



## کانی‌شناسی، خواص تکنولوژیکی و کاربردهای صنعتی ذخایر کائولن در مناطق نیوشت و کبودکمر، شمال باختر ساوه، استان مرکزی

شیرین فتاحی<sup>۱\*</sup>، علی اصغر کلاگری<sup>۱</sup>، علی عابدینی<sup>۲</sup>، سید حسن طباطبایی<sup>۳</sup>، مهین منصوری اصفهانی<sup>۳</sup>

۱- گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، کد پستی ۵۱۶۶۶

۲- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، کد پستی ۵۷۱۷۳

۳- دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، کد پستی ۸۴۵۶۸

(دریافت مقاله: ۹۵/۷/۲۲، نسخه نهایی: ۹۵/۱۰/۲۸)

**چکیده:** ذخایر کائولن نیوشت و کبود کمر، در فاصله ۲۵ کیلومتری شمال باختر ساوه، استان مرکزی واقع گردیده‌اند. مشاهدات صحرایی و بررسی‌های سنگ‌نگاری نشان می‌دهند که این ذخایر از نظر ژنتیکی محصول دگرسانی سنگ‌های آذرینی مثل آندزی-بازالت، تراکی‌آندزیت و توف آندزیتی به سن ائوسن بالایی هستند. در این پژوهش، خواص فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی ذخایر کائولن نیوشت و کبود کمر از نظر کاربردهای صنعتی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. بر اساس بررسی‌های کانی‌شناسی، کوارتز، کائولینیت، هالوزیت، موسکوویت-ایلیت، مونت‌موریلونیت، پیروفیلیت، پلاژیوکلاز، هماتیت، گوتیت، آاناتاز، آکرومانیت، آلونیت و یا ناتروآلونیت و تالک کانی‌های تشکیل دهنده این دو ذخیره هستند. بررسی‌های بیشتر در مناطق مورد بررسی نشان داد که خاک‌های رس کائولینیتی این دو گستره بیشتر دارای رنگ پخت در گستره طوسی تا سفید شیری هستند. بررسی پارامترهایی نظیر قدرت جذب آب، مقاومت خشک، انقباض پخت، بازده پائین دمایی و مقادیر اکسیدهای اصلی آشکار می‌کنند که کائولن‌های نیوشت و کبودکمر شرایط استاندارد مناسبی را برای استفاده در صنایع سرامیک (کف و دیواره) دارا بوده هر چند کاربرد آنها در سایر صنایع، نیاز به فرآوری بیشتر دارد.

**واژه‌های کلیدی:** کائولن، فلدسپار، دگرسانی، صنایع سرامیک، نیوشت، کبودکمر، ساوه.

### مقدمه

کانی‌ها شامل صنایع سرامیک، ظروف چینی، کاغذسازی و غیره هستند.

در شمال باختر شهرستان ساوه (استان مرکزی) پتانسیل-های بسیار خوبی از ذخایر کائولن وجود دارد. معادن کائولن نیوشت و کبود کمر از جمله این ذخایر هستند که هم اکنون در حال بهره‌برداری بوده و براساس بررسی‌های انجام شده به ترتیب دارای ذخیره‌ای بالغ بر ۰/۵۴ و ۰/۵۷ میلیون تن هستند. علیرغم بررسی‌های تفصیلی روی ذخایر کائولن و مصارف صنعتی آنها در نقاط مختلف دنیا [۳،۴] و به ویژه ایران

کائولن از نظر صنعتی به رس‌هایی گفته می‌شود که حاوی مقدار زیادی کانی کائولینیت و مقادیر کمتری کانی دیکیت، ناکریت، و هالوزیت است. حضور ناخالصی‌هایی همچون فلدسپار، میکا، و مونت‌موریلونیت، سبب ایجاد خصوصیات فیزیکی و شیمیایی متفاوت در ذخایر مختلف کائولن می‌شود. ویژگی‌های رس‌های مورد استفاده در صنعت سرامیک عبارتند از: پلاستیسیته (که سبب تسهیل شکل‌گیری بدنه می‌شوند)، شیمی، ترکیب کانیایی، ویژگی‌های گرمایی، دیرگدازی و مقاومت مکانیکی بعد از پخت [۱،۲]. صنایع مصرف کننده این

رنگ، چگالی و سختی انجام شده است. کلیه نمونه ها از عمق ۵ متری موجود در سینه کارها برداشت شده‌اند. شناسایی مشخصه‌های اصلی سنگ‌شناسی با تهیه و بررسی سنگ‌نگاری تعداد ۳ مقطع نازک از ماده معدنی و واحدهای درونگیر در دانشگاه اصفهان و انجام پراش پرتو ایکس (XRD) تعداد دو نمونه در آزمایشگاه کان پژوه تهران صورت گرفته است. همچنین، برای تعیین ترکیب شیمیایی نمونه‌های کائولن مورد بررسی، مبادرت به انجام آنالیز ۱۰ نمونه به روش XRF (برای تعیین مقادیر عناصر اصلی) در آزمایشگاه شرکت‌های زرآما و کان پژوه شده است. نتایج آنالیزهای شیمیایی در جدول (۱) به همراه طول و عرض جغرافیایی نمونه‌های مطالعاتی ارائه و با میزان استاندارد ایران، ECC [۱۲] و صنایع مختلف مقایسه شده است (جدول ۲).

[۵-۱۲]، تاکنون هیچ گونه بررسی علمی خاصی روی ذخایر کائولن نیوشت و کبود کمر (۲۵ کیلومتری شمال باختر ساوه، استان مرکزی) صورت نگرفته است. در این پژوهش، سعی شده است که اطلاعات نسبتاً جامعی از ویژگی‌های کانی‌شناسی، خواص فنی و مصارف صنعتی این دو ذخیره ارائه شود.

**روش بررسی**

بررسی سنگ‌های کائولینیتی ذخایر نیوشت و کبودکمر و واحدهای سنگی همراه در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده است. در بخش صحرایی، پیمایش‌هایی جهت بررسی تشکیلات زمین‌شناسی موجود، شکل ذخایر و نحوه ارتباط آن با سنگ‌های درونگیر و ویژگی‌های انواع کائولینیت و فلدسپارهای موجود صورت گرفته است. نمونه‌برداری از نمونه‌های کائولن بر اساس تغییرات در ویژگی‌های فیزیکی نظیر

جدول ۱ مقادیر عناصر اصلی در نمونه‌های مورد بررسی در شمال غرب ساوه به درصد وزنی (Wt%) = n.d. تعیین نشده.

Main name	Sample no	latitude	Longitude	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Total)	K <sub>2</sub> O	MnO	MgO	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	LOI
Nivasht	KN-111	۳۵° ۰۸' ۳۱"	۵۰° ۰۹' ۱۴"	۶۸٫۶۳	۱۸٫۶۴	۰٫۰۱	۰٫۹۳	۰٫۰۸	۰٫۸۷	۰٫۰۱	۰٫۲۱	۴٫۲۹	۰٫۱۸	۰٫۰۷	۰٫۸۲	۴٫۳۱
Nivasht	KN-112	۳۵° ۰۸' ۴۴"	۵۰° ۰۸' ۲۴"	۶۳٫۸۴	۱۹٫۵۲	nd	۰٫۵۱	۴٫۹۵	۱٫۳۴	nd	۰٫۲۷	۰٫۴۳	۰٫۲۱	۰٫۱۳	۱٫۲۶	۵٫۵۷
Nivasht	KN-132	۳۵° ۰۹' ۱۰"	۵۰° ۰۹' ۱۴"	۵۴٫۳۴	۳۱٫۹۰	۰٫۰۳	۰٫۸۹	۰٫۴۶	۲٫۶۷	nd	۰٫۱۷	۳٫۱۰	۰٫۰۳	nd	۱٫۲۷	۴٫۹۳
Nivasht	KN-133	۳۵° ۰۸' ۳۹"	۵۰° ۰۸' ۴۴"	۶۶٫۹۱	۲۳٫۱۲	۰٫۰۱	۰٫۲۸	۱٫۳۳	۰٫۹۲	nd	۰٫۱۵	۱٫۸۷	۰٫۱۰	۰٫۰۶	۰٫۱۴	۳٫۶۰
Nivasht	KN-151	۳۵° ۰۸' ۵۰"	۵۰° ۰۸' ۱۷"	۵۲٫۴۶	۲۷٫۵۹	۰٫۰۲	۰٫۳۶	۲٫۲۴	۰٫۵۰	۰٫۰۳	۰٫۷۶	۰٫۲۳	۰٫۱۳	۰٫۷۵	۱٫۰۴	۱۳٫۶۵
Kabud Kamar	KS-221	۳۵° ۲۴' ۳۵"	۴۹° ۵۷' ۱۲"	۷۰٫۸۳	۱۹٫۱۴	۰٫۰۲	۰٫۳۸	۰٫۵۷	۰٫۹۳	nd	۰٫۱۳	۰٫۶۳	۰٫۲۶	۰٫۹۱	۱٫۳۳	۵٫۵۲
Kabud Kamar	KS-222	۳۵° ۲۵' ۲۱"	۴۹° ۵۵' ۲۳"	۶۸٫۳۹	۲۰٫۲۲	nd	۱٫۹۱	۰٫۷۷	۱٫۲۱	nd	۰٫۳۴	۰٫۲۶	nd	۰٫۴۱	۱٫۳۴	۴٫۸۲
Nivasht	FN-141	۳۵° ۰۹' ۱۰"	۵۰° ۰۸' ۰۴"	۷۳٫۴۹	۱۵٫۸۸	nd	۰٫۳۹	۰٫۵۳	۲٫۵۴	nd	۰٫۵۹	۳٫۳۷	۰٫۱۱	۰٫۰۴	۰٫۵۲	۲٫۴۳
Nivasht	FN-142	۳۵° ۰۸' ۴۰"	۵۰° ۰۸' ۵۵"	۷۱٫۵۸	۱۶٫۷۸	۰٫۰۵	۰٫۲۹	nd	۳٫۲۸	۰٫۰۵	۰٫۳۸	۴٫۷۸	۰٫۰۷	nd	۰٫۵۳	۱٫۳۱
Nivasht	FN-161	۳۵° ۰۸' ۳۱"	۵۰° ۰۸' ۰۴"	۷۰٫۶۳	۱۵٫۱۲	nd	۲٫۶۰	۰٫۳۷	۱٫۲۲	nd	۰٫۱۲	۶٫۰۰	۰٫۰۷	nd	۰٫۵۷	۳٫۰۷

جدول ۲ استاندارد کائولن در ایران، جهان و صنایع مختلف [۱۲] و مقایسه آن با کائولینیت‌های مورد بررسی در شمال باختر ساوه.

اکسیدهای اصلی	استاندارد ایران	استاندارد جهانی ECC	شیشه	سرامیک-چینی	پرکننده	پوشش کاغذ	پلاستیک سازی	سرامیک کف و بدنه	کائولینیت مطالعاتی در شمال غرب ساوه
SiO <sub>2</sub>	۴۶٫۵۰	۴۷-۵۰	۷۰	۴۷٫۹۰	۴۷٫۲۰	۴۷٫۲۰	۵۲٫۳۰	۶۰-۶۸	۶۶٫۱۱
TiO <sub>2</sub>	≤۰٫۲	۰٫۰۷	۰٫۰۱	۰٫۰۳	۰٫۱۴	۰٫۰۴	۱٫۷۰-۱٫۹۰	≤۰٫۴	۰٫۸۸
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	≥۳۰	۳۴-۳۸	۱۹٫۴۰	۳۷٫۲	۳۷٫۴۰	۳۷٫۶۰	۴۴٫۶۰	≥۱۴	۲۰٫۵۹
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	≤۱	۰٫۳۹-۱	۰٫۰۷۵	۰٫۶۸	۰٫۹۶	۰٫۶۸	۰٫۵۰-۰٫۸۰	≤۱	۱٫۱۳
CaO	۰٫۲	۰٫۱-۰٫۲	۱٫۴۰	۰٫۰۸	۰٫۱۱	۰٫۰۸	۰٫۰۳	۱-۲	۰٫۸۵
MgO	۰٫۳	۰٫۲۲-۰٫۳	۰٫۰۲	۰٫۲۰	۰٫۱۸	۰٫۲۰	۰٫۰۴	۰٫۷۰-۱	۰٫۳۳
K <sub>2</sub> O	≤۲	۰٫۱۵-۴	۴	۱٫۳۹	۱٫۴۱	۱٫۳۹	۱-۲	۳-۴	۱٫۵۴
Na <sub>2</sub> O	≤۲	۰٫۱-۰٫۸	۶٫۹۰	۰٫۰۸	۰٫۰۷	۰٫۰۸	۰٫۱۰-۰٫۲۰	≤۰٫۵۰	۲٫۵۰
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	-	-	-	-	-	-	۰٫۱۰	۰٫۱۲
SO <sub>3</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	۰٫۲۶
LOI	≤۴	۳-۵٫۵	-	۱۲٫۷۰	۱۲٫۵۰	۱۲٫۷۰	-	۵-۷	۴٫۹۲

تا "۰۷، ۱۴، ۵۰° طول شرقی و "۳۵، ۰۳، ۳۵° تا "۵۹، ۳۵' عرض شمالی، در فاصله ۲۵ کیلومتری شمال باختر ساوه واقع است. این گستره بر اساس تقسیمات زمین‌ساختی ایران [۱۳]، بخشی از پهنه ایران مرکزی محسوب می‌شود (شکل ۱). گسل ساوه، مهمترین گسل موجود در نزدیکی ذخایر کائولینیتی نیوشت و کبود کمر است. بارزترین واحدهای سنگی این منطقه به ترتیب قدیم به جدید شامل ماسه‌سنگ‌های ژوراسیک، توف‌های آندزیتی-بازالتی (خاکستر تا لاپیلی توف) با میان لایه‌هایی از گدازه آندزیتی به سن ائوسن بالایی، گدازه-های آندزیتی-بازالتی و تراکی آندزیت همراه با میان لایه‌هایی از توف‌های آندزیتی به رنگ سبز تیره و قهوه‌ای حاوی کائولینیت به سن ائوسن بالایی، سنگ‌های آذرین درونی گرانیتی-گرانودیوریتی به همراه آهک، مارن، داسیت، آندزیت، بازالت و توف‌های داسیتی به سن الیگوسن و رسوبات آبرفتی عهد حاضر (کواترنر) هستند [۱۴] (شکل ۲).

بررسی خواص فنی کائولینیت‌ها در دانشگاه آزاد میبد انجام گردیده است. در این کار پژوهشی، نخست حدود ۲۰ کیلوگرم سنگ معدن کائولن نیوشت و کبود کمر به طور مجزا برداشت و پس از خرد کردن و آسیاب نمودن با دستگاه‌های سنگ‌شکن فکی، آسیاب سایشی و بال میل، با رعایت اصول نمونه‌برداری پودر شدند. سپس، بخشی از این نمونه‌ها با استفاده از پرس به صورت قالب‌های کوچکی در آمدند و ۸ عدد کاشی در ابعاد در حدود ۵cm در ۱۰cm تهیه گردید. همچنین جهت انجام بررسی‌های فنی، نمونه‌ها به میزان یک ساعت در دمای بیشینه ۱۱۷۳ درجه سانتی‌گراد پخته شدند. در این راستا، انقباض خشک، استحکام خشک، جذب آب، انقباض پخت، پرت گرمایی، رنگ بعد از پخت و ضریب انبساط گرمایی نمونه‌ها تعیین شدند که همگی در جدول ۳ ارائه شده‌اند.

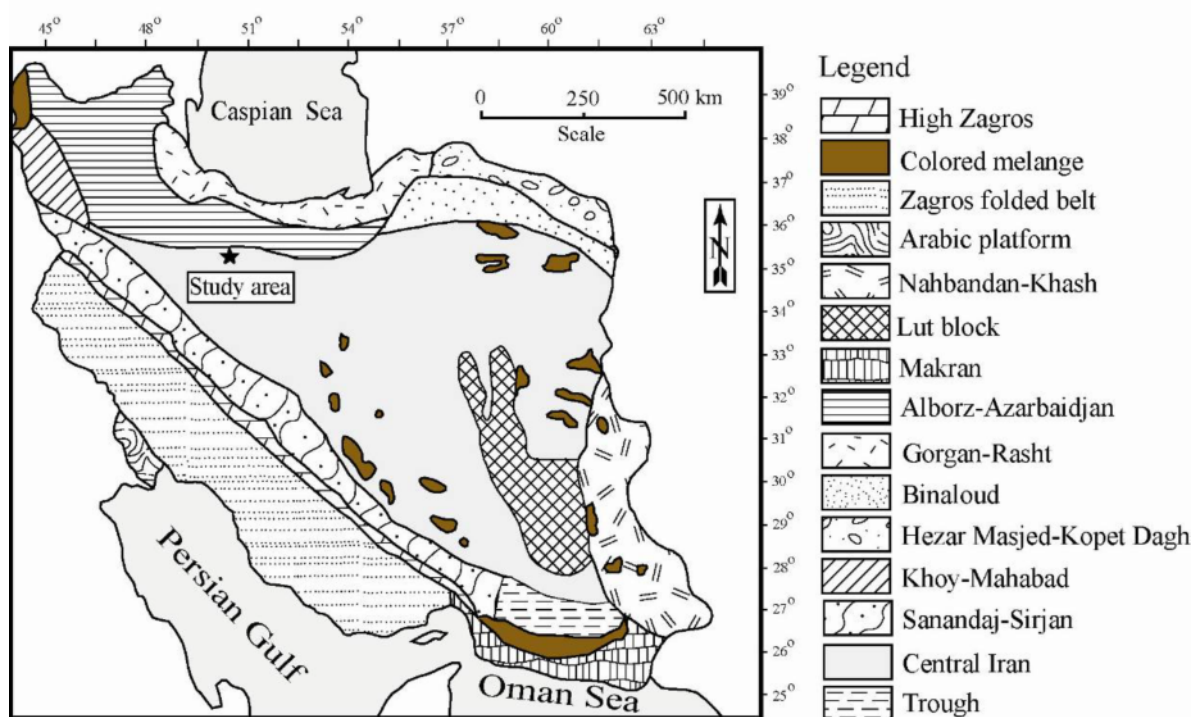
#### بحث و بررسی

#### زمین‌شناسی

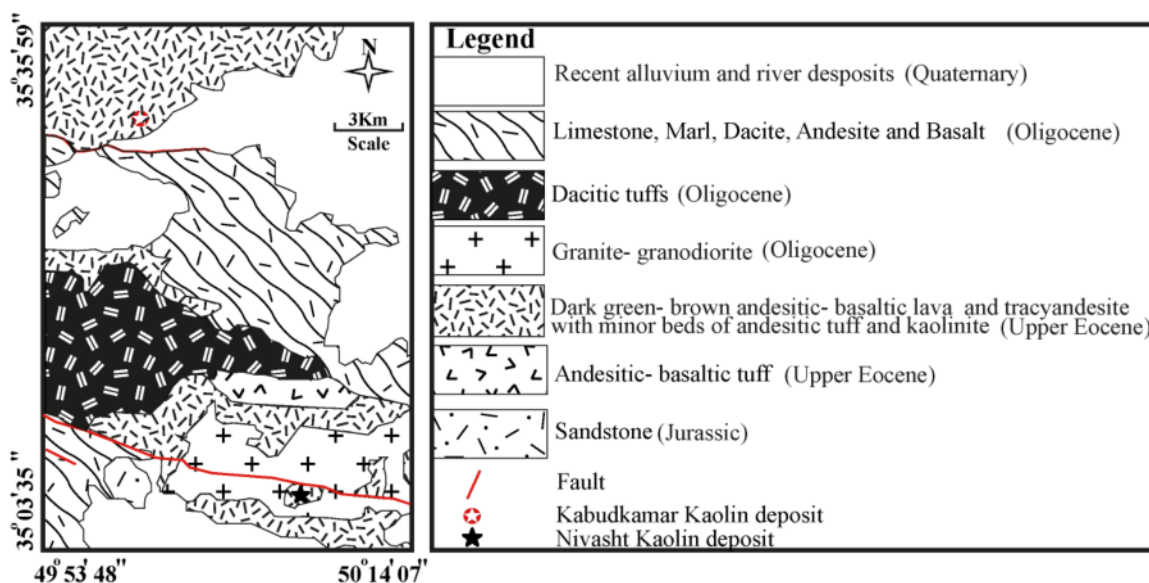
گستره مورد بررسی به مختصات جغرافیایی و "۴۸، ۵۳، ۴۹°

جدول ۳ خواص فنی نمونه‌های برداشت شده از گستره مورد بررسی.

Sample-No	ویسکوزیته دوغاب	استحکام خشک	زمان چرخش قست میل (دقیقه)	نوع و درصد روانساز	درصد آب برای تهیه دوغاب	ضریب انبساط گرمایی	تست اسید	رنگ بعد از پخت	رنگ قبل از پخت	سختی خاک	جذب آب	پرت گرمایی	انقباض خشک	انقباض پخت	استحکام پخت	رسیت هس ۲۲۰	دانسیته دوغاب	ویسکوزیته دوغاب	استحکام خشک
KN-111	۲۷	۲۵،۱۸	۱۳	۰،۲.TPP	۸۰٪	۷۳	واکنش طوسی ندارد	سفید شیری	نرم	۶،۴۰	۴،۵۰	۰،۶۵	۶،۰۰	۵۷۸،۷۱	۱،۲	۱،۶۲	۲۷	۲۵،۱۸	KN-111
KN-112	۱۹	۲۸،۱۶	۱۵	۰،۲.TPP	۸۰٪	۷۵-۷۶	واکنش قرمز ندارد	قرمز	نرم	۸،۰۰	۴،۸۰	۰،۴۱	۴،۸۰	۱۵۷،۱۷	۱،۲	۱،۵۳	۱۹	۲۸،۱۶	KN-112
KN-132	۴۵	۴۱،۹۲	۱۸	۰،۲.TPP	۸۰٪	۶۹-۷۰	کنش زرد آجری ندارد	زرد	نرم	۱،۹۰	۴،۰۰	۰،۳۵	۶،۵۰	۵۹۲،۵۰	۱،۲	۱،۶۴	۴۵	۴۱،۹۲	KN-132
KN-151	۴۰	۲۱،۴۸	۱۳	۰،۲.TPP	۸۰٪	۶۰-۶۱	واکنش تیره ندارد	تیره	نرم	۱۳،۱۰	۹،۰۰	۰،۶۲	۵،۶۰	۱۶۰،۹۹	۱،۲	۱،۲۵	۴۰	۲۱،۴۸	KN-151
KS-221	۱۶	۲۰،۲۵	۱۳	۰،۲.TPP	۸۰٪	۷۵-۷۶	واکنش تیره ندارد	تیره	نسبتاً سخت	۸،۳۰	۴،۶۰	۰،۶۷	۶،۵۰	۴۵۴،۲۲	۱،۲	۱،۵۳	۱۶	۲۰،۲۵	KS-221
KS-222	۴۵	۱۲،۷۰	۱۴	۰،۵.CMC	۸۰٪	۸۰-۸۴	واکنش سفید ندارد	سفید	نسبتاً سخت	۷،۵۲	۴،۶۰	-	۶،۶۴	۷۲۰،۵۰	۱،۲	۱،۶۰	۴۵	۱۲،۷۰	KS-222
FN-141	۲۱	۱۸،۰۲	۱۴	۰،۵.CMC	۸۰٪	۸۵-۸۶	واکنش تیره ندارد	تیره	سخت	۸،۶۰	۳،۰۰	۰،۳۰	۴،۰۰	۱۶۴،۴۱	۱،۲	۱،۶۰	۲۱	۱۸،۰۲	FN-141
FN-142	۶۰	۶۰،۵۰	۱۴	۰،۵.CMC	۶۰٪	۸۸	واکنش سفید ندارد	سفید شیری	نسبتاً سخت	۶،۴۷	۲،۷۰	۰،۳۰	۵،۹۲	۲۷۲،۲۰	۱،۲	۱،۵۸	۶۰	۶۰،۵۰	FN-142



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی پهنه ساختاری ایران [۱۳] و موقعیت منطقه مورد بررسی در آن.



شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه. برگرفته از [۱۴] با اندکی تغییرات.

فوقانی تکامل و گسترش یافته و در برخی از قسمت‌ها توسط آبرفت‌های کواترنری پوشیده شده‌اند (شکل ۳ پ). پیمایش‌های صحرائی نشان می‌دهند که گسترش پهنه‌های کائولینیتی در نیوشت و کبود کمر بیشتر بر روی چندین گسل منطبق می‌باشند. به نظر می‌رسد آبگون‌های دگرسان کننده در راستای

از نظر جایگاه زمین‌شناسی، ذخایر کائولن در محدوده مورد مطالعه که مشتمل بر دو رخنمون کلی هستند، به صورت توده- ای و عدسی شکل (شکل ۳ الف) و به رنگ‌های متنوع سفید (شکل ۳ ب و پ)، سفید شیری، طوسی کم رنگ، کرم و قرمز (شکل ۳ ت)، در توفها، آندزیت‌ها و تراکی آندزیت‌های ائوسن

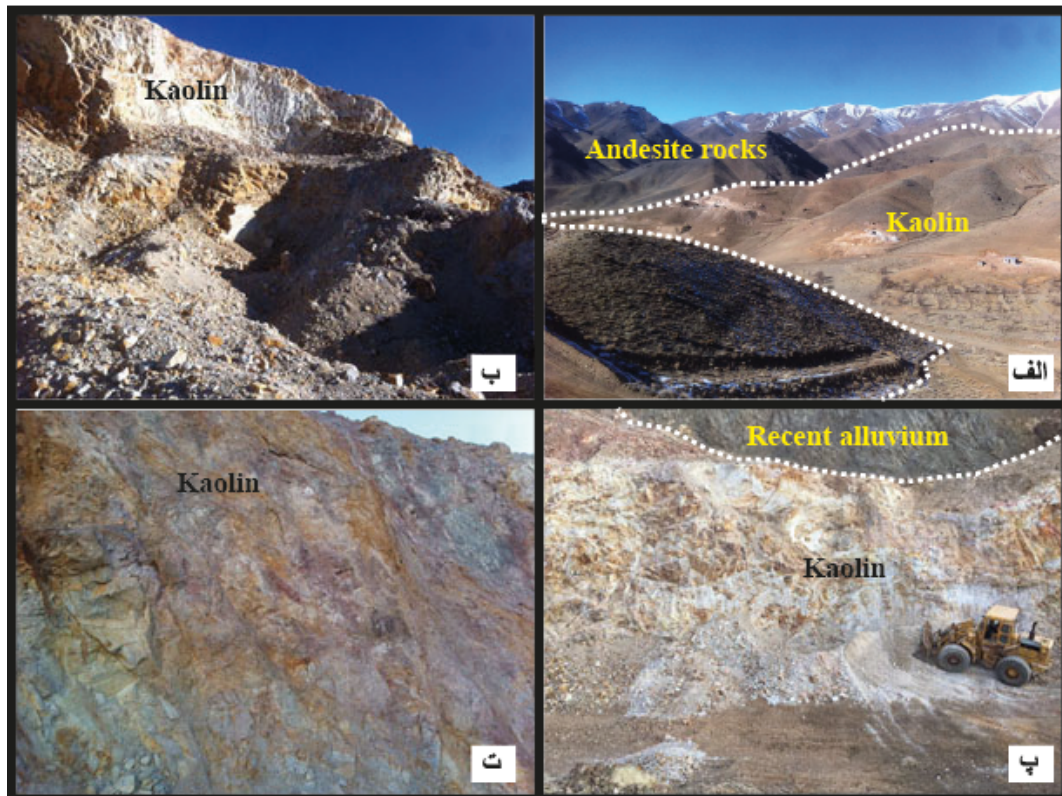
مهمترین خصوصیت فیزیکی محسوب می‌شود.

### بررسی‌های کانی‌شناسی

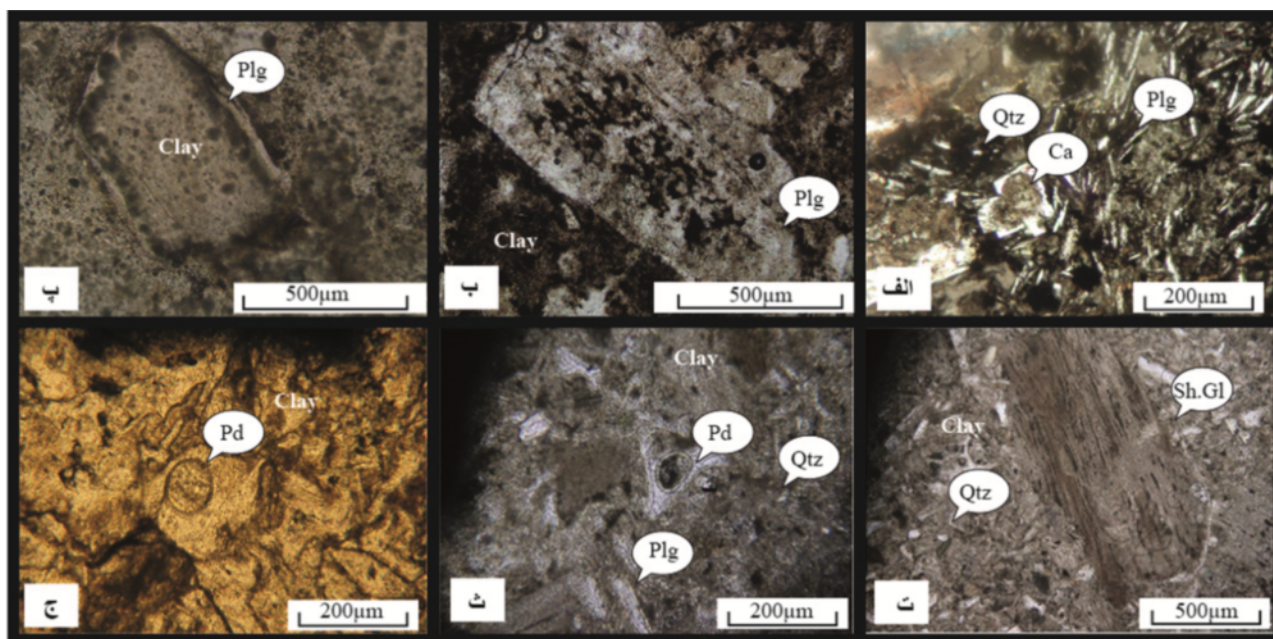
#### سنگ‌نگاری و کانی‌شناسی سنگ‌های آذرین و توف‌ها

بررسی‌های میکروسکوپی نشان می‌دهند که سنگ‌های آذرین موجود در منطقه ترکیبی در حد تراکی آندزیت دارند. در اینگونه سنگ‌ها، بلورهای پلاژیوکلاز به صورت فنوکریست‌های درشت و میکروولیت‌های کوچک در متن سنگ قابل مشاهده است که همراه با شیشه‌های آتشفشانی موجود در زمینه به طور گسترده به وسیله کانی‌های رسی جانشین شده‌اند (شکل ۴ الف). برخی از فنوکریست‌های درشت پلاژیوکلاز از مرکز توسط کلسیت جانشین شده‌اند. همچنین، بلورهای کوارتز به میزان اندک در زمینه سنگ دیده می‌شود (شکل ۴ الف). در برخی از مقاطع مورد بررسی، فنوکریست‌های پلاژیوکلاز دارای بافت غربالی بوده که به شدت دگرسان شده و در برخی از موارد پلاژیوکلازها ضمن حفظ قالب مستطیلی خود، به طور کامل به وسیله کانی‌های رسی جانشین شده‌اند (شکل ۴ ب و پ).

این گسل‌ها به توف‌ها، آندزیت‌ها، و تراکی آندزیت‌ها تزریق شده و موجبات تشکیل این دو ذخیره را فراهم کرده‌اند. کائولن‌های نزدیک به گسل‌ها نرم و حالت پودری دارند. این در حالی است که با فاصله از گسل‌ها، کائولن‌ها سخت و بلوکی شکل بوده و سطح شکست صدفی دارند. با توجه به مشاهدات صحرایی، شدت فرایند کائولینیتی شدن با فاصله گرفتن از گسل‌ها کاهش می‌یابد. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که سختی کائولینیت‌ها متغیر بوده و امکان تشخیص کانی‌ها در مقیاس مزوسکوپی، با توجه به ریز بودن کانی‌های تشکیل دهنده وجود ندارد. حضور رگچه‌های ژئیس، باریت، سیلیس و اکسیدهای آهن (به رنگ قرمز) در متن ماده معدنی از مهمترین ویژگی زمین‌شناسی این دو رخنمون معدنی محسوب می‌شود. بررسی‌های مزوسکوپی کائولینیت‌های مورد بررسی حکایت از بالا بودن محتوای سیلیس در برخی نمونه‌ها دارند. گوشه‌های تیز و سطح خشن از عوارض حضور سیلیس در نمونه‌های مورد بررسی هستند. در نمونه‌های کائولینیزه با محتوای سیلیس کمتر و آلومینای بیشتر، لمس صابونی



شکل ۳ الف) برونزدهای کائولن در درون سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی، ب) تصویری از سینه کاری موجود در معدن کائولن سفید رنگ نیوشت، پ) کائولن سفید رنگ که از بالا به وسیله آبرفت‌های کواترنری پوشیده شده است، و ت) کائولینیت‌های قرمز رنگ موجود در گستره مورد بررسی.



شکل ۴ الف) فنوکریست‌های پلاژیوکلاز که از مرکز توسط کلسیت جانشین شده‌اند به همراه کوارتز و میکرولیت‌های پلاژیوکلاز در زمینه سنگ که دارای بافت جریان‌یافته و کم و بیش به وسیله کانی‌های رسی جانشین شده‌اند (XPL)، ب) و پ) فنوکریست‌های پلاژیوکلاز دارای بافت غربالی که کاملاً توسط کانی‌های رسی جانشین شده‌اند (XPL)، ت) شیشه آتشفشانی به شکل خنجری که همراه با پلاژیوکلازها به کانی رسی تجزیه شده‌اند. همانگونه که ملاحظه می‌شود بلورهای کوارتز به صورت سالم باقی مانده‌اند (PPL)، ث) و ج) خرده‌های پامیس با حفره‌های کروی که همراه با پلاژیوکلازها به کانی‌های رسی تبدیل شده‌اند (PPL). علائم اختصاری به کار رفته عبارتند از: Plg = پلاژیوکلاز، Qtz = کوارتز، Pd = خرده پامیس، Sh.Gl = شیشه شارد Ca = کلسیت. علائم اختصاری کانی‌ها از کرتس [۱۵] اقتباس شده‌اند.

بررسی‌های بیشتر نشان می‌دهند که در طی دگرسانی، بافت اولیه توفها به طور کلی از بین رفته است و تنها در موارد معدودی می‌توان آثاری از لایه بندی اولیه سنگ مادر به صورت بافت شبیحی را در این سنگ‌ها مشاهده کرد.

#### بررسی تحلیل پراش پرتو ایکس (XRD)

نتایج تحلیل‌های پراش پرتو ایکس (XRD) نشان می‌دهند که کانی‌های سازای ذخایر کائولن در شمال باختر ساوه شامل کائولینیت، هالوویت، مونت موریلونیت، موسکویت- ایلیت، پیروفیلیت، آلونیت و یا ناتروآلونیت، هماتیت، گوتیت، پلاژیوکلاز، کوارتز، آاناتاز، آکرمانیت و تالک هستند (شکل ۵). نمودارهای پراش پرتو ایکس مربوط به دو نمونه در شکل ۵ الف و ب آورده شده‌اند. پیروفیلیت و کائولینیت منبع اصلی اکسید آلومینیوم در بدنه سرامیک‌ها هستند. افزایش میزان پیروفیلیت توانایی تشکیل مولیت در دمای پایین را افزایش داده و ساختار دانه‌ای و به هم پیوسته مولیت تا حد زیادی باعث افزایش مقاومت پخت در محصول نهایی خواهد شد. کانی ایلیت به عنوان ماده‌ای دیرگداز در بدنه سرامیکی محسوب می‌شود. ولی

توف‌های آتشفشانی نیز از دیگر واحدهای سنگ شناختی موجود در منطقه هستند. این سنگ‌ها به وضوح بافت‌های مربوط به سنگ‌های پیروکلاستیک را نشان می‌دهند. بررسی مقاطع میکروسکوپی نشان می‌دهند که توف‌های یاد شده ترکیبی در حد توف شیشه‌ای- بلورین دارند. به طوری که اغلب از خرده‌های کوارتز، فلدسپار، خرده‌های پامیس و شیشه آتشفشانی تشکیل شده‌اند (شکل ۴ ت، ث و ج). افزون بر این، اشکال فانتزی، خنجری و جناغی مهم‌ترین اشکال قابل تشخیص در شیشه‌های آتشفشانی هستند. شیشه‌های یاد شده ضمن حفظ قالب خود، به طور کامل و یا به طور بخشی به- وسیله کانی‌های رسی جانشین شده‌اند (شکل ۴ ث). در مقاطع مورد بررسی؛ پامیس‌ها اغلب به وسیله ساختار حفره‌ای خود قابل شناسایی هستند. آنها ضمن حفظ بافت حفره‌ای خود در بخش‌های شیشه‌ای به طور گسترده به وسیله کانی‌های رسی جانشین شده‌اند. حفره‌های موجود در پامیس‌ها اغلب کروی بوده و در تعدادی از نمونه‌ها به صورت بیضوی دیده می‌شوند (شکل ۴ ج). این امر نیز می‌تواند ناشی از فشار لایه‌های فوقانی و یا تأثیر فرایندهای زمین‌ساختی در منطقه باشد.

میزان اکسید تیتانیوم در اغلب نمونه‌ها اندکی بالا بوده که این امر سبب شده نمونه‌ها نسبت به مرحله قبل از پخت، کمی تیره‌تر شوند. همچنین در نمونه K-112 بالا بودن اکسیدهای آهن، سبب ایجاد رنگ قرمز بعد از پخت شده است (جدول ۳). میانگین اکسید آهن و اکسید تیتانیوم در نمونه‌های انتخابی به ترتیب ۱/۱۳٪ و ۰/۸۸ درصد وزنی است (جدول ۱). اکسیدهای آهن باعث ایجاد رنگ زرد تا قرمز، استحکام خمشی پایین و کاهش نقطه ذوب شده و اکسیدهای تیتان باعث تغییر رنگ، تغییر حجم و ایجاد ترک در فرآورده‌های سرامیکی می‌شود [۱۷].

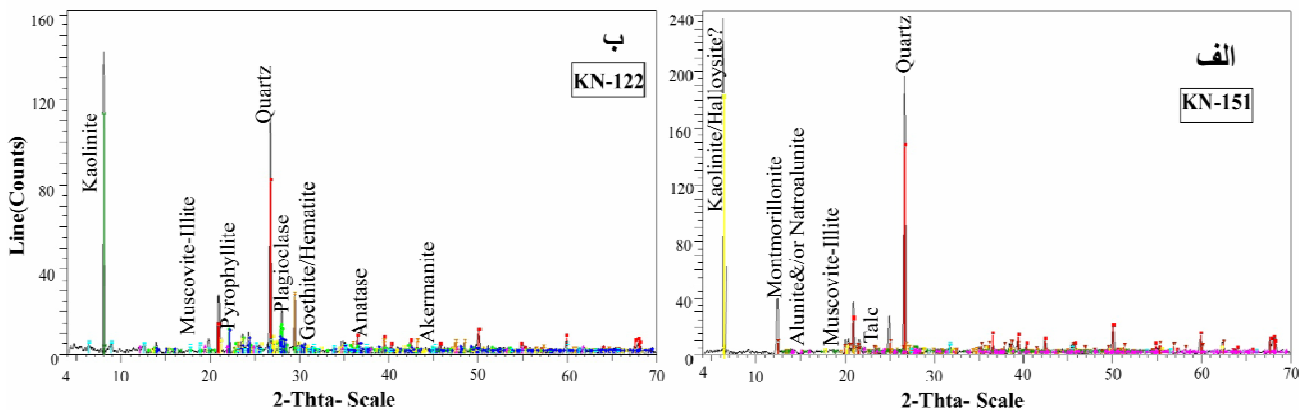
**انقباض پخت:** انقباض پخت کائولن در طول گرمادهی بستگی به ترکیب شیمیایی و مقدار آب موجود در آن دارد. این انقباض با افزایش دما بیشتر می‌شود. به طور کلی مواد قلیایی، مواد فرار و مونت‌موریلونیت باعث افزایش انقباض پخت و بالعکس کوارتز و فلدسپار موجب کاهش انقباض پخت می‌شوند. بالا بودن انقباض پخت، باعث ایجاد تخلخل در بدنه سرامیک و تغییر شکل آن می‌شود. در نمونه‌های مورد بررسی انقباض پخت بین ۶/۶۴-۴ بوده (جدول ۳) که این امر ناشی از حضور  $\text{Na}_2\text{O}$ ،  $\text{K}_2\text{O}$  و اسمکتیت‌ها در ماده معدنی است. افزایش اکسید سدیم باعث کاهش چسبندگی، افزایش گرانروی و تغییر شکل در فرآورده‌های سرامیکی می‌شود. بنابراین وجود بیش از حد آن جزء فاکتورهای مضر به شمار می‌رود [۱۸]. درصد بالای اکسید سدیم (۲/۴۷ در صد وزنی) در نمونه‌های مورد بررسی (جدول ۱)، موجب تغییر شکل فرآورده‌های سرامیکی می‌شود. بنابراین کاربرد آن را در ظرف‌های چینی خانگی و چینی بهداشتی محدود می‌کند.

این کانی مقداری آهن در شبکه خود دارد. این آهن در دمای پخت ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد به صورت هماتیت اکسیده می‌شود که سبب سرخ شدن بدنه سرامیکی می‌شود [۱۶]. حضور کوارتز در بدنه سرامیکی باعث تخلخل در آن شده و موجب می‌شود که در حین پخت با اکسیدهای بازی ترکیب شود و فاز شیشه‌ای به وجود آید. حضور فاز شیشه‌ای به عنوان پیوند دهنده باعث سخت و مقاوم شدن سرامیک می‌شود. آناز نیز بر شدت قدرت رنگزایی اکسیدهای فلزی به ویژه اکسید آهن می‌افزاید. حضور مونت‌موریلونیت در کائولن باعث افزایش میزان مومسانی و مقاومت خام آن شده ولی از طرف دیگر به دلیل وجود آهن در ساختار آن، بر روی رنگ پس از پخت تأثیر گذاشته و سبب می‌شود که طی فرآیند ساخت سرامیک، به مقدار بیشتری روان کننده نیاز باشد [۱۶].

#### بررسی خواص فیزیکی کائولن‌ها

خواص فیزیکی متفاوت کانی کائولینیت، آن را برای کاربردهای مختلف در صنایع گوناگون همچون سرامیک، لاستیک، نفت، کاغذ و شیشه مفید کرده است [۴]. نتایج به دست آمده از آزمون‌های سرامیکی مختلف را که با ویژگی‌های فیزیکی کائولینیت‌ها در ارتباطند، در جدول ۳ آورده شده‌اند. در ذیل نتایج برخی از آزمایش‌ها آورده شده است:

**رنگ پخت:** رنگ پخت در صنایع سرامیک بسیار مهم است. مهمترین عاملی که روی رنگ پخت سرامیک اثر می‌گذارد، ترکیب شیمیایی ماده معدنی و ناخالصی‌های همراه آن است. از این میان، اکسیدهای آهن، منگنز، تیتانیوم و مواد آلی موجود در نمونه‌ها به ترتیب سبب ایجاد رنگ‌های قرمز، صورتی، سیاه و خاکستری بعد از پخت می‌شود. در نمونه‌های مطالعاتی،



شکل ۵ نمودارهای پراش پرتو ایکس (XRD) در دو نمونه کائولینیت مورد بررسی (الف) نمونه KN-151 و (ب) نمونه KN-122.

می‌باشند (جدول ۱) که نسبت به حد ایده‌آل (۴۶/۵٪) بیشتر است.

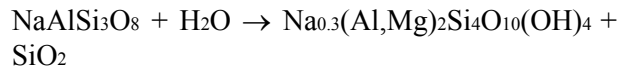
افزایش اکسید سیلیسیم از حد ایده‌آل، موجب افزایش خشنی، دیرگدازی، شفافیت، مقاومت خشک و تغییر شکل هنگام پخت، کاهش مومسانی و انقباض پخت محصول می‌شود [۲۰]. اکسید سیلیسیم می‌تواند در ساختار کانی‌های رسی، سیلیکاتی و یا به صورت کریستوبالیت در ماده معدنی باشد. میانگین  $Al_2O_3$  در نمونه‌ها ۲۰/۵۹ در صد وزنی است (جدول ۱). با افزایش اکسید آلومینیوم، مقدار MOR، مقاومت فیزیکی و شیمیایی محصول سرامیکی در برابر ضربه گرمایی، فشاری و کششی افزایش می‌یابد [۲۰]. اکسید آلومینیوم در ساختار کانی‌های رسی (کائولینیت و مونت‌موریلونیت) و فلدسپارها حضور دارد.

**پرت گرمایی:** برای اندازه‌گیری پرت گرمایی نمونه‌های با ابعاد کمتر از ۲۳۰ مش، به صورت قالب‌هایی با ضخامت کمتر از ۵ میلی‌متر درآمده و در دستگاه خشک‌کن خشک شدند. سپس نمونه‌ها وزن شده و در کوره در معرض گرما بین ۱۱۵۵-۱۱۷۳ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند (جدول ۳). پس از خروج از کوره، نمونه‌ها دوباره وزن شدند. با تقسیم مقدار کاهش وزن بر وزن اولیه میزان پرت گرمایی اندازه‌گیری شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که میزان پرت گرمایی همه نمونه‌ها پایین است که این امر می‌تواند به علت بالا بودن میزان کوارتز و عدم وجود مواد آلی در نمونه‌ها باشد.

**جذب آب:** به طور کلی حضور عناصر قلیایی در ماده معدنی نقطه ذوب را کاهش می‌دهد. این امر سبب پر شدن تخلخل بدنه سرامیکی حین پخت می‌گردد. بنابراین، درصد جذب آب در نمونه‌هایی با درصد بالای قلیایی‌ها کمتر است. بالعکس کوارتز باعث دیرگدازی نمونه‌ها شده و نقطه ذوب را بالا می‌برد. بنابراین درصد جذب آب با درصد بالای کوارتز افزایش می‌یابد. از سوی دیگر بالا بودن  $CaO$  و  $CaCO_3$  باعث افزایش تخلخل و افزایش جذب آب در نمونه‌ها می‌شود.

همانگونه که در جدول ۳ ملاحظه می‌گردد، میزان جذب آب در نمونه‌های منتخب بین ۱۳/۱۰-۱/۹۰ است. نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که نمونه K-132 دارای کمترین میزان سیلیس و بیشترین مقدار عناصر قلیایی بوده و به این سبب،

این میزان سدیم می‌تواند حاصل تجزیه فلدسپارهای سدیم دار (حاوی مؤلفه آلبیتی) در سنگ مادر (توف‌های بلورین، آندزیت‌ها و تراکی‌آندزیت‌ها) به صورت زیر باشد:



[۱۹] در واقع اکسید سدیم از دگرسانی فلدسپارهای سدیم دار آزاد شده و تشکیل مونت‌موریلونیت می‌دهد. میانگین اکسید پتاسیم در نمونه‌های مورد بررسی ۱/۵۵ درصدوزنی است (جدول ۱). اکسید پتاسیم گداز آور بوده و ماده‌ی مفید در بدنه‌های سرامیکی محسوب می‌شود. موسکویت- ایلیت از کانی‌های حاوی پتاسیم در گستره مورد بررسی هستند. همچنین میانگین درصد مواد فرار (LOI) در نمونه‌های مورد بررسی نسبتاً پایین (۴/۹۲ در صد وزنی) است. بالا بودن LOI سبب ایجاد تخلخل در فرآورده‌های سرامیکی می‌شود [۲۰].

**چسبندگی دوغاب:** برای تعیین چسبندگی، نمونه‌های پودر شده با ابعاد کمتر از ۲۳۰ مش را با میزان ۸۰٪ آب (به جز نمونه FN-142 با میزان ۶۰٪ آب) و روانسازهای TPP و CMC مخلوط کرده و میزان چسبندگی نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. نمونه‌های برداشت شده از ذخایر کائولن مورد بررسی دارای چسبندگی بین ۱۶ الی ۶۰ بوده (جدول ۳) که این امر می‌تواند به علت تغییر میزان کانی مونت‌موریلونیت در نمونه‌ها باشد. حضور مونت‌موریلونیت باعث افزایش استحکام خشک و پلاستیسیته می‌شود اما روانسازی دوغاب را دچار مشکل می‌کند.

**استحکام خشک:** بالا بودن میزان سیلیس در مواد اولیه سبب افزایش استحکام خشک نمونه‌ها می‌شود. در این آزمایش، نمونه‌های با اندازه‌های کمتر از ۲۳۰ مش به صورت قالبی با ضخامت ۵ میلی‌متر در آمده و نمونه‌ها را در دستگاه اندازه‌گیری مخصوص گذاشته و از بالا به نمونه‌ها فشار وارد گردید. تحت فشاری که در آن نمونه می‌شکند، استحکام خشک به دست می‌آید. به طور کلی نمونه‌های برداشتی دارای استحکام خشک متوسط تا بالا بوده‌اند (۶۰/۵۰ الی ۱۳/۷۰) (جدول ۳). اکسیدهای اصلی موجود در ماده معدنی بر کیفیت ماده معدنی خام و فرآورده‌های سرامیکی تولید شده از آن نقش دارد. با توجه به یافته‌های آنالیز XRF، نمونه‌های مورد بررسی در شمال باختر ساوه، دارای میانگین  $SiO_2$  ۶۶/۱۱ در صد وزنی



مصارف کاشی مناسب باشند.

#### برداشت

۱- ذخایر کائولینیتی مورد بررسی در شمال باختر ساوه (نیوشت و کبود کمر) از نظر ژنتیکی محصول دگرسانی سنگ-های آندزیتی-بازالتی، تراکی آندزیتی و توف آندزیتی به سن ائوسن بالایی هستند.

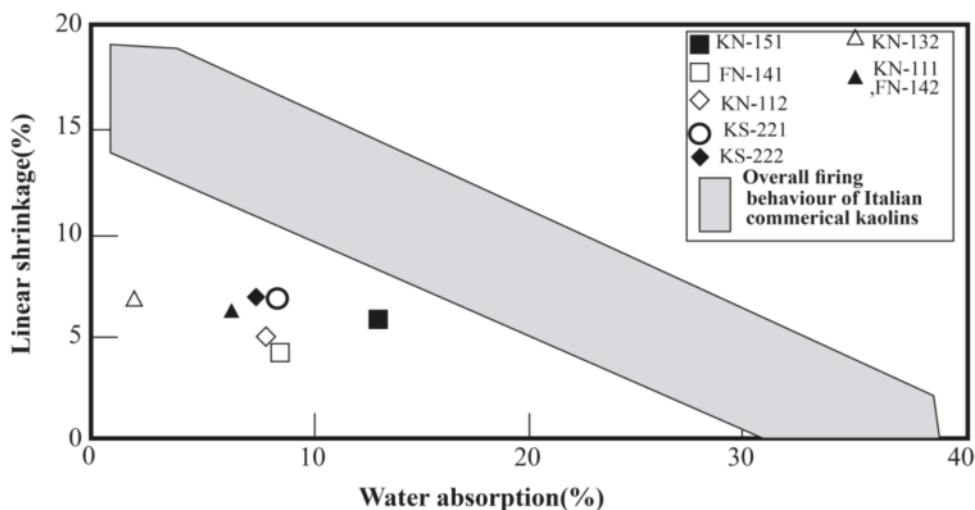
۲- کانی‌های کوارتز، کائولینیت، هالوویت، موسکویت-ایلیت، پیروفیلیت، پلاژیوکلاز، همتایت، گوتیت، آاناتاز، آکرمانیت، آلونیت و یا ناتروآلونیت، مونت‌موریلونیت و تالک، ترکیب کانی-شناسی ماده‌ی معدنی مورد بررسی را تشکیل می‌دهند.

۳- بررسی ترکیب شیمیایی کائولینیت‌های مورد بررسی در شمال باختر ساوه نشان می‌دهد که ماده معدنی دارای اکسید سیلیسیم بالا با میانگین ۶۶/۱۱ در صد وزنی و اکسید آلومینیوم پایین با میانگین ۲۰/۵۹ در صد وزنی است. بنابراین فرآورده‌های سرامیکی این گستره‌ی معدنی از زبری بالایی برخوردارند.

۴- ذخایر کائولینیتی مورد بررسی در شمال باختر ساوه به علت ترکیب شیمیایی خاص خود، کم بودن میزان اکسیدهای آهن، رنگ پخت سفید-شیری تا طوسی، انقباض پخت پایین تا متوسط، استحکام خشک متوسط تا بالا، پرت گرمایی پایین و جذب آب نسبتاً متوسط برای کاربرد در صنایع سرامیک کف و بدنه مناسب است.

دارای کمترین میزان جذب آب در میان نمونه‌های مورد بررسی بوده است. از سمت دیگر، بیشترین میزان جذب آب مربوط به نمونه K-151 با میزان آلومینیوم بالا و کمترین میزان عناصر قلیایی بوده است.

کائولینیت مرغوب و درجه ۱ بایستی دارای استانداردهای یاد شده در جدول ۲ باشد. با توجه به موارد یاد شده، ذخایر کائولینیتی نیوشت و کبود کمر از نوع درجه ۲ محسوب می‌شوند. همچنین، ویژگی‌های شیمیایی نمونه‌های کائولن مورد بررسی با صنایع مختلف مقایسه شده است (جدول ۲). همانگونه که ملاحظه می‌شود، این خاک صنعتی را می‌توان در صنایع سرامیک کف و بدنه استفاده کرد و برای استفاده در سایر صنایع نیز به فرآوری خواهد داشت. لازم به ذکر است که میزان جذب آب برای کاربردهای مختلف متفاوت است. به عنوان مثال میزان جذب آب در کاشی‌های بدنه بالای ۱۲٪ است. در صورتی که این مقدار برای کاشی‌های کف زیر ۶٪ و در کاشی‌های پرسلانی کمتر از ۰/۱٪ است. همچنین در شکل ۶ گستره‌ی انقباض و درصد جذب آب برای نمونه‌ی چینی باواریا در ایتالیا نشان داده شده است، میزان جذب آب بین ۱۲ تا ۲۱ و میزان انقباض بین ۶ تا ۱۰ است [۲۱]. همانگونه که ملاحظه می‌شود بین درصد جذب آب و میزان انقباض رابطه معکوس وجود دارد. برای نمونه‌های کائولینیتی مورد بررسی، پایین بودن میزان جذب آب و درصد انقباض به دلیل حضور فلدسپارها و ایلیت است که امر باعث می‌شود تا این کائولینیتها برای



شکل ۶ نمودار میزان درصد انقباض به میزان جذب آب نمونه‌های چینی باواریای ایتالیا [۲۰] به همراه نمونه‌های برداشتی از شمال باختر ساوه.

## قدردانی

نگارندگان از حمایت‌های مالی گروه صنعتی آریا برخوردار بوده‌اند، لذا شایسته است نهایت سپاس و قدردانی خود را ابراز دارند. نگارندگان همچنین از نظرات و پیشنهادات ارزنده و سازنده داوران محترم مجله سپاسگزاری می‌نمایند.

## مراجع

- [1] Burst J. F., "The application of clay minerals in ceramics", Appl. Clay Sci, 5 (1993) 421-443. "Cambodia, Economic and social commission for Asia and the Pacific", Atlas of Mineral Researches of the ESCAP Region, (1991)., vol. 10. United Nations Publication.
- [2] Baccour H., Medhioub M., Jamoussi F., Mhiri T., "Influence of firing temperature on the ceramic properties of Triassic clays from Tunisia, J. Mater", Process. Technol (2009) 2812-2817.
- [3] Abd El-Rahiem F. H., Hassan K.A., Selim M.S., Abdel-Khalek N.A., "Evaluation and Beneficiation of Syrian Kaolin for different industrial applications", (2008) 34- 41.
- [4] Agi Augustine Aja A., Jeffrey Randy G., "Physical Properties of Kaolin Used In Soap Production In Nigeria", The International Journal Of Engineering And Science (IJES) (2013) 10-15.
- [۵] اعتمادی ب.، ظریف‌نیا م.، "بررسی خواص فیزیکوشیمیایی و کانی‌شناسی کائولن معدن قازاندای تاجیکستان در تولید کاشی و انواع دیگر سرامیک‌های صنعتی"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال نوزدهم، شماره ۳، (۱۳۹۰) ص ۳۶۳-۳۷۰.
- [۶] ذبیحی ر.، ابراهیمی خ.، زرین کوب م.ح.، "بررسی‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی نهشته‌ی کانی خاک رس کائولینیتی شده‌ی شیخ‌آباد (جنوب غربی بیرجند) با نگرشی بر کاربردهای صنعتی آن"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال نوزدهم، شماره ۱، (۱۳۹۰) ص ۱۰۳-۱۱۲.
- [۷] ابراهیمی خ.، میرانوری ا.، همام م.، "کانی‌شناسی صنعتی کانسار کائولن یاسمینا با نگرشی بر آلتراسیون منطقه"، پانزدهمین همایش بلور شناسی و کانی شناسی ایران، (۱۳۸۶) ۳۹۷-۳۹۲.
- [۸] اعتمادی ب.، محمدزاده ا.، "خواص فیزیکوشیمیایی، کانی‌شناسی و سرامیکی کانسار رسی زیتون آباده فارس"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال بیست و سوم، شماره ۴، (۱۳۹۴) ص ۷۴۲-۷۳۷.

- [۹] خدای م.، کمالی شروذانی ا.، "بررسی خواص کانی شناسی و صنعتی ذخیره خاک رس معدن چاه شور ورزنه، جنوب شرق اصفهان"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال بیست و سوم، شماره ۴، (۱۳۹۳) ص ۶۹۹-۷۰۸.
- [۱۰] رضازاده س.، حسین‌زاده م.ر.، موید م.، "مطالعه دگرسانی، ترکیب کانی‌شناسی و خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک صنعتی یانیق (جنوب غرب هشتگرد) با هدف بررسی کاربردهای صنعتی آن"، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره یازدهم، (۱۳۹۳) ص ۵۷-۴۹.
- [۱۱] قدیمیان ع.ر.، خدای م.، "مطالعه ژئوشیمی کائولن گرگ باغی در قیاس با استاندارد جهانی ECC جهت مصارف صنعت کاشی و سرامیک"، دومین همایش صنایع معدنی، کرمان (۱۳۹۱).
- [۱۲] قدیمیان ع.، خدای م.، قهرمانی ا.، "بررسی خواص تکنولوژیکی کائولن گرگ باغی ساوه و نگرشی بر کاربرد صنعتی آن"، سومین همایش زمین‌شناسی فلات ایران، (۱۳۹۲) ص ۴۰۵-۳۹۶.
- [۱۳] نبوی م ح.، "دیباچه ای بر زمین شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۵۵) ص ۱۰۵.
- [۱۴] سربی ع.، احد نژاد و.، "نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ استان مرکزی"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۰).
- [15] Kretz R., "Symbols for rock-forming minerals", American Mineralogists 68, (1983) 277-279.
- [16] Singer F., "Industrial ceramics", Chapman and Hilltod London (1967) 14-31.
- [17] Benea M., Gorea M., "Mineralogy and Technological properties of some kaolin types used in ceramic industry", New York (2004) pp:255.
- [18] Deer Howie Z., "An Introduction to rock forming minerals", Longman, (1983) pp: 528.
- [۱۹] کریم‌پور م.ح.، سعادت س.، "زمین شناسی اقتصادی کاربردی"، چاپ دوم، انتشارات ارسلان، (۱۳۸۴) ۵۳۶ ص.
- [۲۰] رحیمی ا.، متین م.، "تکنولوژی سرامیک‌های ظریف"، شرکت صنایع خاک چینی ایران، (۱۳۶۸) ۵۷۴ ص.
- [21] Kolli M., "Elaboration and characterization of a refractory based on Algerian kaolin", Ceramics International 33, (2007) 1435-1443.