

بررسی خواص بتن حاوی آب مغناطیسی و ترکیب زئولیت و دوده سیلیس در حالت تازه و سخت شده

سید یاسین موسوی^۱، جواد پور شافع^۲

۱- استادیار، دانشگاه گلستان

۲- کارشناسی ارشد- مهندسی عمران -سازه - موسسه آموزش عالی غیردولتی - غیرانتفاعی پویندگان دانش

Mohammad_ar2011@yahoo.com

چکیده

در سال های اخیر آزمایشات موفق در مورد تکنولوژی مغناطیسی در صنعت ساختمان صورت گرفته است . که در مقوله مقاوم سازی و مهندسی ارزش در صنعت ساختمان حائز اهمیت است ، در بعضی مقوله ها در تولید بتن و دیگر مواد ساختمانی ، کمبود آب شیرین ، وجود دارد و مشاهدات و تجربیات در این سالها نشان می دهد که سیستم های مغناطیسی به ما اجازه استفاده از آب شور و حتی آب دریا را می دهد.

امروزه آب مغناطیسی در زمینه های مختلفی مانند کشاورزی ، بهداشت و درمان ، ساخت و ساز و صنایع نفتی بکار می رود. در این پایان نامه به ارزیابی و مقایسه آزمایشگاهی بتن حاوی آب مغناطیسی و آب معمولی به همراه نسبت های مختلف دوده سیلیس و زئولیت پرداخته خواهد شد ؛ همچنین آزمایش های بتن در حالت سخت شده شامل مقاومت فشاری ، مقاومت کششی ، مقاومت الکتریکی ، مدول الاستیسیته و جذب آب بررسی خواهد شد .

کلمات کلیدی: آب مغناطیسی، زئولیت، مقاومت فشاری، مقاومت الکتریکی، مدول الاستیسیته

۱. مقدمه

به علت ساختار متخلخل و زنجیره ای ذرات زئولیت، جایگزینی بخش از سیمان با این ماده با کاهش روانی بتن و افزایش نیاز آبی مخلوط همراه است. علاوه بر این استفاده ترکیب سه جزئی مواد سیمانی در مخلوط های سیمانی با افزایش نیاز آبی مخلوط از یکسو و همچنین خطر کلوخه شدگی و عدم توزیع یکنواخت مواد سیمانی همراه خواهد بود. از این روی جستجوی راهکاری که امکان کاهش نیاز به آب و به تبع آن حفظ نسبت آب به مواد سیمانی پایین جهت تامین ارتقای خواص مکانیکی و دوام بتن را محقق کند و بصورت توامان توزیع و پراکندگی ذرات مواد سیمانی را نیز به دست دهد مورد نظر خواهد بود.

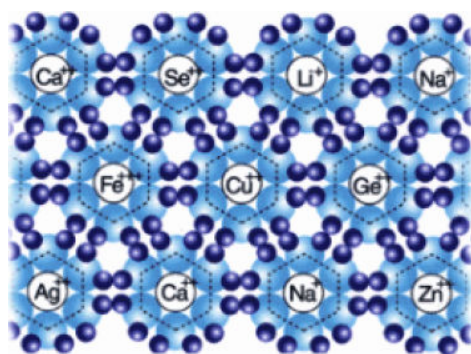
زئولیت از شمار مواد معدنی ارزان قیمتی محسوب می گردد که طی مطالعات انتشار یافته در سال های اخیر، عملکرد پوزولانی آن در ترکیب های سیمانی به اثبات رسیده است.

همچنین استفاده از این ماده معدنی به عنوان جایگزین بخشی از سیمان منجر به کاهش مصرف سیمان و در نتیجه کاهش مصرف انرژی و آلودگی زیست محیطی خواهد شد که از منظر نیل به اهداف توسعه پایدار شایان توجه است.

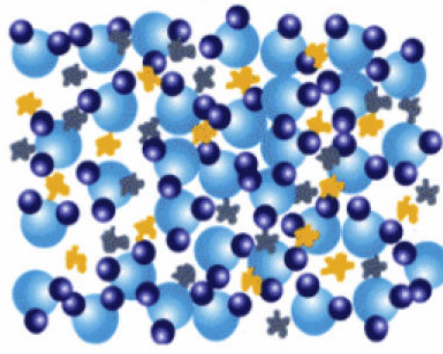
دوده سیلس به عنوان یکی از پوزولانهای فعال بعنوان جایگزین بخشی از سیمان مطرح می باشد که در ساخت بتن های با عملکرد بالا توسعه یافته اند. دوده سیلس بصورت دومتزوره ضمن اینکه به عنوان یک پوزولان فعال مطرح می باشد، نقش پرکنندگی در بتن را ایفا می کنند. دوده سیلس از درصد بالای سیلس برخوردار است که در نمونه های بسیاری بیشتر از ۹۰ درصد گزارش شده است، ریزی بالای ذرات، دیگر دلیل عملکرد ویژه این ماده است. علی رغم این مزایا، استفاده گسترده از دوده سیلس در تولید بتن با توجه به قیمت بالای این ماده و به دلیل ملاحظات اقتصادی با محدودیت مواجه است.

به علت دو قطبی بودن مولکول آب، وقتی تحت میدان مغناطیسی قرار میگیرد در راستای میدان قرار گرفته و فرم مولکول کشیده تر 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 دسته هایی 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 جدا شدن و رسوب بیشتر املاح موجود در آب و سبکتر شدن آن می گردد [۱].

آب مغناطیسی به علت اینکه آب از جریان مغناطیسی عبور می کند ملکول های آب منظم شده و با کاهش اجماع ملکولی نفوذ آب به ذرات فاز سه کلسیم سیلیکات افزایش یافته و گیرش با سرعت بیشتری انجام می شود و این امر باعث می شود هیدراتاسیون به طور کامل انجام شود. وقتی هیدراتاسیون به طور کامل انجام شود آب هیدراته نشده درون بتن کمتر می شود و حفره های خالی جهت حمله یون های مزاحم بجای نمی ماند و در نتیجه دوام بتن افزایش می یابد. شکل ۱ تغییر آرایش و ساختار ملکول آب را نشان می دهد که این تغییر کاهش نفوذ پذیری، کاهش کشش سطحی و افزایش مقاومت الکتریکی بتن را به دنبال دارد [۲ و ۳].



ب- ساختار نامنظم



الف- ساختار منظم شده آب

شکل ۱- تغییر آرایش و ساختار ملکول آب [۴]

۱-۱- اثر آب مغناطیسی روی خمیر سیمان

آب نامناسب در گیرش سیمان تاثیر گذاشته و اختلالانی را به وجود می آورد و سبب می شود که سیمان دیر گیر شود. همچنین بر مقاومت بتن اثر نامطلوب گذاشته و باعث افت مقاومت بتن می گردد. سبب بروز لکه هایی در سطح بتن نیز می گردد. همانطور که گفته شد، میدان مغناطیسی آرایش

مولکول های آب را منظم می سازد و تعداد اجتماع مولکول ها را در آب کاهش داده و باعث جدا شدن بیشتر مولکول ها از یکدیگر می شود. این پخش شدگی سبب می شود که تعداد مولکول های شرکت کننده در واکنش افزایش یابند. مقدار آب مصرفی در سیمانی که با آب مغناطیسی تولید می شود کمتر از سیمانی که با آب معمولی ساخته می شود است. این کاهش در میزان آب مزایای بسیاری در بتن دارد همچنین در آب مغناطیسی به دلیل اجتماع کوچکتر مولکول های آب، این مولکول ها به راحتی در بین ذرات سیمان قرار گرفته و در نتیجه فرآیند هیدراتاسیون بهتر و کامل تر انجام می شود.

۱-۲- مروری بر مطالعات

Nan و Chea-fang، در سال ۲۰۰۲ تاثیر استفاده از آب مغناطیسی بر بتن و ملات را مورد بررسی قرار دادند و نتایجی را به شرح زیر ارائه دادند [۵]:

- ۱- اثر عمل آوری بتن و ملات با استفاده از آب مغناطیسی و بدون آن یکسان است.
 - ۲- با وجود ثابت بودن نسبت آب به سیمان (W/C)، نتایج نشان می دهد، استفاده از آب مغناطیسی تولید شده در میدان های با انرژی مختلف، مقاومت فشاری بتن و ملات را افزایش می دهد که این مسئله نشان از بهبود فرایند هیدراتاسیون سیمان با استفاده از آب مغناطیسی است.
 - ۳- برای یک نسبت آب به سیمان (W/C) ثابت، روانی بتن با آب مغناطیسی بیش از روانی آن بدون آب مغناطیسی است.
- هم چنین نتایج پژوهش های قبلی توسط محققین نشان می دهد استفاده از آب مغناطیسی به جای آب معمولی، میزان آب مصرفی را تا ۱۰٪ کاهش می دهد، مقاومت فشاری بتن با آب یونیزه بیشتر از بتن با آب معمولی بوده و مقاومت فشاری ۲۸ روزه ی بتن را تا ۱۰٪ افزایش می دهد. کاهش نفوذپذیری و بهبود مقاومت در برابر سرما از دیگر مزایای استفاده از آب مغناطیسی می باشد [۶ و ۷].

saddam.M گزارش نمود که مقاومت بتن حاوی آب مغناطیسی ۱۰ تا ۲۰ درصد نسبت به بتن با آب معمولی افزایش می یابد [۸].

نتیجه تحقیقات ارائه شده توسط آقای یوسفی حاکی از آن است که مقاومت فشاری بتن خودتراکم حاوی آب مغناطیسی در نسبت های مختلف آب به سیمان بالاتر از طرح های حاوی آب معمولی می باشد. این موضوع در نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ کاملاً مشهود است به طوری که بتن های حاوی آب مغناطیسی دارای افزایش مقاومتی معادل ۲۶ درصد بیشتر از بتن خود تراکم بدون آب مغناطیسی در سن ۹۰ روز بوده و این مساله دلالت بر عملکرد مطلوب آب مغناطیسی در درازمدت نیز می باشد [۹].

آقایان رهگذر و رضایی در سال ۱۳۹۴ اثر کوتاه مدت و بلند مدت استفاده از زئولیت بر مقاومت فشاری و کششی بتن نیمه سبک با استفاده از مصالح محلی استان سیستان و بلوچستان را مورد مطالعه قرار دادند در این مطالعه پوزولان طبیعی زئولیت به عنوان ماده جایگزین بخشی از سیمان با درصد های مختلف ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد مورد استفاده قرار گرفته است و اثرات کوتاه مدت و بلند مدت آن بر مقاومت فشاری و کششی بتن نیمه سبک در سنین ۳، ۵۶ و ۹۰ روزه مورد بررسی قرار گرفته و با نمونه شاهد مقایسه گردیده است. نتایج نشان می دهد مقاومت فشاری در نمونه های بتن نیمه سبک در سنین ۳ و ۹۰ روز تا ۱۰ درصد زئولیت افزایش یافته و سپس روند کاهشی دارد اما در نمونه های ۵۶ روزه این حداکثر مقاومت مربوطه به نمونه های آبی ۱۵ درصد زئولیت می باشد [۱۰].

آقای خورشیدی و همکاران اثر آب مغناطیسی بر روی برخی از خواص بتن تازه و سخت شده را بررسی نموده اند که نتایج آزمایشات انجام یافته آنان نشان می دهد شدت میدان، جهت میدان، دبی آب عبوری، زمان عبور آب از دستگاه و میزان و نوع ذرات کلونیدی تاثیر مستقیمی بر خواص آب مغناطیسی دارند و استفاده از این نوع آب در ساخت خمیر سیمان، روانی و مقاومت آن را به صورت نسبی تا حدود ۱۰ درصد بهبود می بخشد [۱۱].

۲. برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- مصالح مورد استفاده

سیمان مورد استفاده جهت ساخت نمونه ها از نوع پرتلند تیپ دو تولید شده در کارخانه ی سیمان دیلمان بوده که دارای توده ی ویژه ی ۳۱۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب می باشد.

دوده ی سیلیس استفاده شده در این طرح، تولید کاخانه ی صنایع فرو آلیاژ ایران (ازنا) می باشد. زئولیت مورد نظر در این تحقیق از زئولیت معدن افتر سمنان محصول شرکت افردن توسکا استفاده شد.

آب مصرفی در این پژوهش از آب شرب محل آزمایشگاه در شهر لاهیجان تأمین شده است و معیارهای توصیه شده توسط ASTM D 1129 را رعایت می نماید. به دلیل اینکه آب از لحاظ آشامیدنی مشکل خاصی ندارد، لذا از آن می توان برای ساخت بتن نیز استفاده نمود.

شن مصرفی در این تحقیق از نوع مصالح شکسته با درصد خاک ۰/۵٪ بوده که وزن مخصوص ظاهری اشباع با سطح خشک آن ۲/۶۵ می باشد. ماسه مصرفی نیز از نوع رودخانه ای و از اندازه ی ۴/۷۵-۰ میلی متر تشکیل شده بود. وزن مخصوص ظاهری آن در حالت اشباع با سطح خشک ۲/۷۵ می باشد.

۲-۲- طرح اختلاط نمونه های ساخته شده

در این مطالعه برای طراحی اختلاط بتن حاوی آب مغناطیسی ابتدا طرح اختلاطی بعنوان طرح اختلاط اولیه (شاهد) در نظر گرفته شد. سپس با توجه به تغییر در میزان مصالح مصرفی از قبیل سنگ دانه ها، سیمان، دوده سیلیس و ژئولیت پنج طرح اختلاط با نسبت آب به سیمان ۰/۳۸ تهیه گردید. نسبتهای طرح اختلاط ها در جدول ۱ نشان داده شده است. نحوه کدگذاری طرح ها به صورتی در نظر گرفته شده است که بیانگر نام و مقدار پوزولان استفاده شده در طرح باشد به عنوان مثال طرح Z15-S10 به معنای طرح اختلاط حاوی ۱۵٪ ژئولیت و ۱۰٪ دوده ی سیلیس می باشد. ضمن اینکه در در هنگام استفاده از آب مغناطیسی به جای آب معمولی از حرف M در اول نام طرح استفاده گردید.

جدول ۱- جزئیات طرح اختلاط های انجام شده

کد طرح	سیمان	آب	دشت دانه	ریزدانه	دوده سیلیس	ژئولیت
	(Kg/m ³)	(Kg/m ³)	(Kg/m ³)	(Kg/m ³)	(Kg/m ³)	(Kg/m ³)
0	۴۰۰	۱۵۲	۹۹۵	۸۴۷	۰	۰
Z5-S5	۳۶۰	۱۵۲	۱۰۱۰	۸۵۲	۲۰	۲۰
Z10-S10	۳۲۰	۱۵۲	۹۸۵	۸۳۰	۴۰	۴۰
Z15-S10	۳۰۰	۱۵۲	۹۸۰	۸۲۶	۶۰	۴۰
Z10-S15	۳۰۰	۱۵۲	۹۸۰	۸۲۶	۴۰	۶۰
Z15-S15	۲۸۰	۱۵۲	۹۷۶	۸۲۳	۶۰	۶۰

۲-۳- نحوه عمل آوری

کلیه نمونه ها پس از ساخته شدن، در محیط آزمایشگاه به مدت ۲۴ ساعت طبق ASTM C511 نگهداری شدند، سپس پس از باز کردن قالب جهت انجام آزمایش های مورد نظر در سنین مختلف در مخزن حاوی آب ۲±۲۰ درجه سانتیگراد، عمل آوری شدند.

۲-۴- آزمایشهای انجام شده

آزمایشهای اسلامپ، مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مدول الاستیسیته و مقاومت الکتریکی جهت سنجش خواص بتن انجام گرفت.

۳. نتایج

۳-۱- نتایج آزمایشهای بتن تازه

۳-۱-۱- نتایج آزمایش اسلامپ و نیاز به مصرف فوق روان کننده

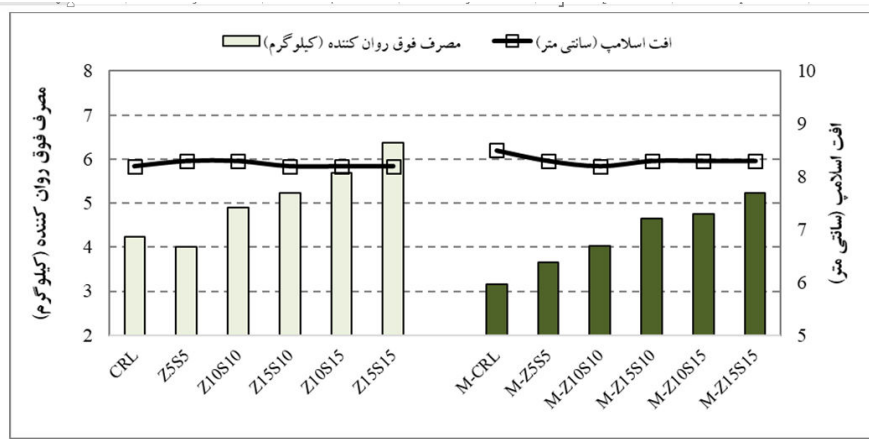
در این مطالعه نسبت آب به مواد سیمانی در همه طرح های اختلاط ثابت در نظر گرفته شد از این روی با مصرف مقادیر متفاوت افزودنی فوق روان کننده، افت کارایی مخلوط تازه جبران و در نهایت عدد افت ارتفاع در آزمایش اسلامپ برای همه طرح ها در محدوده ثابت ۸ تا ۹ سانتی متر حفظ شد.

بر این اساس تغییرات میزان مصرف فوق روان کننده بطور غیرمستقیم معرف نیاز آبی مخلوط و به تعبیری اثرکاهندگی مواد پوزولانی مورد کاربرد در طرح اختلاط می باشد. تغییرات مقادیر مصرف فوق روان کننده و افت ارتفاع در آزمایش اسلامپ در جدول ۲ و نمودار شکل ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- نتایج آزمایش جریان اسلامپ و تغییرات مصرف فوق روان کننده

		کد طرح	خواص بتن تازه	
			مصرف فوق روان کننده (کیلوگرم)	افت اسلامپ (سانتی متر)
G1	1	CRL	4.236	8.2
	2	Z5S5	4.01	8.3
	3	Z10S10	4.896	8.3
	4	Z15S10	5.236	8.2
	5	Z10S15	5.693	8.2
	6	Z15S15	6.365	8.2
G2	7	M-CRL	3.151	8.5
	8	M-Z5S5	3.651	8.3
	9	M-Z10S10	4.02	8.2
	10	M-Z15S10	4.65	8.3
	11	M-Z10S15	4.752	8.3
	12	M-Z15S15	5.233	8.3

مقایسه نتایج نشان می دهد که با افزایش مقادیر مصرف مواد پوزولانی، به تناسب، مقادیر مصرف فوق روان کننده در جهت جبران کاهش روانی بروزیافته افزایش می یابد. به طوری که در طرح های اختلاط گروه اول که با آب متعارف ساخته شده اند، وقتی که وزن مجموع مواد سیمانی از ۰ (CRL) به ۱۰ (Z5S5)، ۲۰ (Z10S10)، ۲۵ (Z15S10)، ۳۰ (Z10S15) و ۳۰ (Z15S15) افزایش می یابد، مصرف فوق روان کننده از ۴/۲۳۶ به ترتیب به ۴/۰۱، ۴/۸۹۶، ۵/۲۳۶، ۵/۶۹۳ و ۶/۳۶۵ کیلوگرم بر مترمکعب افزایش پیدا خواهد کرد. همچنین قابل ذکر است در مقایسه طرح های حاوی مقادیر مساوی مواد پوزولانی یعنی طرح Z15S10 و طرح Z10S15، بیشترین مقادیر مصرف فوق روان کننده برای طرح Z10S15 یعنی مخلوط حاوی مقادیر بیشتر دوده سیلیس ثبت شده است. علت کاهش کارایی بیشتر ناشی از مصرف مقادیر مشابه دوده سیلیس در مقایسه با زئولیت را میتوان سطح ویژه بیشتر ذرات دوده سیلیس و اندازه کوچکتر این ذرات دانست که موجب جذب مقادیر بیشتری از آب اختلاط در سطح ذرات شده و به تبع آن نیاز مصرف بیشتر افزودنی فوق روان کننده جهت جبران کاهش کارایی را ضرورت می بخشد. اما مقایسه اصلی این بخش به تفاوت کارایی (میزان مصرف فوق روان کننده) در طرح های گروه حاوی آب متعارف و طرح های متناظر گروه ساخته شده با آب مغناطیسی اختصاص دارد. مطابق نتایج در مقایسه یک به یک طرح های دو گروه مشاهده می گردد که بکارگیری آب مغناطیسی موجب کاهش میزان مصرف فوق روان کننده شده است. این کاهش به معنی افزایش روانی مخلوط ها در نتیجه بکارگیری آب مغناطیسی در ساخت بتن می باشد.



شکل ۲- نتایج آزمایش جریان اسلامپ و تغییرات مصرف فوق روان کننده

۲-۳- نتایج آزمایشهای بتن سخت شده-خواص مکانیکی

۱-۲-۳- نتایج آزمایش مقاومت فشاری

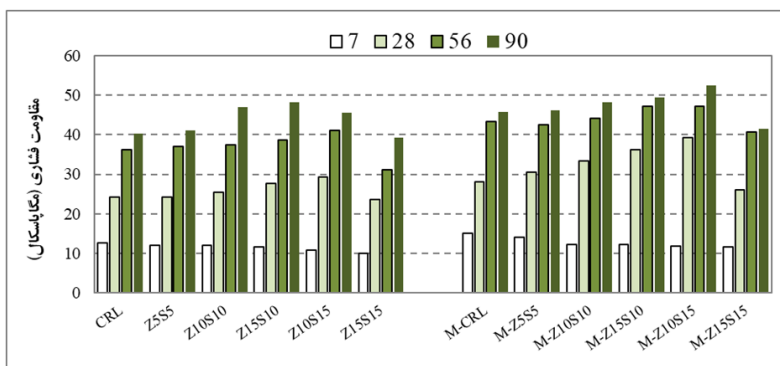
در طرح های حاوی آب متعارف، جایگزینی سیمان با هر یک از ترکیب های مواد پوزولانی، در سن ۷ روز، با کاهش مقاومت فشاری نسبت به طرح شاهد همراه بوده است. کمترین مقادیر مقاومت فشاری در این سن ۱۰ مگاپاسکال، در نتیجه بیشترین میزان جایگزینی سیمان یعنی طرح Z15S15 که حاوی ۳۰ درصد مواد پوزولانی نسبت به مجموع مواد سیمانی می باشد به دست آمده است.

مقایسه طرح های حاوی مقادیر مشابه مواد پوزولانی، کسب مقاومت بیشتر در طرح حاوی مقادیر بیشتر دوده سیلیس را نشان می دهد. بطوری که مقاومت فشاری ۷ روزه طرح Z15S10 برابر ۱۱/۵ مگاپاسکال در مقایسه با عدد ۱۰/۸ مگاپاسکال برای طرح Z10S15 اندازه گیری شده است. این عملکرد در نتیجه فعالیت پوزولانی بیشتر ذرات دوده سیلیس در مقایسه با پوزولان معدنی ژئولیت در سنین اولیه بروز یافته است. این افزایش مقاومت ناشی از بکارگیری مقادیر بیشتر دوده سیلیس تا سن ۵۶ روز ادامه داشته اما گذشت زمان عمل آوری تا ۹۰ روز و توسعه واکنش های پوزولانی ژئولیت کسب مقاومت بالاتری برای طرح Z15S10 در این سن را موجب شده است. با افزایش زمان عمل آوری تا ۹۰ روز، مشاهده شده است که بیشترین مقاومت فشاری برای طرح Z15S10 معادل ۴۸/۳ مگاپاسکال اندازه گیری شده است که این رقم معادل افزایش ۲۰ درصدی مقاومت فشاری در مقایسه با طرح شاهد می باشد.

جدول ۳- نتایج آزمایش مقاومت فشاری

کد طرح	مقاومت فشاری (مگاپاسکال)					
	7	28	56	90		
G1	1	CRL	12.6	24.1	36.3	40.3
	2	Z5S5	11.9	24.3	37.1	41.2
	3	Z10S10	12	25.4	37.5	47.1
	4	Z15S10	11.5	27.7	38.6	48.3
	5	Z10S15	10.8	29.3	41.1	45.6
	6	Z15S15	10	23.5	31.2	39.3
G2	7	M-CRL	15	28.1	43.3	45.9
	8	M-Z5S5	14	30.6	42.6	46.2
	9	M-Z10S10	12.2	33.3	44.2	48.2
	10	M-Z15S10	12.2	36.2	47.2	49.4
	11	M-Z10S15	11.8	39.2	47.3	52.6
	12	M-Z15S15	11.6	26.1	40.8	41.5

مقایسه نتایج مقاومت فشاری در طرح‌های حاوی آب متعارف و مغناطیسی، افزایش مقاومت بتن در اثر بکارگیری آب مغناطیسی را نشان می‌دهد. در سن ۲۸ روز مقاومت فشاری طرح‌های CRL، Z5S5، Z10S10، Z15S10، Z10S15 و Z15S15 در نتیجه بکارگیری آب مغناطیسی به ترتیب با افزایش ۱۷، ۳۱، ۳۱، ۳۴ و ۲۶ درصد همراه است. کمترین میزان افزایش مقاومت در طرح M-Z15S15 اندازه‌گیری شده است، به نظر می‌رسد مقادیر بالای مواد پوزولانی بیش از پتانسیل فراورده‌های حاصل از هیدراتاسیون بوده و این نقصان حتی با بکارگیری آب مغناطیسی هم قابل بهبود نخواهد بود. همچنین در طرح فاقد مواد پوزولانی (CRL)، با توجه به عدم تغییر در نسبت آب به سیمان، اثرگذاری آب مغناطیسی تنها به افزایش توزیع بهتر ذرات سیمان و استفاده بهینه از سیمان در واکنش‌های هیدراتاسیون محدود شده و میزان افزایش مقاومت معادل ۱۷ درصد اندازه‌گیری شده است. این در حالی است که توزیع بهتر مواد پوزولانی در نتیجه بکارگیری آب مغناطیسی نشانگر اثرگذاری بیشتر این تکنولوژی در طرح‌های حاوی مواد پوزولانی می‌باشد.



شکل ۳- نتایج آزمایش مقاومت فشاری

نکته قابل توجه در مقایسه نتایج طرح‌های حاوی آب متعارف و مغناطیسی، چگونگی اثرگذاری دوده سیلیس بر شاخص مقاومت فشاری می‌باشد. در حالیکه در گروه طرح‌های ساخته شده با آب متعارف در سن ۹۰ روز (با میزان یکسان زئولیت) در طرح‌های Z10S15 و Z15S15، با افزایش مقادیر بکارگیری دوده سیلیس، مقاومت فشاری از ۴۷/۱ به ۴۵/۶ کاهش می‌یابد اما در طرح‌های ساخته شده با آب مغناطیسی، مقاومت فشاری ۹۰ روزه طرح‌های Z10S15 و Z15S15، به ترتیب ۴۸/۲ و ۵۲/۶ مگاپاسکال اندازه‌گیری شده اند که این نتایج نشانگر کسب مقاومت فشاری بالاتر در نتیجه افزایش مقادیر مصرف دوده سیلیس از ۱۰ به ۱۵ درصد می‌باشد. بر اساس این تفسیر، به نظر می‌رسد در گروه طرح‌های اختلاط ساخته شده با آب متعارف، افزایش میزان جایگزینی دوده سیلیس بیش از ۱۰ درصد وزنی سیمان در نتیجه کلوخه شدگی و ضعف در پراکندگی در خمیر، به دلیل عدم امکان شرکت در واکنش‌های پوزولانی، اثر مثبتی بر خواص بتن سخت شده ندارد لیکن در طرح‌های حاوی آب مغناطیسی، امکان پراکندگی ذرات دوده سیلیس فراهم آمده و در نتیجه، افزایش مقاومت فشاری در پی افزایش میزان مصرف دوده سیلیس قابل کسب می‌باشد.

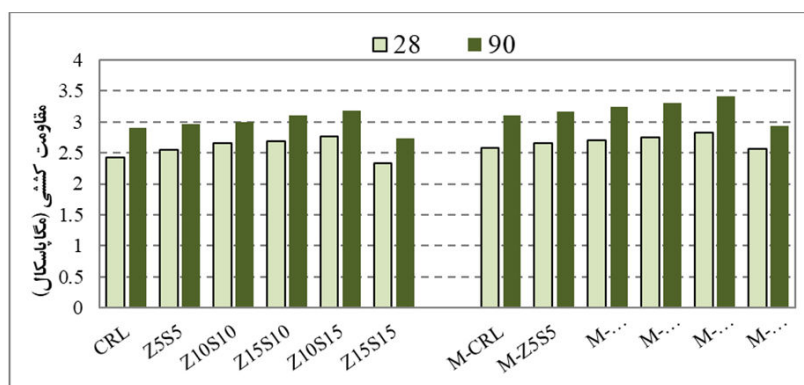
۳-۲-۲- نتایج آزمایش مقاومت کششی

مشابه با نتایج آزمون مقاومت فشاری، مقاوت کششی آزمون‌های ساخته شده از هر طرح اختلاط در سن ۹۰ روز، با افزایش مقادیر مصرف مواد پوزولانی، افزایش می‌یابد. البته طرح Z15S15 به دلیل بروز کلوخه شدگی و توزیع نامناسب مواد پوزولانی از یک سو و عدم کفایت مقادیر حاصل از واکنش‌های هیدراتاسیون جهت مشارکت در واکنش‌های پوزولانی از سوی دیگر عملکرد ضعیفتری از طرح کنترل را شاهد بوده ایم.

جدول ۴- نتایج آزمایش مقاومت کششی

		کد طرح	مقاومت کششی (مگاپاسکال)	
			28	90
G1	1	CRL	2.42	2.9
	2	Z5S5	2.55	2.97
	3	Z10S10	2.66	3
	4	Z15S10	2.69	3.11
	5	Z10S15	2.76	3.18
	6	Z15S15	2.34	2.73
G2	7	M-CRL	2.58	3.11
	8	M-Z5S5	2.66	3.16
	9	M-Z10S10	2.7	3.24
	10	M-Z15S10	2.75	3.3
	11	M-Z10S15	2.82	3.41
	12	M-Z15S15	2.56	2.93

بکارگیری آب مغناطیسی در طرح های گروه ۲، موجب افزایش مقاومت کششی در مقایسه یک به یک هر یک از طرح های حاوی مقادیر و نوع مواد پوزولانی مشابه، شده است. در سن ۲۸ روز مقاومت کششی طرح های CRL، Z5S5، Z10S10، Z15S10، Z10S15 و Z15S15 در نتیجه بکارگیری آب مغناطیسی به ترتیب با افزایش ۷، ۲، ۲، ۴ و ۹ درصدی همراه است. همچنین در سن ۹۰ روز مقادیر افزایش مقاومت کششی به ترتیب به ۷، ۶، ۷ و ۷ درصد می رسد. مقایسه نتایج، اثرگذاری ضعیف تر آب مغناطیسی بر شاخص مقاومت کششی در مقایسه با مقاومت فشاری را نشان می دهد.



شکل ۴- نتایج آزمایش مقاومت کششی

۳-۲-۳- نتایج آزمایش مدول الاستیسیته

نتایج اندازه گیری مدول الاستیسیته بتن، بجز طرح Z15S15 که به علت جایگزینی ۳۰ درصد از سیمان با ترکیب پوزولان ها، افت شاخص را نشان می دهد، در سایر طرح ها با افزایش همراه بوده است. در سن ۲۸ روز مدول الاستیسیته طرح های CRL، Z5S5، Z10S10، Z15S10، Z10S15 و Z15S15 در نتیجه بکارگیری آب مغناطیسی به ترتیب با افزایش ۱۰، ۱۳، ۱۱، ۴، ۱۲ و ۱۰ درصدی همراه است. بکارگیری آب مغناطیسی، موجب توزیع و پراکندگی بهتر

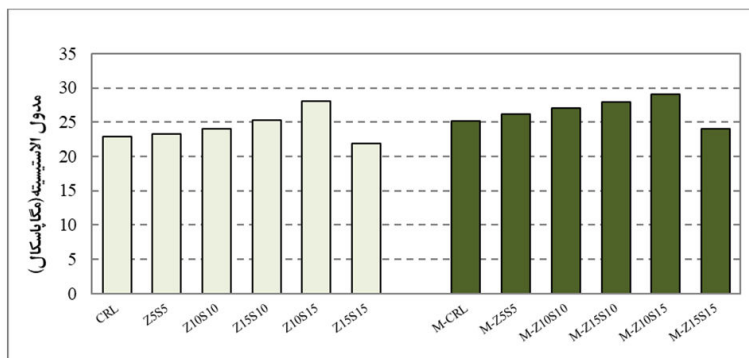
مواد پوزولانی در مخلوط بتن شده و در نتیجه دستیابی به ساختار متراکم تر بتن سخت شده را ممکن می سازد. از این روی افزایش این مواد سبب افزایش مدول الاستیسیته می شود.

در مصالح همگن بین وزن مخصوص و مدول ارتجاعی رابطه مستقیمی وجود دارد. در مصالح ناهمگن و چندفازی نظیر بتن، نسبت حجمی، وزن مخصوص و مدول ارتجاعی مواد اصلی تشکیل دهنده و مشخصات ناحیه انتقال، تعیین کننده خواص ارتجاعی ماده مرکب می باشند. از آنجا که وزن مخصوص با تخلخل تناسب معکوس دارد، عواملی که موثر بر تخلخل سنگدانه، خمیر سیمان و ناحیه انتقال می باشند بر شاخص مدول ارتجاعی اثرگذار خواهند بود. در بتن وجود ارتباط مستقیم بین مقاومت و مدول ارتجاعی از این حقیقت ناشی می شود که هر دوی این خواص در بتن تحت تاثیر تخلخل مواد تشکیل دهنده آن قرار می گیرند، هر چند که این تاثیر یکسان نیستند.

مدول ارتجاعی خمیر سیمان از روی میزان تخلخل آن تعیین می گردد. عوامل موثر در کنترل تخلخل خمیر سیمان، نظیر نسبت آب به سیمان، میزان هوا، افزودنی های معدنی و درجه هیدراتاسیون سیمان با اثرگذاری بر ساختار خمیر، نتیجه آزمون تعیین مدول ارتجاعی را متاثر می کند. بطور کلی، فضاهای خالی، ریزترک ها و بلورهای هیدروکسید کلسیم بیشتر در ناحیه انتقال، در مقایسه با خمیر سیمان، دیده می شوند و بنابراین نقش عمده ای در تعیین منحنی تنش- کرنش بتن دارند.

جدول ۵- نتایج آزمایش مدول الاستیسیته

		کد طرح	مدول الاستیسیته (کیلو نیوتون بر میلیمتر مربع / گیگاپاسکال)
			28
G1	1	CRL	22.922
	2	Z5S5	23.23
	3	Z10S10	24.015
	4	Z15S10	25.236
	5	Z10S15	28.01
	6	Z15S15	21.896
G2	7	M-CRL	25.2
	8	M-Z5S5	26.1
	9	M-Z10S10	27.1
	10	M-Z15S10	27.9
	11	M-Z10S15	29.1
	12	M-Z15S15	24.06



شکل ۵- نتایج آزمایش مدول الاستیسیته

۳-۲-۴- نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی

بتن به علت حرکت یونها داخل محیط آن، هدایت الکتریکی دارد. مقدار مقاومت الکتریکی بتن بستگی مستقیم به نفوذپذیری و شرایط بتن (یونهای موجود در مایع منفذی و نیز رطوبت بتن) دارد و مسلماً هرچه نفوذپذیری بتن بیشتر باشد، یونها به راحتی و با سرعت بیشتری میتوانند به داخل محیط بتن راه یابند. به عبارت دیگر با افزایش مقادیر یونهای موجود در مایع منفذی و افزایش میزان رطوبت (درجه اشباع بتن)، مقاومت الکتریکی بتن کاهش می‌یابد. لازم به ذکر است که مقاومت الکتریکی در حقیقت یکی از خواص ماده است که به ابعاد آن بستگی ندارد. هر قدر مقاومت الکتریکی بتن کمتر باشد، امکان حرکت یونها داخل بتن بیشتر میشود و یونها میتوانند با سرعت بیشتری داخل منافذ عبور کنند. در مقابل، بتن‌هایی که دارای مقاومت الکتریکی بالایی هستند، در برابر نفوذ یونهای مخرب مانند کلرید و شروع خوردگی عملکرد بهتری خواهند داشت. بنابراین با تعیین مقاومت الکتریکی میتوان عملکرد بتن در برابر نفوذ یون کلرید را تخمین زد. در این پروژه آزمایش مقاومت الکتریکی بر روی نمونه‌های استوانه‌ای ۱۵*۳۰ سانتیمتر در سن ۲۸ روز انجام شد. مقاومت الکتریکی نقاط مشخص بر روی سطح هر نمونه بتنی اندازه‌گیری شده و میانگین این اعداد (۴ قرانت برای هر نمونه)، به عنوان نتیجه ثبت گردید. نتایج اندازه‌گیری شده برای طرح‌های اختلاط در دور گروه ۱ و ۲ در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶- نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی

		کد طرح	مقاومت الکتریکی (کیلو اهم- سانتی متر)	
			28	90
G1	1	CRL	5.77	7.73
	2	Z5S5	9.9	21.03
	3	Z10S10	18.32	36.7
	4	Z15S10	16.67	43.65
	5	Z10S15	20.41	52.03
	6	Z15S15	8.23	68.8
G2	7	M-CRL	6.59	8.57
	8	M-Z5S5	13.79	29.06
	9	M-Z10S10	26.5	44.23
	10	M-Z15S10	22.81	57.35
	11	M-Z10S15	30.23	64.08
	12	M-Z15S15	11.91	88.27

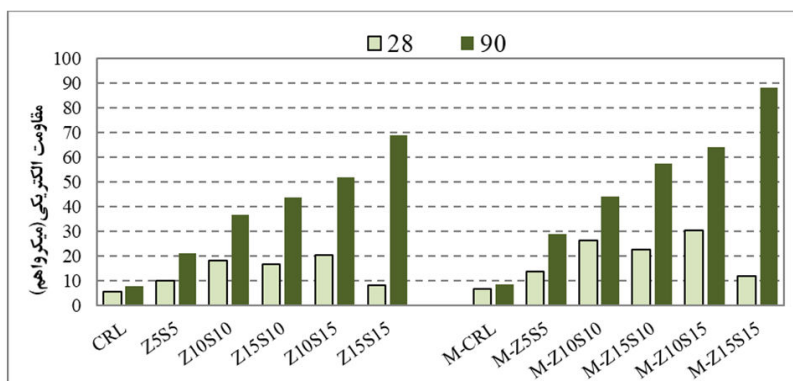
مطابق نتایج، با افزودن مواد پوزولانی در طرح‌های اختلاط، مقاومت الکتریکی بتن افزایش چشمگیری داشته است. این افزایش مقاومت با افزایش مقادیر جاگزینی مواد پوزولانی ادامه داشته بطوری که این شاخص با جایگزینی ترکیبی سیمان معادل ۱۵ درصد زئولیت و ۱۵ درصد دوده سیلیس به عدد ۶۸.۸ کیلو اهم- سانتی متر نسبت به عدد مربوط به طرح شاهد (۷.۷۳ کیلو اهم- سانتی متر) افزایش می‌یابد. درحالی که تغییرات شاخص مقاومت الکتریکی سطحی، رشد قابل توجهی در سن ۹۰ روز را نشان می‌دهد، این تغییرات در سن ۲۸ روز به مقادیر کمتری محدود شده است. وقوع تغییرات عمده در سن ۹۰ روز در نتیجه توسعه واکنش‌های هیدراتاسیون و پوزولانی در این سن است که با انسداد منافذ و ارتقای تراکم ریزساختار بتن همراه است. اما نکته قابل توجه در تغییرات اندازه‌گیری شده در سن ۲۸ روز، عملکرد طرح‌های حاوی دوده سیلیس است. دوده سیلیس به علت فعالیت بالای پوزولانی در سنین اولیه به

ترتیب در طرح های Z10S10، Z15S10 و Z10S15 ارتقای مقاومت الکتریکی در سن ۲۸ روز به مقادیر ۱۸،۳۲، ۱۶،۶۷ و ۲۰،۴۱ کیلوآمپر- سانتی متر در سن ۲۸ روز منتج شده است. مشاهده می گردد که بهترین نتیجه برای طرح حاوی ۱۵ درصد دوده سیلیس اندازه گیری شده است و همچنین در طرح های حاوی مقادیر مشابه ۱۰ درصدی دوده سیلیس، طرح حاوی مقادیر کمتر زئولیت به کسب مقادیر بیشتر مقاومت الکتریکی می انجامد. اما افزایش زمان عمل آوری تا سن ۹۰ روز کسب مقادیر بیشتر این پارامتر برای طرح های حاوی مجموع مقادیر بیشتر مواد پوزولانی را میسر می کند. این نتایج موفقیت ایده بکارگیری ترکیبی مواد پوزولانی با فعالیت بالا مانند دوده سیلیس و مواد پوزولانی طبیعی با فعالیت کمتر مانند زئولیت را نشان می دهد. در این ایده مصرف پوزولان های طبیعی با کاهش قیمت تمام شده مخلوط، دستیابی اقتصادی به پارامترهای مطلوب خواص مکانیکی و پایایی را در بلند مدت تامین نموده و از سوی دیگر مصرف دوده سیلیس کسب عملکرد مطلوب بتن سخت شده در سنین اولیه را امکان پذیر می سازد. نمودار شکل ۶ مقادیر مقاومت الکتریکی اندازه گیری شده برای طرح های اختلاط مختلف را با توجه به طبقه بندی AASHTO TP95 نشان می-دهد. مطابق نمودار افزایش درصد جایگزینی مواد پوزولانی به بیش از ۱۰ درصد موجب می شود که رده کیفی بتن بر مبنای نتایج مقاومت الکتریکی از حالت معمولی به رده نفوذپذیری کم در سن ۹۰ روز در برابر یون کلراید ارتقا یابد. اما افزایش مقادیر مواد پوزولانی به بیش از ۱۰ درصد در همه طرح ها کسب رده خیلی کم را میسر نمود.

جدول ۷- نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی

مقاومت الکتریکی (kΩ-cm)	نفوذپذیری در برابر یون کلراید
<۱۲	زیاد
۱۲-۲۱	معمولی
۲۱-۳۷	کم
۳۷-۲۵۴	خیلی کم
>۲۵۴	ناچیز

بکارگیری آب مغناطیسی در مخلوط های حاوی مواد پوزولانی با توزیع و پراکندگی بهتر مواد پوزولانی در مخلوط بتن و در نتیجه دستیابی به ساختار متراکم تر بتن سخت شده، افزایش مقاومت الکتریکی نسبت به طرح های حاوی آب متعارف را نتیجه داده است. این بهبود در طرح شاهد به ۱۱ درصد محدود شده است و تنها با افزایش مقاومت الکتریکی از ۷،۷۳ به ۸،۵۷ کیلوآمپر-سانتیمتر همراه بوده است لیکن در طرح های حاوی مواد پوزولانی از ۲۱ تا ۳۸ درصد افزایش عملکرد را موجب می گردد. این تغییرات و نقش ارتقای شاخص در اثر افزودن آب مغناطیسی به طرح های اختلاط با توجه به تمایل به کلوخه شدگی مواد پوزولانی به ویژه در مورد دوده سیلیس به دلیل اندازه ذرات، قابل توجیه خواهد بود.



شکل ۶- نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی

۴- نتیجه گیری

- ۱- مقایسه نتایج نشان می دهد که با افزایش مقادیر مصرف مواد پوزولانی، به تناسب مقادیر مصرف فوق روان کننده در جهت جبران کاهش روانی بروز یافته، افزایش می یابد.
- ۲- بکارگیری آب مغناطیسی موجب کاهش میزان مصرف فوق روان کننده شده است. این کاهش به معنی افزایش روانی مخلوط ها در نتیجه بکارگیری آب مغناطیسی در ساخت بتن می باشد.
- ۳- مقایسه طرح های حاوی مقادیر مشابه مواد پوزولانی، کسب مقاومت بیشتر در طرح حاوی مقادیر بیشتر دوده سیلیس را نشان می دهد.
- ۴- مقایسه نتایج مقاومت فشاری در طرح های حاوی آب متعارف و مغناطیسی، افزایش مقاومت بتن در اثر بکارگیری آب مغناطیسی را نشان می دهد.
- ۵- مقاومت کششی آزمون های ساخته شده از هر طرح اختلاط در سن 90 روز، با افزایش مقادیر مصرف مواد پوزولانی، افزایش می یابد.
- ۶- نتایج اندازه گیری مدول الاستیسیته بتن، بجز طرح Z15S15 که به علت جایگزینی ۳۰ درصد از سیمان با ترکیب پوزولان ها، افت شاخص را نشان می دهد، در سایر طرح ها در نتیجه بکارگیری پوزولان های دوده سیلیس و زئولیت با افزایش همراه بوده است.
- ۷- با افزودن مواد پوزولانی در طرح های اختلاط، مقاومت الکتریکی بتن افزایش چشمگیری داشته است. این افزایش مقاومت با افزایش مقادیر جایگزینی مواد پوزولانی ادامه داشته است.
- ۸- افزایش درصد جایگزینی مواد پوزولانی به بیش از ۱۰ درصد موجب می شود که رده کیفی بتن بر مبنای نتایج مقاومت الکتریکی از حالت معمولی به رده نفوذپذیری کم در سن ۹۰ روز در برابر یون کلراید ارتقا یابد. اما افزایش مقادیر مواد پوزولانی به بیش از ۱۰ درصد در همه طرح ها کسب رده خیلی کم را میسر نمود.
- ۹- بکارگیری آب مغناطیسی در مخلوط های حاوی مواد پوزولانی با توزیع و پراکنندگی بهتر مواد پوزولانی در مخلوط بتن و در نتیجه دستیابی به ساختار متراکم تر بتن سخت شده افزایش مقاومت الکتریکی نسبت به طرح های حاوی آب متعارف را نتیجه داده است.

۵- مراجع

- 1- 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).
- ۲- رمضانپور علی اکبر، شاه نظری محمد رضا، تکنولوژی بتن، تهران، دانشگاه علم و صنعت، ۱۳۹۰
- ۳- شادروان، محمد علی و ابراهیمی، فرهاد، استفاده از میدان مغناطیس فعال در تولید بتن سازه ای، اولین کنفرانس ملی صنعت بتن مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، خرداد ۱۳۹۱
- ۴- مهدی ساکی، مجتبی حاجی مهدی، محمد علی یعقوبی، بررسی استفاده از آب مغناطیسی در خواص بتن آماده در کارخانه نانو بتن امین، کنفرانس بین المللی نخبگان عمران، معماری و شهرسازی، تهران ۱۲ خرداد ۱۳۹۵
- ۵- تدوین فر غلامرضا، قلی زاده مصطفی، تاثیر آب مغناطیسی بر روی پارامترهای مقاومتی بتن، اولین کنفرانس بین المللی بتن و توسعه، ۱۰-۱۲ اردیبهشت ماه ۱۳۸۰، تهران
- ۶- رئیس محمد، ربانی ایر سالار، "بررسی تاثیر استفاده از آب یونیزه شده بر مقاومت فشاری بتن خودتراکم"، چهارمین سمینار ملی بتن خودتراکم، ۸-۹ اسفند ۱۳۹۱، تهران
- 7- G. DE. Schutter, "Guidelines for self Testing self-compacting concrete" T Europeanresearch project, september 2005.
- 8- Saddam M. Ahmad, "effect of magnetic water on engineering properties of concrete", Al-Rafidain Engineering, Vol 17, (2009).
- ۹- یوسفی سامان، رنجبر ملک محمد مدن دوست، رحمت، بررسی بتن خودتراکم حاوی آب مغناطیسی در حالت تازه و سخت شده، پایان نامه کارشناسی ارشد، سال ۱۳۹۱



دهمین کنفرانس ملی بتن
۱۵ و ۱۶ مهر ماه ۱۳۹۷
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی



- ۱۰- رهگذر رضا، رضایی عادل، اثر کوتاه مدت و بلند مدت زئولیت بر مقاومت فشاری و کششی بتن نیمه سبک با استفاده از مصالح محلی استان سیستان و بلوچستان، فصلنامه آتالیز سازه - زلزله، دوره ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴
- ۱۱- مصطفی قلی زاده، حسن افشین، نعمت خورشیدی، اثر آب مغناطیسی بر روی برخی از خواص بتن تازه و سخت شده، اولین کنگره ملی مهندسی عمران، ۲۲-۲۳ اردیبهشت ماه ۱۳۸۳، دانشگاه صنعتی شریف