

# Rheological properties of self-compacting mortar made with magnetic water

## خواص رئولوژیک ملات خودتراکم ساخته شده با آب مغناطیسی

Omid Bamshad

M.Sc. Student, Faculty of Technical & Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

Mahdi Mahdikhani \*

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Imam Khomeini International University (IKIU), Qazvin, Iran.

امید بامشاد

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

مهدی مهدی خانی\*

استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

\*Corresponding author's email address:

mahdikhani@eng.ikiu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۱۵، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۱۹

### Abstract

The use of concrete in construction projects is increasing day by day. Making concrete with different properties, compatible with the conditions of each project, is necessary and unavoidable. So far, researchers have conducted research on the characteristics of this type of concrete. However, the role of water consumption in the mixing and curing of this type of concrete has not been studied much. Also, in some countries, studies are being conducted on the use of magnetic water and its effect on concrete. The purpose of this article is to investigate the changes in the properties of self-compacting mortars in the fresh state, due to the use of magnetic water in the construction phase, and therefore small slump tests and small v-shaped funnels are used as important criteria using normal and processed waters. It has been done for 5, 10, 15 and 20 minutes. The results of the tests show that magnetic water improves the rheological properties of fresh mortar.

### Keywords

Self-compacting mortar, magnetic water, slump, v-shaped funnel

### چکیده

کاربرد بتن در پروژه‌های عمرانی روز به روز در حال افزایش است. ساخت بتن با خواص متفاوت، سازگار با شرایط هر پروژه، امری ضروری و اجتناب ناپذیر است. تاکنون توسط محققین و پژوهشگران، تحقیقاتی در مورد خصوصیات این نوع بتن، صورت گرفته است. اما کمتر به بررسی نقش آب مصرفی در طرح اختلاط و عمل آوری این نوع بتن پرداخته شده است. همچنین در برخی کشورها، مطالعاتی در مورد کاربرد آب مغناطیسی و تأثیر آن بر بتن در حال انجام است. هدف از این مقاله بررسی تغییرات خواص ملات های خودتراکم در حالت تازه، ناشی از کاربرد آب مغناطیسی در مرحله ساخت بوده است و لذا آزمایشات اسلامپ کوچک و قیف ۷ شکل کوچک به عنوان معیارهای مهم با استفاده از آب های معمولی و نیز آب های فراوری شده به مدت ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دقیقه انجام گرفته است. نتایج آزمایش‌ها نشان دهنده آن است که آب مغناطیسی سبب بهبود خواص رئولوژی ملات تازه شده می‌شود.

### کلمات کلیدی

ملات خودتراکم، آب مغناطیسی، اسلامپ، قیف ۷ شکل

تأثیر نانوذرات  $\text{CaCO}_3$  و  $\text{ZrO}_2$ ،  $\text{SnO}_2$  بر روی دوام، کارایی ملات خود تراکم حاوی خاکستر بادی انجام دادند و مشاهده کردند که کارایی ملات خودتراکم کاهش یافته است [۱۱]. همچنین مه‌ری نژاد خطبه سرا و همکاران به صورت آزمایشگاهی مطالعاتی را در مورد تأثیر خاکستر بادی و نانوذرات  $\text{CuO}$  بر روی خواص ملات خودتراکم تازه و سخت شده انجام دادند و مشاهده کردند که مشخصات مکانیکی ملات به صورت قابل توجهی بهبود یافته است [۱۲]. آب مغناطیسی آبی است که از یک میدان مغناطیسی که طبق محاسبات معینی ایجاد شده عبور کرده که باعث تغییر و بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی آن می‌گردد [۱]. در آب‌های معمولی و در دمای محیط، بیش از ۷۰ درصد مولکول‌های آب به صورت نامنظم قرار گرفته و بارهای مثبت و منفی آن‌ها در جایگاه طبیعی خود قرار ندارند. از آنجا که به‌طور طبیعی بین نیروهای خالص

### ۱- مقدمه

ضرورت تحقیق در خصوص مصالح ساختمانی به ویژه بتن و ملات به عنوان عناصر شاخص در ساخت و ساز، از چند دهه گذشته در کانون توجه مؤسسه‌های تحقیقاتی در کشورهای مختلف بوده است (۱). از طرفی تکنولوژی تولید آب مغناطیسی کاربرد خود را در علوم مختلف پیدا نموده است و اثر آن در ساخت بتن نیز آشکارتر شده است [۱-۵]. در سال‌های اخیر مطالعاتی برای بررسی خواص مکانیکی و کارایی ملات های سیمانی انجام شده است [۶-۹]. مهدی خانی و رمضانیان پور مطالعاتی را در مورد روابط بین ویژگی های مختلف کارایی ملات خودتراکم انجام دادند [۱۰]. مه‌ری نژاد خطبه سرا و همکاران به صورت آزمایشگاهی مطالعاتی را در مورد



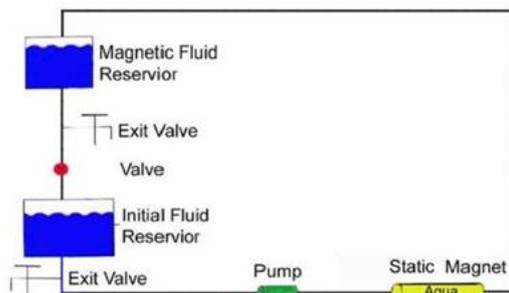
5 (3), 2020

دوره ۵، شماره ۳

پاییز ۱۳۹۹

فصلنامه پژوهشی





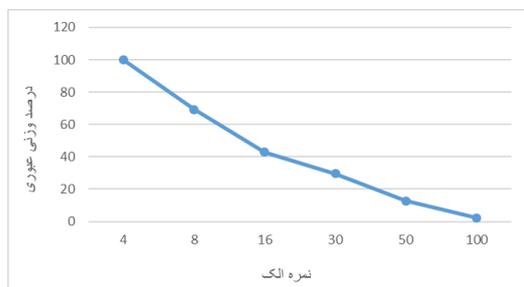
شکل ۱ دستگاه فراوری آب مغناطیسی

## ۲-۲- مصالح مصرفی

در تهیه همه ملات‌های خودتراکم از سیمان پرتلند تیپ II مطابق با استاندارد استفاده شد [۱۳]. بعلاوه از آب آشامیدنی برای ساخت و عمل‌آوری نمونه‌های ملات سیمانی استفاده شده است. در این مقاله برای ساخت ملات خودتراکم از یک رده آب معمولی و ۴ رده آب مغناطیسی استفاده شده است. علامت‌های اختصاری آب مصرفی در جدول ۱ ارائه شده است. سنگدانه استفاده شده به عنوان ریزدانه، ماسه ملاتی شسته بوده و عبوری از الک نمره ۴ می باشد که مدول نرمی و درصد رطوبت (%) آن به ترتیب برابر با ۲/۶ و ۵/۵ بوده است. نمودار دانه‌بندی ریزدانه استفاده شده بر اساس استاندارد در شکل ۲ نشان داده شده است [۱۴]. برای حفظ کارایی و یکپارچگی نمونه‌های ملات سیمانی، از فوق روان‌کننده بر پایه پلی-کربوکسیلات اثر مطابق با استاندارد استفاده شده است [۱۵].

جدول ۱ معرفی رده های آب اختلاط

علامت	توضیحات
WN	آب معمولی ( شرب ) می باشد
W5	آبی که به مدت ۵ دقیقه در معرض میدان مغناطیسی بوده است
W10	آبی که به مدت ۱۰ دقیقه در معرض میدان مغناطیسی بوده است
W15	آبی که به مدت ۱۵ دقیقه در معرض میدان مغناطیسی بوده است
W20	آبی که به مدت ۲۰ دقیقه در معرض میدان مغناطیسی بوده است



شکل ۲ نمودار دانه بندی سیمان مصرفی

## ۲-۳- طرح اختلاط و ساخت نمونه ها

در این مقاله از ماسه شسته شده در وضعیت اشباع با سطح خشک استفاده شده است. در ابتدا ماسه و پودر خاک سنگ به مدت ۳۰ ثانیه داخل میکسر با هم مخلوط شدند. سپس سیمان و دو سوم

مولکول‌های آب اختلاف کمی وجود دارد، مولکول‌های آب به صورت کاملاً تصادفی کنار یکدیگر قرار می‌گیرند. در صورت مغناطیسی شدن آب، ضمن تشکیل مولکول‌های کوچک‌تر از آب، تعداد مولکول‌های آب در واحد حجم و قدرت حلالیت آب افزایش یابد [۴ و ۵]. اگر آب مغناطیسی برای ساخت بتن استفاده شود ذرات سیمان به وسیله یک لایه تک ملکولی آب با چگالی کمتر احاطه می‌شوند. این پدیده باعث می‌شود که در اختلاط سیمان بتوان مقداری از آب مصرفی را کاست که این کاهش در میان آب مزایای بسیاری در بتن خواهد داشت [۲].

در این مقاله تلاش گردید ضمن بررسی اثرات ناشی از کاربرد آب مغناطیسی در تهیه 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 و نتایج کارایی ملات‌های تازه مورد مقایسه قرار گرفت. در این پنج مدل طرح مخلوط، با تغییر در مدت فراوری آب بر حسب دقیقه (۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰)، تأثیر مدت‌های مختلف فراوری بررسی شد.

## ۲- برنامه ی آزمایشگاهی

### ۲-۱- ساخت دستگاه

با توجه به اینکه هدف در این مقاله بررسی اثر مدت زمان فراوری آب مغناطیسی مرحله اختلاط ملات‌های خودتراکم تازه می باشد، لذا ساخت دستگاهی جهت تولید آب مغناطیسی که قابلیت فراوری آب در بازه‌های زمانی مختلف را داشته باشد در اولویت قرار گرفت و با عنایت به این موضوع که چنین دستگاهی موجود نبود لذا اقدام به طراحی و ساخت این دستگاه گردید. دستگاه تولید آب مغناطیسی با مشخصه شدت میدان ثابت که قابلیت فراوری آب به مدت زمان دلخواه را داشته باشد، با شدت میدان ثابت ۰/۶ تسلا که دارای قابلیت فراوری چرخشی آب است طراحی گردید و ساخته شد. 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، لوله‌های 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 لوله‌ها و مخازن بکار برده شده از نوع پلاستیکی انتخاب گردیده است. نحوه بهره‌گیری 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 گرفته و فراوری مغناطیسی می‌شود. در شکل ۱ دستگاه استفاده شده نشان داده شده است.

آب به مخلوط اضافه شده و به مدت سه دقیقه مخلوط شدند. سپس دوده سیلیسی که از قبل به صورت ژل درآمده بود، به مخلوط افزوده شد و بعد از اختلاط، مابقی آب و فوق روان کننده به ترکیب درون میکسر اضافه گردید. در نهایت مخلوط به دست آمده به مدت ۱ دقیقه با هم مخلوط شدند. پس از اتمام اختلاط، بلافاصله ملات به دست آمده برای انجام آزمایشات ملات تازه مورد استفاده قرار گرفت. طرح اختلاط در نظر گرفته شده به صورت ۵ طرح اختلاط است که در آن ها از آب معمولی و آب های فراوری شده به مدت ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دقیقه به مقدار ۱۸۰ کیلوگرم بر متر مکعب و ماسه، سیمان، میکروسیلیس، پودر سنگ و فوق روان کننده به ترتیب به مقدار ۱۴۷۰، ۵۱۷، ۳۳، ۱۶۰ و ۶ کیلوگرم بر متر مکعب استفاده شده است.

### ۳- روش آزمایش

در این مطالعه از بین آزمایشات حالت تازه بتن، بر روی دو آزمایش جریان اسلامپ کوچک و قیف V شکل کوچک تمرکز گردیده است. در آزمایش اسلامپ کوچک، ابتدا صفحه بر روی یک سطح تراز بر روی زمین قرار داده می شود و مرکز مخروط با مرکز صفحه منطبق می شود. سپس بلافاصله پس از به اتمام رسیدن اختلاط ملات، به وسیله پیمانانه حدود نیم لیتر از ملات برداشته شد و به آرامی از دهانه بالایی مخروط اسلامپ کوچک بدون ضربه زدن و تراکم، به داخل آن ریخته شد و سطح بالایی ملات بصورت مماس با لبه فوقانی مخروط اسلامپ به وسیله ماله صاف گردید. آنگاه مخروط به صورت عمودی با سرعت یکنواخت بالا کشیده شد و به ملات اجازه داده شد که آزادانه جریان یابد. صفحه و داخل مخروط بایستی مرطوب شود. پس از توقف پخش خمیر، قطر آن در دو جهت عمود بر هم اندازه گیری و میانگین آنها ثبت میگردد.

در آزمایش قیف V کوچک ابتدا قیف V شکل بر روی یک سطح تراز بر روی زمین قرار داده می شود و دهانه پایینی قیف مسدود میگردد. سپس بلافاصله پس از به اتمام رسیدن اختلاط ملات، به وسیله پیمانانه حدود ۱/۵ لیتر از ملات برداشته شد و به آرامی از دهانه بالایی قیف V کوچک بدون ضربه زدن و تراکم، به داخل آن ریخته شده و سطح بالایی ملات بصورت مماس با لبه فوقانی قیف به وسیله ماله صاف گردید. آنگاه به مدت ۱۰ ثانیه صبر کرده و به ملات اجازه داده می شود تا به حالت پایدار برسد. سپس همزمان با برداشتن انسداد خروجی قیف کرنومتر را روشن کرده و ضمن نگاه کردن به داخل قیف از بالا، زمان دیده شدن اولین روزنه نور از دریچه پایینی ثبت می شود.

### ۴- تحلیل، نتایج و بحث

در این بخش به ارائه نتایج آزمایشات بتن تازه شامل آزمایش اسلامپ کوچک و آزمایش قیف V شکل پرداخته شده است. نتایج آزمایش اسلامپ کوچک و آزمایش قیف V کوچک در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲ نتایج آزمایش جریان اسلامپ کوچک و قیف V کوچک		
نوع آب اختلاط	جریان اسلامپ (cm)	زمان عبور (sec)
WN	۲۰	۲۲
W5	۲۱/۵	۱۸
W10	۲۱/۸	۱۷
W15	۲۲/۵	۱۵
W20	۲۳/۵	۱۴

### ۴-۱- نتایج آزمایش اسلامپ کوچک

همانطور که در جدول ۲ نشان داده شده است، با افزایش مدت زمان فراوری آب مغناطیسی مقدار جریان اسلامپ افزایش یافته است. طبق نتایج حاصله کمترین میزان اسلامپ برای طرح اختلاط حاوی آب معمولی (WN) به مقدار ۲۰ سانتی متر و بیشترین میزان اسلامپ برای طرح اختلاط حاوی آب مغناطیسی ۲۰ دقیقه فراوری شده (W20) به مقدار ۲۳/۵ سانتی متر مشاهده میگردد. همانطور که مشاهده می شود بیشترین میزان افزایش بین طرح حاوی WN و طرح حاوی W5 به مقدار ۱/۵ سانتی متر و کمترین مقدار افزایش اسلامپ بین طرح حاوی W5 و طرح حاوی W10 به میزان ۰/۳ سانتی متر رخ داده است.

نتایج فوق بصورت مشهودی موید نتایج پژوهش رهگذر و همکاران می باشد، بطوریکه در نتایج پژوهش مذکور آمده است که آب مغناطیسی موجب افزایش کارایی خمیر سیمان و یا بتن تر می شود، بطوریکه بیشترین کارایی خمیر سیمان با چرخش ۶۵ دقیقه ای آب در میدان مغناطیسی ۱/۰ تسلا حاصل میگردد [۲۳].

### ۴-۲- نتایج آزمایش قیف V کوچک

همانطور که در جدول ۲ ارائه شده است، بیشترین مدت زمان خروج ملات از قیف V شکل به میزان ۲۲ ثانیه برای طرح حاوی آب معمولی (WN) و کمترین آن به میزان ۱۴ ثانیه برای آب طرح حاوی W20 ثبت شده است. بیشترین کاهش مدت زمان خروج ملات از قیف V بین دو طرح اختلاط حاوی آب WN و W5 به میزان ۱۸/۱ درصد رخ داده است.

همانطور که از نتایج دو آزمایش فوق (آزمایش جریان اسلامپ و قیف V) مشاهده میشود همواره با افزایش مدت زمان اعمال میدان مغناطیسی به آب، کارایی خمیر سیمان افزوده می گردد. این افزایش را می توان به علت آزادی حرکتی بیشتر مولکول های آب به درون ذرات سیمان دانست.

### ۵- جمع بندی و خلاصه

در این مقاله به بررسی تاثیرات آب مغناطیسی بر عملکرد ملات های خودتراکم تازه پرداخته شده است. بدین منظور پنج رده آب (معمولی، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دقیقه مغناطیسی شده) برای مرحله ساخت در نظر گرفته شده و مابقی مشخصات طرح اختلاط ثابت فرض شده اند. در ادامه پس از انجام آزمایشات ملات تازه (آزمایش جریان اسلامپ کوچک و قیف V شکل کوچک) و دستیابی به داده



5 (3) , 2020

دوره ۵، شماره ۳

پاییز ۱۳۹۹

فصلنامه پژوهشی



- [5] K.J. Kronenbergft, EXPERIMENTAL EVIDENCE FOR EFFECTS OF MAGNETIC FIELDS irN MOVING WATER Klaus, IEEE Trans. Magn. 21 (1985) 2059-2061.
- [6] H. Eskandari-naddaf, R. Kazemi, Experimental evaluation of the effect of mix design ratios on compressive strength of cement mortars containing cement strength class 42.5 and 52.5 MPa, Procedia Manuf. 22 (2018) 392-398. doi:10.1016/j.promfg.2018.03.060.
- [7] B. Simsek, Y. Tansel Ic, E.H. Simsek, A TOPSIS-based Taguchi optimization to determine optimal mixture proportions of the high strength self-compacting concrete, Chemom. Intell. Lab. Syst. 125 (2013) 18-32. doi:10.1016/j.chemolab.2013.03.012.
- [8] B. Safi, M. Saidi, D. Aboutaleb, M. Maallem, The use of plastic waste as fine aggregate in the self-compacting mortars: Effect on physical and mechanical properties, Constr. Build. Mater. 43 (2013) 436-442. doi:10.1016/j.conbuildmat.2013.02.049.
- [9] M. Aziminezhad, M. Mahdikhani, P. Rezvani, A. R shourestani, M. Janmohammadi, Evaluation of Fresh and Hardened Properties of Lightweight Self- Compacting Mortar Containing Silica Fume and Silica Nanoparticles, Constr. Build. Mater. (n.d.).
- [10] M. Mahdikhani, A.A. Ramezani pour, New methods development for evaluation rheological properties of self-consolidating mortars, Constr. Build. Mater. 75 (2015) 136-143. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.09.094.
- [11] M. Mehrinejad Khotbehsara, B. Mehdizadeh, F. Naseri, T. Ozbakkaloglu, F. Jafari, E. Mohseni, Effect of SnO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>, and CaCO<sub>3</sub> nanoparticles on water transport and durability properties of self-compacting mortar containing fly ash: Experimental observations and ANFIS predictions, Constr. Build. Mater. 158 (2018) 823-834. doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.10.067.
- [12] M. Mehrinejad Khotbehsara, E. Mohseni, M. Ali, P. Sarker, Effect of nano-CuO and fly ash on the properties of self-compacting mortar, Constr. Build. Mater. 94 (2015) 758-766. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.07.063.
- [13] ASTM C 150-07, Standard Specification for Portland Cement, American Society for Testing and Materials, 2008.
- [14] ASTM C 136-01, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, American Society for Testing and Materials, 2001.
- [15] ASTM C494/C494M-17, Standard specification for chemical admixtures for concrete, American Society for Testing and Materials, 2002.

های حاصله، ضمن مقایسه و ارزیابی داده های فوق نتایج بدست آمده است که به شرح زیر ارائه می گردد.

- با افزایش مدت زمان فراوری آب مغناطیسی مقدار جریان اسلامپ افزایش یافته است. همانطور که مشاهده می شود بیشترین میزان افزایش بین طرح حاوی WN و طرح حاوی W5 به مقدار ۱/۵ سانتی متر ( معادل ۷/۵ درصد) و کمترین مقدار افزایش اسلامپ بین طرح حاوی W5 و طرح حاوی W10 به میزان ۰/۳ سانتی متر ( معادل ۱/۴ درصد ) رخ داده است.
- نتایج حاکی از کاهش مدت زمان عبور ملات از قیف ۷ همزمان با افزایش مدت زمان فراوری آب مغناطیسی است. بیشترین کاهش مدت زمان خروج ملات از قیف ۷ بین دو طرح اختلاط حاوی آب WN و W5 به میزان ۴ ثانیه (معادل ۱۸/۲ درصد) رخ داده است و این در حالی است که کمترین کاهش مدت زمان خروج بین دو طرح اختلاط حاوی W5 و W10 به میزان ۱ ثانیه (معادل ۵/۵ درصد) رخ داده است.
- افزایش خاصیت مغناطیسی آب موجب افزایش کارایی ملات یا بتن تازه می شود، بطوریکه بیشترین کارایی ملات با چرخش ۲۰ دقیقه ای آب در میدان مغناطیسی ۰/۶ تسلا حاصل شده است.

#### ۶- مراجع

- [1] M. Curie, Magnetic water treatment for scale prevention, Water Res. 35 (2001) 3249-3259.
- [2] N. Su, C. Wu, Effect of magnetic field treated water on mortar and concrete containing fly ash, Cem. Concr. Compos. 25 (2003) 681-688.
- [3] G. Britain, W. Sciences, Magnetic amelioration of scale formation, Water Res. 30 (1996) 247-260.
- [4] J.M.D. Coey, S. Cass, Magnetic water treatment, J. Magn. Magn. Mater. 209. 209 (2000) 71-74.



5 (3) 2020

دوره ۵، شماره ۳

پاییز ۱۳۹۹

فصلنامه پژوهشی



بررسی فنی و اقتصادی روش های اجرای عبور بر و خالی در توالی اجرای ایستگاه و تونل در خط هفت متروی تهران