

عملکرد و خواص بتن با آب مغناطیسی

محمد علی رهگذر*
هیئت علمی دانشگاه اصفهان
محسن زمانی
کارشناس ارشد مهندسی عمران

چکیده

به منظور بررسی تاثیر آب مغناطیسی بر زمان گیرش و کارایی خمیرسیمان و بتن تر، و همچنین مقاومت فشاری سیمان سخت شده و بتن، ابتدا آب مغناطیسی توسط دستگاهی که در این تحقیق طراحی و ساخته شد، تهیه گردید. سپس بتن با طرح اختلاطهای متفاوت و با افزودن میکروسلیس ساخته و مورد آزمایش قرار گرفت. از جمله نتایج این تحقیق اینکه شدت میدان مغناطیسی بهینه بین ۰/۸ تا ۱/۰ تسلا بوده و استفاده از آب مغناطیسی زمان گیرش اولیه سیمان را تا ۵۰٪ و زمان گیرش ثانویه را تا ۱۹٪ کاهش می دهد. بهترین مقاومت فشاری سیمان سخت شده با چرخش حدود ۱۵ دقیقه ای و بیشترین کارایی خمیر سیمان با چرخش حدود ۶۵ دقیقه ای آب در میدان مغناطیسی حاصل می شود، و آب مغناطیسی موجب افزایش مقاومت فشاری بتن تا بیش از ۲۰٪ می شود. کاربرد توام میکرو سلیس و آب مغناطیسی مقاومت ۷ روزه را ۴۶٪ و ۲۸ روزه را ۳۹٪ افزایش می دهد.

واژه‌های کلیدی: آب مغناطیسی، بتن با آب مغناطیسی، مقاومت فشاری، کارایی، میکرو سلیس

* نویسنده مسئول: rahgozar@eng.ui.ac.ir

۱- مقدمه

مغناطیسی می‌نامند. میزان مغناطیسی شدن آب هنوز یک موضوع جنجال برانگیز است زیرا نتایج گزارش شده در تحقیقات کمتر قابل باز تولید (باهمان مشخصات گزارش شده) بوده و از یکنواختی کمتری برخوردار هستند. زیرا در فرایند مغناطیسی شدن آب عوامل زیادی همچون ناخالصی‌های مختلف موجود در آب و میزان اکسیژن حل شده در آن بسیار متفاوت است. بنابراین نتایج این گونه آزمایش‌ها بیشتر به صورت کیفی مطرح و مقایسه می‌شوند.

تولد و همکاران (۲۰۰۸) با اندازه‌گیری سرعت، آنتالپی‌ها (تغییرات انرژی در حالات مختلف)، و کشش سطحی آب تحت میدان مغناطیسی و انجام محاسبات تئوریک نشان دادند که پیوند های هیدروژنی داخلی (درون دسته ای) شکسته شده و رقابت بین شبکه‌های مختلف پیوندهای هیدروژنی (برون و درون مولکولی) باعث تضعیف پیوندهای هیدروژنی بین دسته‌های مولکول‌های آب می‌شود و این باعث شکل‌گیری دسته‌های کوچک‌تر با تعداد مولکول‌های کمتر ولی با پیوند های هیدروژنی درون دسته‌ای قوی‌تر می‌شود. و کوچک‌تر شدن تعداد مولکول‌ها در یک دسته باعث سرعت حرکت بیشتر و نفوذ بیشتر آن دسته از مولکول‌های آب بین ذرات مواد از جمله سیمان می‌گردد [۲].

«مکماهان» [۳] مروری گسترده بر ادبیاتی که مدعی اثرات مثبت استفاده از آب مغناطیسی شده اند انجام داد. از جمله این اثرات مثبت می‌توان به این موارد اشاره کرد:

- ۱) کاهش رسوبات کربنات کلسیم در تاسیسات مکانیکی حرارتی/برودتی.
- ۲) کاهش نیاز به مصرف آب و افزایش تولید محصولات کشاورزی.
- ۳) مزایای پزشکی/بهداشتی آن همچون افزایش اکسیژن حل شده در آب.
- ۴) تغییر در pH آب.
- ۵) کاهش کشش سطحی آب.
- ۶) افزایش مقاومت فشاری و کششی سیمان.

مکماهان 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 تأثیر آن (به علت خلط اثر آب 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 تأثیر مثبت آب مغناطیسی

آب مغناطیسی چیست؟ آب مغناطیسی آبی است که از یک میدان مغناطیسی عبور داده شده است. این آب بسیار ارزان، دوستانه محیط زیست، و با هزینه تجهیزات تولید کم می‌باشد. پیشینه آب مغناطیسی به سال ۱۸۰۳ میلادی برمی‌گردد وقتی برای تهیه آب جوش جهت شستشوی لباس از ۵ کتری بزرگ استفاده شد و جهت حفظ تعادل کتری‌ها در برابر وزش باد در کف آنها تکه سنگهایی قرار داده شده بود. هر پنج ظرف چدنی بودند. با گذشت زمان 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. بعد ها متوجه شدند که دو عدد از آن پنج سنگ مغناطیس طبیعی بوده است [۱].

مولکول آب متشکل از دو اتم هیدروژن و یک اتم اکسیژن بصورت H-O-H می‌باشد. اتصال این دو هیدروژن به اتم اکسیژن به صورت V و با زاویه حدود ۱۰۵ درجه می‌باشد. مولکول آب دوقطبی است، به طوری که بار سمت اکسیژن منفی و بار سمتی که هیدروژنها قرار دارند مثبت می‌باشد. بنابر این چنانچه چند مولکول آب در کنار هم قرار گیرند، جاذبه‌ای بین هیدروژن مثبت از یک مولکول با اکسیژن منفی از مولکول همجوار به وجود می‌آید که به آن پیوند هیدروژنی گفته می‌شود.

به علت دو قطبی بودن مولکول آب، وقتی تحت میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد در راستای میدان قرار گرفته و فرم مولکول کشیده‌تر و زاویه دو هیدروژن با اکسیژن کمتر از ۱۰۵ درجه می‌شود. این مهم باعث تضعیف پیوند هیدروژنی بین مولکول‌های همجوار آب شده و در عمل مولکول‌های آب در دسته‌های قرار می‌گیرند. این تغییر ساختار، باعث کاهش کشش سطحی، قابلیت نفوذ بیشتر، و افزایش pH (قلیائی تر شدن) آب می‌گردد. لازم به ذکر است که کاهش کشش سطحی باعث جداس شدن و رسوب بیشتر املاح موجود در آب و سبکتر شدن آن می‌گردد.

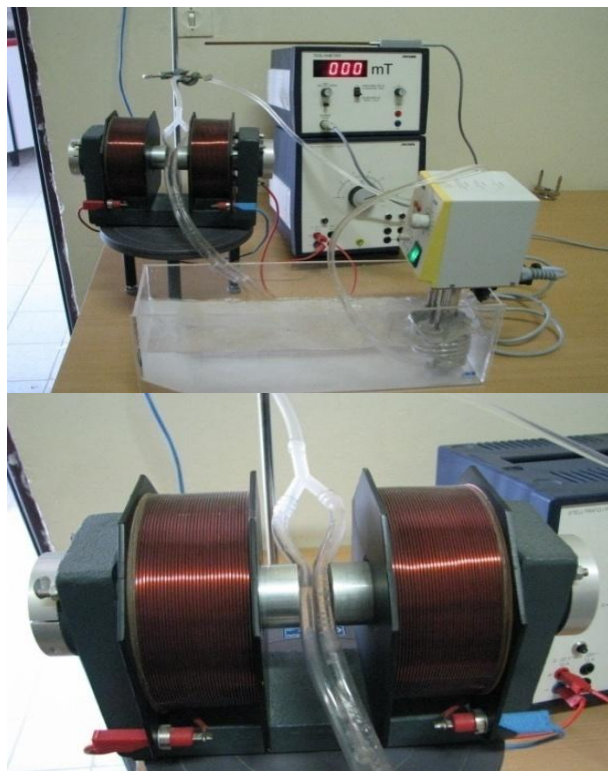
اکنون شناخته شده است که ساختار مولکول‌های آب به صورت تجمع‌های دسته ای (cluster) می‌باشد. گزارش شده که بسته به شدت میدان مغناطیسی تجمع‌های دسته‌های مولکول آب را می‌توان با تعداد ۱، ۴، ۶، ۷، ۱۱ و ۱۳ مولکول آب در یک تجمع دسته‌ای تهیه نمود. تعداد مولکول را در یک تجمع پایدار عدد

مغناطیسی که بیشترین مقاومت و یا کارایی را حاصل می کند می باشد.

۲- دستگاه تولید آب مغناطیسی

بتن با کارایی بالا از نظر روانی و مقاومت فشاری و دوام عملکرد بهتر و مناسبتری نسبت به بتن های معمولی دارد. یکی از انواع بتن ها با مقاومت بالا بتن با آب مغناطیسی است. در این فناوری با القای میدان مغناطیسی به آب، ساختار فیزیکی آن تغییر کرده و در نتیجه این تغییرات تعداد مولکول ها در یک تجمع مولکولی نقصان و کشش سطحی آب کاهش می یابد. استفاده از این آب در تهیه بتن از یک سو باعث افزایش روانی مخلوط بتن و کاهش آب مورد نیاز و از سوی دیگر باعث تسهیل هیدراسیون سیمان شده و موجب بالا رفتن مقاومت فشاری و دوام بتن می گردد. این افزایش مقاومت فشاری می تواند باعث کاهش مصرف سیمان گشته و یا منجر به کاهش وزن سازه و بنابراین کاهش نیروهای جانبی زلزله می گردد.

در این تحقیق دستگاه مورد استفاده برای تولید آب مغناطیسی طراحی و ساخته شد. این دستگاه شامل دو سیم پیچ با تعداد دور و قطر سیم مشخص که بر روی یک پایه قرار گرفته اند می باشد (شکل ۱).



شکل ۱: نمای کلی از دستگاه طراحی شده جهت تولید آب مغناطیسی و قسمت سیم پیچ دستگاه تولید آب مغناطیسی

مشخص و واضح تشخیص داده شد و به عبارت دیگری می توان به نتایج متقن رسید را می توان به آزمایشات مربوط به تغییر در pH آب، کاهش کشش سطحی آب، تغییر عملکرد سیمان، کنترل رسوب گذاری کربنات کلسیم و دیگر املاح، میزان اکسیژن محلول در آب، و یا رشد گیاهان اشاره کرد.

در ادامه به نقد و بررسی چند مطالعه پیشین که مرتبط با بهبود عملکرد سیمان است پرداخته می شود.

سو و همکاران [۴] گزارش کردند که چگونه میدان مغناطیسی قادر به شکستن مجموعه های مولکولی آب بوده و نفوذ آب را به ذرات سیمان آسان نموده و با تسهیل عمل هیدراسیون مقاومت بتن را افزایش می دهد. فو و ونگ [۵] نتیجه گرفتند که تا قبل از مصرف، آب مغناطیسی را می توان تا ۱۲ ساعت در یک مخزن ذخیره نمود ولی بیش از آن اثر مغناطیسی آب از بین می رود. ونگ و زاو [۶] نشان دادند که وقتی از آب مغناطیسی در تهیه خمیر سیمان و ملات استفاده شود، مقاومت فشاری، توزیع منافذ و دوام بتن بهبود می یابد. سو و همکاران [۴] به بررسی میزان بهبود مقاومت فشاری و کارایی بتن با مصالح سرباره ای همراه با آب مغناطیسی در مقایسه با آب معمولی پرداخته و نتیجه گرفتند که: (۱) مقاومت فشاری ملات سیمان ۹ تا ۱۹ درصد افزایش، (۲) مقاومت فشاری بتن ۱۰ تا ۲۳ درصد افزایش، و (۳) آب مغناطیسی باعث افزایش کارایی و هیدراسیون بتن می شود. ایشان همچنین پیشنهاد نمودند که تاثیر همزمان آب مغناطیسی و میکرو سیلیس بر مقاومت فشاری بتن در آینده بررسی گردد.

ویلان و همکاران [۷] نشان دادند که آب مغناطیسی باعث بهبود قابل ملاحظه در مقاومت فشاری سیمان تا ۵۴٪، مقاومت خمشی سیمان تا ۳۹٪، مقاومت پیوستگی/چسبندگی سیمان تا ۲۰٪ و کاهش زمان گیرش اولیه و ثانویه به ترتیب تا ۳۹٪ و ۳۱٪ می شود. در ایران نیز کتابی تحت عنوان «بتن مغناطیسی» توسط مصطفی قلی زاده و حسن افشین در سال ۱۳۸۸ به چاپ رسیده که به جنبه های کاربردی بتن با آب مغناطیسی پرداخته است [۸].

چنانچه آب مغناطیسی با سیمان مخلوط شود، هدف از تحقیق حاضر انجام یک مطالعه پارامتریک جامع بر میزان بهبود کارایی خمیر سیمان، مقاومت فشاری سیمان سخت شده، کارایی بتن تر، مقاومت فشاری بتن (با و بدون تاثیر میکرو سیلیس)، زمان گیرش خمیر سیمان و بتن تر، و مدت زمان بهینه چرخش آب در میدان

شدت میدان را با دقت تا ۰/۱ تسلا تغییر داد. لازم به ذکر است که گوس و تسلا هر دو واحد های شدت میدان مغناطیسی بوده ولی یک تسلا ده هزار برابر گوس می باشد.

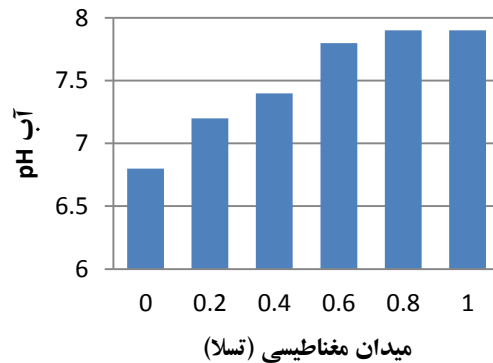
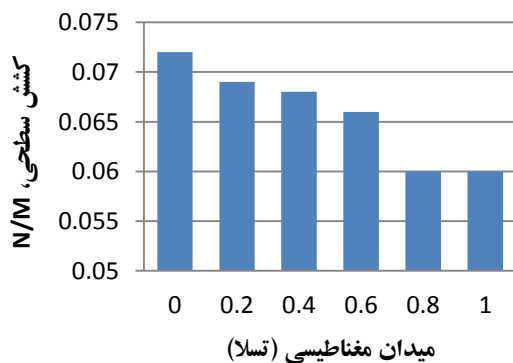
۳- روش های تشخیص مغناطیسی شدن آب

مشاهده شده با مغناطیسی شدن آب، pH آن افزایش یافته و قلیائی تر می شود [۴و۳]. جهت بررسی اثر میدان مغناطیسی روی آب و تشخیص این که آب عبوری از سیم پیچها آیا تغییر خواص داده است یا خیر، آزمایش تغییر کشش سطحی و آزمایش تغییر pH آب بر روی آب شرب شهر کرد با درجه حرارت ۲۴ تا ۲۵ سانتیگراد انجام گرفت. برای این منظور آب با دبی ثابت ۲/۵ لیتر بر دقیقه از درون سیم پیچهای دستگاه با میدان مغناطیسی از صفر تسلا (آب معمولی) تا ۱/۰ تسلا و هر بار به مدت ۳۰ دقیقه عبور داده شد. جدول ۱ و شکل ۲ نتایج این آزمایشات را ارائه می دهد. مشاهده می شود که برای شدت میدان مغناطیسی بین ۰/۸ تا ۱/۰ تسلا کشش سطحی و pH آب ثابت و حداکثر است. بنابر این در ادامه آزمایشات از شدت میدان ۱/۰ تسلا و دبی ۲/۵ لیتر بر دقیقه برای مغناطیسی نمودن آب استفاده می شود.

برای افزایش میدان مغناطیسی از دو هسته آهنی که در داخل سیم پیچها قرار می گیرند استفاده می گردد. این دوسیم پیچ به یک منبع تغذیه ای که تولید جریان مستقیم کرده و شدت آن را می توان تغییر داد متصل می باشند. هر چه شدت جریان عبوری از سیمها بیشتر باشد میدان مغناطیسی ایجاد شده نیز قوی تر می گردد. میدان مغناطیسی حاصل از جریان مستقیم به نحو بالا ممکن است با ضربه های الکتریکی همراه باشد که به این منظور با نصب یک خازن (۲۲۰۰۰ میکرو فاراد، ۴۰ ولت) به صورت موازی با مسیر جریان از منبع تغذیه تا سیم پیچها، تلاش شده تا از نوسانات در شدت میدان مغناطیسی جلوگیری شود. جهت اندازه گیری شدت میدان مغناطیسی از دستگاه تسلا متر استفاده می گردد. با نصب خازن فوق دستگاه تسلا متر هیچ پرش یا نوسانی در شدت میدان را نشان نداد. به عبارت دیگر میدان مغناطیسی حاصل از عبور جریان مستقیم از سیم پیچها همچون میدان حاصل آهنرباهای دائمی عمل می کند. به منظور بررسی اثر میدان مغناطیسی بر آب و تاثیر آن در تولید بتن با آب مغناطیسی می باید به توان شدت میدان مغناطیسی و سرعت و یا دبی آب عبوری از میدان را تغییر داد و با انجام آزمایش، خواص بتن در شدتهای مختلف میدان، و میزان بهینه آن را به دست آورد. در این دستگاه می توان

جدول ۱- مقادیر کشش سطحی و pH آب با تغییرات میدان مغناطیسی

میدان مغناطیسی (تسلا)	۰/۰	۰/۲	۰/۴	۰/۶	۰/۸	۱/۰
کشش سطحی آب (N/m)	۰/۰۷۲	۰/۰۶۹	۰/۰۶۸	۰/۰۶۶	۰/۰۶۰	۰/۰۶۰
pH آب	۶/۸	۷/۲	۷/۴	۷/۸	۷/۹	۷/۹



شکل ۲- نمودار تغییرات کشش سطحی و pH آب

مغناطیسی با نسبت‌های مختلف آب به سیمان ۰/۴۰ تا ۰/۶۰ تهیه شد و زمان گیرش اولیه و ثانویه ثبت گردید. جدول ۳ و شکل ۳ نتایج این مطالعه را نشان می‌دهند. مشاهده می‌شود که استفاده از آب مغناطیسی زمان گیرش اولیه را تا ۵۰٪ و زمان گیرش ثانویه را تا ۱۹٪ کاهش می‌دهد.

جدول ۲- مشخصات شیمیایی و فیزیکی سیمان تیپ ۱ شهرکرد

مورد آزمایش	نتیجه آزمایش
نرمی ریزذانه (cm ² /g)	>۳۰۰۰
انبساط گرمایی (%)	<۰/۲
گیرایی اولیه (دقیقه)	>۴۵
SIO ₂ (%)	۲۱/۳۰-۲۰/۹۰
AL ₂ O ₃ (%)	۵/۴۰-۵/۱۰
Fe ₂ O ₃ (%)	۹۵/۳-۳/۸۰
CaO (%)	۶۵/۲۰-۶۴/۸۰
Mgo (%)	<۱/۶۵
SO ₃ (%)	<۲
L.O.I	<۱
CL (%)	<۳۰
Total alkali (%)	<۷۰

با توجه به نتایج حاصل از آزمایش و نمودارهای فوق مشاهده می‌گردد که گیرایی خمیر سیمان با آب مغناطیسی چه در گیرش اولیه و چه در گیرش ثانویه سریع‌تر از خمیر سیمان با آب معمولی است. این نشانگر افزایش سرعت و مؤثرتر شدن هیدراسیون و بنابراین سخت تر شدن خمیر سیمان در مدت زمان کمتر بوده که علت آن نفوذ راحت تر مولکول‌های آب به درون اجتماع ذرات سیمان و مشارکت دادن درصد بیشتری از سیمان به پروسه هیدراسیون می‌باشد.

جدول ۳- زمان گیرش اولیه و ثانویه خمیر سیمان با آب مغناطیسی و خمیر سیمان معمولی

W/C	زمان گیرش اولیه (دقیقه)			زمان گیرش ثانویه (دقیقه)		
	سیمان معمولی	سیمان با آب مغناطیسی	درصد کاهش	سیمان معمولی	سیمان با آب مغناطیسی	درصد کاهش
۰/۴۰	۱۲	۶	۵۰٪	۳۷۷	۳۰۵	۱۹.۱٪
۰/۴۵	۱۶	۹	۴۳.۸٪	۳۹۲	۳۲۹	۱۶.۱٪
۰/۵۰	۲۰	۱۵	۲۵٪	۴۴۱	۳۶۶	۱۷٪
۰/۵۵	۲۹	۱۹	۳۴.۵٪	۴۹۱	۳۹۹	۱۹٪
۰/۶۰	۳۴	۲۷	۲۰.۶٪	۵۴۷	۴۴۰	۱۹.۶٪

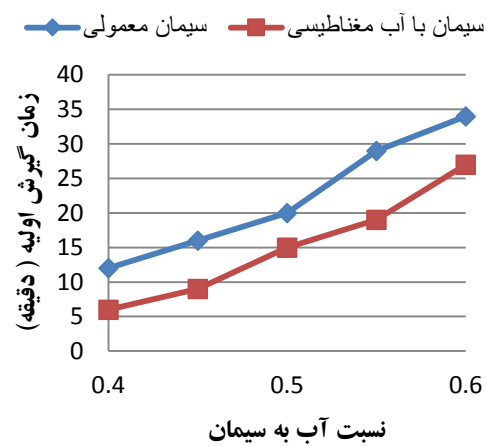
۴- بررسی تأثیر آب مغناطیسی بر زمان گیرش سیمان (هیدراسیون سیمان)

برای تعیین زمان گیرش اولیه و ثانویه سیمان لازم است از خمیر سیمان با روانی متعارف استفاده شود. بنا بر این ضرورت دارد که برای هر مقدار سیمان معین میزان آبی که روانی متعارف را بدست می‌دهد مشخص گردد. نسبت این آب به سیمان را (به صورت درصد) غلظت نرمال می‌نامند. بر مبنای استاندارد ASTM، غلظت خمیر سیمان هنگامی نرمال خواهد بود که میزان نفوذ سوزن آب سنج ۱۰ میلیمتری و یکات در داخل خمیر به مدت ۳۰ ثانیه و در شرایط استاندارد برابر با 10 ± 1 میلیمتر باشد. برای تهیه خمیر سیمان استاندارد مقدار آب را ۱۸۰ گرم و مقدار سیمان ۶۵۰ گرم در نظر گرفته می‌شود. به مدت ۳۰ ثانیه برای جذب آب توسط سیمان صبر کرده، سپس دستگاه سه دور همزن را با دور کند به مدت ۳۰ ثانیه روشن و بعد دستگاه را به مدت ۱۵ ثانیه خاموش کرده و دوباره دستگاه به مدت یک دقیقه و این بار با دور متوسط روشن می‌شود. سپس دستگاه را خاموش کرده و خمیر سیمان آماده آزمایش است. ظرف دستگاه و یکات را از خمیر پر کرده بطوری که سطح خمیر کاملاً هم تراز لبه ظرف و صاف شده باشد. ظرف را زیر دستگاه قرار داده و سوزن و یکات تنظیم می‌شود. گیرش اولیه هنگامی خواهد بود که نفوذ سوزن و یکات در خمیر با غلظت نرمال، در مدت ۳۰ ثانیه پس از رها شدن، برابر با ۲۵ میلیمتر یا کمتر باشد. گیرش ثانویه هنگامی خواهد بود که سوزن و یکات به وضوح در داخل خمیر فرو نرود. طبق این استاندارد گیرش اولیه نباید کمتر از ۴۵ دقیقه و گیرش ثانویه نباید بیش از ۳۷۵ دقیقه باشد. در این تحقیق از سیمان تیپ ۱ شهرکرد (که مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن در جدول ۲ آمده است) با آب معمولی و آب

گیرش ثانویه



گیرش اولیه



شکل ۳- نمودار تغییرات گیرش اولیه و ثانویه خمیر سیمان معمولی و با آب مغناطیسی با نسبت آب به سیمان

نسبت آب به سیمان بهینه، ۵ نسبت برای W/C در نظر گرفته می‌شود، و در هر حالت خمیر سیمان تهیه و در قالب های مکعبی ۱۰×۱۰×۱۰ سانتیمتر ریخته و مقاومت فشاری ۱ روزه، ۷ روزه و ۲۸ روزه اندازه گیری می‌شود (جدول ۴). شکل ۴ تغییرات مقاومت ۷ روزه و ۲۸ روزه با نسبت آب به سیمان را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که میزان آب به سیمان بهینه که حداکثر مقاومت سیمان سخت شده را تامین می‌کند برابر ۰/۴۵ بوده، بنابراین برای تعیین مدت زمان بهینه چرخش آب مغناطیسی از این نسبت آب به سیمان استفاده شده است.

۵- تأثیر زمان چرخش آب در میدان مغناطیسی بر

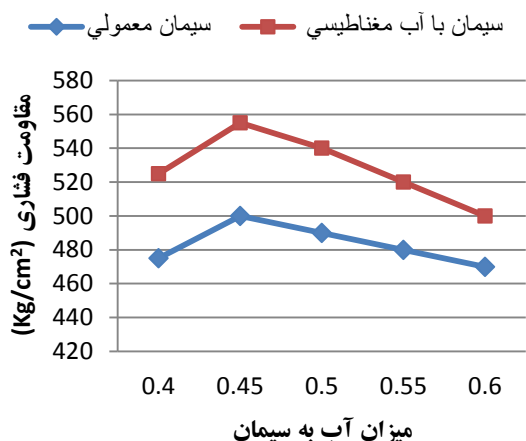
مقاومت فشاری سیمان سخت شده

همان‌گونه که در شکل ۱ دیده می‌شود دستگاه از یک پمپ و یک سیم پیچ تشکیل شده که آب را در یک سیکل چرخشی از درون مخزن به درون سیم پیچ (عبور از میدان مغناطیسی) حرکت می‌دهد. زمان چرخش در واقع مدت زمان حرکت آب در این میدان مغناطیسی می‌باشد. انتظار می‌رود با افزایش طول مدت این چرخش، اثر میدان مغناطیسی بر آب بیشتر شود. ابتدا به منظور تعیین میزان

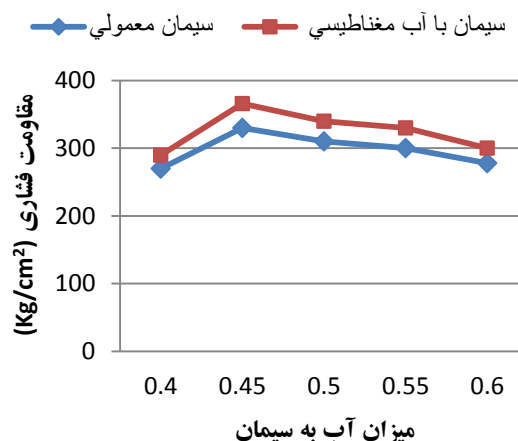
جدول ۴- مقادیر محاسبه شده برای مقاومت فشاری سیمان سخت شده در نسبت های مختلف آب به سیمان

مقاومت فشاری سیمان سخت شده مغناطیسی (Kg/cm ²)			مقاومت فشاری سیمان سخت شده معمولی (Kg/cm ²)			w/c	مقدار آب	مقدار سیمان (gr)
۲۸ روزه	۷ روزه	۱ روزه	۲۸ روزه	۷ روزه	۱ روزه			
۵۲۵	۲۹۰	۸۸	۴۷۵	۲۷۰	۸۰	۰/۴	۱۲۰۰	۳۰۰۰
۵۵۵	۳۶۶	۱۲۱	۵۰۰	۳۳۰	۱۱۰	۰/۴۵	۱۳۵۰	۳۰۰۰
۵۴۰	۳۴۰	۱۱۷	۴۹۰	۳۱۰	۹۸	۰/۵۰	۱۵۰۰	۳۰۰۰
۵۲۰	۳۳۰	۱۱۰	۴۸۰	۳۰۰	۱۰۰	۰/۵۵	۱۶۵۰	۳۰۰۰
۵۰۰	۳۰۰	۱۰۰	۴۷۰	۲۷۸	۹۰	۰/۶۰	۱۸۰۰	۳۰۰۰

مقاومت ۲۸ روزه



مقاومت ۷ روزه

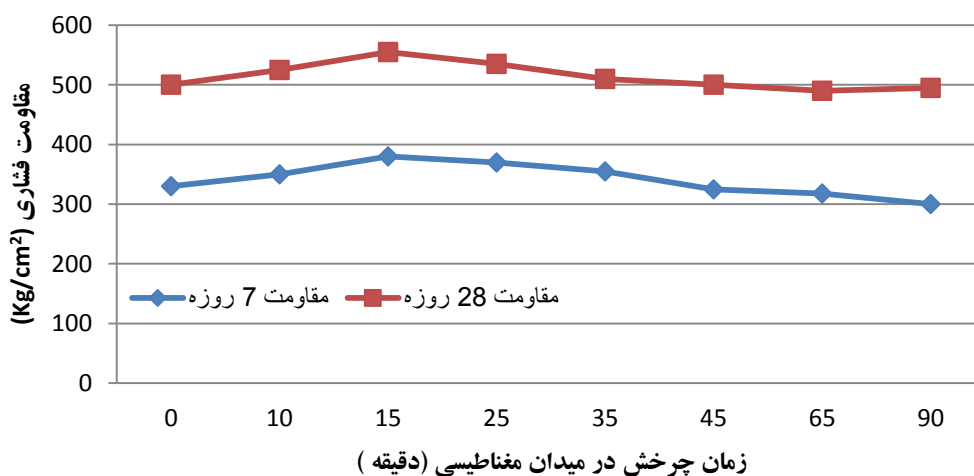


شکل ۴- نمودار تغییرات مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه سیمان سخت شده با آب معمولی و با آب مغناطیسی با نسبت آب به سیمان

در این مرحله برای بررسی میزان تاثیر مدت زمان چرخش آب در میدان مغناطیسی بر روی خواص سیمان، آب را با دبی ۲/۵ لیتر بر دقیقه و در مدت زمان های متفاوت از صفر تا ۹۰ دقیقه از میدان ۱/۰ تسلا عبور داده و در هر مرحله با استفاده از آب مغناطیسی بدست آمده خمیر سیمان ساخته شد. سپس از این خمیر در مکعبهای ۱۵×۱۵×۱۵ سانتیمتری جهت بررسی مقاومت فشاری استفاده کرده تا مقدار بهینه مدت زمان چرخش که حداکثر مقاومت را حاصل می کند بدست آید (جدول ۵).

جدول ۵- تغییر مقادیر مقاومت فشاری سیمان سخت شده با تغییر زمان چرخش آب در میدان مغناطیسی

زمان (دقیقه)	۰	۱۰	۱۵	۲۵	۳۵	۴۵	۶۵	۹۰
مقاومت فشاری ۷ روزه (Kg/cm ²)	۳۳۰	۳۵۰	۳۸۰	۳۷۰	۳۵۵	۳۲۵	۳۱۸	۳۰۰
مقاومت فشاری ۲۸ روزه (Kg/cm ²)	۵۰۰	۵۲۵	۵۵۵	۵۳۵	۵۱۰	۵۰۰	۴۹۰	۴۹۵



شکل ۵- نمودار تغییرات مقاومت فشاری سیمان سخت شده با زمان چرخش آب در میدان مغناطیسی

۶- بررسی تأثیر مدت چرخش آب در میدان مغناطیسی بر کارایی خمیر سیمان (اسلامپ)

برای برآورد کارایی خمیر سیمان با آب مغناطیسی و بستگی آن به مدت زمان چرخش آب در میدان مغناطیسی از میز جریان که در شکل ۶ نشان داده شده استفاده گردید.

با توجه به نتایج مندرج در جدول ۵ و شکل ۵ می‌توان نتیجه گرفت که بهترین مدت زمان چرخش آب در میدان جهت به دست آوردن بهترین مقاومت فشاری در حدود ۱۵ تا ۲۰ دقیقه می‌باشد و زمان کمتر یا بیشتر از این مدت موجب کاهش در مقاومت فشاری سیمان سخت شده می‌شود.



شکل ۶- میز جریان و قطر باز شده خمیر سیمان جهت اندازه گیری کارایی خمیر سیمان

مخروط را برداشته می‌شود. سپس میز را ۴۰ میلیمتر بالا آورده و رها می‌شود (البته پیچ‌های تنظیم ارتفاع بالا آمدن میز را قبل از آزمایش می‌باید روی ۴۰ میلیمتر تنظیم کرد)، سپس ۴ ثانیه صبر نموده و دوباره این عمل را انجام و بعد از ۱۵ مرتبه تکرار این عمل با اندازه گیری قطر باز شده خمیر سیمان، کارایی سیمان اندازه گیری می‌شود (شکل ۶).

روش انجام آزمایش به این ترتیب است که ابتدا خمیر سیمان در مخروط ناقص نشان داده شده در شکل ریخته البته مخروط دقیقاً در وسط میز تراز شده قرار می‌گیرد بعد از پرس شدن نصف مخروط با میله مخصوص ۱۰ ضربه به سیمان زده می‌شود و بعد از پرس شدن مخروط نیز ۱۰ ضربه دیگر به آن زده و سپس روی آن را صاف کرده و مخروط را به مدت ۳۰ ثانیه ثابت نگه داشته سپس

جدول ۶- در صد تغییرات در کارایی خمیر سیمان با میزان زمان چرخش آب در میدان مغناطیسی

زمان (دقیقه)	۰	۱۰	۱۵	۲۵	۳۵	۴۵	۶۵	۹۰
روانی (mm)	۵۶۰	۵۶۶	۵۶۸	۵۷۰	۵۶۶	۶۳۵	۶۰۰	۵۲۰
درصد تغییرات	۰	+۱	+۱/۵	۱/۷	+۱	+۶	+۱۳	-۶



شکل ۷- نمودار تغییرات کارایی خمیر سیمان با میزان چرخش آب در میدان مغناطیسی

مقاومت بتن معمولی را دارد اما در بتن با مقاومت بالا چسبندگی و اتصال بین سنگدانه ها و خمیر سیمان تا بدان حد قوی است که انتقال تنش های قابل ملاحظه ای را در سطح تماس آنها امکان پذیر می سازد. به علاوه مقاومت سیمان بسیار بالا در مواردی ممکن است از مقاومت سنگدانه ها نیز بیشتر باشد. پس مشخصات سنگدانه ها و به ویژه شن مصرفی نقش بارزی در تامین مقاومت بتن پر مقاومت داشته به نحوی که اندازه قطر شن بین ۱۰ تا ۱۲ میلیمتر بهترین نتیجه را برای تولید بتن پر مقاومت دارد. در ارتباط با ماسه مصرفی، مدول نرمی نزدیک به ۳ را مناسب ترین سنگدانه ریزدانه برای تولید بتن در نظر گرفته شد. جدول ۷ مشخصات و دانه بندی سنگدانه های مورد استفاده در این تحقیق را نشان می دهد. در این مرحله از سه نوع طرح اختلاط بتن معمولی و بتن با آب مغناطیسی با عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب جهت بررسی بستگی مقاومت فشاری بتن به نسبت های مختلف W/C بتن با آب مغناطیسی و معمولی استفاده شده است. جدول ۸ طرح های اختلاط به کار رفته و جدول ۹ و شکل ۸ مقاومت های ۷ روزه و ۲۸ روزه بتن حاصل از این طرح اختلاطها را برای بتن های با و بدون آب مغناطیسی ارائه می دهند. مشاهده می شود که افزایش مقاومت ناشی از کاربرد آب مغناطیسی در بتن ۷ روزه تا ۲۰٪ و در بتن ۲۸ روزه تا ۱۴٪ می باشد. کاربرد آب مغناطیسی سرعت هیدراسیون را بیشتر نموده بطوری که نرخ افزایش مقاومت بتن با آب مغناطیسی ۷ روزه بیشتر از بتن ۲۸ روزه است. برای تعیین کارایی بتن از آزمایش اسلامپ استاندارد استفاده شد. نتایج اسلامپ بتن معمولی و با آب مغناطیسی در جدول ۹ و شکل ۹ آمده است.

در این مرحله برای بررسی تأثیر مدت زمان چرخش آب در میدان مغناطیسی بر کارایی خمیر سیمان، آب را در بازه های زمانی متفاوت از صفر تا ۹۰ دقیقه از میدان عبور داده و در هر مرحله با استفاده از آب مغناطیسی بدست آمده خمیر سیمان ساخته و آزمایش فوق انجام گرفت. جدول ۶ نتایج این آزمایش را نشان می دهد. با توجه به این جدول و شکل ۷ مشاهده می شود که زمان چرخش بهینه زمان چرخش ۶۵ دقیقه بیشترین کارایی را حاصل می کند در صورتی که زمان چرخشی که مقاومت بهینه را حاصل می کرد فقط ۱۵ الی ۲۰ دقیقه بود.

۷- بررسی و مقایسه مقاومت فشاری و کارایی بتن معمولی و بتن با آب مغناطیسی

بعد از آزمایشاتی که بر روی خمیر سیمان با آب مغناطیسی انجام شد، در این مرحله به بررسی خواص بتن با آب مغناطیسی پرداخته می شود. در این مرحله برای تهیه بتن از آب شرب شهر کرد همراه با سیمان تیپ ۱ شهر کرد استفاده گردید. انتخاب سنگدانه ها در تولید بتن با مقاومت بالا و همچنین افزایش مقاومت فشاری بتن از اهمیت ویژه ای برخوردار است. مقاومت سنگدانه یکی از پارامترهای مهم در مقاومت فشاری بتن می باشد. برای تولید بتن با مقاومت بالا از سنگدانه های با مقاومت بالا و با سطحی مناسب جهت ایجاد چسبندگی کافی بین سنگدانه و خمیر سیمان باید استفاده نمود. سنگدانه ها در تامین مقاومت کلی بتن معمولی تأثیر زیادی ندارد. زیرا این مقاومت عمدتاً توسط مقاومت خمیر سیمان هیدراته کنترل می گردد و همین موضوع نیز علت اساسی نقش بارز نسبت آب به سیمان بر

جدول ۷- مشخصات و دانه بندی مصالح سنگی مصرفی در تولید بتن

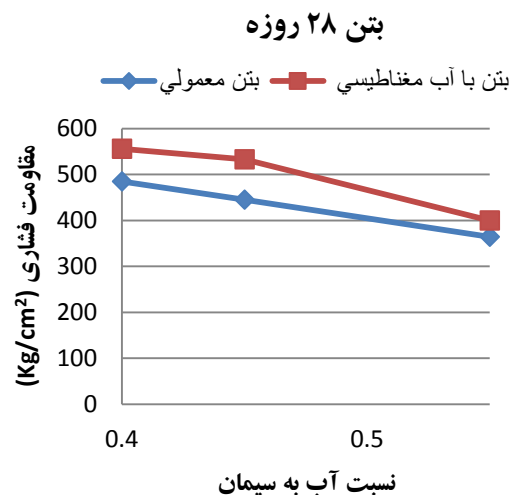
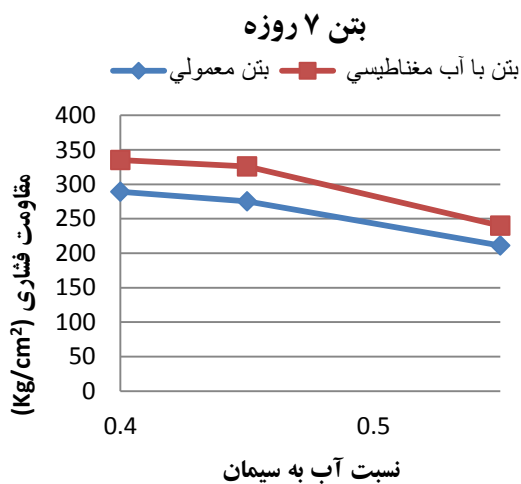
ریز دانه (ماسه)			درشت دانه (شن)		
تنظیم بر اساس ASTM C136	مقدار عبوری از الک واحد (%)	سایز الک واحد (mm)	تنظیم بر اساس ASTM C136	مقدار عبوری از الک واحد (%)	سایز الک واحد mm
۱۰۰-۹۵	۹۹	۴/۷۶	۱۰۰-۹۰	۹۸/۵	۴۰
۱۰۰-۸۰	۸۴	۲/۳۶	-	۹۱/۳	۲۰
۸۵-۵۰	۵۹/۶	۱/۱۸	۶۰-۲۵	۳۶	۱۰
۶۰-۲۵	۴۷	۰/۶	-	۱	۴/۷۶
۳۰-۱۰	۲۲	۰/۳	۱۰-۰	-	-
۱۰-۲	۸/۸	۰/۱۵	-	-	-

جدول ۸- طرح اختلاط بتن های متفاوت با عیارسیمان 400 kg/m^3 و نسبتهای آب به سیمان متفاوت

شماره اختلاط	سیمان (kg/m^3)	شن (kg/m^3)	ماسه (kg/m^3)	آب (kg/m^3)	w/c	نوع آب
A1	400	1160	720	160	0.4	معمولی
B1	400	1160	720	160	0.4	مغناطیسی
A2	400	1100	720	180	0.45	معمولی
B2	400	1100	720	180	0.45	مغناطیسی
A3	400	1100	700	220	0.55	معمولی
B3	400	1100	700	220	0.55	مغناطیسی

جدول ۹- مقاومت فشاری و کارایی بتن معمولی و مغناطیسی با عیارسیمان 400 و نسبتهای آب به سیمان متفاوت

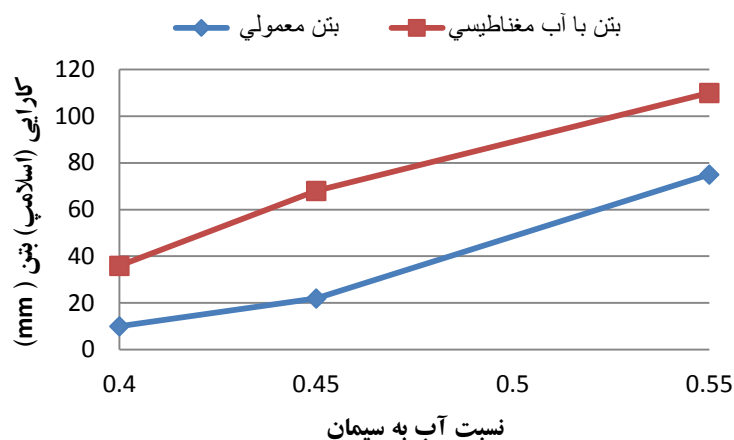
نمونه	اسلامپ (mm)	مقاومت فشاری ۷ روزه (Kg/cm^2)	مقاومت فشاری ۲۸ روزه (Kg/cm^2)	درصد افزایش مقاومت ۷ روزه	درصد افزایش مقاومت ۲۸ روزه
A1	10	289	485	٪۱۶	٪۱۴
	36	335	556		
A2	22	275	445	٪۲۰	٪۱۳
	68	326	533		
A3	75	211	364	٪۱۳	٪۱۰
	110	240	400		



شکل ۸- مقاومت فشاری بتن ۷ و ۲۸ روزه معمولی و با آب مغناطیسی با عیار سیمان 400 kg/m^3 و نسبتهای مختلف آب به سیمان

با افزایش نسبت آب به سیمان کارایی افزایش یافته به نحوی که برای نسبت آب به سیمان ۰/۴ افزایش اسلامپ حدود ۲۰۹٪ و برای آب به سیمان ۰/۵۵ افزایش اسلامپ حدود ۴۶٪ می باشد. جهت بررسی بستگی مقاومت فشاری بتن به عیارسیمان در بتن با آب مغناطیسی، از چهار نوع طرح اختلاط بتن معمولی و با آب مغناطیسی با عیارهای مختلف سیمان ۳۰۰، ۳۵۰، ۴۰۰، و ۴۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب بانسبت آب به سیمان ۰/۴۵ استفاده شد (جدول ۱۰). جدول ۱۱ و شکل ۱۰ نتایج این مطالعه را نشان می دهند. مشاهده می شود که با افزایش عیار سیمان میزان افزایش مقاومت بتن با آب مغناطیسی نسبت به بتن معمولی فزاینده است.

بعبارت دیگر، در عیار های سیمان بالا، همه ذرات سیمان قادر به عمل هیدراسیون نیستند، ولی آب مغناطیسی این فرصت را برای درصدهای بالاتری از سیمان فراهم کرده و به همین دلیل نرخ افزایش مقاومت با افزایش عیار سیمان در بتن با آب مغناطیسی بالاتر است.



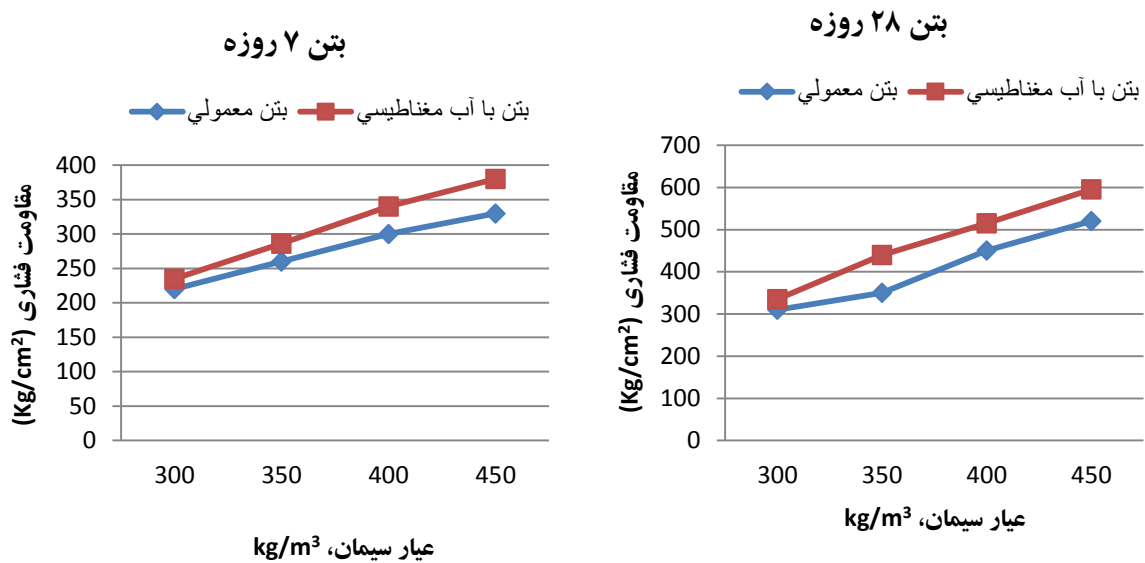
شکل ۹- نمودار تغییرات کارایی (اسلامپ) بتن با نسبت آب به سیمان

جدول ۱۰- طرح اختلاط بتن با عیار سیمان مختلف ۳۰۰، ۳۵۰، ۴۰۰، و ۴۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب و نسبت آب به سیمان ۰/۴۵

شماره اختلاط	عیار سیمان (kg/m ³)	سیمان (kg/m ³)	شن (kg/m ³)	ماسه (kg/m ³)	آب (kg/m ³)	w/c	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

جدول ۱۰- طرح اختلاط بتن با عیار سیمان مختلف ۳۰۰، ۳۵۰، ۴۰۰، و ۴۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب و نسبت آب به سیمان ۰/۴۵

نمونه	مقاومت فشاری ۷ روزه (Kg/cm ²)	مقاومت فشاری ۲۸ روزه (Kg/cm ²)	درصد افزایش مقاومت ۷ روزه	درصد افزایش مقاومت ۲۸ روزه
C1	۲۲۰	۳۱۰	%۷	%۸
D1	۲۳۵	۳۳۵		
C2	۲۶۰	۳۵۰	%۱۱	%۱۲
D2	۲۸۶	۴۴۰		
C3	۳۰۰	۴۵۰	%۱۳	%۱۴
D3	۳۴۰	۵۱۵		
C4	۳۳۰	۵۲۰	%۱۵	%۱۴
D4	۳۸۰	۵۹۵		



شکل ۱۰- مقاومت فشاری بتن ۷ و ۲۸ روزه معمولی و با آب مغناطیسی با عیارهای مختلف سیمان و آب به سیمان ۰/۴۵

تاثیر میکرو سیلیس در افزایش مقاومت حتی بدون آب مغناطیسی نیز قابل ملاحظه است (۲۲٪ در بتن ۷ روزه و ۳۲٪ در بتن ۲۸ روزه). بدون میکروسیلیس، آب مغناطیسی مقاومت را ۱۶٪ در بتن ۷ روزه و ۱۵٪ در بتن ۲۸ روزه افزایش می دهد. با استفاده توام میکرو سیلیس و آب مغناطیسی افزایش مقاومت بیشترین، بطوری که ۴۶٪ در بتن ۷ روزه و ۳۹٪ در بتن ۲۸ روزه می باشد. به عبارت دیگر تاثیر میکرو سیلیس تنها از آب مغناطیسی تنها بیشتر است. همچنین تاثیر آب مغناطیسی در بتن ۷ روزه بیشتر از ۲۸ روزه است زیرا آب مغناطیسی هیدراسیون را تسریع کرده و اثر افزایش مقاومت را زودتر می توان مشاهده کرد. این مهم نشان می دهد که وجود آب مغناطیسی نه تنها عمل هیدراسیون سیمان را بلکه واکنشهای انجام شده با میکروسیلیس را بهبود بخشیده است.

۸- بررسی مقاومت فشاری بتن با آب مغناطیسی همراه با میکروسیلیس

سو و همکاران (۲۰۰۰) پیشنهاد نمودند تا تاثیر همزمان میکروسیلیس و آب مغناطیسی بر مقاومت فشاری بتن مورد بررسی قرار گیرد، از این رو چندین طرح اختلاط مطابق جدول ۱۲ با میکرو سیلیس ساخته شد. و مقاومت فشاری بتن با نسبت های مختلف آب به سیمان مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱۳). شکل ۱۱ مقاومت های حاصل از طرح اختلاط های حاوی میکرو سیلیس (جدول ۱۳) را با نتایج طرح اختلاط های کاملاً یکسان ولی بدون میکرو سیلیس (ذکر شده در جدول ۹) را با هم نشان می دهد. چنانچه بتن با آب معمولی و بدون میکرو سیلیس به عنوان نمونه مورد مقایسه در نظر گرفته شود، برای متوسط نتایج،

جدول ۱۲- طرح اختلاط بتن با آب مغناطیسی و معمولی به همراه با میکروسیلیس با عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب

نوع آب	w/c	آب (kg/m ³)	ماسه (kg/m ³)	شن (kg/m ³)	میکرو سیلیس (kg/m ³)	سیمان (kg/m ³)	شماره 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

جدول ۱۳- مقاومت فشاری بتن ۷ روزه و ۲۸ روزه مغناطیسی و معمولی به همراه با میکروسلیس با عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر متر

مکعب با نسبتهای آب به سیمان متفاوت

نمونه	مقاومت فشاری ۷ روزه (Kg/cm ²)	مقاومت فشاری ۲۸ روزه (Kg/cm ²)	درصد افزایش مقاومت ۷ روزه	درصد افزایش مقاومت ۲۸ روزه
A11	۳۷۰	۵۸۰	%۱۵	%۱۳
B11	۴۲۰	۶۶۰		
A22	۳۵۵	۵۵۰	%۱۰	%۱۳
B22	۴۰۰	۶۲۰		
A33	۲۹۰	۴۵۰	%۱۳	%۱۴
B33	۳۲۰	۵۱۰		

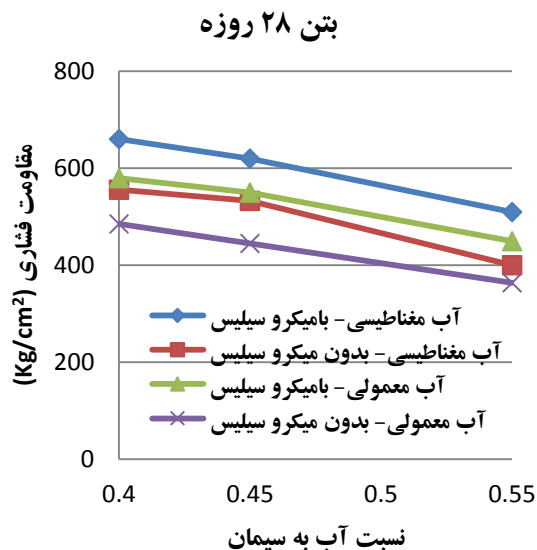
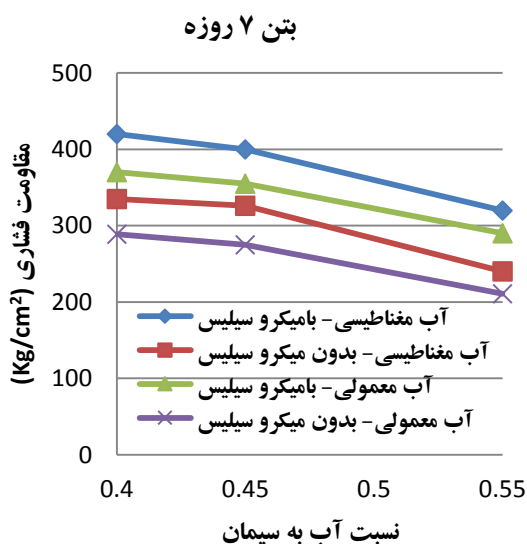
۹- خلاصه و نتیجه گیری

پیشینه تهیه و کاربرد آب مغناطیسی و اثرات مثبت آن در بهبود عملکرد بسیاری از پدیده ها مورد بررسی قرار گرفت. دستگاه تولید آب مغناطیسی طراحی و ساخته شد. بر اساس توصیه مطالعات پیشین، تاثیر آب مغناطیسی بر عملکرد سیمان از جمله اهداف این تحقیق گردید. در این راستا سعی شد تا تاثیر آب مغناطیسی بر زمان گیرش خمیر سیمان، کارائی خمیر سیمان و بتن تر، مقاومت فشاری سیمان سخت شده و بتن، و کاربرد همزمان آن با میکرو سلیس در حالات مختلف نسبت آب به سیمان و یا عیار سیمان مورد ارزیابی قرار گیرد. در ادامه به بررسی نتایج این تحقیق پرداخته می شود.

۱- برای شدت میدان مغناطیسی بین ۰/۸ تا ۱/۰ تسلا کشش سطحی کمترین و pH آب بیشترین می باشد.

۲- استفاده از آب مغناطیسی زمان گیرش اولیه را تا ۵۰٪ و زمان گیرش ثانویه را تا ۱۹٪ کاهش می دهد.

پیشینه تهیه و کاربرد آب مغناطیسی و اثرات مثبت آن در بهبود عملکرد بسیاری از پدیده ها مورد بررسی قرار گرفت. دستگاه تولید آب مغناطیسی طراحی و ساخته شد. بر اساس توصیه مطالعات پیشین، تاثیر آب مغناطیسی بر عملکرد سیمان از جمله اهداف این تحقیق گردید. در این راستا سعی شد تا تاثیر آب مغناطیسی بر زمان گیرش خمیر سیمان، کارائی خمیر سیمان و بتن تر، مقاومت فشاری سیمان سخت شده و بتن، و کاربرد همزمان آن با میکرو سلیس در حالات مختلف نسبت آب به سیمان و یا عیار سیمان مورد ارزیابی قرار گیرد. در ادامه به بررسی نتایج این تحقیق پرداخته می شود.



شکل ۱۱- مقایسه مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه بتن معمولی و با آب مغناطیسی، با و بدون میکروسلیس با عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب با نسبتهای آب به سیمان متفاوت

۳- میزان آب به سیمان بهینه که حداکثر مقاومت سیمان سخت شده را تامین می کند برابر ۰/۴۵ می باشد.

۴- بهترین مقاومت فشاری سیمان سخت شده با چرخش حدود ۱۵ تا ۲۰ دقیقه ای در میدان مغناطیسی ۱/۰ تسلا حاصل می شود.

containing granulated blast-furnace slag”, Cement and Concrete Research, v 30, n 4, p 599-605 (2000).

[5]. Fu, W. and Wang, Z. (1994) “In: The new technology of concrete engineering”, Beijing: The Publishing House of Chinese Architectural Industry, 56–59 (1994).

[6]. Wang, L. and Zhao, S “Laboratory Studies on the Properties of Cement-Based Materials With Magnetic Water” Indian Concrete Journal, Vol. 82, No. 9, 17-27 (2008).

[7]. Weilin, S, Yun, L, Hanzhao, H, and Qingwang, L, “Effects of magnetic treatment on properties of cement slurry” Society of Petroleum Engineers of AIME, (Paper) SPE (1992).

[۸]. قلی زاده، مصطفی، و افشین، حسن «بتن مغناطیسی»، نشر: دانش نگار (۳۰ آذر، ۱۳۸۸) شابک: 978-964-2927-39-5

۵- آب مغناطیسی باعث افزایش کارایی خمیر سیمان و یا بتن تر می شود. بطوری که بیشترین کارائی خمیر سیمان با چرخش ۶۵ دقیقه ای آب در میدان مغناطیسی ۱/۰ تسلا حاصل می شود.

۶- افزایش مقاومت ناشی از کاربرد آب مغناطیسی در بتن ۷ روزه تا ۲۰٪ و در بتن ۲۸ روزه تا ۱۴٪ می باشد. کاربرد آب مغناطیسی سرعت هیدراسیون را بیشتر نموده بطوری که نرخ افزایش مقاومت بتن با آب مغناطیسی ۷ روزه بیشتر از بتن ۲۸ روزه است.

۷- با افزایش عیار سیمان میزان افزایش مقاومت بتن با آب مغناطیسی نسبت به بتن معمولی فزاینده است. بعبارت دیگر، در عیار های سیمان بالا، همه ذرات سیمان قادر به عمل هیدراسیون نیستند، ولی آب مغناطیسی این فرصت را برای درصد بالاتری از سیمان فراهم کرده و به همین دلیل نرخ افزایش مقاومت با افزایش عیار سیمان در بتن با آب مغناطیسی بالاتر است.

۸- تأثیر میکرو سیلیس در افزایش مقاومت حتی بدون آب مغناطیسی نیز قابل ملاحظه است (۲۲٪ در بتن ۷ روزه و ۳۲٪ در بتن ۲۸ روزه). بدون میکرو سیلیس، آب مغناطیسی مقاومت را ۱۶٪ در بتن ۷ روزه و ۱۵٪ در بتن ۲۸ روزه افزایش می دهد. با استفاده توام میکرو سیلیس و آب مغناطیسی افزایش مقاومت بیشترین، بطوری که ۴۶٪ در بتن ۷ روزه و ۳۹٪ در بتن ۲۸ روزه می باشد. به بعبارت دیگر تأثیر میکرو سیلیس تنها از آب مغناطیسی تنها بیشتر است. همچنین تأثیر آب مغناطیسی در بتن ۷ روزه بیشتر از ۲۸ روزه است زیرا آب مغناطیسی هیدراسیون را تسریع کرده و اثر افزایش مقاومت را زودتر می توان مشاهده کرد. این مهم نشان می دهد که وجود آب مغناطیسی نه تنها عمل هیدراسیون سیمان را بلکه واکنشهای انجام شده با میکرو سیلیس را بهبود بخشیده است.

۱۰- منابع

[1]. Brower, J. “Magnetic Water Treatment”, Reprint of article from Pollution Engineering (2005).

[2]. Toledo, E.J.L., Ramalho, T.C. and Magriotis, Z.M., “Influence of magnetic field on physical-chemical properties of the liquid water: Insights from experimental and theoretical models” Journal of Molecular Structure, 888 409–415 (2008).

[3]. McMahon, C. A. “Investigation of the quality of water treated by magnetic fields” thesis dissertation at University of Southern Queensland (2009).

[4]. Su, N., Wu, Y. and Mar, C. “Effect of magnetic water on the engineering properties of concrete

Performance and Properties of Concrete with Magnetic Water

Mohammad Ali Rahgozar*

Assistant Professor, University of Isfahan, Isfahan, Iran

Mohsen Zamani

Master Civil Engineer, Shahrekod, Iran

Abstract

When subjected to a magnetic field, the hydrogen bonds between water molecules become weakened, and the water molecule clusters break down into smaller ones. This allows for the water to more easily penetrate into cement particles, causing a faster and more effective hydration process. In order to assess the effect of magnetic water on curing and workability of cement past and wet concrete, also the compressive strength of condensed cement as well as concrete, first, a magnetic treatment device was designed and built in this study. The magnetic water produced was mixed with cement to make cement pastes with different water-to-cement (w/c) ratios. Curing time, workability, and compressive strength of such cement pastes were investigated. Then, using well balanced aggregates, magnetic water, cement with different proportions, and micro-silica, concrete with different mix designs were made and tested. Among the results from this study are: 1) The optimized magnetic field intensity for producing magnetic water is 0.8 to 1.0 tesla. 2) Magnetic water reduces the primary and secondary curing of cement by 50% and 19%, respectively. 3) The best compressive strengths are obtained if the water is circulated through the magnetic field for about 15 minutes, and the best workability is obtained if this time is about 65 minutes. 4) For higher proportions of cement in mix design and the application of magnetic water, the resulted concrete compressive strength may be increased by 20% and even higher. 5) In addition to enhancing the level of cement hydration, application of magnetic water takes more advantage of micro-silica in improving concrete strength. For example, the simultaneous application of micro-silica and magnetic water increases the 7-day-strength by 46% and the 28-day-strength by 39%. It is noteworthy that if one were to choose either application of micro-silica or the magnetic water for enhancing the concrete compressive strength, results here show that the application of micro-silica is slightly more effective. In general, the application of magnetic water increases the speed of concrete strengthening and/or the hydration process. In fact the rate of this strengthening for the 7-day-concrete is much more than that for the 28-day-concrete.

Keywords: Magnetic water, concrete with magnetic water, compressive strength, workability, micro-silica.

* Corresponding Author: rahgozar@eng.ui.ac.ir