

# Investigating the efficiency and compressive strength of self-compacting mortar containing micro-silica and super-lubricant

# بررسی کارایی و مقاومت فشاری ملات خودتراکم حاوی میکرو سیلیس و فوق روان کننده

Omid Bamshad \*

MSc student, Faculty of Technical and Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

امید بامشاد \*

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

\*Corresponding author's email address:  
Omid.Bamshad@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۰۴، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۳۰

## Abstract

In recent years, self-compacting mortar is widely used in various parts of construction projects due to its high efficiency. The efficiency of self-compacting mortars depends on the composition used in the mixing plan and the characteristics of its components, such as the type of aggregates, super-lubricating quality, additives, etc. Also, to improve the properties of cement mortars, the use of additives such as fly ash, nano particles, etc. has become popular. Considering the importance of examining the mechanical properties and efficiency of cement mortars, in this study, the effect of microsilica and super-lubricant on the efficiency and compressive strength of self-compacting mortars has been investigated. The research results show that the addition of microsilica increases the compressive strength and reduces the small slump flow in the mortar. Also, the ratio of water to cement is one of the important parameters in increasing the short-term compressive strength, which has a greater effect than other parameters, and by reducing the ratio of water to cement, more compressive strength was obtained.

## Keywords

Compressive resistance, self-compacting mortar, micro silica, super lubricant

## چکیده

در سال‌های اخیر، ملات خودتراکم به دلیل کارایی بالا به صورت گسترده در قسمت‌های مختلف پروژه‌های ساختمانی استفاده می‌شود. کارایی ملات‌های خودتراکم به ترکیب استفاده شده در طرح اختلاط و ویژگی‌های اجزای آن مانند نوع سنگدانه‌ها، کیفیت فوق روان کننده، مواد افزودنی و ... بستگی دارد. همچنین برای ارتقا خصوصیات ملات‌های سیمانی، استفاده از انواع افزودنی مانند خاکستر بادی، نانو ذرات و ... رواج یافته است. با توجه به اهمیت بررسی خواص مکانیکی و کارایی ملات‌های سیمانی، در این مطالعه، به بررسی تاثیر میکروسیلیس و فوق روان کننده بر کارایی و مقاومت فشاری ملات خودتراکم پرداخته شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که افزودن میکروسیلیس باعث افزایش مقاومت فشاری، و کاهش جریان اسلامپ کوچک در ملات می‌شود. همچنین نسبت آب به سیمان یکی از پارامترهای مهم در افزایش مقاومت فشاری کوتاه مدت است که نسبت به دیگر پارامترها تاثیر بیشتری دارد و با کاهش نسبت آب به سیمان مقاومت فشاری بیشتری حاصل شد.

## کلمات کلیدی

مقاومت فشاری، ملات خودتراکم، میکرو سیلیس، فوق روان کننده



4 (3), 2019

دوره ۴، شماره ۳

پاییز ۱۳۹۸

فصلنامه پژوهشی



SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> و CuO انجام دادند و دریافتند که دوام و مشخصات مکانیکی ملات خود تراکم بهبود یافته است [۱۳]. محسنی و همکاران تحقیقاتی در مورد تاثیر نانوذرات SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> و TiO<sub>2</sub> بر روی مشخصات ملات خودتراکم تازه و سخت شده حاوی خاکستر بادی انجام دادند و نشان دادند که مقاومت فشاری ملات خود تراکم حاوی SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> و TiO<sub>2</sub> به ترتیب برابر با ۳، ۵ و ۵ درصد، در حالت بیشینه قرار دارد [۱۴]. بنلی و همکاران مطالعاتی را در مورد تاثیرات آب دریا و محلول MgSO<sub>4</sub> بر خواص مکانیکی ملات خودتراکم حاوی خاکستر بادی و میکروسیلیس انجام دادند و نشان دادند که نمونه هایی که در محلول MgSO<sub>4</sub> مستغرق بودند مقاومت کششی بیشتری نسبت به نمونه هایی داشتند که در آب دریا مستغرق بودند [۱۵].

## ۲- برنامه‌ی آزمایشگاهی

### ۲-۱- مصالح مصرفی

برای تمام نمونه های ملات سیمانی، از سیمان پرتلند تیپ II مطابق با استاندارد استفاده شده است [۱۶]. مشخصات شیمیایی و فیزیکی سیمان پرتلند تیپ II استفاده شده در جدول (۱) نشان داده شده است. همچنین از آب آشامیدنی برای ساخت و عمل آوری نمونه های ملات سیمانی استفاده شده است. علاوه از ماسه شکسته به عنوان ریزدانه استفاده شده است که مدول نرمی، وزن مخصوص حالت اشباع

## ۱- مقدمه

در سال های اخیر، ملات خودتراکم به دلیل کارایی بالا به صورت گسترده در قسمت های مختلف پروژه های ساختمانی استفاده می شود. کارایی ملات های خودتراکم بسیار به ترکیب استفاده شده در طرح اختلاط و ویژگی های اجزای آن مانند نوع سنگدانه ها، کیفیت فوق روان کننده، مواد افزودنی و ... بستگی دارد [۱-۳]. در سال های اخیر برای ارتقا خصوصیات ملات های سیمانی، استفاده از انواع افزودنی مانند خاکستر بادی، نانو ذرات و ... در رواج یافته است [۴-۶]. همچنین در سال های اخیر مطالعاتی برای بررسی خواص مکانیکی و کارایی ملات های سیمانی انجام شده است [۷-۹]. مهدی خانی و رضاییان پور مطالعاتی را در مورد روابط بین ویژگی های مختلف کارایی ملات خودتراکم انجام دادند [۱۰]. مهری نژاد خطبه سرا و همکاران به صورت آزمایشگاهی مطالعاتی را در مورد تاثیر نانوذرات SnO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub> و CaCO<sub>3</sub> بر روی دوام، کارایی و مشخصات مکانیکی ملات خود تراکم حاوی خاکستر بادی انجام دادند و مشاهده کردند که مقاومت فشاری و دوام نمونه های ملات خودتراکم افزایش یافته و کارایی آن کاهش یافته است [۱۱]. همچنین مهری نژاد خطبه سرا و همکاران به صورت آزمایشگاهی مطالعاتی را در مورد تاثیر خاکستر بادی و نانوذرات CuO بر روی خواص ملات خودتراکم تازه و سخت شده انجام دادند و مشاهده کردند که مشخصات مکانیکی ملات به صورت قابل توجهی بهبود یافته است [۱۲]. مدن دوست و همکاران مطالعاتی در مورد دوام ملات های خودتراکم حاوی

MnO (%)	۰/۰۲-۰/۰۷
pH	۶/۶-۸/۸
<b>مشخصات فیزیکی</b>	
شکل	دانه ای
اندازه (μm)	۲۲۹
سطح مخصوص (m <sup>2</sup> /kg)	۲۵۰۰۰-۲۰۰۰۰
وزن مخصوص (gr/cm <sup>2</sup> )	۲/۱-۱/۹
چگالی (kg/ m <sup>3</sup> )	۳۰۰-۲۸۰
نقطه ذوب (°)	۱۲۳۰

## ۲-۲- طرح مخلوط و ساختن نمونه‌ها

در هر یک از طرح‌های اختلاط، مصالح خشک از جمله ماسه، سیمان و میکروسیلیس در مدت ۱ دقیقه با یکدیگر مخلوط شدند. سپس آب و فوق روان کننده به تدریج در داخل مخلوط ریخته شده و به مدت ۴ دقیقه در داخل میکسر مخلوط شدند. در نهایت، بعد از ۵ دقیقه از آغاز عملیات مخلوط کردن، آزمایشات کارایی ملات خودتراکم انجام گرفت. همچنین برای انجام آزمایش مقاومت فشاری ۰.۷، ۱۴ و ۲۸ روزه، ملات خودتراکم در داخل قالب‌های مکعبی ۵ سانتی‌متری ریخته شدند. طرح‌های اختلاط در نظر گرفته شده در جدول (۳) نشان داده شده است.

## ۳- روش آزمایش

در این مطالعه، کارایی نمونه های ملات خودتراکم با استفاده از آزمایشات مختلف شامل آزمایش جریان اسلامپ کوچک، آزمایش حلقه J کوچک، آزمایش قیف V کوچک، آزمایش T20 و آزمایش ستون جداشدگی کوچک بدست آمد. تمام آزمایش های ذکر شده بر اساس استاندارد انجام شد [۲۰]. آزمایش جریان اسلامپ کوچک با استفاده از یک مخروط ناقص که در شکل (۲) نشان داده شده است، انجام شد. در این آزمایش ملات تازه داخل مخروط ناقص ریخته شده و پس از بالا کشیدن مخروط، قطر ملات در دو جهت عمود بر هم اندازه گیری شده و میانگین گیری شد. همچنین زمانی که نیاز است تا قطر ملات به عدد ۲۰ سانتی متر برسد به عنوان مقدار T20 در نظر گرفته شد. آزمایش حلقه J کوچک با استفاده از یک مخروط ناقص که داخل حلقه J قرار دارد انجام شد (شکل (۲)) و پس از بالا کشیدن مخروط، قطر ملات در دو جهت عمود بر هم اندازه گیری شده و میانگین گیری شد. آزمایش قیف V کوچک برای تعیین ویسکوزیته ملات خودتراکم انجام شد. زمان لازم برای تخلیه قیف V شکل به عنوان زمان جریان قیف V کوچک ثبت شد. در شکل ۲، ابزار آزمایش قیف V کوچک به صورت شماتیک نشان داده شده است. آزمایش ستون جداشدگی کوچک برای کنترل پیوستگی ملات خودتراکم انجام شد. با وجود اینکه استاندارد مشخصی برای این آزمایش وجود ندارد، اما بر اساس مطالعات انجام شده توسط مهدی پور و همکاران [۲۱] و لبره و همکاران [۲۲]، از ابزاری شبیه ابزار توصیه شده توسط استاندارد (ASTM C 1610/C 1610M-06a 2009) [۲۳] استفاده شد (شکل (۲)). در این آزمایش، ملات خودتراکم داخل ستون جداشدگی ریخته شده و پس از ۱۵ دقیقه، قسمت های بالایی و پایینی ستون جداشدگی از هم جدا شده و ملات محتوی در داخل الک شماره ۵۰ شسته شد. سپس وزن ملات باقیمانده پس از خشک شدن داخل اون ۱۱۰ درجه سانتی گراد، اندازه گیری شد. نهایتا با استفاده از رابطه (۱)، شاخص جداشدگی اندازه گیری شد.

$$SI=2\left[\frac{([CA]_B - [CA]_T)}{([CA]_B + [CA]_T)}\right] \times 100 \quad (1)$$

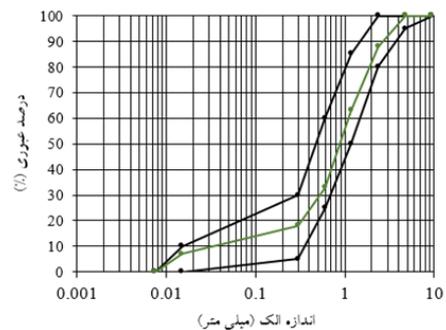
که در آن، CAB و CAT به ترتیب جرم مواد باقیمانده بر روی الک شماره ۵۰ برای قسمت های پایینی و بالایی ستون جداشدگی است. همچنین، آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه های مکعبی ۵ سانتی متری بر اساس استاندارد (ASTM C 109/C 109M-02 2000) [۲۴] انجام شد. پس از ریختن ملات داخل قالب ها، با استفاده از گونی مرطوب به مدت ۲۴ ساعت پوشانده شدند. سپس برای انجام آزمایش مقاومت فشاری، به مدت ۰.۷، ۱۴ و ۲۸ روز داخل تانک آب با دمای ۲۰ درجه سانتی گراد قرار داده شدند. در هر سن، آزمایش مقاومت فشاری بر روی سه نمونه انجام شد و میانگین گیری شد.

(gr/cm<sup>3</sup>) و جذب آب (%) آن بر اساس استاندارد به ترتیب برابر با ۲/۶۳، ۳/۳۵ و ۲/۲۸ بوده است [۱۷]. نمودار دانه بندی ریزدانه استفاده شده بر اساس استاندارد در شکل (۱) نشان داده شده است [۱۸]. همچنین از پودر کوارتز گذرنده از الک ۳۲۵ نیز به عنوان پرکننده استفاده شده است. برای افزایش مقاومت فشاری نمونه های ملات سیمانی، از میکروسیلیس استفاده شده است که مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن در جدول (۲) ارائه شده است. همچنین برای حفظ کارایی و یکپارچگی نمونه های ملات سیمانی، از فوق روان کننده بر پایه پلی کربوسیلیات با وزن مخصوص ۲۵/۱ kg/lit مطابق با استاندارد استفاده شده است [۱۹].

## جدول ۱ مشخصات شیمیایی و فیزیکی سیمان پرتلند تیب

ترکیبات شیمیایی	
SiO <sub>2</sub> (%)	۲۱/۲۴
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	۵/۲۱
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	۴/۳۱
CaO (%)	۶۲/۹۳
MgO (%)	۱/۶۴
SO <sub>3</sub> (%)	۲/۱۲
Na <sub>2</sub> O (%)	۰/۲۸
K <sub>2</sub> O (%)	۰/۶۳
IR (%)	۰/۳۱
LOI (%)	۱/۳۳
مشخصات فیزیکی	
چگالی (gr/cm <sup>3</sup> )	۳۲۹۸
انسپاس اتوکلاو (%)	۰/۲۱
زمان گیرش اولیه (min)	۱۱۵
زمان گیرش نهایی (min)	۱۸۵

Regulations limit of sand Gradation curve of sand



شکل ۱ نمودار دانه بندی ریزدانه

## جدول ۲ مشخصات شیمیایی و فیزیکی میکروسیلیس

ترکیبات شیمیایی	
SiO <sub>2</sub> (%)	۹۵-۹۳
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	۰/۶-۱/۲
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	۰/۳-۱/۳
C (%)	۰/۲-۰/۴
Na <sub>2</sub> O (%)	۰/۵۵-۰/۶
K <sub>2</sub> O (%)	۰/۹-۱/۱
MgO (%)	۰/۱-۰/۲
S (%)	۰/۰۴-۰/۰۸
CaO (%)	۰/۲-۰/۶



4 (3), 2019

دوره ۴، شماره ۳

پاییز ۱۳۹۸

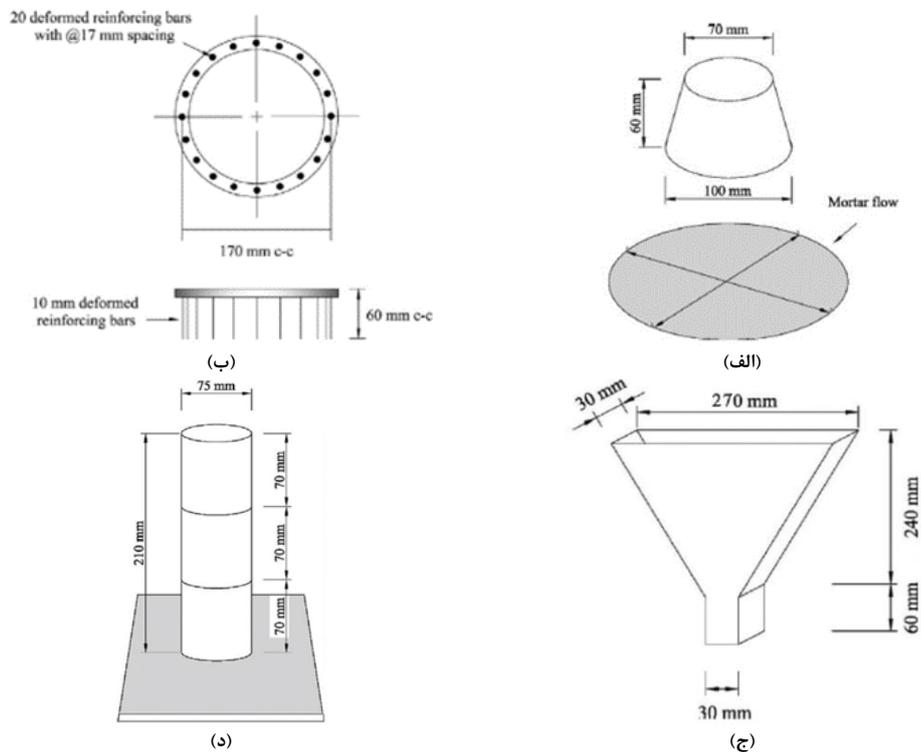
فصلنامه پژوهشی

مهندسی عمران

فوق روان کننده  
بررسی کارایی و مقاومت فشاری ملات خودتراکم حاوی میکرو سیلیس و

جدول ۳ طرح اختلاط ملات‌های خودتراکم

نام طرح اختلاط	W/C	میکروسیلیس (%) MS	سیمان (kg/m <sup>3</sup> ) C	فوق روان کننده (%) SP
M1	۰/۳۸	۰	۶۵۰	۰/۳
M2	۰/۳۸	۳	۷۰۰	۰/۳۳
M3	۰/۳۸	۶	۷۵۰	۰/۳۶
M4	۰/۴۱	۰	۷۰۰	۰/۳۶
M5	۰/۴۱	۳	۷۵۰	۰/۳
M6	۰/۴۱	۶	۶۵۰	۰/۳۳
M7	۰/۴۴	۰	۷۵۰	۰/۳۳
M8	۰/۴۴	۳	۶۵۰	۰/۳۶
M9	۰/۴۴	۶	۷۰۰	۰/۳
M10	۰/۳۸	۳	۷۵۰	۰/۳
M11	۰/۳۸	۰	۶۵۰	۰/۳۶
M12	۰/۳۸	۶	۷۰۰	۰/۳۶
M13	۰/۴۱	۶	۷۰۰	۰/۳۳
M14	۰/۴۱	۳	۷۰۰	۰/۳۶
M15	۰/۴۱	۰	۶۵۰	۰/۳
M16	۰/۴۴	۶	۷۵۰	۰/۳۳
M17	۰/۴۴	۳	۶۵۰	۰/۳۳
M18	۰/۴۴	۰	۷۰۰	۰/۳



شکل ۲ شماتیک آزمایش‌های (الف) جریان اسلامپ کوچک (ب) حلقه L کوچک (ج) قیف V کوچک (د) ستون جداشدگی کوچک

با افزایش مقدار میکروسیلیس و فوق روان‌کننده، کارایی ملات خودتراکم تازه کاهش و پیوستگی و مقاومت فشاری ۱۴.۷ و ۲۸ روزه نمونه‌های ملات خودتراکم سخت شده افزایش پیدا کرده است. همچنین با افزایش مقدار آب به سیمان، کارایی ملات خودتراکم تازه افزایش و مقاومت فشاری ۱۴.۷ و ۲۸ روزه نمونه‌های ملات خودتراکم سخت شده کاهش پیدا کرده است. برای تخمین کارایی و مقاومت فشاری ملات

#### ۴- نتایج

نتایج آزمایشات کارایی و مقاومت فشاری ملات خودتراکم تازه و سخت شده در جدول (۴) ارائه شده است. بر اساس نتایج، کارایی و مقاومت فشاری ملات خودتراکم آزمایش شده در محدوده توصیه شده توسط استاندارد قرار گرفته است [۲۰]. بر اساس نتایج،

خودتراکم با درصدهای مختلف میکروسیلیس، فوق روان کننده، سیمان و آب به سیمان، روابط درجه دوم ارائه شده است (روابط (۲-۹)) و دقت روابط با مقادیر بدست آمده از آزمایش در شکل ۳ مقایسه شده است. با توجه به شکل (۳) و ضریب  $R^2$  ارائه شده در روابط (۲-۹)، مشاهده می شود که روابط ارائه شده از دقت مناسبی برخوردارند.

همانطور که از روابط (۲-۹) مشاهده می شود، تاثیر مقدار فوق روان کننده در آزمایش-های جریان اسلامپ کوچک، حلقه J کوچک، قیف V کوچک، ستون جدادگی کوچک، T20 و مقاومت فشاری ۲۸ روزه نسبت به سایر متغیرها، بیشتر بوده است و در سایر آزمایشها، مقدار آب به سیمان نسبت به سایر متغیرها، بیشترین تاثیر را دارد.

جدول ۴ نتایج آزمایشات کارایی و مقاومت فشاری ملات خودتراکم

نام طرح اختلاط	اسلامپ کوچک (cm)	قیف V کوچک (sec)	حلقه J کوچک	شاخص جدادگی	T20 (sec)	مقاومت فشاری (kg/cm <sup>2</sup> )		
						۷ روزه	۱۴ روزه	۲۸ روزه
M1	20.0	12.00	18.25	4.50	5.05	347.6	410.7	517.3
M2	23.0	5.08	21.75	9.60	2.38	421.3	468.0	622.7
M3	27.5	4.44	26.75	15.10	1.90	368.0	509.3	517.3
M4	32.0	3.91	32.00	35.00	1.40	354.7	421.3	520.0
M5	26.5	3.40	25.80	4.60	1.50	368.0	485.3	570.7
M6	20.8	3.98	18.25	3.10	4.02	357.3	456.0	568.0
M7	32.5	3.50	32.25	31.00	1.50	310.7	440.0	474.7
M8	27.5	3.28	28.25	3.10	0.67	386.7	410.7	482.7
M9	23.5	2.38	22.70	3.70	1.08	360.0	408.0	501.3
M10	22.2	5.85	21.2	0.11	2.92	428.2	514.7	605.3
M11	26.5	10.9	24	16.6	3.73	414	462.7	527.7
M12	23.3	5.43	22.4	13.5	2.74	440.1	517.3	520
M13	22.7	2.54	20.8	14.7	2.02	336.3	427.3	541
M14	26.5	2.88	27.5	16.4	0.84	381.1	445.3	538.7
M15	21.8	6.63	20.5	9.7	3.97	386.8	423.3	517.3
M16	26.4	1.86	25.2	13.9	1.35	352.4	517.3	538
M17	25.5	3.06	24.7	11.6	1.46	368	424	496
M18	27.5	3.93	27.7	21.2	0.89	358.2	408.7	514.7

جدول ۵ مقایسه نتایج تجربی و پیش بینی شده

$Mini slump = -10.92 + 123.98 (W/C) - 60.31(W/C)^2 - 1.06 (MS) + 0.04 (MS)^2 - 0.008 (C) - 199.79 (SP) + 444.87 (SP)^2$	(۲)
$R^2 = 0.939$	
$Mini V funnel = 552.14 - 1231.28 (W/C) + 1414.31(W/C)^2 - 1.17 (MS) + 0.13 (MS)^2 - 0.61 (C) - 323.86 (SP) + 467.75 (SP)^2$	(۳)
$R^2 = 0.949$	
$Mini J ring = -10.26 + 81.40 (W/C) + 20.89(W/C)^2 - 0.60 (MS) - 0.04 (MS)^2 + 0.28 (C) - 843.32 (SP) + 1440.17 (SP)^2$	(۴)
$R^2 = 0.962$	
$SI = -2170.03 + 1839.56 (W/C) - 2148.49(W/C)^2 - 7.80 (MS) + 0.84 (MS)^2 + 3.14 (C) + 3851.46 (SP) - 5511.29 (SP)^2$	(۵)
$R^2 = 0.948$	
$T20 = 97.86 + 118.76 (W/C) - 191.49(W/C)^2 - 0.58 (MS) + 0.09 (MS)^2 - 0.45 (C) + 337.94 (SP) - 538.19 (SP)^2$	(۶)
$R^2 = 0.960$	
$CS (7 day) = 4395.29 - 17709.3 (W/C) + 20765.04(W/C)^2 + 21.35 (MS) - 3.14 (MS)^2 + 5.21 (C) - 12476.2 (SP) + 18992.16 (SP)^2$	(۷)
$R^2 = 0.741$	
$CS (14 day) = 5690.49 - 6293.57 (W/C) + 6778.67(W/C)^2 + 7.70 (MS) - 0.40 (MS)^2 - 12.70 (C) + 2352.23 (SP) - 3182.49 (SP)^2$	(۸)
$R^2 = 0.804$	
$CS (28 day) = -7440.4 + 12891.17 (W/C) - 17039.2(W/C)^2 + 22.73 (MS) - 3.51 (MS)^2 + 7.13 (C) + 18865.08 (SP) - 29424.0 (SP)^2$	(۹)
$R^2 = 0.778$	



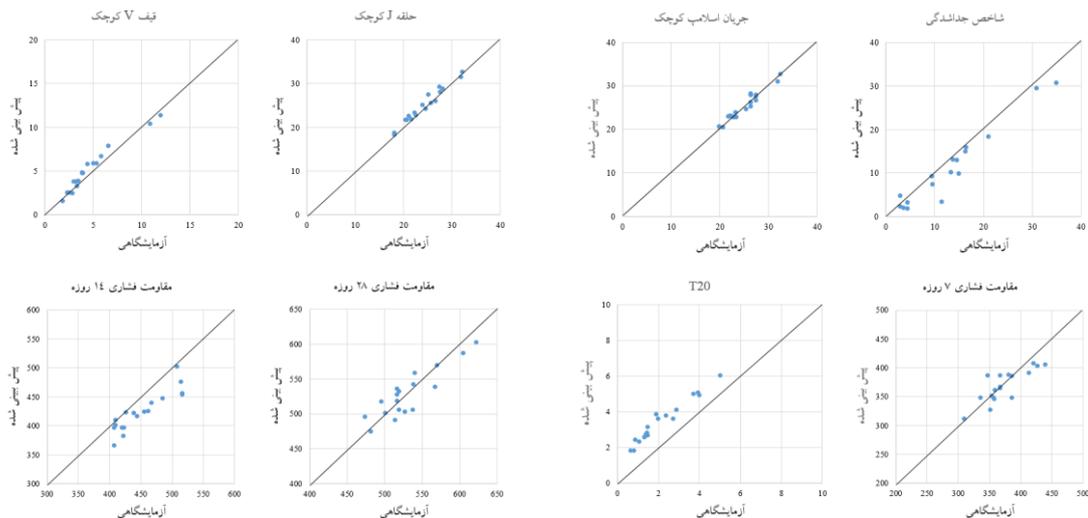
4 (3), 2019

دوره ۴، شماره ۳  
پاییز ۱۳۹۸

فصلنامه پژوهشی



فوق روان کننده  
بررسی کارایی و مقاومت فشاری ملات خودتراکم حاوی میکرو سیلیس و



شکل ۳ مقایسه نتایج تجربی و پیش بینی شده

the high strength self-compacting concrete. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 125, pp.18-32.

- [10] Mahdikhani, M. & Ramezani-pour, A.A., 2015. New methods development for evaluation rheological properties of self-consolidating mortars. CONSTRUCTION & BUILDING MATERIALS, 75, pp.136-143. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.09.094>.
- [11] Mehrinejad Khotbehsara, M. et al., 2018. Effect of SnO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>, and CaCO<sub>3</sub> nanoparticles on water transport and durability properties of self-compacting mortar containing fly ash: Experimental observations and ANFIS predictions. Construction and Building Materials, 158, pp.823-834. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.067>.
- [12] Mehrinejad Khotbehsara, M. et al., 2015. Effect of nano-CuO and fly ash on the properties of self-compacting mortar. Construction and Building Materials, 94, pp.758-766. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.063>.
- [13] Madandoust, R. et al., 2015. An experimental investigation on the durability of self-compacting mortar containing nano-SiO<sub>2</sub>, nano-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and nano-CuO. Construction and Building Materials journal, 86, pp.44-50.
- [14] Mohseni, E. et al., 2015. Single and combined effects of nano-SiO<sub>2</sub>, nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and nano-TiO<sub>2</sub> on the mechanical, rheological and durability properties of self-compacting mortar containing fly ash. Construction and Building Materials, 84, pp.331-340.
- [15] Benli, A., Karatas, M. & Gurses, E., 2017. Effect of sea water and MgSO<sub>4</sub> solution on the mechanical properties and durability of self-compacting mortars with fly ash /silica fume. Construction and Building Materials journal, 146, pp.464-474.
- [16] ASTM C 150-07, 2008. Standard Specification for Portland Cement, American Society for Testing and Materials.
- [17] ASTM C 128-01, 2003. Standard Test Method for Density, Relative Density ( Specific Gravity ), and Absorption of Fine Aggregate, American Society for Testing and Materials.
- [18] ASTM C 136-01, 2001. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, American Society for Testing and Materials.
- [19] ASTM C494/C494M-17, 2002. Standard specification for chemical admixtures for concrete, American Society for Testing and Materials.
- [20] EFNARC, 2005. The European Guidelines for Self-Compacting Concrete,
- [21] Mehdipour, I. et al., 2013. Effect of mineral admixtures on fluidity and stability of self-consolidating mortar subjected to prolonged mixing time. Construction and Building Materials, 40, pp.1029-1037.
- [22] Libre, N.A., Khoshnazar, R. & Shekarchi, M., 2010. Relationship between fluidity and stability of self-consolidating mortar incorporating chemical and mineral admixtures. Construction and Building Materials, 24(7), pp.1262-1271.
- [23] ASTM C 1610/C 1610M-06a, 2009. Standard Test Method for Static Segregation of Self-Consolidating Concrete Using, American Society for Testing and Materials.
- [24] ASTM C 109/C 109M-02, 2000. Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens), American Society for Testing and Materials.

## ۵- جمع بندی و خلاصه

در این مطالعه، به بررسی تاثیر میکروسلیس و فوق روان کننده بر کارایی و مقاومت فشاری ملات خودتراکم پرداخته شد و نتایج زیر حاصل شد.

۱. افزودن میکروسلیس باعث افزایش مقاومت فشاری، و کاهش جریان اسلامپ کوچک در ملات می شود.
۲. نسبت آب به سیمان یکی از پارامترهای مهم در افزایش مقاومت فشاری کوتاه مدت است که نسبت به دیگر پارامترها تاثیر بیشتری دارد و با کاهش نسبت آب به سیمان مقاومت فشاری بیشتری حاصل شد.
۳. با توجه به پیش بینی های انجام شده و نتایج آزمایشگاهی تطابق خوبی بین این دو خروجی داده ها وجود دارد و اختلاف ناچیز است.
۴. تاثیر مقدار فوق روان کننده در آزمایش های جریان اسلامپ کوچک، حلقه کوچک، ستون جدانشدگی کوچک، T20 و مقاومت فشاری ۲۸ روزه نسبت به سایر متغیرها، بیشتر بوده است و در سایر آزمایش ها، مقدار آب به سیمان نسبت به سایر متغیرها، بیشترین تاثیر را دارد.

## ۶- مراجع

- [1] Sahmaran, M., Christianto, H.A. & Yaman, I.O., 2006. The effect of chemical admixtures and mineral additives on the properties of self-compacting mortars. Cement & Concrete Composites, 28, pp.432-440.
- [2] Nunes, S. et al., 2013. Mixture design of self-compacting glass mortar. Cement & Concrete Composites, 43, pp.1-11.
- [3] Nepomuceno, M., Oliveira, L. & Lopes, S.M.R., 2012. Methodology for mix design of the mortar phase of self-compacting concrete using different mineral additions in binary blends of powders. Construction and Building Materials, 26, pp.317-326.
- [4] Güneyisi, E. et al., 2015. Utilization of cold bonded fly ash lightweight fine aggregates as a partial substitution of natural fine aggregate in self-compacting mortars. Construction and Building Materials, 74, pp.9-16.
- [5] Yaseri, S. et al., 2018. The development of new empirical apparatuses for evaluation fresh properties of self-consolidating mortar: a theoretical and experimental study. Construction and Building Materials, 167, pp.631-648.
- [6] Rizwan, S.A. & Bier, T.A., 2012. Blends of limestone powder and fly-ash enhance the response of self-compacting mortars. Construction and Building Materials, 27, pp.398-403.
- [7] Eskandari-naddaf, H. & Kazemi, R., 2018. Experimental evaluation of the effect of mix design ratios on compressive strength of cement mortars containing cement strength class 42.5 and 52.5 MPa. Procedia Manufacturing, 22, pp.392-398.
- [8] Aziminzhad, M., Mahdikhani, M. & Memarpour, M.M., 2018. RSM-based modeling and optimization of self-consolidating mortar to predict acceptable ranges of rheological properties. Construction and Building Materials, 189, pp.1200-1213.
- [9] Simsek, B., Tansel Ic, Y. & Simsek, E.H., 2013. A TOPSIS-based Taguchi optimization to determine optimal mixture proportions of