سرانجام با استفاده از شیر خروجی تعبیه شده در زیر مخزن بالایی می توان از این آب فراوری شده برای مرحله اختلاط و همچنین پر کردن حوضچه عمل آوری با

اختلاط آب و دوده سیلیسی بایستی انجام گیرد و با سرعت نسبتاً بالایی با همزن دستی مخلوط شوند. در ادامه بعد از مصرف ژل در مخلوط مابقی آب و فوق روان کننده مخلوط شده که دوباره بایستی کاملاً با هم مخلوط شوند و به ترکیب درون میکسر اضافه گردید. بعد از اضافه نمودن به مدت یک دقیقه عمل اختلاط ادامه داشته و دستگاه میکسر خاموش شد و ملات بدست آمده برای پر کردن قالب های  $10 \times 10 \times 10$ ،  $16 \times 4 \times 4$  و  $5 \times 5 \times 5$  سانتی متری که به ترتیب برای آزمایشات مقاومت فشاری، تیر خمشی و جذب آب مؤئینه تمیز و روغن کاری شده بودند مورد استفاده قرار گرفتند. بعد از قالب

گیری، جهت جلوگیری از تبخیر آب، بر روی نمونه ها گونی خیس کشیده شده و تمامی نمونه ها جهت انجام آزمایش های فوق الذکر یک روز پس از ساخت و قالب گیری، قالب برداری شده و نیمی از آنها در حوضچه پلاستیکی عمل آوری با آب معمولی و نیمی دیگر در حوضچه پلاستیکی عمل آوری با آب مغناطیسی قرار داده شد. لازم به ذکر است به جهت تجدید خاصیت مغناطیسی و نیز برابری سایر شرایط، هر ۴۸ ساعت، آب این دو حوضچه عمل آوری بواسطه شیر تخلیه تعبیه شده در پایین آنها تخلیه و مجدد پر شده است و این روند در کل دوره عمل آوری تمامی نمونه ها انجام گرفته است.

جدول ۲ معرفی رده های آب اختلاط

ردیف	علامت	عبارت فارسی	توضیحات
۱	WN	آب اختلاط معمولی	آب معمولی (شرب) می باشد
۲	W5	آب اختلاط ۵ دقیقه	آبی که به مدت ۵ دقیقه در معرض میدان مغناطیسی بوده است
۳	W10	آب اختلاط ۱۰ دقیقه	آبی که به مدت ۱۰ دقیقه در معرض میدان مغناطیسی بوده است
۴	W15	آب اختلاط ۱۵ دقیقه	آبی که به مدت ۱۵ دقیقه در معرض میدان مغناطیسی بوده است
۵	W20	آب اختلاط ۲۰ دقیقه	آبی که به مدت ۲۰ دقیقه در معرض میدان مغناطیسی بوده است
۶	CN	عمل آوری با آب معمولی	آب معمولی (شرب) می باشد
۷	CM	عمل آوری با آب مغناطیسی	آبی که به مدت ۱۰ دقیقه در معرض میدان مغناطیسی بوده است

جدول ۳ طرح اختلاط ملات های خود تراکم

شماره طرح	رده آب	آب ( $kg/m^3$ )	ماسه ( $kg/m^3$ )	سیمان ( $kg/m^3$ )	میکروسلیس ( $kg/m^3$ )	پودر سنگ ( $kg/m^3$ )	فوق روان کننده
۱	WN	۱۸۰	۱۴۷۰	۵۱۷	۳۳	۱۶۰	۶
۲	W5	۱۸۰	۱۴۷۰	۵۱۷	۳۳	۱۶۰	۶
۳	W10	۱۸۰	۱۴۷۰	۵۱۷	۳۳	۱۶۰	۶
۴	W15	۱۸۰	۱۴۷۰	۵۱۷	۳۳	۱۶۰	۶
۵	W20	۱۸۰	۱۴۷۰	۵۱۷	۳۳	۱۶۰	۶

### ۳- روش آزمایش

#### ۳-۱- آزمایش مقاومت فشاری

در این مقاله پس از تهیه ملات خودتراکم مطابق با طرح های اختلاط شماره ۱ الی ۵ برای هر طرح اختلاط در هر سن (۳، ۷، ۱۴، ۲۸ و ۹۰ روزه) شش عدد نمونه مکعبی تهیه شد که برای عمل آوری، نیمی از آن ها درون حوضچه حاوی آب معمولی و نیمی دیگر درون حوضچه حاوی آب مغناطیسی قرار گرفتند. پس از آن نمونه ها به ترتیب بر حسب سن از حوضچه های فوق الذکر خارج گردیده و پس از خشک کردن سطوح جانبی با دستمال پارچه ای، درون فک دستگاه سنجش مقاومت فشاری ۳۰۰ تن قرار گرفته و با سرعت بارگذاری ۳۰۰ کیلوگرم بر ثانیه شکسته شدند.

#### ۳-۲- آزمایش تیر خمشی

در این مقاله آزمایش خمش چهار نقطه ای بر روی نمونه های بتنی منشوری  $16 \times 4 \times 4$  سانتی متری توسط دستگاه یونیورسال ۲۵۰ تن با سرعت بارگذاری ۰/۱ میلیمتر بر دقیقه در سنین ۷، ۲۸ روزگی نمونه ها انجام شده است. برای این آزمایش نمونه ها مطابق با استاندارد بوده و دهانه آن در زمان آزمایش با خطای ۲ درصد، سه

برابر عمق باشد [۱۵]. بر اساس استاندارد کناره های نمونه باید با کف و بالای آن زاویه قائمه بسازند. تمام سطوح نمونه باید صاف بوده و از پریدگی، برآمدگی، سوراخ یا فرو رفتگی قابل تشخیص، عاری باشند. در این آزمایش، نیرو از بالا به قطعه مورد نظر اعمال می شود بطوریکه سمه بالا می تواند با سرعتی دلخواه و قابل تنظیم، به سمت قطعه مورد آزمون حرکت کند. در آزمایش مقاومت خمشی بتن به صورت غیر مستقیم به ارزیابی مقاومت کششی بتن پرداخته می شود. نتایج آزمایش خمش بتن به صورت یک مدول گسیختگی بیان می شود. مدول گسیختگی معیار است از ظرفیت باربری نهایی تیر و برابر با نسبت لنگر خمشی در نقطه گسیختگی به مدول مقطع تیر می باشد.

#### ۳-۳- آزمایش جذب آب مؤئینه

در این تحقیق برای انجام آزمایش جذب آب مؤئینه از نمونه های  $5 \times 5 \times 5$  سانتی متری استفاده شده است. روال انجام آزمایش به این صورت بوده است که نمونه های مکعبی در سنین ۷ و ۲۸ روزگی از ظروف عمل آوری (معمولی و مغناطیسی) خارج شده و به منظور خشک شدن و رسیدن به تعادل وزنی به مدت ۲۴ ساعت داخل آون با درجه حرارت ۵۰ سانتیگراد قرار داده شدند. سپس نمونه ها از آون

جدول ۴ مقاومت فشاری نمونه ها

نوع آب عمل آوری	سن (روز)	مقاومت فشاری بر اساس نوع آب اختلاط بتن (MPa)				
		WN	W5	W10	W15	W20
CN	۳	۲۵/۱	۲۷/۱	۲۸/۳	۲۶/۴	۲۷/۶
	۷	۳۵	۳۸/۵	۴۰/۱	۳۵	۳۶/۸
	۱۴	۴۳/۹	۴۹/۸	۴۷/۹	۴۵/۲	۴۷/۱
	۲۸	۵۶/۳	۶۱/۴	۶۴/۵	۶۰/۸	۶۱/۴
	۹۰	۶۸/۹	۷۸	۸۰/۴	۷۲/۵	۷۴/۳
CM	۳	۲۷/۳	۳۳	۳۲/۸	۳۰/۲	۳۱/۶
	۷	۳۸/۲	۴۶/۸	۴۶/۲	۴۰/۵	۴۵/۸
	۱۴	۴۷/۸	۵۸/۷	۵۴/۶	۵۰/۷	۵۳/۵
	۲۸	۶۱/۴	۷۳/۸	۷۷/۶	۷۱/۵	۷۱/۲
	۹۰	۷۵	۸۹/۱	۹۰	۸۵/۷	۸۷/۲

روند کلی افزایش و سپس کاهش مقاومت فشاری در نتایج فوق، مشابه نتایج پژوهش رهگذر و همکاران می باشد [۲۳]. همچنین در تحقیق صورت گرفته توسط تدین فر و همکاران به افزایش مقاومت فشاری کوتاه مدت (۲۴ ساعته) نمونه ها همزمان با افزایش طول زمان فراوری آب مغناطیسی اشاره شده است [۲۴].

#### ۲-۴- نتایج آزمایش تیر خمشی

نتایج مدول گسیختگی نمونه ها در جدول ۵ ارائه شده است. لازم به ذکر می باشد که نتایج ارائه شده میانگین حاصل از شکست دو نمونه مشابه بوده است. مشاهده میگردد که در روندی مشابه با آنچه که در مورد مقاومت فشاری اتفاق افتاده است، با افزایش مدت زمان فراوری آب مغناطیسی از صفر تا حدود ۱۰ دقیقه مدول گسیختگی نمونه ها افزایش یافته و آنگاه با افزایش این مدت به ۲۰ دقیقه این شاخص کاهش یافته است. همچنین مشاهده میگردد که افزایش مدول گسیختگی برای نمونه های حاوی آب W10 به طور میانگین برای سنین مختلف به میزان ۸ درصد در حالت عمل آوری معمولی و نیز ۸/۷ درصد برای نمونه های عمل آوری شده در آب مغناطیسی بوده است. علت افزایش مدول گسیختگی نمونه های مورد آزمایش همزمان با افزایش مدت زمان اعمال میدان مغناطیسی (از صفر الی ۱۰ دقیقه) را می توان اثر مثبت میدان مذکور بر میزان فعالیت مولکول های آب در این بازه دانست. زیرا عبور آب از میان میدان مغناطیسی، موجب کوچک تر شدن و فعال تر شدن مولکول های آب می گردد. همچنین به نظر می رسد این افزایش مدول گسیختگی همزمان با افزایش مدت زمان اعمال میدان مغناطیسی به آب مصرفی ابدی نبوده و پس از ۱۰ دقیقه تحت تاثیر عوامل منفی ناشی از افزایش پارامتر زمان قرار گرفته و متوقف می شود. افزایش مدول گسیختگی برای نمونه های حاوی آب W10 نسبت به آب WN مویید نتیجه آزمایش مقاومت خمشی انجام شده توسط یوسفی هلسستانی نیز می باشد، بطوریکه در قسمت نتایج پژوهش مذکور بیان شده است که مقاومت خمشی نمونه های تهیه شده با آب مغناطیسی نسبت به مقاومت خمشی نمونه های تهیه شده با آب معمولی بیشتر می باشد [۱۹].

خارج گردیده و پس از وزن کشی (وزن خشک) داخل ظرف حاوی آب معمولی قرار داده شدند تا به مرور و پس از گذشت ۳، ۶، ۲۴ و ۷۲ ساعت از لحظه قرار گیری در آب از ظرف خارج گردیده و پس از وزن کشی و قرائت و یادداشت وزن موجود دوباره به ظرف برگردانده شوند. لازم به ذکر است که در کف ظرف یک عدد توری از جنس پلاستیک تعبیه شد بطوریکه ۲ میلیمتر حائل بین کف ظرف و نمونه ها ایجاد گردد. پس از انجام این آزمایش، از رابطه (۱) برای محاسبه حجم آب جذب شده در واحد سطح (سانتی متر) استفاده شده است.

$$i = s\sqrt{t} + c \quad (1)$$

که در آن  $i$ ، حجم آب جذب شده در واحد سطح (سانتی متر)،  $t$ ، زمان (ساعت)،  $c$ ، ثابت موئینگی و  $s$ ، ضریب موئینگی است.

#### ۴- تحلیل، نتایج و بحث

جهت ارزیابی خصوصیات نمونه بتن های سخت شده بر اساس نوع آب های مصرفی در مرحله ساخت و عمل آوری، آزمایش مقاومت فشاری، تیر خمشی و جذب آب موئینه انجام گرفته و نتایج آن در ادامه ارائه شده است.

#### ۴-۱- نتایج آزمایش مقاومت فشاری

هدف از انجام این آزمایش مقایسه مقاومت فشاری نمونه های تهیه شده بر اساس نوع آب مصرفی در مرحله ساخت و نیز در مرحله عمل آوری می باشد. نتایج این آزمایش در جدول ۴ ارائه شده است. لازم به ذکر است این نتایج میانگین حاصله از شکست ۳ نمونه بتنی  $10 \times 10 \times 10$  بر حسب مگاپاسکال می باشد. با توجه به نتایج مشاهده میگردد که با افزایش مدت زمان فراوری آب مغناطیسی از صفر تا حدود ۱۰ دقیقه مقاومت فشاری نمونه ها افزایش یافته و آنگاه با افزایش این مدت به ۱۵ دقیقه، مقاومت فشاری کاهش یافته است و نهایتاً با افزایش مدت فراوری تا ۲۰ دقیقه این شاخص ثابت مانده و یا افزایش جزئی داشته است. بنابراین بیشترین افزایش مقاومت عموماً برای نمونه های حاوی آب W10 به طور میانگین برای سنین مختلف به میزان  $13/5$  درصد در حالت عمل آوری معمولی و نیز  $20/3$  درصد برای نمونه های عمل آوری شده در آب مغناطیسی بوده است.

علت افزایش مقاومت فشاری نمونه ها همزمان با افزایش مدت زمان فراوری آب مغناطیسی (از صفر الی ۱۰ دقیقه) را می توان افزایش تعداد مولکول های شرکت کننده آب در واکنش هیدراسیون دانست. زیرا اعمال میدان مغناطیسی موجب کوچک تر شدن اجتماع مولکول های آب شده و لذا مولکول های آب با سهولت بیشتری به اجتماع ذرات سیمان نفوذ می کنند. همچنین علت کاهش مقاومت فشاری نمونه ها با استفاده از آب مغناطیسی در بازه ۱۰ الی ۲۰ دقیقه را میتوان ظهور و بروز بیشتر عوامل از بین برنده تاثیر مثبت میدان مغناطیسی (عمدتاً مرتبط با عامل زمان اعمال میدان مغناطیسی) دانست. برای مثال دمای آب به عنوان عاملی منفی بطور پیوسته و همزمان با افزایش مدت زمان فراوری آب (WN تا W20) افزایش می یابد، لیکن به نظر در بازه WN تا W10 مغلوب اثر مثبت میدان مغناطیسی و نیز در بازه W10 تا W20 غالب بر تاثیر مثبت اعمال میدان مغناطیسی بر روی مقاومت فشاری نمونه ها بوده است.



4 (4), 2020

دوره ۴، شماره ۴

زمستان ۱۳۹۸

فصلنامه پژوهشی

مهندسی عمران

جدول ۵ مدول گسیختگی نمونه ها (MPa)

نوع آب عمل آوری	سن (روز)	نوع آب اختلاط بتن		
		آب صفر	آب ۱۰	آب ۲۰
CN	۷	۳۷/۲۲	۴۰/۴۴	۳۷/۳۵
	۱۴	۴۱/۸۲	۴۵/۷۶	۴۱/۹۶
	۲۸	۵۸/۲۸	۶۱/۷۴	۵۹/۴۶
CM	۷	۳۷/۷۷	۴۱/۵۹	۷۸/۳۷
	۱۴	۴۲/۵۴	۴۷/۳۱	۴۲/۶۳
	۲۸	۶۰/۱	۶۳/۰۴	۶۰/۴۴

#### ۳-۴- نتایج آزمایش جذب آب موئینه

نتایج آزمایش جذب آب موئینه که به صورت ضریب موئینی بدست آمده است، در جداول ۶ ارائه شده است. مشاهده می گردد که در هر دو سن (۷ و ۲۸ روزه) و نیز در تمامی بازه های زمانی مورد آزمایش (۳، ۶، ۲۴ و ۷۲ ساعت) با افزایش مدت فراوری آب موئینه از صفر الی ۱۰ دقیقه (W10 تا W20) مقدار آب جذب شده توسط نمونه های تولیدی کاهش یافته و سپس با افزایش مدت فراوری تا ۲۰ دقیقه (W10 الی W20) مقدار آب جذب شده توسط نمونه های ساخته شده افزایش یافته است. همچنین می توان گفت که در سن ۷ روزگی درصد جذب آب موئینه نمونه های عمل آوری شده در آب معمولی نسبت به نمونه های عمل آوری شده در آب مغناطیسی در تمامی بازه های زمانی مورد سنجش و نیز تمامی رده های آب مصرفی بیشتر بوده است. این در حالی است که برای سن ۲۸ روزگی نمونه ها درصد اشاره شده در نمونه های عمل آوری شده در آب مغناطیسی نسبت به آب معمولی کمتر بوده است.

جدول ۶ ضرایب موئینی نمونه ها (cm/hr0.5)

نوع آب عمل	سن (روز)	نوع آب اختلاط بتن				
		WN	W5	W10	W15	W20
CN	۷	۰/۰۱۸۲	۰/۰۱۵۸	۰/۰۱۲۶	۰/۰۱۶۳	۰/۰۱۷۴
	۲۸	۰/۰۲۲۷	۰/۰۲۲۱	۰/۰۲۰۸	۰/۰۲۰۰	۰/۰۲۲۵
CM	۷	۰/۰۲۰۱	۰/۰۱۷۳	۰/۰۱۶۶	۰/۰۱۶۵	۰/۰۱۹۴
	۲۸	۰/۰۲۲۱	۰/۰۲۱۷	۰/۰۱۹۲	۰/۰۱۹۷	۰/۰۲۱۵

#### ۵- جمع بندی و خلاصه

در این مقاله تاثیر آب مغناطیسی شده در ۵ طرح معمولی، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دقیقه فراوری شده برای ساخت نمونه ها و دو طرح معمولی و ۱۰ دقیقه فراوری شده برای عمل آوری نمونه ها بر خواص مکانیکی ملات خودتراکم بررسی گردید. در ادامه پس از انجام آزمایشات مقاومت فشاری، خمشی و جذب آب نتایج زیر حاصل شده است.

- با افزایش مدت زمان فراوری آب مغناطیسی ابتدا مقاومت فشاری نمونه ها افزایش یافته و در ادامه با افزایش این مدت زمان، مشخصه مذکور دچار کاهش شده است. این روند افزایشی و کاهشی در رابطه با نمونه های عمل آوری شده با آب معمولی آب مغناطیسی صادق است.

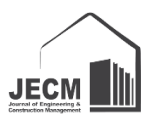
- در حالت عمل آوری معمولی بیشترین افزایش مقاومت عموماً برای نمونه های حاوی آب W10 به طور میانگین برای سنین مختلف

به میزان ۱۳/۵ درصد رخ داده است. در حالت عمل آوری با آب مغناطیسی بیشترین افزایش مقاومت فشاری برای نمونه های حاوی آب W5 به طور میانگین میزان ۲۱ درصد می باشد.

- با بررسی نتایج آزمایش تیر خمشی واضح است که با استفاده از آب مغناطیسی بین رده WN تا W10 مدول گسیختگی نمونه ها افزایش یافته و سپس با افزودن بیشتر بر مدت اعمال میدان مغناطیسی از رده W10 تا W20 امدول دچار کاهش شده است.
- در هر دو سن (۷ و ۲۸ روزه) و نیز در تمامی بازه های زمانی مورد آزمایش (۳، ۶، ۲۴ و ۷۲ ساعت) با افزایش مدت فراوری آب مغناطیسی از صفر الی ۱۰ دقیقه (W10 تا W20) مقدار آب جذب شده توسط نمونه های تولیدی کاهش یافته و سپس با افزایش بیشتر مدت فراوری تا ۲۰ دقیقه (W10 الی W20) مقدار آب جذب شده توسط نمونه های ساخته شده افزایش یافته است.

#### ۶- مراجع

- [1] M. Curie, Magnetic water treatment for scale prevention, Water Res. 35 (2001) 3249-3259.
- [2] G. Britain, W. Sciences, Magnetic amelioration of scale formation, Water Res. 30 (1996) 247-260.
- [3] J.M.D. Coey, S. Cass, Magnetic water treatment, J. Magn. Magn. Mater. 209. 209 (2000) 71-74.
- [4] K.J. Kronenbergft, EXPERIMENTAL EVIDENCE FOR EFFECTS OF MAGNETIC FIELDS in MOVING WATER Klaus, IEEE Trans. Magn. 21 (1985) 2059-2061.
- [5] N. Su, C. Wu, Effect of magnetic field treated water on mortar and concrete containing fly ash, Cem. Concr. Compos. 25 (2003) 681-688.
- [6] S. Yaseri, M. Mahdikhani, A. Jafarinoor, V. Masoomi Verki, M. Esfandyari, S.M. Ghiasian, The development of new empirical apparatuses for evaluation fresh properties of self-consolidating mortar: a theoretical and experimental study, Constr. Build. Mater. 167 (2018) 631-648. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.02.021.
- [7] S.A. Rizwan, T.A. Bier, Blends of limestone powder and fly-ash enhance the response of self-compacting mortars, Constr. Build. Mater. 27 (2012) 398-403. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.07.030.
- [8] E. Güneysi, M. Gesog, I. Altan, H. Öznur Öz, Utilization of cold bonded fly ash lightweight fine aggregates as a partial substitution of natural fine aggregate in self-compacting mortars, Constr. Build. Mater. 74 (2015) 9-16. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.10.021.
- [9] R. Madandoust, E. Mohseni, S.Y. Mousavi, M. Namnevis, An experimental investigation on the durability of self-compacting mortar containing nano-SiO2, nano-Fe2O3 and nano-CuO, Constr. Build. Mater. J. 86 (2015) 44-50. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.03.100.
- [10] E. Mohseni, B. Mehdizadeh, J. Yang, M. Ali, Single and combined effects of nano-SiO2, nano-Al2O3 and nano-TiO2 on the mechanical, rheological and durability properties of self-compacting mortar containing fly ash, Constr. Build. Mater. 84 (2015) 331-340. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.03.006.
- [11] A. Benli, M. Karatas, E. Gurses, Effect of sea water and MgSO4 solution on the mechanical properties and durability of self-compacting mortars with fly ash /silica fume, Constr. Build. Mater. J. 146 (2017) 464-474. doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.04.108.
- [12] ASTM C 150-07, Standard Specification for Portland Cement, American Society for Testing and Materials, 2008.
- [13] ASTM C 136-01, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, American Society for Testing and Materials, 2001.
- [14] ASTM C494/C494M-17, Standard specification for chemical admixtures for concrete, American Society for Testing and Materials, 2002.
- [15] ACTM C 78-02, Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading), 2002.



4 (4) , 2020

دوره ۴، شماره ۴

زمستان ۱۳۹۸

فصلنامه پژوهشی

