نشریه عمران و پروژه
Civil & Project Journal(CPJ)
www.cpjournals.com

Review Article: Effects of using magnetic water in concrete mixes

Mohamad Reza Bahadori۱*

۱- Master of Civil Engineering, Islamic Azad University, Shiraz Branch, Shiraz, Iran*
Email: mrbahadori۱۹۹۲@gmail.com

ABSTRACT

Today, concrete plays important role in civil engineering and construction industry. From the past until now, increasing compressive strength, durability and workability have been among the most important components considered by concrete technology researchers. Due to the fact that water is one of the most important components of concrete mixes and forms a volume of ۱۵ to ۲۵٪ of concrete, its quality plays a key role in concrete. One way to increase workability and strength in countries such as China and Russia is to use magnetic technology in concrete construction. In this way, using magnetic technology, magnetic water is produced and used in mixing concrete. In the present paper, an attempt is made to review the studies and experiments performed in connection with the use of magnetic water in concrete mixes.

ARTICLE INFO

Received: ۲۰۲۰/۱٤/۰۳
Accepted: ۲۰۲۰/۱۹/۰٤

Keywords:
Magnetic water
compressive strength
tensile strength
durability
slump

All rights reserved to Civil & Project Journal.

نشریه عمران و پروژه
Civil & Project Journal(CPJ)
www.cpjournals.com

مروری بر اثرات استفاده از آب مغناطیسی در مخلوط‌های بتنی

محمدرضا بهادری[1*]

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد عمران- سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، شیراز ، ایران
پست الکترونیکی: mrbahadori۱۹۹۲@gmail.com

تاریخ دریافت مقاله:۱۳۹۸/۱۲/۲۴، تاریخ پذیرش مقاله:۱۳۹۹/۰۱/۳۰

چکیده

امروزه بتن نقش بسیار مهمی را در مهندسی عمران و صنعت ساختمان ایفا می‌کند. از گذشته تاکنون افزایش مقاومت فشاری، دوام و روانی از مهمترین مولفه‌هایی است که مد نظر محققان تکنولوژی بتن قرار گرفته است. با توجه به اینکه آب جز یکی از مهمترین اجزای تشکیل دهنده مخلوط‌های بتنی است و حجم ۱۵ تا ۲۵ درصدی از بتن را تشکیل می‌دهد، کیفیت آن نقش کلیدی را در بتن ایفا می‌کند یکی از راه‌های افزایش کارایی و مقاومت که در کشورهای بلوک شرق مثل چین و روسیه متداول است، استفاده از تکنولوزی مغناطیسی در ساخت بتن است. بدین نحو که با استفاده از تکنولوژی مغناطیسی، آب مغناطیسی تولید شده و در اختلاط بتن مورد استفاده قرار می‌گیرد. در نوشتار حاضر سعی برآن است تا مروری بر مطالعات و آزمایش‌های انجام شده در رابطه با استفاده از آب مغناطیسی در مخلوط بتن صورت گیرد.

کلمات کلیدی: آب مغناطیسی، مقاومت فشاری، مقاومت کششی، دوام، روانی

۱ – مقدمه

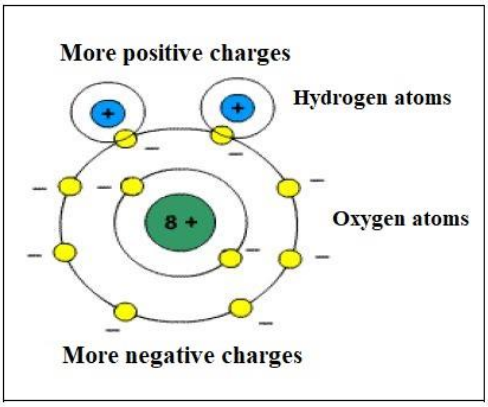
بتن و فولاد دو نوع از مصالحی هستند که بیش از سایر مصالح در سازها به کار برده می‌شوند. بتن در قرن بیستم بعد از آب به عنوان پرمصرف‌ترین ماده در جهان شناخته می‌شود. مقاومت بالای آن در مقابل آب، سهولت شکل دادن به آن برای ساخت اجزای مختلف سازه و سهولت دسترسی و ارزانی این مصالح در کار از جمله دلایلی است که موجب مصرف بالای آن نسبت به دیگر مصالح ساختمانی شده است. در مقایسه با اغلب مصالح ساختمانی، تولید بتن نیاز به انرژی اولیه کمتری دارد [۱]. تکنولوژی بتن یکی از علومی است که به دلیل وجود انواع افزودنی‌ها، در چند دهه اخیر دستخوش تغییر و تحول فراوانی شده است. باتوجه به پیشرفت علم در تکنولوژی بتن، شناخت انواع بتن و خواص آن‌ها برای مهندسین عمران ضروری است.

کیفیت آب مورد استفاده در بتن با توجه به حجمی که در بتن دارد، به طور مستقیم بر روی خواص مکانیکی آن تاثیر می‌گذارد. یکی از راه‌های افزایش کارایی و مقاومت که در کشورهای بلوک شرق مثل چین و روسیه متداول است، استفاده از تکنولوزی مغناطیسی در ساخت بتن است. بدین نحو که با استفاده از تکنولوژی مغناطیسی، آب مغناطیسی تولید شده و در اختلاط بتن مورد استفاده قرار می‌گیرد. آب مغناطیسی آبی است که از یک میدان مغناطیسی عبور داده شده است. این آب بسیار ارزان، دوستار محیط زیست، و با هزینه تجهیزات تولید کم می‌شود. درک اثرات مشاهده شده میدان مغناطیسی در طول و بعد از اعمال آن بر روی آب و محلول‌های آبی هنوز یک مسئله بحث برانگیز مقالات است، هرچند بیش از نیم قرن از گزارش این اثرات می‌گذرد. در ادامه مروری بر مهمترین تحقیقات انجام شده در زمینه استفاده از آب مغناطیسی در مخلوط‌های بتنی خواهیم داشت.

۲- اثر میدان مغناطیسی بر روی آب

پیشینه آب مغناطیسی به سال ۱۸۰۳ برمی‌گردد. اثر مغناطیسی مواد معدنی موجود در آب برای اولین بار بیش از ۲۰۰ سال پیش ثبت شده است. زمانی که یک تفاوت قابل توجه در بافت تجمعی مواد معدنی که در اطراف و پایین کتری های آب جوشی که برای شست و شو لباس ها استفاده می‌شد، مشاهده شد. (جهت حفظ تعادل در برابر وزش باد، تکه سنگ‌هایی بزرگ در کف کتری های چدنی که در بالای آتش قرار داشتند، گذاشته شد. بنا به گزارش‌ها مشاهده شد که در سه تا از این ظروف مواد معدنی رسوب شده فرمی سخت داشته ولی در دو کتری دیگر این رسوبات فرمی نرم و پودر مانند داشته و به راحتی با برس از سطوح پاک می‌شدند. بعدها متوجه شدند که دو عدد از آن پنج سنگ مغناطیسی طبیعی بوده است) [۲]. اثر میدان مغناطیسی روی آب در سال ۱۹۰۲ توسط یک فیزیک‌دان دانمارکی نام هنریک آنتون لورنتز مطرح شد که موفق به اخذ جایزه نوبل فیزیک نیز گردید. وی مطرح کرد که تحت تاثیر یک میدان مغناطیسی مولکول‌های قطبی آرایش یافته و جدا می‌شوند. در نتیجه آب سبک تر می‌شود [۳,۴]. تحقیقات او نشان داد که وقتی مولکول‌های آب تحت یک میدان مغناطیسی قرار می‌گیرند، خواص فیزیکی و شیمیایی آب تغییر می‌کند. در شرایط عادی، مولکول های آب به علت وجود پیوندهای هیدروژنی از یکدیگر جدا نمی‌شوند. بنابراین، آنها تمایل به تشکیل کلاستر دارند و هر کلاستر شامل حدود ۱۰۰ مولکول آب در دمای اتاق است [۵].

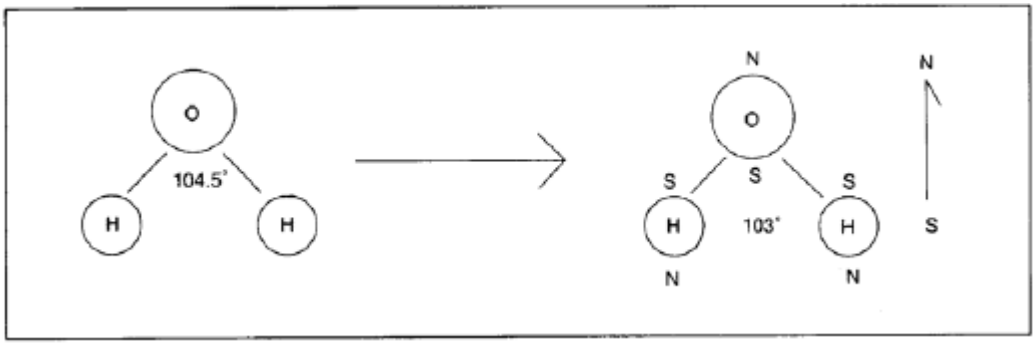
کوین [۶] ساختار مولکولی آب و قطبی بودنش را توضیح می‌دهد. یک مولکول آب شامل یک اتم اکسیژن و دو اتم هیدروژن و H_2O است. پیوند کووالانسی که اتم هیدروژن را به اتم اکسیژن نگه می‌دارد، حاصل یک جفت الکترون است که مشترک است. (شکل ۱)، یک مولکول آب را نشان می‌دهد.



شکل۱: مولکول آب [۶]

از آنجا که دو اتم هیدروژن در یک طرف به الکترون ها تقسیم می شوند، مولکول دارای بار مثبت در یک طرف و بار منفی در طرف دیگری است. برخی از این ها ممکن است باعث شوند که مولکول آب شبیه یک آهنربا کوچک‌تر عمل کند. از آن به عنوان لحظه دوقطبی مولکول اشاره شده است.. بر اساس کوین [۶]، مولکول‌های قطبی تحت تاثیر میدان مغناطیسی مختلف قرار می‌گیرند. هرچه میدان مغناطیسی قوی‌تر باشد، تعداد دوقطبی های اشاره شده در جهت میدان بیشتر می‌شود.

مولکول آب از دو اتم هیدروژن و یک اتم اکسیژن به صورت H-O-H تشکیل شده است. اتصال دو اتم هیدروژن به اتم اکسیژن به صورت V و با زاویه ای حدود ۱۰۵ درجه می‌باشد. مولکول آب دوقطبی است به طوری که بار سمت اکسیژن منفی و باری که سمت هیدروژن ها قرار دارد مثبت است. بنابر این چنانچه چند مولکول آب کنار هم قرار گیرند، جاذبه ای بین هیدروژن مثبت از یک مولکول با اکسیژن منفی از مولکول همجوار به وجود می‌آید که به آن پیوند هیدروژنی گفته می‌شود. به علت دوقطبی بودن مولکول آب، وقتی تحت میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد، در راستای میدان مغناطیسی قرار گرفته و فرم مولکول کشیده‌تر و زاویه دو اتم هیدروژن با اکسیژن کمتر از ۱۰۵ درجه می‌شود.



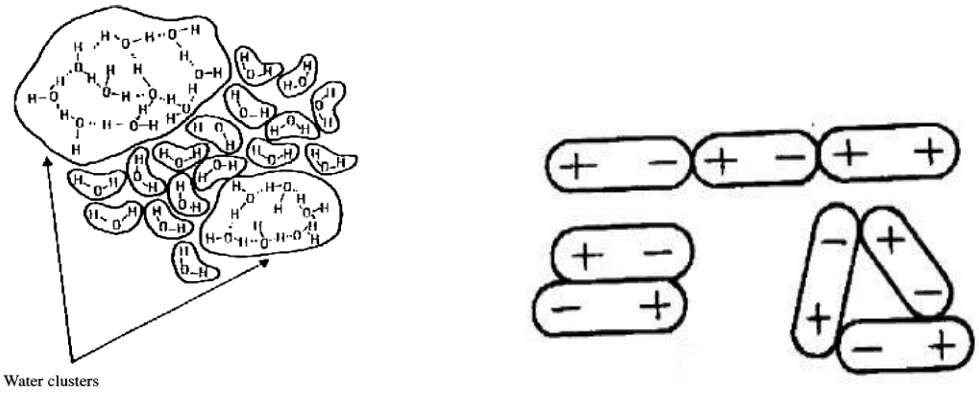
شکل۲: اتصال اتم های آب[۱۰۳۷]

این امر باعث تضعیف پیوند هیدروژنی بین مولکول‌های همجوار آب شده و در عمل مولکول‌های آب در دسته‌هایی قرار می‌گیرند.این تغییر ساختار باعث کاهش کشش سطحی، قابلیت نفوذ بیشتر و افزایش PH آب (قلیائی‌تر شدن) می‌شود. کاهش کشش سطحی آب باعث جداشدن و رسوب بیشتر املاح موجود در آب و سبک‌تر شدن آن می‌گردد.

اکنون شناخته شده که ساختار مولکول‌های آب به صورت تجمع های دسته‌ای (cluster) می‌باشد. گزارش شده که بسته به شدت میدان مغناطیسی، تجمع‌های دسته های مولکول آب را می‌توان با تعداد ۱، ۴، ۷، ۱۱ و ۱۳ مولکول آب در یک تجمع دسته‌ای تهیه نمود. تعداد مولکول را در یک تجمع پایدار عدد مغناطیسی می‌نامند. میزان مغناطیسی‌شدن آب هنوز یک موضوع جنجال برانگیز است زیرا نتایج

گزارش شده در تحقیقات کمتر قابل باز تولید (با همان مشخصات گزارش شده) بوده و از یکنواختی کمتری برخوردار هستند. زیرا در فرایند مغناطیسی‌شدن آب عوامل زیادی همچون ناخالصی‌های مختلف موجود در آب و میزان اکسیژن حل شده در آن بسیار متفاوت است.

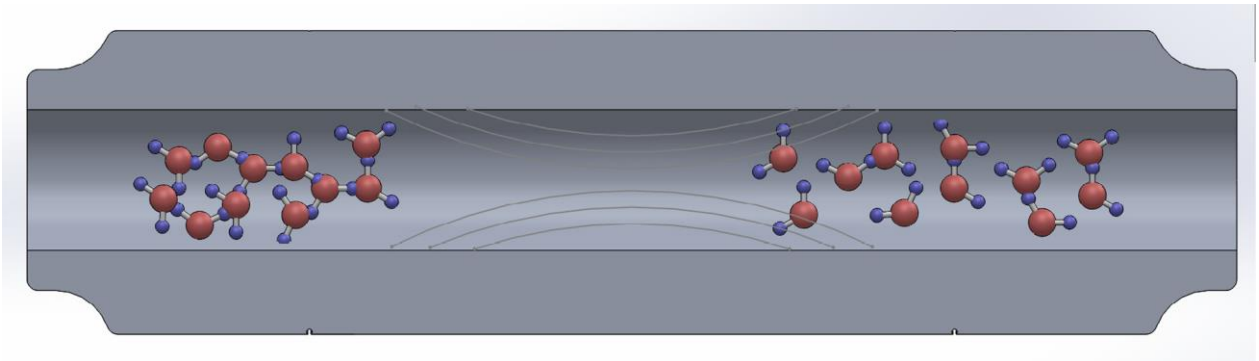
خواص غیرمعمول آب را می‌توان به پیوند هیدروژنی گسترده بین مولکول‌های آن نسبت داد. اظهار شده است که مولکول‌ها می‌توانند کلاسترها را شکل دهند. شکل (a). این تجمع‌ها و عدم تجمع‌های مولکول‌های آب در تعادل ترمودینامیکی است شکل (b) [۵]. در میدان مغناطیسی، نیروی مغناطیسی می تواند کلاسترهای آب را به مولکول های تکی یا کوچک‌تر جدا کند [۷]، همانطور که در شکل (c) نشان داده شده است. بنابراین فعالیت آب بهبود می‌یابد.



a b

C

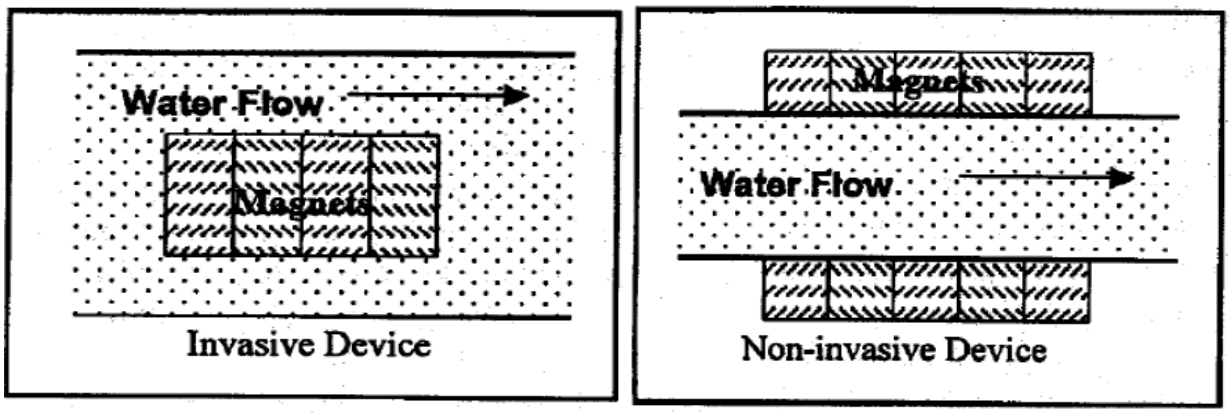
شکل۳: اثر میدان مغناطیسی بر مولکول‌های آب: (a) خوشه‌های آب پایدار ترمودینامیکی، (c) مولکول‌های آب پس از عبور از یک میدان مغناطیسی، (c) ساختار کلاستر مولکولی آب [۵]



شکل۴: تاثیر میدان مغناطیسی بر روی کلاسترهای مولکولی آب [۳]

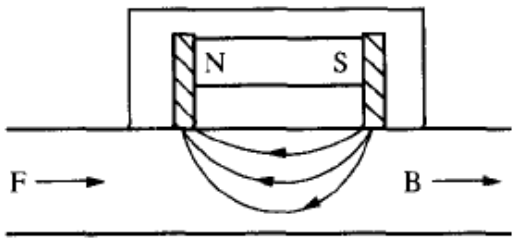
۳- اشکال دستگاه مغناطیس کننده آب

این دستگاه‌ها دارای دو نوع متفاوت از نظر نصب و سه نوع متفاوت از نظر عملکرد هستند [۸]، همان‌طور که در شکل (۵) دیده می‌شود، دستگاه‌های مغناطیس کننده آب ممکن است به صورت توکار یا روکار (داخل جریان یا خارج جریان) نصب شوند. دستگاه‌های توکار آن‌هایی هستند که تمام یا قسمتی از قطعاتشان در مسیر جریان قرار دارند. بنابراین برای نصب این دستگاه‌ها باید قسمتی از لوله از مسیر خارج شود. دستگاه‌های روکار کاملا خارج از مسیر آب قرار دارند، بنابراین می‌توانند روی لوله نصب شوند.

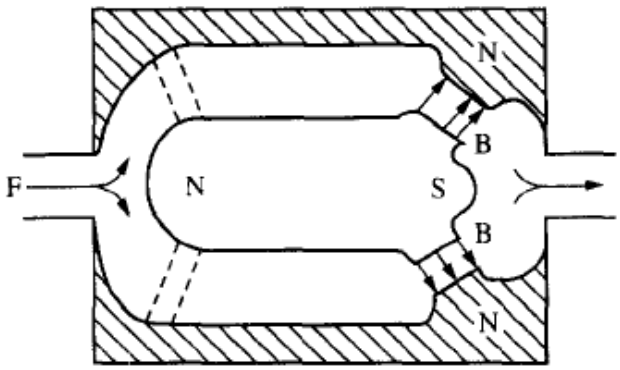


شکل۵: چپ: دستگاه توکار، راست: دستگاه روکار [۹]

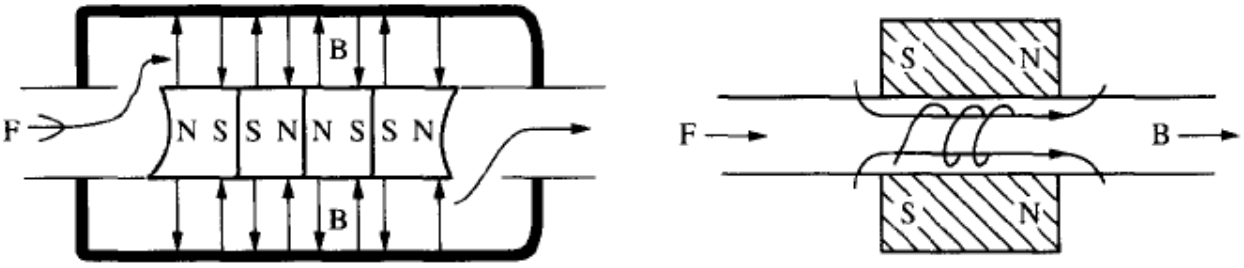
گروبر و کاردا (۱۹۸۱) استفاده از آهنرباهای دائمی را به چهار دسته تقسیم کردند شکل (۶)، هر کدام در جهت های مختلف میدان مغناطیسی به کار برده می شود. بعضی از آن ها میدانی را به کار می‌گیرند که عمود بر مسیر جریان است (کلاس II و III) در حالی که اکثر آن‌ها موازی با مسیر جریان موازی هستند (کلاس I و IV).



Class I



Class II



Class III class IV

شکل۶: طبقه بندی نوع آهنربا دائمی دستگاه مغناطیس کننده آب پیشنهاد شده توسط گروبر و کاردا [۱۰]

با توجه به لیپوس و همکاران [۱۱] سرعت باید در حدود ۰.۵ – ۲ متر بر ثانیه باشد.

۴- اثر میدان مغاطیسی بر روی خواص آب

جوشی و کامات [۱۲] گزارش کردند که تأثیر میدان مغناطیسی بر پیوند هیدروژنی بین مولکول های آب باعث می‌شود که برخی از خواص فیزیکی آب از جمله چگالی، کشش و هدایت الکتریکی تغییر کند. تغییرات PH آب مقطر تا ۰.۴ واحد توسط جوشی و کامات گزارش شده است. با این حال، هیچ تغییری در PH آب دوبار تقطیر تحت تاثیر میدان مغناطیسی بسیار قوی ۲۴۰۰۰ گاوس یافت نشد [۱۳]. یاماشیتا و همکاران [۱۴] شاهد نوسانات آهسته و بزرگ pH (۰.۰۵-۰.۱) در طی چند ساعت اول مغناطیسی‌شدن آب مقطر بودند. نتایج آن‌ها نشان داد که برای بررسی دقیق اثرات میدان مغناطیسی بر روی آب، شرایط آزمایش دقیق مانند شرایط میدان تولید شده توسط دستگاه های متداول آزمایشگاهی و روش های معمول نمی‌تواند نادیده گرفته شود. وی همچنین بیان می‌کند که ادامه دادن اندازه‌گیری‌ها تا چند ساعت بعد ممکن است برای مشاهده دقیق تأثیرات آب مغناطیسی ضروری باشد. نوسانات در تغییر PH از آزمایش به آزمایش نشان می‌دهد که فعل و انفعالات پیش بینی نشده به تغییر PH کمک می‌کند. ممکن است رفتار مغناطیسی آب در بعضی از شرایط فقط یک شاخص باشد که نمی‌توان به تنهایی به آن اعتماد کرد. تای و همکاران [۱۵] اشاره کردند که الینگینگ و کریستینسن نشان دادند PH آب نمونه آن‌ها از ۹.۲ به ۸.۵ پس از مغناطیسی شدن کاهش می‌یابد. بوش و همکاران [۱۶] کاهش اولیه ۰.۵ واحد در PH از ۷.۰ به ۶.۵ نشان داد و به دنبال آن افزایش تدریجی در طول آزمایش از ۷.۵ به ۸ رسید. پارسونز و همکاران [۱۷] نیز پس از عبور از آب از طریق دستگاه مغناطیس کننده آب PH ۰.۵ واحد کاهش می‌یابد.

چو و لی [۱۸] تأثیر مقدار مغناطیسی‌شدن توسط یک آهنربای دائمی روی کشش سطحی را بررسی کردند. دو آزمایش جداگانه انجام شد: یکی اندازه‌گیری کشش سطحی بود و دیگری مشاهده رفتار جریان پذیری رنگ در نمونه‌های آب بود. هر دو آزمایش نشان داد که با افزایش تعداد چرخش آب در میدان مغناطیسی، کشش سطحی نمونه کاهش می‌یابد. اُتسوکا و همکاران [۱۹] به این نتیجه رسیدند که پس از قرارگیری در میدان مغناطیسی، هیچ تغییری در خواص آب خالص (مقطر شده از آب فوق خالص در خلاء) مشاهده نشد. با این حال، هنگامی که همان رفتار مغناطیسی پس از مقطر کردن آب در معرض O_2 قرار گرفت، خواص مانند کشش سطحی تغییر یافت.

نشان داده شده است که میزان تبخیر آب، به صورت قابل ملاحظه‌ای تحت تاثیر میدان مغناطیسی استاتیکی واقع می‌شود. همچنین گزارش شده است که میزان انحلال در آب اکسیژن به طور قابل ملاحظه‌ای در حضور یک میدان مغناطیسی تسریع می‌گردد [۲۰] . اعمال یک میدان مغناطیس افزایشی به آب، زمانی که میدان مغناطیسی بیشتر از ۰.۵ تسلا است، دمای انجماد کاهش می‌یابد [۲۱]. اندازه کلاسترهای آب در هنگام قرار گرفتن در معرض یک میدان مغناطیسی تغییر می‌کند [۲۲,۲۳]. میزان خوردگی فولاد را تا ۱۴ درصد کاهش می‌دهد و در دمای بالای ۴۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد، مقدار رسوبات در سطح فولاد خورده شده را به ترتیب ۴۵ و ۳۹ درصد کاهش می یابد. رسانایی آب بدون در نظر گرفتن دما کاهش می‌یابد [۲۴].

مک ماون [۲۵] مروری گسترده بر کیفیت آب تحت میدان های مغناطیسی انجام داد. برخی اثرات مثبت که آب مغناطیسی می‌تواند ایجاد کند از این قبیل است:

تغییر در pH آب

کاهش کشش سطحی آب

افزایش مقاومت فشاری و کششی سیمان

کاهش رسوبات کربنات کلسیم در تاسیسات مکانیکی حرارتی/ برودتی

کاهش نیاز به مصرف آب و افزایش تولید محصولات کشاورزی

مزایای پزشکی/ بهداشتی آن همچون افزایش اکسیژن حل شده در آب

مک ماون نتیجه گرفت که اگرچه در بعضی موارد تأثیر آب مغناطیسی بر بهبود عملکرد واضح است و می‌توان به نتایج مشخص رسید، ولی در دیگر موارد میزان تاثیرآن (به علت خلط اثرآب مغناطیسی با دیگر عوامل) قابل برآورد کمی نبوده و مطالعات و آزمایشات بیشتری در مورد صحت و میزان تأثیر آن لازم است انجام شود. از جمله مواردی که در آن تاثیر مثبت آب مغناطیسی عملکرد و خواص بتن با آب مغناطیسی مشخص و واضح تشخیص داده شد و به عبارت دیگر می‌توان به نتایج متقن آزمایشات مربوط به تغییر در pH آب، کاهش کشش سطحی آب، تغییر عملکرد سیمان، کنترل رسوبگذاری کربنات کلسیم و دیگر املاح، میزان اکسیژن محلول در آب و یا رشد گیاهان اشاره کرد.

یوکای وانگ و همکاران [۲۶] تاثیر میدان مغناطیسی بر خواص فیزیکی آب را مورد بررسی قرار دادند. آب لوله کشی و ۴ نوع آب مغناطیسی در شرایط مشابه اندازه گیری شد. مشخص شد که خواص آب شهری پس از قرارگیری تحت میدان مغناطیسی تغییر می‌یابد و باعث افزایش مقدار تبخیر، کاهش حرارت خاص و نقطه جوش پس از مغناطیسی شدن می‌شود. علاوه بر این، قدرت میدان مغناطیسی تاثیر مشخصی روی اثر مغناطیسی دارد. حالت مغناطیسی بهینه تحت میدان مغناطیسی ۳۰۰ mT تعیین شد. یافته‌های این مطالعه یک رویکرد فشرده برای بهبود بهره وری خنک کننده و تولید برق در صنعت ارائه می دهد که می‌تواند راه جدیدی برای تغییر ویژگی آب فراهم کند و به صنایع مربوطه برای صرفه جویی در انرژی اعمال می‌شود.

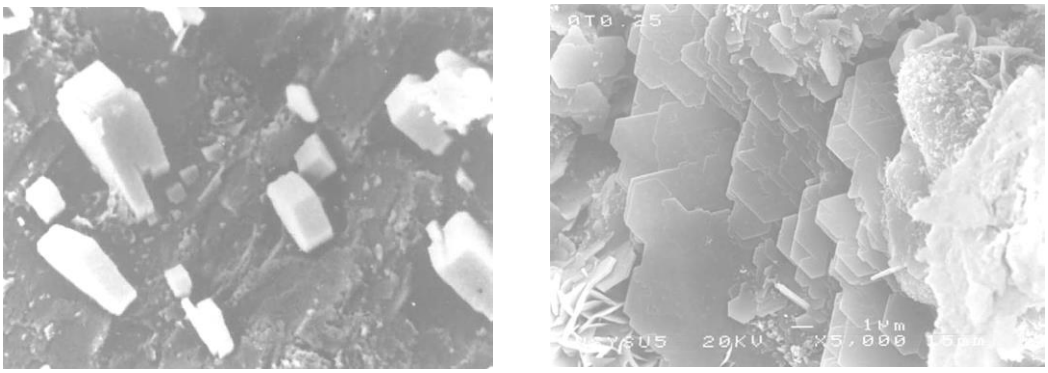
۵- بهبود مقاومت فشاری سیمان و بتن

اکثر تحقیقات دانشمندان علم تکنولوژی بتن روی تولید بتن با کارآیی بالا متمرکز شده است. به این منظور راه‌های مختلفی جهت افزایش کارایی و دوام و مقاومت بتن پیشنهاد شده است. اخیرا از مصالحی نظیر میکروسیلیس جهت افزایش مقاومت فشاری و دوام بتن استفاده می‌گردد که به دلیل کاربرد روزافزون این نوع بتن شناخت خصوصیات آن حائز اهمیت فراوان است. همچنین استفاده از بتن‌های معمولی با مقاومت بالا نیز معمول است. یکی از راه‌های افزایش کارایی و مقاومت که در کشورهای بلوک شرق مثل چین و روسیه متداول است، استفاده از تکنولوزی مغناطیسی در ساخت بتن است. بدین نحو که با استفاده از تکنولوژی مغناطیسی، آب مغناطیسی تولید شده و در اختلاط بتن مورد استفاده قرار می‌گیرد.

اثر آب مغناطیسی بر روی بتن می‌تواند برای بتن سازان جالب باشد. هدف از ارائه این تحقیق گشودن مسیری جهت ورود این تکنولوژی به کشور و استفاده از این تکنولوژی بسیار پیشرفته در پروژه‌های تحقیقاتی و اجرایی می‌باشد به این صورت که با برآورد کردن شرایط و هزینه‌ها و با در نظر گرفتن میزان این اثر، نسبت به استفاده از آن اقدام کنند.

در سال ۱۹۶۲ ولاچوسوفوسکی و آلنانیا شروع به تحقیق در رابطه با استفاده از آب مغناطیسی در بتن کردند [۲۷]. تحقیقات مشابهی نیز در ژاپن، اروپا و چین انجام شد که نشان داد آب مغناطیسی می‌تواند مقاومت بتن را تا ۱۰٪ افزایش دهد [۲۸,۲۹]. سو و وو

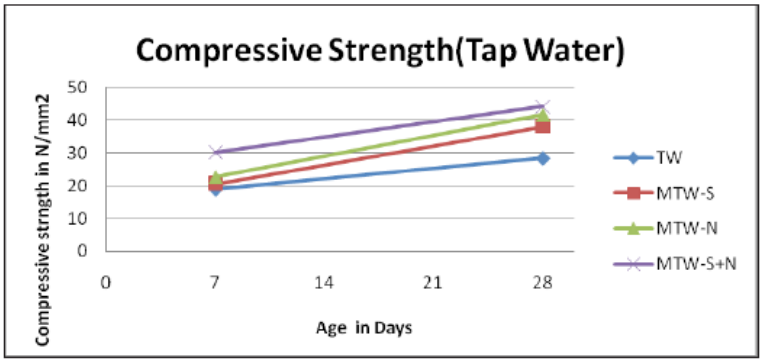
[۲۸] گزارش کردند که چگونه میدان مغناطیسی قادر به شکستن پیوندهای هیدروژنی درون دسته ای بوده و نفوذ آب به قسمت اصلی هسته سیمان را تسهیل نموده و عمل هیدراسیون مقاومت بتن را افزایش می‌دهد. در فرآیند هیدراتاسیون، حضور آب مغناطیسی سبب می‌شود، ذرات سیمان به وسیله یک لایه تک مولکولی آب با چگالی و کشش سطحی کمتر احاطه شوند که در نتیجه با افزایش سرعت واکنش و کاهش آب مصرفی، فرآیند هیدراتاسیون کامل‌تری رخ می دهد [۳۰,۳۱]. استفاده از آب مغناطیسی باعث می‌شود تا ضمن صرفه جویی در مصرف سیمان به میزان ۵ درصد، مقاومت بتن در برابر آب انداختگی افزایش یابد و همچنین تا حدودی از یخ زدن بتن جلوگیری شود [۳۲,۲۷]. فو و ونگ [۲۷] نتیجه گرفتند که آب مغناطیسی را می‌توان تا ۱۲ ساعت در مخزن ذخیره کرد ولی بیش از این مدت اثر مغناطیسی آب از بین می رود. تست SCM سو و همکاران [۵] نشان داد استفاده از آب مغناطیسی به جای آب معمولی در بتن، منجر به تشکیل کریستال‌های کوچک‌تر کلسیم هیدروکسید (CH) می‌شود و در نتیجه موجب افزایش مقاومت فشاری می‌شود.



ب الف

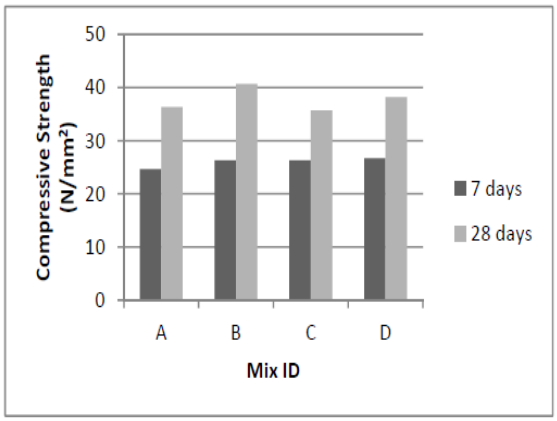
شکل۷: عکس میکروسکوپ الکترونی رویشی از بلورهای هیدروکسیدکلسیم در چسب سیمان الف: تهیه شده با آب لوبه کشی ب: تهیه شده با آب مغناطیسی [۵]

نتایج SCM سوتو- برنال و همکاران [۳۳] نشان می‌دهد که افزایش میدان مغناطیسی منجر به متراکم‌تر شدن و کاهش تخلخل ژل هیدرات کلسیم سیلیکات (C-S-H) می‌شود. همچنین افزایش میزان و گرمای هیدراتاسیون هنگام استفاده از آب مغناطیسی و ارتباط مستقیم بین قدرت میدان مغناطیسی و زمان گیرش خمیر سیمان را گزارش کردند. یک میدان مغناطیسی قوی‌تر باعث تسریع گیرش سیمان می‌شود. نان سو و همکاران [۲۸,۵] اثر آب مغناطیسی بر خصوصیات مهندسی بتن حاوی سرباره انفجار کوره گرانولی را بررسی کردند. متغیرها شامل قدرت مغناطیسی آب، جایگزینی سرباره انفجار کوره گرانولی به جای سیمان و نسبت آب به خمیر (W/B) بود. نتایج نشان داد استفاده از آب مغناطیسی می تواند مقاومت فشاری نمونه ها را بهبود بخشد. میزان افزایش به قدرت میدان مغناطیسی آب وابسته است. هنگامی که آب مغناطیسی ۰.۸، ۱.۲ یا ۱.۳۵ تسلا باشد، مقاومت فشاری ملات ها ۱۹ – ۹ درصد افزایش می‌یابد. با افزایش سن نمونه‌ها، روند افزایش مقاومت فشاری نمونه های تهیه شده با آب مغناطیسی، مشابه با آب شیرین است. مقاومت فشاری بتن با جایگزینی سرباره انفجار کوره گرانولی بالاتر از بتن بدون سرباره انفجار کوره گرانولی است. همچنین نسبت آب به خمیر بر مقاومت فشاری ملات تهیه شده با آب مغناطیسی تاثیر می گذارد. روند تغییر شبیه به ملات مخلوط با آب شیرین است. صرف نظر از مقدار سرباره انفجار کوره گرانولی، سیالیت ملات تازه تهیه شده با آب مغناطیسی بهتر از سیالیت ملات با آب شیرین آماده است. آب مغناطیسی می‌تواند مقاومت فشاری بتن را ۱۰ - ۲۳ درصد افزایش دهد. بزرگترین افزایش می‌تواند زمانی حاصل شود که آب مغناطیسی ۰.۸ یا ۱.۲ تسلا باشد. در مقاومت ۷ روزه اختلاف قابل توجهی در مقاومت فشاری بین بتنی که بطور تقریبی با ۵٪ سرباره انفجار کوره گرانولی جایگزین شده است و نمونه بدون سرباره انفجار کوره گرانولی، وجود ندارد. نمونه‌های بتنی ساخته شده با آب مغناطیسی، درجه هیدراتاسیون بالاتری نسبت به نمونه‌های ساخته شده با آب شیرین دارند. ردی و همکاران [۳۴] نشان دادند کارایی بتن آب مغناطیسی کمی بیشتر از آب معمولی است. چگالی بتن با آب مغناطیسی بالا است و جذب آب نسبت به آب معمولی کمتر است. بتن با آب مقطر مغناطیسی شده مقاومت فشاری بیشتر از مغناطیسی بتن آب معمولی را نشان داد.

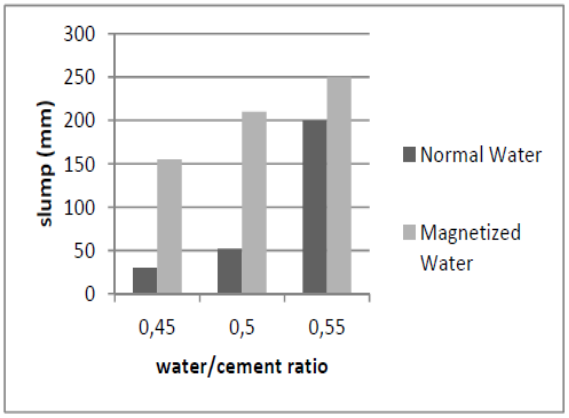


شکل۸: مقاومت فشاری بتن با و بدون آب مغناطیسی [۱۰۳۷]

عبدل- مجید و همدان نشان دادند [۳۵] وزن نمونه های مکعبی بتنی می تواند حدود ٪۳ با استفاده از آب مغناطیسی کاهش یابد و مواد سیمانی در هنگام ترکیب با آب مغناطیسی می تواند تا ٪۷۵ بدون تاثیر بر مقاومت فشاری کاهش یابد.



شکل۹: مقاومت فشاری بتن با مخلوط های مختلف [۱۰۳۸]



شکل۱۰: اسلامپ با نسبت مختلف w/c و نوع آب [۱۰۳۸]

اچ آی احمد [۳۶] تحقیقی تحت عنوان رفتار بتن مغناطیسی همراه با نانو آلومینا مصری انجام داد. تحقیق او نشان داد برای آب معمولی، استفاده از ٪۱ نانو آلومینا در مقایسه با ٪۰ مخلوط نانو آلومینا در وزن سیمان پرتلند معمولی، مقاومت فشاری را ۱۷ درصد افزایش می‌دهد و تخلخل مویینه را ۳۰ درصد کاهش می‌دهد. برای آب مغناطیسی، استفاده از ٪۱ نانو آلومینا در وزن سیمان پرتلند معمولی در مقایسه با ٪۰ مخلوط نانو آلومینا، باعث افزایش ۱۳ درصدی مقاومت فشاری و کاهش ۲۷ درصدی تخلخل مویینه می‌شود. تاکید کرد که استفاده از آب مغناطیسی به جای آب معمولی موجب بهبود قابل توجهی در ریز ساختار بتن شده است، جایی که ساختار آب مغناطیسی چگال‌تر از آب معمولی است.

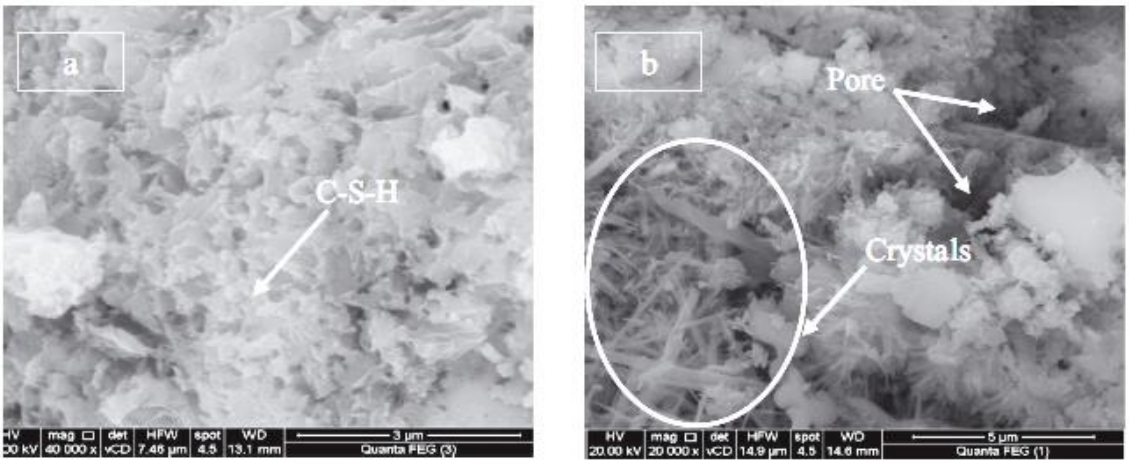
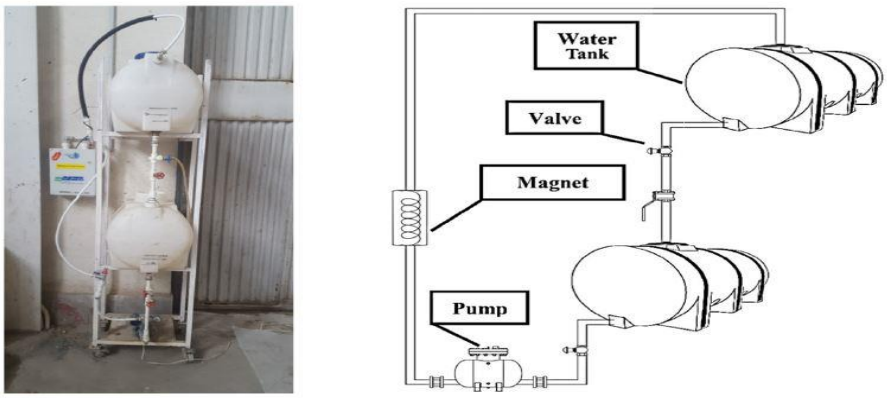


Fig. 4. SEM images for (a) MC and (b) NMC.

شکل۱۱: اسکن میکروسکوپ الکترونی [۱۰۳۹]

نتایج آزمایش وی و همکاران [۳۷] نشان داد استفاده از آب مغناطیسی می‌تواند به طور قابل توجهی مقاومت ترک‌خوردگی بتن را بهبود بخشد.

نتایج سعید قربانی و همکاران [۳۸] نشان داد آب مغناطیسی بدون در نظر گرفتن دفعات آب عبور داده شده از میدان مغناطیسی، تاثیر مثبتی بر پایداری و مقاومت نمونه‌های بتنی و در مقایسه با نمونه‌ی شاهد دارد و مقاومت آن‌ها را بهبود می‌بخشد. در این مطالعه، هنگامی که آب معمولی، یک بار از طریق میدان مغناطیسی دائمی عبور می‌کند، نمونه‌هایی که با سرعت جریان ۲.۷۵ m/s بیشترین اثر مثبت از میدان مغناطیسی را نشان می‌دهند، در حالی که وقتی آب از طریق میدان مغناطیسی دائمی، ۵ و ۱۰ بار عبور می‌کند نمونه‌های با سرعت جریان ۰.۷۵ m/s بیشترین اثر مثبت از میدان مغناطیسی را نشان دادند. همچنین نتایج نشان می‌دهد با افزایش تعداد دفعات آب عبوری از میدان مغناطیسی، بیشترین مقاومت و پایداری برای سرعت جریان ۰.۷۵ m/s و ۱.۷۵ m/s به‌دست آمد. آب مغناطیسی جذب آب نمونه‌های بتنی را نسبت به نمونه ها با آب معمولی زمانی که ۱، ۵ و ۱۰ بار از میدان مغناطیسی عبور می‌کند، به ترتیب، ۶.۵، ۱۳ و ۱۵ درصد باعث کاهش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهند که سرعت جریان و تعداد دفعاتی که آب از طریق میدان مغناطیسی دائمی عبور می کند، عوامل مهمی در پایداری و مقاومت هستند.



شکل۱۲: دستگاه تولید آب مغناطیسی [۱۰۴۱]

۶- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج حاصل از تحقیقات می‌توان بیان داشت آب مغناطیسی باعث تغییر در PH آب، کاهش کشش سطحی آب و کاهش رسوبات کربنات کلسیم در تاسیسات مکانیکی حرارتی/ برودتی و همچنین بهبود مقاومت و کارایی بتن می‌شود. نوع دستگاه مغناطیس کننده آب برای استفاده حائز اهمیت است. نتایج نشان می‌دهند در فرآیند هیدراتاسیون، حضور آب مغناطیسی سبب می‌شود، ذرات سیمان به وسیله یک لایه تک مولکولی آب با چگالی و کشش سطحی کمتر احاطه شوند که در نتیجه با افزایش سرعت واکنش و کاهش آب مصرفی، فرآیند هیدراتاسیون کامل‌تری رخ می‌دهد. استفاده از آب مغناطیسی به جای آب معمولی در بتن، منجر به تشکیل کریستال‌های کوچک‌تر کلسیم هیدروکسید (CH) می‌شود و در نتیجه موجب افزایش مقاومت فشاری می‌شود. استفاده از آب مغناطیسی باعث می‌شود تا ضمن صرفه جویی در مصرف سیمان به میزان ۵ درصد، مقاومت بتن در برابر آب‌انداختگی و یخ زدگی افزایش یابد.

منابع

[۱] رمضانیانپور،ع ا. قدوسی،پ. گنجیان، ا. (۱۳۹۵). ریزساختار، خواص و اجزای بتن. تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر(پلی تکنیک تهران)، ۷۸۱

[۲] Brower, J. (۲۰۰۵). Magnetic water treatment. Pollution Engineering, ۳۷(۲), ۲۶-۲۸.

[۳] Ghorbani, S., Gholizadeh, M., & de Brito, J. (۲۰۱۸). Effect of magnetized water on the mechanical and durability properties of concrete block pavers. Materials, ۱۱(۹), ۱۶۴۷.

[٤] https://www.nobelprize.org/prizes/physics/۱۹۰۲/lorentz/facts/

[٥] Su, N., & Wu, C. F. (۲۰۰۳). Effect of magnetic field treated water on mortar and concrete containing fly ash. Cement and concrete composites, ۲٥(۷), ٦۸۱-٦۸۸.

[٦] Quinn, C. J., Molden, T. C., & Sanderson, C. H. (۱۹۹۷). Magnetic treatment of water prevents mineral build-up. Iron and steel Engineer, ۷٤, ٤۷-٥۲.

[۷] Zhou, K. X., Lu, G. W., Zhou, Q. C., Song, J. H., Jiang, S. T., & Xia, H. R. (۲۰۰۰). Monte Carlo simulation of liquid water in a magnetic field. *Journal of Applied Physics*, ۸۸(٤), ۱۸۰۲-۱۸۰٥.

[۸] Baker, J. S., & Judd, S. J. (۱۹۹٦). Magnetic amelioration of scale formation. *Water research*, ۳۰(۲), ۲٤۷-۲٦۰.

[۹] McMahon, C. A. (۲۰۰۹). Investigation of the quality of water treated by magnetic fields.

[۱۰] Gruber C. and Carda D. D. (۱۹۸۱) Performance analysisof permanent magnet type water treatment devices.WSA Research report: Final Report, Water Quality Association (۱۹۸۱)

[۱۱] Lipus, L. C., & Dobersek, D. (۲۰۰۷). Influence of magnetic field on the aragonite precipitation. *Chemical Engineering Science*, ٦۲(۷), ۲۰۸۹-۲۰۹٥.

[۱۲] Joshi, K. M., & Kamat, P. V. (۱۹٦٦). Effect of magnetic field on the physical properties of water. J. Ind. Chem. Soc, ٤۳, ٦۲۰-٦۲۲.

[۱۳] Quickenden, T. I., Betts, D. M., Cole, B., & Noble, M. (۱۹۷۱). Effect of magnetic fields on the pH of water. *The Journal of Physical Chemistry*, ۷٥(۱۸), ۲۸۳۰-۲۸۳۱.

[۱٤] Yamashita, M., Duffield, C., & Tiller, W. A. (۲۰۰۳). Direct Current Magnetic Field and Electromagnetic Field Effects on the pH and Oxidation− Reduction Potential Equilibration Rates of Water. ۱. Purified Water. *Langmuir*, ۱۹(۱۷), ٦۸٥۱-٦۸٥٦.

[۱٥] Tai, C. Y., Chang, M. C., Shieh, R. J., & Chen, T. G. (۲۰۰۸). Magnetic effects on crystal growth rate of calcite in a constant-composition environment. *Journal of Crystal Growth*, ۳۱۰(۱٥), ۳٦۹۰-۳٦۹۷.

[۱٦] Busch, K. W., & Busch, M. A. (۱۹۹۷). Laboratory studies on magnetic water treatment and their relationship to a possible mechanism for scale reduction. *Desalination*, ۱۰۹(۲), ۱۳۱-۱٤۸.

[۱۷] Parsons, S. Wang, B, Judd, J.Stephenson, T., ۱۹۹۷. MAGNETIC TREATMENT OF CALCIUM CARBONATE SCALE-EFFECT OF pH, Water Research ۳۱ (۲), ۳۳۹–۳٤۲.

[۱۸] Cho, Y. I., & Lee, S. H. (۲۰۰٥). Reduction in the surface tension of water due to physical water treatment for fouling control in heat exchangers. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, ۳۲(۱-۲), ۱-۹.

[۱۹] Otsuka, I., & Ozeki, S. (۲۰۰٦). Does magnetic treatment of water change its properties?. *The Journal of Physical Chemistry B*, ۱۱۰(٤), ۱٥۰۹-۱٥۱۲.

[۲۰] Nakagawa, J., Hirota, N., Kitazawa, K., & Shoda, M. (۱۹۹۹). Magnetic field enhancement of water vaporization. *Journal of applied physics*, ۸٦(٥), ۲۹۲۳-۲۹۲٥.

[۲۱] Aleksandrov, V. D., Barannikov, A. A., & Dobritsa, N. V. (۲۰۰۰). Effect of magnetic field on the supercooling of water drops. *Inorganic materials*, ۳٦(۹), ۸۹۵-۸۹۸.
[۲۲] Lee, S. H., Takeda, M., & Nishigaki, K. (۲۰۰۳). Gas–Liquid Interface Deformation of Flowing Water in Gradient Magnetic Field–Influence of Flow Velocity and NaCl Concentration. *Japanese journal of applied physics*, ٤۲(٤R), ۱۸۲۸.
[۲۳] Iwasaka, M., & Ueno, S. (۱۹۹۸). Structure of water molecules under ۱٤ T magnetic field. *Journal of applied physics*, ۸۳(۱۱), ٦٤٥۹-٦٤٦۱.
[۲٤] Bikul'chyus, G., Ruchinskene, A., & Deninis, V. (۲۰۰۳). Corrosion behavior of low-carbon steel in tap water treated with permanent magnetic field. *Protection of Metals*, ۳۹(٥), ٤٤۳-٤٤۷.
[۲٥] McMahon, C. A. (۲۰۰۹). Investigation of the quality of water treated by magnetic fields.
[۲٦] Wang, Y., Wei, H., & Li, Z. (۲۰۱۸). Effect of magnetic field on the physical properties of water. *Results in physics*, ۸, ۲٦۲-۲٦۷.
[۲۷] Fu, W., & Wang, Z. B. (۱۹۹٤). The new technology of concrete engineering. *Beijing: The Publishing House of Chinese Architectural Industry*, ٥٦-٥۹.
[۲۸] Su, N., Wu, Y. H., & Mar, C. Y. (۲۰۰۰). Effect of magnetic water on the engineering properties of concrete containing granulated blast-furnace slag. *Cement and Concrete Research*, ۳۰(٤), ٥۹۹-٦۰٥.
[۲۹] Su, N., & Lee, K. C. (۱۹۹۹). Effect of magnetic water on mechanical properties and micro-structures of concrete. *J. Chin Inst Civ Hydraul Eng*, ۱۱(۳).
[۳۰] Gabrielli, C., Jaouhari, R., Maurin, G., & Keddam, M. (۲۰۰۱). Magnetic water treatment for scale prevention. *Water Research*, ۳٥(۱۳), ۳۲٤۹-۳۲٥۹.
[۳۱] Kronenberg, K. (۱۹۸٥). Experimental evidence for effects of magnetic fields on moving water. IEEE Transactions on magnetics, ۲۱(٥), ۲۰٥۹-۲۰٦۱.
[۳۲] Chau, Z. J. (۱۹۹٦). The new construction method of concrete. *The Publishing House of Chinese Architectural Industry, Beijing*, ٤۰۱-٤۰۷.
[۳۳] Soto-Bernal, J. J., Gonzalez-Mota, R., Rosales-Candelas, I., & Ortiz-Lozano, J. A. (۲۰۱٥). Effects of static magnetic fields on the physical, mechanical, and microstructural properties of cement pastes. *Advances in Materials Science and Engineering*, ۲۰۱٥.
[۳٤] Reddy, B. S. K., Ghorpade, V. G., & Rao, H. S. (۲۰۱٤). Influence of magnetic water on strength properties of concrete. *Indian journal of science and technology*, ۷(۱), ۱٤-۱۸.
[۳٥] Abdel-Magid, T. I. M., Hamdan, R. M., Abdelgader, A. A. B., & Omer, M. E. A. (۲۰۱۷). Effect of magnetized water on workability and compressive strength of concrete. *Procedia engineering*, ۱۹۳, ٤۹٤-٥۰۰.
[۳٦] Ahmed, H. I. (۲۰۱۷). Behavior of magnetic concrete incorporated with Egyptian nano alumina. Construction and Building Materials, ۱٥۰, ٤۰٤-٤۰۸.
[۳۷] Wei, H., Wang, Y., & Luo, J. (۲۰۱۷). Influence of magnetic water on early-age shrinkage cracking of concrete. *Construction and Building Materials*, ۱٤۷, ۹۱-۱۰۰.
[۳۸] Ghorbani, S., Ghorbani, S., Tao, Z., De Brito, J., & Tavakkolizadeh, M. (۲۰۱۹). Effect of magnetized water on foam stability and compressive strength of foam concrete. *Construction and Building Materials*, ۱۹۷, ۲۸۰-۲۹۰.