ارزیابی خواص تکنولوژیکی خاک رس ایرانی و تاثیر جایگزینی آن در فرمولاسیون چینی بهداشتی

محمدصادق عبدی مقصودلو، سکینه خواجوی

گروه مواد و متالورژی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ملایر



مهندس محمدصادق عبدی مقصودلو مولف اصلی این مقاله، عضو هیات علمی دانشگاه ملایر می‌باشند.

msabdim@gmail.com

چکیده: رس یک نوع خاک ریزدانه با پلاستیسیته و استحکام خام نسبتاً بالاست که به میزان زیادی در تولید بدنه‌های مختلف سرامیکی بویژه چینی بهداشتی بکار می‌رود. در سالهای اخیر معادن رسی جدیدی در منطقه لوشان گیلان کشف شده که از پتاسیل خوبی برای ساخت قطعات سرامیکی برخوردار هستند. جهت تعیین مشخصات تکنولوژیکی خاک‌های مذکور و همچنین تعیین کاربری آنها در صنایع سرامیک بویژه چینی بهداشتی، یک نمونه شاخص با کدLN از معادن مذکور انتخاب شده و تحت آزمون‌های مختلف آزمایشگاهی قرار گرفت. در ادامه با استخراج یک فرمولاسیون چینی بهداشتی پایه، رس ایرانیLN و بال‌کلیWBB هریک بطور جداگانه و به میزان ۱۰ تا ۲۵ درصد با گام‌های ۵ درصد جایگزین مواد پلاستیک استفاده شده در این فرمولاسیون شد. ارزیابی خواص تکنولوژیکی نمونه‌های ساخته شده در این بررسی نشان داد که میزان استحکام خام و خشک چینی‌های ساخته شده با رس ایرانی کمتر از بدنه‌های ساخته شده با بال‌کلیWBB می‌باشند. همچنین استحکام و درصد انقباض پخت بدنه‌های مذکور بیشتر از نمونه‌هایی است که با بال‌کلی WBB ساخته شده بودند. بررسی پارامترهای تولید در صنایع چینی بهداشتی نشان می‌دهدکه حداکثر ۱۵ درصد رس ایرانی را می‌توان جایگزین رس پلاستیک در فرمولاسیون چینی بهداشتی پایه کرد بگونه‌ای که خواص بدنه حاصل در حین شکل‌دهی و پخت حفظ گردد.

کلمات کلیدی: خاک رس ایرانی، خواص تکنولوژیکی، چینی بهداشتی، بال‌کلی WBB

۱- مقدمه

چینی بهداشتی جزء بدنه‌هایی است که رنگ سفید بعد از پخت برای آن چندان حائز اهمیت نیست، چرا که این بدنه‌ها با انگوب و لعاب اپک تولید می‌شوند و رنگ بدنه در زیبایی ظاهری آن تاثیر نامطلوب چندانی ندارد. بدنه‌های چینی بهداشتی جزء پرسلان‌های زجاجی با جذب آب کمتر از ۲ درصد طبقه بندی شده که بطور معمول از تلفیق ۲۵٪ فلدسپار، ۲۵٪ کوارتز و۵۰٪ مخلوط رس‌های پلاستیک با خواص تکنولوژیکی خاص تولید می‌شوند. در این فرمولاسیون برای تامین استحکام خام و ایجاد رفتار رئولوژیکی خاص در دوغاب بدنه، معمولاً بخشی از این رس را با بال‌کلی تامین می‌کنند[۱-۳]. مواد اولیه تشکیل دهنده ترکیب پس از انتخاب، دانه بندی شده و بر اساس فرمولاسیون پیشنهادی توزین و با یکدیگر مخلوط می‌شوند و برای رسیدن به همگنی فیزیکی و شیمیایی بالا بصورت تر آسیاب می‌شوند. در ادامه روند تولید با افزودن مواد روانساز و تنظیم و کنترل خواص رئولوژیکی دوغاب حاصل، فرایند ساخت قطعات با روش ریخته‌گری تحت فشار آغاز شده و در نهایت این قطعات پس از گذر از مرحله خشک شدن در محدوده دمای ۱۲۰۰ درجه‌ی سانتیگراد یا کمی بالاتر از آن پخت و متراکم می‌شوند[۴].

برای شکل‌دهی و تولید موفق بدنه‌ها گنجاندن مواد پلاستیک در ترکیب اولیه بدنه چینی الزامی می‌باشد. همچنین استفاده از مواد اولیه با انقباض کم مثل مواد غیر پلاستیک کوارتز یا فلینت یا شاموت در فرمولاسیون بدنه‌های سنتی جهت کنترل فرایند خشک و پخت و در نتیجه تولید قطعات سالم ضرورت دارد. زینترینگ و تراکم مناسب بدنه در دماهای پایین‌تر جزء موارد مهم دیگری است که در سرامیک‌های سنتی با انتخاب دقیق مواد اولیه و رعایت نسبت اجزای تشکیل‌دهنده فرمولاسیون محقق می‌گردد. در برخی از اوقات نیز افزودن گدازآورهایی مثل فلدسپات و نفلین

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1394.11.1.4.3]

سیانیت و ریزدانه‌کردن مواد اولیه و رعایت توزیع اندازه ذرات می‌تواند شرایط مساعدی را برای زینترینگ بهتر بدنه بوجود آورد[۳و۵].
مواد رسی یا بطورکلی مواد پلاستیک جزء اصلی بدنه چینی بهداشتی را تشکیل داده و خواص کلی بدنه را در خلال مراحل آماده سازی، دوغاب پذیری، ریخته‌گری و مراحل بعد از آن تحت تاثیر خود قرار می‌دهد. بال‌کلی‌ها از نوع رس‌های کائولینیتی ریزدانه می‌باشند که بهمراه آن معمولاً کوارتز و کانی‌های میکا بصورت ناخالصی تشکیل می‌شوند. کانی‌های میکای موجود در بال‌کلی‌ها و ناخالصی‌های همراه آن بعنوان مواد گدازآور عمل کرده و باعث کاهش دیرگدازی آن می‌شوند. حضور ناخالصی‌هایی متنوعی از قبیل مواد آلی، کانی‌های مونت موری لونیتی، ترکیبات آهن، تیتان، نمک‌های محلول و ... در معادن بال‌کلی بیشتر از معادن کائولن هستند و بدین علت هم رفتار تکنولوژیکی متنوعی از بال‌کلی‌ها مشاهده می‌شود[۲-۴]. مواد آلی موجود در این دسته از مواد با تشکیل کلوییدهای حفاظتی باعث تسهیل فرایند ریخته‌گری و بهبود پایداری و روانی بیشتر دوغاب شده و همچنین موجب افزایش پلاستیسیته و مقاومت خشک مواد رسی می‌شوند، با این وجود حضور این مواد در هنگام پخت باعث بروز مشکلاتی مثل ایجاد لکه‌های سیاه رنگ در سطح بدنه چینی می‌شود. مونت موری لونیت‌ها نیز همانند مواد آلی باعث افزایش پلاستیسیته و استحکام خام بال‌کلی‌ها می‌شوند، در حالیکه آهن موجود در ساختار این مواد بر رنگ بعد از پخت قطعات تاثیر گذاشته و بعضاً هم مشکلاتی را در فرایند ریخته‌گری دوغابی فرآورده‌ها ایجاد می‌کند. بطور معمول هرگاه مجموع تیتان و اکسید آهن در خاک رسی بیشتر از ۲ درصد باشد رنگ بعد از پخت آن خاک متمایل به رنگ‌های تیره خواهد شد[۶]. پلاستیسیته و مقاومت خشک زیاد و ایجاد خواص رئولوژیکی مناسب در دوغاب و افزایش سرعت ریخته‌گری قطعات از طریق افزایش تیکسوتروپی و جدایش بهتر نمونه از قالب از جمله امتیازات مهم مصرف بال‌کلی‌ها در ساخت قطعات چینی بوده و رنگ تیره بعد از پخت و دیرگدازی کم آنها از نقایص عمده مصارف بال‌کلی در فرمولاسیون بدنه است که در برخی اوقات پایین بودن دیرگدازی آن جزء می‌تواند به دفرمه شدن چینی بهداشتی در روند پخت منجر گردد[۷].
فاکتورهایی از قبیل متوسط اندازه ذرات، نوع و میزان مینرال‌های تشکیل دهنده هر رس و اکسیدهای ناخالص همراه آن می‌تواند در تعیین خواص تکنولوژیکی و در نتیجه در تعیین کاربری مواد رسی در صنایع سرامیک بسیار تاثیرگذار باشند. معادن خاک رس فراوانی در سرتاسر کشور وجود داشته و در حال حاضر نیز در صنایع سرامیک بطورگسترده استفاده می‌شوند، با این وجود اطلاعات تکنولوژیکی کمی از معادن مذکور در متون علمی ثبت شده است. همچنین در سال‌های اخیر نیز معادن رسی جدیدی در منطقه لوشان گیلان کشف شده که پتاسیل خوبی برای تولید بدنه‌های سرامیکی دارند. بنابراین در این مقاله هدف ارزیابی خواص تکنولوژیکی خاک‌های مذکور از دیدگاه مهندسی سرامیک است که با انتخاب نمونه شاخص از معادن فوق و بکارگیری آن در فرمولاسیون چینی بهداشتی این هدف دنبال می‌شود.

۲- فعالیت‌های تجربی

آنالیز شیمیایی خاک رس ایرانی LN و سایر مواد اولیه‌ای که در ساخت بدنه چینی بکار رفته‌اند در جدول۱ ارائه شده است. خواص تکنولوژیکی خاک رس ایرانی و بال‌کلی WBB با تعیین فاکتورهایی از قبیل انقباض تر به خشک و خشک به پخت، استحکام خام، خشک و پخت، رنگ قبل و بعد از پخت، پلاستیسیته، درصد آب کارپذیری، درصد مواد فرار اندازه‌گیری و بررسی شد[۱۰،۱۲]. فرمولاسیون چینی بهداشتی پایه از مقاله[۸] استخراج و با تلفیق ۵۵ درصد وزنی کائولن زتلیتز، ۲۵ درصد وزنی سیلیس ستبران، ۱۵ درصد وزنی فلدسپار پتاسیک ملایر ساخته شد. بکارگیری فلدسپار پتاسیک در فرمولاسیون چینی بهداشتی موجب وسیع‌ترشدن محدوده پخت بدنه و در نتیجه احتمال دفرمه شدن آن در خلال پخت کم می‌شود[۱۷]. مواد اولیه فوق با کمک آسیاب میکرونیزه شده و با عبور از مش۲۲۰ و مطابق فرمولاسیون پایه توزین شده و با ۵۰ گرم آب به ازای هر صد گرم بچ خشک مواد مخلوط شده و بمدت ۲ ساعت آسیاب شدند. دوغاب حاصل در این مرحله بر روی لوح گچی ریخته شد تا آب آن جذب شود. کیک حاصل در این مرحله در دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد و بمدت زمان ۲۴ ساعت خشک گردید تا پس از عبور از الک ۲۲۰ برای استفاده درگام‌های بعدی آماده گردد. از روانسازهای صنعتی و ارزان قیمتی مثل تری پلی فسفات سدیم (TPP) و سیلیکات سدیم و سود سوزآور در تهیه بدنه چینی بهداشتی استفاده می‌شود[۹] که در این مقاله تنها نتایج مربوط به سیلیکات سدیم بررسی و ارائه می‌شود. جهت تعیین مقدار بهینه این روانساز، سیلیکات سدیم با درصدهای وزنی ۰/۱، ۰/۱۵، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ به مخلوط ۳۳/۶ درصد آب و ۱۰۰ گرم فرمولاسیون خشک بدنه فرآوری شده اضافه گردید. با کمک ویسکوزیمتر ریزشی با محفظه ۱۰۰ سی‌سی و قطر سوراخ ۴ میلیمتر و با ثبت و ترسیم زمان‌های ریزش دوغاب‌های حاصل، مقدار بهینه روانساز تعیین

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1394.11.1.4.3]

شد.در ادامه برای تعیین میزان مصرف رس ایرانیLN و بال‌کلیWBB، ابتدا دوغاب چینی با روانساز بهینه و نسبت مواد جامد به آب ثابت ساخته شد و در ادامه با رعایت ثابت بودن میزان ماده جامد در دوغاب و میزان روانساز بهینه ، هریک از این خاک‌ها بطور جداگانه به تدریج و با گام‌های ۵ درصد به دوغاب فرآوری شده اضافه گردید.

جدول ۱- آنالیز شیمیایی مواد اولیه مصرفی

مواد اولیه	L.O.I	Na_2O	K_2O	TiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Al_2O_3	SiO_2
بالکلی WBB	۱۰/۵	۰/۳	۲/۱	۱/۲	۱	۰/۱	۰/۳	۳۰/۷	۵۳/۸
رس ایرانی LN	۸/۷۶	۵/۸۲		۲/۰۳	۱/۱	۱/۰۱		۲۹/۲۸	۵۲/۲۲
کائولن زدلیتز	۱۲/۱	۱/۱۱		۰/۲	۰/۸۳	۰/۶۵	۰/۲۴	۳۷	۴۷/۳۵
فلدسپار SF20	۰/۶	۳/۷۹	۵/۷۱	–	۰/۲۲	۰/۶۶	–	۱۴/۱۲	۷۴/۴۲
سیلیس ستبران	۱/۰۵	–	–	–	۰/۰۲۵	–	–	۱/۲۵	۹۷/۷۲

با تعیین میزان وزن لیتر، سرعت ریخته‌گری و خواص جدایش از قالب و پارامترهایی مثل انقباض خشک و پخت و استحکام خام، خشک و پخت، میزان بهینه هر یک از خاک‌ها در بدنه چینی پایه تخمین زده شد[۱۳،۱۱]. برای ارزیابی سرعت ریخته‌گری قطعات، دوغاب‌های مختلفی با رعایت نسبت ثابت مواد جامد و روانساز بهینه و با افزودن رس ایرانی LN و یا با بال‌کلی WBB ساخته شد و در قالب‌های گچی تهیه شده با نسبت گچ به آب ۰/۷۵ ریخته‌گری شدند. در این آزمون مدت زمان لازم برای رسیدن به ضخامت ۵ میلیمتر برای هریک دوغاب‌ها معیار سنجش سرعت ریخته‌گری قرار گرفت. میزان آب کارپذیری و پلاستیسیته هر کدام از خاک‌ها با آزمون ففرکورن و با رعایت ارتفاع ثانویه ۱۶ میلیمتر تعیین شد[۱۷،۹]. در این مطالعه جهت ارزیابی خواص پخت، بدنه‌های چینی ریخته‌گری شده، بمدت زمان ۲۴ ساعت در۱۱۰ درجه سانتیگراد خشک شده و در نهایت بمدت ۲ ساعت در دمای ۱۲۳۰ درجه سانتیگراد زینتر و متراکم شدند. در این مقاله از کد B۰ برای معرفی بدنه چینی پایه و از کدهای BLN و BWB به ترتیب برای نامگذاری چینی‌های ساخته شده با رس ایرانیLN و بال‌کلیWBB استفاده گردید. اعداد قید شده در جلوی این کدها میزان جایگزینی انجام شده از هر یک از خاک‌ها را در فرمولاسیون چینی پایه نشان می‌دهد.

۳- نتایج و بحث

مشخصات تکنولوژیکی رس ایرانی LN و بال‌کلی WBB در جدول۲ ارائه شده است. همانطورکه مشخص است، میزان پلاستیسیته و مقادیر انقباض خشک، پخت و در نهایت انقباض کل بال‌کلی WBB بیشتر از رس ایرانی LN می‌باشد. زیاد بودن پلاستیسیته و انقباض خشک بال‌کلی WBB را می‌توان به ریزدانه بودن اندازه ذرات بال‌کلی WBB و زیاد بودن مینرال‌های رسی آن ذخیره نسبت داد. احتمالاً وجود مینرال‌های غیر پلاستیک در رس ایرانی LN و یا نوع مینرال‌های رسی حاکم در آن باعث تضعیف این بخش از خواص آن در مقایسه با رس WBB شده است، اما با این وجود این خواص از نظر صنعتی در حد قابل قبولی می‌باشند[۱۷]. بررسی اعداد پلاستیسته و درصد آب کارپذیری خاک مذکور نشان می‌دهد که برای رسیدن به یک ترکیب با پلاستیسیته مشابه، بالکلیWBB در مقایسه با رس ایرانیLN به آب بیشتری نیاز دارد. نتایج پلاستیسته بالکلیWBB با مقادیر استحکام خام و انقباض خشک زیاد این نمونه همخوانی داشته و این نتایج را توجیه می‌کند. رنگ پس از پخت هر دو نمونه نشان می‌دهد که رنگ بال‌کلی WBB فرآوری شده سفیده بوده و روشن‌تر از خاک رس ایرانی است این در حالی است که آنالیز شیمیایی این دو خاک مطابق جدول(۱) بسیار شبیه هم بوده و تنها تفاوت جزیی آنها در میزان اکسید تیتانیوم است که در خاک رس ایرانی میزان آن یک درصد بیشتر است. رنگ رس ایرانیLN در حالت خام سیاه بوده که علت آن را می‌توان به حضور مواد آلی نسبت داد و همانطوریکه در جدول(۲) نیز قید شده رنگ سیاه نمونه بعد از پخت به رنگ آجری تبدیل می‌شود. علت این تغییرات را می‌توان به حضور مواد آلی بویژه منابع کربنی و از بین رفتن آنها در حین حرارت دهی نسبت داد[۱۷].

تعیین پرت حرارتی یا همان L.O.I، یک راه تقریبی ولی ارزان قیمت برای تشخیص نوع و میزان مینرال‌های رسی هر ذخیره معدنی

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1394.11.1.4.3]

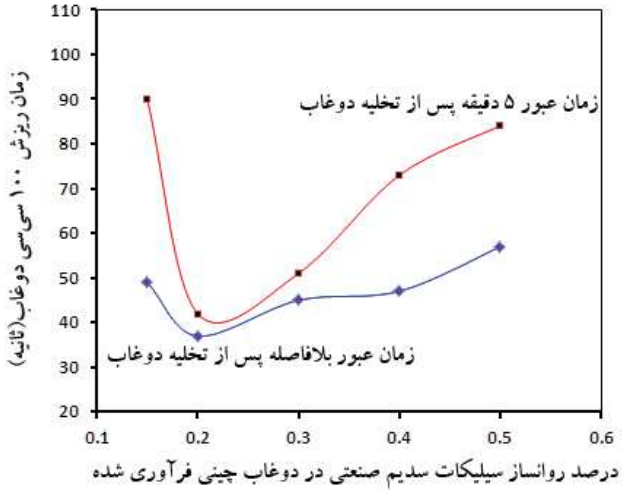
می‌باشد[۱۱]. خروج آب ساختاری کائولینت در آزمون پرت حرارتی، کاهش وزنی در حدود ۹۵/ درصد۱۳ ایجاد می‌کند و بنا بر مستندات موجود، هر ماده رسی که میزان پرت آن نزدیک به این عدد باشد از درجه خلوص بالایی برخوردار است مشروط بر آنکه سایر مواد ناخالص همراه رس در حین حرارت دهی تجزیه نشده یا کاهش وزنی از خود نشان ندهند و یا اینکه این مواد بصورت مواد آلی کربنی نباشند که در آزمون پرت حرارتی سوخته و از بین بروند[۱۷]. مقایسه پرت حرارتی هر دو نمونه در جدول(۲) و تغییر رنگ زیاد خاک رس ایرانی و مقایسه نتایج دیگر مثل فاکتور پلاستیسیته نشان می‌دهد که این ذخیره علاوه بر مینرال رسی از مواد آلی زیادی هم تشکیل شده که پس از حرارت دهی در دمای ۱۰۸۰درجه سانتیگراد کاهش وزنی در حدود ۱۱/۳۹ درصد ایجاد می‌کند.

بررسی خواص تکنولوژیکی رس ایرانیLN و مقایسه این خواص با بال‌کلی WBB فرآوری شده نشان می‌دهد که این معادن از مزایای نسبی قابل قبولی برای تولید فرآورده‌های سرامیکی برخوردار هستند که در ادامه این مطالعه به ارزیابی و تخمین مصرف این ذخیره در بدنه چینی بهداشتی پرداخته می‌شود. بدین‌منظور فرمولاسیون چینی پایه با سیلیکات سدیم صنعتی روانسازی شد که نتایج آن در شکل(۱) ارائه شده است. مطابق این شکل میزان درصد بهینه روانساز مصرفی در این بدنه برابر با ۰/۲ درصد است که در این حالت بیشترین روانی و کمترین تیکسوتروپی برای دوغاب بدست می‌آید. نمونه‌های ساخته شده با ۰/۱ درصد سیلیکات سدیم بعلت تیکسوتروپی شدید از محفظه ویسکوزیمتر ریزشی تخلیه نشدند.

یکی دیگر از پارامترهای مطرح در صنایع چینی بهداشتی استفاده از دوغابی است که وزن یک لیتر از آن برحسب گرم در محدوده مجاز ۱۷۵۰–۱۸۲۰gr/lit قرارگیرد[۱۴]. آنچه از افزودن مواد رسی ریزدانه بال‌کلی WBB و رس ایرانیLN در فرمولاسیون چینی پایه انتظار می‌رود این است که این مواد با برهم زدن توزیع اندازه ذرات و افزایش دادن تراکم دوغاب و با حفظ فاکتور روانی و ویسکوزیته، وزن لیتر دوغاب را تا حد قابل قبولی افزایش دهند.

جدول ۲–مشخصات تکنولوژیکی خاک رس ایرانی و بالکلی WBB

کد نمونه	رنگ بعد از پخت	رنگ بعد از خشک	رنگ خام	عدد پلاستیسیته	درصدآب کارپذیری	درصد انقباض			پرت حرارتی در دمای (۱۰۸۰ °C)
						کل	پخت	خشک	
بالکلی WBB	سفید	خاکستری روشن	خاکستری	۴۲/۹	۴۱/۶۵	۱۳/۲۲	۶/۲۲	۷	۱۰/۵
رس ایرانی LN	آجری	خاکستری تیره	سیاه	۳۱/۳۹	۳۰/۵۷	۷/۱۸	۲/۲۵	۴/۹۳	۱۱/۳۹



شکل ۱– روانسازی بدنه چینی پایه با سیلیکات سدیم

مطابق جدول۳، افزودن این مواد در محدوده ۱۰ الی ۱۵ درصد بجای کائولن زدلیتز موجب افزایش وزن لیتر دوغاب شده و با گذر از این محدوده میزان این پارامتر کاهش می‌یابد. در محدوده ۱۰ الی ۱۵ درصد، میزان مصرف رس ایرانی LN در فرمولاسیون دوغاب پایه بیشتر از بال‌کلی WBB است که علت این امر را می‌توان در درشت بودن اندازه ذرات آن بررسی کرد. همچنین نتایج ارائه شده در جدول(۳) نشان می‌دهد که خاک رس ایرانی را می‌توان حتی بمیزان ۲۰ درصد جایگزین کائولن کرد بدون اینکه تغییرات گسترده‌ای در میزان روانی و سیالیت دوغاب فرآوری شده ایجاد شود.

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1394.11.1.4.3]

جدول ۳- اثر افزودن خاک رس ایرانی LN و بال‌کلی WBB بر وزن لیتر دوغاب‌های ساخته شده

کد نمونه	B_{LN25}	B_{WB25}	B_{LN20}	B_{WB20}	B_{LN15}	B_{WB15}	B_{LN10}	B_{WB10}	B_0
وزن لیتر (گرم بر لیتر)	۱۷۴۰	۱۷۱۰	۱۷۹۵	۱۷۳۲	۱۸۱۵	۱۷۷۴	۱۸۵۰	۱۸۳۰	۱۷۴۵

زمان ریخته‌گری یکی از فاکتورهای بسیار مهم تولید چینی بهداشتی است که بر روی راندمان تولید و استفاده مجدد از قالب‌های ریخته‌گری تاثیر می‌گذارد. بهینه بودن این زمان در فرایند تولید هر بدنه‌ای ضروری می‌باشد. طولانی بودن این زمان باعث هدر رفتن وقت و کاهش سرعت تولید شده و حداقل بودن این زمان، کنترل شرایط تولید بدنه را مشکل می‌کند[۱۵]. جدول(۴) مدت زمان لازم برای رسیدن به بدنه‌ای با ضخامت ۵ میلیمتر برای بدنه‌های ساخته شده در این بررسی را نشان می‌دهد.

جدول ۴- اثر افزودن رس ایرانی LN و بال‌کلی WBB بر مدت زمان لازم برای ریخته‌گری بدنه‌ی با ضخامت ۵ میلیمتر

کد نمونه	B_{LN25}	B_{WB25}	B_{LN20}	B_{WB20}	B_{LN15}	B_{WB15}	B_{LN10}	B_{WB10}	B_0
مدت زمان ریخته‌گری (ثانیه)	۰	۱۷	۰	۴۹	۱۰	۶۲	۳۰	۲۵	۴۸

مطابق جدول ۴ افزودن رس ایرانیLN به فرمولاسیون بدنه چینی پایه، مدت زمان ریخته‌گری قطعات را کاهش می‌دهد و این زمان با افزودن ۱۵ درصد رس ایرانی به ۱۰ ثانیه می‌رسد و در درصدهای بالاتر از این محدوده بدلیل تیسکوتروپی شدید دوغاب، این زمان قابل اندازه‌گیری نیست. بررسی زمان ریخته‌گری بدنه‌های ساخته شده با مقادیر مختلف بال‌کلی WBB نشان می‌دهد که با افزودن این خاک به فرمولاسیون بدنه در ابتدا مدت زمان ریخته‌گری کاهش یافته و با افزایش رس به میزان ۱۵ درصد مدت زمان ریخته‌گری افزایش یافته و مجدداً با ادامه روند جایگزینی این زمان کاهش می‌یابد و در این حالت بدنه ساخته شده با ۲۵ درصد بال‌کلیWBB از کمترین زمان لازم برای تشکیل جداره برخوردار است. مقایسه زمان ریخته‌گری رس ایرانیLN با بال‌کلیWBB نشان می‌دهد که تا ۱۵درصد، مدت زمان تشکیل جداره رس ایرانی بیشتر از بال‌کلی WBB است که این موضوع را می‌توان به وزن لیتر بیشتر دوغاب آن و همچنین به درشت بودن اندازه ذرات این نمونه نسبت داد.

بزرگ و سنگین بودن بدنه چینی بهداشتی و احتمال چسبندن آن به قالب‌های ریخته‌گری باعث شده که رفتار جدایش نمونه‌های ساخته شده از قالب در صنعت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد. از این رو در نظر گرفتن این فاکتور در طراحی فرمولاسیون بدنه و استفاده از موادی که بتوانند به این پارامتر کمک کنند، ضروری بنظر می‌رسد[۱۶]. مطابق جدول(۵) با افزودن مواد رسی روند جدایش نمونه از قالب آسانتر می‌شود و این امر با توجه به افزایش درصد مواد پلاستیک و متعاقباً انقباض زیاد این ذرات در هنگام خشک شدن قابل توجیه است.

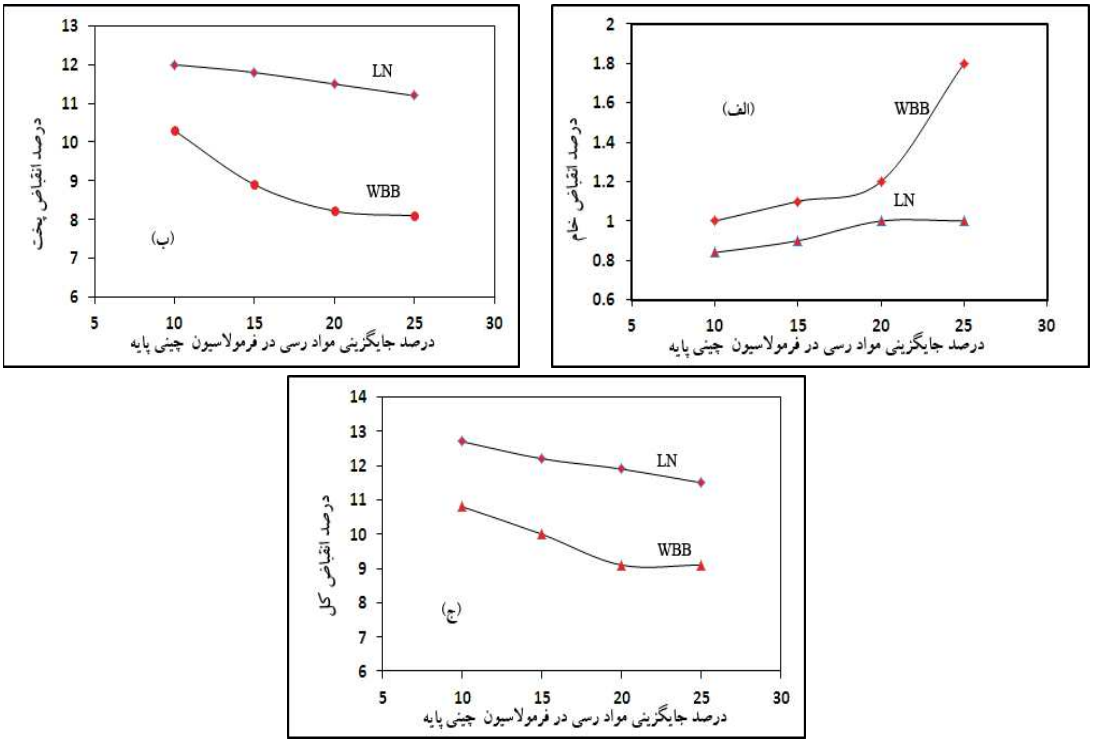
جدول ۵- اثر افزودن رس ایرانیLN و بال‌کلی WBB بر رفتار جدایش نمونه‌های ساخته شده از قالب

کد نمونه	B_{LN25}	B_{WB25}	B_{LN20}	B_{WB20}	B_{LN15}	B_{WB15}	B_{LN10}	B_{WB10}	B_0
رفتار جدایش نمونه از قالب	عالی	عالی	عالی	عالی	عالی	خوب	نسبتاً خوب	نسبتاً خوب	متوسط

مطابق شکل(۲) با افزودن خاک‌های LN و بال‌کلی WBB به بدنه چینی پایه، میزان درصد انقباض خام بدنه از مقدار ۰/۷ به مقادیر ۰/۸۴ و ۱ به ترتیب برای رس ایرانی و بال‌کلی WBB افزایش می‌یابد و این روند با افزایش مقادیر هریک از این رس‌ها در چینی پایه افزایش می‌یابد و همانگونه که از شکل(۲-الف) پیداست در کلیه مقادیر جایگزینی، بال‌کلیWBB انقباض خام بیشتری نسبت به رس ایرانی LN از خود نشان می‌دهد. این امر با توجه به خواص تکنولوژیکی بدست آمده و ریزدانه بودن بال‌کلیWBB طبیعی بنظر می‌رسد. درصد انقباض پخت بدنه چینی پایه در دمای زینترینگ ۱۲۳۰ برابر با ۱۲/۷ بوده که با جایگزینی مواد رسی از مقدار این انقباض کاسته می‌شود و این کاهش با توجه آنالیز شیمیایی خاک‌های ارائه شده در جدول(۱) منطقی بنظر نمی‌رسد. مطابق اشکال۲(ب) و (ج) با افزودن رس ایرانی LN و بال‌کلی WBB به چینی پایه، میزان انقباض پخت و کل قطعات ساخته شده کاهش می‌یابد و این کاهش در مورد رس ایرانی بیشتر صورت می‌گیرد. با بررسی آنالیز این دو خاک علت انقباض بیشتر نمونه‌های ساخته شده از رس ایرانی را می‌توان به حضور ترکیبات قلیایی موجود در آن نسبت داد.

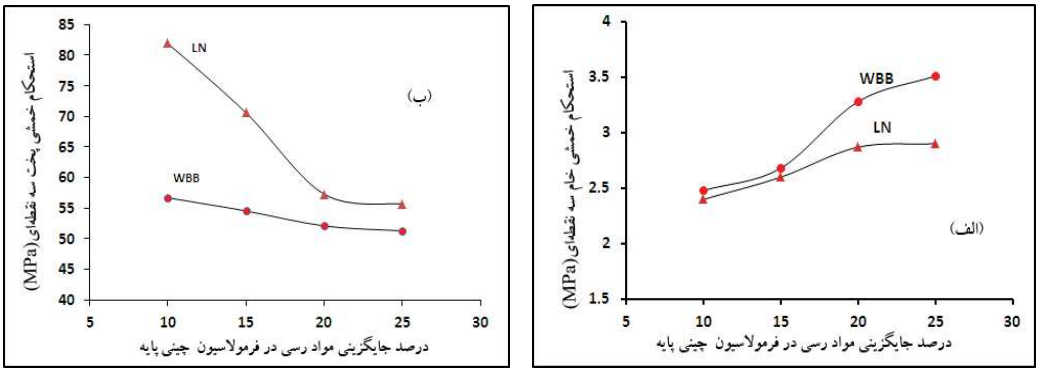
[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1394.11.1.4.3]



شکل ۲-اثر افزودن رس ایرانی LN و بال‌کلی WBB بر انقباض خشک (الف)، پخت (ب) و کل (ج) قطعات ساخته شده

استحکام بدنه چینی هم در حالت خام و هم در حالت پخت جزء فاکتورهای مهم ساخت چینی بهداشتی بشمار می‌آید که در حالت خام به نوع مینرال رسی، اندازه ذرات آن و میزان تراکم بدنه شکل یافته و در حالت خام به فازهای تشکیل شده در خلال پخت و میزان تخلخل بدنه وابسته است. پارامتر استحکام در حین تولید و جابجایی فرآورده‌ها و در استفاده و در نتیجه در کاهش هزینه تولید و کنترل میزان ضایعات عامل مهمی تلقی می‌شود. ترکیب مواد اولیه، نوع و میزان مینرال‌های تشکیل دهنده فرمولاسیون چینی و دانه بندی هریک از این مواد بویژه سیلیس بهمراه دما و زمان پخت می‌توانند بر استحکام نهایی محصولات تولیدی تاثیرگذار باشند. از این رو کنترل این پارامترها می‌تواند راه را برای ساخت چینی بهداشتی با استحکام خشک مجاز ۲MPa ± ۳/۵ و استحکام پخت مجاز ۲۰MPa ± ۸۰ هموار سازد[۸]. مطابق شکل(۳-الف) افزودن هر دو خاک رس به فرمولاسیون چینی پایه موجب افزایش استحکام خام بدنه تولیدی می‌گردد و در این حالت افزایش استحکام خام نمونه‌های ساخته شده از بال‌کلی WBB نسبت به رس ایرانی بیشتر است. علت این موضوع را می‌توان به ریزدانگی آن و زیاد بودن مینرال‌های رسی در این ذخیره نسبت داد. استحکام خام چینی‌های ساخته شده از هر دو منبع رسی در حد مجاز قرار دارند و استفاده از این رس‌ها در محدوده ۱۵ الی ۲۰ درصد در فرمولاسیون چینی پایه می‌تواند براحتی حد مجاز و تعریف شده برای استحکام بدنه چینی بهداشتی را پوشش دهد.



شکل ۳- اثر افزودن خاک رس ایرانی LN و بال‌کلی WBB بر استحکام خمشی خام (الف) و پخت (ب) بدنه چینی بهداشتی پایه

استحکام پخت چینی پایه در حدود ۷۰/۶۸ MPa بوده که با افزودن رس ایرانی تا حد۱۰ درصد وزنی به ۸۱/۹۳ MPa افزایش می‌یابد و همانطورکه شکل۳-ب نشان می‌دهد با افزایش میزان رس ایرانی و بال‌کلیWBB در چینی‌های ساخته شده استحکام کاهش

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1394.11.1.4.3]

می‌یابد. این نتایج با آنچه که آنالیزهای شیمیایی ارائه شده در جدول۱ نشان می‌دهند، مغایرت داشته و احتمالاً می‌توان عنوان کرد که افزایش مواد گدازآور و فلدسپاتها تا جاییکه میزان تخلخل بدنه را کاهش دهند می‌توانند منجر به افزایش استحکام بدنه شوند. بالاتر بودن استحکام پخت چینی‌های ساخته شده از خاک رس LN نسبت به WBB را می‌توان به بالاتر بودن میزان مواد قلیایی در این خاک نسبت داد که با ذوب شدن و تشکیل فاز شیشه بیشتر به پر کردن تخلخل‌ها و افزایش استحکام کمک می‌کنند.

۴- نتیجه‌گیری

ارزیابی خواص فیزیکی و شیمیایی کلیه قطعات ساخته شده از خاک رس ایرانی در حالت خام و پخته شده و مقایسه این نتایج با نمونه‌های ساخته شده از بالکلی WBB نشان می‌دهد که نوع و میزان مینرال‌های تشکیل‌دهنده یک ذخیره رسی و همچنین توزیع اندازه ذرات آن می‌تواند بر خواص تکنولوژیکی آن و در نتیجه بر کاربرد آن در صنایع مختلف سرامیکی بشدت تاثیرگذار باشد. کم بودن پلاستیسیته، انقباض و استحکام خام کلیه بدنه‌های ساخته شده از خاک رس ایرانی نشان از درشت دانه بودن اندازه ذرات آن، متفاوت بودن نوع و مقادیر مینرال‌های رسی تشکیل دهنده آن و یا کم بودن مینرال‌های رسی این ذخایر می‌دهد. حضور ناخالصی قلیایی در خاک رس ایرانی موجب افزایش استحکام و انقباض پخت کلیه بدنه‌های ساخته شده از آن می‌گردد. مقایسه رنگ فرآورده‌ها و ارزیابی خواص تکنولوژیکی دوغاب‌های تهیه شده از آن بهمراه نتایج ریخته‌گری بدنه‌های چینی بهداشتی نشان می‌دهد که این رس ایرانی را حداکثر تا ۱۵ درصد می‌توان جایگزین رس پلاستیک کرد و جایگزینی بیش از آن موجب لخته شدن دوغاب و برهم خوردن خواص مطلوب آن می‌گردد. بدنه‌های چینی بهداشتی ساخته شده با ۱۵-۱۰ درصد خاک رس ایرانی از لحاظ کیفیت ظاهری با قطعات ساخته شده با بالکلی WBB قابل مقایسه هستند.

مراجع

[1] Sudhir Sen," Ceramic Whiteware", Oxford & IBH Pulishing Co., New Delhi, 1992

[۲] دبلیو. ای. ورال، "مواد اولیه سرامیک"، رضا پور عزت، نشر حاذق، چاپ اول، اردیبهشت ۱۳۸۴

[۳] پایدار، حسین،" نگرشی بر مواد اولیه مصرفی در صنایع سرامیک"، اصفهان، انتشارات غزل، چاپ اول، ۱۳۸۴

[4] G. Stathis, A. Ekonomakou, C. J. Stournaras, C. Ftikos, "Effect of firing condition, filler grain size and quartz content on bending strength and physical properties of sanitary ware porcelain", 24 (2004) 2357-2366

[5] C. M. F. Viera, L. A. Pecanha Jr. S. N. Monteiro," Effect of kaolinitic clays from the state of rio de Janeiro in the composition of white ware floor tile bodies",ceramica 52(2006) 138-145

[6] Girard W. Phelips, "Reformulation of White ware Bodies", CERAMIC BULLETIN, Received July 21, 1975, revised copy received December 11, 1975.

[۷] رحیمی، افسون؛ متین، مهران،" تکنولوژی سرامیک های ظریف"، شرکت سهامی انتشار، ۱۳۸۲

[8] R. C. P. Cubbon and J. R. Till., "Preparation of Ceramic Bodies", Ceramic Monographs, Handbook of Ceramics, 1980 verlag schmid GmbH Freiburg i. Brg.

[9] J. S. Reed, "Principles of Ceramics Processing", John Wiley & Sons (publisher), 2nd Edition, 1995

[10] H. Vogel, Chemo, "Technical Stone Ware", Ceramic Monograph, Handbook of Ceramics, 1984

[۱۱] گرجستانی، سعید، "صنعت سرامیک"، انتشارات جاودان خرد، پخش انتشارات گوتنبرگ، چاپ اول، ۱۳۸۴

[۱۲] آر، دنیس؛ بروسنان، کلمنسون،" مقدمه‌ای بر خشک کردن سرامیک‌ها"، فقیهی ثانی، دکتر محمد علی؛ ذریه سیدی، مهندس سید مجید، انجمن سرامیک ایران، ۱۳۸۶

[۱۳] دکتر مسعود،"تسریع در روش ریخته‌گری بوسیله الکتروفوریس"، مجموعه مقالات اولین سمینار تحقیقاتی، خودکفایی صنعت سرامیک، ۱۳۷۰

[۱۴] قصاعی، حسین؛ شاهمیرانی، حسن؛ موسوی، مجید، "خواص فیزیکی ماده اولیه قازن داغی خام و شسته شده و بدنه‌های ساخته شده از آن"، مجموعه مقالات اولین کنگره سرامیک ایران، صفحه ۵۹-۳۷

[۱۵] جیو وانی، بی فی،" پرسلان نسل جدید سرامیک"، فیروز دوست محمدی، مریم صادقی پور، انتشارات پویش اندیشه، ۱۳۸۶

[۱۶] حافظی اردکانی، مسعود، "بررسی و ساخت بدنه‌های تک پخت"، پایان نامه کارشناسی، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مواد، آبان ۱۳۸۳

[17] Ryan, W and Radford, C, "Whitewares: Production, Testing and Quality Control", Pergamon Press, NY.1987

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1394.11.1.4.3]