



## امکان سنجی تولید بتن سبک هوادار اتوکلاوشده با استفاده از باطله های معادن

احسان آخوندی\*<sup>۱</sup>؛ علیرضا عابدی<sup>۱</sup>؛ حبیب اله رستگاری<sup>۱و۲</sup>

۱- واحد تحقیق و توسعه، مجتمع کارخانجات هیلکس رضوی، بیرجند، خراسان جنوبی

۲- استادیار، گروه مهندسی مواد، دانشکده مهندسی مکانیک و مواد، دانشگاه صنعتی بیرجند، خراسان جنوبی



### چکیده

در سالهای اخیر، باتوجه به وجود آمدن حجم گسترده ای از باطله ها در معادن، بخصوص معادن مس و آهن، در طول فرایند فراوری در معادن مختلف موجود در ایران و مشکلات زیست محیطی ناشی از آنها، استفاده از این نوع باطله ها را به عنوان ماده اولیه جهت تولید بتن سبک هوادار اتوکلاوشده می تواند مطرح کند. مزایای اینگونه جایگزینی شامل کاهش هزینه تولید و کاهش مخاطرات زیست محیطی ناشی از تجمع این نوع باطله است. مواد اولیه اصلی برای تولید بتن سبک هوادار اتوکلاوشده شامل مخلوطی از سیمان، آهک، سیلیس، پودر آلومینا و آب می باشد. انواع مختلف باطله‌ها، بویژه مس و آهن، بطور غالب حاوی سیلیس و آهک هستند. بنابراین امکان جایگزینی موثر این افزودنی بعنوان ماده اولیه جهت تولید بتن سبک هوادار اتوکلاوشده وجود دارد. هدف از این تحقیق، مطالعه امکان سنجی تولید بتن سبک هوادار اتوکلاوشده بوسیله باطله معدن مس قلعه زری است. نتایج بدست آمده نشان می دهد که بلوک بتنی تولید شده با استفاده از باطله مس منجر به حصول استحکام فشاری بیش از ۳۰ مگاپاسکال و جرم مخصوص حدود ۶۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب گردیده است که در محدوده تعیین شده در استاندارد می باشد.

کلیدواژه‌ها: بتن سبک هوادار اتوکلاوشده، باطله مس، استحکام کششی، جرم مخصوص.



### ۱- مقدمه

روند رو به رشد توسعه معادن در ایران و افزایش قابل ملاحظه باطله های دیو شده در معادن، تهدیدی جدی برای محیط زیست می باشد. در سال های اخیر تحقیقات مختلفی جهت استفاده از این نوع باطله انجام گرفته است [۱-۴]. در این میان، بتن سبک هوادار اتوکلاوشده (AAC) بعنوان یک گزینه مناسب برای این منظور مطرح گردیده است. در حال حاضر، بتن AAC بعنوان یک ماده متخلخل، سبک و توانایی عایق سازی عالی، کاربرد گسترده ای در ساختمان سازی پیدا کرده است [۵-۷].

مواد اولیه اصلی جهت تولید بتن AAC شامل سیمان، آهک و سیلیس است. تاکنون تحقیقات مختلفی جهت جایگزینی مواد اولیه با ضایعات صنعتی جهت کاهش هزینه تولید انجام گرفته است. برای مثال می توان به استفاده از سرباره [۸]، خاکستر زغال سنگ<sup>۱</sup> [۹]، سرباره های فسفوری [۱۰]، باطله های سرب-روی [۱۱] و باطله های سنگ آهن [۱۲] و باطله های مس [۱۳] اشاره کرد. هوانگ و همکارانش<sup>۲</sup> [۱۳] به بررسی تاثیر استفاده از باطله مس از نوع اسکارن<sup>۳</sup> و سرباره فولادی جهت تولید بتن AAC پرداخته اند. این نوع باطله مس با توجه به محتوی بالای CaO امکان جایگزینی با آهک را دارد. همچنین کاهش مصرف آهک منجر به کاهش انتشار گاز CO<sub>2</sub> در فرایند کلسینه

<sup>1</sup> Coal bottom ash

<sup>2</sup> Huang et al

<sup>3</sup> Skarn-type copper tailings



کردن و مشکلات زیست محیطی ناشی از آن می‌گردد. از طرفی سرباره فولادی دارای محتوی  $\text{SiO}_2$  بالایی است و می‌تواند تا میزان مشخصی جایگزین ماسه سیلیسی گردد. بتن AAC تولید شده در این تحقیق با محتوی ۳۰ درصدوزنی باطله مس نوع اسکارن و ۳۵ درصدوزنی سرباره فولادی، دارای وزن مخصوص ۶۱۰ کیلوگرم بر مترمکعب و استحکام فشاری ۴ مگاپاسکال بوده است. در تحقیق دیگری، کای و همکارانش<sup>۴</sup> [۱۴] به بررسی تاثیر استفاده از باطله های آهنی با درصد جایگزینی مختلف با ماسه سیلیسی جهت تولید بتن AAC پرداخته اند. نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که افزایش محتوی باطله آهن تاثیر منفی بر روی استحکام فشاری دارد. از طرفی کاهش ریزدانه‌گی ذرات باطله منجر به افزایش موثر استحکام بتن تولیدی می‌گردد. مقدار و اندازه بهینه بدست آمده برای باطله آهن در تحقیق شامل ۲۷-۳۴ درصدوزنی و اندازه کمتر از ۸۰ میکرومتر است.

در همین راستا، هدف از تحقیق حاضر، بررسی و مطالعه جوانب مختلف افزودن باطله معادن تا حد معینی بعنوان ماده اولیه جهت تولید بتن AAC و همچنین تولید نمونه آزمایشگاهی از این محصول با استفاده از باطله معدن مس قلعه زری واقع در استان خراسان جنوبی می‌باشد.



## ۲- استفاده از باطله های مس

به منظور بررسی تاثیر استفاده از باطله های مس به همراه سرباره فولادی، نمونه های بلوک بتن AAC بصورت آزمایشگاهی تولید می‌گردد. لذا خردایش مواد اولیه اعم از ماسه سیلیسی (QS)، باطله مس (SCT)، سرباره فولادی (BFS)، سیمان (CC) و گچ طبیعی در آسیاب گلوله ای انجام می‌گردد. نسبت اختلاط اجزا تشکیل دهنده بلوک و ترکیب شیمیایی مواد اولیه به ترتیب در جدول ۱ و ۲ نشان داده شده است. ترکیب شیمیایی گچ طبیعی بطور غالب حاوی ترکیب  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  است. پودر آلومینیوم نیز جهت ایجاد گاز هیدروژن طی فرایند پخت به مخلوط دوغابی اضافه می‌گردد. فرایند پخت در دمای حدود ۴۸ درجه سانتیگراد به مدت ۱۲ ساعت انجام می‌گیرد. نهایتاً بلوک های بتنی پس از برش در ابعاد مناسب در فشار ۱۳/۵ بار به مدت ۸ ساعت اتوکلاو می‌شوند. آزمون های اندازه گیری وزن مخصوص و استحکام فشاری مطابق استاندارد GB 11968-2008 انجام می‌شود. جهت مشخصه یابی ساختار بلوک بتنی و اجزا تشکیل دهنده آن (عنصری و فازی) از دستگاه XRD، NMR و FESEM بهره گرفته می‌شود [۱۳].

جدول ۱- نسبت اختلاط اجزا تشکیل دهنده بلوک [۱۳].

Mixture composition of AAC (wt%)				
SCT	BFS	QS	CC	Gypsum
30	35	20	10	5

نتایج بدست آمده از آزمون استحکام فشاری نمونه بتن AAC نشان دهنده استحکام ۴ مگاپاسکال برای وزن مخصوص حدود ۶۱۰ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. استحکام محصول بدست آمده در شرایط کاملاً خشک شده<sup>۵</sup> می‌تواند تا ۵/۹ مگاپاسکال افزایش یابد.

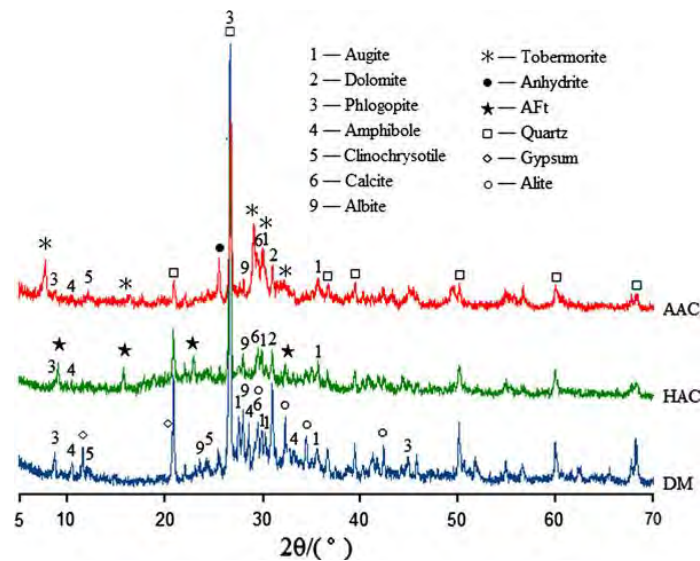
<sup>4</sup> Cai et al

<sup>5</sup> Absolute dry condition

جدول ۲- ترکیب شیمیایی و مساحت سطح ویژه مواد اولیه [۱۳].

Oxide composition (wt%)	SCT	BFS	QS	CC
SiO <sub>2</sub>	44.52	32.7	82.83	21.98
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.94	0.4	0.53	5.13
CaO	13.56	38.79	1.83	60.38
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.36	15.4	7.13	5.54
MgO	19.92	8.97	1.14	3.03
K <sub>2</sub> O	1.20	0.36	2.69	2.17
Na <sub>2</sub> O	1.00	0.23	1.55	0.25
IOT	9.26	0.76	0.18	-
Specific surface area (m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup> )	656.8	562.6	792.7	380.6

الگوی پراش اشعه ایکس بدست آمده از آنالیز XRD برای سه حالت مختلف شامل نمونه مخلوط خشک مواد اولیه<sup>۶</sup> (DM)، نمونه بتن هوادار شده<sup>۷</sup> (HAC) پس از پخت به مدت ۱۲ ساعت و نمونه بتن AAC در شکل ۱ نمایش داده شده است. همانطور که از طیف نمونه DM مشاهده می شود، غالب مواد معدنی در SCT بجز تالک و کلینوکلر شناسایی شده است. عدم شناسایی این دو ماده معدنی به دلیل محتوی بسیار کم آنها در مخلوط است. فازهای کوارتز، کچ و آلپت شناسایی شده به ترتیب مربوط به مواد اولیه شامل ماسه، گچ طبیعی و کلینکر سیمان است. طبیعت آمورف سرباره فولادی بصورت یک باند در بازه ۲۲ الی ۳۸ درجه قابل مشاهده است [۱۳].



شکل ۱- الگوی پراش اشعه ایکس نمونه های AAC و HAC و DM [۱۳].

در مورد طیف HAC، پس از پخت در ۴۸ درجه به مدت ۱۲ ساعت، پیک های مربوط به آلپت و گچ ناپدید می شوند. از طرفی فاز Aft و ژل C-S-H بواسطه واکنش هیدراتاسیون بین گچ، کلینکر و سرباره فولادی تشکیل شده اند. کاهش شدت پیک فاز کوارتز بیانگر شرکت ذرات ریز کوارتز در واکنش پوزولانی است. در مقایسه با پیک های DM، شدت پیک فازهای دیگر شامل dolomite, phlogopite, albite, augite و amphibole نیز کاهش یافته است.

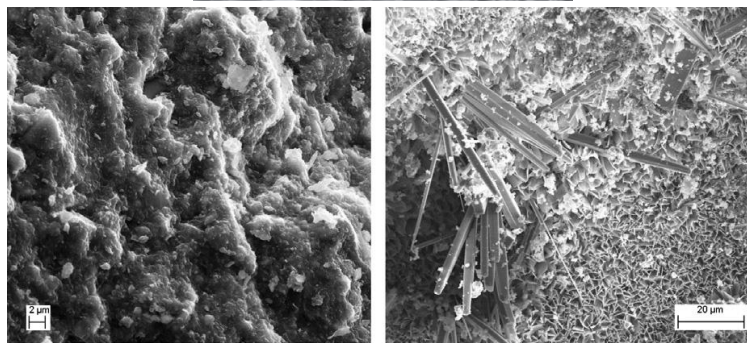
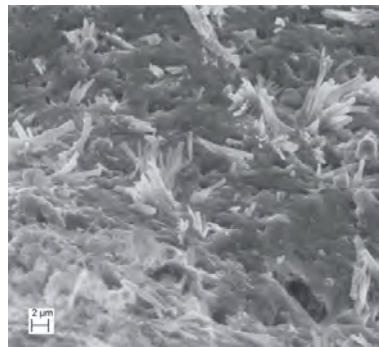
<sup>6</sup> Dry mixture

<sup>7</sup> Hardened aerated concrete

این موضوع نشان می‌دهد که فازهای مختلفی که در دمای اتاق بی‌اثر هستند، در واکنش هیدراتاسیون در حین پخت شرکت کرده‌اند و منجر به تشکیل فاز Aft و ژل C-S-H شده‌اند [۱۳].

بر اساس طیف بدست آمده برای شرایط AAC، مشاهده می‌شود که فاز اصلی تولید شده در نمونه نهایی فاز tobermorite و anhydrite است. برخی دیگر از فازهای معدنی نیز هنوز بطور جزئی وجود دارند. نکته مهم اینکه اجزا مربوط به باطله مس در مرحله اتوکلاو به مدت ۸ ساعت، وارد واکنش هیدرترمال نمی‌شوند و پیک‌های آنها در این شرایط هنوز مشاهده می‌شود. به عبارت دیگر، دو فاز اصلی tobermorite و anhydrite بواسطه تبدیل فاز Aft و ژل C-S-H (که قبلاً بواسطه واکنش هیدراتاسیون تشکیل شده‌اند) بوجود می‌آیند. در حین تبدیل فاز Aft و ژل C-S-H، عناصر شیمیایی تجزیه شده از SCT جذب کریستال tobermorite می‌شوند. همانطور که مشاهده می‌شود به دلیل تغییر پارامتر شبکه این فاز کریستالی بواسطه جانشینی عناصر شیمیایی نظیر  $Mg^{2+}$  و  $Al^{3+}$ ، پیک های tobermorite در الگوی پراش عریض گردیده است [۱۳].

تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه‌های مختلف در شکل ۲ نشان داده شده است. بررسی ریزساختار سطح داخلی حفرات در نمونه HAC (شکل ۲-الف) نشان می‌دهد که به جز فاز Aft و ژل C-S-H، هیچ نوع محصول کریستالی دیگری بواسطه واکنش هیدراتاسیون تشکیل نشده است که در تطابق با نتایج بدست آمده از XRD است. در مورد نمونه AAC، ناحیه مربوط به دیواره‌های بین حفره‌ها (شکل ۲-ب) به دلیل نسبت آب به جامد پایین، مورفولوژی فشرده‌ای دارد.



شکل ۲- تصویر FESM نمونه (الف) HAC، (ب) AAC از مقطع برش و (ج) AAC از جداره داخلی یک حفره [۱۴].

این ساختار فشرده منجر به استحکام فشاری خوبی برای بتن می‌گردد. به هر حال بررسی تصویر SEM جداره داخلی یکی از حفرات نشان دهنده وجود نوارهای بلند فاز anhydrite بصورت درهم تنیده با کریستال‌های عریض و مسطح tobermorite است (شکل ۲-ج). ضخامت و عرض صفحات مسطح tobermorite به ترتیب برابر ۸۰-۶۰ نانومتر و ۱-۲ میکرومتر است. تشکیل چنین ساختاری منجر به حصول استحکام فشاری بالا، خاصیت عایق‌سازی حرارتی خوب و کاهش اتلاف حرارتی این محصول می‌گردد. بر اساس نتایج بدست آمده از آزمون NMR، در ساختار



# کنفرانس ملی فرصت‌ها و محدودیت‌های سرمایه‌گذاری در حوزه صنعت خراسان جنوبی

۳۰ و ۳۱ فروردین ماه ۱۳۹۶



tobermorite اتم های کلسیم بوسیله اتم های منیزیم جایگزین شده اند که ناشی از وجود سرباره فولادی و باطله های مس می باشد. همچنین اتم های آلومینیم جایگزین اتم های سیلیسیم در ساختار کریستالی tobermorite شده اند [۱۳].



### ۳- استفاده از باطله های آهنی

ترکیب شیمیایی اجزا تشکیل دهنده شامل ماسه سیلیسی، باطله آهنی، سیمان و آهک در جدول ۳ آورده شده است. همچنین اطلاعات مربوط به جرم مخصوص حقیقی و سطح ویژه اجزا در جدول ۴ لیست شده است. باطله های آهنی مورد استفاده مربوط به معدنی در چین و شرکت Wuhan Iron and Steel است. سیمان از نوع پرتلند (P.O. 42.5) تولیدی شرکت Hubei Yadong cement است. نسبت اختلاط هر نمونه در جدول ۵ نشان داده شده است. میزان سیمان، آهک و گچ در تمامی نمونه ها ثابت و به ترتیب برابر ۲۱، ۸ و ۳ درصد است. همچنین میزان آلومینیم و آب (با دمای ۵۰ درجه سانتیگراد) معادل ۰/۱۴ و ۶۰ درصد وزنی مخلوط خشک است. نسبت وزنی باطله آهنی به ماسه سیلیسی (MSIS) برای نمونه های T1 تا T7 به ترتیب ۰، ۲۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ است. تاثیر اندازه ذرات باطله نیز برای نسبت ۴۰ درصد (نمونه های T3، T8-T11) مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۳- ترکیب شیمیایی مواد اولیه (درصد وزنی) [۱۴].

Component	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	Cl	Ignition loss
Silicon sand	90.21	4.51	1.24	0.40	0.10	0.27	2.54	0.03	-	0.03	0.47
Iron tailing	42.90	10.75	7.51	12.97	7.10	2.06	1.96	9.04	-	0.10	4.48
Cement	17.76	3.94	4.04	61.11	1.78	-	0.29	3.52	6.32	-	0.73
Quicklime	2.78	1.02	0.73	73.64	1.45	-	0.13	0.33	12.7	0.01	6.94

جدول ۴- جرم مخصوص حقیقی و سطح ویژه مواد اولیه [۱۴].

Raw materials	Silicon sand	Cement	Quicklime
True density (g/cm <sup>3</sup> )	2.24	3.12	2.25
BET specific surface area (m <sup>2</sup> /g)	4.1452	4.7632	5.4325

جدول ۵- نسبت اختلاط نمونه های مختلف [۱۴].

Sample number <sup>a</sup>	Calcareous		Siliceous		Gypsum	Al powder	W/R
	Cement	Quicklime	Silicon sand <sup>b</sup>	Iron tailing <sup>c</sup>			
T 1	8%	21%	68%	0%	3%	0.14%	0.6
T 2	8%	21%	54.4%	13.6%	3%	0.14%	0.6
T 3	8%	21%	40.8%	27.2%	3%	0.14%	0.6
T 4	8%	21%	34%	34%	3%	0.14%	0.6
T 5	8%	21%	27.2%	40.8%	3%	0.14%	0.6
T 6	8%	21%	13.6%	54.4%	3%	0.14%	0.6
T 7	8%	21%	0%	68%	3%	0.14%	0.6
T 8	8%	21%	40.8%	27.2%-10min	3%	0.14%	0.6
T 9	8%	21%	40.8%	27.2%-15 min	3%	0.14%	0.6
T 10	8%	21%	40.8%	27.2%-25 min	3%	0.14%	0.6
T 11	8%	21%	40.8%	27.2%-30 min	3%	0.14%	0.6

<sup>a</sup> Nine pieces for each sample number.

<sup>b</sup> Silicon sand is ball milled for 10 mins.

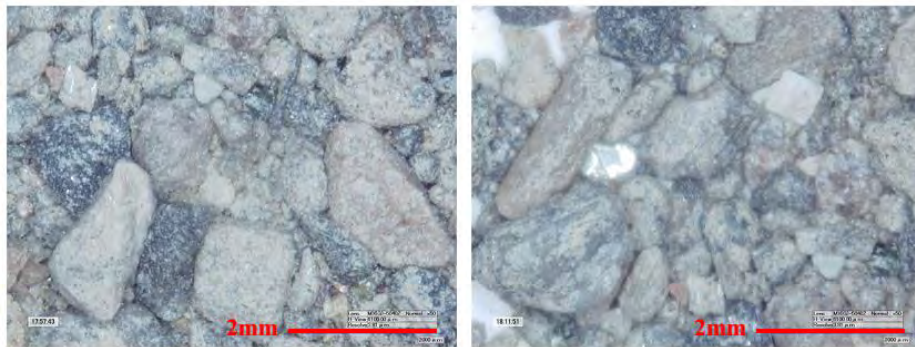
<sup>c</sup> Iron tailings of sample T1-T7 are ball milled for 20 min, T8, T9, T10, T11 are ball milled for 10min, 15 min, 25 min, 30 min, respectively.

در نهایت دوغاب تولید شده در قالب های مکعبی با اندازه ۱۰۰ میلیمتر ریخته شده و به مدت ۲/۵ ساعت در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد پخت گردیده است. فرایند اتوکلاو در فشار ۱۴ بار به مدت ۸ ساعت انجام شده است. مشخصات



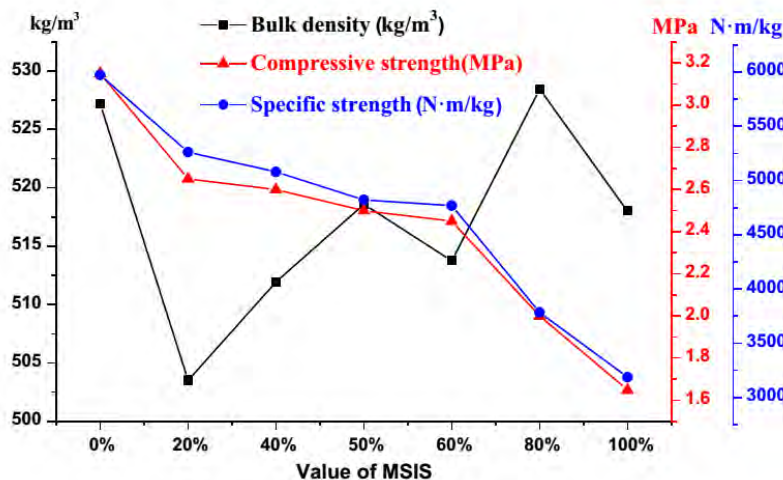
فیزیکی و مکانیکی مطابق استاندارد GB/T 11969-2008 اندازه‌گیری شده است. به منظور مقایسه استحکام فشاری نمونه‌ها در وزن مخصوص‌های مختلف، از استحکام ویژه (نسبت استحکام فشاری بلوک AAC به وزن مخصوص بالک) استفاده شده است. از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و آنالیز EDX، XRD و DSC جهت مشخصه‌یابی ریزساختاری و آنالیز شیمیایی بهره‌گرفته شده است [۱۴].

تصویر باطله‌های آهنی در شکل ۳ نمایش داده شده است. واضح است که شکل ذرات غیر منظم و ابعاد اکثر ذرات کمتر از ۲ میلی‌متر است. در گام اول، جهت کاهش اندازه به زیر ۶۰ میکرومتر و افزایش اکتیویته شیمیایی، باطله‌های آهنی تحت خردایش قرار گرفته‌اند. آنالیز DSC باطله آهنی پس از خردایش بیانگر کاهش وزن ۱/۶ درصدی به دلیل حذف آب موجود در ترکیب در دماهای حدود ۶۳ و ۱۲۲ درجه سانتیگراد است. اکسیداسیون هماتیت در محدوده دمایی ۴۷۳ الی ۵۳۱ درجه سانتیگراد رخ می‌دهد. در محدوده دمایی ۷۰۰ الی ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد نیز به دلیل تجزیه کلسیت به CaO، کاهش وزن ۳/۷۶ درصدی بوجود می‌آید [۱۴].



شکل ۳- مورفولوژی باطله‌های آهنی قبل از خردایش [۱۴].

تاثیر فاکتور MSIS بر روی خواص مکانیکی بلوک بتنی در شکل ۴ نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که MSIS تاثیر مشخصی بر روی جرم مخصوص بلوک بتنی ندارد. افزودن باطله‌های آهنی تاثیری بر روی وزن مخصوص نداشته است. با افزایش MSIS از صفر تا ۵۰ درصد، استحکام فشاری از ۳/۱۵ به ۲/۵ مگاپاسکال کاهش یافته است؛ درحالی‌که استحکام ویژه از ۵۹۷۵ به ۴۸۲۱ نیوتن.متر بر کیلوگرم کاهش پیدا کرده است.



شکل ۴- خواص مکانیکی بلوک‌های AAC با MSIS مختلف [۱۴].



## کنفرانس ملی فرصت‌ها و محدودیت‌های سرمایه‌گذاری در حوزه صنعت خراسان جنوبی

۳۰ و ۳۱ فروردین ماه ۱۳۹۶



به هر حال، مشخصات بلوک تولید شده بوسیله باطله آهنی در محدوده استاندارد GB 11968-2006 قرار می‌گیرد. از طرفی افزایش سهم باطله آهنی تا ۱۰۰ درصد منجر به افت شدید استحکام فشاری و استحکام ویژه به ۱/۶۵ مگاپاسکال و ۳۱۸۵ نیوتن.متر بر کیلوگرم می‌شود. این موضوع می‌تواند به دلیل کاهش  $\text{SiO}_2$  موجود در ترکیب بعنوان ماده اصلی جهت تشکیل tobermorite باشد. بنابراین میزان افزودن باطله آهنی می‌بایست به دقت کنترل گردد و مقدار ۴۰ درصد جایگزینی مناسب است.

در رابطه با تاثیر اندازه ذرات باطله، نتایج نشان داد که ذرات ریزتر منجر به حصول استحکام فشاری بالاتر می‌گردد. در این تحقیق، اندازه کمتر از ۸۰ میکرومتر بعنوان اندازه بهینه ذرات پیشنهاد شده است. بر اساس بررسی‌های ریزساختاری بوسیله میکروسکوپ الکترونی و آنالیز XRD، واکنش هیدراسیون در نمونه‌های حاوی باطله آهنی منجر به تشکیل ژل C-S-H و tobermorite و anhydrite شده است [۱۴].



### ۴- تولید بتن AAC با استفاده از باطله مس معدن قلعه زری

جهت تولید بتن AAC مطابق روش متداول از روش اختلاط و پخت مواد اولیه استفاده گردید. از یک آسیاب گلوله‌ای آزمایشگاهی جهت خردایش مواد اولیه بهره گرفته شده است. در همین راستا، سیلیس به همراه آب بعد از فرآیند سایش در آسیاب گلوله‌ای به صورت دوغاب در آورده شده و سپس با پودر آهک میکرونیزه (آهک پخته شده بعد از فرآیند خردایش و سایش)، سیمان و پودر آلومینیوم با نسبت اختلاط استاندارد در میکسرهای مخصوص در زمان‌های تعیین شده و شرایط معلوم مخلوط گردیده و در قالب ریخته شده است. مخلوط موجود در قالب پس از فعل و انفعالات شیمیایی مشخص در مدت زمان معین حجم قالب را بطور کامل پر می‌کند. پس از عملیات برشکاری، بلوک‌های بتنی در درجه حرارت ۲۰۰ درجه سانتیگراد و با فشار ۱۲ اتمسفر در اتوکلاو عمل آوری گردیده اند. از باطله‌های معدن مس قلعه زری جهت جایگزینی با سیلیس بهره گرفته شده است. به منظور جایگزینی سیلیس با باطله‌های معدن مس قلعه زری، نسبت‌های اختلاط ۵۰ درصد جایگزینی و ۱۰۰ درصد جایگزینی در نظر گرفته شد. یک بلوک با شرایط متداول جهت مقایسه نیز تولید گردید. علاوه بر این، با توجه به موجود بودن آهک در ترکیب باطله‌های معدن مس قلعه زری، جایگزینی آهک با باطله‌های مس نیز انجام گرفته است. بنابراین مشخصات نمونه‌ها به شرح زیر می‌باشد:

نمونه شماره ۱: جایگزینی ۵۰٪ از باطله معدن مس قلعه زری با سیلیس

نمونه شماره ۲: جایگزینی ۵۰٪ از باطله معدن مس قلعه زری با سیلیس + کاهش ۲۰٪ میزان مصرف آهک

نمونه شماره ۳: جایگزینی ۱۰۰٪ از باطله معدن مس قلعه زری با سیلیس

نمونه شماره ۴: نمونه استاندارد تولید شده به روش متداول

نتایج بدست آمده از حالت‌های مختلف تولید در جدول ۶ لیست شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود افزودن باطله مس منجر به افزایش نسبی وزن مخصوص و کاهش جزئی استحکام فشاری گردیده است. با کاهش میزان آهک مصرفی تا ۲۰ درصد بوسیله جایگزینی بوسیله باطله مس، مقاومت فشاری محصول افزایش یافته است. به هر حال، نتایج بدست آمده بیانگر موفقیت آمیز بودن استفاده از باطله‌های مس معدن قلعه زری و حصول بلوک بتنی AAC با خواص استاندارد می‌باشد.



جدول ۶- مشخصات فیزیکی و مکانیکی بلوک های AAC تولید شده در شرایط مختلف.

استحکام فشاری نمونه (N/mm <sup>2</sup> )	وزن مخصوص (kg/cm <sup>3</sup> )	افت وزنی (gr)	وزن بعد از آون (gr)	وزن قبل از آون (gr)	ابعاد بلوک (cm)			نمونه
3.3	612	144	612	756	10	9.9	10.1	1
3.5	590	168	614	782	10.1	10.2	10.1	2
3.1	612	50	624	674	10	10.1	10.1	3
3.6	500	200	510	710	10	9.9	10.1	4



#### ۵- جمع بندی

مشکلات زیست محیطی ناشی از به بوجود آمدن حجم گسترده ای از باطله در معادن و ارزش معدنی آنها به لحاظ محتوی سیلیس و آهک نسبتا بالا، منجر با استفاده از این مواد در کاربرد های مختلف گردیده است. یکی از کاربردهای موثر در این حوزه، استفاده از این نوع باطله به عنوان ماده اولیه جهت تولید بتن سبک هوادار اتوکلاو شده جهت کاهش هزینه تولید، کاهش مصرف سیلیس و آهک و همچنین کاهش مخاطرات زیست محیطی می باشد. نتایج بدست آمده از این تحقیق بر روی باطله های معدن مس قلعه زری واقع در استان خراسان جنوبی و جایگزینی آن با سیلیس و آهک نشان می دهد که بلوک بتنی تولید شده با استفاده از باطله مس، مشخصات فیزیکی و مکانیکی تعیین شده در استاندارد را برآورده می کند و تولید این نوع بلوک بتنی امکانپذیر است. بر اساس نتایج آزمایشگاهی بدست آمده، استحکام فشاری بیش از ۳۰ مگاپاسکال و جرم مخصوص حدود ۶۰۰ کیلو گرم بر متر مکعب بدست آمده است.



#### منابع

- [1] Yu Liang-hui, Jia Wen-long, Xue Ya-zhou. *Survey and analysis of the copper tailing resources in China*. Metal Mine 2009(8):179–81.
- [2] Zhao Feng-qing, Zhao Jing, Liu Hong-jie. *Autoclaved brick from low-silicon tailings*. Constr Build Mater 2009;23(1):538–41.
- [3] Zhao Feng-qing, Ni Wen, Wang Hui-jun. *Preparation of load-bearing brick with copper tailings by steam curing method*. Express Inf Min Ind 2006(4):34–6.
- [4] Zhao Feng-qing, Xiao Jin-yi, Liu Hong-jie. *Autoclaved brick from low-silicon tailings: preparation and discussion*. In: Proceedings of 3rd International Conference on Energy and Environment Materials ICEEM-3, China: Guangzhou; 2006. p. 137.
- [5] Narayanan N, Ramamurthy K. *Structure and properties of aerated concrete: a review*. Cem Concr Compos 2000;22(5):321–9.
- [6] Karakurt Cenk, Kurama Haldun, Topçu Ilker Bekir. *Utilization of natural zeolite in aerated concrete production*. Cem Concr Compos 2010;32(1):1–8.
- [7] Tao Hong-sen. *Research for developing aerated concrete by using fly ash with high calcium of Gehua power plant in Hongshan, Wuhan* [Dissertation]. WuHan:Wuhan University of Technology; 2004.
- [8] Mostafa NY. *Influence of air-cooled slag on physicochemical properties of autoclaved aerated concrete*. Cem Concr Res 2005;35(7):1349–57.
- [9] Kurama H, Topçu IB, Karakurt C. *Properties of the autoclaved aerated concrete produced from coal bottom ash*. J Mater Process Technol 2009;209(2):767–73.





- [10] Ma Bao-guo, Xu Zheng. *Study on a new kind of aerated concrete containing efflorescence sand-phosphorus slag-lime*. J Build Mater 1999;2(3):223–8.
- [11] Li Fang-xian, Chen You-zhi, Long Shi-zong. *Experimental investigation on aerated concrete with addition of lead–zinc tailings*. J Southwest Jiaotong Univ 2008;43(6):810–5.
- [12] Wang Yan, Yin Jie, Chen Ji-chun, Peng Chang-qi. *Aerocrete made with low silicon tailings of Cheng Chao iron ore mine*. J Wuhan Univ Technol Mater Sci 2000;15(2):58–62.
- [13] Xiao-yan Huang, Wen Ni, Wei-hua Cui, Zhong-jie Wang, Li-ping Zhu. *Preparation of autoclaved aerated concrete using copper tailings and blast furnace slag*, Construction and Building Materials 2012;(27):1–5.
- [14] Lixiong Cai, Baoguo Ma, Xiangguo Li, Yang Lv, Zhuolin Liu, Shouwei Jian, *Mechanical and hydration characteristics of autoclaved aerated concrete (AAC) containing iron-tailings: Effect of content and fineness*, Construction and Building Materials 2016;(128):361–372.