اثر آب مغناطیسی بر روی مقاومت و روانی بتن های توانمند

موسی مظلوم[1*]، سید مجتبی میری[2]

۱- دانشیار، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سازه، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

چکیده

امروزه بتن یکی از مهم‌ترین و پر مصرف ترین مصنوعات تولیدی بشر است. بهبود مشخصات بتن همواره یکی از مسائل اساسی پیش روی مهندسین سازه بوده و هست. بهبود مشخصات فیزیکی آب، به عنوان یکی از عناصر اصلی بتن، یکی از راه های بهبود مشخصات بتن است. آب مغناطیسی، به آبی گفته می شود که از درون میدان مغناطیسی عبور کرده و کیفیت فیزیکی آن دچار تغییر شده است. این تحقیق به بررسی تاثیرات استفاده از آب مغناطیس شده با سیملوله حامل جریان، بر مقاومت فشاری و روانی بتن توانمند می‌پردازد. متغیرهای این تحقیق شامل شدت میدان مغناطیسی، میزان میکروسیلیس جایگزین شده با سیمان و نسبت آب به سیمان در طرح اختلاط‌های متفاوت می باشد. نتایج این تحقیق نشان می دهد که استفاده از آب مغناطیسی منجر به افزایش روانی بتن تازه به طور متوسط به میزان ۳۶٪ می‌گردد. آب مغناطیسی در ترکیب با فوق‌روان‌کننده تاثیر مثبت بیشتری نسبت به آب مغناطیسی بر روانی و مقاومت فشاری بتن دارد. نمونه‌های فاقد میکروسیلیس نسبت به نمونه های دارای میکروسیلیس تاثیر بیشتری از آب مغناطیسی پذیرفته اند. افزایش شدت میدان مغناطیسی منجر به افزایش روانی بتن و مقاومت فشاری ۲۸ و ۹۰ روزه آن می‌گردد.

کلمات کلیدی: آب مغناطیسی، مقاومت فشاری، بتن توانمند، روانی بتن ، میکروسیلیس، فوق روان کننده.

*نویسنده مسئول: موسی مظلوم
پست الکترونیکی: mazloom@srttu.edu

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹٤/۱۰/۰۸، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۵/۳۰

۱- مقدمه

بتن یکی از پرمصرف‌ترین و مهم‌ترین مواد تولیدی بشر است. امروزه مولفه‌های اصلی بتن مانند مقاومت فشاری، روانی و دوام آن به شکل گسترده‌ای مورد توجه مهندسین سازه است. افزایش مقاومت فشاری بتن مزایای زیادی از قبیل: کوچک شدن مقاطع، کاهش هزینه‌ها و آسیب‌های محیط زیستی به واسطه کم شدن مواد اولیه در بتن و افزایش دوام آن را در بر دارد. همچنین افزایش روانی بتن تازه، سهولت اجرا و امکان بتن ریزی در شرایط خاص را برای مجریان فراهم می سازد و به مهندسین طراح امکان استفاده از طرح اختلاط‌های با نسبت آب به سیمان کمتر را می‌دهد، که این امر نیز منجر به افزایش مقاومت فشاری و مزایای آن می‌گردد. در حال حاضر در کشور ما به منظور حصول مقاومت فشاری بالا عمدتاً از پوزلان ها و بالاخص میکروسیلیس که در بازار داخل به وفور یافت می‌شود و تاثیر مثبت بیشتری نیز دارد، استفاده می‌گردد [۱و۲]. تحقیقات نشان می‌دهد استفاده از مقادیر مناسب میکروسیلیس به افزایش مقاومت و دوام انواع بتن در سنین مختلف می‌انجامد [۳و٤]. همچنین به منظور افزایش روانی انواع بتن از روان‌کننده و فوق‌روان‌کننده‌ها استفاده می‌گردد. ساختار شیمیایی فوق‌روان‌کننده‌ها بر عملکرد آنها تاثیر بسیاری دارد [۵و٦]. فوق‌روان‌کننده‌هایی که بر پایه پلی کربوکسیلات می‌باشند، جدیدترین و موثرین نوع این مواد می‌باشند [۷].

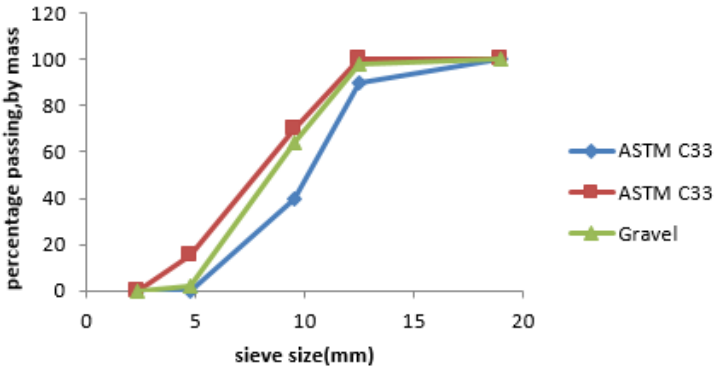
آب مغناطیسی آبی است که از درون میدان مغناطیسی عبور کرده و خواص آن تحت تاثیر قرار گرفته است [۸]. تحقیقات بسیاری در داخل و خارج از کشور بر روی تاثیر عبور آب از درون میدان مغناطیسی صورت گرفته است [۹]. یکی از تاثیرات میدان مغناطیسی بر آب عبوری از آن عبارت است از پراکنده سازی چیدمان مولکولی آب [۱۰و۱۱]، در اثر این تغییر تعداد مولکولها در یک تجمع مولکولی از ۱۳ به ۵ تا ٦ کاهش می یابد. تاثیر میدان مغناطیسی برآب از جهات مختلف مورد بررسی قرار گرفته است [۱۲و۱۳]. پراکندگی مولکولی دانه‌های آب می‌تواند منجر به افزایش مشارکت آن در فرایند هیدراتاسیون سیمان باشد. همچنین تحقیقات گسترده ای در گذشته بر روی استفاده از آب مغناطیسی بر مشخصات بتن صورت گرفته است [۲۰-۱٤]، که همه آنها در غالب موارد افزایش مقاومت فشاری و روانی بتن را نشان می‌دهد. سو و همکاران در سال ۲۰۰۰ میلادی به بررسی تاثیر استفاده از آب مغناطیسی بر مشخصات مهندسی بتن که حاوی پوزلان سرباره کوره آهن گدازی بوده پرداختند [۱٤]. در این تحقیق از چندین طرح اختلاط با میزان ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد جایگزینی با پوزلان مذکور و همچنین چندین شدت میدان مغناطیسی مختلف استفاده گردیده است. نتایج تحقیقات آنها نشان می دهد آب مغناطیس شده با شدت میدان ۰/۸، ۱/۲ و ۱/۳۵ تسلا می تواند از ۹ الی ۱۹ درصد افزایش مقاومت فشاری نشان می‌دهد. سو و همکاران همچنین در تحقیق دیگری در سال ۲۰۰۳ به بررسی موضوع بر روی بتن حاوی پوزلان خاکستر بادی پرداختند [۱۵]. در این تحقیق طرح اختلاط های پایه با نسبت آب به سیمان ٤۸۵/، ۰/٤ و ۰/۳۵ مبنای برنامه آزمایشگاهی قرار گرفته که سیمان موجود در طرح با ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد پوزلان خاکستر بادی جایگزین گردیده است. این تحقیق نشان می دهد بتن حاوی خاکستر بادی و آب مغناطیسی در کوتاه مدت کاهش مقاومت، و در بلند مدت افزایش مقاومت را نشان می‌دهد. این افزایش در خصوص شدت میدان ۰/۸ و ۱/۲ تسلا ۱۵ الی ۲۰ درصد می‌باشد. سایوا کندا و همکاران نیز در سال ۲۰۱٤ به بررسی موضوع استفاده از آب مغناطیسی و آب مقطر مغناطیسی و مقایسه نتایج آن بر روی بتن پرداختند [۱۹]. نتایج تحقیقات آنان نشان دهنده تاثیر مثبت هر دو نوع آب مغناطیسی بر روانی و مقاومت بتن است. همچنین تحقیقات آنان نشان می‌دهد آب مقطر مغناطیسی اندکی تاثیر مثبت تری در افزایش مقاومت فشاری بتن دارد. تحقیقات نعمت خورشیدی و همکاران در داخل کشور در سال ۱۳۸۳ شمسی نیز بر روی همین موضوع صورت گرفته است [۱٦]. آنان با استفاده از سه دستگاه مختلف به اعمال سه شدت میدان مختلف به آب و آب آهک و آب سیمان با دبی های مختلف عبوری از درون میدان پرداختند که نتایج آنها گاهی مثبت و گاهی نیز منفی بوده است. هر سه دستگاه از آهنرباهای دائمی ساخته شده‌اند. استفاده از آب آهک مغناطیسی باعث کاهش روانی و آب سیمان مغناطیسی و آب مغناطیسی معمولی منجر به افزایش اسلامپ نمونه ها شده است. همچنین مقاومت فشاری نمونه ها گاها دست خوش کاهش تا حداکثر ۱۲,۵٪ و غالبا مشمول افزایش تا حداکثر۲۵٪ در نمونه ۲۸ روزه گردیده است.

تحقیق حاضر به دنبال بررسی تاثیرات استفاده از آب مغناطیسی و ترکیب آن با فوق روان کننده در بتن توانمند بوده است. بدین منظور از میدان مغناطیسی تولید شده با سیم لوله حامل جریان استفاده کرده است. مزیت این نوع میدان بر میدان‌های مغناطیسی تولید شده با آهنرباهای دائمی، قابل تنظیم بودن آن و امکان تولید میدان های قویتر است ولی عیب اصلی آنها هزینه های مصرف انرژی آن می‌باشد. سه طرح اختلاط با نسبت های آب به سیمان ٤٥٪ و ٣٥ ٪ و ٢٥٪ مبنای تحقیق قرار گرفته است.

۲- برنامه آزمایشگاهی

۲-۱ مصالح مصرفی

درشت دانه مصرفی این تحقیق با توجه به نسبت های آب به سیمان نسبتا پایین در بتن های توانمند، با حداکثر اندازه اسمی دانه ها ۱۲/۵ cm و با استفاده از منحنی های دانه بندی آیین نامه C_ ASTM33 انتخاب شده است [۲۱]. در شکل ۱ دانه بندی مصالح و رواداری های آیین‌نامه‌ای ارائه شده است. ریز دانه مصرفی عبوری از الک شماره ۱۰۰ با مدول نرمی ۲/٦۲ می باشد. مشخصات سنگدانه ها در جدول ۱ ارائه شده است. آب مصرفی در ساخت نمونه ها آب شرب شهر تهران است که در ساخت برخی نمونه ها از درون میدان مغناطیسی با شدت های مختلف عبور کرده است. سیمان مصرفی از تیپ I است که خلاصه‌ای از مشخصات آن در جدول ۲ آمده است. فوق‌روان‌کننده مورد استفاده بر پایه پلی‌کربوکسیلات‌اتر می‌باشد. این محصول مایعی روان به رنگ قهوه ای روشن با وزن مخصوص ۱/۰۷ gr/cm^3 بوده و عدد قلیایی آن ٥ تا ٦ می باشد. مشخصات میکروسیلیس مصرفی در جدول ۲ آمده است.



شکل۱ : حدود دانه بندی و مشخصات درشت دانه بر مبنای آیین نامه ASTM-C33.

جدول۱ : مشخصات فیزیکی سنگدانه های طبیعی

سنگدانه	جذب آب ٪	چگالی	مدول نرمی ماسه	حداکثر قطر سنگدانه (mm)
شن طبیعی	۱/٤۲	۲/٦٤	-	۱۲/٥
ماسه طبیعی	۲/٦۳	۲/٥٥	۲/٦۲	-

جدول۲ : مشخصات فیزیکی و شیمیایی سیمان و میکروسیلیس

ترکیبات شیمیایی(٪)	سیمان	پوزلان میکروسیلیس
SiO2	۲۲/۲	۸۹/۳
AL2O3	۳/۳	۱/۲
Fe2O3	۳	۰/۷
CaO	٦۰/۳	۰/٦
SO3	۰	۰/۵
MgO	<۵	٤/۵
Na2O	۰/۱۵	۱/۱
K2O	۰/۵	۲/۱
LOI	<۳	–
خصوصیات فیزیکی		
وزن مخصوص (ton/m^3)	۱/۳۳	۰/۲٤۵
بلین (cm^2/gr)	>۲۸۰۰	–

۲-۲- طرح های اختلاط

به منظور حصول طرح اختلاط اولیه ابتدا شن و ماسه و سیمان و میکروسیلیس و فوق‌روان‌کننده به عنوان مصالح اولیه مورد نیاز تهیه گردید. سپس مشخصات هر کدام از آنها مورد مطالعه قرار گرفت و به عنوان داده های اولیه در حصول طرح اختلاط مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به مشخصات مصالح و روش‌های موجود در مراجع علمی مانند ACI 211 ، طرح اختلاط‌های اولیه‌ای برای هر سه نسبت آب به سیمان مورد نظر تهیه شد که مبنای آغاز کار قرار گرفت. طرح اختلاط‌های مذکور برای هرنسبت آب به سیمان ساخته شد و مشکلات آنان با معیار ارولوژی و اسلامپ نمونه اولیه رصد گردید و با سعی و خطا در تغییر نسبت‌ها و روش‌های اختلاط نهایتا طرح اختلاط مطلوب برای هر نسبت آب به سیمان حاصل شد. سه طرح اختلاط با نسبت‌های آب به سیمان ۰/۲۵، ۰/۳۵ و۰/٤۵ حاصل گردید که در هر کدام از آنها با جایگزین کردن ۱۰ درصد وزنی سیمان با میکروسیلیس، شش طرح اختلاط نهایی به شرح جدول ۳ حاصل شده است.

جدول۳ : طرح اختلاط های مورد استفاده در تحقیق

نسبت آب به سیمان	فوق روان کننده (kg/m^3)	میکروسیلس(kg/m^3)	سیمان (kg/m^3)	آب (kg/m^3)	ریزدانه (kg/m^3)	دشت دانه (kg/m^3)	طرح اختلاط
۰/۲۵	۲/۲۱	-	۵۲۰	۱۳۰	٦۸۵	۱۰٦۵	M1
۰/۲۵	۲/۲۱	۵۲	٤٦۸	۱۳۰	٦۸۵	۱۰٦۵	M2
۰/۳۵	۱/۷	-	۵۵۵	۱۹۵	٦٦۰	۱۰۰۰	M3
۰/۳۵	۱/۷	۵۵	۵۰۰	۱۹۵	٦٦۰	۱۰۰۰	M4
۰/٤۵	-	-	٤۸۵	۲۲۰	٦٤۰	۹٦۰	M5
۰/٤۵	-	٤۸	٤۳۷	۲۲۰	٦٤۰	۹٦۰	M6

۲-۳- آب مغناطیسی

در این تحقیق به منظور مغناطیس کردن آب از یک سیملوله حامل جریان استفاده گردیده است. جنس لوله ای که آب از درون آن عبور می کند، مس می‌باشد. علت این انتخاب ضریب تراوایی مغناطیسی تقریبا یکسان مس و آب است. اگر ضریب مذکور در مس بیشتر از

آب باشد، لوله مانند اتصال کوتاه عمل کرده و شار مغناطیسی‌ای که از درون آب عبور می کند کاهش می‌یابد. سیم لوله دارای ۳۲۵۰ دور در طول خود که ٦/٨ cm است می‌باشد و دور لوله مسی پیچیده شده است. به منظور ایجاد میدان مغناطیسی یکدست می‌بایست از جریان مستقیم استفاده نمود که این جریان توسط یک منبع تغذیه مستقیم تامین شده است. با تنظیم جریان می‌توان شدت میدان را تغییر داد. آمپراژ عبوری دستگاه برای دو میدان مختلف ۲A و ۱/٥ A می باشد. دبی عبوری آب از درون میدان مغناطیسی برابر ۰/۳ lit/min لحاظ گردیده است. شدت میدان مغناطیسی از رابطه (۱) بدست می‌آید [۲۲]:

$$B= \mu . i. n \qquad (۱)$$

در رابطه (۱) داریم:

B : شدت میدان مغناطیسی بر حسب تسلا (T).

μ : ثابت میدان مغناطیسی (T.m/A) و برابر $\mu = 4\pi * 10^{\wedge} - 7$.

I : شدت جریان عبوری از سیم‌لوله بر حسب آمپر(A).

n : چگالی سیم در واحد طول که از تقسیم تعداد سیم های دور پیچ به طول آن حاصل می شود (m/1).

بنابراین دو شدت میدان مورد استفاده در این تحقیق از روابط (۲) و (۳) بدست می‌آید:

$$B= \mu * ۱/٥ * (۳۲٥۰/۰/۰٦٨) = ۰/۰۹ T \qquad (۲)$$

$$B= \mu * ۲ * (۳۲٥۰/۰/۰٦٨) = ۰/۱۲ T \qquad (۳)$$

بدین ترتیب در این تحقیق از سه نوع آب استفاده گردیده است: آب معمولی که همان آب شرب شهر تهران می باشد: (۰W)، آب مغناطیسی تولید شده با شدت میدان مغناطیسی ۰/۰۹T: W1 و آب مغناطیسی تولید شده با میدان مغناطیسی ۰/۱۲ T : W2.

۳- نتایج آزمایش

نتایج آزمایش روانی بتن بر مبنای جریان اسلامپ در جدول ٥ آمده است. مقاومت فشاری نمونه های مکعبی به ابعاد cm^3 ۱۰×۱۰×۱۰، پس از عمل‌آوری در حوضچه آب، در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه طبق استاندارد ASTM -C 39 اندازه گیری شده است که نتایج آن در جداول ٦ الی ۸ ارائه شده است.

جدول٥ : نتایج آزمایش روانی روی بتن تازه

طرح اختلاط	نسبت آب به مواد سیمانی (W/C)	اسلامپ نمونه ساخته شده با W 0 (cm)	اسلامپ نمونه ساخته شده با W1 (cm)	اسلامپ نمونه ساخته شده با W 2 (cm)
M1	۰/۲٥	۱۷	۱۹	۲۰
M2	۰/۲٥	۰	۲	۲
M3	۰/۳٥	۱۷	۲۰	۲۳
M4	۰/۳٥	۰	۳	٤
M5	۰/٤٥	۹	۱۱	۹
M6	۰/٤٥	۰	۲	۲

جدول٦ : نتایج آزمایش مقاومت فشاری ۷ روزه

طرح اختلاط	نسبت آب به مواد سیمانی (W/C)	مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه ساخته شده با W0 (MPa)	مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه ساخته شده با W1 (MPa)	مقاومت فشاری ۷ روزه نمونه ساخته شده با W2 (MPa)
M1	۰/۲۵	۲٦	۳٤/٤	۲٦/٤
M2	۰/۲۵	۲۹	۲٦/۸	۲۷/٤
M3	۰/۳۵	۳۰/۵	۲۸/۳	۲۷/۲
M4	۰/۳۵	۲۹/٦	۲۸/٦	۲٤/۱
M5	۰/٤۵	۲۰/۸	۱۷/۵	۱۸/۱
M6	۰/٤۵	۱۹/۹	۱۹	۱۸/٦

جدول۷ : نتایج آزمایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه

طرح اختلاط	نسبت آب به مواد سیمانی (W/C)	مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه ساخته شده با W 0 (MPa)	مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه ساخته شده با W 1 (MPa)	مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه ساخته شده با W 2 (MPa)
M1	۰/۲۵	٤۷/۸	۵۹/۹	٦۱
M2	۰/۲۵	۵۳/۱	۵۸	٦۰/۲
M3	۰/۳۵	۵۰/۹	۵٦/٤	۵۹/۱
M4	۰/۳۵	۵۱/۸	۵۵/۳	۵۸/۷
M5	۰/٤۵	٤٤/۸	٤٦/٤	٤۷/۳
M6	۰/٤۵	٤۲/۱	٤٤/٤	٤٦/۲

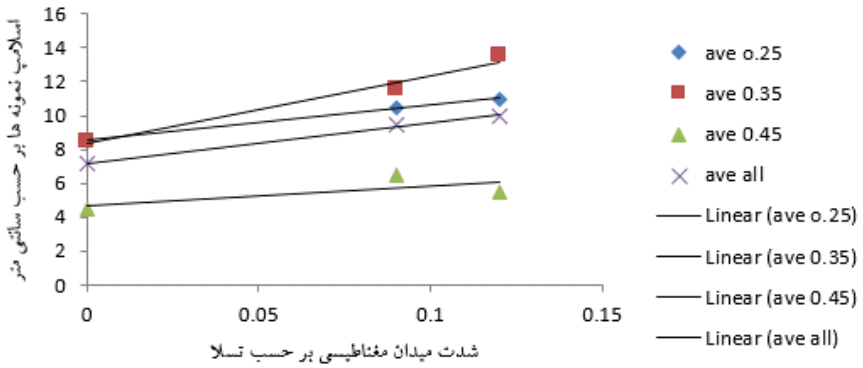
جدول۸ : نتایج آزمایش مقاومت فشاری ۹۰ روزه

طرح اختلاط	نسبت آب به مواد سیمانی(W/C)	مقاومت فشاری ۹۰ روزه نمونه ساخته شده با W 0 (MPa)	مقاومت فشاری ۹۰ روزه نمونه ساخته شده با W ۱ (MPa)	مقاومت فشاری ۹۰ روزه نمونه ساخته شده با W ۲ (MPa)
M1	۰/۲۵	۵۰/۵	٦۷/٤	٦۵/٦
M2	۰/۲۵	۵۹/۵	٦۳/۷	٦۵/۷
M3	۰/۳۵	۵٦/۲	٦۱	٦۳/۳
M4	۰/۳۵	۵۷/٤	٦۰/۲	٦۲/۱
M5	۰/٤۵	٤۹	٤۹/۳	٤۹/۸
M6	۰/٤۵	٤٤	٤٦/۳	٤۸/۵

٤-تحلیل و مقایسه نتایج

در کلیه نمونه‌های حاوی میکروسیلیس، اسلامپ نمونه‌ها صفر بوده که در نمونه‌های مشابه ساخته شده با آب مغناطیسی به طور متوسط ۲/۵cm می‌باشد. در نمونه‌های فاقد میکروسیلس متوسط افزایش اسلامپ نمونه ها ۱۹٪ می باشد. آب مغناطیسی در ترکیب با فوق‌روان کننده افزایش اسلامپ متوسط ۳۸٪ و به تنهایی افزایش اسلامپ ۳۳٪ را نشان می‌دهد. می‌توان گفت که آب مغناطیسی به موازات فوق‌روان‌کننده‌های بر پایه پلی‌کربوکسیلات عمل کرده و تاثیر آنها بر روانی بتن را افزایش می‌دهد. علت این امر را می توان در محل اثر

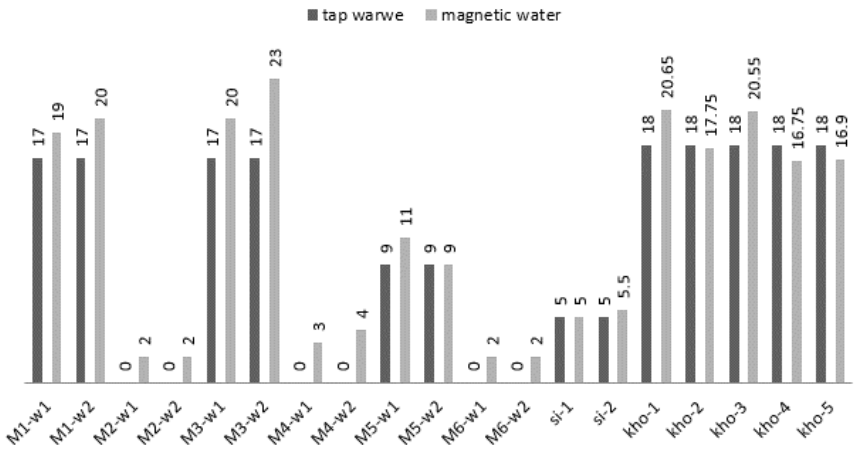
گذاری هر کدام دانست: میدان مغناطیسی بر آب و فوق‌روان‌کننده بر ذرات سیمان تاثیر می‌گذارد. شکل ۲ نمودار خطی درون یابی شده تغییرات اسلامپ میانگین نمونه ها برای متوسط هر نسبت آب به سیمان به ازای افزایش شدت میدان مغناطیسی را نشان می دهد.



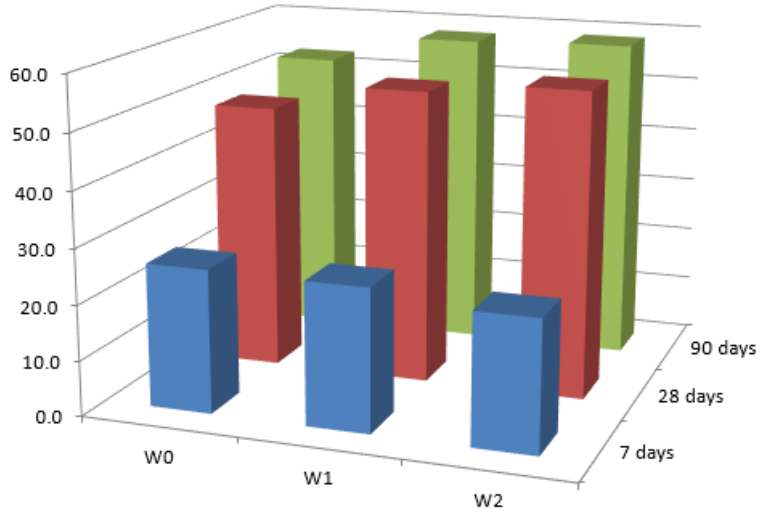
شکل۲ : رابطه شدت میدان مغناطیسی و اسلامپ نمونه ها.

در شکل ۲ مشاهده می گردد که افزایش شدت میدان مغناطیسی در کلیه نسبت‌های آب به سیمان با نرخ نسبتا یکسانی منجر به افزایش اسلامپ گردیده است. شکل ۳ نمودار مقایسه بین اسلامپ نمونه های ساخته شده با آب های مغناطیسی و آب شرب را نشان می دهد. در این شکل نتایج مستخرج از تحقیقات سایوا کندا و همکاران [۱۹] و نعمت خورشیدی و همکاران [۱۶] نیز آمده است. نتایج مربوط به تحقیق سایوا کندا با si و نعمت خورشیدی با kho نشان داده شده است.

از مقایسه نتایج تحقیق حاضر و تحقیقات فوق می توان نتیجه گرفت آب مغناطیسی غالبا اثر مثبتی برروانی انواع مختلف بتن داشته است. شکل ٤ نمودار مقایسه همزمان مقاومت های فشاری متوسط مربوط به هر کدام از انواع آب مورد استفاده را در سنین مختلف نشان می‌دهد.

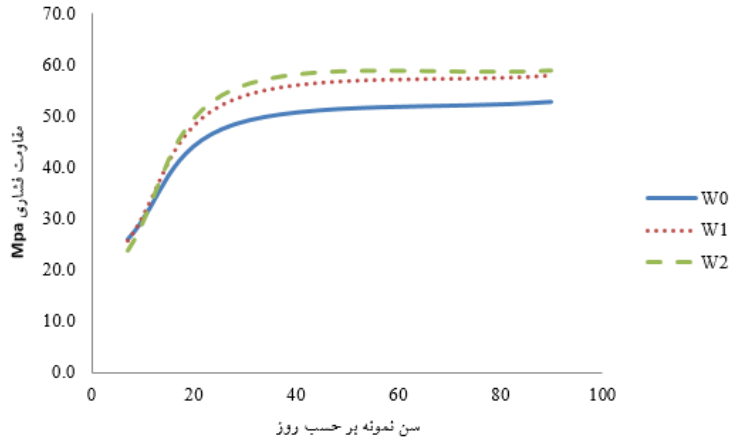


شکل۳ : نمودار مقایسه اسلامپ نمونه ها.



شکل٤ : مقاومت فشاری متوسط نمونه‌های ساخته شده با انواع آب مورد استفاده در این تحقیق در سنین مختلف (Mpa).

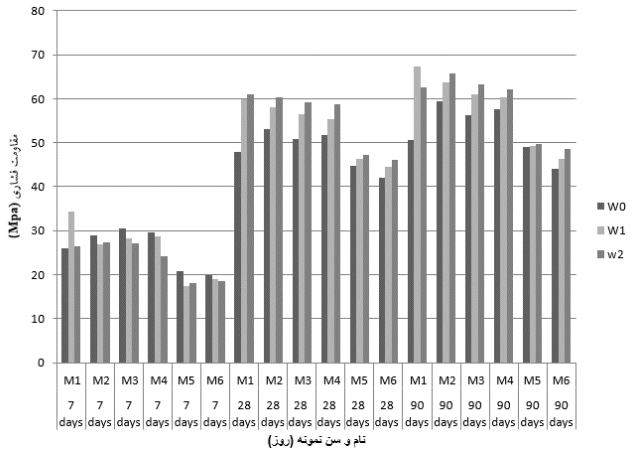
متوسط مقاومت فشاری ۷ روزه در نمونه‌های ساخته شده با W1 حدود ۱٪ و W2 حدود ۹٪ نسبت به نمونه های ساخته شده با W0 کاهش را نشان می‌دهد. این موضوع در تحقیقات مشابه پیشین نیز گزارش شده است [۱۵و۱٦]. مقاومت فشاری متوسط ۲۸ روزه در مورد W1 با حدود ۱۰٪ و در مورد W2 حدود ۱٤ ٪ افزایش را نشان می دهد. افزایش مقاومت فشاری متوسط نمونه‌های ساخته شده با W1 در سن ۹۰ روزه حدود ۱۰٪ و با W2 حدود ۱۱٪ است. می‌توان اینگونه نتیجه گرفت که آب مغناطیسی در کوتاه مدت (۷ روزه) باعث کاهش مقاومت فشاری به طور متوسط حدود ۵٪ ، در میان مدت (۲۸ روزه) و بلند مدت (۹۰ روزه) به ترتیب باعث افزایش متوسط ۱۲٪ و ۱۰٪ مقاومت فشاری بتن گردیده است. شکل ۵ نمودار افزایش مقاومت فشاری متوسط نمونه ها برای هر سه نوع آب مورد استفاده را نشان می‌دهد.



شکل۵ : نمودار افزایش مقاومت فشاری متوسط نمونه‌های ساخته شده با انواع آب مورد استفاده در این تحقیق نسبت به سن نمونه.

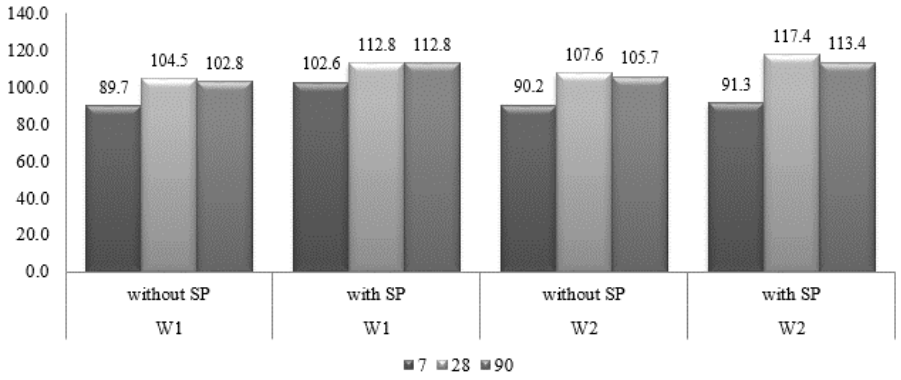
همانگونه که در شکل ۵ مشاهده می گردد نرخ افزایش مقاومت فشاری نمونه‌های ساخته شده با آب مغناطیسی نسبت به آب شرب، از ۷ تا ۲۸ روزه روند افزایشی، و از ۲۸ تا ۹۰ روزه روند کاهشی دارد. همچنین در این شکل تاثیر افزایش شدت میدان مغناطیسی بر روی مقاومت فشاری بتن نیز نشان داده شده است. همانگونه که قبلا گفته شد، شدت میدان مغناطیسی مورد استفاده در تولید آب مغناطیسی

W2 به میزان ۳۳٪ بیشتر آب مغناطیسی W1 می‌باشد. به طور کلی می توان گفت افزایش شدت میدان مغناطیسی باعث افزایش روانی و مقاومت ۲۸ و ۹۰ روزه بتن می‌گردد، اما روند افزایش مقاومت فشاری در اثر افزایش شدت میدان مغناطیسی از سن ۲۸ روزه تا سن ۹۰ روزه کاهشی است. شکل ٦ نتایج تفصیلی آزمایش مقاومت فشاری به تفکیک طرح های اختلاط ها، در سنین مختلف را نشان می‌دهد.



شکل٦ : مقاومت فشاری نمونه ها در سنین مختلف.

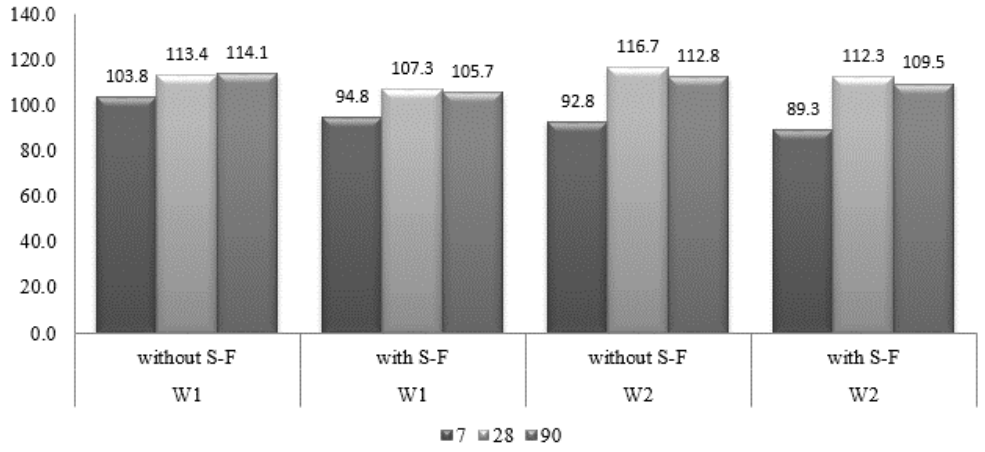
همانگونه که در شکل ٦ ملاحظه می شود، بر خلاف انتظار بتن های ساخته شدن با نسبت آب به سیمان ۰/۲۵ (M1 ,M2) نسبت به بتن‌های ساخته شده با نسبت آب به سیمان ۰/۳۵ (M3 ,M4) خیلی بهتر نبوده‌اند. علت این موضوع را می‌توان در خشکی بالا و حساسیت زیاد طرح اختلاط به نسبت های مصالح دانست. نسبت آب به سیمان ۰/۲۵ هر چند به لحاظ تئوری صحیح بوده و حداقل آب جهت تکمیل فرایند هیدراتاسیون تامین شده است، اما کار با آن بسیار سخت و حساس می باشد و تغییر اندکی در میزان یا کیفیت مصالح بتن را دستخوش تغییر می‌کند. به عنوان مثال اگر سنگدانه ها از حالت SSD اندکی خشک تر باشند، یا در نمونه های حاوی میکروسیلیس به علت جذب آب بالای آن، لجن میکروسیلیس کاملا یکنواخت و روان نباشد، امکان کمبود آب برای تکمیل فرایند هیدراتاسیون سیمان وجود دارد. این مسئله می تواند نتایج آزمایش را توجیه کند. این تحقیق ساخت بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۲۵ را توصیه نمی‌کند. شکل ۷ نمودار مقایسه نسبی درصد مقاومت فشاری نمونه های ساخته شده با آب مغناطیسی و با آب شرب را نشان می‌دهد. در این شکل نمونه‌ها به دو دسته دارای فوق‌روان‌کننده (With SP) و فاقد آن (Without SP) تقسیم شده اند.



شکل۷ : مقایسه نسبی درصد مقاومت فشاری نمونه های ساخته شده با آب مغناطیسی و با آب شرب بر اساس میزان فوق‌روان‌کننده.

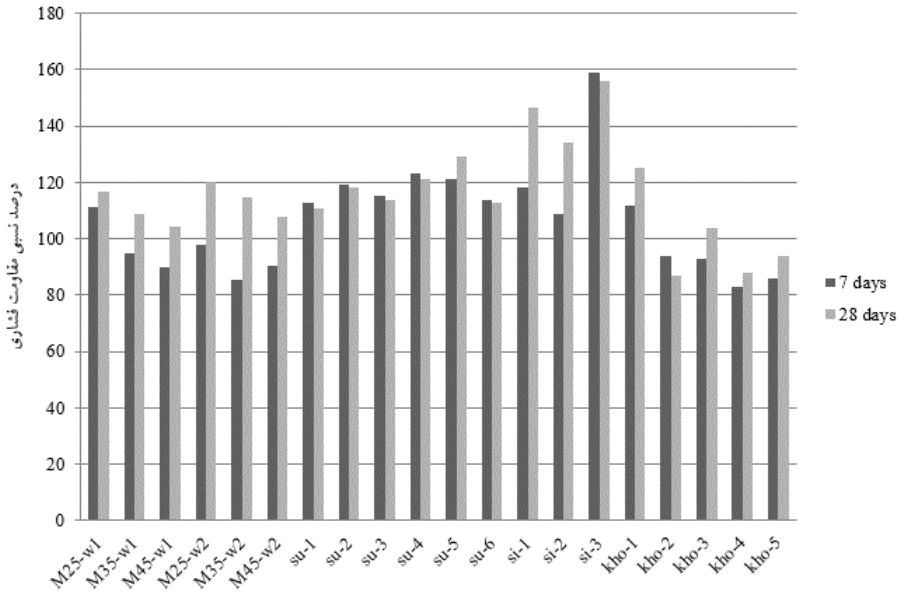
از مقایسه نتایج شکل ۷ می توان گفت که افزایش نسبی مقاومت فشاری نمونه‌های ساخته شده با آب مغناطیسی در سنین ۲۸ و ۹۰ روزه، در نمونه‌های دارای فوق‌روان‌کننده بیشتر از نمونه‌های فاقد آن می‌باشد. همچنین افزایش شدت میدان مغناطیسی باعث افزایش در مقاومت‌های مذکور در غالب نمونه‌ها می‌گردد و تاثیر این افزایش در نمونه‌های دارای فوق‌روان‌کننده اندکی بیشتر است. به طور کلی می‌توان گفت آب مغناطیسی با فوق‌روان‌کننده‌های بر پایه پلی کربوکسیلات هماهنگ بوده و تاثیرات آنها را تشدید می‌کند. شکل ۸ نیز نمودار مقایسه نسبی درصد مقاومت فشاری نمونه‌های ساخته شده با آب مغناطیسی و با آب شرب را نشان می‌دهد. با این تفاوت که در این شکل نمونه‌ها به دو دسته دارای میکروسیلیس (S-F) و فاقد آن تقسیم شده اند.

از مقایسه نتایج شکل ۸ می توان اینگونه نتیجه گرفت که افزایش نسبی مقاومت فشاری نمونه‌های ساخته شده با آب مغناطیسی در سنین ۲۸ و ۹۰ روزه، در نمونه‌های فاقد میکروسیلیس بیشتر از نمونه‌های دارای آن می‌باشد. به طور کلی می‌توان گفت وجود میکروسیلیس باعث کاهش اثر آب مغناطیسی بر مقاومت فشاری بتن می‌شود، هر چند این کاهش چشم گیر نیست.



شکل۸: مقایسه نسبی درصد مقاومت فشاری نمونه های ساخته شده با آب مغناطیسی و با آب شرب بر اساس میزان میکروسیلیس.

شکل ۹ نیز نمودار مقایسه نسبی درصد مقاومت فشاری نمونه های ساخته شده با آب مغناطیسی و با آب شرب را نشان می‌دهد. در این شکل نتایج مستخرج از تحقیقات سو و همکاران [۱٤]، سایوا کندا و همکاران [۱۹] و نعمت خورشیدی و همکاران [۱٦] نیز ارائه شده است. در شکل M35،۹ M25, وM45 به ترتیب مربوط به متوسط مقاومت فشاری نمونه های: M1 و M2، M3 و M4، M5 و M6 در این تحقیق، Su مربوط به تحقیق سو و همکاران [۱٤]، Si مربوط به تحقیقات سایوا کندا و همکاران [۱۹] و kho مربوط به تحقیق نعمت خورشیدی و همکاران [۱٦] می‌باشد. از مقایسه نتایج شکل ۹ می توان گفت استفاده از آب مغناطیس شده با انواع دستگاه‌ها و با شدت میدان‌های مختلف در بتن های متفاوت، باعث افزایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن می‌گردد. میزان این افزایش بسته شرایط آزمایش متفاوت است.



شکل۹ : مقایسه درصد نسبی مقاومت فشاری نمونه ها در سنین مختلف با سایر تحقیقات مشابه.

۵-نتیجه گیری

۱. استفاده از آب مغناطیسی در بتن‌های حاوی میکروسیلیس، باعث افزایش مقاومت فشاری ۲۸ و ۹۰ روزه به ترتیب، ۹٪ و ۷٪ شده است. این افزایش در نمونه‌های فاقد میکروسیلیس ۱۵٪ و ۱٤٪ می باشد. به طور کلی می‌توان گفت آب مغناطیسی بر روانی و مقاومت فشاری بتن‌های توانمند فاقد میکروسیلیس تاثیر مثبت بیشتری دارد.

۲. اسلامپ نمونه های ساخته شده با آب مغناطیسی بدون فوق روان کننده به طور متوسط ۳۳٪ و نمونه های حاوی فوق‌روان‌کننده ۳۸٪ رشد را نشان می دهد. همچنین مقاومت فشاری ۲۸ و ۹۰ روزه به ترتیب، ٦٪ و ٤٪ در نمونه‌های بدون فوق روان کننده و ۱۵٪ و ۱۳٪ در نمونه‌های حاوی فوق‌روان‌کننده افزایش متوسط دارد. به طور کلی می‌توان گفت آب مغناطیسی با فوق‌روان‌کننده‌های بر پایه کربوکسیلات هماهنگ بوده و تاثیرات آنها را افزایش می‌دهد.

۳. افزایش شدت میدان مغناطیسی از ۰/۰۹ به ۰/۱۲ تسلا، باعث افزایش تاثیر مثبت آب مغناطیسی بر اسلامپ و مقاومت ۲۸ و ۹۰ روزه بتن می گردد.

٤. آب مغناطیسی مقاومت ۷ روزه بتن را به طور متوسط به میزان ۵٪ نسبت به نمونه‌های ساخته شده با آب شرب کاهش می دهد. همچنین در نمونه‌های ساخته شده با آب مغناطیسی نرخ افزایش مقاومت فشاری از سن ۷ تا ۲۸ روزه افزایشی و از سن ۲۸ تا ۹۰ روزه کاهشی است.

۵. ساخت بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۲۵ مشکل و حساس بوده و نتایج آن برخلاف انتظار با افزایش چشم‌گیری نسبت به نمونه‌های ساخته شده با نسبت آب به سیمان ۰/۳۵ همراه نمی‌باشد. این موضوع در خصوص بتن‌های حاوی میکروسیلیس جدی تر می باشد.

مراجع

[1] Elahi, A. and Basheer, P.A.M and Nanukuttan, S.V, Khan, Q.U.Z.; "Mecanical and durability properties of high performance concrete containing supplementary cementitious materials"; *Construction and building materials*; 27(2010)292-299.

[2] Valipour, M and Pargar, F and Shekarchi, M and Khani, s.; "Comparing a natural pozzolan, zeolite, to metakaolin and silica fume in terms of their effect on the durability characteristics of concrete: A libratory study*". Construction and building materials*; 41(2013) 879-888.

[3] Saridemir, M.; *"Effect of silica fume and ground pumice on compressive strength and modulus of elasticity of high strength of concrete"*. *Construction and building materials*; 49 (2013) 484-489.

[4] Toutanji, H and Delatte, N and Aggoun, R and Duval, R and Danson, A; "Effect of supplementary cementitious materiaks on comperessive strength and durability of short-term cured concrete"; *Cement and Concrete Researches* 34 (2004) 311-319.

[5] Janowaska-Renkas, E.; " *The effect of superplasticizers chemical structure on their efficiency in cement pastes*"; Construction and building materials; 38(2013)1204-1210.

[6] Mardani-Aghabaglou, A and Tuyan, M and Yilmaz, G and Arioz, O and Ramyar, K.; "*Effect of different types of superplasticizer on fresh, rheological and strength properties of self-consolidating concrete*"; Construction and building materials; 47(2013)1020-1025.

[۷] اولی پور، م. عباسی دزفولی، ع. سلطانیان،م؛ ((بررسی نقش فوق روان کننده های پلی کربوکسیلات و نفتالین بر مقاومت فشاری، میزان نفوذ پذیری و دوام در برابر نمک‌ها در بتن های با عیار بالا))؛ اولین کنفرانس صنعت ملی بتن،کرمان، ۱۳۹۱

[8] "application of magnetic technologies in construction Industry".www.Magneticeast.com.

[9] Gabrielli, C. and Jaouhari, R. and Maurin, G.and Keddam, M.; "Magnetic water treatment for scale prevention"; *Water Researches* 35 No.13, (2001) 3248-3259.

[10] Al-Qahtani, H.;"Efect of magnetic treatment on gulf seawater "; *Desalination*107 (1996) 75-81.

[11] Yuanbao , Z. et al., "Physical and chemical properties of magnetized water"; *Journal of Hunan niversity*26 No1(1990).

[12] Szczes,A and Chibowski,E and Holysz,P and Rafalski,P.; "*Effect of static magnetic field on water at kinetic condition*"; *Chemical Engineering processing50* (2011)124-127.

[۱۳] عبدالصالحی،ا. بانژاد،ح. زارع ابیانه،ح. هاشمی،م ؛((برسی اثر میدان مغناطیسی در کاهش سختی آب)) ؛*یازدهمین همایش ملی بهداشت محیط*،زاهدان دانشگاه علوم پزشکی زاهدان، ۱۳۸۷.

[14] Su,N and Wu, Y.H and Mar, Ch.Y.; "Effect of magnetic water on the engineering properties of concrete containing granulated blast-furnace slag"; *Cement and concrete research30*,(2009) 556-605.

[15] Su, N. and Wu, Ch.F. and Mar, Ch.Y.; "Effect of magnetic field treated water on mortar and concrete containing fly ash "; *Cement and concrete research25*,(2003) 681-688.

[۱۶] خورشیدی،ن. و افشین، ح.و قلی زاده،م .؛ ((اثر آب مغناطیسی بر روی برخی از خواص بتن تازه و سخت شده))؛ *اولین کنگره ملی مهندسی عمران،دانشگاه صنعتی شریف*، اردیبهشت ۱۳۸۳.

[17] Honarmand Ebrahimi. F.; " THE EFFECT OF MAGNETIC WATER ON STRENGTH PARAMETERS OF ROLLER COMPACTED CONCRETE (RCC) ";. *4th International Conference on Seismic Retrofitting, Tabriz, Iran*, 2-4 May 2012.

[۱۸] قدس،ع. چهکندی، س. .؛((بررسی اثر آب مغناطیسی بر دوام بتن نیمه سبک)) ؛ *چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران*،دانشگاه تهران،۱۳۸۷.

[19] Siva Konda Reddy ,B. and Ghorpade, V. G. and Sudarsana Rao,H.; " Influence of Magnetic Water on Strength Properties of Concrete"; *Indian Journal of Science and Technology* 7No.1(2014)14–18.

[20] Su,K. and Lee ,C.; "Effect of magnetic water on mechanical properties and micro-structures of concrete" *Chin Inst Civ Hydraul Eng* 11 No.3 (1999) 175- 180.

[۲۱] احمد، اس. اچ. شاه، اچ. پی . ؛((بتن های توانمند و کاربرد آنها)) ؛ دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی،چاپ دوم،۱۳۸۶، صفحه ۲۲.

[۲۲] هالیدی، د.رزنیک، ر؛ ((*مبانی فیزیک*)) "،جلد دوم،ویرایش سوم،انتشارات مبتکران؛ چاپ اول ۱۳۷۱ ،ص ۲۱۳.