

مطالعه تاثیر سولفات منیزیم بر مقاومت سطحی بتن خود متراکم با استفاده از آزمون "پیچش"

محمود نادری^{۱*}، علی صابری ورزنده^۲، محمد رضا نصیری^۳

۱. استاد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
۲. دکتری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
۳. کارشناس ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

Profm Mahmoodnaderi@eng.ikiu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۴

چکیده

مقاومت و نفوذپذیری لایه سطحی بر دوام سازه های بتنی موثر هستند. زیرا لایه سطحی می تواند ورود مواد زیان آور به داخل بتن را محدود نماید. همچنین فقدان تراکم لایه سطحی، به دلیل مشکل بودن ویبره در فضاهای محدود، به عنوان یکی از دلایل اصلی دوام ضعیف بتن در معرض تهاجم عوامل محیطی، است. در این تحقیق با استفاده از آزمون "پیچش"، تاثیر سولفات منیزیم بر مقاومت سطحی بتن های خود متراکم مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به روش اعمال آزمون "پیچش"، این آزمون مناسب برای آزمایش های سنجش تغییرات سطحی بتن می باشد. برای ساخت بتن خود متراکم از پرکننده خاکستر بادی به مقدار ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درصد سیمان و با نسبت آب به پودر برابر ۰/۳۶ استفاده شد. همچنین یک طرح مخلوط بتن معمولی با نسبت آب به سیمان برابر ۰/۴۵ به عنوان شاهد برای بررسی تاثیر سولفات منیزیم بر مقاومت بتن خود متراکم مورد مطالعه قرار گرفتند. آزمایش های بتن خود متراکم شامل آزمایش جریان اسلامپ، زمان جریان اسلامپ ۵۰ سانتیمتر، قیف V شکل، افزایش زمان قیف V شکل (۵ دقیقه) و قالب L شکل، برای مقایسه با معیارهای پذیرش بتن خود متراکم روی نسبت های اختلاط بتن خود متراکم انجام شد. نتایج حاصله بیانگر این است سولفات منیزیم باعث کاهش مقاومت سطحی بتن معمولی به اندازه ۷/۳، ۹/۷ و ۷/۱ درصد به ترتیب در سنین ۲۸، ۷ و ۳ روز شده است. اما در سنین ذکر شده، آب سولفات نه تنها تاثیر منفی روی مقاومت سطحی بتن خود متراکم حاوی خاکستر بادی ندارد بلکه شرایط عمل آوری بهتری را برای این نمونه ها فراهم می نماید.

واژگان کلیدی: مقاومت سطحی، آزمون "پیچش"، بتن خود متراکم، سولفات منیزیم، خاکستر بادی.

۱- مقدمه

از ورود مواد زیان آور به داخل بتن جلوگیری نماید. در عمل، دوام بتن به انتخاب مصالح، ساختار بتن، نظارت در حین اجرا، تراکم، پرداخت و عمل آوری بستگی دارد. عدم تراکم مناسب بتن، به دلیل مشکل بودن ویبره در فضاهای محدود بین قالب

سولفات ها از عوامل شایع مخرب بتن در بیشتر مناطق ایران به ویژه در مناطق جنوبی کشور هستند. دوام سازه بتنی، به مقاومت و نفوذ پذیری لایه سطحی بستگی دارد. زیرا سطح بتن می تواند

ها و میلگردها و سایر ملحقات (مثلا غلاف‌های پیش تنیدگی)، باعث کاهش دوام بتن در برابر حمله مواد مضر می‌شود. به طور طبیعی، نتایج ویبره نادرست، بر کاهش دوام و افزایش نفوذپذیری بتن‌ها اثر قابل توجهی دارد. بتن خود متراکم بدون نیاز به ویبره و با داشتن مقادیر زیاد پرکننده‌ها، دارای نفوذپذیری کمتر و دوام بهتری است.

حمله سولفات‌ها به بتن یک فرایند پیچیده است. عوامل زیادی می‌توانند روی مقاومت بتن در برابر سولفات‌ها تأثیر بگذارند. از جمله این عوامل عبارتند از نوع سیمان، نوع کاتیون سولفات و مدت زمان قرار گرفتن در معرض حمله سولفات‌ها. به طور کلی حمله سولفات‌ها باعث می‌شود که یون‌های سولفات با هیدروکسید کلسیم و آلومینات کلسیم هیدراته شده واکنش نشان داده و تبدیل به اترینگایت شده که باعث انبساط، ترک خوردگی و تخریب بتن می‌شود [1-3]. برخی از پژوهشگران روی اثر خاکستر بادی بر مقاومت فشاری بتن و ملات در برابر حمله سولفات مطالعه نمودند. در یک تحقیق با افزودن ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد خاکستر بادی به بتن، تأثیر آن بر مقابله در برابر حمله سولفات‌ها مطالعه شد. نتایج نشان داد که با افزودن خاکستر بادی مقدار مقاومت فشاری که با استفاده از دستگاه جک بتن شکن بست آمده است حدود ۱۵ درصد بهبود یافته است [4]. در تحقیقی دیگر نشان داده شد که افزودن ۴۰ درصد خاکستر بادی به همراه ۲۰ درصد سرباره دارای مقاومت بیشتر حدود ۵۰ درصد نسبت به بتن حاوی فقط ۴۰ درصد خاکستر بادی است [5]. نی و همکاران^۱ [6] بررسی کردند که مواد افزودنی معدنی مانند خاکستر بادی یا مواد افزودنی اضافی می‌تواند در بتن حاوی سیمان پرتلند استفاده شده و برای بهبود دوام بتن مانند مقاومت در برابر سولفات مفید باشد. ایشان نشان دادند که افزودن ۲۵ درصد خاکستر بادی یا ۳۰ درصد سرباره دارای بیشترین تاثیر برای مقاومت در برابر حمله سولفات‌ها را دارند.

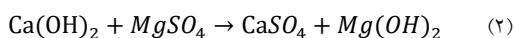
در کل حمله سولفات‌ها به محصولات سیمانی از طریق دو نوع واکنش‌های زیر صورت می‌پذیرد. واکنش اول، واکنش

ترکیب سولفات و هیدروکسید کلسیم است. محصول این واکنش سولفات کلسیم خواهد بود. محصولات واکنش، حجم بزرگتری در مقایسه با ترکیبات اولیه دارند به طوری که شکستگی در خمیر سیمان روی می‌دهد. واکنش سولفات سدیم، به صورت تعادلی می‌باشد یعنی واکنش به طور کامل به یک سمت انجام نمی‌گیرد. مطابق معادله ۱، واکنش از چپ به راست تا زمانی ادامه می‌یابد که غلظت هیدروکسید سدیم به حدی برسد که واکنش متوقف شود.

در صورت تشکیل NaOH بیشتر، واکنش از راست به چپ انجام می‌گیرد که به صورت شوره زدن روی بتن دیده می‌شود.

$$\text{Ca(OH)}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 \leftrightarrow \text{Ca}_2\text{SO}_4 + 2\text{NaOH} \quad (1)$$

واکنش سولفات منیزیم برعکس واکنش بالا مطابق معادله ۲ به صورت کاملاً یکطرفه است.



به دلیل اینکه هیدروکسید منیزیم بسیار نامحلول است واکنش یکطرفه است. در نتیجه محلول سولفات منیزیم بطور کامل با هیدروکسید کلسیم واکنش می‌دهد. یعنی پس از اتمام واکنش، ممکن است تمام هیدروکسید کلسیم آزاد به سولفات کلسیم تبدیل شده باشد. از طرفی ژل C-S-H تنها در حضور هیدروکسید کلسیم پایدار است، بنابراین سولفات منیزیم برای بدست آوردن هیدروکسید کلسیم بیشتر، سیلیکات کلسیم هیدراته را تجزیه می‌کند. یعنی در محلول‌های سولفات منیزیم نه فقط باعث انبساط و شکستگی در بتن می‌شود بلکه باعث تجزیه سریع ساختار سیلیکاتی هم است. واکنش دوم، واکنش سولفات کلسیم با هیدرو آلومینات کلسیم سیمان است. برای اصلاح این نوع سیمان می‌توان از سیمان پرتلند مقاومت در برابر سولفات یا از پوزولان‌ها استفاده نمود.

همان‌گونه که ذکر شد سولفات منیزیم از سولفات‌های دیگر مضرت‌تر است زیرا فقط با آلومینات کلسیم هیدراته واکنش نمی‌دهد بلکه در عین حال باعث می‌شود که سیلیکات‌های

کلسیم هیدراته کاملاً تجزیه شده و به یک توده ترک خورده تبدیل شوند [7-8]. به همین دلیل، در این تحقیق از سولفات منیزیم برای مطالعه تاثیر آن بر مقاومت سطحی بتن‌ها استفاده شده است.

در تحقیقی روی مقاومت فشاری ملات‌های خود متراکم حاوی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد خاکستر بادی مشاهده شد که افزایش مقدار خاکستر بادی باعث کاهش مقاومت فشاری می‌شود. البته مقاومت ملات در برابر حمله سولفات منیزیم افزایش می‌یابد [9]. در تحقیقی دیگر روی تاثیر سولفات منیزیم بر بتن خود متراکم مشاهده شد که افزودن زئولیت در مقایسه با متاکائولین به تریب باعث افزایش ۱ و ۵ برابری مقاومت بتن در برابر حملات یون‌های کلرید و سولفات منیزیم می‌شود [10].

در کل با بررسی تحقیقات مشاهده می‌شود که آسیب ناشی از واکنش‌های اجزای بتن همراه با سولفات‌ها شامل پوسته‌پوسته شدن، لایه‌لایه شدن، ترک خوردگی بزرگ و احتمالاً از بین رفتن انسجام است. در بسیاری از مقاله‌های تحقیقاتی، خراب شدن بتن در محیط سولفاته به عنوان دو پدیده طبقه‌بندی می‌شوند: حمله شیمیایی سولفات‌ها یا حمله فیزیکی سولفات‌ها. در برخی موارد نیز حمله سولفات‌ها به دو دسته آسیب‌های داخلی و خارجی طبقه بندی می‌شوند [11-13].

معمولاً مدت زمان بهره دهی مفید سازه‌های بتنی که تحت شرایط محیطی حاد قرار می‌گیرند، بسیار کمتر از مدت زمان مد نظر طراحان مربوطه است. پس برای رسیدن به مدت زمان بهره دهی قابل قبول، شناخت هرچه بیشتر میزان موثر شرایط فوق الذکر بر مقاومت و نفوذپذیری سطوح بتنی که در معرض این شرایط قرار می‌گیرند از اهمیت بالایی برخوردار هستند. در این تحقیق با استفاده از آزمون "پیچش" [14]، تاثیر سولفات منیزیم بر مقاومت سطحی (آثار خارجی) بتن‌های خود متراکم مورد بررسی قرار گرفته است. نسبت‌های اختلاط بتن خود متراکم با جایگزین کردن ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درصد سیمان با پرکننده خاکستربادی، و یک طرح مخلوط بتن معمولی به عنوان شاهد

برای بررسی تاثیر سولفات منیزیم بر مقاومت بتن خود متراکم مورد مطالعه قرار گرفتند.

در تحقیقات قبلی نیز از آزمون "پیچش" برای اندازه‌گیری مقاومت سطحی مصالح سیمانی استفاده شده است. نتایج آن‌ها نشانگر دقت بالای آزمون "پیچش" در اندازه‌گیری مقاومت بتن و ملات است. در تحقیقاتی مشخص شد که در صورت استفاده از آزمون "پیچش" برای اندازه‌گیری مقاومت سطحی بتن‌های معمولی و یافی، ضریب همبستگی بالای ۰/۹۵ بین نتایج آزمون "پیچش" با نتایج حاصل از دستگاه جک بتن شکن وجود دارد [15-16]. همچنین نتایج حاصل از آزمون "پیچش" نشان داد که با دقت بالای ۰/۹۴ می‌توان مقاومت فشاری ملات‌های اصلاح شده با پلیمر را اندازه‌گیری نمود [17]. در تحقیقی دیگر برای اندازه‌گیری مقاومت سطحی ملات‌های سیمانی معمولی با استفاده از آزمون‌های "پیچش" و "کشیدن از سطح" مشخص شد که نتایج مقاومت سطحی حاصل از هر دو روش دارای ضریب همبستگی بالای ۹۳ درصد با مقاومت کششی ملات‌ها است [18]. همچنین در تحقیقات دیگری که برای ارزیابی مقاومت فشاری ملات‌های مسلح به الیاف صورت پذیرفت مشخص شد مقاومت سطحی حاصل از آزمون‌های "پیچش" و "کشیدن از سطح" دارای همبستگی بالای ۹۲ درصد با مقاومت فشاری هستند [19].

۲- برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- مصالح مصرفی

میزان جذب آب شن و ماسه بر اساس استانداردهای شماره ۴۹۸۲ [20] و ۴۹۸۰ [21] به ترتیب برابر ۲/۶ و ۳/۲ درصد بدست آمده است. چگالی شن و ماسه در حالت اشباع با سطح خشک برابر ۲۳۳۰ و ۲۵۱۰ کیلوگرم بر متر مکعب است. دانه‌بندی سنگدانه‌ها طبق استاندارد ASTM C136 [22] انجام پذیرفت. در شکل (۱) دانه‌بندی سنگدانه‌ها نشان داده شده است.

در جدول (۲) نیز مشخصات فیزیکی سیمان تیپ ۲ قابل مشاهده است.

جدول ۲. مشخصات فیزیکی سیمان تیپ ۲

28 Days Compressive strength (MPa)	Autoclave expansion (%)	Blaine (cm ² /gr)	Initial setting (Min)	Final setting (Min)
49.2	0.21	3081	153	212

Table 2. Physical characteristics of type 2 cement

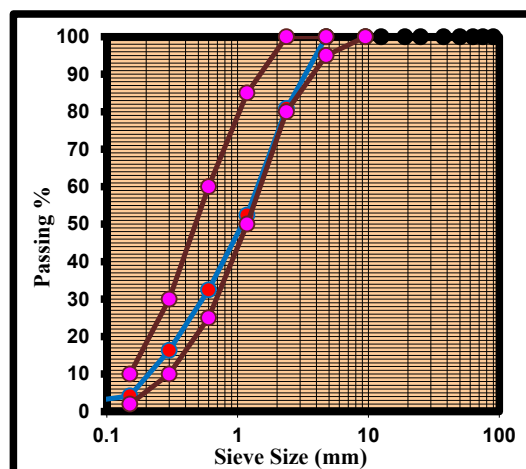
خاکستر بادی نیز طبق مشخصات ارائه شده از کارخانه فروشنده، دارای اندازه ذرات کمتر از ۱۵۰ میکرون و سطح مخصوص حدود ۱۳۰ متر مربع بر کیلوگرم است.

۲-۲- ساخت نمونه‌ها

در این تحقیق، برای ساخت بتن خود متراکم از پرکننده خاکستر بادی به مقدار ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درصد سیمان و با نسبت آب به پودر برابر ۰/۳۶ استفاده شد. همچنین یک طرح مخلوط بتن معمولی با نسبت آب به سیمان برابر ۰/۴۵ به عنوان شاهد برای بررسی تاثیر سولفات منیزیم بر مقاومت بتن خود متراکم مورد مطالعه قرار گرفت. آزمایش‌های بتن خود متراکم شامل آزمایش جریان اسلامپ، زمان جریان اسلامپ ۵۰ سانتی‌متر، قیف V شکل، افزایش زمان قیف V شکل (۵ دقیقه) و قالب L شکل، برای مقایسه با معیارهای پذیرش بتن خود متراکم انجام پذیرفت. آزمایش تاثیر سولفات منیزیم، با استفاده از محلول ۱۸ گرم بر لیتر سولفات منیزیم به انجام رسید. در پایان هر آزمایش نیز مقاومت سطحی نمونه‌ها با استفاده از آزمون "پیچش" اندازه‌گیری شده و با مقاومت نمونه‌های عمل‌آوری شده در آب مقایسه شده‌اند.

در جدول (۳) طرح مخلوط نمونه‌ها قابل مشاهده است باشد که شامل سه طرح بتن خود متراکم و یک طرح بتن معمولی است. برای ساخت بتن خود متراکم ابتدا تعداد ۱۹ طرح اختلاط اولیه ساخته شد و مقدار اسلامپ آن‌ها تعیین شد. برای ساخت نمونه‌ها از مقادیر مختلف سیمان بین ۲۹۰ تا ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب استفاده شد. همچنین مقادیر اولیه نسبت آب به پودر برای بتن‌های خود متراکم بین ۰/۳۳ تا ۰/۳۸ در نظر

شکل ۱. الف. دانه‌بندی ریزدانه‌ها



شکل ۱. ب. دانه‌بندی درشت دانه‌ها

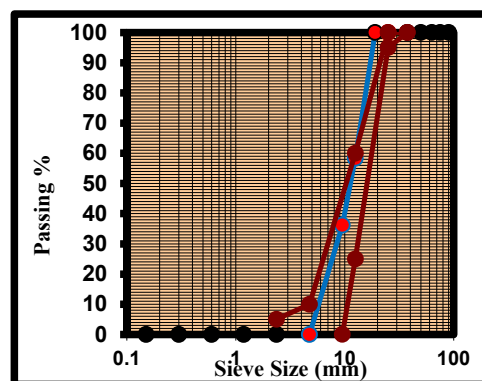


Fig. 1. The grain size distribution

مشخصات شیمیایی سیمان و خاکستر بادی مورد استفاده در جدول (۱) نشان داده شده است. سولفات منیزیم به صورت پودر جامد در بسته‌های یک کیلوگرمی تهیه شد.

جدول ۱. ترکیبات خاکستر بادی و سیمان تیپ ۲ (درصد)

Component	Fly Ash Class F	Cement Type 2
SiO ₂	61.34	21.1
Al ₂ O ₃	25.11	4.3
Fe ₂ O ₃	4.42	3.2
Sum of Oxides	90.87	28.6
CaO	4.94	63.9
MgO	1.09	2.0
Na ₂ O	0.59	0.2
K ₂ O	1.01	0.5
SO ₃	0.08	3.0
Moisture	0.03	-
Loss on ignition	0.34	1.2
Alkali as Na ₂ O	0.38	0.55

Table 1. Compositions of fly ash and type 2 cement (%)

گرفته شد. سپس با توجه به مقدار اسلامپ به دست آمده، تعداد ۹ طرح اختلاط انتخاب شد که برای رسیدن به طرح اختلاط‌های نهایی، آزمایش‌های جریان اسلامپ، زمان جریان اسلامپ ۵۰ سانتی‌متر، قیف V شکل، افزایش زمان قیف V شکل (۵ دقیقه) و قالب L شکل روی آن‌ها انجام پذیرفت. سپس با بررسی نتایج آزمایش‌ها، تعداد سه طرح اختلاط به عنوان طرح اختلاط‌های نهایی برای بتن‌های خودمتراکم انتخاب شد. با توجه به استاندارد EFNARC [23] مقدار وزن سیمان بعلاوه پرکننده‌ها باید بین ۴۰۰ تا ۶۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب بوده و مقدار آب نیز کمتر از ۲۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب باشد. پس در این تحقیق با متغیر قرار دادن مقدار پرکننده در طرح‌های

اختلاط، مقدار سیمان به علاوه پرکننده برابر ۵۳۰ کیلوگرم بر متر مکعب و مقدار آب نیز کمتر از ۲۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب انتخاب شد.

برای انجام آزمون پیچش، نمونه‌های مکعبی ۱۵ سانتی‌متری ساخته شد. یک سری از نمونه‌ها پس از ۲۴ ساعت در آب شرب و یک سری دیگر از نمونه‌ها در محلول ۱۸ گرم بر لیتر سولفات منیزیم قرار داده شدند. آزمون‌ها در سنین ۳، ۷ و ۲۸ روز انجام پذیرفت.

جدول ۳. مقادیر نسبت‌های اختلاط (کیلوگرم بر متر مکعب)

Mix Design	Water	Cement	Gravel	Sand	Fly Ash	Super plasticizer
25% Fly Ash	188	400	630	850	130	5.6
35% Fly Ash	185	345	630	850	185	5
45% Fly Ash	190	292	630	850	238	4.25
Normal Concrete	192	426	1100	700	-	-

Table 3. Mix Design Values (Kg/m³)

۳-۲- روش‌های آزمایشگاهی

برای اندازه‌گیری مقاومت سطحی نمونه‌ها از آزمون پیچش استفاده شد. در این آزمون، یک استوانه فلزی به قطر ۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۲/۵ سانتی‌متر با استفاده از چسب رزین اپوکسی، روی سطح محل انجام آزمون چسبانده می‌شود. در این تحقیق برای چسباندن استوانه‌های فولادی روی سطح نمونه‌ها از یک نوع چسب رزین اپوکسی دو جزئی با مقاومت برشی ۱۵ مگاپاسکال، مقاومت فشاری ۷ روزه برابر ۷۰ مگاپاسکال و مدول الاستیسیته ۱۲۷۵۰ مگاپاسکال استفاده شده است. پس از چسباندن استوانه فولادی روی سطح نمونه‌ها، همان‌گونه که در شکل (۲) نشان داده شده است، با به کارگیری یک پیچش سنج

دستی معمولی، به استوانه فلزی لنگر پیچشی وارد می‌شود تا جسم مورد آزمایش دچار شکست شود. مقدار قرائت انجام شده از روی ترکمر در هنگام شکست نمونه ثبت می‌شود که واحد آن کیلوگرم بر متر است. آسیب وارد شده از آزمون "پیچش" بسیار سطحی و جزئی بوده و با ایجاد شکست در خود جسم مورد آزمایش، مقاومت آن را به طور مستقیم تعیین می‌نماید.

پس از قالب‌ریزی، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت با پوشش پلاستیک در دمای اتاق قرار گرفتند. سپس به مدت یک هفته در آب عمل‌آوری شدند. سپس به مدت پنج روز در دمای اتاق قرار گرفتند. پس از این مدت نمونه‌ها دوباره به مدت ۴۸ ساعت درون آب قرار داده شدند. سپس از آب خارج شده و طول اولیه نمونه‌ها توسط کمپراتور اندازه‌گیری و ثبت شد. پس از اندازه‌گیری طول اولیه، نمونه‌ها به مدت پنج روز داخل آون با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا کاملاً خشک شوند. نمونه‌ها پس از پنج روز از آون خارج شده و بعد از رسیدن به دمای تعادل، طول آن‌ها برای بار دوم اندازه‌گیری شد. برای دفعات بعدی، نمونه‌ها هر بار به مدت ۴۸ ساعت در آون قرار گرفته و سپس طول آن‌ها اندازه‌گیری شد. طبق استاندارد این کار تا جایی ادامه پیدا می‌کند که متوسط کاهش طول نمونه‌ها به ۰/۰۰۲ درصد یا کمتر برای یک مدت شش روزه برسد.

شکل ۳. قالب‌های آماده برای بتن‌ریزی.



Fig. 3. Shrink molds

۳- نتایج و تحلیل آن‌ها

۳-۱- نتایج آزمایش‌های بتن تازه

نتایج مربوط به انجام آزمایش‌های جریان اسلامپ، زمان جریان اسلامپ، قیف V شکل، افزایش زمان قیف V شکل (۵ دقیقه) و قالب L شکل، برای نمونه‌های ساخته شده (بتن خود متراکم با ۲۵ درصد خاکستر بادی، بتن خود متراکم با ۳۵ درصد خاکستر بادی و بتن خود متراکم با ۴۵ درصد خاکستر بادی) در جدول (۲) ارائه شده است که می‌تواند با معیارهای قابل قبول مندرج در سطح آخر جدول مقایسه شود.

شکل ۲. آزمون درجای "پیچش"



Fig. 2. Twist-off in-situ Test.

آزمایش‌های مربوط به بتن تازه نیز مانند اسلامپ، زمان جریان اسلامپ تا ۵۰ سانتی متر، قیف V شکل و جعبه L شکل طبق استاندارد EFNARC [23] انجام پذیرفت.

برای آزمون جمع‌شدگی، پس از آماده شدن مخلوط، بلافاصله هر چهار نمونه بطور همزمان قالب‌ریزی شد. با توجه به اینکه قالب‌ها از جنس چوب هستند، برای حفظ آب نمونه‌ها، درون قالب‌ها با پلاستیک پوشانده شدند (شکل ۳). البته باید پس از خارج کردن نمونه‌ها از درون قالب، پلاستیک‌ها از نمونه‌ها جدا شوند.

کلرید کلسیم مورد نیاز به صورت ذرات ریز جامد در بسته یک کیلویی تهیه شد و به منظور ایجاد و حفظ رطوبت نسبی ۱۷٪ در آون در حین خشک شدن نمونه‌ها طبق توصیه استاندارد ASTM C 426-70 [24] استفاده شد. طبق استاندارد گفته شده باید کلرید کلسیم به صورت محلول درون آون قرار داده شود و برای جلوگیری از تشکیل لایه روی محلول هر ۲۴ ساعت یک بار یا بیشتر تکان داده شود. قالب‌های مورد استفاده برای اندازه‌گیری جمع‌شدگی نمونه‌ها در این آزمایش قالب‌های چوبی به ابعاد ۵ در ۱۰ در ۳۰ سانتی‌متر است. برای اندازه‌گیری دقیق تغییرات طول توسط کمپراتور، پین‌هایی در ابتدا و انتهای قالب قرار می‌گیرد. سر رزوه شده پین‌ها داخل بتن قرار گرفته تا پس از گیرش بتن و خارج نمودن نمونه‌ها، انتهای صاف پین از نمونه بیرون مانده و قرائت دستگاه اندازه‌گیری جمع‌شدگی از روی آن‌ها انجام می‌شود. کمپراتور وسیله‌ای است که ساعت اندیکاتور روی آن قرار گرفته و به منظور سنجش تغییرات طول و مقایسه طول نمونه نسبت به طول اولیه آن در مدت آزمایش مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳-۱-۱ تفسیر نتایج آزمایش های بتن تازه

هر چه مقدار جریان اسلامپ بیشتر باشد، قابلیت بتن برای پر کردن قالب تحت وزن خود بیشتر است. مطابق جدول (۴) مشاهده می شود که مقدار جریان اسلامپ برای نمونه های این تحقیق در محدوده استاندارد قرار دارند. دومین نشانه جریان، زمان رسیدن به قطر ۵۰ سانتی متر است. زمان کمتر نشان دهنده قابلیت جریان بهتر است. طبق استاندارد، زمان بین ۲ تا ۵ ثانیه مناسب است. مقادیر ارائه شده در جدول (۲) در این خصوص نیز در محدوده استاندارد قرار دارد. این آزمایش یکی از آسان ترین شیوه ها برای سنجش مقاومت در برابر جدایشی بتن خود متراکم است. آزمایش قیف V شکل نیز برای اندازه گیری میزان سهولت جریان بتن است. زمان جریان کمتر نشان دهنده قابلیت جریان بیشتر است. برای بتن خود متراکم

مدت جریان ۶ تا ۱۲ ثانیه مناسب است. بعد از گذشت ۵ دقیقه، جدایشی تاثیر خود را بیشتر نشان می دهد و در نتیجه زمان جریان افزایش می یابد که این افزایش زمان برای بتن خود متراکم نباید بیشتر از ۳ ثانیه باشد. در جدول (۴) نیز مشاهده می شود که مقادیر مربوطه به این دو آزمایش در محدوده استاندارد واقع شده اند. در آزمون جعبه L شکل نیز توانایی جاری شدن بتن تحت شرایط تسلیح در یک جهت مورد ارزیابی قرار می گیرد. حداقل مقدار نسبت ارتفاع ها طبق استاندارد اروپا برابر ۰/۸ است که در جدول (۲) نیز نتایج آزمون جعبه L شکل در محدوده استاندارد قرار دارد.

جدول ۴. نتایج آزمایش های بتن تازه

L-Box (h2/h1)	Time increase, V- funnel (s)	V-Funnel (s)	T50 Slump Flow (s)	Slump Flow (mm)	Sample
0.82	+1.21	8.93	3.10	725	25% Fly Ash
0.91	+0.95	8.64	3.25	710	35% Fly Ash
0.86	+0.95	8.61	3.30	715	45% Fly Ash
0.8-1	0-3	6-12	2-5	650-800	Allowed amount

Table 4. Results of fresh concrete tests.

۳-۲ مقدار جمع شدگی نمونه ها

در جدول (۴) مقدار جمع شدگی نمونه ها نشان داده شده است.

شکل ۴. جمع شدگی نمونه ها

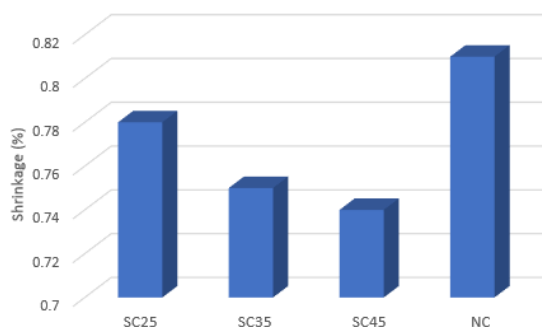


Fig. 4. Shrinkage of Samples

همان گونه که از شکل (۴) مشاهده می شود مقدار جمع شدگی بتن های خود متراکم حاوی خاکستر بادی کمتر از جمع شدگی بتن معمولی است. مقدار جمع شدگی بتن معمولی نسبت به بتن های حاوی ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درصد خاکستر بادی به ترتیب ۳/۹، ۸ و ۹/۵ درصد بیشتر است. با توجه به اینکه مقدار سیمان دارای رابطه مستقیم با جمع شدگی می باشد و با افزایش مقدار سیمان، جمع شدگی بتن نیز افزایش پیدا می کند، پس با جایگزین نمودن سیمان توسط خاکستر بادی سبب کاهش مقدار جمع شدگی شده است.

شکل ۶. مقاومت سطحی بتن خودتراکم با ۲۵ درصد خاکستر بادی (کیلوگرم - متر)

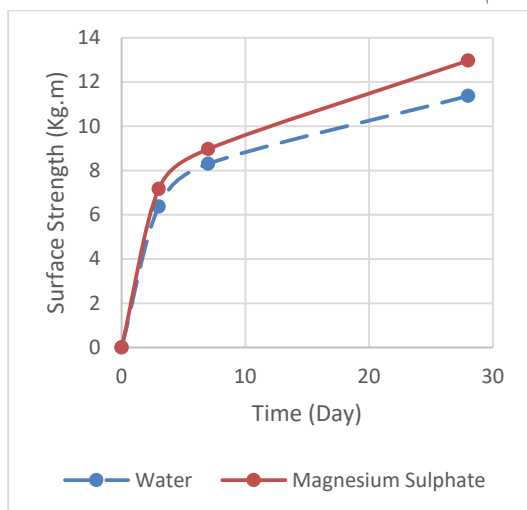


Fig. 6. Surface strength of SCC contain 25% fly ash (kg.m).

از شکل (۶) مشاهده می‌شود که مقدار مقاومت سطحی بتن‌های خود متراکم حاوی ۲۵ درصد خاکستر بادی که در معرض حمله سولفات منیزیم قرار دارد به ترتیب در سنین ۲۸، ۷ و ۳ روزه به مقدار ۱۴/۱، ۸/۱ و ۱۲/۵ درصد بیشتر از مقاومت سطحی نمونه های عمل آوری شده در آب است.

از مقایسه شکل‌های (۵ و ۶) مشاهده می‌شود که مقاومت سطحی بتن‌های خود متراکم با ۲۵ درصد خاکستر بادی در مقایسه با بتن‌های معمولی در برابر حملات سولفات منیزیم بیشتر است. مقدار تاثیر حمله سولفات‌ها علاوه بر غلظت محلول، به نفوذپذیری بتن بستگی دارد. اگر بتن خیلی نفوذپذیر باشد، آب به راحتی به داخل آن نفوذ کرده و Ca(OH)_2 شسته خواهد شد. بتن خود متراکم نسبت به بتن معمولی نفوذپذیری کمتری دارد که علت آن را می‌توان به کمتر بودن نسبت آب به مواد پودری این بتن‌ها، تراکم بهتر به دلیل خودمتراکم شونده‌گی، نیاز نداشتن به لرزش و درجه هیدراسیون بالاتر به دلیل پخش ذرات سیمان در حضور فوق روان کننده‌ها و تخلخل کمتر هم در خمیر سیمان و هم در ناحیه انتقال نسبت داد [25]. بنابراین محلول به راحتی نمی‌تواند به آن نفوذ کند و با C3A سیمان واکنش تخریبی داشته باشد. ضمن اینکه با جایگزین کردن

۳-۳ تاثیر سولفات منیزیم بر مقاومت سطحی حاصل از آزمون پیچش

نتایج انجام آزمون "پیچش" روی نمونه‌های بتن معمولی در شرایط عمل‌آوری در آب و محلول سولفات منیزیم در سنین ۳، ۷ و ۲۸ روزه در شکل (۵) نشان داده شده است.

شکل ۵. مقاومت سطحی نمونه‌های بتن معمولی (کیلوگرم - متر)

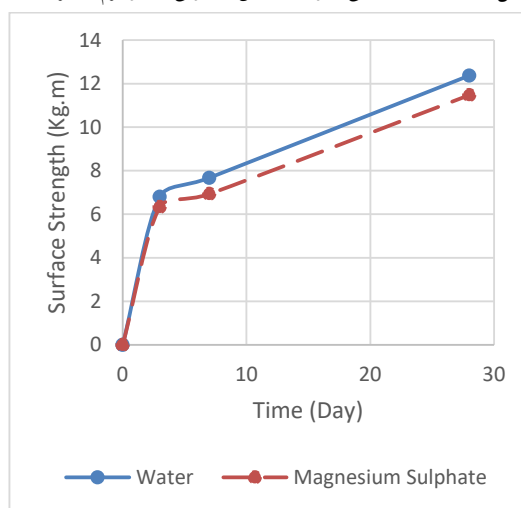


Fig. 5. Surface strength of ordinary concrete samples (kg.m). از شکل (۵) مشاهده می‌شود سولفات منیزیم باعث کاهش مقاومت سطحی بتن معمولی به اندازه ۷/۳، ۹/۷ و ۷/۱ درصد در سنین ۲۸، ۷ و ۳ روز شده است. دلیل کاهش مقاومت سطحی این است که سولفات‌ها باعث می‌شوند که یون‌های سولفات با هیدروکسید کلسیم و آلومینات کلسیم هیدراته شده واکنش نشان داده و تبدیل به اترینگایت شده که باعث انبساط، ترک خوردگی و تخریب بتن می‌شود.

نتایج انجام آزمون "پیچش" روی نمونه‌های بتن خودمتراکم حاوی ۲۵ درصد خاکستر بادی در شرایط عمل‌آوری در آب و محلول سولفات منیزیم در سنین ۳، ۷ و ۲۸ روزه در شکل (۶) نشان داده شده است.

نتایج انجام آزمون "پیچش" روی نمونه‌های بتن خودمتراکم حاوی ۴۵ درصد خاکستر بادی در شرایط عمل‌آوری در آب و محلول سولفات منیزیم در سنین ۳، ۷ و ۲۸ روزه در شکل (۸) نشان داده شده است.

شکل ۸ مقاومت سطحی بتن خودمتراکم با ۴۵ درصد خاکستر بادی (کیلوگرم - متر)

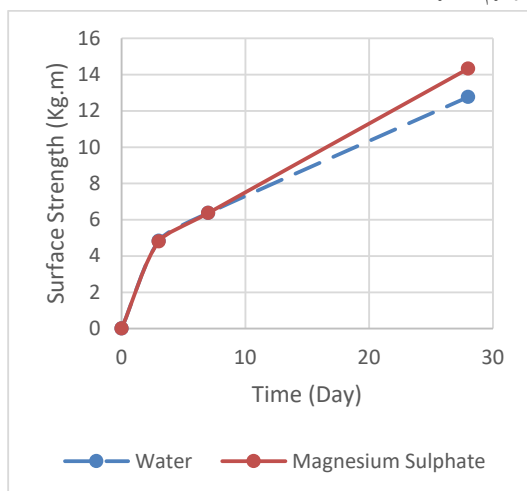


Fig. 8. Surface strength of SCC contain 45% fly ash (kg.m).

از شکل (۸) مشاهده می‌شود که بر خلاف بتن‌های خود متراکم با ۲۵ و ۳۵ درصد خاکستر بادی، مقدار مقاومت سطحی بتن‌های خود متراکم حاوی ۴۵ درصد خاکستر بادی که در معرض حمله سولفات منیزیم قرار دارد در سن ۳ روزه دچار کاهش ۱ درصدی و در سن ۷ روزه نیز تاثیری نداشته است. همچنین با مقایسه شکل‌های (۸ و ۵) مشاهده می‌شود مقاومت سطحی ۲۸ روزه بتن‌های خود متراکم با ۴۵ درصد خاکستر بادی در مقایسه با بتن‌های معمولی در برابر حملات سولفات منیزیم بیشتر است که دلیل آن در قسمت قبلی ذکر شد.

در جدول (۵) روند کسب مقاومت نمونه‌ها در فواصل زمانی مشخص نشان داده شده است.

درصدی از سیمان با خاکستریادی، یا به عبارتی کاهش درصد سیمان موجود، یکی از عوامل اصلی واکنش حذف می‌شود. در نتیجه بتن خود متراکم دارای مقاومت بیشتری نسبت به بتن معمولی است.

نتایج انجام آزمون "پیچش" روی نمونه‌های بتن خودمتراکم حاوی ۳۵ درصد خاکستر بادی در شرایط عمل‌آوری در آب و محلول سولفات منیزیم در سنین ۳، ۷ و ۲۸ روزه در شکل (۵) نشان داده شده است.

از شکل (۷) مشاهده می‌شود که مقدار مقاومت سطحی بتن‌های خود متراکم حاوی ۳۵ درصد خاکستر بادی که در معرض حمله سولفات منیزیم قرار دارد به ترتیب در سنین ۲۸، ۷ و ۳ روزه به مقدار ۹/۷، ۸/۹ و ۰/۶ درصد بیشتر از مقاومت سطحی نمونه‌های عمل‌آوری شده در آب است. همچنین با مقایسه جداول (۵ و ۳) مشاهده می‌شود مقاومت سطحی بتن‌های خود متراکم با ۳۵ درصد خاکستر بادی در مقایسه با بتن‌های معمولی در سن ۲۸ روز در برابر حملات سولفات منیزیم بیشتر است که دلیل آن در قسمت قبلی ذکر شد.

شکل ۷. مقاومت سطحی بتن خود متراکم با ۳۵ درصد خاکستر بادی (کیلوگرم - متر)

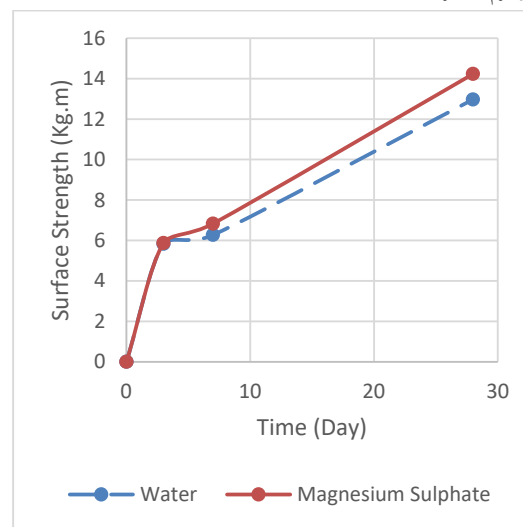


Fig. 7. Surface strength of SCC contain 35% fly ash (kg.m).

جدول ۵. روند کسب مقاومت نمونه‌ها در فواصل زمانی مشخص (کیلوگرم - متر)

Sample	Water		Magnesium Sulphate	
	3 to 7 Days	7 to 28 Days	3 to 7 Days	7 to 28 Days
25% Fly Ash	1.93	3.07	1.80	4.00
35% Fly Ash	0.43	6.70	0.97	7.40
45% Fly Ash	1.53	6.40	1.57	7.97
Normal Concrete	0.87	4.70	0.60	4.53

Table 5. The process of obtaining the strength of samples at specified time intervals (kg.m)

۳۵ درصد خاکستر بادی برابر با ۱۴/۲۳ و برای بتن خود متراکم با ۴۵ درصد خاکستر بادی برابر با ۱۴/۳۳ کیلوگرم-متر است. در مورد نمونه‌های عمل‌آوری شده در آب معمولی با افزایش درصد خاکستر بادی همچنان روند کاهشی در مقاومت ۳ روزه دیده می‌شود. اما در مورد مقاومت ۷ و ۲۸ روزه افزایش درصد خاکستر بادی روی مقاومت نمونه‌های خود متراکم عمل‌آوری شده در آب معمولی تاثیر چندانی نداشته است، چنانچه دیده می‌شود، مقاومت ۲۸ روزه بتن خود متراکم با ۲۵ درصد خاکستر بادی برابر با ۱۱/۳۷ و برای بتن خود متراکم با ۳۵ درصد خاکستر بادی برابر با ۱۲/۹۷ و برای بتن خود متراکم با ۴۵ درصد خاکستر بادی برابر با ۱۲/۷۷ کیلوگرم-متر است. بنابراین، به نظر می‌رسد محلول سولفات منیزیم، نه تنها تاثیر منفی روی مقاومت بتن خود متراکم حاوی خاکستر بادی ندارد بلکه شرایط عمل‌آوری بهتری را برای این نمونه‌ها فراهم می‌کند.

علاوه بر غلظت محلول، نفوذپذیری نیز دارای تاثیر مستقیم بر حمله سولفات‌ها است. اگر نفوذپذیری بتن زیاد باشد، آب به داخل بتن نفوذ نموده و باعث شسته شدن Ca(OH)_2 می‌شود. با توجه به اینکه بتن خودمتراکم دارای نفوذپذیری کمتری نسبت به بتن معمولی است، پس از نفوذ بیش از حد مواد مضر به داخل بتن جلوگیری نموده، بنابراین اجازه واکنش تخریبی با C_3A سیمان را نمی‌دهد. در تحقیقی که با استفاده از دستگاه محفظه استوانه‌ای برای بررسی نفوذپذیری بتن‌های حاوی خاکستر بادی انجام پذیرفته است توضیح داده است که، خاکستر بادی با پر نمودن منافذ موجود در نمونه‌ها، سبب

در مورد نمونه‌های بتن خود متراکم، در فاصله زمانی ۳ تا ۷ روز، به غیر از نمونه بتن خود متراکم با ۲۵ درصد خاکستر بادی، روند کسب مقاومت نمونه‌های قرار گرفته در محلول سولفات منیزیم بیشتر بوده است. و در فاصله زمانی ۷ تا ۲۸ روز، روند کسب مقاومت تمام نمونه‌های خود متراکم عمل‌آوری شده در محلول سولفات منیزیم بیشتر از نمونه‌های قرار گرفته در آب معمولی است. ولی در مورد بتن معمولی از ۳ تا ۲۸ روز، روند کسب مقاومت نمونه‌های قرار گرفته در محلول سولفات منیزیم کمتر است.

همچنین دیده می‌شود با افزایش درصد خاکستر بادی برای نمونه‌های عمل‌آوری شده در محلول سولفات منیزیم، مقاومت ۳ و ۷ روزه کاهش می‌یابد. به طوری که پس از ۳ روز، مقاومت بتن خود متراکم با ۲۵ درصد خاکستر بادی برابر با ۷/۱۷ کیلوگرم-متر، مقاومت بتن خود متراکم با ۳۵ درصد خاکستر بادی برابر با ۵/۸۷ کیلوگرم-متر و در بتن خود متراکم با ۴۵ درصد خاکستر بادی این مقدار برابر با ۴/۸۰ کیلوگرم-متر است. در مورد مقاومت ۷ روزه برای بتن خود متراکم با ۲۵ درصد خاکستر بادی این مقدار برابر با ۸/۹۷ و برای بتن خود متراکم با ۳۵ درصد خاکستر بادی برابر با ۶/۸۳ و برای بتن خود متراکم با ۴۵ درصد خاکستر بادی برابر با ۶/۳۷ کیلوگرم-متر است. اما در مورد مقاومت ۲۸ روزه روند کسب مقاومت، افزایشی است. یعنی مقاومت ۲۸ روزه نمونه‌های خود متراکم عمل‌آوری شده در آب سولفات با افزایش درصد خاکستر بادی افزایش می‌یابد. بطوری که مقاومت ۲۸ روزه برای نمونه بتن خود متراکم با ۲۵ درصد خاکستر بادی برابر با ۱۲/۹۷ و برای بتن خود متراکم با

مراجع

- [1] F.M. Kilinckale. The effect of $MgSO_4$ and HCl solutions on the strength and durability of pozzolan cement mortars, Cem. Concr. Res. (1997) 27 (12) 1911–1918.
- [2] J. Zelic, I. Radovanovic, D. Jozic, The effect of silica fume additions on the durability of Portland cement mortars exposed to magnesium sulfate attack, Mater. Technol. 41 (2) (2007) 91–94.
- [3] G.G. Liu, J. Ming, X.W. Zhang, A.B. Ma, Study on the durability of concrete with mineral admixtures to sulfate attack by wet-dry cycle method, Adv. Mater. Res. 295–297 (2011) 165–169.
- [4] N. Ghafoori, M. Najimi, H. Diawara, M.S. slam, Effects of class F fly ash on sulfate resistance of Type V Portland cement concretes under continuous and interrupted sulfate exposures, Constr. Build. Mater. 78 (2015) 85–91.
- [5] G.G. Liu, J. Ming, X.W. Zhang, A.B. Ma, Study on the durability of concrete with mineral admixtures to sulfate attack by wet-dry cycle method, Adv. Mater. Res. 295–297 (2011) 165–169.
- [6] Q. Nie, C. Zhou, X. Shu, Q. He, B. Huang, Chemical, mechanical, and durability properties of concrete with local mineral admixtures under sulfate environment in Northwest China, Materials 7 (5) (2014) 3772–3785.
- [7] P.K. Acharya, S.K. Patro, Acid resistance, sulphate resistance and strength properties of concrete containing ferrochrome ash (FA) and lime, Constr. Build. Mater. 120 (2016) 241–250.
- [8] L. Jiang, D. Niu, Study of deterioration of concrete exposed to different types of sulfate solutions under drying-wetting cycles, Constr. Build. Mater. 117 (2016) 88–98.
- [9] Effect of sea water and $MgSO_4$ solution on the mechanical properties and durability of self-compacting mortars with fly ash/silica fume. Ahmet Benli b, Mehmet Karatas a, Elif Gurses a. Construction and Building Materials 146 (2017) 464–474.
- [10] Magnesium Sulfate ($MgSO_4$) Attack and Chloride Isothermal Effects on the Self-consolidating Concrete Containing Metakaolin and Zeolite. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering. Kianoosh Samimil · Ali Akbar

کاهش تخلخل موثر از طریق مسدود کردن کانال‌های پیوسته و باز محدود در بتن شده و در نتیجه باعث کاهش نفوذپذیری می‌شود [26].

همچنین در بتن خودمتراکم با جایگزین شدن خاکستر بادی به جای سیمان باعث کاهش مقدار سیمان شده و در نتیجه یکی از عوامل اصلی واکنش کاهش می‌یابد. در نتیجه تاثیر منفی سولفات منیزیم روی بتن کاهش می‌یابد.

۴- نتیجه گیری

- استفاده از خاکستر بادی، محلول سولفات منیزیم را به محیط مناسب‌تری نسبت به آب معمولی برای کسب مقاومت سطحی بتن های خود متراکم، تبدیل می‌کند.

- روند کسب مقاومت سطحی تمام نمونه‌های خود متراکم عمل‌آوری شده در محلول سولفات منیزیم بیشتر از نمونه‌های قرار گرفته در آب معمولی است. ولی در مورد بتن معمولی، روند کسب مقاومت سطحی تمام نمونه‌های قرار گرفته در محلول سولفات منیزیم کمتر است.

- برای نمونه‌های خود متراکم عمل‌آوری شده در محلول سولفات منیزیم، با افزایش درصد خاکستر بادی، مقاومت سطحی ۳ و ۷ روزه کاهش می‌یابد. اما مقاومت سطحی ۲۸ روزه افزایش می‌یابد.

- مقدار جمع‌شدگی بتن معمولی نسبت به بتن‌های حاوی ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درصد خاکستر بادی به ترتیب ۳/۹، ۸ و ۹/۵ درصد بیشتر است.

بنابراین به نظر می‌رسد آب سولفاته، نه تنها تاثیر منفی روی مقاومت سطحی بتن خود متراکم حاوی خاکستر بادی ندارد بلکه شرایط عمل‌آوری بهتری را برای این نمونه‌ها فراهم می‌نماید. البته علت این افزایش این است که در سنین پایین، نفوذ یون سولفات زیاد قابل توجه نبوده و در واقع رطوبت باعث عمل‌آوری می‌شود. مقاومت سطحی بتن تحت تاثیر سولفات، در سنین بالا، احتیاج به بررسی‌های بیشتری دارد.

- Engineering Journal. (2021), 10.22060/CEEJ.2021.19711.7240.
- [20] Iranian National Standardization Organization (INSO). Number 4982. 2017. Aggregate-Determination of Density, Relative Density (Specific Gravity) and Water Absorption of Coarse Aggregate- Test Method. (In Persian).
- [21] Iranian National Standardization Organization (INSO). Number 4982. 2017. Aggregate-Determination of Density, Relative Density (Specific Gravity) and Water Absorption of Coarse Aggregate- Test Method. (In Persian).
- [22] ASTM C136, Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates, West Conshohocken PA, American Society for Testing and Materials (2006).
- [23] EFNARC, Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete. 2002. ISBN 0 9539733 4 4.
- [24] ASTM C 426-70, Drying Shrinkage of Concrete Masonry Units, Section 4, Volume 04.05, ASTM Committee C-15 (2007).
- [25] Leemann, A., Munch, B., Gasser, P. and Holzer, L., "Influence of Compaction on the Interfacial Transition Zone and the Permeability of Concrete", Cement and Concrete Research, Vol.36, pp 1425-1433, 2006.
- [26] Naderi, M., Kaboodan, A. and Keshtkar, A., "Studying the permeability and strength of concretes containing silica fume, zeolite and fly ash using cylindrical chamber method and British standard". Journal of Structural and construction engineering, Vol.7, No.3, 99-113, 2020.
- Shirzadi Javid2. 2020. <https://doi.org/10.1007/s40996-020-00398-6>.
- [11] Maes M, Mittermayr F, De Belie N (2017) The influence of sodium and magnesium sulfate on the penetration of chlorides in mortar. Mater Struct 50(2):153
- [12] Neville A (2004) The confused world of sulfate attack on concrete. Cem Concr Res 34(8):1275–1296.
- [13] Santhanam M (2001) Studies on sulfate attack – mechanisms, test methods and modeling. PhD Dissertation Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA.
- [14] Naderi, M. "New Twist-Off Method for the Evaluation of In-Situ Strength of Concrete", Journal of Testing and Evaluation/Citation, Vol. 35, Issue 6. (2005).
- [15] Saberi Varzaneh, A. and Naderi, M. Determination of Compressive and Flexural Strengths of In-situ Pozzolan Concrete Containing Polypropylene and Glass Fibers Using "Twist-off" Method. Modares Civil Engineering Journal (M.C.E.J). Vol.20, No.5, Oct. 2020.
- [16] Naderi, M., Smaili, A., and Saberi Varzaneh, A. Assessment of the application "twist-off" method for determining the in situ compressive and flexural strengths in the fiber concrete. Journal of Structural and Construction Engineering (JSCE) Accepted paper. (2021).
- [17] Saberi Varzaneh, A. and Naderi, M. NUMERICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF SEMI-DESTRUCTIVE TESTS TO EVALUATE THE COMPRESSIVE AND FLEXURAL STRENGTH OF POLYMER-MODIFIED MORTARS AND THEIR ADHESION TO THE CONCRETE SUBSTRATE. Revista Română de Materiale / Romanian Journal of Materials 2020, 50(4), 537 – 544.
- [18] Saberi Varzaneh, A. and Naderi, M. Determination of shrinkage, tensile and compressive strength of repair mortars and their adhesion on the concrete substrate using "twist-off" and "pull-off" methods. Iran J Sci Technol Trans Civ Eng (2020). <https://doi.org/10.1007/s40996-020-00548-w>.
- [19] Saberi Varzaneh, A. and Naderi, M. Using "twist-off" and "pull-off" tests to investigate the effect of polypropylene fibers on the bond of mortar/concrete and to evaluate their in-situ compressive strength. Amirkabir Civil

The effect of magnesium sulfate on the surface strength of self-compacting concrete using "Twist-off" test

Mahmood Naderi¹, Ali Saberi Varzaneh², Mohamadreza Nasiri³

1. Professor, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. profmahmoodnaderi@eng.ikiu.ac.ir

2. Ph.D, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

3. Master, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

Abstract

The durability of a concrete structure is highly dependent on the strength and permeability of the surface layer, as it is the surface layer that must prevent the entry of materials that can initiate or enhance the harmful effects on concrete. Sulfates are one of the most common destructive factors in concrete in most parts of Iran, especially in the southern regions of the country where concrete is exposed to seawater (which contains sulfate compounds). Also, the lack of compaction of the surface layer, due to the difficulty of vibration in limited spaces between molds and rebars and other accessories, is one of the main reasons for the poor durability of reinforced concrete structures exposed to environmental factors. Naturally, incorrect vibration results (worming, detachment, dehydration) have stronger negative effects on permeability and therefore durability. Self-compacting concrete with suitable properties is free from these defects and as a result, materials with less inconsistency and uniform permeability have less weaknesses for environmental harmful factors and, therefore, have better durability. Therefore, considering that the "torsion" test shows good sensitivity to surface changes of concrete, so in this study, using the "torsion" test, the effect of magnesium sulfate on the surface strength of self-compacting concretes has been investigated. In the "twist" test, a 5 cm diameter metal cylinder is glued to the surface of the test site using epoxy resin adhesive. Then, using a conventional hand-held tachometer, a torsion anchor is inserted into the metal cylinder to break the test object. The equipment used in the "twist" test is very cheap, simple and accessible compared to other corresponding tests. The damage from the "torsion" test is very superficial and minor, and by causing failure in the test object itself, it directly determines its strength. Self-compacting concrete mixing designs were studied by replacing 25, 35 and 45% cement with fly ash filler, and a conventional concrete mixing design as a control to study the effect of magnesium sulfate on the strength of self-compacting concrete. Self-compacting concrete tests including slump flow test, slump flow time of 50 cm, V-shaped funnel, V-shaped funnel increase time (5 minutes) and L-shaped mold were performed on self-compacting concrete acceptance criteria on self-compacting concrete mixing designs. The results indicate that sulfated water not only does not have a negative effect on the surface strength of self-compacting concrete containing fly ash, but also provides better curing conditions for these samples. The use of fly ash also makes the magnesium sulfate solution a more suitable medium than ordinary water for the surface strength of self-compacting concretes. The process of obtaining surface strength in almost all self-compacting samples treated in magnesium sulfate solution is more than that in ordinary water. However, in the case of ordinary concrete, the process of obtaining the surface strength of all samples placed in magnesium sulfate solution is less. For self-compacting samples treated in magnesium sulfate solution, with increasing the percentage of fly ash, the surface resistance of 3 and 7 days decreases. But the 28-day surface resistance increases.

Keywords: Surface strength, Twist-off, Self-compacting concrete, Magnesium sulfate, Fly ash.