



# تأثیر نانوذرات آلومینایی بر خواص کاشی دیوار حاوی سرباره

فصلنامه  
سرامیک ایران

گلشناد اسامی، محمدرضا نیلفروشان، هاجر احمدی مقدم

گروه مهندسی مواد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهرکرد



نویسنده مسئول:

دکتر محمدرضا نیلفروشان

نویسنده اول:

مهندس خانم گلشناد اسامی

گروه مهندسی مواد، دانشکده فنی و

مهندسی، دانشگاه شهرکرد

نوع مقاله: پژوهشی

صفحه‌های: ۴۸ تا ۵۶

شاپا چاپی: ۱۷۳۵-۳۳۵۱

شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۳۰۹۷

زبان نشریه: فارسی

دسترس پذیر در نشانی:

www.JICERS.ir

تاریخ دریافت:

۱۴۰۱/۰۱/۱۵

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۱/۰۳/۲۱

\*m.r.nilforoushan@gmail.com

DOR: 20.1001.1.17353351.1400.17.4.2.9

**چکیده:** استفاده از مواد دور ریز و ضایعات صنایع به منظور حفاظت از محیط زیست و همچنین برای کاهش هزینه‌ها مورد توجه بوده است. در این تحقیق، استفاده همزمان از سرباره و نانوذرات آلومینایی بر خواص کاشی دیوار مطالعه شد. بنابراین ابتدا تأثیر سرباره، دور ریز صنعت ذوب آهن، بر خواص بدنه کاشی دیواری بررسی شد. به این منظور، درصد‌های مختلف سرباره (۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ درصد وزنی) به ترکیب بدنه کاشی اضافه و خواص فیزیکی شامل چگالی، درصد انقباض بعد پخت و تخلخل باز، و خواص مکانیکی شامل استحکام خمشی و همچنین ریزساختار مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج استفاده از سرباره منجر به ایجاد فاز آنورتیت و ولاستونیت در بدنه کاشی می‌شود. نتایج نشان داد سرباره تا مقدار ۳۰ درصد وزنی منجر به افزایش چگالی، کاهش انقباض و بهبود استحکام خمشی بدنه کاشی می‌شود. استحکام خمشی بدنه کاشی از  $23/6 \text{ MPa}$  به مقدار  $33/8 \text{ MPa}$  برای بدنه حاوی ۳۰ درصد سرباره افزایش یافت. بهبود استحکام می‌تواند به درصد تخلخل کم‌تر، ایجاد فاز آنورتیت سوزنی شکل و ولاستونیت با استفاده از سرباره نسبت داده شود. در ادامه، تأثیر نانوذرات آلومینایی در مقادیر ۱، ۲ و ۳ درصد وزنی بر خواص بدنه کاشی حاوی ۳۰ درصد سرباره بررسی گردید. افزودن نانو آلومینا استحکام خمشی بدنه کاشی را افزایش داد و استحکام خمشی برای بدنه حاوی سه درصد وزنی به  $39/5 \text{ MPa}$  رسید. افزایش استحکام می‌تواند به درصد بیش‌تر فاز آنورتیت در حضور نانو آلومینا مربوط شود.

**کلمات کلیدی:** کاشی دیوار، سرباره، نانو آلومینا، استحکام خمشی، ریز ساختار

## ۱- مقدمه

کاشی‌های سرامیکی بر اساس معیارهای مختلف مانند رنگ و ظاهر، محل کاربرد، میزان تخلخل، لعاب و نوع پخت تقسیم‌بندی می‌شوند. بر اساس محل کاربرد به دو گروه کاشی دیواری و کاشی کف طبقه‌بندی می‌شوند. مواد اولیه مورد مصرف در صنایع کاشی به طور کلی عبارتند از: انواع کائولن‌ها، فلدسپات‌ها، کوارتز یا سیلیس، تالک، بنتونیت، دولومیت. کائولن جزء اصلی کاشی را تشکیل می‌دهد. فلدسپات با نقطه ذوب پایین‌تر نسبت به مواد دیگر نقش پیوند دهنده‌ی اجزاء از طریق ایجاد فاز مذاب را دارد. کوارتز با نقطه ذوب بالا به‌عنوان اسکلت اصلی و استحکام دهنده در بدنه کاشی به کار می‌رود. به‌طور تقریبی در ترکیب کاشی، حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد کائولن، ۱۰ تا ۲۰ درصد فلدسپات و ۵ تا ۱۵ درصد کوارتز و مواد افزودنی دیگر برای دستیابی به خواص مد نظر استفاده می‌شود [۱-۴].



امروزه تحقیقاتی زیادی در مورد استفاده از مواد دور ریز یا ضایعات صنایع مختلف به منظور حفاظت از محیط زیست و کاهش هزینه‌های تولید در حال انجام است. سرباره به عنوان ماده دور ریز در فرآیند استخراج فلزات تولید می‌شود. تاکنون تحقیقات زیادی به منظور یافتن راه‌حلی برای کاربرد سرباره‌ها در صنایع مختلف صورت گرفته است [۵-۸]. درصنعت عمران و راه‌سازی از سرباره به دلیل خواص مکانیکی خوب و قیمت پایین، به عنوان جزء درشت‌دانه در آسفالت و بتن جاده‌ای استفاده می‌شود [۶]. از سرباره کوره قوس الکتریکی در ساخت کاشی‌های سرامیکی زجاجی استفاده شد و مشخص گردید محدوده شیشه‌ای شدن کاهش می‌یابد [۹]. چوکوودی و همکاران، به بررسی خواص کاشی سرامیک تولید شده از سرباره فولاد و کائولینیت پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق حاکی بر تشکیل فاز ولاستونیت، آنورتیت و ایستاتیت در این بدنه‌ها بود، که برای دستیابی به کاشی و سرامیک با کیفیت بالا لازم است. همچنین خواص مکانیکی و فیزیکی کاشی‌ها مورد ارزیابی قرار داده شد و گزارش شد این کاشی‌ها دارای ویژگی‌های مناسب برای استفاده به عنوان کاشی کف هستند [۱۰].

ویژگی‌های خاص نانو مواد از جمله واکنش‌پذیری شیمیایی بالای آن‌ها ناشی از سطح ویژه بسیار زیاد باعث شده است این مواد در سال‌های اخیر مورد توجه زیاد در صنایع مختلف و کاربردهای متنوع قرار بگیرند. از مواد نانو در سرامیک‌های سیلیسی برای ایجاد سطحی مناسب و دستیابی به خواص بهتر استفاده می‌شود [۱۱]. با استفاده از نانوذرات اکسید زیرکونیوم و آلومینا، سرامیک‌های پرسالانی با خواص مکانیکی و شیمیایی فوق‌العاده ساخته شده است. استفاده از این اکسیدها منجر به خواص شیمیایی بالا، مقاومت در برابر سایش و سختی بالا می‌گردد. رامبالدی و همکارانش، اثرات برخی از نانو اکسیدها را بر روی خواص کاشی‌ها بررسی کردند. هدف اصلی بهبود سطح، خواص مکانیکی و مقاومت شیمیایی کاشی‌های سرامیکی با افزودن نانو اکسیدهایی همچون نانو آلومینا و نانو زیرکونیا بود. نتایج نشان داد که با استفاده از نانو اکسید آلومینا و زیرکونیا مقاومت شیمیایی و سختی سطح بهبود می‌یابد [۱۲]. گزارش شده است که استفاده از نانو ذرات سیلیس به‌عنوان یک افزودنی در کاشی از طریق بهبود چگالش و کاهش تخلخل باعث می‌گردد که جذب آب بدنه کاهش و مقاومت به سایش و مقاومت خمشی افزایش یابد [۱۳].

در این مطالعه، استفاده همزمان از سرباره و نانو ذرات آلومینایی بر خواص کاشی دیوار بررسی می‌شود. به این منظور ابتدا بر اساس نتایج استحکام خمشی مقدار بهینه سرباره تعیین گردید. سپس تأثیر مقدار سرباره بهینه و نانو ذرات آلومینایی بر خواص مختلف کاشی از جمله درصد جذب آب، استحکام خمشی، فازها و ریزساختار بررسی شد.

## ۲- فعالیت‌های تجربی

برای ساخت بدنه کاشی، از مواد اولیه شامل کائولن معدن ناین، فلدسپار معدن ترابی یزد، خاک نسوز معدن بهاران یزد و فلدسپار قلعه خرگوشی معدن یزد استفاده گردید. همچنین سرباره گرانوله شده کوره بلند ذوب آهن اصفهان یکی دیگر از مواد اولیه مورد استفاده بود. در جدول ۱ آنالیز شیمیایی مواد اولیه بر حسب درصد وزنی آورده شده است.

هر یک از مواد اولیه تهیه شده به صورت مجزا به مدت ۵ ساعت تحت آسیاب گلوله‌ای برای کاهش اندازه ذرات قرار گرفت. پودر حاصل، از الک مش ۲۰ عبور داده شد. به این ترتیب مواد اولیه با اندازه ذرات تقریباً یکسان حاصل گردید. مقدار مواد اولیه و کد گذاری نمونه‌ها در جدول ۲ مشخص شده است. این مواد بر اساس ترکیب جدول ۲ در جار میل در محیط آب به مدت ۵ ساعت با یکدیگر مخلوط شدند. ذرات نانو آلومینا به مقدار ۱، ۲ و ۳ درصد وزنی به ترکیب با مقدار بهینه سرباره اضافه گردید و برای دست‌یابی به توزیع مناسب نانو ذرات، مخلوط مواد اولیه و نانو ذرات به مدت ۴ ساعت در آسیاب سیاره‌ای مخلوط گردید. دوغاب حاصل از مرحله مخلوط کردن مواد در دمای  $120^{\circ}\text{C}$  خشک شد. برای تهیه نمونه‌ها از روش پرس تک محور استفاده گردید. نمونه‌ها به دو صورت دیسکی شکل با قطر ۶ cm و مکعب مستطیل شکل با ابعاد  $3\text{ cm} \times 15^*15^*$  با فشار پرس ۵۰ MPa آماده شدند. نمونه‌ها ابتدا در دمای  $150^{\circ}\text{C}$  به مدت ۲۴ ساعت برای خشک شدن نگهداری شد. برای عملیات پخت، از کوره رولری تک پخت با دمای  $1150^{\circ}\text{C}$  و مدت زمان ۶۰ دقیقه استفاده گردید.

اندازه‌گیری چگالی ظاهری و درصد تخلخل باز کاشی‌ها با استفاده از روش غوطه‌وری ارشمیدس طبق استاندارد ASTM C 373 صورت گرفت. برای تعیین درصد جذب آب، ابتدا وزن کاشی‌های بعد از پخت اندازه‌گیری شد ( $M_1$ ) سپس به مدت ۴ ساعت در آب

جوش و مدت ۴ ساعت در آب معمولی قرار داده شدند. سطح نمونه‌ها با ابر کمی مرطوب پاک و وزن شدند ( $M_2$ ). درصد جذب آب با معادله ۱ محاسبه شد. با اندازه‌گیری ابعاد نمونه‌ها قبل ( $L_1$ ) و بعد از پخت ( $L_2$ ) و رابطه ۲، درصد انقباض نمونه‌ها تعیین شد.

$$\text{درصد جذب} = \frac{[M_2 - M_1]}{M_1} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{درصد انقباض} = \frac{[L_2 - L_1]}{L_1} \times 100 \quad (2)$$

برای آنالیز فازی از دستگاه پراش پرتوی ایکس مدل X-Ray Diffractometer, Bruker, D8ADVANCE, Germany با فیلتر نیکل و طول موج تابش  $\text{CuK}\alpha = 1/5406 \text{ \AA}$  استفاده شد. بررسی ریزساختار نمونه‌ها، با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل Philips XL30 انجام شد. مقدار استحکام خمشی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه خمش سه نقطه‌ای تعیین گردید.

جدول ۱- آنالیز شیمیایی مواد اولیه بر حسب درصد وزنی.

L.O.I	TiO <sub>2</sub>	ZnO	Na <sub>2</sub> O	MnO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	ماده
۷/۲	۱/۲	۰/۰۱	۱/۳	۰/۰۱	۰/۲۱	۳/۴	۱/۰۳	۰/۳۵	۴/۲	۲۹/۸	۴۸/۷	کائولن
۷/۳	-	-	۰/۴	-	-	۴/۶	۰/۱۲	۰/۳۸	۰/۹۷	۱۳/۹	۷۷/۳	فلدسپار ترابی
۴/۳	۰/۴	-	۰/۴۴	۰/۲۷	۰/۱۲	۵/۰۱	۱/۱	۰/۸	۱/۸	۲۱/۹	۶۳/۲	فلدسپار خرگوشی
۸/۱۳	-	-	۱/۲	۰/۱۵	۰/۱۴	۳/۵	۱	۰/۵	۱۰/۵	۲۸/۲	۴۴/۹	خاک نسوز
۰/۵	۰/۷	-	-	۱	۱/۲	۰/۳	۹/۵	۴۰/۲	۱/۹	۸/۳	۳۶/۵	سرباره

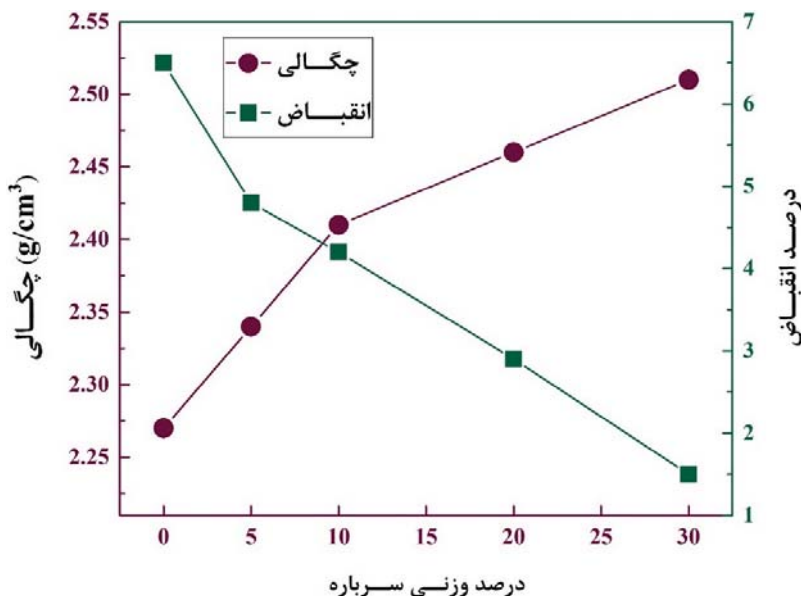
جدول ۲- مقدار مواد اولیه و کدگذاری نمونه‌ها.

سرباره	فلدسپار ترابی	کائولن	خاک نسوز	فلدسپار خرگوشی	کد نمونه
۰	۲۰	۱۵	۴۵	۲۰	R
۱۰	۱۰	۱۵	۴۵	۲۰	B10
۱۵	۵	۱۵	۴۵	۲۰	B15
۲۰	۰	۱۵	۴۵	۲۰	B20
۳۰	۰	۱۲	۳۸	۲۰	B30

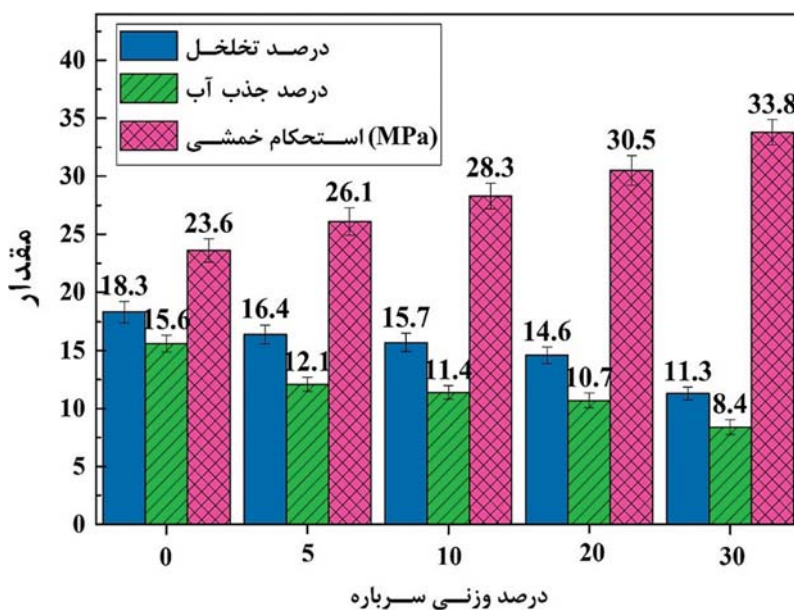
### ۳- نتایج و بحث

در شکل ۱ تغییرات چگالی و درصد انقباض بعد از پخت بدنه‌های کاشی بر حسب درصد سرباره نشان داده شده است. طبق نتایج، استفاده از سرباره موجب افزایش چگالی و کاهش قابل توجه در میزان انقباض بعد از پخت بدنه‌های کاشی شده است. میزان انقباض بالا در طی فرآیند تولید مطلوب نیست و با کاهش میزان انقباض، کنترل و دستیابی به ابعاد استاندارد دقیق‌تر خواهد شد. طبق جدول ۱، مواد اولیه بدنه کاشی دارای پرت حرارتی نسبتاً بالایی هستند که بیانگر خروج مواد فرار از مواد اولیه در طی مرحله پخت بدنه کاشی است که هم منجر به انقباض ابعادی بالا و هم باعث ایجاد تخلخل و در نتیجه کاهش چگالی می‌شود. وقتی بخشی از این مواد به وسیله سرباره با درصد پرت حرارتی بسیار پایین جایگزین شود، باعث پایداری ابعاد و افزایش چگالی خواهد شد.

شکل ۲ تغییرات تخلخل باز، درصد آب و استحکام خمشی بدنه‌های کاشی بر حسب درصد سرباره را نشان می‌دهد. طبق نتایج استفاده از سرباره منجر به کاهش درصد تخلخل کاشی دیوار و در نتیجه کاهش درصد جذب آب گردید. استحکام خمشی کاشی دیوار با استفاده از سرباره بهبود چشمگیری داشت و برای نمونه حاوی ۳۰ درصد سرباره استحکام خمشی حدود ۴۰ درصد افزایش یافت. کاهش تخلخل باز منجر به کاهش درصد جذب آب و هم چنین افزایش استحکام خمشی بدنه کاشی در حضور سرباره می‌شود. لازم به ذکر است که مقدار ۴۰ درصد وزنی سرباره نیز مورد بررسی قرار گرفت. بعد از پخت، لکه‌های سیاه رنگ در این بدنه ایجاد شده بود. بنابراین مقدار ۳۰ درصد سرباره به عنوان مقدار بهینه در نظر گرفت شد.

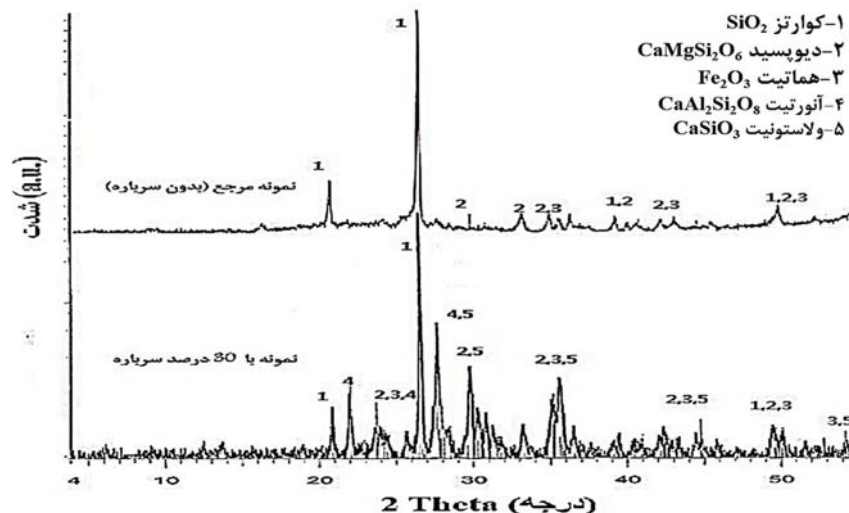


شکل ۱- تغییرات چگالی و درصد انقباض بعد از پخت کاشی بر حسب درصد سرباره.



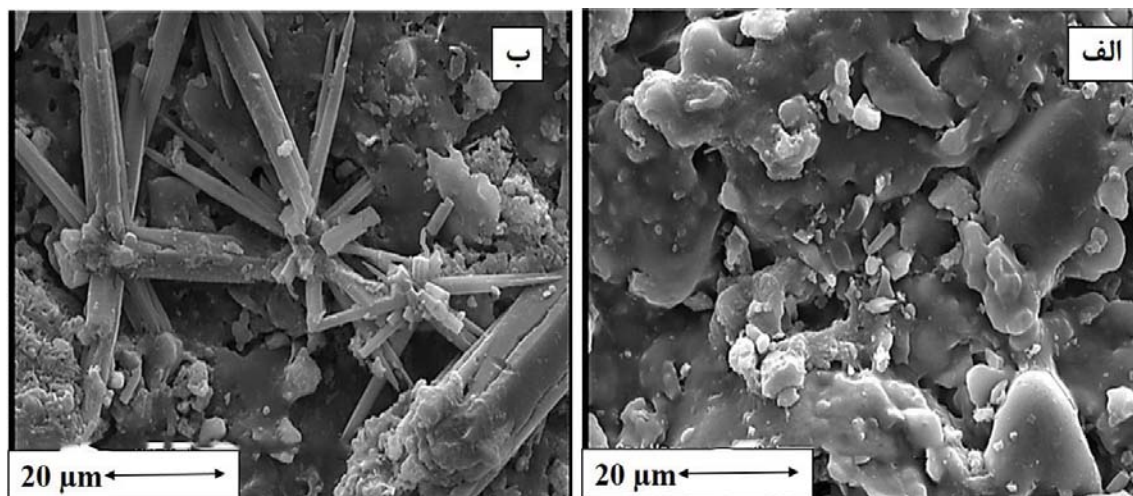
شکل ۲- تغییرات درصد تخلخل باز، جذب آب و استحکام خمشی کاشی بر حسب درصد سرباره.

الگوی پراش اشعه ایکس (XRD) نمونه مرجع (بدون سرباره) و نمونه حاوی سی درصد سرباره (B30) در شکل ۳ آورده شده است. کوارتز، دیوکسید و هماتیت فازهای اصلی شناسایی شده در بدنه کاشی مرجع هستند. طبق آنالیز XRD، اضافه کردن سرباره موجب افزایش شدت پیک فاز دیوکسید و ایجاد فازهای آنورتیت و ولاستونیت در بدنه کاشی شده است. وجود MgO در سرباره باعث افزایش مقدار فاز دیوکسید می‌گردد. تشکیل فازهای آنورتیت و ولاستونیت به مقدار بالای CaO موجود در سرباره نسبت داده می‌شود. وجود فازهای آنورتیت و ولاستونیت منجر به افزایش استحکام بدنه خواهند شد [۱۴]. همچنین مقدار فاز کوارتز اندازه‌گیری شده در نمونه مرجع در حدود ۵۸ درصد و در نمونه B30 حدود ۵۰ درصد بود. کاهش مقدار فاز کوارتز به دلیل کاهش تنش‌های ناشی از تبدیلات فازی آن نیز می‌تواند منجر به بهبود استحکام گردد.



شکل ۳- الگوی XRD مربوط به نمونه مرجع R و نمونه با ۳۰ درصد سرباره.

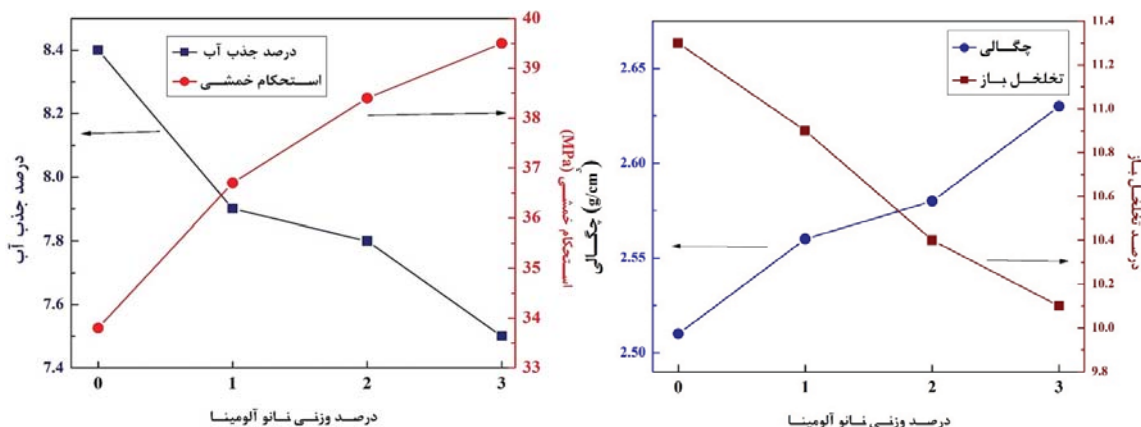
شکل ۴ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نمونه مرجع R و نمونه حاوی ۳۰ درصد سرباره را نشان می‌دهد. طبق شکل ۴، کریستال‌های تیغه‌ای و سوزنی شکل در نمونه B30 مشاهده می‌شود که مربوط به فاز آنورتیت است. وجود چنین فازی با ساختار سوزنی شکل در فاز زمینه کاشی موجب تقویت زمینه و افزایش استحکام خواهد شد. هم چنین فاز ولاستونیت نیز باعث تقویت فاز زمینه بدنه کاشی و افزایش استحکام می‌گردد.  $\text{CaO}$ ،  $\text{MgO}$  و  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  موجود در سرباره با  $\text{SiO}_2$  و  $\text{Al}_2\text{O}_3$  و دیگر مواد اولیه بدنه کاشی واکنش می‌دهند و با ایجاد فازهای ولاستونیت و افزایش درصد فاز دیوپسید، که استحاله فازی همراه با ایجاد تنش ندارند و کاهش مقدار کوارتز آزاد موجود در بدنه کاشی باعث افزایش استحکام می‌گردد [۱۴].



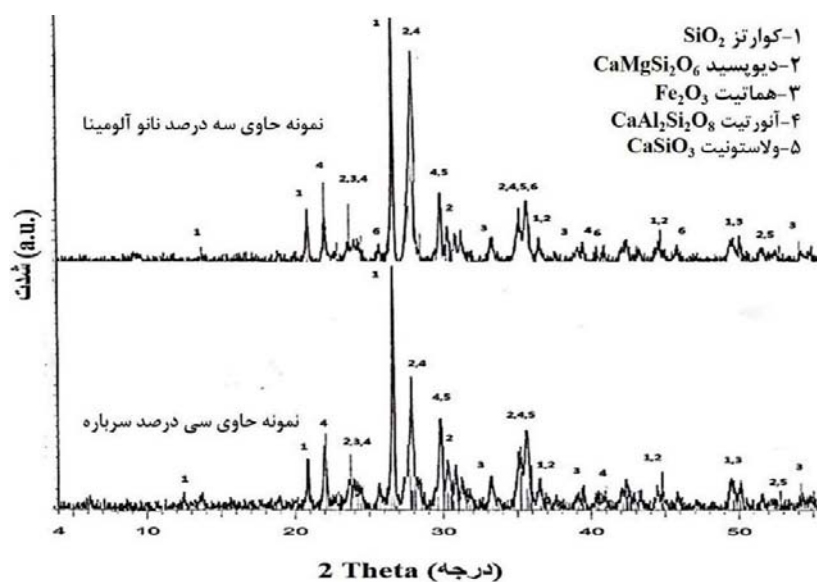
شکل ۴- تصاویر SEM (الف) نمونه مرجع R و (ب) نمونه حاوی ۳۰ درصد سرباره.

در شکل ۵ تاثیر نانو ذرات آلومینا بر خواص مختلف کاشی دیوار حاوی ۳۰ درصد سرباره مشخص شده است. طبق نتایج، افزودن نانو آلومینا منجر به افزایش کمی در چگالی، کاهش درصد تخلخل و درصد جذب آب می‌شود. استفاده از نانو ذرات آلومینا موجب بهبود استحکام خمشی کاشی دیوار نیز شده است.

الگوی XRD نمونه B30 و نمونه حاوی سه درصد نانو ذرات آلومینا در شکل ۵ آورده شده است. طبق شکل ۶ با افزودن نانو آلومینا شدت پیک مربوط به آنورتیت افزایش یافته است. افزایش استحکام را می‌توان به افزایش مقدار فاز آنورتیت نسبت داد.



شکل ۵- تاثیر نانو ذرات آلومینا بر خواص مختلف کاشی دیوار حاوی ۳۰ درصد سرباره.

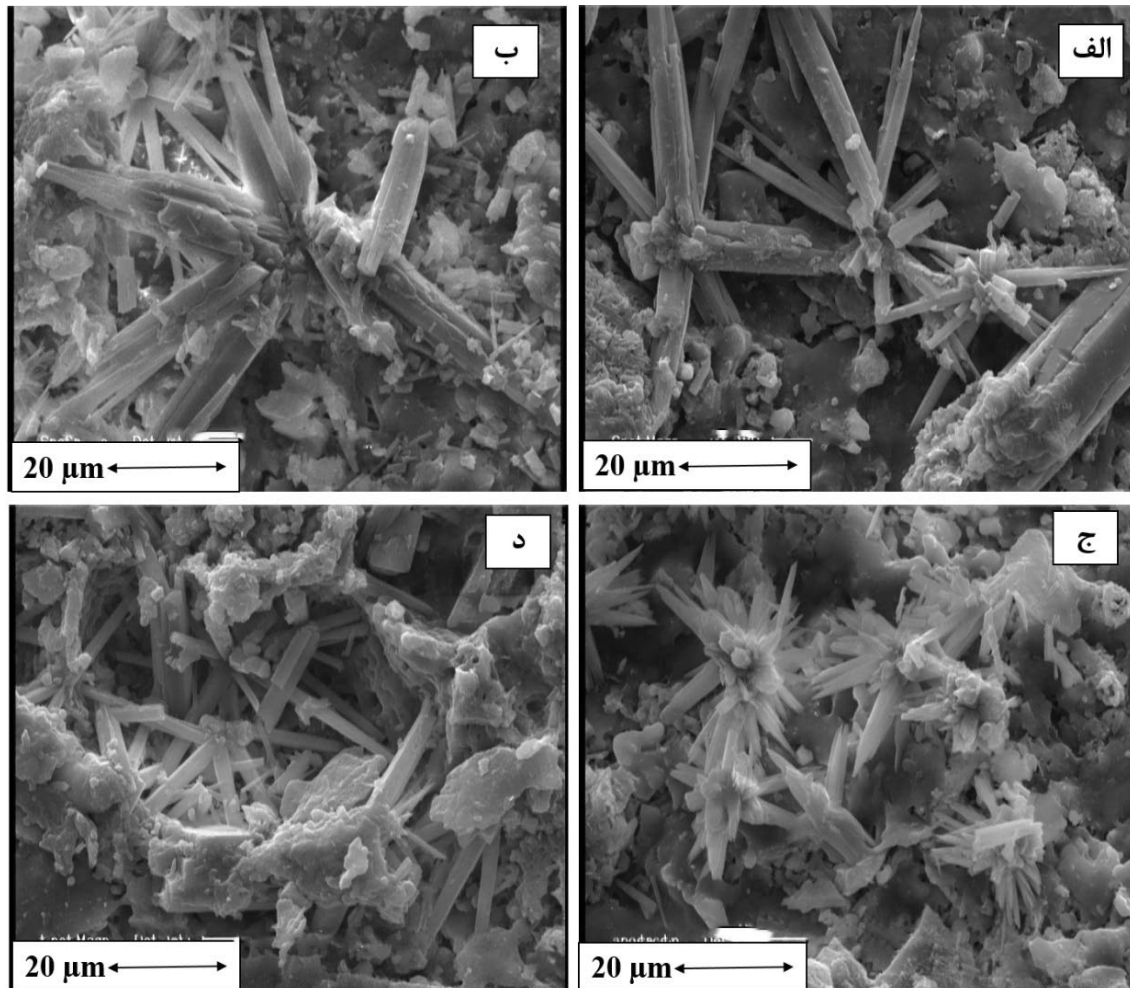


شکل ۶- الگوی XRD نمونه B30 و نمونه حاوی ۳ درصد نانو آلومینا.

در شکل ۷ تصاویر SEM نمونه‌های حاوی درصد مختلف نانو ذرات آلومینا مشاهده می‌شود. طبق تصاویر شکل ۷ مقدار فاز سوزنی شکل در بدنه کاشی حاوی نانو آلومینا افزایش یافته است. گزارش شده است نانو آلومینا می‌تواند به عنوان مراکز جوانه‌زنی فاز آنورتیت عمل کند و تشکیل این فاز راحت‌تر صورت بگیرد [۱۳]. بنابراین افزایش استحکام بدنه‌های کاشی با استفاده از نانو ذرات آلومینا را می‌توان به مقدار بیش‌تر فاز آنورتیت نسبت داد.

#### ۴- نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد امکان استفاده از سرباره به عنوان بخشی از مواد اولیه کاشی دیوار وجود دارد. به کار بردن سرباره به عنوان دور ریز صنایع تولید فلزات مانند ذوب آهن و فولاد سازی در صنعت کاشی می‌تواند به حفظ محیط زیست کمک کند. طبق نتایج حاصل شده، استفاده از سرباره تا مقدار سی درصد وزنی نه تنها تاثیر منفی بر خواص کاشی دیوار به همراه نداشته است بلکه باعث بهبود در استحکام خمشی کاشی نیز گردید. بهبود در استحکام کاشی به ایجاد فاز آنورتیت و ولاستونیت در بدنه حاوی سرباره نسبت داده می‌شود. نانو ذرات آلومینا از طریق افزایش مقدار فاز آنورتیت منجر به بهبود استحکام خمشی کاشی دیوار شدند.



شکل ۷- تصاویر SEM نمونه‌های حاوی درصد مختلف نانو ذرات آلومینا الف (صفر درصد، ب) ۱ درصد، ج) ۲ درصد و د) ۳ درصد.

## مراجع

- [1]. M. Dondi, M. Raimondo, C. Zanelli. "Clays and bodies for ceramic tiles : Reappraisal and technological classification", Applied. Clay Science, 2014, 96, 91–109.
- [2]. D. Gabaldón-estevan, E. Criado, E. Monfort, "The green factor in European manufacturing : a case study of the Spanish ceramic tile industry", Journal of Cleaner Production, 2014, 70, 242–250.
- [3]. W. Wang, W. Chen, H. Liu, C. Han, "Recycling of waste red mud for production of ceramic floor tile with high strength and lightweight", Journal of Alloys and Compounds, 2018, 748, 876–881.
- [4]. B. Stawiski, T. Kania, "Testing Quality of Ceramic Tiles in order to Evaluate Condition of the Manufacturing Process", Procedia Engineering, 2016, 161, 937–943.
- [5]. T. Aydin, M. Tarhan, B. Tarhan. "Addition of cement kiln dust in ceramic wall tile bodies", Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2019, 136 (2), 527-533.
- [6]. X. Zhao, Y. Sheng, H. Lv, H. Jia, Q. Liu, X. Ji, R. Xiong, J. Meng, "Laboratory investigation on road performances of asphalt mixtures using steel slag and granite as aggregate", Construction and Building Materials, 2022, 315, 125655.
- [7]. Q. Wu, Y. Wu, W. Tong, H. Ma, "Utilization of nickel slag as raw material in the production of Portland cement for road construction", Construction and Building Materials, 2018, 193, 426-434.
- [8]. J. Soni, T. Chokshi, R. Sharma, R. Gujar, N. Jariwala, J.R. Pitroda. "Assessing the Applicability of Fine Copper Slag in Road and Structural Fill Application", Materials Today: Proceedings, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.058>
- [9]. R. Sarkar, N. Singh, S.K. Das, "Utilization of steel melting electric arc furnace slag for development of vitreous ceramic tiles", Bulletin of Materials Science, 2010, 33(3), 293-298.
- [10]. B.C. Chukwudi, P.O. Ademusuru, B.A. Okorie, (2012). "Characterization of sintered ceramic tiles produced from steel slag", Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering, 2012, 11(9), 863-868.



- [11]. P. São Marcos, J. Marto, T. Trindade, J.A. Labrincha, (2008). "Screen-printing of TiO<sub>2</sub> photocatalytic layers on glazed ceramic tiles", *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 2008, 197, 125-131.
- [12]. E. Rambaldi, A. Tucci, L. Esposito, D. Naldi, G. Timellini. "Nano-oxides to improve the surface properties of ceramic tiles", *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 2010, 49(4), 253-258.
- [13]. D.A. Alonso-De la Garza, A.M. Guzmán, C. Gómez-Rodríguez, D.I. Martínez, N. Elizondo, "Influence of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub> nanoparticles addition on the microstructure and mechano-physical properties of ceramic tiles", *Ceramics International*, 2022, 48, 12712-12720
- [14]. B.C. Chukwudi, P.O. Ademusuru, B.A. Okorie, "Characterization of sintered ceramic tiles produced from steel slag", *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 2012, 11(9), 863-868.





# Influence of Alumina Nano Particles Addition on the Properties of Wall Tiles Containing Slag

Golshad Asami, Mohammad Reza Nilforoushan\*, Hajar Ahmadimoghadam

Department of Materials Engineering, Faculty of Engineering, Shahrekord University, Shahrekord

\* m.r.nilforoushan@gmail.com

**Abstract:** The use of waste materials and industrial wastes in order to protect the environment and also to reduce costs has been considered. In this study, first, the use of slag, a waste of the steel industry, on the properties of the wall tile body was investigated. For this purpose, different percentages of slag were added to the tile body and physical properties such as density, percentage of shrinkage after sintering, open porosity, bending strength and microstructure were investigated. According to the results, the use of slag leads to the formation of anorthite and wollastonite phases in the tile body. The results showed that slag up to 30 wt% leads to increased density, reduced shrinkage and improved bending strength of tiles. The bending strength of the tile body increased from 23.6 MPa to 33.8 MPa for a body containing 30 wt% slag. The strength improvement can be attributed to the lower porosity, the formation of needle-shaped anorthite and wollastonite phases by using slag. Then, the effect of alumina nanoparticles in the amounts of 1, 2 and 3 wt% on the properties of the tile body containing 30 wt% slag was investigated. The addition of nano-alumina particles increased the bending strength of the tile body and the bending strength for the body containing 3 wt% reached 39.5 MPa. The increase in strength can be related to the higher percentage of anorthite phase in the presence of nano-alumina.

**Keywords:** Wall tiles, Slag, Nano-alumina, Bending strength, Microstructure.