

بررسی اثر جایگزینی بخشی از مصالح سنگی با ماسه ریخته‌گری بر خواص مکانیکی و دوام ملات تعمیر

علی کاتبی^۱، امیر مسعود صالحی^{۲*}، فاطمه کشاورز^۳

- ۱- استادیار گروه مهندسی عمران - مدیریت ساخت، دانشگاه خوارزمی
- ۲- استادیار گروه مهندسی عمران - مدیریت ساخت، دانشگاه خوارزمی*
- ۳- کارشناس ارشد رشته عمران- مهندسی و مدیریت ساخت، دانشگاه خوارزمی

* am_salehi@khu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۲/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۸/۷/۳۰

چکیده

تعمیر و نگهداری سازه‌ها در طول عمر سازه امری اجتناب ناپذیر است. بنابراین استفاده از یک ماده تعمیری که قابلیت ارائه سرویس مجدد در زمان طولانی‌تری را داشته باشد، لازم می‌باشد. امروزه تولید یک ماده تعمیری که پیوستگی کامل با المان آسیب دیده داشته باشد و بر اساس مصالح موجود در کشور دارای صرفه اقتصادی نیز باشد، ضروری است. از طرف دیگر افزایش ضایعات صنعتی، کمبود فضای دفن زباله و افزایش هزینه‌های آن، بازیافت ضایعات صنعتی را لازم کرده است. یکی از این مواد زائد، ضایعات ماسه ریخته‌گری است که حاوی رزین، پودر ذغال و بتونیت است که قابل حل در آب بوده و باعث انتشار مواد شیمیایی خطرناک در محیط زیست می‌شود. در این پژوهش نمونه‌های ملات و گروت با جایگزینی مقادیر مختلف ضایعات ماسه ریخته‌گری با ماسه با هدف بررسی اثر جایگزینی بر خواص این محصولات پایه سیمانی، ساخته شده است. نتایج نشان می‌دهد جایگزینی ضایعات ماسه ریخته‌گری کارایی ملات و گروت را تا حدودی کاهش می‌دهد. در رابطه با خواص سخت شده، جایگزینی ۲۰٪ از این ماده ضایعاتی باعث کمترین کاهش مقاومت فشاری ملات می‌شود اما جایگزین ۱۰٪ از این ماده باعث افزایش مقاومت فشاری گروت شده است. اثر این مواد بر مقاومت خمشی نیز مانند تغییرات مقاومت فشاری بوده است. با توجه به نتایج این پژوهش آزمایش فراصوت که به عنوان یک آزمایش کنترل کیفیت غیرمخرب برای مقاومت فشاری بتن بکار می‌رود، قابلیت تخمین مقاومت فشاری و خمشی ملات و گروت را ندارد.

واژگان کلیدی: ملات تعمیری، ضایعات ماسه ریخته‌گری، سرعت امواج فراصوت، دوام ملات

۱. مقدمه

محیطی مهاجم برای بتن، دچار آسیب دیدگی یا خرابی شده‌اند. این محیط مهاجم باعث ایجاد ترک در بتن می‌شود؛ که این اتفاق نه تنها در مرحله قبل از سخت شدن نهایی بلکه در تمام طول عمر سازه

در سال‌های اخیر تعداد زیادی از سازه‌های بتنی در کشورهای مختلف دنیا و همچنین در ایران به علل مختلف از جمله شرایط

محتمل است. از این روی پس از انجام بازرسی ابتدایی و جامع از سازه، ممکن است در برخی سازه‌ها، تعمیر توجیه اقتصادی داشته و بتوان با انجام تعمیر، کیفیت سازه موجود را ارتقا بخشید [1].

از سوی دیگر یکی دیگر از کاربردهای بتن، مرکزی برای دفن زباله‌ها است. کمبود فضاهای دفن زباله و همچنین افزایش هزینه‌های آن، بازیافت و بهره‌برداری از محصولات صنعتی و مواد زائد را برای پژوهشگران به یک پیشنهاد جذاب تبدیل نموده است. با انجام دفن مناسب یا بازیافت زباله‌ها، هم از محیط‌زیست محافظت شده و هم ضایعات از بین می‌رود [2].

انواع مختلفی از محصولات صنعتی زائد وجود دارند که یکی از آنها، ماسه ریخته‌گری است. در ریخته‌گری چندین بار ماسه را بازیافت و مجدد استفاده می‌کنند که این عمل در ایران تا حداکثر ۲ بار صورت می‌گیرد و هنگامی که ماسه‌ها در اثر تخریب حرارتی بیش از حد ریز می‌شوند و دیگر قابل استفاده مجدد نیستند، از فرآیند ریخته‌گری حذف و تبدیل به ضایعات ماسه ریخته‌گری می‌شوند [3, 4].

ضایعات ماسه ریخته‌گری حاوی رزین، پودر ذغال و بتونیت است که قابل حل در آب بوده و در اثر دفع نامناسب، باعث آلودگی خاک و منابع آب زیرزمینی و انتشار مواد شیمیایی خطرناک در محیط زیست می‌شوند [5-7]. همچنین مهمترین کاربردهای ضایعات ماسه ریخته‌گری، در مهندسی تاسیسات زیر بنایی، سدهای آبی، تولید مواد کم مقاومت کنترل شده، تهیه ملات و بتن، بتن آسفالتی و آجر گزارش شده‌اند [8].

۲. مروری بر پیشینه تحقیق

سیدیکو و همکاران [3] اثر ماسه ریخته‌گری (UFS) ۱ به عنوان جایگزینی بخشی از ریزدانه بر مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته بتن را بررسی کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که جایگزینی این ماده تا حدود ۳۰ درصد باعث افزایش مقاومت فشاری شده و می‌تواند در تهیه بتن استفاده شود.

گونی و همکاران [5] اثر ماسه ریخته‌گری WFS_۲ براسلامپ، مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته بتن را بررسی کرده‌اند و مشاهده نموده‌اند که افزایش جایگزینی ضایعات ریخته‌گری روانی

و مقدار اسلامپ بتن تازه را کاهش می‌دهد و مقاومت فشاری با افزایش مقدار ماسه ریخته‌گری کاهش می‌یابد. در این پژوهش مقدار بهینه ضایعات ریخته‌گری ۱۰ درصد تعیین شده است.

اته بریا و همکاران [7] اثر ماسه ریخته‌گری شیمیایی و ماسه ریخته‌گری خام را روی مقاومت فشاری ۲۸ روزه و مدول الاستیسیته بتن، بررسی کرده‌اند و دریافتند که بتن با ماسه ریخته‌گری شیمیایی، مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته بالاتری ارائه می‌دهد که احتمالاً ناشی از خواص فیزیکی و شیمیایی متفاوت و به ویژه جذب آب پایین ماسه ریخته‌گری شیمیایی است.

سینگ و سیدیکو [9] مقاومت فشاری بتن حاوی ضایعات ریخته‌گری را بررسی کردند. نتایج آزمون نشان می‌دهد که مقاومت فشاری بتن در تمام سنین، با افزایش محتوای WFS تا ۱۵٪ به صورت جایگزینی بخشی از ماسه، افزایش یافته است. آگروال و سیدیکو [10] اثر مخلوط ماسه ریخته‌گری و خاکستر کف به عنوان جایگزینی بخشی از ریز دانه‌های بتن را بررسی کرده‌اند. در این پژوهش کاهش مقاومت فشاری نمونه‌ها، نسبت به بتن شاهد، در سنین مختلف مشاهده شده است.

جعفریان و همکاران [11] به بررسی نقش ضایعات کارخانه ماسه ریخته‌گری حاوی ذرات میکروسیلیس برخواص مقاومتی بتن پرداخته‌اند. در این پژوهش مقدار بهینه جایگزینی ضایعات ریخته‌گری ۱۵٪ تعیین شده است. با افزایش میزان ضایعات تا ۲۰٪، مقاومت فشاری کاهش یافته است. پورشرفی و همکاران [12] اثر افزودن WFS را به عنوان جایگزینی بخشی از ریزدانه‌ها روی مقاومت فشاری بتن بررسی کردند. نتایج به دست آمده، کاهش مقاومت فشاری را در اثر جایگزینی ضایعات ماسه ریخته‌گری نشان داده است، که دلیل آن را می‌توان بالاتر بودن سطح ویژه ذرات ریز ماسه ریخته‌گری و جذب آب بیشتر آن و کاهش ژل آبی سیمان دانست.

هدا و همکاران [13] تاثیر سنگدانه‌های بازیافتی بر روی مشخصات دوام انجماد و ذوب بتن‌های بازیافتی را بررسی کرده‌اند. نتایج نشان داده است که با افزایش سطح جایگزینی سنگدانه‌های بازیافتی و نیز با افزایش تعداد چرخه‌های انجماد و ذوب، مدول الاستیسیته دینامیکی نسبی کاهش می‌یابد. همچنین

جدول ۲. مشخصات فیزیکی سیمان پرتلند

physical properties	Average
Fineness (Blaine Test, cm ² /gr)	3081
Retained on sieve#170(90μm)	5.7
Autoclave Expansion	0.21
Water or Normal Consistency	23
Initial Setting Time(Vicat Test, minutes)	153
Final Setting Time(Vicat Test, minutes)	212
Compressive strength (kgf/ cm ²)	160
2 days	
3 days	208
7 days	333
28 days	492

Table 2. Physical properties of Portland Cement

ماسه آهکی

سنگدانه طبیعی استفاده شده، ماسه بابل سر است که گرد گوشه و رودخانه‌ای بوده و مدول نرمی آن ۲/۴۸ و وزن مخصوص اشباع با سطح خشک آن ۲/۶۳ kg/m³ و درصد جذب آب آن ۰.۵٪ است.

منحنی دانه‌بندی این ماسه در شکل (۱) ارائه شده است.

ماسه ریخته‌گری (ماسه سیلیسی)

ماسه ریخته‌گری استفاده شده در آزمایش با حداقل اندازه ۰/۱۲ میلی‌متر و حداکثر اندازه ۰/۹ میلی‌متر با جذب آب ۱/۵٪ است و دارای مشخصات شیمیایی و فیزیکی بر اساس استاندارد ASTM C136 [16] در جدول (۳ و ۴) ارائه شده است.

شکل ۱. دانه‌بندی ماسه

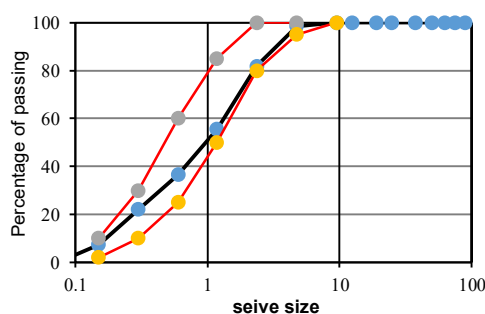


Fig. 1. The particle-size distribution of the sand

بتن بازیافتی به خوبی می‌تواند تحت شرایط سخت و سرد محیطی عملکرد خوبی داشته باشد. نتایج بیانگر آن است که عملکرد دوام انجماد و ذوب بتن بازیافتی قابل مقایسه با بتن معمولی است.

امیری و مجروحی [14] مشکل اصلی در انتخاب مصالح برای تعمیر و ترمیم اجزای بتنی راه، استفاده از آنها برای کاربردهای سازه‌ای معرفی کرده‌اند و هدف نهایی را انتخاب مصالحی که با به کارگیری آنها بتوان سطح تحمل تنش را در قسمت ترمیم شده به حالت قبل از تخریب برگرداند، بیان نموده‌اند.

تعدد سازه‌های آسیب دیده در جهان و درکشور خودمان، باعث تولید انواع محصولات برای تعمیر سازه‌های بتنی از جمله ملات‌های تعمیری و گروت‌ها شده است. هدف اصلی این پژوهش، توسعه ملات تعمیری و گروت‌های پرمقاومت با استفاده از مصالح بازیافتی ماسه ریخته‌گری است.

۳. برنامه آزمایشگاهی

۳-۱ مصالح مصرفی

۳-۱-۱ سیمان

سیمان استفاده شده در این پژوهش، سیمان پرتلند تیپ II آبیک بوده است که مشخصات شیمیایی و فیزیکی این سیمان بر اساس استاندارد ASTM C150 [15]، در جداول (۱ و ۲) ارائه شده است.

۳-۱-۲ سنگدانه

سنگدانه‌های استفاده شده در این پژوهش ماسه آهکی، و ضایعات ماسه ریخته‌گری بوده‌اند که جدول مشخصات مربوط به آنها در ادامه ارائه شده است.

جدول ۱. مشخصات شیمیایی سیمان پرتلند

Description %	Percent
SiO ₂	20.79
Al ₂ O ₃	4.76
Fe ₂ O ₃	3.86
CaO	62.28
Mgo	3.22
SO ₃	1.89
Na ₂ O	0.37
K ₂ O	0.68
Free-CaO	0.82
Chloride	-
Loss on Ignition (LOI)	1.88
Insoluble Residue (I.R)	0.51
C ₃ S	52.67
C ₂ S	19.89
C ₃ A	6.09
C ₄ AF	11.74

Table 1. Chemical properties of Portland Cement

و گروت و عمل‌آوری ۲۸ روزه آنها از آب آشامیدنی کرج استفاده شده است.

۴-۱-۳ فوق روان کننده

فوق روان کننده استفاده شده در این پژوهش محصولی بر پایه پلی کربوکسیلات است. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی این محصول در جدول (۶) ارائه شده است.

جدول ۶. مشخصات فیزیکی و شیمیایی فوق روان‌کننده

properties	Result
Physical state	Liquid
Color	Dark brown
Specific gravity	1.18±0.2
PH	5±0.7
Ion chlorine	Less than standard BS 5075

Table 6. Physical and Chemical properties of Superplasticizer

۲-۳ طرح مخلوط

در این پژوهش با هدف رسیدن به ملات و گروت با کارایی مناسب و دوام بالا و همچنین مقاومت فشاری ۲۸ روزه ۴۰ مگاپاسکال و بالاتر، نسبت‌های مخلوط اولیه تعیین و با ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی و اصلاح نسبت‌ها، مخلوط نهایی مشخص شد. ۵ طرح اختلاط برای ملات و ۵ طرح اختلاط برای گروت در نظر گرفته شد. در طرح اختلاط تمام نمونه‌های ملات و گروت، نسبت آب به سیمان مقدار ثابت ۰/۴ و مقدار سیمان نمونه‌های ملات ۶۵۰ کیلوگرم در متر مکعب در نظر گرفته شده است. در نمونه‌های ملات ماسه طبیعی با ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵٪ ضایعات ماسه ریخته‌گری جایگزین شده است. مقدار سیمان نمونه‌های گروت ۱۱۰۰ کیلوگرم در متر مکعب در نظر گرفته شده است. در نمونه‌های گروت ضایعات ماسه ریخته‌گری به مقدار ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵٪ جایگزین ماسه طبیعی شده است. مشخصات طرح‌های اختلاط نمونه‌های ملات و گروت در جداول (۸ و ۹) ارائه شده است.

۳-۳ قالب‌گیری نمونه‌ها

در این پژوهش مطابق آیین‌نامه ASTM C109-80 [18] برای تعیین مقاومت فشاری نمونه‌های ملات از قالب‌های مکعبی 50*50*50 mm و مطابق ASTM C293-79 [19] برای

جدول ۳. مشخصات شیمیایی ماسه ریخته‌گری

Constituent	Percent
SiO ₂	97.5
Fe ₂ O ₃	0.85
Al ₂ O ₃	0.95
K ₂ O	0.19
CaO	0.27
Mgo	0.24
LOI	0.0

Table 3. Chemical properties of Foundry Sand

جدول ۴. مشخصات فیزیکی ماسه ریخته‌گری

Physical properties of WFS	
Color	White & yellow
Specific gravity	2.68
Zinter point	>1400
Corner coefficient	<1.3

Table 4. Physical properties of Foundry Sand

ضایعات ماسه ریخته‌گری (WFS)

ضایعات ماسه ریخته‌گری که در این پژوهش استفاده شده، از صنایع فولاد طبرستان، فولاد روانشیر تهیه شده است. ضایعات ریخته‌گری به علت وجود رزین‌های مختلف و تحت تاثیر حرارت‌های بالا به صورت کلوخه‌های نسبتاً درشت بوده‌اند و به همین دلیل ابتدا با دستگاه سنگ‌شکن آسیاب و پس از تفکیک دانه‌ها با استفاده از الک‌ها دانه‌بندی، بر اساس دانه‌بندی استاندارد در مبحث ۹ مقررات ملی، دانه‌ها با هم ترکیب شدند. جذب آب این ماسه ۱۶/۲۷٪ است.

همچنین برای مشخص کردن عناصر ضایعات ماسه ریخته‌گری و مقادیر آنها، آزمایش تجزیه غیر مخرب XRF روی نمونه کاملاً خشک عبوری از الک ۲۰۰ آزمایش انجام شده است، که نتایج آنالیز عنصری XRF با استاندارد مرجع ASTM-E1621 [17] هماهنگی داشته و نتایج آن در جدول (۵) آورده شده است.

جدول ۵. نتیجه آنالیز XRF ضایعات ماسه ریخته‌گری

Elements	wt %	Elements	wt %
SiO ₂	81.65	Cr ₂ O ₃	0.27
Na ₂ O	14.03	TiO ₂	0.14
Fe ₂ O ₃	1.56	K ₂ O	0.14
CaO	1.34	ZrO ₂	0.11
Al ₂ O ₃	0.66	MnO	0.04

Table 5. XRF analysis of Waste Foundry Sand

۳-۱-۳ آب

در استانداردها آب آشامیدنی برای ساخت بتن، مناسب تلقی شده است. از این رو در این پژوهش در ساختن نمونه‌های ملات

تعیین مقاومت خمشی از نمونه‌های منشوری به ابعاد $40 \times 40 \times 160$ mm استفاده شده است. همچنین برای انجام آزمایش جذب آب و آزمایش سرعت امواج فراصوت از نمونه‌های مکعبی به ابعاد $50 \times 50 \times 50$ mm استفاده شده است.

بررسی کارایی انواع ملات‌ها را ندارد. از این روی، کیفیت تازه ملات‌ها در پژوهش به صورت چشمی ارزیابی شد.

ویژه میزان فوق‌روان‌کننده به گونه‌ای تعیین شد که کارایی مناسب به صورت چشمی بدست آید. برای طرح اختلاط‌هایی که حاوی

جدول ۷. طرح مخلوط ملات

Mixture no.	W/C	water (kg/m ³)	Cement (kg/m ³)	Natural sand (kg/m ³)	WFS (kg/m ³)	Super plasticizer(%)	Air temperature (°C)
M	0.4	260	650	1351	0		23
MR10	0.4	260	650	1211	135	0.2	23
MR15	0.4	260	650	1140	201	0.7	23
MR20	0.4	260	650	1064	266	0.7	23
MR25	0.4	260	650	990	330	0.9	23

Table 7. Mix design of Mortar

جدول ۸. طرح مخلوط گروت

Mixture no.	W/C	water (kg/m ³)	Cement (kg/m ³)	Natural sand (kg/m ³)	WFS (kg/m ³)	Super plasticizer(%)	Air temperature (°C)
G	0.4	440	1100	502	0		23
GR10	0.4	440	1100	450	50	—	23
GR15	0.4	440	1100	423	75	—	23
GR20	0.4	440	1100	395	99	0.1	23
GR25	0.4	440	1100	368	123	0.1	23

Table 8. Mix design of Grout

۴. نتایج آزمایشگاهی و تحلیل آنها

۴-۱ کارایی

نسبت‌های ترکیب به ضایعات ماسه ریخته‌گری بودند، گروت تهیه شده با افزودن درصدی فوق‌روان‌کننده (بین ۰/۲ درصد تا ۱ درصد) به کارایی مناسب رسیده است.

۴-۲ مقاومت فشاری ملات

شکل (۲) مقاومت فشاری نمونه‌های ملات حاوی ضایعات ماسه ریخته‌گری ساخته شده‌اند را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، جایگزینی ۱۰ و ۲۵ درصد باعث بیشترین کاهش مقدار، بترتیب ۵۶ و ۶۴ درصدی شده است. در مقابل جایگزین ۲۰٪ باعث کمترین کاهش به مقدار ۲۵٪ شده است. با افزایش سن نمونه‌ها تا ۲۸ روز، روند کسب مقاومت نمونه‌ها با جایگزینی ماسه ریخته‌گری بطور کلی بهبود پیدا کرده است. مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه شاهد برابر ۶۳ مگاپاسکال بوده و در این سن بیشترین کاهش مقاومت مربوط به جایگزینی ۲۵٪ بوده که حدود ۵۲٪ کاهش مقاومت داشته است.

اصطلاح "کارایی" در ملات با آنچه در مورد بتن به کار می‌رود تفاوت دارد. در بتن، برای بررسی کارایی، از آزمایش اسلامپ استفاده می‌شود. کارایی ملات^۱ می‌تواند به صورت قابلیت پخش ملات زیر ماله و نفوذ به داخل سوراخ‌ها و حفره‌های مصالح بنایی تعریف شود. در واقع این ویژگی مجموعه‌ای از چند خاصیت است که شامل خواص خمیری بودن^۲ قوام^۳ و چسبندگی است [20, 21]. روش استاندارد تعیین خواص ملات تازه، آزمایش میز جریان بر اساس استاندارد *ASTM C 230* [22] و همچنین آزمایش اسلامپ کوچک است. با این حال، از آنجایی که در این تحقیق، انواع ملات‌های خمیری و خودتراکم وجود دارد، این آزمایش قابلیت ارائه یک مقیاس مناسب برای در این پژوهش با توجه به اینکه نسبت آب به سیمان ثابت (۰/۴)

۳-۴ مقاومت خمشی ملات

آزمایش مقاومت خمشی مطابق با استاندارد ASTM C293-79 [19] روی نمونه‌های ملات و گروت در سن ۲۸ روز انجام شده است. همان‌گونه که از نتایج ارائه شده در شکل (۳) مشاهده می‌شود مقاومت خمشی تمام نمونه‌های ملات حاوی ضایعات ریخته‌گری از نمونه شاهد کمتر بوده است.

در ۲۸ روز، مقاومت خمشی نمونه شاهد M برابر ۸/۷۵ مگاپاسکال بوده است و میزان کاهش مقاومت خمشی نسبت به نمونه شاهد به ترتیب برابر ۱۴٪، ۳۲٪، ۴۰٪ و ۵۶٪ با افزایش جایگزینی است. نتایج بدست آمده از مصرف ضایعات ماسه ریخته‌گری در ملات همگام با نتایج آگروال و سیدیکو [10] و همچنین پورشریفی و همکاران [12] می‌باشد که جایگزینی بخشی از ضایعات ماسه ریخته‌گری در بتن باعث کاهش مقاومت بتن شده است.

شکل ۲. مقاومت فشاری ملات حاوی ضایعات ماسه ریخته‌گری

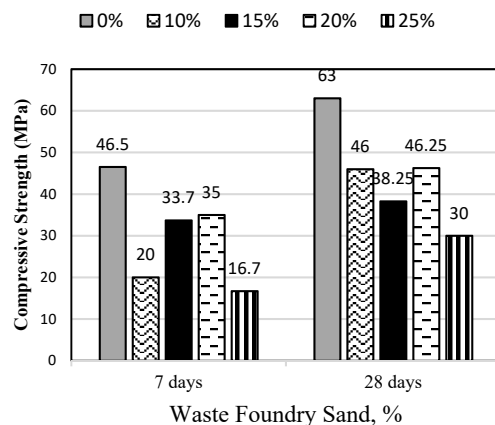


Fig. 2. Compressive Strength of Mortar with replacement of WFS

۴-۴ سرعت امواج فراصوتی (USPV) ملات

آزمون سرعت امواج فراصوتی یک آزمون غیرمخرب است که از کاربردهای اصلی این آزمایش، بررسی کیفیت بتن از نظر تراکم و نیز تخمین مقاومت فشاری است. برای تشخیص کیفیت نمونه‌ها، آزمون سرعت پالس فراصوت روی نمونه‌های ملات و گروت حاوی درصدهای مختلف ضایعات در سن ۷ و ۲۸ روز مطابق استاندارد ASTM C 597-83 [24] انجام شده است.

یکی از اهداف این پژوهش آن است که قابلیت کاربرد فراصوت در ملات تعمیراتی در تخمین خواص مکانیکی را بررسی کند. بر اساس تئوری آزمایش فراصوت باید امواج از مصالح با تراکم بالا و سخت‌تر، سریعتر عبور کنند. نتایج آزمون USPВ در شکل (۴) آورده شده است.

شکل ۴. تغییرات سرعت موج فراصوت با جایگزینی ماسه ریخته‌گری

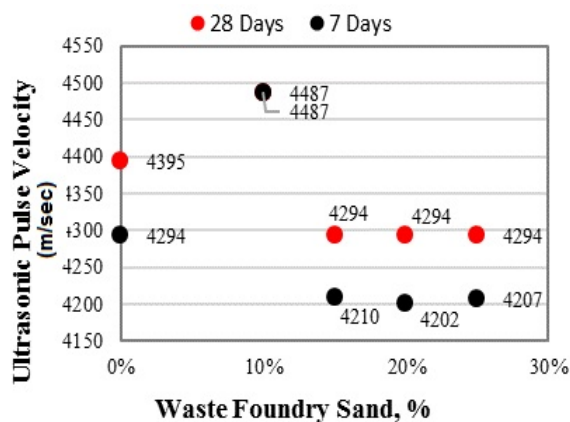


Fig. 4. Changes in Ultrasonic Pulse Velocity by replacing WFS

شکل ۳. مقاومت خمشی ملات حاوی ضایعات ماسه

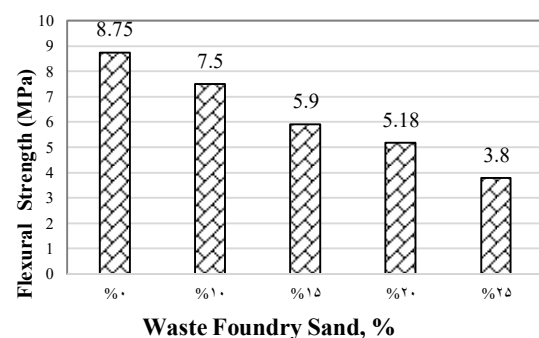


Fig. 3. Flexural Strength of Mortar with replacement of WFS

بر اساس نتایج مقاومت خمشی پیش‌بینی می‌شود که نمونه شاهد بیشترین سرعت امواج فراصوت را در بین نمونه دارا باشد، در حالیکه سرعت امواج در نمونه حاوی ۱۰٪ جایگزینی، بیشترین مقدار است و در نمونه‌های با ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد جایگزینی سرعت امواج یکسان است، در حالیکه مقاومت خمشی مختلفی را نتیجه داده‌اند. بنابراین به نظر می‌رسد که آزمون غیر مخرب فراصوت قابلیت تخمین مقاومت خمشی ملات را هم نداشته باشد.

شکل ۶. رابطه بین مقاومت خمشی و سرعت امواج فراصوت ملات ۲۸ روزه

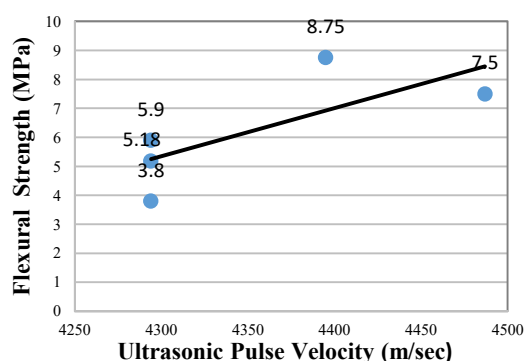


Fig. 6. Relation between Flexural Strength and Ultrasonic Pulse Velocity in Mortar by replacing WFS

۵-۴ جذب آب حجمی ملات

آزمایش جذب آب شاخص مناسبی برای توصیف کیفیت محصولات پایه سیمانی از نظر میزان تخلخل به شمار می‌آید. برای تشخیص کیفیت نمونه‌ها و توصیف ریز ساختار آنها، این آزمون روی نمونه‌های ملات در BS 1881-Part 122 [25] انجام شده است. در شکل (۹) نتایج جذب آب نمونه‌های ملات پس از ۰/۵، ۱، ۲ و ۲۴ ساعت ترسیم شده است.

همان‌گونه که در شکل (۹) مشاهده می‌شود جذب آب نمونه‌های ملات با جایگزینی ضایعات ماسه ریخته‌گری نسبت به نمونه شاهد کاهش یافته است.

به طور کلی با افزایش درصد جایگزینی از ۰ تا ۱۵ درصد، جذب آب نمونه‌ها کم شده است، اما با جایگزینی ۲۰٪ ضایعات، جذب آب نمونه‌ها در تمام زمان‌های اندازه‌گیری بیشتر از نمونه شاهد بوده است و با ادامه روند افزایش ضایعات تا ۲۵ درصد، جذب آب نمونه‌ها مجدداً کمتر شده است.

نتایج نشان می‌دهد که مقدار سرعت موج الکترونیکی در نمونه‌های ملات بین ۴۲۰۲ متر بر ثانیه تا ۴۴۸۷ متر بر ثانیه متغیر است. با افزایش سن ملات سرعت امواج نیز افزایش پیدا می‌کند. بیشینه مقدار سرعت موج الکترونیکی برای مخلوط بتن با ۱۰٪ ضایعات ماسه ریخته‌گری مشاهده می‌شود و با افزایش درصد‌های جایگزینی تغییرات ناچیزی در سرعت امواج مشاهده می‌شود.

آزمون سرعت امواج فراصوت، به عنوان یک آزمون کنترل کیفیت غیر مخرب در بتن کاربرد دارد. برای بررسی قابلیت این آزمون در ملات تعمیراتی، تغییرات مقاومت فشاری در مقابل سرعت موج فراصوت در در سن ۲۸ روز در شکل (۵) ترسیم شده است. در تخمین مقاومت فشاری بتن با سرعت موج، یک رابطه خطی تخمین زده می‌شود. اما بر اساس نمودارهای ترسیم شده برای نمونه‌های ملات رابطه‌ای بین سرعت موج و مقاومت فشاری مشاهده نمی‌شود.

شکل ۵. تغییرات مقاومت فشاری نسبت به سرعت امواج فراصوت ملات ۲۸ روزه

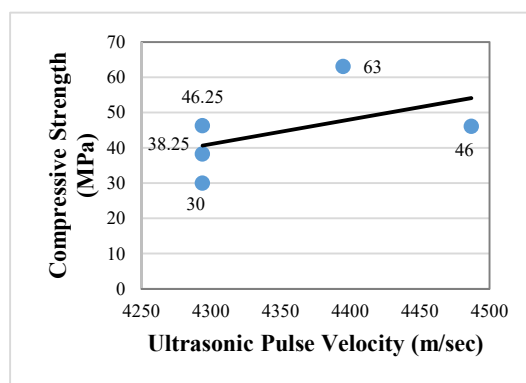


Fig. 5. Compressive Strength versus Ultrasonic Pulse Velocity in Mortar by replacing WFS

با توجه به نتایج مقاومت فشاری انتظار می‌رود که سرعت پالس در نمونه شاهد بیشترین مقدار را دارا باشد. با بررسی نتایج ملاحظه می‌شود که سرعت امواج نمونه شاهد پس از نمونه حاوی ۱۰٪ جایگزینی، بیشترین مقدار می‌باشد و سایر درصد‌های جایگزینی با وجود مقاومت فشاری مختلفی که نشان داده‌اند، سرعت امواج یکسانی دارند.

در شکل (۶) نمودار رابطه مقاومت خمشی و سرعت امواج فراصوت برای نمونه‌های ملات ۲۸ روزه ترسیم شده است.

۷-۴ مقاومت خمشی گروت

نتایج آزمایش مقاومت خمشی بر روی نمونه‌های گروت در شکل (۹) ارائه شده است که نشان از تفاوت نتایج مقاومت خمشی گروت و ملات می‌دهد.

شکل ۹. مقاومت خمشی گروت با درصد‌های مختلف جایگزینی ضایعات ماسه ریخته‌گری

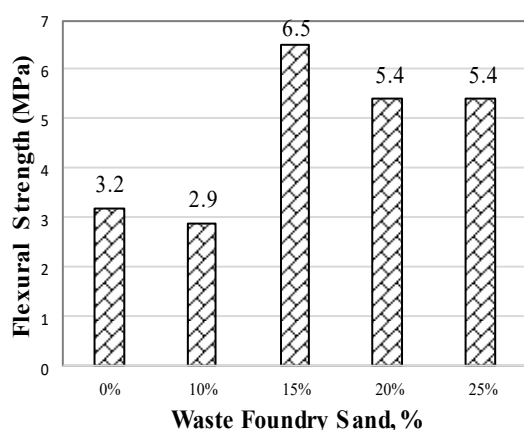


Fig. 9. Flexural Strength of Grout with replacement of WFS

همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهد با افزودن ضایعات ماسه ریخته‌گری به جز جایگزینی ۱۰٪ ضایعات، مقاومت خمشی نمونه‌های گروت نسبت به نمونه‌ی شاهد افزایش پیدا کرده است. در سن ۲۸ روز مقاومت نمونه با ۱۰٪ ضایعات نسبت به نمونه شاهد ۱۰ درصد کاهش یافته اما با افزایش مقدار WFS تا ۱۵٪ مقاومت خمشی نسبت به نمونه شاهد ۵۰٪ افزایش داشته است. نمونه‌های با درصد‌های جایگزینی بالاتر نیز نسبت به نمونه شاهد افزایش مقاومت داشته‌اند. اگرچه درصد جایگزینی بهینه برای مقاومت فشاری نمونه‌های گروت ۱۰٪ ضایعات تعیین شده است، اما این درصد بهینه برای مقاومت خمشی ۱۵٪ است.

۸-۴ سرعت امواج فراصوتی (USPV) گروت

برای تشخیص کیفیت نمونه‌های گروت، آزمون فراصوت روی نمونه‌های گروت حاوی درصد‌های مختلف ضایعات در سن ۲۸ روز انجام شده است. نتایج آزمون USPV در شکل (۱۰) نشان داده شده است.

گونی و همکاران [۵] نسبت جذب آب و نفوذ پذیری بتن حاوی ضایعات ماسه ریخته‌گری که جایگزین بخشی از ریزدانه‌ها شده است را تعیین کرده‌اند نتایج این پژوهش نشان می‌دهد جایگزینی ماسه ریخته‌گری با ماسه ریز در نسبت‌های بیش از ۵٪، نسبت منافذ و جذب آب بتن را کاهش می‌دهد. این کاهش ممکن است به دلیل ریزی اندازه‌های ماسه ریخته‌گری باشد، که استفاده از آن، منافذ داخل بتن را کاهش می‌دهد.

شکل ۷. اثر جایگزینی درصد‌های مختلف ضایعات ماسه ریخته‌گری در

جذب آب حجمی ملات

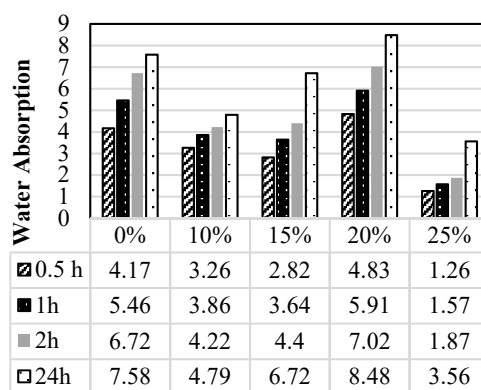


Fig. 7. Effect of Waste Foundry Sand on Volumetric Water Absorption of Mortar

۶-۴ مقاومت فشاری گروت

نتایج آزمایش مقاومت فشاری گروت در سن ۲۸ روز در شکل (۸) نشان داده شده است. بر اساس نتایج، جایگزینی ۱۰٪ ضایعات ماسه ریخته‌گری با ماسه طبیعی باعث افزایش مقاومت فشاری شده است و درصد‌های جایگزینی بالاتر، باعث کاهش مقاومت فشاری نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد شده است. بر این اساس بیشترین میزان کاهش مقاومت حدود ۲۵٪ بوده که مربوط به جایگزینی ۲۵٪ ضایعات است.

شکل ۸. مقاومت فشاری گروت با درصد‌های مختلف جایگزینی ضایعات ماسه ریخته‌گری

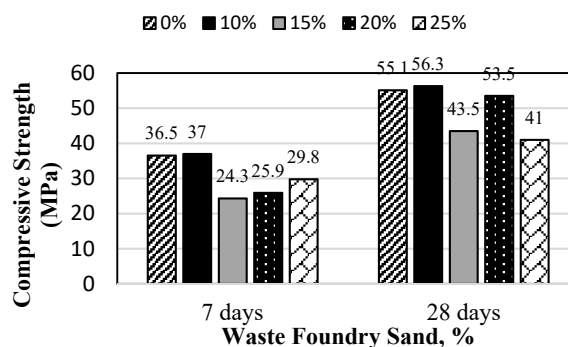


Fig. 8. Compressive Strength of Grout with replacement of WFS

شکل ۱۰. اثر ضایعات ماسه ریخته‌گری در سرعت پالس فراصوت گروت

۲۸ روزه

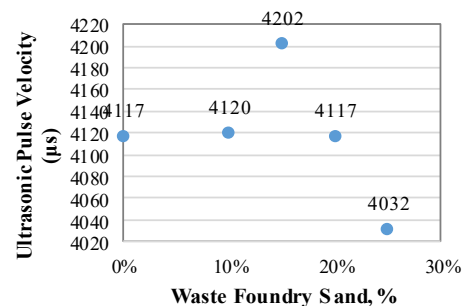


Fig. 10. Effect of Waste Foundry Sand on Ultrasonic Pulse Velocity

در سن ۲۸ روز بیشترین میزان سرعت موج مربوط به نمونه با ۱۵ درصد جایگزینی است و با افزایش درصد جایگزینی از ۱۵ تا ۲۵ درصد سرعت امواج روند کاهشی داشته است.

مانند ملات، در گروت رابطه مستقیمی بین مقاومت فشاری و سرعت امواج مشاهده نمی‌شود. به طوریکه انتظار می‌رود نمونه با ۱۰٪ جایگزینی بیشترین سرعت را داشته باشد درحالی‌که نمونه با ۱۵٪ جایگزینی بیشترین سرعت را دارد (شکل ۱۱).

شکل (۱۲) نیز رابطه مقاومت خمشی گروت با سرعت پالس فراصوت در نمونه‌های گروت ۲۸ روزه را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج بدست آمده از این پژوهش، رابطه خطی بین مقاومت فشاری و آزمون سرعت امواج فراصوت و همچنین بین مقاومت خمشی و سرعت پالس فراصوت وجود ندارد. بنابراین آزمون فراصوت مانند عدم امکان تخمین کیفیت ملات، قابلیت تخمین مقاومت فشاری و خمشی گروت را نیز ندارد.

شکل ۱۱. رابطه بین مقاومت فشاری و سرعت امواج فراصوت گروت

روزه

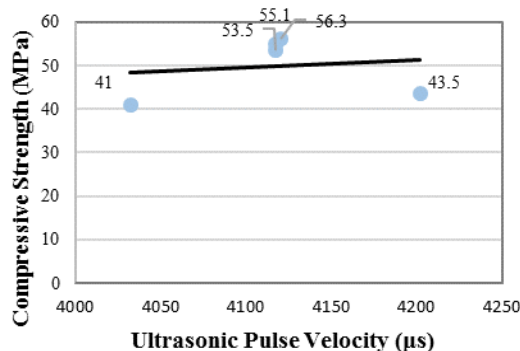


Fig.11. Relation between Compressive Strength and Ultrasonic Pulse Velocity in GROUT

شکل ۱۲. رابطه بین مقاومت خمشی و سرعت امواج فراصوت گروت

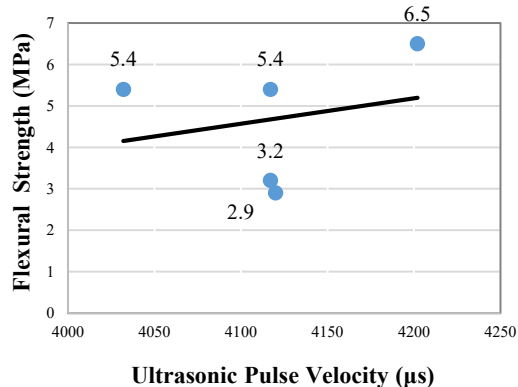


Fig. 12. Relation between Flexural Strength and Ultrasonic Pulse Velocity in GROUT

۹-۴ جذب آب حجمی گروت

برای تخمین وضعیت دوامی گروت نیز آزمون جذب آب حجمی در سن ۲۸ روز انجام شده است (شکل ۱۳). مطابق نتایج ارائه شده با جایگزینی ۱۰٪ WFS به جای ماسه طبیعی، جذب آب نمونه‌ها در تمام زمان‌های اندازه‌گیری افزایش می‌یابد در حالی‌که با افزایش درصد جایگزینی ضایعات ماسه ریخته‌گری از ۱۰ تا ۲۵٪ شاهد روند کاهشی جذب آب نمونه‌ها در تمام زمان‌ها هستیم. درصد بهینه جایگزینی WFS در نمونه‌های گروت نیز همچون ملات ۲۵٪ جایگزینی است که نشانه‌ای از تخلخل کمتر در نمونه می‌باشد.

مخرب سرعت امواج فراصوت قابلیت تخمین مقاومت فشاری و همچنین مقاومت خمشی ملات و گروت را ندارد.

۵. با وجود کاهش خواص مکانیکی ملات با جایگزینی ضایعات ماسه ریخته‌گری، جذب آب ملات حاوی این ماده کاهش یافته که این کاهش تا ۱۵٪ است. در نمونه‌های گروت با افزایش درصد جایگزینی تا ۲۵٪، جذب آب حجمی نمونه‌های گروت کاهش می‌یابد.

References

۶. مراجع

- [1] Ramezani pour A.A., Moodi F., Bagheri M., Farajollahi M.M. Evaluate the performance of refined concrete by epoxy injection. 6th National Conference and 2nd International Conference on Materials and Structures in Civil Engineering, Yazd, Yazd University. 2017. (In Persian)
- [2] Arunachalam A, Jayakumar K. A review on the effect of industrial waste in concrete. The Indian Concrete Journal November 2015.
- [3] Siddique R, Singh G. Utilization of waste foundry sand (WFS) in concrete manufacturing. Conservation and Recycling 55 (2011) 885– 892.
- [4] Patel, V. N. , & Shah, N.D. (2015). Suitability of Porcelain and Marble Industrial Waste Powder to Produce High Performance Concrete. American Journal of Civil Engineering and Architecture, 3(3), 59-63.
- [4] Siddique R, Schutter Geert de, Noumowe A. Effect of used-foundry sand on the mechanical properties of concrete. Construction and Building Materials 2009;23(2):976–80.
- [5] Guney Y, Sari YD, Yalcin M, Tuncan A, Donmez S. Re-usage of waste foundry sand in high strength concrete. Waste Management 2010;30:1705–13.
- [6] Etxeberria M, Pacheco C, Meneses JM, Berridi I. Properties of concrete using metallurgical industrial by-products as aggregates. Construction and Building Material 2010;24:1594–600.
- [7] Siddique R, Aggarwal Y, Aggarwal P, Kadri EH, Bennacer B. Strength, durability, and micro-structural properties of concrete made with used-foundry sand (UFS). Construction and Building Materials 2011;25:1916–25.
- [8] Siddique R. Utilization of industrial by-products in concrete. 2nd International Conference on Sustainable Civil Engineering Structures and Construction Materials 2014 (SCESCM 2014). Procedia Engineering 95, 335 – 347.
- [9] Singh G, Siddique R. Effect of waste foundry sand (WFS) as partial replacement of sand on the strength, ultrasonic pulse velocity and permeability of concrete. Construction and Building Materials 26 (2012) 416–422.

شکل ۱۳. اثر جایگزینی درصد های مختلف ضایعات ماسه ریخته‌گری در

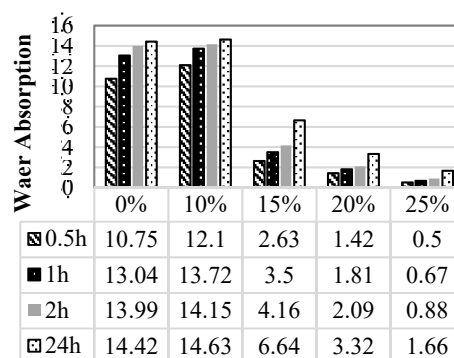


Fig. 13. Effect of Waste Foundry Sand on Volumetric Water Absorption by replacing WFS

۵. نتیجه‌گیری

استفاده از ضایعات ماسه ریخته‌گری باعث کاهش کارایی ملات و گروت می‌شود، پس برای رسیدن به کارایی مناسب در ملات‌ها و تا بطور محدودتر در گروت، حاوی ماسه ریخته‌گری باید از افزودنی کاهنده (قوی) آب استفاده کرد.

مقاومت فشاری نمونه‌های ملات با جایگزینی مقادیر مختلف ماسه ریخته‌گری در سنین ۷ و ۲۸ روز کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه نمونه ملات با ۲۰٪ جایگزینی ضایعات ماسه ریخته‌گری، نزدیکترین نتیجه به مقاومت نمونه شاهد را داشته است این مقدار، درصد بهینه جایگزینی ملات است. از سوی دیگر مقدار جایگزینی بهینه ماسه ریخته‌گری در گروت ۱۰٪ است که باعث افزایش مقاومت فشاری بتن شده است.

مقاومت خمشی نمونه‌های ملات با جایگزینی ضایعات ریخته‌گری با بخشی از ماسه، نسبت به نمونه شاهد کاهش یافته است. از میان جایگزینی‌های مختلف نمونه با ۱۰٪ جایگزینی کمترین کاهش مقاومت خمشی را دارا بوده است. با این حال جایگزینی این ماده در گروت به مقدار ۱۵٪ باعث افزایش مقاومت خمشی شده است.

بر اساس پژوهش‌های مختلف در بتن، از آزمون غیرمخرب سرعت امواج فراصوت برای تخمین مقاومت فشاری استفاده می‌شود که همگرایی سرعت موج فراصوت با مقاومت فشاری رابطه خطی دارد. اما بر اساس نتایج این پژوهش، آزمون غیر

- [17] ASTM E1621-13, Standard Guide for Elemental Analysis by Wave length Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometry, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013.
- [18] ASTM C 109/C 109M – 02, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens), ASTM International, 2002
- [19] ASTM C 293 – 02, Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading), ASTM International, 2002.
- [20] General technical specification of construction work [Standard] / Strategic oversight supervisor, Office of Technical and Executive Management; Journal No. 55, 1393. (In Persian)
- [21] Neville A.M., Brooks J.J. 2010, Neville Concrete Technology; Translators: Ali Akbar Ramezaniapour, Mohammad Reza Shah Nazari - Tehran: Azarang, 2005. (In Persian)
- [22] ASTM C230 / C230M – 14, Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement.
- [23] Jefferis, S.A. (2003) Proceedings of the Third International Conference, Granting and Ground Treatment, American Society of Civil Engineers, New Orleans.
- [24] ASTM C 597 – 02, Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete, ASTM International, 2002.
- [25] BS 1881-122, Testing Concrete Method for Determination of Water Absorbition, 2011.
- [10] Aggarwal, Y., Siddique, R., 2014. Microstructure and properties of concrete using bottom ash and waste foundry sand as partial replacement of fine aggregates. Constr. Build. Mater. 54, 210–223.
- [11] Jafarian M, Ameri M, Manafi S. The impact of factory waste foundry sand containing particles SF on the strength, durability and water absorption . First National Conference on Architecture and Civil Engineering ACC 2015. . (In Persian)
- [12] Poorsharifi J., Farrokhzad R., Hazrati M., Keshavarz M. Use of Waste Foundry Sand and evaluation of its effects on concrete specification. National Conference on Civil and Environmental Engineering, Qazvin, Research Deputy of Faculty of Civil Engineering and Mapping, Islamic Azad University, Qazvin. 2015. (In Persian)
- [13] Huda, Sumaiya B., and M. Shahria Alam., "Mechanical and Freeze-Thaw Durability Properties of Recycled Aggregate Concrete Made with Recycled Coarse Aggregate." Journal of Materials in Civil Engineering (2015): 04015003
- [14] Amiri M, Majroohi Sardrood J. Self-repairing concrete A suitable replacement for repairing concrete in traditional ways. Second International Conference on Civil Engineering, Architecture and Crisis Management, Tehran, Allameh Majlesi University. 2017. (In Persian)
- [15] ASTM C 150/C 150M – 17, Standard Specification for Portland Cement, ASTM International, 2017.
- [16] ASTM C136 / C136M-14, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates and Coarse Aggregates, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.

Effect of replacement of Waste Foundry Sand with sand on mechanical properties and durability of repair mortar

Ali Katebi¹, Amir Masoud Salehi^{2*}, Fatemeh Keshavarz³

1- Assistant Professor of Civil Engineering- construction engineering and management, Kharazmi University, Tehran, Iran

2- Assistant Professor of Civil Engineering construction engineering and management, Kharazmi University, Tehran, Iran

3- Master of Science of Civil Engineering- construction engineering and management, Kharazmi University, Tehran, Iran

*am_salehi@khu.ac.ir

Abstract

Maintenance and repair of structures during the life of the structure is inevitable. Therefore, using a repair material that have the ability to re-service in a longer time is necessary. Today, produce a repair material that has a complete bond with the damaged element and makes it economical based on the available materials in the country is necessary. On the other hand increasing the quantities of waste materials, scarcity of land-filling space and because of its ever increasing cost, recycling industrial waste materials has become an attractive proposition to disposal. One of these by-products is waste foundry sand. Waste foundry sand that contains resin, coal powder and bentonite which are solvable in the water and leads to environmental pollution. Therefore, industry owners are looking for a solution to the problem of organic waste due to pressure from environmental organizations. One of these solutions is dumping of construction waste in cement products such as concrete, mortar and grout. In this research, with the aim of reaching mortar and grout with good performance and durability, as well as up to 40 MPa compressive strength of 28 days, the initial mixture ratios were determined and the final mixture was determined by making laboratory samples and correction of ratios. 5 mixtures for mortar and 5 mixtures for grout. In the mixtures for all mortar and grout samples, the ratio of water to cement is fixed at 0.4 and the cement content of the mortar samples is 650 kg/m³. Natural sand mortar samples have been replaced with 10, 15, 20 and 25 percent waste foundry sand. The amount of cement for grout samples is 1100 kg / m³. In grout mixtures, 10, 15, 20, and 25 percent of sand have been replaced by waste foundry sand (WFS). The results indicate that replacing WFS reduces the workability of mortar and grout. The compressive strength of the mortar samples is reduced by replacing different amounts of WFS at the age of 7 and 28 days. Mortar with 20% replacement of WFS, is the optimum percentage of waste sand in the mortar. However, the compressive strength of the grout samples increases by replacing 10% casting sand. By increasing the replacement value by more than 10%, the compressive strength decreases. Based on various studies in concrete, ultrasonic velocity test (as a non-destructive test) is used to estimate the compressive strength, which has a linear correlation between ultrasonic wave velocity and compressive strength. But the results of this study showed that the non-destructive test of ultrasonic waves does not have the ability to estimate the compressive strength and the flexural strength of the mortar. This result was also observed in Grout samples. Therefore based on the results of this research the ultrasonic velocity test does not have the capability to estimate the compressive and flexural strength of mortar and grout. Despite the decrease in the mechanical properties of the mortar by replacing WFS, the water absorption of the mortar containing this material has decreased, which is up to 15%. But by increasing the replacement percentage by up to 25%, the volumetric absorption of the samples of the grout decreases.

Keywords : Repair mortar, Waste foundry sand, Ultrasonic Pulse Velocity, mortar durability