Archive of SID

Journal of Structural and Construction Engineering, 8(3), 2021, pp. 281-299

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

Investigation of the effect of magnetic water on rheological and mechanical properties of lightweight concretes

Seyed Fathollah Sajedi[1*], Hamid Reza Holakuei[2]

1- Associate professor, Department of Civil Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran
2- Ph.D. student, Department of Civil Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

ABSTRACT

Magnetic water changes the electron configuration of the ions, followed by significant changes in hardness, electrical conductivity of surface tension and other physical and chemical properties of water. These changes in the cement reaction create a situation that has a significant impact on the improvement of the properties of concrete in fresh and hardened states and is therefore of concern to the researchers. One of the basic characteristics of magnetic water, which is very important in the production of concrete, is the dependence of water on particles and colloidal solutions. When water is mixed with cement, a colloidal solution of cement is obtained, which if the water magnetic is used, the particles of the cement are surrounded by a single molecular layer of water with a lower density. This phenomenon makes it possible to reduce the amount of water used in the mixing of concrete, which will have a lot of benefits in concrete. Magnetization of water increases the hydration of negative ions, which damages the crystalline structure of the water. This paper studies the researches on magnetic water and its effect on the mechanical properties of lightweight concrete has been analyzed. The most influence of magnetic water on the mechanical properties of lightweight concrete has been obtained at the intensity of the magnetic field of 1 Tesla. The highest workability of cement paste made with magnetic water was obtained by rotation of 65 minutes of water in a magnetic field with intensity of 1 Tesla. The most effective magnetic field intensity is achieved in 1 Tesla for magnetic field.

ARTICLE INFO

Receive Date: 28 February 2019
Revise Date: 05 July 2019
Accept Date: 15 July 2019

Keywords:
Magnetic water
Lightweight concrete (LWC)
Rheological properties
Mechanical properties
Pozzolan

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/JSCE.2019.173374.1792

*Corresponding author: Seyed Fathollah Sajedi
Email address: sajedi@iauahvaz.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)
www.jsce.ir

Journal of Structural and Construction Engineering
JSCE
نشریه علمی-پژوهشی مهندسی سازه و ساخت

بررسی تأثیر آب مغناطیسی بر خواص رئولوژی و مکانیکی بتن‌های سبک

سیدفتح اله ساجدی*[1]، حمیدرضا هلاکویی[2]

۱- دانشیار گروه عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲- دانشجوی دکتری مهندسی و مدیریت ساخت، گروه عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

چکیده

آب مغناطیسی موجب تغییر در آرایش الکترونی یون‌ها و به دنبال آن تغییرات محسوسی در سختی، هدایت الکتریکی، کشش سطحی و سایر خواص فیزیکی و شیمیایی آب می‌گردد. این تغییرات در واکنش با سیمان شرایطی را ایجاد می‌کند که خواص بتن های تازه و سخت شده را بهبود می‌بخشد. یکی از مشخصات اساسی آب مغناطیسی که اهمیت زیادی در ساخت بتن دارد، وابستگی آن به ذرات و محلول‌های کلوئیدی است. وقتی که آب با سیمان مخلوط می شود، محلول کلوئیدی سیمان به وجود می آید. در صورت استفاده از آب مغناطیسی ذرات سیمان به وسیله یک لایه تک مولکولی آب با چگالی کم تر احاطه می شوند، این پدیده موجب کاهش مصرف آب و به دنبال آن بهبود خواص مکانیکی بتن خواهد شد. مغناطیس کردن آب باعث افزایش هیدراتاسیون یون های منفی شده و به ساختار بلوری آب صدمه می زند. در این مقاله پژوهش‌های انجام شده در مورد تاثیر آب مغناطیسی بر خواص رئولوژی و مکانیکی بتن‌های سبک مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. آنچه از مجموع بررسی‌ها حاصل شد، بیانگر آن است که استفاده از آب مغناطیسی باعث بهبود خواص مکانیکی بتن‌های سبک خواهد شد. بیش‌ترین کارایی خمیر سیمان در نمونه‌های ساخته شده با آب مغناطیسی با چرخش ۶۵ دقیقه‌ای آب در میدان مغناطیسی با شدت ۱ تسلا، حاصل گردید. بیش‌ترین تأثیر آب مغناطیسی بر خواص مکانیکی بتن سبک در شدت میدان مغناطیسی ۱ تسلا، نتیجه شد.

کلمات کلیدی: آب مغناطیسی، بتن سبک، خواص رئولوژی، خواص مکانیکی، پوزولان.

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:	
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	10.22065/JSCE.2019.173374.1792	doi:
۱۳۹۷/۱۲/۰۹	۳۹۸/۰۴/۱۴	۱۳۹۸/۰۴/۲۴	۱۳۹۸/۰۴/۲۴	۱۴۰۰/۰۳/۳۰	https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2019.173374.1792	

*نویسنده مسئول: سیدفتح اله ساجدی

پست الکترونیکی: sajedi@iauahvaz.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

امروزه بتن یکی از پر مصرف‌ترین مصالح ساختمانی در ساخت پروژه‌های عمرانی می‌باشد که استفاده از آن همچنان رو به افزایش است. با گسترش مصرف بتن، ساختن بتنی با کارایی و مقاومت بالا همراه با صرفه اقتصادی یکی از دغدغه های دانشمندان علم تکنولوژی بتن می‌باشد [۱]. در سه دهه اخیر محققینی در کشورهای مختلف تکنولوژی نوینی را ارائه نموده‌اند. در این تکنولوژی با القا میدان مغناطیسی به آب مصرفی در بتن ، ساختار فیزیکی آن تغییر می‌یابد. این تکنولوژی در کشورهای بلوک شرق خصوصا چین و روسیه نمود بیشتری دارد و حتی در کشور روسیه بر اساس قانون مصوب در سال ۱۹۹۳، صنعت ساختمان این کشور ملزم به استفاده از تکنولوژی آب مغناطیسی در ساخت سیمان و بتن شده است [۲]. نخستین تحقیقات در این زمینه از اواخر دهه ۶۰ میلادی آغاز شد و احتمال تأثیر فرآوری مغناطیسی بر ساختار پیوندهای هیدروژن میان مولکولهای آب مطرح گردید. طی دهه ۷۰ میلادی تغییراتی در خواص آب از قبیل جذب نور، کشش سطحی و pH گزارش شد [۳]. آب مغناطیسی، آب عبور داده شده از یک میدان مغناطیسی است. هرگاه ذره‌ایی که دارای بار مثبت یا منفی می‌باشد از درون میدان مغناطیسی عبور داده شود، طبق قانون دست راست آمپر بر این ذره یک نیروی عمود بر مسیر وارد می‌شود که این نیرو موجب تغییرات در سطح ذره باردار یا یون‌ها می‌شود. میدان مغناطیسی بر روی ذرات کلوئیدی و مولکول‌های کربنات کلسیم، نمک‌ها و سایر املاح موجود در آب که مانند ذرات باردار عمل می‌کنند، تاثیر می‌گذارد و خواص فیزیکی و الکتریکی آن‌ها را تغییر می‌دهد. این تغییر آرایش الکترونی در یون‌ها موجب یک نوع بی‌میلی در ترکیب و نهایتا عدم تشکیل رسوب می‌گردد. یکی از مشخصات اساسی آب مغناطیسی که اهمیت زیادی در تولید بتن دارد، وابستگی آب به ذرات و محلول‌های کلوئیدی است. از ترکیب آب با سیمان، محلول کلوئیدی سیمان به وجود می‌آید، چنانچه آب مورد استفاده مغناطیسی باشد، ذرات سیمان به وسیله یک لایه تک مولکولی آب با چگالی کمتر احاطه می‌شوند. این پدیده باعث می‌شود بتوان آب مصرفی را در بتن کاهش داد، این کاهش میزان آب در بتن مزایای بسیاری خواهد داشت. مغناطیس کردن آب، هیدراسیون یون‌های منفی را افزایش می‌دهد، به این معنی که به ساختار بلوری آب صدمه می‌زند [۴]. آب مغناطیسی باعث کاهش ضخامت لایه آب در اطراف ذرات سیمان می‌شود. نتایج تحقیقات اخیر مؤید آن است که استفاده از آب مغناطیسی در ساخت بتن باعث بهبود خواص مقاومتی آن شده است. میدان مغناطیسی باعث شکستن پیوندهای بین مولکولی و تبدیل ساختار بلوری آب از دسته‌های ۱۳ تایی به دسته‌های ۵ یا ۶ تایی می‌شود. در آب مغناطیسی در مقایسه با آب معمولی پارامترهای درجه قلیایی[1]، کشش سطحی[2] و جذب نور تغییر می‌کنند. نتایج تحقیقات بر روی آب مغناطیسی نشان داده که درجه گرانروی[3] آب مغناطیسی نسبت به آب معمولی کم‌تر است [۵].

۲- طبقه‌بندی بتن سبک

بتن سبک بتنی است که وزن مخصوص آن به‌طور محسوسی کم‌تر از وزن مخصوص بتنی معمولی باشد. این بتن در سه نوع طبقه‌بندی می‌شود که عبارتند از:

الف) بتن سبک غیر سازه‌ای: این نوع بتن معمولاً به‌عنوان تیغه‌های جداساز و عایق‌های صوتی در کف‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد و دارای وزن مخصوص کم‌تر از $800\ kg/m^3$ می‌باشد. با وجود وزن مخصوص کم، مقاومت فشاری این بتن حدود ۳/۵ تا ۷ مگا پاسکال است.

ب) بتن سبک سازه‌ای: این بتن دارای مقاومت و وزن مخصوص کافی می‌باشد، به‌گونه‌ای که کاربرد آن در اعضای سازه‌ای مجاز می‌باشد. این بتن دارای وزن مخصوصی بین $1900\ kg/m^3$ تا ۱۴۰۰ بوده و حداقل مقاومت فشاری مورد نیاز برای این نوع بتن ۱۷ MPa است.

[1] Alkaline degree parameters
[2] Surface tension
[3] Viscosity

www.SID.ir

Archive of SID

ج) بتن سبک متوسط: این بتن از لحاظ وزن مخصوص و مقاومت فشاری در محدوده بین بتن‌های سبک غیرسازه‌ای و سازه‌ای قرار دارد. مقاومت فشاری این بتن‌ها بین ۱۷ MPa تا ۷ و وزن مخصوص آن‌ها ۱۴۰۰ kg/m^3 تا ۸۰۰ می‌باشد [۶]. در آیین نامه‌ی ACI -14 318R بتن سبک سازه‌ای بتنی معرفی شده است که چگالی آن کمتر از ۱۸۴۰ کیلوگرم بر مترمکعب و مقاومت فشاری ۲۸ روزه‌ی آن بیش‌تر از ۱۷ MPa باشد. حداقل مقاومت فشاری لازم برای اعضای سازه‌ای بر اساس آئین نامه‌ی ACI 318R-14، ۲۰ MPa می‌باشد [۷]. شیدلر[4] در سال ۱۹۵۷ نیل به مقاومت‌های اقتصادی بتن سبکدانهٔ سازه‌ای را در محدودهٔ ۲۰ تا ۳۵ مگاپاسکال مطرح نمود. هر سبکدانه‌ای با توجه به چگالی و میزان تخلخل خود می‌تواند مزایا و معایبی را داشته باشد. یکی از مصالح فوق سبک، سبکدانهٔ آب‌گریز پلی‌استایرن منبسط شده می‌باشد. این نوع سبکدانه به دلیل عدم تاثیر روی آب مصرفی در ساخت بتن، مورد توجه قرار گرفته است. البته به‌کارگیری آن در بتن خودتراکم می‌تواند تأثیرات نامطلوبی بر خواص بتن در حالات تازه و سخت شده داشته باشد [۸]. بر اساس مطالعات بابو[5]، با افزایش میزان پلی‌استایرن منبسط شده در بتن، مقاومت بتن کاهش پیدا می‌کند [۹].

۳- دستگاه‌های تولید آب مغناطیسی

دستگاه‌های تولید آب مغناطیسی به دو نوع با شدت میدان ثابت و متغیر دسته‌بندی می‌شوند. در دستگاه نوع اول از یک آهنربای دائمی برای ایجاد میدان مغناطیسی استفاده شده است که با توجه به نوع آهنربای مورد استفاده در این دستگاه امکان ایجاد میدان های مغناطیسی با شدت تا حدود ۰/۶ تسلا میسر خواهد بود. در این دسته از دستگاه‌ها، خاصیت مغناطیسی آهنربا تا سال‌ها حفظ می‌شود. در دستگاه نوع دوم امکان ایجاد میدان مغناطیسی با شدت متغیر وجود دارد. در واقع این نوع دستگاه نوعی الکترومغناطیس است که با توجه به اهداف مورد نظر طراحی و ساخته می‌شود. عوامل مؤثر بر شدت میدان مغناطیسی عبارتند از جنس و فاصله هسته‌ها از همدیگر، جنس و قطر سیم‌پیچ، نوع و شدت جریان و ولتاژ که متناسب با کاربرد موردنظر قابل طراحی و ساخت است. در حال حاضر انواع پیشرفته‌ای از الکترومغناطیس‌ها با شدت میدان مغناطیسی بالا به منظور استفاده در دستگاه‌های پزشکی وجود دارد که شدت میدان مغناطیسی تا ۷ تسلا نیز در این دستگاه‌ها استفاده می‌شود. در مدل آزمایشگاهی که نویسنده این مقاله، طراحی و ساخته است، امکان تولید شدت میدان تا ۲ تسلا در نظر گرفته شده و جهت جلوگیری از گرم شدن سیم‌پیچ‌ها و پراش امواج از سیستم کویل آب سرد در اطراف سیم‌پیچ‌ها استفاده شده است.

۴- مروری بر پژوهش‌های انجام شده

اولین تحقیقات و آزمایش‌های عملی در مورد کاربرد میدان‌های مغناطیسی در تولید بتن و بلوک‌های بتنی برای ساخت و ساز ابنیه نظامی نظیر لنگرگاه‌ها و فرودگاه‌های نظامی در سال ۱۹۶۲ در شوروی سابق آغاز شد. این تحقیقات به‌تدریج در مورد سایر زمینه‌های صنعت ساختمان انجام و نتایج مثبتی حاصل شد. ادامه این آزمایش‌ها باعث شد که دانشمندان به استفاده از تکنولوژی آب مغناطیسی در تولید بتن روی آورند. شرکت مغناطیس شرق یکی از مؤسساتی است که در کشور روسیه در زمینه کاربرد آب مغناطیس در صنایع فعالیت می‌کند [۱۰].

ویلان و همکاران[6] (۱۹۹۲) نشان دادند که آب مغناطیسی باعث بهبود قابل‌ملاحظه مقاومت فشاری سیمان تا ۵۴٪، مقاومت خمشی تا ۳۹٪، مقاومت پیوستگی (چسبندگی) تا ۲۰٪ و کاهش زمان‌های گیرش اولیه و ثانویه به ترتیب تا ۳۹٪ و ۳۱٪ می‌شود [۱۱]. فو و ونگ[7] (۱۹۹۴) نتیجه گرفتند که آب مغناطیسی را می‌توان تا قبل از مصرف تا مدت ۱۲ ساعت در یک مخزن نگهداری نمود، ولی نگهداری آن بیش از این مدت باعث از بین رفتن اثر مغناطیسی آب می‌شود [۱۲]. سو و همکاران[8] (۲۰۰۰) در یک طرح جامع ساخت بتن با آب مغناطیسی دریافتند که مقاومت فشاری سنگ سیمان تهیه شده با آب مغناطیسی ۹ تا ۱۹ درصد و بتن تهیه شده با آب

[4] Shideler
[5] Babu
[6] Weilin et al.
[7] Fu and Wang
[8] Su et al.

www.SID.ir

Archive of SID

مغناطیسی ۱۰ تا ۲۳ درصد افزایش می‌یابد. هم‌چنین دریافتند که کارایی خمیر سیمان تهیه شده با آب مغناطیس بیش‌تر از کارایی خمیر سیمان تهیه شده با آب معمولی است و از طرفی برای ساخت بتنی با مقاومت فشاری ثابت می‌توان با تهیه بتن با آب مغناطیسی در مصرف سیمان صرفه‌جویی نمود [۱۳].

تولِدو و همکاران[9] (۲۰۰۸) با اندازه‌گیری سرعت، آنتالپی‌ها (تغییرات انرژی در حالات مختلف) و کشش سطحی آب تحت میدان مغناطیسی و انجام محاسبات نشان دادند که پیوندهای هیدروژنی داخلی (درون دسته‌ای) شکسته شده و رقابت بین شبکه‌های مختلف پیوندهای هیدروژنی (برون و درون مولکولی) باعث تضعیف پیوندهای هیدروژنی بین دسته‌ای مولکول‌های آب می‌شود و این موضوع باعث شکل‌گیری دسته‌های‌کوچک‌تر با تعداد مولکول‌های کم‌تر ولی با پیوندهای هیدروژنی درون دسته‌ای قوی‌تر می‌شود. کم‌تر شدن تعداد مولکول‌ها در یک دسته باعث افزایش در سرعت و نفوذ آن دسته از مولکول‌های آب در بین ذرات مواد از جمله سیمان می‌گردد [۱۴]. ونگ و همکاران[10] (۲۰۰۸) نشان دادند که وقتی از آب مغناطیسی در تهیه خمیر سیمان و ملات استفاده شود، مقاومت فشاری، توزیع منافذ و دوام بتن بهبود می‌یابد [۱۵]. مک ماهان[11] (۲۰۰۹) مروری گسترده بر ادبیاتی که مدعی اثرات مثبت استفاده از آب مغناطیسی شده‌اند، انجام داد. از جمله این اثرات مثبت می‌توان به کاهش رسوبات کربنات کلسیم در تأسیسات مکانیکی حرارتی، برودتی، کاهش نیاز به مصرف آب و افزایش تولید محصولات کشاورزی، مزایای پزشکی، بهداشتی آن همچون افزایش اکسیژن حل‌شده در آب، تغییر در pH آب، کاهش کشش سطحی آب و افزایش مقاومت‌های فشاری و کششی خمیر سیمان اشاره نمود [۱۶]. رهگذر و زمانی (۲۰۱۵) به منظور بررسی تأثیر آب مغناطیسی بر زمان گیرش و کارایی خمیرسیمان و بتن تازه و همچنین مقاومت فشاری بتن سخت شده، آب مغناطیسی با شدت میدان‌های متفاوت تهیه و سپس با طرح‌های اختلاط گوناگون اقدام به ساخت و آزمایش بتن نمودند. از جمله نتایج این تحقیق می‌توان به شدت میدان مغناطیسی بهینه بین ۰/۸ تا ۱ تسلا اشاره کرد. استفاده از آب مغناطیسی زمان گیرش اولیه سیمان را تا ۵۰٪ و زمان گیرش ثانویه را تا ۱۹٪ کاهش می‌دهد. بهترین مقاومت فشاری سیمان سخت شده با چرخش حدود ۱۵ دقیقه‌ای و بیش‌ترین کارایی خمیر سیمان با چرخش حدود ۶۵ دقیقه‌ای آب در میدان مغناطیسی حاصل گردید. استفاده از آب مغناطیسی موجب افزایش مقاومت فشاری بتن تا بیش از ۲۰٪ شد. کاربرد توأم میکروسیلیس و آب مغناطیسی مقاومت در سنین ۷ و ۲۸ روزه را به ترتیب ۴۶٪ و ۳۹٪ افزایش داد [۱۷]. مظلوم و حاتمی (۲۰۱۶) با اعمال میدان مغناطیسی به آب مصرفی در بتن خودتراکم سبک با درصدهای متفاوت میکروسیلیس و فوق‌روان‌کننده، بهبود تغییرات روانی بتن و مقاومت فشاری آن را مورد بررسی قرار دادند [۱۸]. رئوف و همکاران[12] (۲۰۱۷)، مطالعاتی را بر روی ترکیبات سیمانی با نسبت‌های مختلف نانوسیلیس و متاکائولین ساخته شده با آب مغناطیسی انجام دادند و تأثیرات این پارامترها را بر ترک خوردگی و مقاومت فشاری بتن بررسی کردند [۱۹]. اوبال و همکاران[13] در سال ۲۰۱۶ تحقیقاتی را در زمینه استفاده از آب زیرزمینی مغناطیس شده در ساخت بتن انجام دادند و نتایج زیر را کسب نمودند [۲۰]:

۱) مقاومت فشاری بتنی که آب مغناطیسی مصرفی در آن نمک محلول بیش‌تری دارد، افزایش یافت.
۲) استفاده از آب مغناطیسی بجای آب معمولی در ساخت بتن موجب افزایش مقاومت فشاری آن شده است.
۳) تأثیر آب مغناطیسی در مرحله عمل‌آوری بتن مؤثرتر از تأثیر آن در مرحله ساخت بتن بوده است.
۴) مغناطیسی کردن آب مصرفی در بتن، برای آب‌های زیرزمینی مقاومت مشخصه بتن را بین ۳۰ تا ۴۹ درصد افزایش می‌دهد.
۵) توصیه شد که از آب مغناطیسی جهت تولید و عمل‌آوری بتن استفاده گردد.

۵- ارائه نتایج تحقیقات آزمایشگاهی

لطفی و سهرابی (۱۳۸۹) تأثیر آب مغناطیسی را بر خواص مکانیکی بتن‌های سبک و نیمه سبک حاوی میکروسیلیس و سبکدانه‌های لیکا بررسی نمودند. خلاصه نتایج تحقیقات آن‌ها در جدول (۱) و نمودارهای اشکال (۱) و (۲) نشان داده شده است [۲۱].

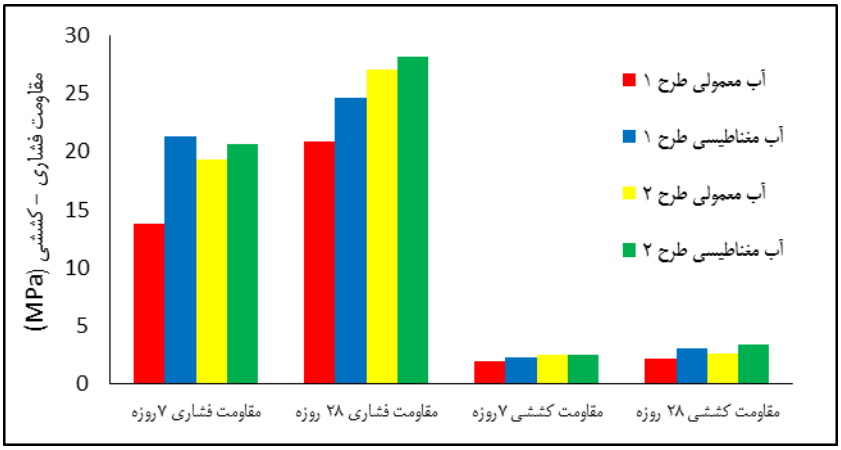
[9] Toledo et al.
[10] Wang et al.
[11] McMahon
[12] Raouf et al.
[13] Ubale et al.

www.SID.ir

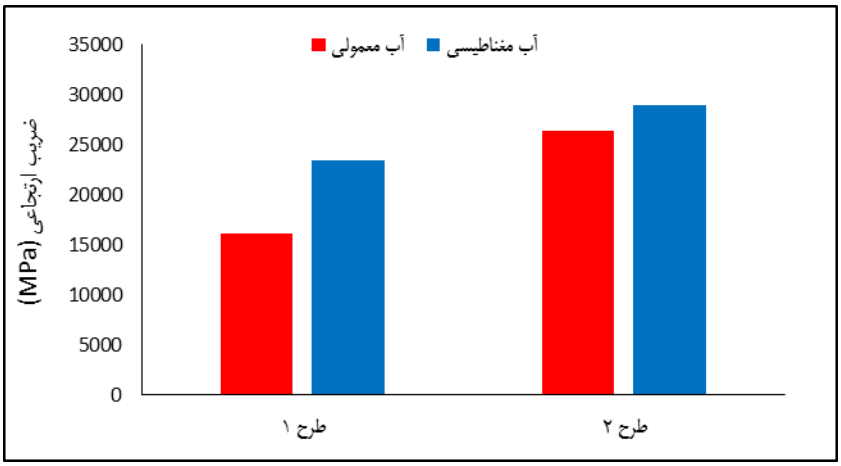
Archive of SID

جدول۱ : طرح‌های اختلاط بتن با پوزولان و روان کننده [۲۱]

شماره طرح	مواد سیمانی (kg)	W/B	درشت‌دانه سبک (kg)	ماسه طبیعی (kg)	آب (Lit)	نوع آب	میکروسیلیس	فوق روان کننده	سیمان (kg/m^3)
۱	۴۰۰	۰/۳۳	۲۵۵/۵	۱۰۶۹	۱۳۲	معمولی	-	-	۴۰۰
۲	۴۰۰	۰/۳۳	۲۵۵/۵	۱۰۵۳/۳	۱۳۲	مغناطیسی	۴۰	۴	۳۶۰
۳	۴۰۰	۰/۳۳	۲۵۵/۵	۱۰۶۹	۱۳۲	معمولی	-	-	۴۰۰
۴	۴۰۰	۰/۳۳	۲۵۵/۵	۱۰۵۳/۳	۱۳۲	مغناطیسی	۴۰	۴	۳۶۰



شکل۱ : نتایج مقاومت فشاری و کششی طرح‌های اختلاط بتن ساخته شده با آب معمولی و آب مغناطیسی [۲۱]



شکل۲ : نتایج ضریب ارتجاعی در طرح‌های اختلاط بتن ساخته شده با آب معمولی و آب مغناطیسی [۲۱]

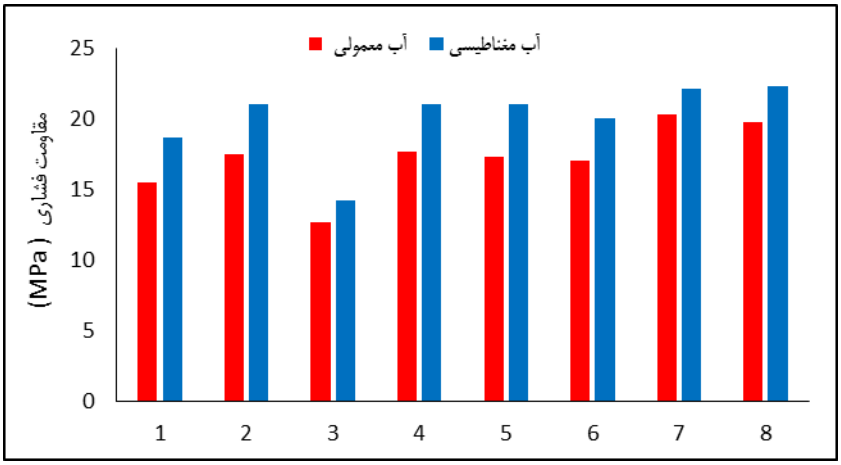
جدول۲ : جزئیات طرح‌های اختلاط بتن حاوی میکروسیلیس در نسبت‌های آب به مواد سیمانی ۰/۳ تا ۰/۴۵ [۲۲]

شماره طرح	سیمان (kg)	میکروسیلیس	نسبت آب به مواد سیمانی	درشت‌دانه سبک (kg)	ریزدانه سبک (kg)	آب (Lit)	سیمان (kg/m^3)
۱	۳۶۰	۴۰	۰/۴۵	۲۰۸ لیکا	۴۵۱ لیکا	۱۸۰	۴۰۰
۲	۳۶۰	۴۰	۰/۴۵	۳۷۱/۴ پومیس	۴۳۶ پومیس	۱۸۰	۴۰۰
۳	۳۶۰	۴۰	۰/۴	۱۹۰ لیکا	۴۷۵ لیکا	۱۶۰	۴۰۰
۴	۳۶۰	۴۰	۰/۴	۳۹۱/۴ پومیس	۴۳۰ پومیس	۱۶۰	۴۰۰
۵	۳۶۰	۴۰	۰/۳۵	۱۸۰ لیکا	۵۰۰ لیکا	۱۴۰	۴۰۰
۶	۳۶۰	۴۰	۰/۳۵	۴۰۰ پومیس	۴۱۰ پومیس	۱۴۰	۴۰۰
۷	۳۶۰	۴۰	۰/۳	۱۶۵ لیکا	۵۱۵ لیکا	۱۲۰	۴۰۰
۸	۳۶۰	۴۰	۰/۳	۴۱۵ پومیس	۴۳۰ پومیس	۱۲۰	۴۰۰

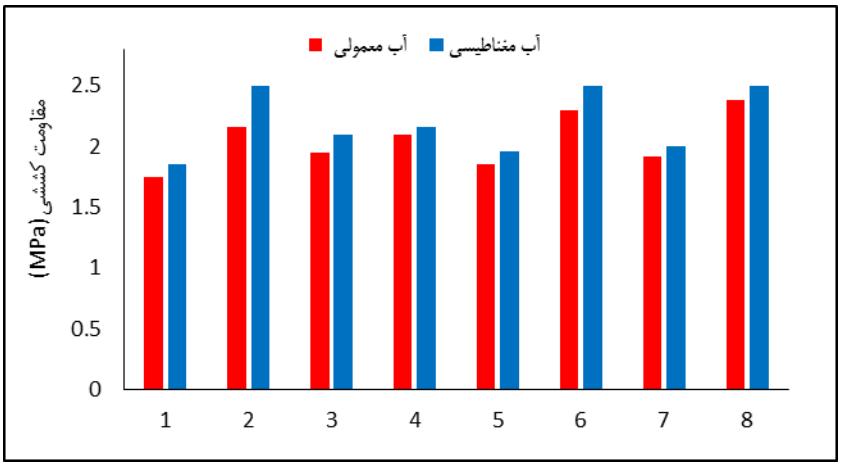
www.SID.ir

Archive of SID

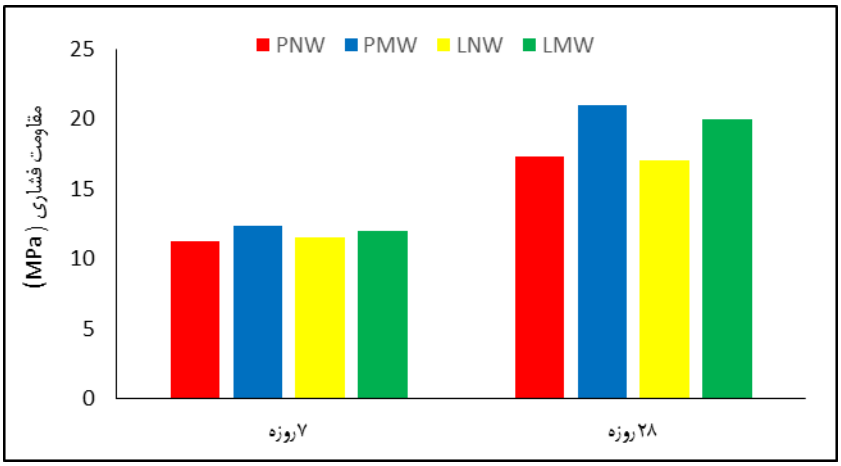
قدس (۱۳۹۲) به بررسی تأثیر آب مغناطیسی بر مقاومت‌های فشاری و کششی بتن سبک حاوی میکروسیلیس و سبکدانه‌های لیکا و پومیس با نسبت‌های مختلف آب به سیمان پرداخت. نتایج این تحقیقات در جدول (۲) و نمودارهای اشکال (۳-۵) نشان‌داده شده است [۲۲].



شکل۳ : مقایسه نتایج مقاومت فشاری طرح‌های اختلاط بتن ساخته شده با آب مغناطیسی و آب معمولی [۲۲]



شکل۴ : مقایسه نتایج مقاومت کششی طرح‌های اختلاط بتن ساخته شده با آب مغناطیسی و آب معمولی [۲۲]



شکل۵ : مقایسه نتایج طرح‌های اختلاط بتن ساخته شده با آب مغناطیسی و آب معمولی بتن سبک با پومیس و لیکا [۲۲]

www.SID.ir

Archive of SID

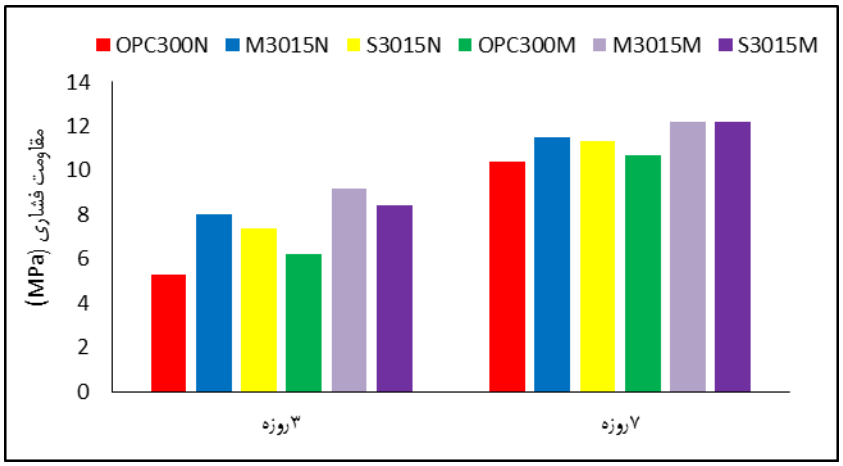
پارامترها در نمودار شکل (۵) بصورت زیر تعریف می‌شوند:

PNW بتن با سبکدانه پومیس و آب معمولی.
PMW بتن با سبکدانه پومیس و آب مغناطیسی.
LNW بتن با سبکدانه لیکا و آب معمولی.
LMW بتن با سبکدانه لیکا و آب مغناطیسی.

احمدی (۱۳۸۶) اثر آب مغناطیسی را بر دوام بتن سبک با سبکدانه لیکا، حاوی پوزولان‌های متاکائولین و میکروسیلیس در محیط‌های مهاجم بررسی نمود. در جداول (۳) و (۴) و نمودارهای اشکال (۶) و (۷) خلاصه نتایج تحقیقات ایشان ارائه گردیده است [۲۳].

جدول ۳ : طرح‌های اختلاط بتن سبک حاوی لیکا و پوزولان با درصدهای مختلف [۲۳]

طرح	سیمان (kg/m3)	پوزولان (kg/m3)	درشت‌دانه سبک (kg/m3)	ریزدانه سبک (kg/m3)	ماسه ریز (فیلر) (kg/m3)	آب (Lit)	فوق روان کننده (kg/m3)	نسبت آب به مواد سیمانی	وزن مخصوص (kg/m^3)
OPC ۳۰۰	۵۰۰	-	۱۱۷/۹۵	۴۴۷/۶۶	۲۵۰	۱۵۰	۱/۵	۰/۳۰	۱۴۶۵
M ۳۰۱۰	۴۵۰	۵۰	۱۱۷/۹۵	۴۴۳/۰۵	۲۵۰	۱۵۰	۲	۰/۳۰	۱۴۶۱
M ۳۰۱۵	۴۲۵	۷۵	۱۱۷/۹۵	۴۴۰/۷۲	۲۵۰	۱۵۰	۲/۲۵	۰/۳۰	۱۴۵۸
M ۳۰۲۰	۴۰۰	۱۰۰	۱۱۷/۹۵	۴۳۸/۳۹	۲۵۰	۱۵۰	۲/۵	۰/۳۰	۱۴۵۶
M ۳۰۱۰	۴۵۰	۵۰	۱۱۷/۹۵	۴۴۰/۱۴	۲۵۰	۱۵۰	۲	۰/۳۰	۱۴۵۸
M ۳۰۱۵	۴۲۵	۷۵	۱۱۷/۹۵	۴۳۶/۳۵	۲۵۰	۱۵۰	۲/۲۵	۰/۳۰	۱۴۵۴
M ۳۰۲۰	۴۰۰	۱۰۰	۱۱۷/۹۵	۴۳۲/۵۷	۲۵۰	۱۵۰	۲/۵	۰/۳۰	۱۴۵۰



شکل۶ : نتایج مقاومت فشاری بتن سبک ساخته شده با آب مغناطیسی و آب معمولی برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳ [۲۳]

پارامترها در نمودار شکل (۶) بصورت زیر تعریف می‌شوند:

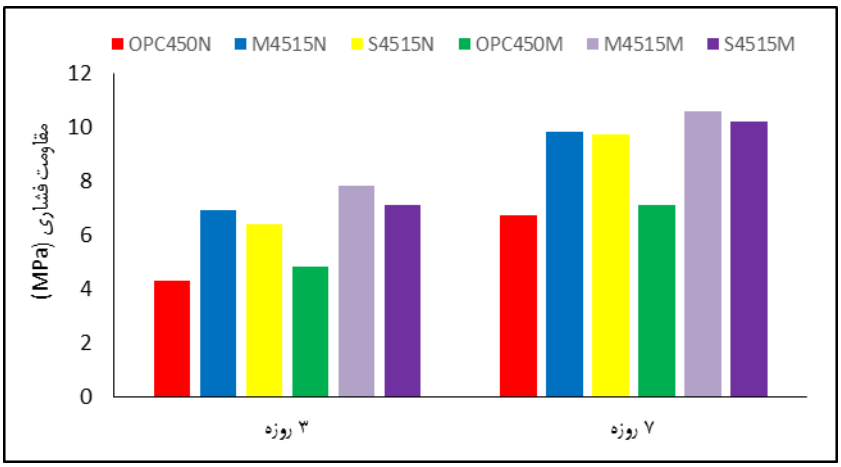
OPC300N طرح اختلاط بدون پوزولان با نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳ و با آب معمولی.
OPC300M طرح اختلاط بدون پوزولان با نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳ و با آب مغناطیسی.
M3015N طرح اختلاط حاوی متاکائولین ۰/۱۵ و نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳ با آب معمولی.
M3015M طرح اختلاط حاوی متاکائولین ۰/۱۵ و نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳ با آب مغناطیسی.
S3015N طرح اختلاط حاوی میکروسیلیس ۰/۱۵ و نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳ با آب معمولی.
S3015M طرح اختلاط حاوی میکروسیلیس ۰/۱۵ و نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳ با آب مغناطیسی.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴ : طرح‌های اختلاط بتن سبک حاوی لیکا و پوزولان با درصدهای مختلف [۲۳]

طرح	سیمان (kg/m^3)	پوزولان (kg/m^3)	درشت‌دانه سبک (kg/m^3)	ریزدانه سبک (kg/m^3)	ماسه ریز (فیلر) (kg/m^3)	آب (Lit)	فوق روان‌کننده (kg/m^3)	نسبت آب به مواد سیمانی	وزن مخصوص (kg/m^3)
OPC ۴۵۰	۵۰۰	–	۱۱۷/۹۵	۳۶۷/۶۵	۲۵۰	۲۲۵	–	۰/۴۵	۱۴۶۰
M ۴۵۱۰	۴۵۰	۵۰	۱۱۷/۹۵	۳۶۳/۰۳	۲۵۰	۲۲۵	–	۰/۴۵	۱۴۵۵
M ۴۵۱۵	۴۲۵	۷۵	۱۱۷/۹۵	۳۶۰/۷۰	۲۵۰	۲۲۵	–	۰/۴۵	۱۴۵۳
M ۴۵۲۰	۴۰۰	۱۰۰	۱۱۷/۹۵	۳۵۸/۳۶	۲۵۰	۲۲۵	–	۰/۴۵	۱۴۵۱
S ۴۵۱۰	۴۵۰	۵۰	۱۱۷/۹۵	۳۶۰/۱۱	۲۵۰	۲۲۵	–	۰/۴۵	۱۴۵۳
S ۴۵۱۵	۴۲۵	۷۵	۱۱۷/۹۵	۳۵۶/۳۲	۲۵۰	۲۲۵	–	۰/۴۵	۱۴۴۹
S ۴۵۲۰	۴۰۰	۱۰۰	۱۱۷/۹۵	۳۵۲/۵۵	۲۵۰	۲۲۵	–	۰/۴۵	۱۴۴۵



شکل ۷ : نتایج مقاومت فشاری بتن سبک ساخته شده با آب مغناطیسی و آب معمولی برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۵ [۲۳]

پارامترها در نمودار شکل (۷) بصورت زیر تعریف می‌شوند:

OPC450N طرح اختلاط بدون پوزولان با نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۵ و با آب معمولی.

OPC450M طرح اختلاط بدون پوزولان با نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۵ و با آب مغناطیسی.

M4515N طرح اختلاط حاوی متاکائولین ۰/۱۵ و نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۵ با آب معمولی.

M415M طرح اختلاط حاوی متاکائولین ۰/۱۵ و نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۵ با آب مغناطیسی.

S4515N طرح اختلاط حاوی میکروسیلیس ۰/۱۵ و نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۵ با آب معمولی.

S4515M طرح اختلاط حاوی متاکائولین ۰/۱۵ و نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۵ با آب مغناطیسی.

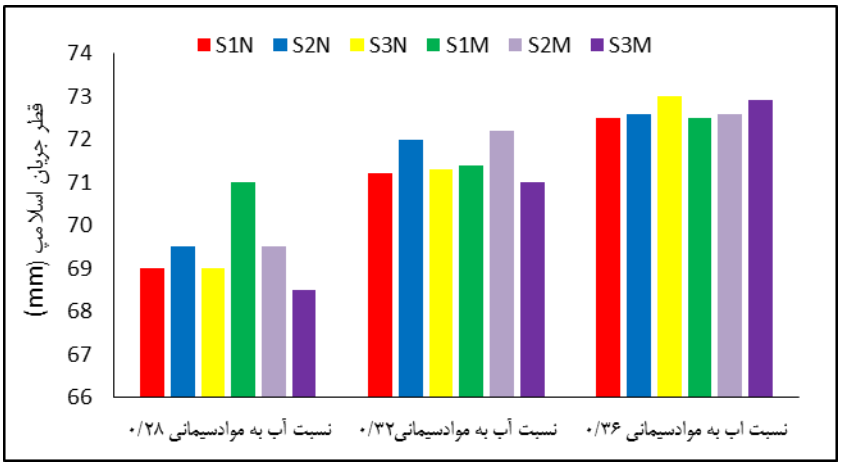
مظلوم و میری (۱۳۹۵) تأثیر آب مغناطیسی را بر خواص مکانیکی بتن سبک خود تراکم حاوی سنگدانه‌های لیکا بررسی نمودند. طرح‌های اختلاط مورد استفاده در این تحقیق حاوی فوق روان کننده و میکروسیلیس با درصدهای متفاوت می‌باشد. نتایج حاصل از این تحقیق آزمایشگاهی در جداول (۵) و (۶) و نمودار شکل (۸) بصورت خلاصه بیان شده است [۲۴].

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۵ : طرح‌های اختلاط بتن سبک ساخته شده با آب مغناطیسی و آب معمولی [۲۴]

وزن مخصوص (kg/m^3)	ماسه (kg/m^3)	لیکا (kg/m^3)	پودر سنگ (kg/m^3)	سیمان (kg/m^3)	آب (Lit)	فوق روان‌کننده (kg/m^3)	میکروسیلیس (kg/m^3)	نسبت آب به مواد سیمان
۱۹۳۲	۷۵۰	۳۲۰	۱۱۰	۴۲۵	۱۱۹	۰/۵	۰	
۱۹۳۲	۷۵۰	۳۲۰	۱۱۰	۴۲۵		۰/۴۵		
۱۹۰۴	۷۵۰	۳۲۰	۱۱۰	۳۹۹/۵	۱۱۹	۱	۶	۰/۲۸
۱۹۰۴	۷۵۰	۳۲۰	۱۱۰	۳۹۹/۵		۰/۸۵		
۱۸۸۰	۷۵۰	۳۲۰	۱۱۰	۳۸۲/۵	۱۱۹	۲	۱۰	
۱۸۸۰	۷۵۰	۳۲۰	۱۱۰	۳۸۲/۵		۱/۷۵		
۱۸۹۰	۷۵۰	۳۲۰	۱۱۰	۳۸۰	۱۲۱/۶	۰/۵	۰	
۱۸۹۰	۷۵۰	۳۲۰	۱۱۰	۳۸۰		۰/۴		
۱۸۵۰	۷۵۰	۳۲۰	۱۱۰	۳۵۸	۱۲۱/۶	۱	۶	۰/۳۲
۱۸۵۰	۷۵۰	۳۲۰	۱۱۰	۳۵۸		۰/۸		
۱۸۳۷	۷۵۰	۳۲۰	۱۱۰	۳۴۲	۱۲۱/۶	۲	۱۰	
۱۸۳۷	۷۵۰	۳۲۰	۱۱۰	۳۴۲		۱/۶۵		
۱۸۶۰	۷۵۰	۳۲۰	۱۱۰	۳۵۰	۱۲۶	۰/۵	۰	
۱۸۶۰	۷۵۰	۳۲۰	۱۱۰	۳۵۰		۰/۳۵		
۱۸۵۶	۷۵۰	۳۲۰	۱۱۰	۳۲۹	۱۲۶	۱	۶	۰/۳۶
۱۸۵۶	۷۵۰	۳۲۰	۱۱۰	۳۲۹		۰/۷		
۱۸۳۶	۷۵۰	۳۲۰	۱۱۰	۳۱۵	۱۲۶	۲	۱۰	
۱۸۳۶	۷۵۰	۳۲۰	۱۱۰	۳۱۵		۰/۵		



شکل۸ : روانی حاصل از آزمایش جریان اسلامپ بتن سبک خودتراکم با نسبت آب به مواد سیمان ۰/۲۸، ۰/۳۲ و ۰/۳۶ با آب مغناطیسی و آب معمولی [۲۴]

پارامترها در نمودار شکل (۸) بصورت زیر تعریف می‌شوند:

S1N-S2N-S3N نمونه‌های با آب معمولی و S1M-S2M-S3M نمونه‌های با آب مغناطیسی می‌باشند.

راهی و همکاران (۱۳۹۰) تأثیر استفاده از آب مغناطیسی بر خواص بتن سبک با سبکدانه‌های لیکا را مورد بررسی قرار دادند. در تحقیق آن‌ها برای مغناطیس کردن آب از آهن‌ربای دائمی با شدت میدان مغناطیسی ۰/۱۳ تسلا استفاده گردید. جزئیات طرح اختلاط به کاررفته در این تحقیق در جدول (۶) نشان داده شده است [۲۵].

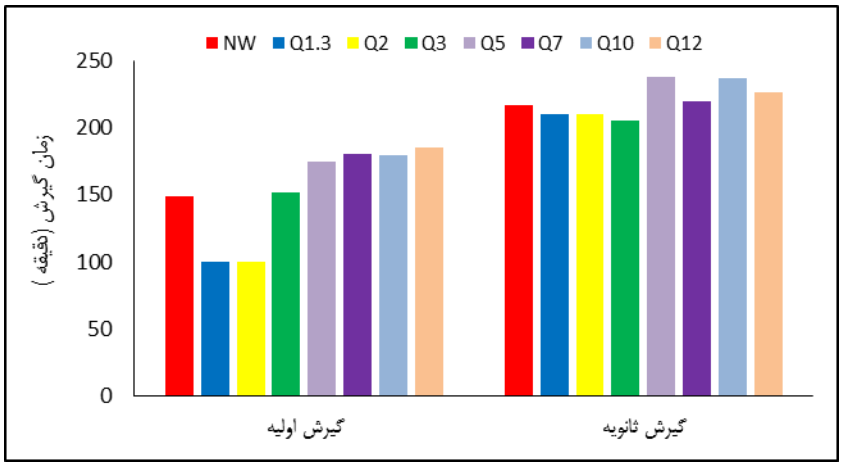
www.SID.ir

Archive of SID

جدول۶ : جزئیات طرح‌های اختلاط [۲۵]

شماره اختلاط	سیمان (kg/m^3)	آب (Lit)	فوق روان کننده (kg/m^3)	ماسه (kg/m^3)	دانه‌های سبک لیکا (mm)				
					۲-۴	۱-۲	۰/۵ -۱	۰/۲۵ -۰/۵	۰ -۰/۲۵
A1(kg/m^3)	۵۰۰	۲۰۰	۹	۶۶۰/۴	۳۵/۷	۱۵۴/۷	۹۵/۲	۴۷/۶	**۲۳/۸**
A1(g)	۲۱۰۰	۸۴۰	۴۰	۲۷۷۰	۱۵۰	۶۵۰	۴۰۰	۲۰۰	**۱۰۰**

محققان زمان‌های گیرش اولیه و ثانویه خمیر سیمان را در سه حالت استفاده از آب مغناطیسی با دبی ۲ و ۳ لیتر در دقیقه و همچنین آب معمولی مقایسه کردند، نتایج بررسی‌های آن‌ها در نمودار شکل (۹) نشان داده شده است.

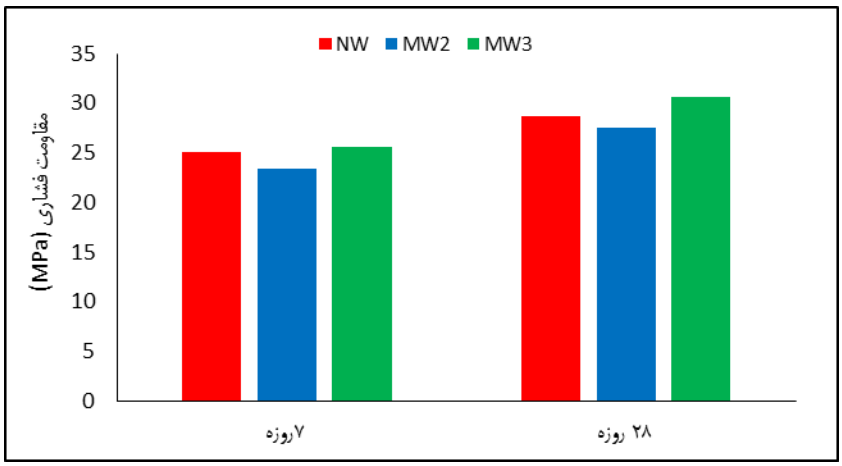


شکل۹ : زمان‌های گیرش اولیه و ثانویه خمیر سیمان ساخته شده با آب مغناطیسی و آب معمولی [۲۵]

پارامترها در نمودار شکل (۹) بصورت زیر تعریف می‌شوند:

Q1-Q1.3-Q2-.....: میزان دبی عبوری از میدان مغناطیسی برحسب لیتر در دقیقه و NW آب معمولی می‌باشند.

نمونه‌هایی که راهی و همکاران با طرح اختلاط جدول (۶) تهیه کردند دارای وزن مخصوص ۱۷۳۸ تا ۱۸۰۱ کیلوگرم بر متر مکعب بوده که در دسته بتن‌های سبک سازه‌ای گنجانده می‌شوند، نتایج مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه برای نمونه‌های ساخته شده با آب مغناطیسی (با دبی ۲ و ۳ لیتر در دقیقه) و آب معمولی در نمودار شکل (۱۰) نشان داده شده است.



شکل۱۰ : نتایج مقاومت فشاری بتن سبک حاوی سنگدانه لیکا و ساخته شده با آب مغناطیسی در دبی ۲ و ۳ لیتر در دقیقه و آب معمولی [۲۵]

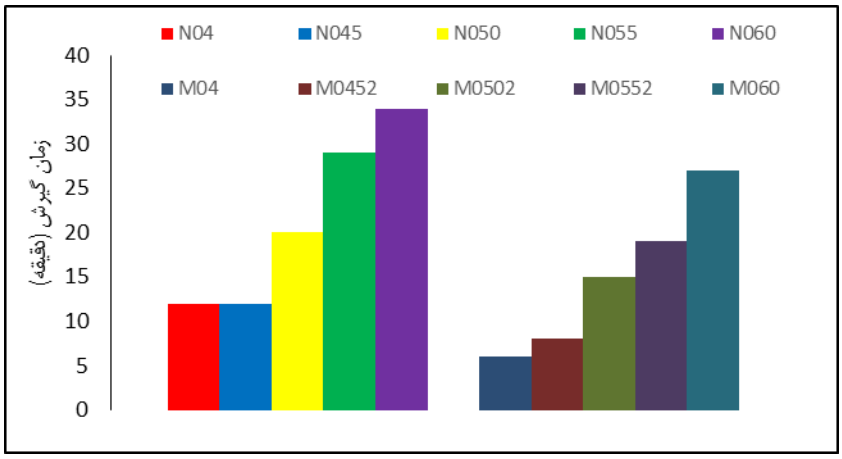
پارامترها در نمودار شکل (۱۰) بصورت زیر تعریف می‌شوند:

www.SID.ir

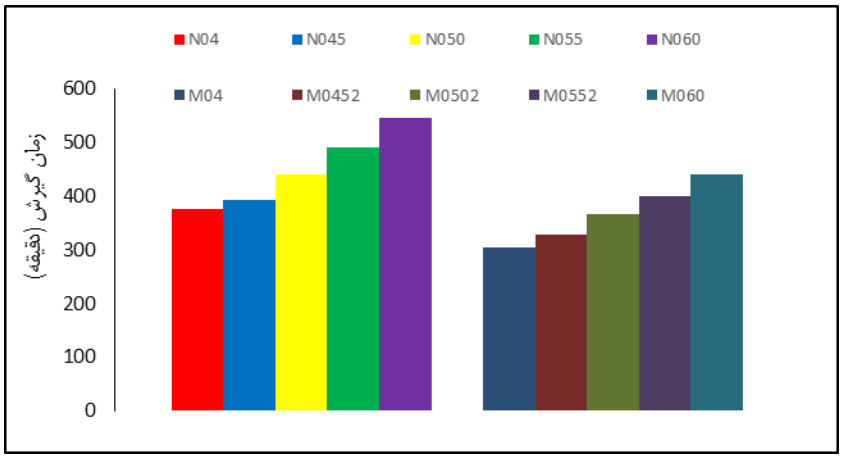
Archive of SID

NW آب معمولی، MW2 آب مغناطیسی عبور داده‌شده با دبی ۲ لیتر در دقیقه از میدان مغناطیسی و MW3 آب مغناطیسی عبور داده‌شده با دبی ۳ لیتر در دقیقه از میدان مغناطیسی می‌باشد.

رهگذر و زمانی (۱۳۹۴) تأثیر آب مغناطیسی را بر زمان‌های گیرش اولیه و ثانویه خمیر سیمان با نسبت‌های مختلف آب به سیمان ۰/۴، ۰/۴۵، ۰/۵، ۰/۵۵ و ۰/۶ بررسی کردند که نتایج کار آن‌ها در نمودارهای اشکال (۱۱) و (۱۲) آمده است [۱۷].



شکل۱۱ : تغییرات گیرش اولیه خمیر سیمان با نسبت‌های مختلف آب به سیمان ساخته شده با آب مغناطیسی و آب معمولی [۱۷]



شکل۱۲ : تغییرات گیرش ثانویه خمیر سیمان با نسبت‌های مختلف آب به سیمان ساخته شده با آب مغناطیسی و آب معمولی [۱۷]

N04 خمیر سیمان با آب معمولی و نسبت آب به سیمان ۰/۴ و M060 خمیر سیمان با آب مغناطیسی و نسبت آب به سیمان ۰/۶ می‌باشد.

مظلوم و میری (۱۳۹۵) تأثیر آب مغناطیسی را با عبور آب از سیم لوله مسی حامل جریان مستقیم بر روی بتن‌های حاوی میکروسیلیس و فوق روان کننده بررسی کردند. شدت میدان مغناطیسی مورد استفاده در تحقیق آن‌ها ۰/۰۹ و ۰/۱۲ تسلا بود. نتایج کار آن‌ها برای طرح‌های اختلاط با نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۲۵، ۰/۳۵ و ۰/۴۵ در جدول (۷) و نمودارهای اشکال (۱۳) و (۱۴) بصورت خلاصه نشان داده شده است [۲۴].

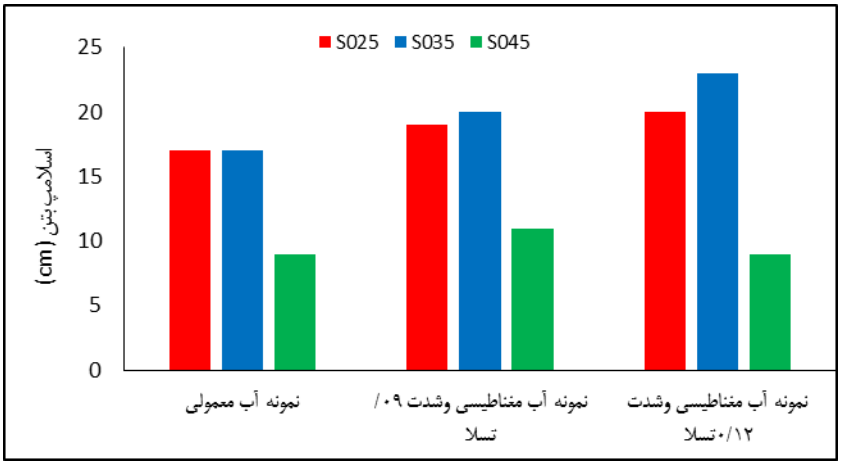
رهگذر و زمانی (۱۳۹۴) دریک مطالعه آزمایشگاهی طرح‌های اختلاط متفاوتی از بتن معمولی و بتن حاوی میکروسیلیس را با نسبت‌های مختلف آب به مواد سیمانی ساخته شده با آب مغناطیسی و آب معمولی بررسی کردند. در تحقیقات آن‌ها تأثیر شدت و مدت زمان چرخش آب در میدان مغناطیسی بر کارایی و مقاومت فشاری بتن مورد بررسی قرار گرفت. خلاصه نتایج این تحقیق در جداول (۸-۱۰) و نمودارهای اشکال (۱۵-۱۹) ارائه شده است [۱۴].

www.SID.ir

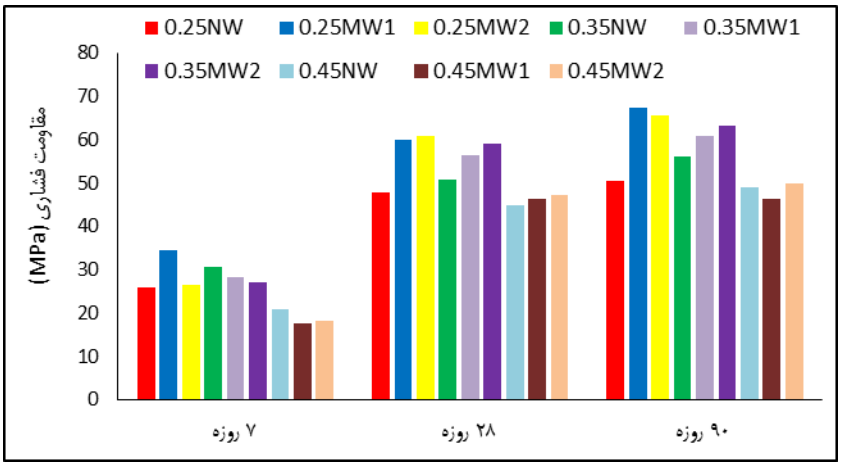
Archive of SID

جدول۷ : جزئیات طرح‌های اختلاط [۲۴]

طرح اختلاط	درشت‌دانه (kg/m^3)	ریزدانه (kg/m^3)	آب (Lit)	سیمان (kg/m^3)	میکروسیلس (kg/m^3)	فوق روان‌کننده (kg/m^3)	نسبت آب به مواد سیمانی
M1	۱۰۶۵	۶۸۵	۱۳۰	۵۲۰	-	۲/۲۱	۰/۲۵
M2	۱۰۶۵	۶۸۵	۱۳۰	۴۶۸	۵۲	۲/۲۱	۰/۲۵
M3	۱۰۰۰	۶۶۰	۱۹۵	۵۵۵	-	۱/۷	۰/۳۵
M4	۱۰۰۰	۶۶۰	۱۹۵	۵۰۰	۵۵	۱/۷	۰/۳۵
M5	۹۶۰	۶۴۰	۲۲۰	۴۸۵	-	-	۰/۴۵
M6	۹۶۰	۶۴۰	۲۲۰	۴۳۷	۴۸	-	۰/۴۵



شکل۱۳ : نتایج آزمایش روانی بتن با آب مغناطیسی و معمولی [۲۴]



شکل۱۴ : نتایج آزمایش مقاومت فشاری بتن ساخته شده با آب مغناطیسی و آب معمولی با نسبت‌های آب به سیمان مختلف [۲۴]

www.SID.ir

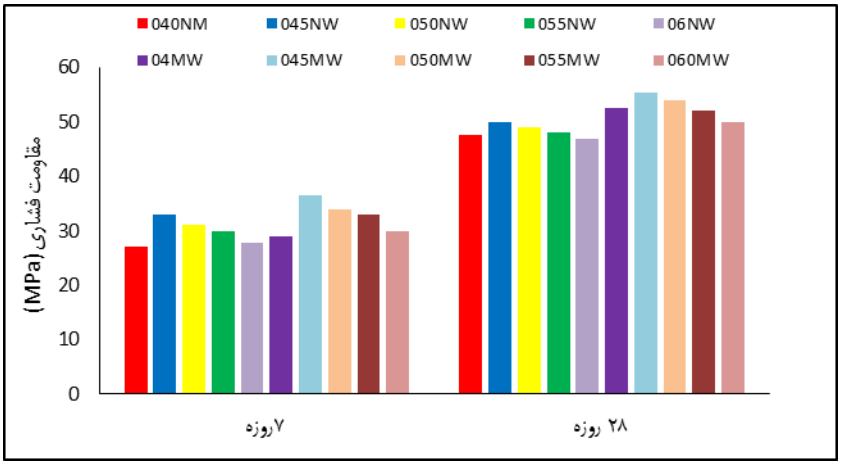
Archive of SID

جدول۸ : جزئیات طرح‌های اختلاط بتن ساخته شده با آب مغناطیسی و آب معمولی [۱۷]

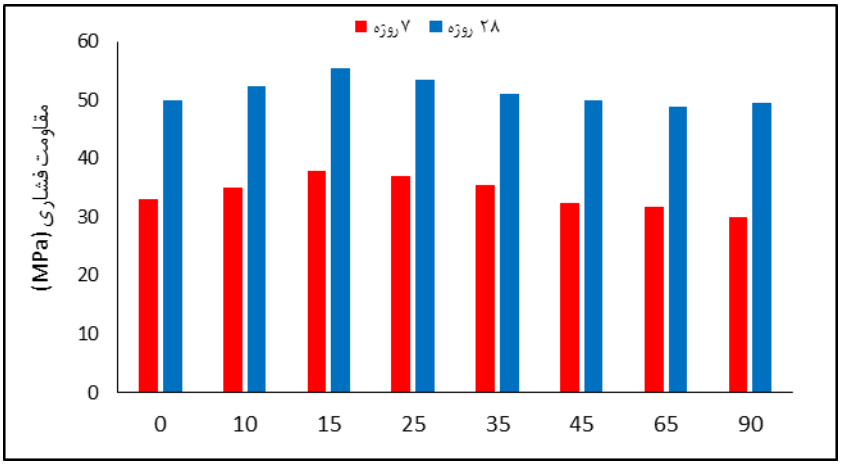
طرح اختلاط	سیمان (kg/m^3)	شن (kg/m^3)	ماسه (kg/m^3)	آب (Lit)	نسبت آب به مواد سیمانی	نوع آب
A1	۴۰۰	۱۱۶۰	۷۲۰	۱۶۰	۰/۴	معمولی
B1	۴۰۰	۱۱۶۰	۷۲۰	۱۶۰	۰/۴	مغناطیسی
A2	۴۰۰	۱۱۰۰	۷۲۰	۱۸۰	۰/۴۵	معمولی
B2	۴۰۰	۱۱۰۰	۷۲۰	۱۸۰	۰/۴۵	مغناطیسی
A3	۴۰۰	۱۱۰۰	۷۰۰	۲۲۰	۰/۵۵	معمولی
B3	۴۰۰	۱۱۰۰	۷۰۰	۲۲۰	۰/۵۵	مغناطیسی

جدول۹ : جزئیات طرح‌های اختلاط بتن حاوی میکروسیلیس و ساخته شده با آب مغناطیسی و آب معمولی [۱۷]

طرح اختلاط	سیمان (kg/m^3)	میکروسیلس (kg/m^3)	شن (kg/m^3)	ماسه (kg/m^3)	آب (Lit)	نسبت آب به موادسیمانی	نوع آب
A11	۴۰۰	۴۵	۱۲۶۰	۷۲۰	۱۸۰	۰/۴۰	معمولی
B11	۴۰۰	۴۵	۱۲۶۰	۷۲۰	۱۸۰	۰/۴۰	مغناطیسی
A22	۴۰۰	۴۵	۱۱۶۰	۷۰۰	۲۰۰	۰/۴۵	معمولی
B22	۴۰۰	۴۵	۱۱۶۰	۷۰۰	۲۰۰	۰/۴۵	مغناطیسی
A33	۴۰۰	۴۵	۱۱۰۰	۷۰۰	۲۴۵	۰/۵۵	معمولی
B33	۴۰۰	۴۵	۱۱۰۰	۷۰۰	۲۴۵	۰/۵۵	مغناطیسی



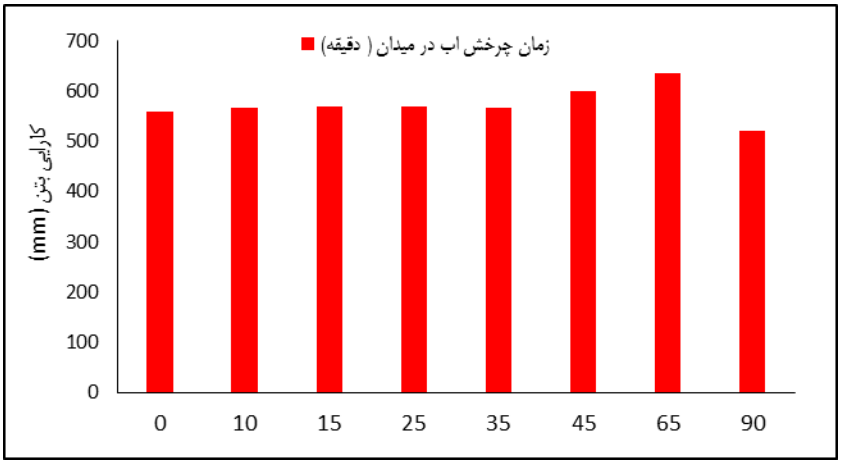
شکل۱۵ : تغییرات مقاومت فشاری بتن‌های ساخته شده با آب مغناطیسی و آب معمولی در نسبت‌های مختلف آب به مواد سیمانی[۱۷]



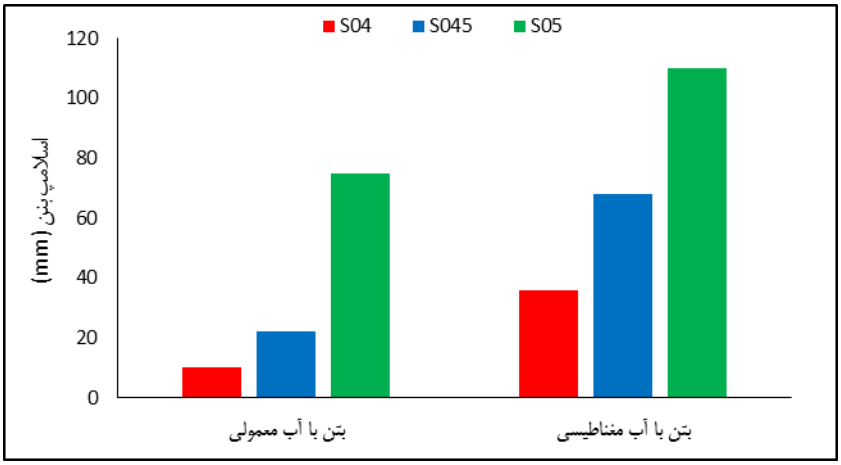
شکل۱۶ : تغییرات مقاومت فشاری نسبت به مدت‌زمان چرخش آب با دبی ثابت در میدان مغناطیسی [۱۷]

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۱۷ : تغییرات کارایی بتن تازه نسبت به مدت زمان گردش آب در میدان مغناطیسی [۱۷]



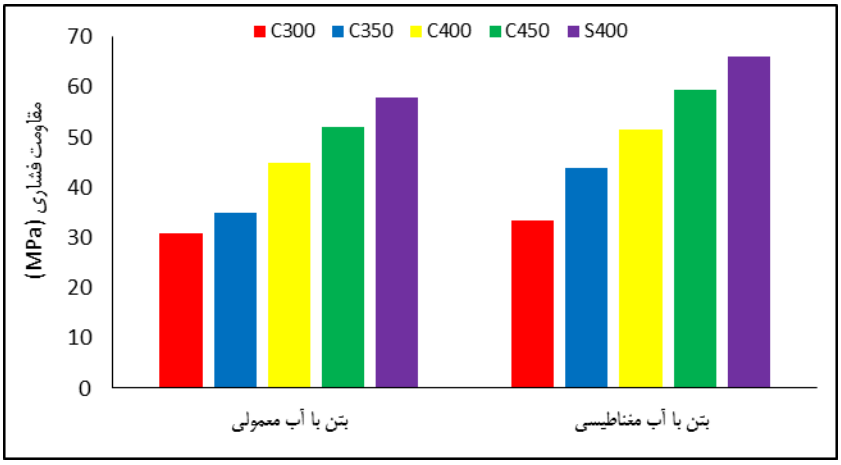
شکل۱۸ : تغییرات جریان اسلامپ بتن‌های تازه با نسبت‌های آب به سیمان ۰/۴، ۰/۴۵، ۰/۵ ساخته شده با آب مغناطیسی و آب معمولی [۱۷]

جدول۱۰ : جزئیات طرح‌های اختلاط بتن با عیار سیمان متفاوت و ساخته شده با آب‌های مغناطیسی و معمولی [۱۷]

شماره اختلاط	عیار سیمان (kg/m^3)	سیمان (kg/m^3)	شن (kg/m^3)	ماسه (kg/m^3)	آب (Lit)	نسبت آب به مواد سیمانی	نوع آب
C1	۳۰۰	۳۰۰	۱۲۰۰	۷۵۰	۱۳۵	۰/۴۵	معمولی
D1	۳۰۰	۳۰۰	۱۲۰۰	۷۵۰	۱۳۵	۰/۴۵	مغناطیسی
C2	۳۵۰	۳۵۰	۱۱۵۰	۷۲۰	۱۵۷/۵	۰/۴۵	معمولی
D2	۳۵۰	۳۵۰	۱۱۵۰	۷۲۰	۱۵۷/۵	۰/۴۵	مغناطیسی
C3	۴۰۰	۴۰۰	۱۱۰۰	۷۰۰	۱۸۰	۰/۴۵	معمولی
D3	۴۰۰	۴۰۰	۱۱۰۰	۷۰۰	۱۸۰	۰/۴۵	مغناطیسی
C4	۴۵۰	۴۵۰	۱۱۰۰	۷۰۰	۲۰۲/۵	۰/۴۵	معمولی
D4	۴۵۰	۴۵۰	۱۱۰۰	۷۰۰	۲۰۲/۵	۰/۴۵	مغناطیسی

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۱۹ : تغییرات مقاومت فشاری بتن‌های با عیار سیمان ۳۰۰ تا ۴۵۰ و حاوی میکروسیلیس و آب مغناطیسی و آب معمولی [۱۷]

۶- تجزیه و تحلیل نتایج

از جمع بندی پژوهش‌هایی که در این مقاله به بررسی آن‌ها پرداخته شد می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که تا کنون مطالعات متعددی در راستای بررسی رفتار بتن‌های سبک انجام شده است [۲۶]. محققان متعددی مانند مید و همکاران[14] تاثیر افزودن ذرات پلی-استایرن را بر خواص مکانیکی بتن‌های سبک مورد بررسی قرار داده‌اند [۲۷]. نتایج تحقیقات انجام گرفته بر اثر استفاده از سبکدانه‌ها در ساخت بتن عمدتا" نشان دهنده کاهش مقاومت بتن در اثر افزودن این نوع سنگدانه‌ها می‌باشند [۲۸]. اما بر خلاف مطالعات متعدد انجام گرفته در مورد اثر نوع سنگدانه‌ها، مطالعات انجام گرفته در مورد اثر آب مغناطیس بر رفتار بتن‌های سبک به نسبت کم‌تر بوده است [۲۹]. تحقیقات صورت گرفته نشان می‌دهد که آب مغناطیسی می‌تواند بر مقاومت فشاری بتن‌های سبک تاثیر مثبت داشته باشد [۳۰]. قدس و همکاران [۲۲] در یک طرح جامع با بررسی ۸ طرح اختلاط مختلف گزارش کردند که استفاده از آب مغناطیس می‌تواند بین ۹٪ تا ۲۱٪ مقاومت فشاری را افزایش دهد. افشین و همکاران [۳۱] در تحقیق خود بر خواص مکانیکی بتن با مقاومت بالا حاوی آب مغناطیسی نشان دادند که استفاده از آب مغناطیسی، مقدار مقاومت فشاری بتن را به میزان ۱۸٪ افزایش می‌دهد. در سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۳ نیز مقالاتی در مورد کاربرد آب مغناطیسی توسط تان‌سو سو و همکاران[15] [۳۲-۳۳] منتشر شد. در این مقالات، نویسندگان به افزایش مقاومت فشاری نمونه‌های بتن ساخته شده با آب مغناطیسی اشاره کردند. لطفی و سهرابی [۲۱] نیز نشان دادند که استفاده از آب مغناطیس می‌تواند تا ۵۴٪ مقاومت فشاری بتن‌های سبک را افزایش دهد. نتایج این تحقیقات نشان داد که استفاده از آب مغناطیس می‌تواند در سنین پایین‌تر بتن تاثیر به مراتب بیش‌تری نسبت به سنین بالاتر داشته باشد. این نتایج در تحقیقات دیگری مانند تحقیق احمدی و همکاران [۲۳] تکرار شده است. در این تحقیق نیز مشاهده شد که در یک طرح اختلاط ثابت، استفاده از آب مغناطیسی در سن ۳ روزه موجب افزایش ۱۷٪ در مقاومت فشاری و در سن ۷ روزه موجب افزایش ۳٪ در مقاومت فشاری می‌شود. از بررسی و مقایسه نتایج تحقیقات گذشته می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از آب مغناطیسی موجب افزایش مقاومت فشاری بتن می‌شود که این افزایش در سنین پایین‌تر قابل توجه‌تر است.

در تحقیقاتی که مقاومت کششی بتن‌های سبک را در اثر کاربرد آب مغناطیسی مورد بررسی قرار دادند، این نتیجه گرفته شد که استفاده از آب مغناطیسی می‌تواند مقاومت کششی بتن را بهبود بخشد. لطفی و سهرابی [۲۱] تاثیر آب مغناطیسی را بر مقاومت کششی بتن‌های سبک حاوی میکروسیلیس بررسی نمودند. آن‌ها در نتایج آزمایش‌های خود بیان نمودند که استفاده از آب مغناطیسی به‌عنوان جایگزین آب معمولی در مقاومت کششی بتن تاثیر مثبت دارد. این تاثیر در سن ۷ روزه تا ۲۳٪ و در سن ۲۸ روزه تا ۴۱٪ گزارش شد. در تحقیقات دیگری [۳۴] نیز اثرات مثبت آب مغناطیسی در افزایش مقاومت کششی بتن بیان شده است. قدس و همکاران [۲۲] نیز با بررسی ۸ طرح اختلاط مختلف با آب معمولی و آب مغناطیسی تاثیر آب مغناطیسی بر افزایش مقاومت کششی بتن را بین ۳٪ تا ۱۶٪ بیان کردند.

[14] Mid et al.
[15] Tonsu et al.

www.SID.ir

Archive of SID

ونگ و همکاران[16] [۳۵] نیز تاثیر مثبت آب مغناطیسی را در افزایش مقاومت کششی بتن گزارش کردند. از همگرایی نتایج تحقیقات و تاکید آن‌ها بر افزایش مقاومت کششی بتن در اثر استفاده از آب مغناطیس، می‌توان این موضوع را به‌عنوان یکی از نتایج این بررسی‌ها با قطعیت بیان نمود.

یکی از پارامترهای بسیار مهم در استفاده از هر نوع بتنی کارایی و روانی آن می‌باشد. محققانی به بررسی تغییرات این پارامتر در اثر استفاده از آب مغناطیس به‌عنوان جایگزین آب معمولی پرداخته‌اند [۳۶]. عبدالمجیدا و همکاران[17] [۳۷] کارایی بتن ساخته شده با آب معمولی و آب مغناطیسی را در سه نسبت مختلف آب به مواد سیمانی ۰/۴۵، ۰/۵۰ و ۰/۵۵ با انجام آزمایش اسلامپ بررسی نمودند. در این تحقیق افزایش میزان اسلامپ در اثر استفاده از آب مغناطیس گزارش شده است، که این افزایش اسلامپ در طرح اختلاط‌های دارای نسبت آب به مواد سیمانی کم‌تر، قابل توجه‌تر می‌باشد. مظلوم و میری [۲۴] جریان اسلامپ را در سه طرح اختلاط حاوی نسبت آب به مواد سیمانی متفاوت بررسی کردند. در هر طرح اختلاط قطر جریان اسلامپ بتن ساخته شده با آب معمولی و آب مغناطیسی اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از این اندازه‌گیری‌ها نشان داد که آب مغناطیسی می‌تواند موجب بهبود کارایی بتن و افزایش جریان اسلامپ شود. رهگذر و زمانی [۱۷] نیز در یک طرح آزمایشگاهی افزایش جریان اسلامپ را بر اثر استفاده از آب مغناطیسی گزارش کردند. با جمع‌بندی نتایج تحقیقات گذشته می‌توان به‌صورت قطعی در مورد اثر آب مغناطیسی در افزایش کارایی بتن اظهار نظر نمود. علاوه بر این، نتایج تحقیقات گذشته بر اثر آب مغناطیس در کاهش زمان گیرش اولیه و ثانویه سیمان تاکید دارند [۱۷].

۷- نتایج

در این مقاله مروری تحقیقات انجام شده در زمینه تاثیر آب مغناطیسی بر خواص مهندسی بتن‌های سبک مورد بررسی و تجزیه تحلیل قرار گرفت. از بررسی تعداد زیادی از تحقیقات مهم داخلی و خارجی انجام گرفته در این راستا، نتایج به شرح زیر قابل ارائه است:

۱. استفاده از آب مغناطیسی به جای آب معمولی در انواع طرح اختلاط‌های بتن‌های سبک باعث بهبود روانی بتن تازه می‌شود، به طوری که اسلامپ نمونه‌های ساخته شده با آب مغناطیسی بدون روان‌کننده به‌طور متوسط ٪۳۳ و با فوق روان‌کننده به‌طور میانگین ٪۳۸ رشد را نشان می‌دهد. استفاده از آب مغناطیسی زمان گیرش اولیه سیمان را تا ٪۵۰ و زمان گیرش ثانویه را تا ٪۱۹ کاهش می‌دهد.

۲. آب مغناطیسی مصرفی در ساخت بتن و عمل‌آوری نمونه‌ها، باعث رشد مقاومت فشاری در سنین مختلف می‌شود. افزایش مقاومت فشاری ناشی از کاربرد آب مغناطیسی در بتن در سن ۷ روزه تا ٪۲۰ و در سن ۲۸ روزه تا ٪۱۴ بوده است. استفاده از آب مغناطیسی در ساخت بتن موجب افزایش سرعت هیدراتاسیون سیمان می‌شود که این امر موجب می‌گردد تا نرخ رشد مقاومت بتن در سن ۷ روزه نسبت به سن ۲۸ روزه بیش‌تر باشد.

۳. استفاده از آب مغناطیسی در بتن‌های حاوی میکروسیلیس، باعث افزایش مقاومت فشاری در سنین ۷ و ۲۸ روزه به مقدار ٪۴۶ و ٪۳۹ شده است. این موضوع نشان می‌دهد که آب مغناطیسی نه‌تنها واکنش‌های هیدراتاسیون سیمان، بلکه واکنش‌های میکروسیلیس را نیز بهبود می‌بخشد. هم‌چنین نتایج نشان می‌دهند که مقاومت فشاری نمونه‌های بدون فوق روان‌کننده در سنین ۲۸ و ۹۰ روزه به ترتیب افزایشی برابر ٪۶ و ٪۴ و در نمونه‌های حاوی فوق روان‌کننده ٪۱۵ و ٪۱۳ را به طور متوسط داشته است. به‌طورکلی می‌توان گفت آب مغناطیسی با فوق روان‌کننده‌های بر پایه کربوکسیلات هماهنگ بوده و تأثیرات آن‌ها را افزایش می‌دهد.

۴. با افزایش عیار سیمان، میزان تاثیر آب مغناطیسی در افزایش مقاومت فشاری بتن نسبت به بتن معمولی بیش‌تر می‌شود. به‌عبارت دیگر، در عیارهای بالای سیمان، همه ذرات سیمان قادر به عمل هیدراتاسیون نیستند، ولی آب مغناطیسی این فرصت را برای درصد بیش‌تری از ذرات سیمان فراهم کرده و به همین دلیل نرخ افزایش مقاومت فشاری با افزایش عیار سیمان در بتن با آب مغناطیسی بیش‌تر است.

[16] Wang et al.
[17] Abdel- Magida et al.

www.SID.ir

Archive of SID

۵. استفاده از آب مغناطیسی به جای آب معمولی در انواع طرح اختلاط‌های بتن‌های سبک، باعث بهبود مقاومت کششی بتن می‌شود، جایگزینی آب معمولی با آب مغناطیسی می‌تواند موجب افزایش مقاومت کششی تا ٪۱۶ گردد.

۶. تاثیر آب مغناطیسی در افزایش مقاومت بتن تابع شرایط تولید آب مغناطیسی است. حداکثر مقاومت بتن سخت‌شده در نمونه‌های حاوی آب مغناطیس با چرخش حدود ۱۵ تا ۲۰ دقیقه‌ای در میدان مغناطیسی به شدت ۱ تسلا به‌دست آمده است. بیش‌ترین کارایی خمیر سیمان ساخته شده با آب مغناطیسی نیز با چرخش ۶۵ دقیقه‌ای آب در میدان مغناطیسی با شدت ۱ تسلا، حاصل گردید.

مراجع

[1] Okamura, H., "Self-Compacting high performance Concrete ", Concrete International, pp.54-50, 199.

[2] Magnetic water, raising your ph, Another in the Life Sources; Client Education Series,Life Sources, Inc.5006 Sunrise Blvd.,Ste.101, Fair Oaks, California 95628.

[3] Powell M.R., (1998), Magnetic Water and Fuel Treatment: Myth, Magic, or Mainstream Science, Skeptical Inquirer Volume 22.1.

[4] A.M. Neville, Properties of concrete, Prentice Hall, 2000.

[5] A. Szczes, E. Chibowski, P. Holysz, P.Rafalski, Effect of static magnetic field on water at kinetic condition, Chemical Engineering processing, 50, 124-127, 2011.

[6] Deputy of housing and building, Ministry of Roads and City Planning, National Building Regulations of Iran, Ninth issue, Design and implementation of reinforced concrete buildings, Publishing Iran Development, 2013.

[7] ACI. Committee, Building code requirements for structural concrete (ACI 318R-14) and commentary-(318R-14), Detroit, 2014.

[8] J.J. Shideler, Lightweight-aggregate concrete for structural use, Journal Proceedings, pp. 299-328, 1957.

[9] K.G. Babu, D.S. Babu, Performance of fly ash concretes containing lightweight EPS aggregates, Cement and concrete composites, 26, pp. 605-611, 2004.

[10] H. Afshin, M. Gholizadeh, N. Khorshidi, Improving mechanical properties of high strength concrete by magnetic water technology, Scientia Iranica. Transaction A, Civil Engineering, 17, pp. 74-79, 2010.

[11] W. Sun, Y. Luo, H. Hou, Q. Liu, Effects of Magnetic Treatment on Properties of Cement Slurry, Society of Petroleum Engineers, 145, pp. 1-18, 1992.

[12] W. Fu, Z. Wang, The new technology of concrete engineering, Beijing: The Publishing House of Chinese Architectural Industry, 72, pp. 56-59, 1994.

[13] N. Su, Y.H. Wu, C.Y. Mar, Effect of magnetic water on the engineering properties of concrete containing granulated blast-furnace slag, Cement and Concrete Research, 30, pp. 599-605, 2000.

[14] E.J. Toledo, T.C. Ramalho, Z.M. Magriotis, Influence of magnetic field on physical–chemical properties of the liquid water: insights from experimental and theoretical models, Journal of Molecular Structure, 888, pp. 409-415, 2008.

[15] L.J .Wang, S.Y. Zhoa, Laboratory studies on the properties of cement-based materials with magnetic water, Indian concrete journal, 82, pp. 17-27, 2008.

[16] C.A. McMahon, Investigation of the quality of water treated by magnetic fields, bachelor thesis, University of Southern Queensland, Faculty of Engineering and Surveying, 2009.

[17] M. Rahgozar, M. Zamani, Performance and properties of concrete with magnetic water, Concrete Research Journal, 1, pp. 85-99, 2015.

[18] M. Mazloom, H. Hatami, The Behavior of Self-Compacting Lightweight Concrete Produced by Magnetic Water, World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering, 9, pp. 1675-1679, 2016.

www.SID.ir

Archive of SID

[19] Z.E.A. Raouf, R.H. Al-Suhaili, Z.H. Mahdi, Effect of Adding Nano-Materials and Carbon Fiber on Impact Strength of Cementitious Composite (CC), Al-Nahrain Journal for Engineering Sciences, 20, pp. 462-476, 2017.

[20] P. Ubale, A.P.R.D. Pandit, A.P. Wadekar, Performance evaluation of magnetic field treated water on convectional concrete containing fly ash, International Journal of Science, Technology and Management, 5, pp. 66-78, 2016.

[21] H. Lotfi, M.R. Sphrabi, Investigation the effect of magnetic water on the mechanical properties of light concrete, First Regional Civil Engineering Conference, Islamic Azad University of Ghaemshahr, Iran, 2010.

[22] A. Ghods, Investigation the effect of magnetic water on the mechanical properties of light concrete, National Civil Engineering Congress, University of Sistan Baluchestan, Zahedan, Iran, 2013.

[23] A. Ahmadi, Master's Thesis, " Investigating the effect of magnetic water on the durability of light concrete containing silica fume and metakaolin under aggressive environmental conditions", University of Sistan Baluchestan, Zahedan, Iran, 2007.

[24] M. Mazloom, S.M. Miri, The effect of magnetic water on the strength and rheology of high performance concrete, Journal of Structural Engineering and Construction, 3 (2), pp. 30-41, 2016.

[25] V. Rahi, A.A. Mozafari, M.A. Taghavi, Effect of the use of magnetic water technology on the properties of light concrete, First National Concrete Conference, University of Tehran, 2011.

[26] udy of the inuence Liu, N. and Chen, B. \Experimental st of EPS particle size on the mechanical properties of EPS lightweight concrete", Construction and Building Materials, 68, pp. 227-232 (2014).

[27] Miled K., Sab K., Roy R. Le, "Particle size effect on EPS lightweight concrete compressive strength: Experimental investigation and modeling", Mechanics of Materials 39 222–240. 2007.

[28] Babu, K. G.; Babu, D. S.; Behaviour of lightweight expanded polystyrene concrete containing silica fume, Cement and Concrete Research, 2003, Vol. 33, 755–62.

[29] Hassan Karam and Osama Al-Shamali, Effect of Using Magnetized Water on Concrete Properties, Third International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, available at: http://www.claisse.info/proveedings.htm.

[30] Joshi, K.M., Kamat, P.V., (1996), "Effect of magnetic field on the physical properties of water", J. Ind. Chem. Soc, 620-622.

[31] Afshin, H., Gholizadeh, M., Khorshidi, N., (2010), "Improving Mechanical Properties of High Strength Concrete by Magnetic Water Technology", Scientia Iranica, (ISI), 17(1), 74-79.

[32] Su N., Wu C.F., (2003), Effect of magnetic field treated water on mortar and concrete containing fly ash, Cement & Concrete Composites 25 (2003) 681–688

[33]Su N., Wu Y.H., Mar C.Y., (2000), Effect of magnetic water on the engineering properties of concrete containing granulated blast-furnace slag, Cement and Concrete Research 30, pp. 599–605.

[34] Joshi, K.M., Kamat, P.V., (1996), "Effect of magnetic field on the physical properties of water", J. Ind. Chem. Soc, 620-622.

[35]Yixin Wang, Xuan Wang, and Zengke Yang, Study on Impermeability Mechanism of Magnetic Water Concrete, Applied Mechanics and Materials. 99-100 (2011) 745-748.

[36] Lazarenko, L. N. and P. D. Zhuravlev 1985. Influence of magnetic water treatment conditions on the quality of concrete based thereon. Elektronnaya Obrabotka Materialov, (1): 87-89.

[37] Taghried Isam Mohammed Abdel-Magida, Rabab Mohammed Hamdanb, Abeer Abdelrahman Bukhari Abdelgaderc, Mohammed Emadeldin Attaelmnan Omerd , and Najla'a Mohammed Rizg-Allah Ahmede, " Effect of magnetized water on workability and compressive strength of concrete", Procedia Engineering 193 (2017) 494 – 500.

www.SID.ir