بررسی خواص رئولوژی و مکانیکی ملات‌های دوجزئی و سه‌جزئی حاوی میکروسیلیس و سرباره

سیدفتح اله ساجدی*
دانشیار، گروه عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
ویلبرت کرمیان
کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت ساخت، گروه عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
F_sajedi@yahoo.com
تاریخ دریافت: ۹۹/۰۷/۲۶ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۹/۱۰/۲۳

چکیده

امروزه با کاربرد پوزولان‌ها و افزودنی‌ها، دگرگونی عظیمی در فن‌آوری ملات‌ها برای کسب مقاومت و دوام بالا، ایجاد شده است. هدف از انجام این تحقیق ساخت ملات‌های دوجزئی و سه‌جزئی و مقایسه خواص رئولوژی و مکانیکی آن‌ها می‌باشد. در این تحقیق آزمایش‌های مقاومت‌های فشاری، خمشی و کششی بر روی ملات مرجع، ملات‌های دوجزئی و همین‌طور ملات‌های سه‌جزئی صورت گرفت. سرباره مصرفی در ساخت ملات‌های تحقیق در کارخانه فولاد اهوار تولید شده است. آزمایش مقاومت فشاری در سنین ۷، ۲۸، ۵۶ و ۹۱ روزه و آزمایش‌های مقاومت‌های خمشی و کششی در سنین ۲۸ و ۹۱ روزه انجام شدند. در آزمایش‌های مقاومت‌های مذکور به ترتیب از نمونه‌های مکعبی به بعد ۵۰ میلی‌متر، نمونه‌های منشوری به ابعاد ۱۶۰×۴۰×۴۰ میلی‌متر و نمونه‌های پاپیونی استاندارد استفاده شده است. نتایج نشان داد که جایگزینی میکروسیلیس تا ٪۱۰ وزن سیمان، باعث افزایش مقاومت‌های فشاری، خمشی و کششی در ملات‌های دوجزئی گردید که این افزایش‌ها در تمام سنین نسبت به نمونه فاقد میکروسیلیس قابل‌توجه بوده است. تغییرات مقاومت‌های فشاری، خمشی و کششی با افزایش میکروسیلیس جایگزین سیمان تا ٪۱۵، از یک رفتار غیرخطی معکوس تبعیت می‌کند. درصدهای بهینه جایگزینی میکروسیلیس و سرباره به ترتیب به میزان ٪۵ و ٪۱۰، باعث افزایش سه مقاومت مذکور، در ملات‌های سه‌جزئی گردید که این افزایش‌ها در تمام سنین نسبت به نمونه مرجع قابل‌ملاحظه هستند. با افزایش درصد میکروسیلیس جایگزین، روانی ملات‌ها کاهش یافته و با افزایش درصد سرباره، روانی بیش‌تر گردید.

کلید واژگان: ملات‌های دوجزئی و سه‌جزئی، میکروسیلیس، سرباره کارخانه فولاد اهواز، خواص رئولوژی، خواص مکانیکی.

۱- مقـدمـه

ملات به عنوان یک ماده ساختمانی، سال‌ها است که در صنعت ساختمان به کار می‌رود. از آن زمان تاکنون عوامل مختلف تأثیرگذار بر خواص بتن همواره مورد توجه علاقمندان به این صنعت بوده است. عوامل گوناگونی از قبیل دوام، کارایی، مقاومت در برابر سایش، سولفات‌ها و کلرایدها مورد مطالعه قرار گرفته است. در این بین استفاده از پوزولان‌های طبیعی و مصنوعی نقش بسیار ویژه‌ای در رسیدن به اهداف مذکور داشته است [۱]. با توجه به رشد روزافزون استفاده از انواع بتن در اجرای سازه‌های مختلف، بحران انرژی و منابع طبیعی بیش از حد خودنمایی می‌کند و هم‌چنین اهمیت مسأله حفظ محیط‌زیست بشر نیز قابل چشم‌پوشی نیست. حجم مواد پودری مصرفی در ملات‌ها نسبت به سایر انواع بتن بیشتر است و این موضوع اهمیت جنس مواد پودری مصرفی را پررنگ‌تر می‌کند. مواد پودری استفاده شونده در ملات‌ها علاوه بر تأثیر بر خواص پایداری آن‌ها، تأثیر قابل‌توجهی نیز بر خواص سخت‌شده آنها دارد. بهینه‌سازی مصالح ساختمانی از جمله ملات‌ها یکی از پایه‌های توسعه پایدار می‌باشد؛ اصول ابتدایی آن بر صرفه‌جویی در برداشت از منابع طبیعی، صرفه‌جویی در مصرف انرژی، حفظ محیط زیست و به‌کارگیری ضایعات صنعتی و مواد مضر برای محیط زیست استوار است.

سیمان پرتلند یکی از مهم‌ترین اجزاء تشکیل دهنده ملات است که جزو صنایع انرژی‌بر بوده و در تولید آن، انرژی بسیاری مصرف می‌گردد. یکی از مباحث مورد توجه محققین یافتن مصالحی مناسب بوده که بتواند جایگزین بخشی از سیمان مصرفی باشد، به‌گونه‌ای که ضمن دارا بودن کاهش قیمت تمام شده سیمان موجب حفظ خواص ماده چسباننده اصلی و یا حتی بهبود آن گردد. استفاده از ضایعات کشاورزی ضمن داشتن اثرات مثبت زیست‌محیطی، به دلیل ارزان و در دسترس بودن، می‌توانند مورد بررسی قرار گیرند [۲].

ملات ماده خمیری شکلی است که مصالح بنایی را به یکدیگر می‌چسباند و آن‌ها را به دیوار و سایر اجزای ساختمان بدل می‌سازد [۳]. ملات اعمال پنج‌گانه زیر را انجام می‌دهد:

– قطعات را به یکدیگر می‌چسباند و فضای بین آن‌ها را پر می‌نماید.

– با یکپارچگی که ایجاد می‌نماید، باعث توزیع تقریبا یکنواخت نیرو می‌شود.

– اختلاف اندازه در اجزاء را جبران می‌نماید.

– موجب می‌شود قطعات فلزی و مسلح کننده‌ها، به صورت کامل و یکپارچه با دیوار عمل کنند.

– به کمک ایجاد خطوط سایه روشن یا تأثیر رنگ موجب پدید آمدن ماهیتی زیبا می‌شود [۴].

ملات‌ها مجموعه‌ای از یک یا چند ماده چسباننده (سیمان، آهک، گچ و...)، پرکننده (ماسه شسته و دانه‌بندی شده) و روان‌کننده (آب) هستند و به میزان کافی به منظور ایجاد حالت خمیری و مخلوط ملات‌ها کارایی دارند. این مصالح باید به‌دقت اندازه‌گیری و مخلوط شوند تا تعادل مطلوبی برای برآوردن خواص اساسی ملات‌ها بدهند [۵].

رمضانیانپور و همکاران در تحقیقی خواص مکانیکی و دوام ملات‌های سیمانی حاوی پوزولان‌های طبیعی و مصنوعی را مطالعه نمودند. نتایج نشان داد که پوزولان‌های طبیعی و سرباره مقاومت فشاری را کاهش داده در حالی که میکروسیلیس در تمامی سنین مقاومت فشاری را افزایش می‌دهد. در نهایت از بین چهار پوزولان استفاده شده، میکروسیلیس بهترین و پومیس ضعیف‌ترین عملکرد را داشتند [۶]. خلیل‌زاده و همکاران در تحقیقی آزمایشگاهی تأثیر نانورس و خاکستربادی بر مقاومت فشاری ملات ماسه سیمان را مطالعه نمودند. اضافه کردن نانو مواد به همراه سیمان، از جمله راهکارهای بهبود خواص مکانیکی ملات و بتن می‌باشد. در نمونه‌های ملات ماسه سیمان حاوی خاکستر بادی و نانورس به طور همزمان، به ترتیب افزایش ۱/۶٪ و ۴/۵٪ مقاومت فشاری را در سن ۲۸ روزه و افزایش ۱۰٪ و ۱۶٪ آن در سن ۹۰ روزه را در پی داشته است [۷].

روشن‌ضمیر و همکاران در تحقیقی آزمایشگاهی اثر نسبت آب به سیمان و دانه‌بندی ماسه بر روانی و مقاومت ملات‌های بنایی را مطالعه نمودند. نتایج کار آنها نشان داد که با افزایش نسبت آب به سیمان خواص مکانیکی ملات سخت‌شده (مقاومت‌های فشاری و خمشی)، کاهش و کارایی ملات تازه (روانی)، افزایش یافتند؛ به‌علاوه ملات با دانه‌بندی ریزتر مقاومت‌های فشاری و خمشی به مراتب کمتری نسبت به ملات با دانه‌بندی درشت‌تر دارد و برای رسیدن به کارایی و روانی مشابه در مقایسه با ملات دارای ماسه درشت‌دانه به حدود ۲۵٪ آب بیشتر نیاز بوده است [۸].

محمدی و فرهادی در تحقیقی آزمایشگاهی مقاومت کششی ملات ساخته شده از سیمان پرتلند کامپوزیت را مطالعه نمودند. در این مطالعه ، ضمن بررسی ارتباط بین مقاومت‌های فشاری و کششی ملات، میزان رشد مقاومت‌های مذکور نسبت به زمان در طرح‌های مختلف مشخص گردید [۹]. رضایی حسین‌آبادی و مبارکه در تحقیقی تأثیر مقاومت روان‌ملات (ملات تزریق) با جایگزینی درصدهای مختلف سرباره کوره قوس الکتریکی به جای سیمان را مطالعه نمودند. نتایج آنها نشان داد که در سنین پایین، مقاومت‌ها رشد معکوس داشته و با افزودن درصد سرباره کاهش مقاومت رخ داده، در صورتی‌که در سن ۲۸ روزه نمونه‌های مورد آزمایش رشد مقاومت را نشان دادند. این مسأله می‌تواند نشانگر خاصیت سیمانی بالای پودر سرباره باشد [۱۰].کاندرایوندهان و باهاتاچارجی[4]در تحقیقی روانی و مقاومت فشاری خمیر سیمان و ملات حاوی خاکستربادی را مطالعه کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که مقاومت فشاری با افزایش سن عمل‌آوری

[1] Kondraivendhan and Bhattacharjee

افزایش می‌یابد. هم‌چنین یک رابطه تجربی برای مقاومت فشاری مخلوط ملات سیمانی با نسبت‌های ملات شامل نسبت w/(c+f)، نسبت f/c و سن پیشنهاد شد [۱۱].

آشیگوار رحمان و همکاران[5]در تحقیقی سلامت و مقاومت فشاری سیمان پرتلند آمیخته به سرباره نیکل آهن‌دار دانه‌ای را مطالعه نمودند. نتایج آزمایش نشان داد که اگر به اندازه ٪۵۰ سرباره نیکل آهن‌دار جایگزین سیمان شود، زمان‌های گیرش و نیاز به آب تغییر چشم‌گیری نمی‌یابند. مقاومت‌های فشاری در سن ۹۰ روزه ملات برای نیکل آهن‌دار ٪۲۰ و ٪۵۰ به ترتیب برابر با ٪۹۳ و ٪۶۸ شدند [۱۲].

از آنجایی که ملات‌ها کاربرد فراوان در ساخت و ترمیم سازه‌ها دارند، هدف کلی از انجام این تحقیق ساخت ملات‌های دوجزئی و سه‌جزئی و تعیین و مقایسه روانی و برخی از خواص مکانیکی آنها می‌باشد.

۲-روش انجام تحقیق

۲-۱- مواد مصرفی در تحقیق

مواد مصرفی در تهیه ملات‌ها عبارتند از سیمان، سنگدانه (ماسه)، میکروسیلیس، سرباره کارخانه فولاد اهواز، آب و فوق روان‌کننده که در ادامه به معرفی مشخصات آن‌ها پرداخته شده است.

۲-۱-۱- سیمان

سیمان مصرفی برای انجام آزمایش در این تحقیق، سیمان پرتلند نوع ۲ کارخانه کارون مسجدسلیمان در استان خوزستان انتخاب گردید که وزن مخصوص آن ۳۱۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب است. در جدول ۱ ترکیبات شیمیایی سیمان مصرفی ارائه شده است.

جدول ۱- ترکیبات شیمیایی سیمان مصرفی در تحقیق

ترکیب شیمیایی سیمان	درصد تشکیل‌دهنده	ترکیب شیمیایی سیمان	درصد تشکیل‌دهنده
SiO_2	۱۸/۳۱	K_2O	۰/۶۶
Al_2O_3	۳/۴۶	Cl	۰
Fe_2O_3	۴/۵۴	LOI	۰/۲
CaO	۵۶/۴۱	C_3S	۵۱
SO_3	۱/۱۳	C_2S	۲۱
MgO	۳/۷۲	C_3A	۶/۹
Na_2O	۰/۲۲	C_4AF	۱۲

۲-۱-۲- میکروسیلیس

پودر میکروسیلیس مصرفی در تحقیق خریداری شده از شرکت برازین بتن شیمی می‌باشد که در جدول ۲ ترکیبات شیمیایی آن داده شده است.

جدول ۲- ترکیبات شیمیایی پودر میکروسیلیس مصرفی در تحقیق

ترکیب	مقدار(٪)	ترکیب	مقدار(٪)
SiO_2	۸۷/۶	MnO	۱
Al_2O_3	۶	CaO	۸
Na_2O	۶	P_2O_5	۱۳
K_2O	۱/۵۰	Fe_2O_3	۱/۶۰
MgO	۱/۶۰	SO_2	۶
TiO_2	۰	LOI	۲/۳۰

۲-۱-۳- سرباره

نظر به اینکه آزمایش‌های مختلفی روی سرباره تولیدی در کارخانه فولاد اهواز انجام شده است، نتایج جداول ۳ و ۴ به ترتیب خواص فیزیکی و ترکیبات شیمیایی سرباره مصرفی در تحقیق را ارائه داده‌اند که نشان می‌دهند که این سرباره در قیاس با سنگدانه‌های طبیعی وزن مخصوص بیشتری دارد و دیگر خواص مکانیکی آن هم در حد قابل‌قبولی می‌باشند.

جدول ۳- خواص فیزیکی سرباره کارخانه فولاد اهواز

خاصیت	سنگدانه‌های طبیعی	سرباره کارخانه فولاد اهواز
چگالی توده‌ای (kg/m^3)	۱۸۰۰-۱۷۰۰	۲۰۵۰-۱۹۵۰
وزن مخصوص(g/cm^3)	۲/۲-۶/۸	۳/۲۱
جذب آب (٪)	۴-۱	۱

جدول ۴- ترکیبات شیمیایی سرباره کارخانه فولاد اهواز

ترکیب شیمیایی	مقدار(٪)
SiO_2	۱۶/۹۵
Al_2O_3	۳/۷۴
Na_2O	۰/۱۴۲
MgO	۷/۸۹
MnO	۰/۶۳
CaO	۳۰/۷۱
P_2O_5	۰/۲۳۰
Fe(t)	۲۶/۹۵
Fe_2O_3	۱۹/۲۵
SO_3	۰/۰۴۳
LOI	۱/۲

[1] Ashiqur Rahman et al. [5]

۴-۱-۲- آب

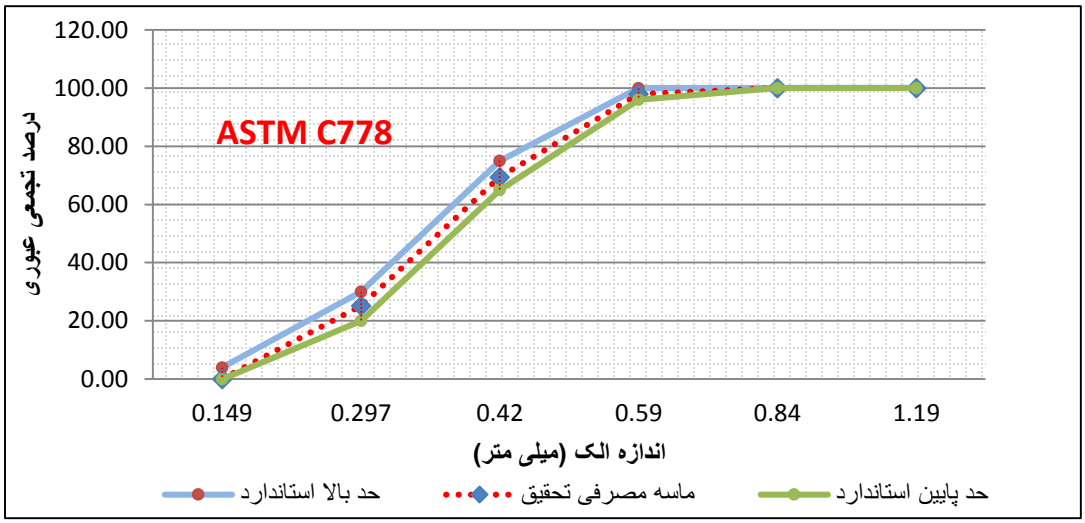
در این تحقیق برای ساخت ملات‌ها و همین‌طور عمل‌آوری نمونه‌ها از آب آشامیدنی شهرستان اهواز استفاده شده است.

۵-۱-۲- سنگدانه‌ها (ماسه)

سنگدانه‌ها به مصالح دانه‌ای همانند شن، ماسه، سنگ شکسته و سرباره کوره بلند آهنگدازی گفته می‌شوند که همراه با یک چسباننده سیمانی برای ساخت ملات سیمان هیدرولیکی یا بتن استفاده می‌شوند. ماسه استفاده شده در طرح اختلاط‌های تحقیق الزامات استاندارد ASTM C778 را تأمین می‌نماید. جزئیات و همین‌طور دانه‌بندی ماسه مصرفی در تحقیق (ماسه معادن سیلیسی شوشتر) در جدول ۵ و شکل ۱ ارائه شده‌اند.

جدول ۵- جزئیات دانه‌بندی ماسه سیلیسی شوشتر طبق ASTM C778

شماره الک	اندازه الک (mm)	درصد عبوری (ASTM C778)	درصد عبوری تجمعی
نمره ۱۶	۱/۱۹	۱۰۰	۱۰۰
نمره ۲۰	۰/۸۴	۱۰۰	۱۰۰
نمره ۳۰	۰/۵۹	۹۶ – ۱۰۰	۹۸
نمره ۴۰	۰/۴۲	۶۵ – ۷۵	۶۹/۴
نمره ۵۰	۰/۲۹۷	۲۰ – ۳۰	۲۵
نمره ۱۰۰	۰/۱۴۹	۰ – ۴	۰



شکل ۱- منحنی دانه‌بندی ماسه سیلیسی شوشتر مصرفی در تحقیق

۲-۲- طرح اختلاط‌های تحقیق

ساخت طرح اختلاط‌ها مطابق ASTM C305 [13] بوده است. برای اینکه نتایج آزمایش‌ها قابل مقایسه باشند، در تمامی طرح‌ها ازنسبت های آب به سیمان (۰/۶۵) و ماسه به سیمان ثابت (۲/۷۵) استفاده گردید، با این تفاوت که در هر طرح به میزان مورد نیاز که میکروسیلیس و سرباره به ملات اضافه شد، به همان میزان از وزن سیمان کسر گردید. ملاک تعیین میزان روانی، ملات مرجع در نظر گرفته شد، به این صورت که روانی به دست آمده در ساخت ملات مرجع، مبنای تعیین روانی دیگر طرح اختلاط‌های تحقیق قرار گرفت و در ساخت ملات‌های تحقیق فوق روان‌کننده به میزانی اضافه شد که ملات‌ها حدوداً به روانی مورد نظر برسند. جزئیات طرح اختلاط‌های تحقیق در جدول ۷ ارائه شده است.

۶-۱-۲- روان‌کننده

فوق روان‌کننده خاصیت روان‌کنندگی آب را بالا می‌برند بدون آنکه در کشش سطحی آن تاثیر بگذارند. فوق روان‌کننده استفاده شده در این تحقیق، Super plasticizer محصول شرکت کاپکو می‌باشد که مشخصات فیزیکی آن در جدول ۶ داده شده است.

جدول ۶- مشخصات فوق روان‌کننده مصرفی در تحقیق

رنگ	pH	وزن مخصوص (kg/lit)
قهوه‌ای	۷±۱	۱/۱۱۲

جدول ۷- جزئیات طرح اختلاط‌های تحقیق

شماره طرح اختلاط	نام طرح اختلاط	سیمان (٪)	سیمان (kg/m^3)	میکروسیلیس (٪)	میکروسیلیس (kg/m^3)	سرباره کارخانه فولاد اهواز (٪)	سرباره کارخانه فولاد اهواز(kg/m^3)
۱	OPC	۱۰۰	۴۲۰	۰	۰	۰	۰
۲	CM5	۹۵	۳۹۹	۵	۲۱	۰	۰
۳	CM10	۹۰	۳۷۸	۱۰	۴۲	۰	۰
۴	CM15	۸۵	۳۵۷	۱۵	۶۳	۰	۰
۵	CS25	۷۵	۳۷۸	۰	۰	۲۵	۴۲
۶	CS40	۶۰	۲۵۲	۰	۰	۴۰	۱۶۸
۷	CS50	۵۰	۲۱۰	۰	۰	۵۰	۲۱۰
۸	S85M15	۰	۰	۱۵	۶۳	۸۵	۳۵۷
۹	CS10M5	۸۵	۳۵۷	۵	۲۱	۱۰	۴۲
۱۰	CS25M5	۷۰	۲۹۴	۵	۲۱	۲۵	۱۰۵
۱۱	CS50M5	۴۵	۱۸۹	۵	۲۱	۵۰	۲۱۰
۱۲	CS10M7.5	۸۲/۵	۳۴۶/۵	۷/۵	۳۱/۵	۱۰	۴۲
۱۳	CS25M7.5	۶۷/۵	۲۸۳/۵	۷/۵	۳۱/۵	۲۵	۱۰۵
۱۴	CS50M7.5	۴۲/۵	۱۷۸/۵	۷/۵	۳۱/۵	۵۰	۲۱۰
۱۵	CS40M10	۵۰	۲۷۳	۱۰	۴۲	۴۰	۱۶۸
۱۶	CS35M15	۵۰	۲۵۲	۱۵	۶۳	۳۵	۱۴۷

OPC	ملات سیمانی فاقد مواد افزودنی (ملات مرجع)
CM	ملات سیمانی حاوی میکروسیلیس
CS	ملات سیمانی حاوی سرباره
SM	ملات ساخته شده از سرباره و میکروسیلیس
CSM	ملات سیمانی حاوی سرباره و میکروسیلیس

* نسبت آب به سیمان در تمام طرح ها ثابت و برابر ۰/۶۵ می‌باشد.
* نسبت ماسه به سیمان در تمام طرح‌ها ثابت و برابر ۲/۷۵ می‌باشد.
* اندیس‌های نوشته شده در زیر حروف M و S موجود در نام طرح اختلاط‌ها به ترتیب بیانگر درصد میکروسیلیس و سرباره جایگزین شده با سیمان هستند. مثلا در طرح شماره ۸، اعدا ۱۵ و ۸/۵ نوشته شده در زیر حروف M و S یعنی اینکه به ترتیب ٪۵ میکروسیلیس و ٪۸/۵ سرباره جایگزین سیمان در این طرح وجود دارد.

۳-۲-مراحل انجام آزمایش‌ها

در این تحقیق آزمایش‌های مختلفی شامل میزان جذب آب، وزن مخصوص ملات تر، مقاومت‌های فشاری، خمشی و کششی مستقیم بر روی ملات مرجع و ملات‌های دوجزئی شامل سیمان- میکروسیلیس با درصدهای جایگزینی (۵، ۱۰ و ۱۵) و سیمان- سرباره با درصدهای جایگزینی (۲۵، ۴۰ و ۵۰)، سرباره و میکروسیلیس با درصدهای جایگزینی (۱۵ و ۸۵) و ملات‌های سه‌جزئی شامل سیمان-میکروسیلیس- سرباره با درصدهای جایگزینی ۱۰، ۲۵، ۳۵، ۴۰ و ۵۰ سرباره و ۵، ۷/۵، ۱۰ و ۱۵ میکروسیلیس در سنین ۷، ۲۸، ۵۶ و ۹۱ روزه به صورت جداگانه به ترتیب بر روی نمونه‌های مکعبی ۵۰×۵۰×۵۰ میلی‌متری و نمونه‌های منشوری ۱۶۰×۴۰×۴۰ میلی‌متری و نمونه پاپیونی استاندارد صورت پذیرفته است. بعد از قالب‌گیری، نمونه‌ها به وسیله پارچه خیس جهت جلوگیری از تبخیر آب آنها پوشانده شده و پس از ۲۴ ساعت از قالب خارج گردیده و در آب آهک اشباع عمل‌آوری شدند. برخی نمونه‌ها تا سن ۷ روزه و برخی دیگر تا سنین ۲۸، ۵۶ و ۹۱ روزه بر اساس نوع آزمایش لازم و بر طبق استاندارد عمل‌آوری شدند و سپس نمونه‌ها طبق برنامه زمانی جهت انجام آزمایش‌ها از آب خارج گردیدند. آزمایش‌های شیمی مربوط به تحقیق در آزمایشگاه کارخانه فولاد اهواز و آزمایش‌های ملات در آزمایشگاه شرکت مهندسین مشاور سازه‌پردازان آرین بتن اهواز و سازمان راه و شهرسازی تهران انجام گرفت.

۳- تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این بخش نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام شده در جداول مربوطه داده شده و با استفادهاز نمودارهای میله‌ای به بررسی خواص مکانیکی و روانی طرح‌های مرجع، دوجزئی و سه‌جزئی به صورت جداگانه پرداخته می‌شود. در ادامه با تجزیه و تحلیل نتایج بر روی سه دسته از طرح اختلاط ها، به مقایسه همزمان تمام طرح‌ها اقدام شده است. آزمایش‌های زیر در طرح اختلاط‌ها بررسی و مقایسه شدند:

۱-آ زمایش میز جریان/ آزمایش سیلان
۲- وزن مخصوص ملات‌ها در حالت تر
۳- آزمایش مقاومت فشاری
۴- آزمایش مقاومت خمشی
۵- آزمایش مقاومت کششی مستقیم

۳-۱- بررسی و تحلیل روانی ملات‌های مرجع، دو جزئی و سه جزئی

آزمایش میز جریان یا سیلان، برای هر نمونه مطابق ASTM [14] C230 انجام شدند. جزئیات آزمایش‌های میز جریان که در جدول ۸ ارائه شدند، نشان می‌دهند که با افزایش درصد میکروسیلیس در طرح اختلاط‌ها، روانی طرح‌ها کاهش یافته و به آب بیشتری جهت تر شدن سطوح ذرات نیاز می‌باشد که طبق نتایج آزمایش میزان جریان، درصد مصرفی فوق روان‌کننده مورد نیاز هر طرح برای رسیدگی به روانی لازم در جدول ۸ داده شده است.

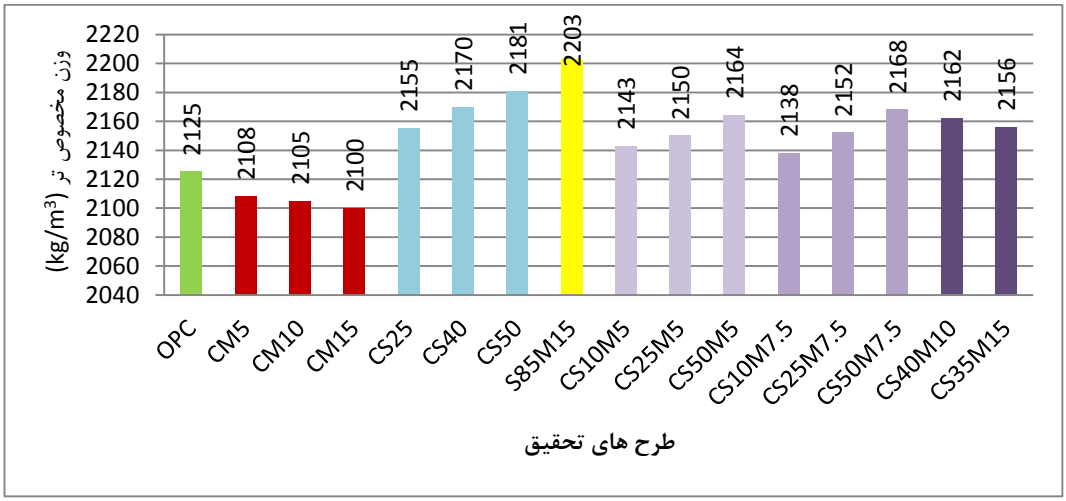
جدول ۸- جزئیات آزمایش‌های میز جریان مربوط به ملات‌های تحقیق

شماره	نام ملات	میزان جریان ملات					فوق روان‌کننده (٪)
		۱	۲	۳	۴	میانگین (mm)	
۱	OPC	۱۸۸	۱۸۶	۱۹۱	۱۸۷	۱۸۸/۰	۰،۰۰
۲	CM5	۱۸۵	۱۷۰	۱۸۰	۱۸۴	۱۷۹/۸	۰،۳۰
۳	CM10	۱۷۹	۱۷۵	۱۷۰	۱۶۹	۱۷۳/۳	۰،۳۰
۴	CM15	۱۶۵	۱۶۸	۱۷۰	۱۷۵	۱۶۹/۵	۰،۳۲
۵	CS25	۱۶۴	۱۶۵	۱۶۰	۱۶۸	۱۶۴/۳	۰،۳۰
۶	CS40	۱۸۵	۱۹۱	۱۸۳	۱۸۸	۱۸۶/۸	۰،۰۰
۷	CS50	۱۹۰	۱۹۲	۱۹۵	۱۸۸	۱۹۱/۳	۰،۰۰
۸	S85C15	۲۱۲	۲۰۱	۲۰۵	۲۰۲	۲۰۵/۰	۰،۰۰
۹	CS10M5	۱۷۵	۱۷۷	۱۸۰	۱۷۹	۱۷۷/۸	۰،۳۲
۱۰	CS25M5	۱۷۵	۱۷۰	۱۷۶	۱۷۵	۱۷۴/۰	۰،۳۰
۱۱	CS50M5	۱۹۰	۱۹۲	۱۹۵	۱۸۸	۱۹۱/۳	۰،۰۰
۱۲	CS10M7.5	۱۸۰	۱۷۵	۱۷۷	۱۷۸	۱۷۷/۵	۰،۳۰
۱۳	CS25M7.5	۱۸۲	۱۸۰	۱۷۷	۱۸۰	۱۷۹/۷	۰،۳۰
۱۴	CS50M7.5	۱۹۲	۱۹۸	۱۹۱	۱۹۵	۱۹۴/۰	۰،۰۰
۱۵	CS40M10	۱۹۰	۱۹۰	۱۸۹	۱۸۵	۱۸۸/۵	۰،۰۰
۱۶	CS35M15	۱۹۵	۱۸۵	۱۹۲	۱۸۵	۱۸۹/۳	۰،۰۰

تذکر: بر اساس ASTM C230 و سیلان ۵±۱۱۰ میلی‌متر قطر اولیه (محدوده ۲۰۰- ۱۸۰ میلی‌متر) .

۳-۲- بررسی وزن مخصوص نمونه‌ها در حالت تر

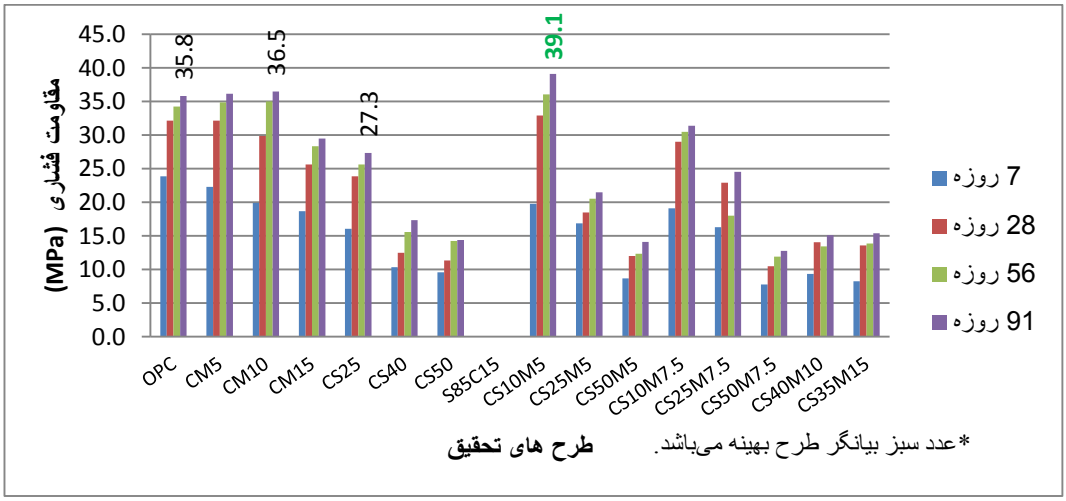
نتایج در شکل ۲ داده شدند. نتایج حاکی از آن است که، وزن مخصوص تر نمونه‌ها ارتباط مستقیمی با درصد افزایش سرباره و میکروسیلیس دارد. از آنجایی که سرباره نسبت به سیمان و میکروسیلیس وزن مخصوص بیشتری دارد، وزن مخصوص تر نمونه‌ها نیز افزایش پیدا نموده و برعکس با افزایش درصد میکروسیلیس، وزن مخصوص تر نمونه‌ها کاهش یافته است.



شکل ۲- تأثیر میکروسیلیس و سرباره بر وزن مخصوص تر نمونه‌ها

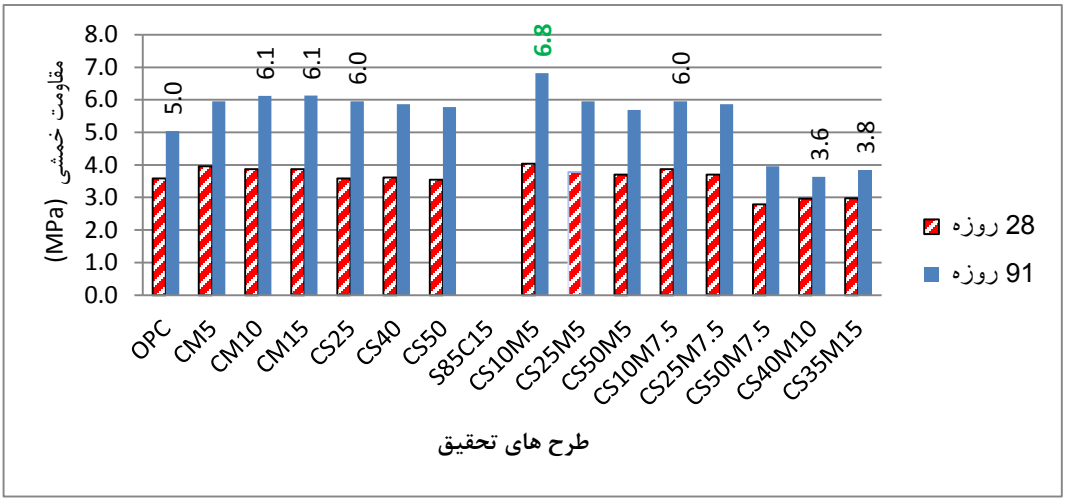
۳-۳- تحلیل نتایج مقاومت فشاری

مهم‌ترین خاصیت مکانیکی ملات‌ها، مقاومت فشاری است که نتایج آن در سنین ۷، ۲۸، ۵۶ و ۹۱ روزه بر روی نمونه مرجع و نمونه‌های حاوی درصدهای مختلف میکروسیلیس و سرباره به صورت‌های جداگانه و همزمان در شکل ۶ داده شده است. مقاومت فشاری بر اساس ASTM C109 M-08 در سنین ۷، ۲۸، ۵۶ و ۹۱ روزه بر نمونه‌های مکعبی ۵۰×۵۰×۵۰ میلی‌متری انجام شد. سرعت بارگذاری 9kN/s انتخاب شد. [۱۵]



شکل ۳- مقاومت فشاری نمونه‌های تحقیق در سنین مختلف (MPa)

نتایج به دست آمده از شکل ۳ نشانگر آن است که افزایش مقاومت فشاری در ملات مرجع در سن ۷ روزه نسبت به ملات‌های دوجزئی و سه‌جزئی بیشتر بوده ولی به مرو زمان و در سنین بالاتر مقاومت سه‌جزئی حاوی ۵٪ میکروسیلیس و ۱۰٪ سرباره رو به افزایش نهاده و در نهایت در سن ۹۱ روزه ملات سه‌جزئی CS10M5 بیشترین مقاومت فشاری را از خود نشان داده است. مقاومت فشاری در ملات سه‌جزئی بهینه، در مقایسه با ملات مرجع ۹/۱٪ و در مقایسه با ملات دوجزئی بهینه ۷/۱٪ بیشتر گردیده است.



شکل ۴- تغییرات مقاومت خمشی نمونه‌های تحقیق در سنین مختلف

۴-۳- تحلیل نتایج مقاومت خمشی

مقاومت خمشی ملات با استفاده از تیر ساده تحت بارگذاری (نمونه‌های منشوری) در سنین ۲۸ و ۹۱ روزه بر روی ملات‌های مرجع، دوجزئی و سه‌جزئی طبق شکل ۴ ارائه شده‌اند. مقاومت خمشی بر اساس ASTM C348 M-08 در سنین ۲۸ و ۹۱ روزه بر روی نمونه-های منشوری ۱۶۰×۴۰×۴۰ میلی‌متری انجام شد. سرعت بارگذاری 9 kN/s انتخاب شد [۱۶]

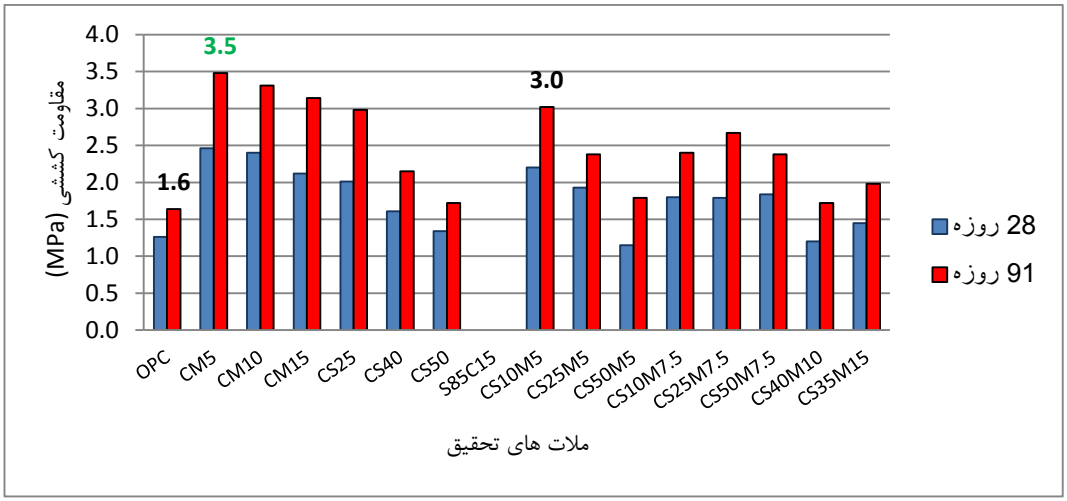
با توجه به شکل ۴ مشهود است که در سن ۲۸ روزه مقاومت خمشی نمونه‌های دوجزئی و سه‌جزئی نسبت به نمونه مرجع افزایش محسوسی را نشان نمی‌دهند که احتمالا مؤید این نکته است که در این بازه زمانی هنوز فعالیت‌های پوزولانی به صورت کامل انجام نگردیده است. در سن ۹۱ روزه با توجه به اینکه سرباره و میکروسیلیس در نقش پرکننده[6] فضاهای موجود در ژل سیمان را پر می‌کنند، باعث تراکم بیشتر شده و باعث افزایش مقاومت خمشی نمونه‌ها نسبت به ملات مرجع گردیده‌اند. از مقایسه مقاومت‌های فشاری و خمشی نمونه‌ها دیده می‌شود که مقاومت‌ها رفتاری مشابه دارند، به این معنی که در ملات‌های دوجزئی با افزایش سرباره مقاومت خمشی افت کرده و همچنین مقاومت خمشی نمونه‌های سه‌جزئی نیز افت می‌نماید. بیشترین مقاومت خمشی در ملات‌های دوجزئی مربوط به طرح CM10 و در ملات‌های سه‌جزئی مربوط به طرح CS10M5 می‌باشد که نسبت به ملات مرجع به ترتیب در سنین ۲۸ و ۹۱ روزه ۱۲/۱٪ و ۳۶/۴٪ بیشتر می‌باشند.

[1] Filler

[6]

۵-۳- تحلیل نتایج مقاومت کششی مستقیم

یکی دیگر از آزمایش‌های تعیین خواص مکانیکی ملات‌ها آزمایش کشش مستقیم می‌باشد. اگر چه همواره ملات به گونه‌ای طراحی نمی‌گردد که تنش کششی مستقیم را تحمل نماید، ولی دانستن مقاومت کششی ملات در تخمین باری که ترک‌ها در آن توسعه می‌یابند، با ارزش است. مقاومت کششی بر اساس ASTM C190 بر روی نمونه‌های پاپیونی در سنین ۲۸ و ۹۱ روزه که در آب آهک عمل‌آوری شدند، انجام گردیده است [۱۷]. شکل ۵ نشان می‌دهد که در ملات‌های دوجزئی با افزایش درصد جایگزینی میکروسیلیس با سیمان، از مقاومت کششی کم شده، ولی در مقایسه با سایر ملات‌های دوجزئی رشد داشته است. هم‌چنین ملات سه-جزئی بهینه CS10M5 با درصدهای جایگزینی ۵٪ میکروسیلیس و ۱۰٪ سرباره از مقاومت کششی بالاتری نسبت به سایر ملات‌های سه‌جزئی برخوردار بوده که به مقاومت ملات بهینه دوجزئی نیز نزدیک‌تر می‌باشد.



شکل ۵: تغییرات مقاومت کششی مستقیم نمونه‌ها در سنین ۲۸ و ۹۱ روزه (MPa)

۴- نتایج

نتایج کلیدی حاصل از تحقیق به شرح زیر می‌باشند:

- ✓ اضافه کردن میکروسیلیس تا ۵٪ وزن سیمان در ملات‌های سه‌جزئی، باعث افزایش مقاومت‌های فشاری، خمشی و کششی ملات شده که این افزایش مقاومت در تمامی سنین نسبت به ملات مرجع قابل ملاحظه بوده است. در طرح ملات بهینه سه‌جزئی CS10M5 نسبت به طرح ملات مرجع، این افزایش‌ها به ترتیب به مقدار ۹/۲٪، ۳۳/۳٪ و ۸۷/۵٪ بوده است.
- ✓ در همه ملات‌های دوجزئی و سه‌جزئی حاوی سرباره، وزن مخصوص نمونه‌ها افزایش داشته است.
- ✓ مقاومت فشاری در ملات سه‌جزئی بهینه، در مقایسه با ملات مرجع ۹/۲٪ و نسبت به ملات دوجزئی بهینه ۷/۱٪ بیشتر بوده است.
- ✓ مقاومت خمشی در ملات‌های دوجزئی و سه‌جزئی بهینه نسبت به ملات مرجع به ترتیب ۲۲/۵٪ و ۳۶/۴٪ افزایش داشت.
- ✓ مقاومت کششی در ملات‌های دوجزئی و سه‌جزئی بهینه نسبت به ملات مرجع به ترتیب ۱۱۷/۵٪ و ۸۸/۸٪ افزایش یافته است.
- ✓ به طور کلی میزان درصد پوزولان‌های مصرفی جایگزین سیمان در طرح بهینه ملات سه‌جزئی بیش از میزان جایگزینی‌ها در طرح بهینه دوجزئی بوده و هم‌چنین باعث بهبود مقاومت‌های فشاری و خمشی نیز شده است. این نتیجه از نظر اقتصادی نیز به صرفه است.

مراجع

[1] Khanzadi M, Habibian M, Tadayin M, Maghrebi M. Investigation of the effect of Pozzolanic dimensions (amorphous silica) at two micro and nanometer scales on the mechanical properties of cement paste. Journal of Concrete Research. 2008; 1(2): 45-53.

[2] Jay CB. Translated by: Horfer A, Ghasemi H, Shakerchizadeh M. Portland Cement Production, Composition and Properties. University of Tehran Press. 2009; 33-43.

[3] Ghourchian S, Shakerchizadeh M, Ahmadi B. The effect of internal curing on shrinkage and compressive strength of mortars using light zeolite and leca aggregates. 3rd National Iranian Concrete Conference, Tehran, Iranian Concrete Association. 2012.

[4] Ramazanipour AA, Kazemian M, Sediqi S, Bahmanzadeh, F. Investigation of durability of natural pozzolan mortars under carbonation, Journal of Modern Approaches in Civil Engineering. 2020; 3 (2).

[5] Neville AM. Translated by: Ramezanianpour AA. Concrete Technology. Second Edition. Knowledge Writer Publishing. Tehran. 2016; 9-13.

[6] Ramazanianpour AA, Kazemian M, Siddiqui S, Bahmanzadeh F. Investigation and Comparison of Mechanical Properties and Durability of Cement Mortars Containing Natural and Artificial Pozzolans. Third International Conference and Seventh National Conference on Materials and Modern Structures in Civil Engineering. Hamedan. Hamedan Bu Ali Sina University. 2019.

[7] Khalilzadeh VE, Moradi N. Laboratory study of the effect of nanoclay and fly ash on compressive strength of cement sand mortar. Journal of Structural Engineering and Construction, 2016; 3 (1): 38-48.

[8] Roshanzamir M, Banshi V, Dehghan SM, Najafgholipoor MA. Laboratory study of the effect of water to cement ratio and sand grain size distribution on consistency and strength of building mortars. First National Conference on Applied Research in Engineering Civil Engineering (Structural Engineering and Construction Management). Tehran. Sharif University of Technology. 2016.

[9] Mohammadi M, Farhadi M. Laboratory Study of Tensile Strength of Mortar Made of Composite Portland cement. 3rd International Conference and 7th National Conference on Modern Materials and Structures. Hamadan. Bu Ali Sina University. 2019.

[10] Rezaei HA, Mobarake MJ, Investigating the Effect of Mortar Resistance (Grout) by Replacing Different Percentages of Electric Arc Furnace Slag in Replacement with Cement Construction Industry. Tabriz. Young Engineers Association of East Azerbaijan Province. 2019.

[11] Kondraivendhan B, Bhattacharjee B. Flow behavior and strength for fly ash blended cement paste and mortar. International Journal of Sustainable Built Environment. 2019; 4(4): 270–277.

[12] Ashiqur Rahman M, Kumar Sarker P, Ahmed Shaikh F. Soundness and compressive strength of Portland cement blended with ground granulated ferronickel slag., Construction and Building Materials, 2017; 140 (6): 194–202.

[13] ASTM C305, Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete. Annual Book of Standards. 2017.

[14] ASTM C230, Standard test methods for time of setting of hydraulic cement by Vicat needle. American Society for Testing and Materials. Annual Book of ASTM Standards, 2017.

[15] ASTM C109, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. Annual Book of Standards, 2017.

[16] ASTM C348, Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar. Annual book of ASTM standards. 2017.

[17] ASTM C190, Standard specification for Portland cement. Annual book of ASTM standards. 2017.

Investagation of Rheological and Mechanical Properties of two-component and three-component Mortars Containing Microsilica and Slag

Seyed Fathollah Sajedi*
Associate professor, Department of Civil Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran
Wilbert Karamian
M.Sc. student, Department of Civil Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

Abstract

With the use of pozzolans and additives, today, a huge change has been made in mortar technology to achieve high strength and durability. The purpose of this study is to make two-component and three- component mortars and compare their rheological and mechanical properties. In this research, compressive, flexural and tensile strength tests were performed on reference mortar, two-component mortars as well as three-component mortars. Slag utilized in making of research mortars was produced in Ahvaz Steel plant. Compressive strength tests were conducted at 7, 28, 56 and 91 days and flexural and tensile strength tests were performed at 28 and 91 days. In the mentioned resistance tests, cubic specimens with dimensions of 50 mm, prismatic specimens with dimensions of 160 × 40 × 40 mm and standard bow-tie specimens were applied, respectively. The results presented that the replacement of microsilica up to 10% by weight of cement increased the compressive, flexural and tensile strengths of two-component mortars, which were significant at all ages compared to the sample without microsilica. With increasing cement substitute microsilica up to 15%, changes in compressive, flexural and tensile strengths follow an inverse nonlinear behavior. Optimal microsilica and slag replacement percentages of 5% and 10%, respectively, increased the three strengths in the three-component mortars, which are significant at all ages compared to the reference sample. With increasing the percentage of replaced microsilica, the flowability of the mortars decreased and with increasing the percentage of slag, the flow increased.

Keywords: Two-component and three-component mortars, Microsilica, Ahvaz Steel plant, Slag, Rheological properties, Mechanical properties.