

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

Seyed Fathollah Sajedi^{1*}, Hamid Reza Holakuei²

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

بررسی تأثیر آب مغناطیسی بر خواص رئولوژی و مکانیکی بتن‌های سبک

سیدفتح اله ساجدی^{۱*}، حمیدرضا هلاکویی^۲

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 محسوس 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 بتن‌های 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 کلئیدی است. وقتی که آب با سیمان مخلوط می‌شود، محلول کلئیدی سیمان به وجود می‌آید. در صورت استفاده از آب مغناطیسی ذرات سیمان به وسیله یک لایه تک مولکولی آب با چگالی کم تر احاطه می‌شوند، این پدیده موجب کاهش مصرف آب و به دنبال آن بهبود خواص مکانیکی بتن خواهد شد. مغناطیس کردن آب باعث افزایش هیدراتاسیون یون‌های منفی شده و به ساختار بلوری آب صدمه می‌زند. در این مقاله پژوهش‌های انجام شده در مورد تأثیر 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.

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	شناسه دیجیتال:	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
10.22065/JSCE.2019.173374.1792	https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2019.173374.1792	۱۴۰۰/۰۳/۳۰	۱۳۹۸/۰۴/۲۴	۱۳۹۸/۰۴/۲۴	۳۹۸/۰۴/۱۴	۱۳۹۷/۱۲/۰۹
سیدفتح اله ساجدی sajedi@iauhvaz.ac.ir					*نویسنده مسئول: پست الکترونیکی:	

۱- مقدمه

امروزه بتن یکی از پر مصرف ترین مصالح ساختمانی در ساخت پروژه های عمرانی می باشد 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 می باشد [۱]. در سه دهه اخیر محققینی در کشورهای مختلف تکنولوژی نوینی را ارائه نموده اند. در این تکنولوژی با القا میدان مغناطیسی به آب مصرفی در بتن، ساختار فیزیکی آن تغییر می یابد. این تکنولوژی در کشورهای بلوک شرق خصوصاً 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 ذره ای که دارای بار مثبت یا منفی می باشد از درون میدان مغناطیسی عبور داده شود، طبق قانون دست راست امپیر بر این ذره یک نیروی عمود بر مسیر وارد می شود که این نیرو موجب تغییرات در سطح ذره باردار یا یون ها می شود. میدان مغناطیسی بر روی ذرات کلئیدی و مولکول های کربنات کلسیم، نمک ها و سایر املاح موجود در آب که مانند ذرات باردار عمل می کنند، تأثیر می گذارد و خواص فیزیکی و الکتریکی آن ها را تغییر می دهد. این تغییر آرایش الکترونی در یون ها موجب یک نوع بی میلی در ترکیب و نهایتاً عدم تشکیل رسوب می گردد. یکی از مشخصات اساسی آب مغناطیسی که اهمیت زیادی در تولید بتن دارد، وابستگی آب به ذرات و محلول های کلئیدی است. از ترکیب آب با سیمان، محلول کلئیدی سیمان به وجود می آید، چنانچه آب مورد استفاده مغناطیسی باشد، ذرات سیمان به وسیله یک لایه تک مولکولی آب با چگالی کمتر احاطه می شوند. این پدیده باعث می شود بتوان آب مصرفی را در بتن کاهش داد، این کاهش میزان آب در بتن مزایای بسیاری خواهد داشت. مغناطیس کردن آب، هیدراسیون یون های منفی را افزایش می دهد، به این معنی که به ساختار بلوری آب صدمه می زند [۴]. آب مغناطیسی باعث کاهش ضخامت لایه آب در اطراف ذرات سیمان می شود. 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 دسته های ۱۳ تایی به دسته های ۵ یا ۶ تایی می شود. در آب مغناطیسی در مقایسه با آب معمولی پارامترهای درجه قلیایی^۱، کشش سطحی^۲ و جذب نور تغییر می کنند. نتایج تحقیقات بر روی آب مغناطیسی نشان داده که درجه گرانیروی^۳ آب مغناطیسی نسبت به آب معمولی کم تر است [۵].

۲- طبقه بندی بتن سبک

بتن سبک بتنی است که وزن مخصوص آن به طور محسوسی کم تر از وزن مخصوص بتنی معمولی باشد. این بتن در سه نوع طبقه بندی می شود که عبارتند از:

(الف) بتن سبک غیر سازه ای: این نوع بتن معمولاً به عنوان تیغه های جداساز و عایق های صوتی در کف ها مورد استفاده قرار می گیرد و دارای وزن مخصوص کم تر از 800 kg/m^3 می باشد. با وجود وزن مخصوص کم، مقاومت فشاری این بتن حدود $3/5$ تا 7 مگا پاسکال است.

(ب) بتن سبک سازه ای: این بتن دارای مقاومت و وزن مخصوص کافی می باشد، به گونه ای که کاربرد آن در اعضای سازه ای مجاز می باشد. این بتن دارای وزن مخصوصی بین 1900 تا 1400 kg/m^3 بوده و حداقل مقاومت فشاری مورد نیاز برای این نوع بتن 17 MPa است.

¹ Alkaline degree parameters

² Surface tension

³ Viscosity

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 1400 kg/m^3 تا 800 kg/m^3 می‌باشد [۶]. در آیین‌نامه‌ی ACI-14 318R بتن سبک سازه‌ای بتنی معرفی شده است که چگالی آن کمتر از 1840 kg/m^3 کیلوگرم بر مترمکعب و مقاومت فشاری ۲۸ روزه‌ی آن بیش‌تر از ۱۷ MPa باشد. حداقل مقاومت فشاری لازم برای اعضای سازه‌ای بر اساس آیین‌نامه‌ی ACI 318R-14، ۲۰ MPa می‌باشد [۷]. شیدلر^۴ در سال ۱۹۵۷ نیل به مقاومت‌های اقتصادی بتن سبکدانه سازه‌ای را در محدوده 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، سبکدانه 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^۵، 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 میدان‌های 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 مورد نظر 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 کوپل 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 به تدریج 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^۶ (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^۷ (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^۸ (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

^۴ Shideler

^۵ Babu

^۶ Weilin et al.

^۷ Fu and Wang

^۸ Su et al.

مغناطیسی ۱۰ تا ۲۳ درصد افزایش می‌یابد. هم‌چنین دریافتند که کارایی خمیر سیمان تهیه شده با آب مغناطیسی 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].

تولد و همکاران^۹ (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 دسته‌های کوچک‌تر 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^{۱۰} (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^{۱۱} (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^{۱۲} (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^{۱۳} 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

لفطی 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.

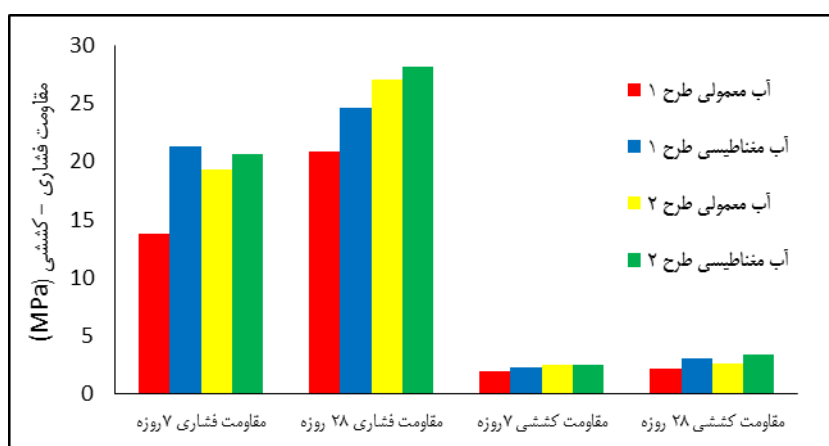
¹¹ McMahan

¹² Raouf et al.

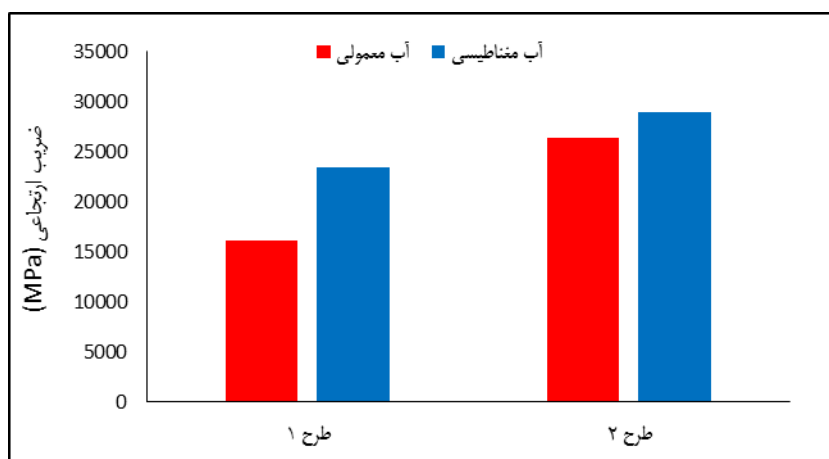
¹³ Ubale et al.

جدول ۱: 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



شکل ۱: نتایج مقاومت فشاری و کششی طرح‌های اختلاط بتن ساخته شده با آب معمولی و آب مغناطیسی [۲۱]

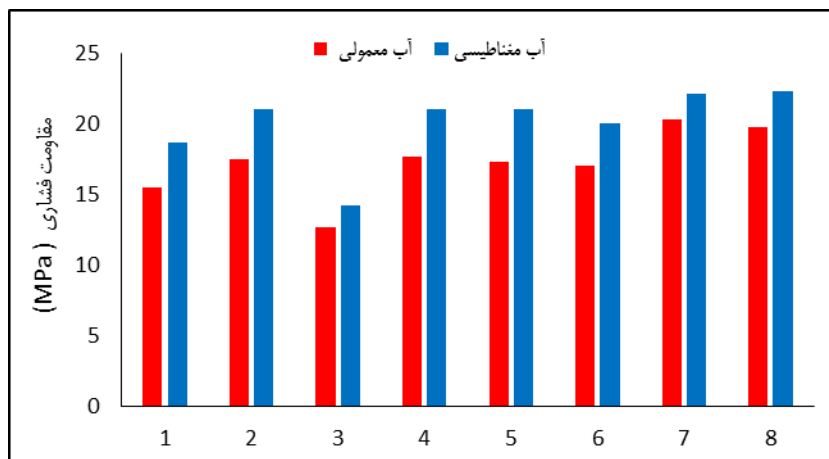


شکل ۲: نتایج ضریب ارتجاعی در طرح‌های اختلاط بتن ساخته شده با آب معمولی و آب مغناطیسی [۲۱]

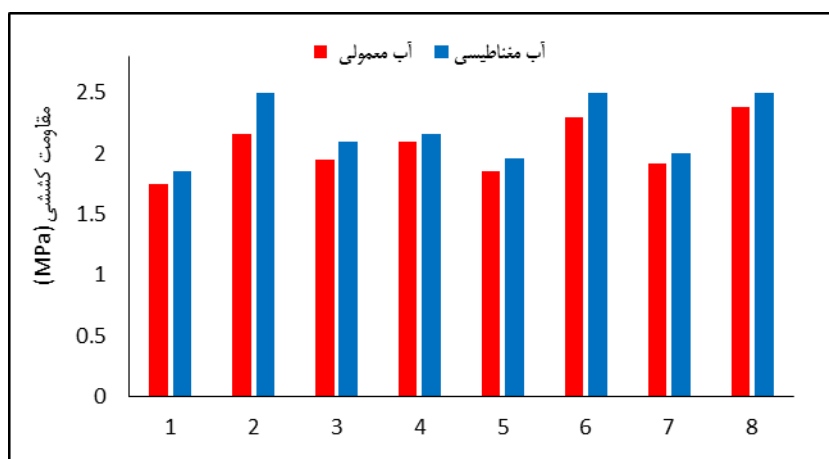
جدول ۲: جزئیات طرح‌های اختلاط بتن حاوی میکروسیلیس در نسبت‌های آب به مواد سیمانی ۰/۳ تا ۰/۴۵ [۲۲]

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

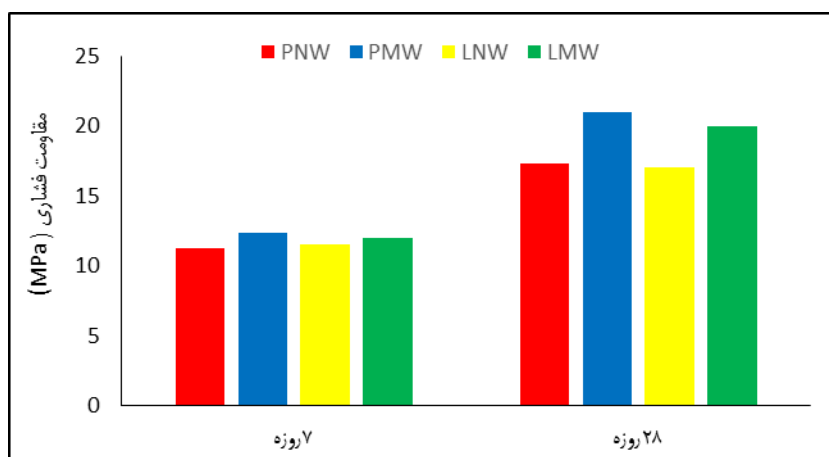
قدس (۱۳۹۲) به بررسی تأثیر آب مغناطیسی بر مقاومت‌های فشاری و کششی بتن سبک حاوی میکروسیلیس و سبکدانه‌های لیکا و پومیس با نسبت‌های مختلف آب به سیمان پرداخت. نتایج این تحقیقات در جدول (۲) و نمودارهای اشکال (۳-۵) نشان داده شده است [۲۲].



شکل ۳: مقایسه نتایج مقاومت فشاری طرح‌های اختلاط بتن ساخته شده با آب مغناطیسی و آب معمولی [۲۲]



شکل ۴: مقایسه نتایج مقاومت کششی طرح‌های اختلاط بتن ساخته شده با آب مغناطیسی و آب معمولی [۲۲]



شکل ۵: مقایسه نتایج طرح‌های اختلاط بتن ساخته شده با آب مغناطیسی و آب معمولی بتن سبک با پومیس و لیکا [۲۲]

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.

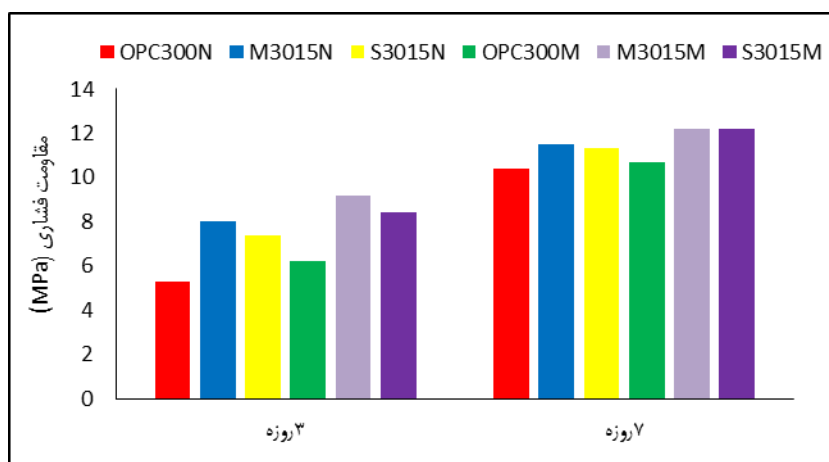
LNW بتن با سبکدانه لیکا و آب معمولی.

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]

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



شکل ۶: 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.

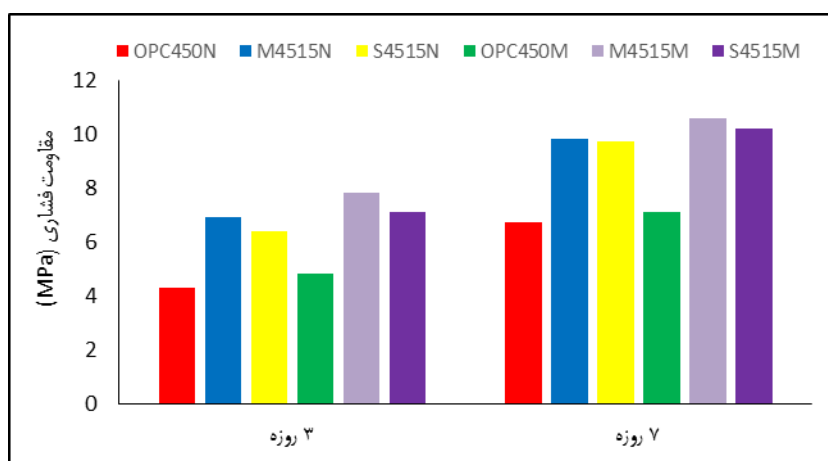
M3015M طرح اختلاط حاوی متاکائولین ۰/۱۵ و نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳ با آب مغناطیسی.

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.

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.

M4515M 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.

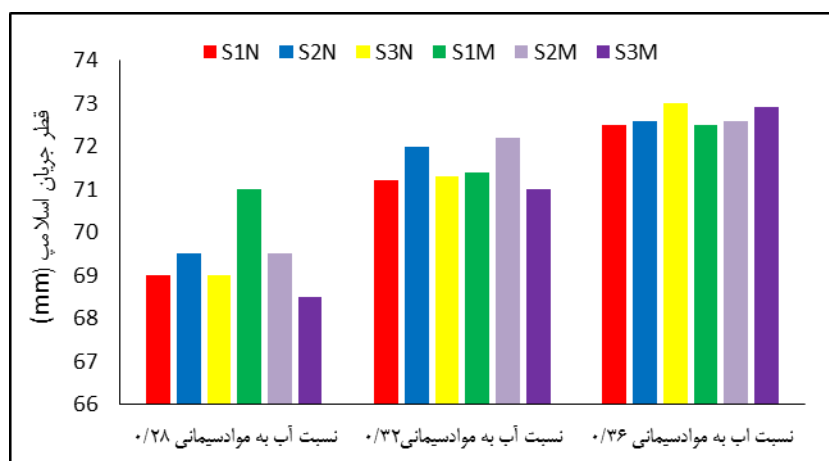
S4515M طرح اختلاط حاوی متاکائولین ۰/۱۵ و نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۵ با آب مغناطیسی.

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].

جدول ۵: طرح‌های اختلاط بتن سبک ساخته شده با آب مغناطیسی و آب معمولی [۲۴]

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



شکل ۸: 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:

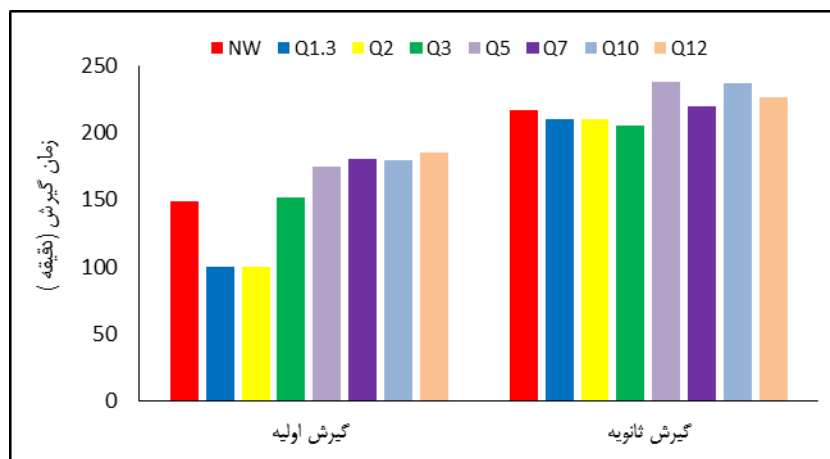
S1N-S2N-S3N نمونه‌های با آب معمولی و S1M-S2M-S3M نمونه‌های با آب مغناطیسی می‌باشند.

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].

جدول ۶: 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
Al(kg/m ³)	۵۰۰	۲۰۰	۹	۶۶۰/۴	۳۵/۷	۱۵۴/۷	۹۵/۲	۴۷/۶	۲۳/۸
Al(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.

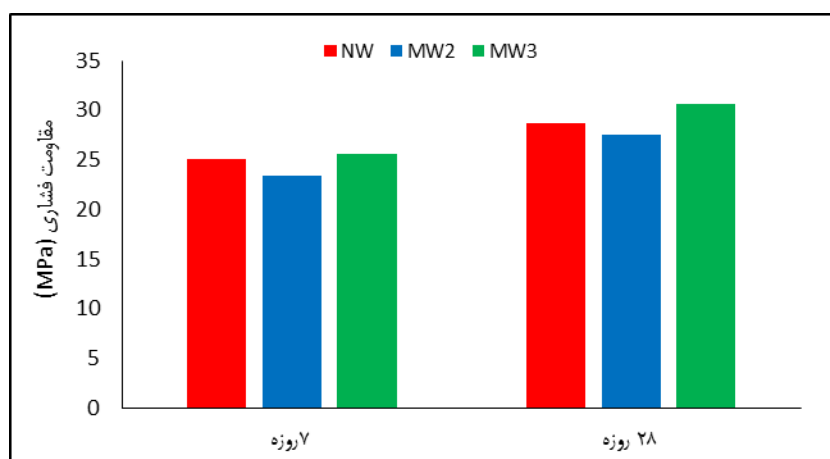


شکل ۹: زمان‌های گیرش اولیه و ثانویه خمیر سیمان ساخته شده با آب مغناطیسی و آب معمولی [۲۵]

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.

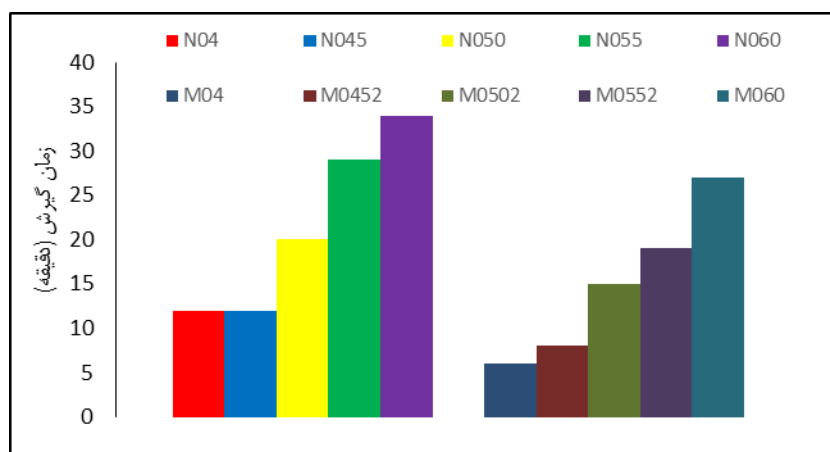


شکل ۱۰: نتایج مقاومت فشاری بتن سبک حاوی سنگدانه لیکا و ساخته شده با آب مغناطیسی در دبی ۲ و ۳ لیتر در دقیقه و آب معمولی [۲۵]

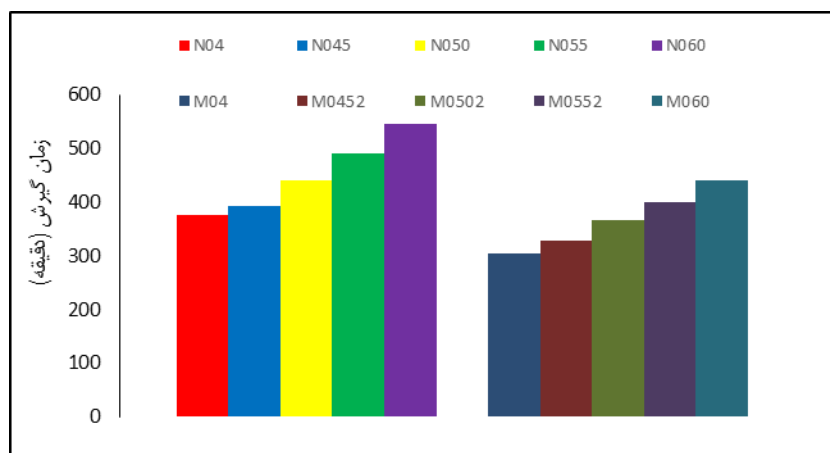
پارامترها در نمودار شکل (۱۰) بصورت زیر تعریف می‌شوند:

NW آب معمولی، MW2 آب مغناطیسی عبور داده شده با دبی ۲ لیتر در دقیقه از میدان مغناطیسی و MW3 آب مغناطیسی عبور داده شده با دبی ۳ لیتر در دقیقه از میدان مغناطیسی می باشد.

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



شکل ۱۱: تغییرات گیرش اولیه خمیر سیمان با نسبت های مختلف آب به سیمان ساخته شده با آب مغناطیسی و آب معمولی [۱۷]



شکل ۱۲: تغییرات گیرش ثانویه خمیر سیمان با نسبت های مختلف آب به سیمان ساخته شده با آب مغناطیسی و آب معمولی [۱۷]

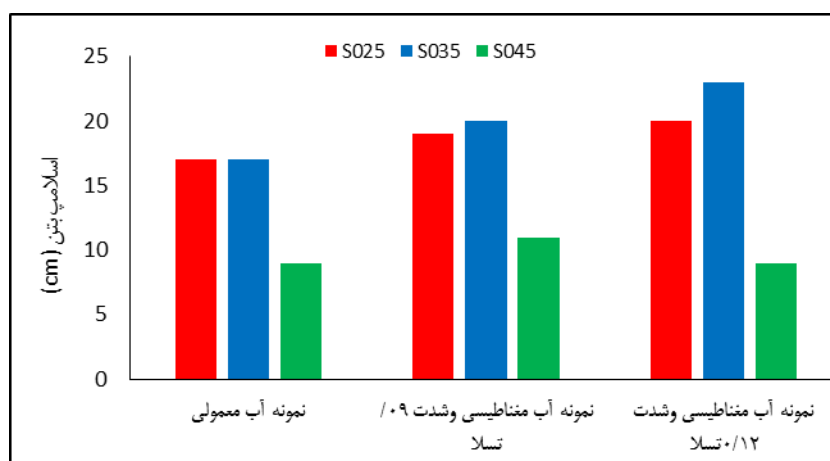
N04 خمیر سیمان با آب معمولی و نسبت آب به سیمان ۰/۴ و M060 خمیر سیمان با آب مغناطیسی و نسبت آب به سیمان ۰/۶ می باشد.

مظلوم و میری (۱۳۹۵) تأثیر آب مغناطیسی را با عبور آب از سیم لوله مسی حامل جریان مستقیم بر روی بتن های حاوی میکروسیلیس و فوق روان کننده بررسی کردند. شدت میدان مغناطیسی مورد استفاده در تحقیق آن ها ۰/۰۹ و ۰/۱۲ تسلا بود. نتایج کار آن ها برای طرح های 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].

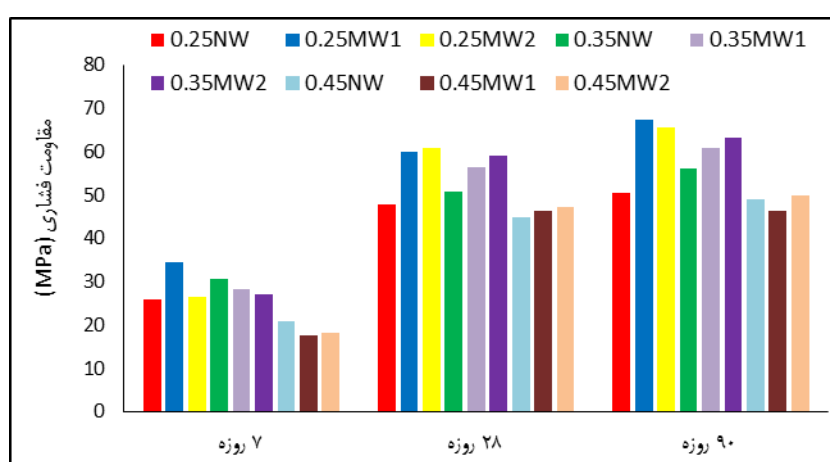
رهگذر و زمانی (۱۳۹۴) در یک مطالعه آزمایشگاهی طرح های اختلاط متفاوتی از بتن معمولی و بتن حاوی میکروسیلیس را با نسبت های مختلف آب به مواد سیمانی ساخته شده با آب مغناطیسی و آب معمولی بررسی کردند. در تحقیقات آن ها تأثیر شدت و مدت زمان چرخش آب در میدان مغناطیسی بر کارایی و مقاومت فشاری بتن مورد بررسی قرار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

جدول ۷: جزئیات طرح‌های اختلاط [۲۴]

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



شکل ۱۳: نتایج آزمایش روانی بتن با آب مغناطیسی و معمولی [۲۴]



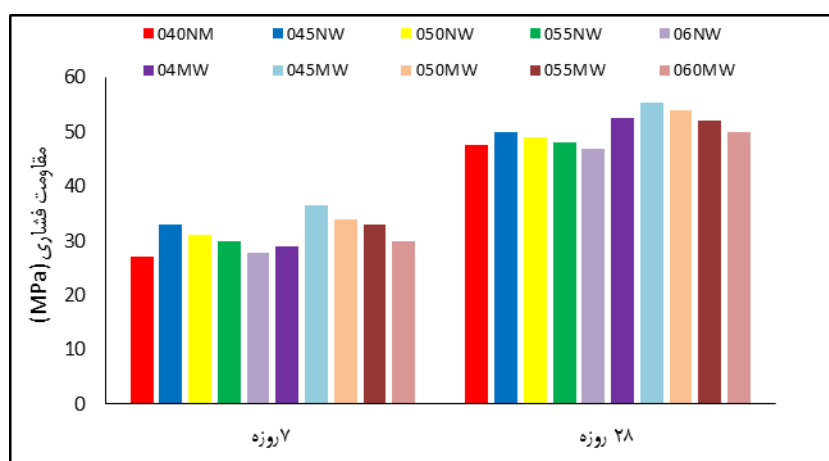
شکل ۱۴: نتایج آزمایش مقاومت فشاری بتن ساخته شده با آب مغناطیسی و آب معمولی با نسبت‌های آب به سیمان مختلف [۲۴]

جدول ۸: جزئیات طرح‌های اختلاط بتن ساخته شده با آب مغناطیسی و آب معمولی [۱۷]

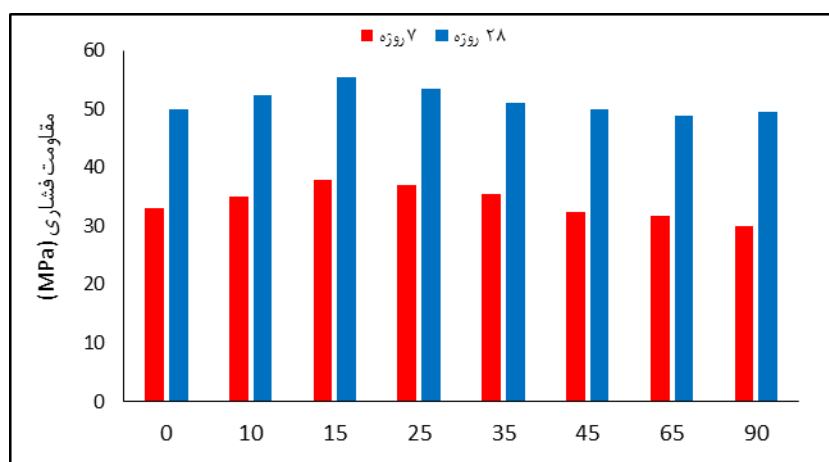
نوع آب	نسبت آب به مواد سیمانی	آب (Lit)	ماسه (kg/m^3)	شن (kg/m^3)	سیمان (kg/m^3)	طرح اختلاط
معمولی	۰/۴	۱۶۰	۷۲۰	۱۱۶۰	۴۰۰	A1
مغناطیسی	۰/۴	۱۶۰	۷۲۰	۱۱۶۰	۴۰۰	B1
معمولی	۰/۴۵	۱۸۰	۷۲۰	۱۱۰۰	۴۰۰	A2
مغناطیسی	۰/۴۵	۱۸۰	۷۲۰	۱۱۰۰	۴۰۰	B2
معمولی	۰/۵۵	۲۲۰	۷۰۰	۱۱۰۰	۴۰۰	A3
مغناطیسی	۰/۵۵	۲۲۰	۷۰۰	۱۱۰۰	۴۰۰	B3

جدول ۹: جزئیات طرح‌های اختلاط بتن حاوی میکروسیلیس و ساخته شده با آب مغناطیسی و آب معمولی [۱۷]

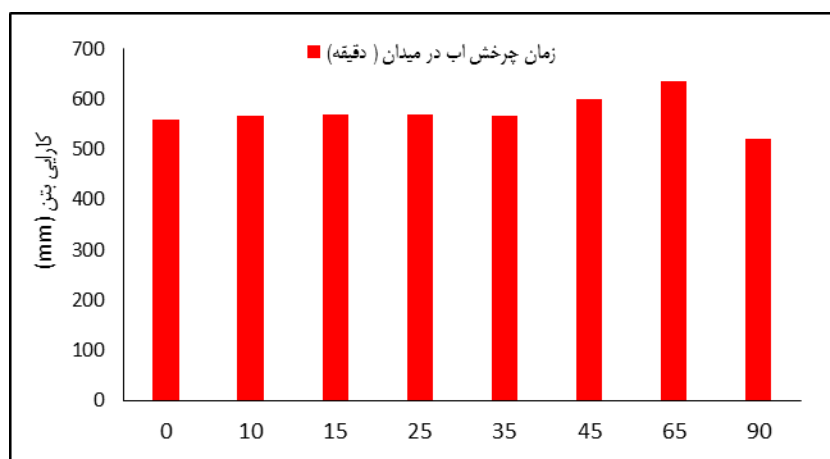
نوع آب	نسبت آب به مواد سیمانی	آب (Lit)	ماسه (kg/m^3)	شن (kg/m^3)	میکروسیلیس (kg/m^3)	سیمان (kg/m^3)	طرح اختلاط
معمولی	۰/۴۰	۱۸۰	۷۲۰	۱۲۶۰	۴۵	۴۰۰	A11
مغناطیسی	۰/۴۰	۱۸۰	۷۲۰	۱۲۶۰	۴۵	۴۰۰	B11
معمولی	۰/۴۵	۲۰۰	۷۰۰	۱۱۶۰	۴۵	۴۰۰	A22
مغناطیسی	۰/۴۵	۲۰۰	۷۰۰	۱۱۶۰	۴۵	۴۰۰	B22
معمولی	۰/۵۵	۲۴۵	۷۰۰	۱۱۰۰	۴۵	۴۰۰	A33
مغناطیسی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



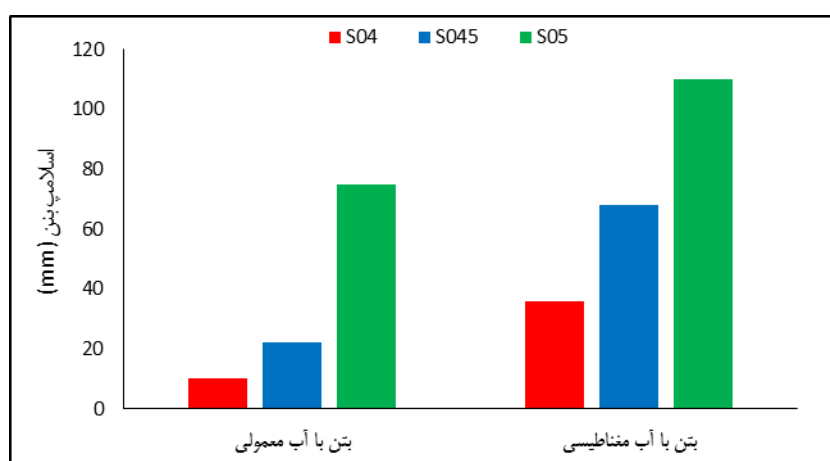
شکل ۱۵: تغییرات مقاومت فشاری بتن‌های ساخته شده با آب مغناطیسی و آب معمولی در نسبت‌های مختلف آب به مواد سیمانی [۱۷]



شکل ۱۶: تغییرات مقاومت فشاری نسبت به مدت زمان چرخش آب با دبی ثابت در میدان مغناطیسی [۱۷]



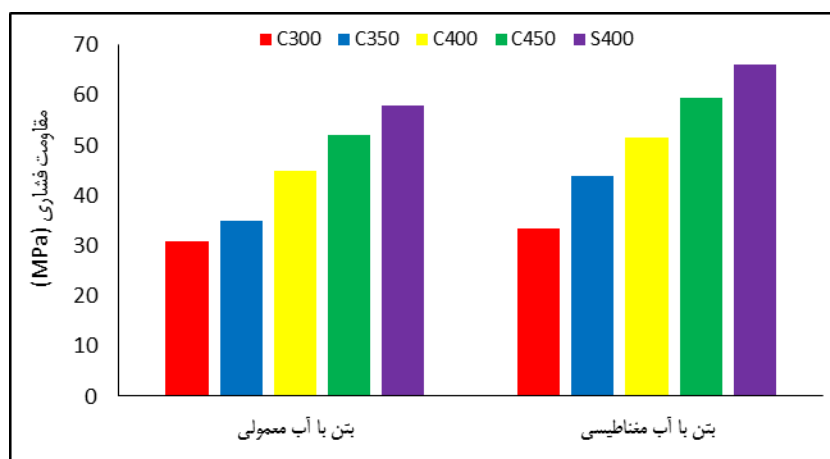
شکل ۱۷: تغییرات کارایی بتن تازه نسبت به مدت زمان گردش آب در میدان مغناطیسی [۱۷]



شکل ۱۸: تغییرات جریان اسلامپ بتن‌های تازه با نسبت‌های آب به سیمان ۰/۵، ۰/۴۵، ۰/۴ ساخته شده با آب مغناطیسی و آب معمولی [۱۷]

جدول ۱۰: 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



شکل ۱۹: 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^{۱۴} 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 عمدتاً 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 مغناطیسی 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 مغناطیسی 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 تان سو سو و همکاران^{۱۵} [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 مغناطیسی می‌تواند تا ۵۴٪ مقاومت فشاری بتن‌های سبک را افزایش دهد. نتایج این تحقیقات نشان داد که استفاده از آب مغناطیسی 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.

ونگ و همکاران^{۱۶} [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 مغناطیسی، 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 مغناطیسی به‌عنوان جایگزین آب معمولی پرداخته‌اند [۳۶]. عبدالمجید و همکاران^{۱۷} [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 مغناطیسی 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 مغناطیسی 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 نه تنها 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 به‌طور متوسط داشته است. به‌طور کلی 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.

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 به دست 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. Zhao, 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.

- [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] Study of the influence Liu, N. and Chen, B. "Experimental study 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/proceedings.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.