

بررسی ویژگی های زمین شناسی مهندسی سازندهای شیلی و مارنی استان فارس برای تولید مصالح سبکدانه و ارزیابی اولیه از مصالح سبکدانه تولیدی

محمد کاظم امیری^{۱*}، محمدرضا نیکودل^۲، محمود یزدانی^۳، ناصر حافظی مقدس^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس

۲. استادیار دانشکده علوم پایه، گروه زمین شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

۳. دانشیار دانشکده عمران و محیط زیست، گروه خاک و پی، دانشگاه تربیت مدرس

۴. دانشیار دانشکده علوم پایه، گروه زمین شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

mk.amiri@modares.ac.ir

چکیده

روشهای تولید و کاربرد مصالح در گذشته، بر اساس فن آوری و امکانات موجود آن زمان شکل گرفته است. اما با توجه به تغییر الگوهای ساخت و ساز و فناوری آن، تداوم این امر به هیچ عنوان قابل توجه نیست. با وجود اینکه ایران بر روی نوار زلزله هیمالیا - آلپ (آلپاید) واقع شده است و سبک سازی ساختمان ها باعث کاهش نیروی وارد بر آنها و در نتیجه کاهش خسارات و تلفات مالی و جانی می شود. آمار قابل توجه تلفات جانی در زلزله های اخیر توجه به رویکرد سبک سازی را ضروری می سازد. با توجه به فروان بودن سازندهای شیلی در زونهای مختلف ساختاری ایران و از طرف دیگر ارزشمند بودن منابع خاک رس مورد نیاز برای تولید مصالح سبکدانه از لحاظ زیست محیطی و کشاورزی، شیلها جایگزین مناسبی برای تولید این مصالح اند. با توجه به تنوع در ترکیب شیلها در مقاله سعی شد براساس مطالعات میکروسکوپی و آنالیزهای شیمیایی و نمودار ریلی شیلهای مناسب، دارای خصوصیت منبسط شونده، محیط رسوبی، برخی خصوصیات زمین شناسی مهندسی آنها و ویژگی های اولیه مصالح سبک تولیدی مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به مطالعات صورت گرفته از بین شیلهای مورد مطالعه شیلهای سیلیسی که فرآیند شیمیایی در رسوب آنها دخیل بوده و مربوط به محیطهای رسوبی عمیق و اکسیدان بوده مناسب تشخیص داده شد. نمونه های حرارت داده شده ویژگی - های مکانیکی نسبتاً خوبی نسبت به سایر سبکدانه های تولیدی در ایران دارند.

کلید واژه: شیل، مصالح سبکدانه، حرارت دهی، مطالعات میکروسکوپی، آنالیز شیمیایی

۱- مقدمه

با توجه به نیاز گسترده و روز افزون جامعه به عملیات عمران و آبادانی، استفاده از روش ها و مصالح جدید اهمیت بیشتری دارد. یکی از این مصالح جدید سبکدانه های مصنوعی می باشد. سبکدانه ها را می توان به دو دسته سبکدانه های طبیعی مانند اسکوریا (سنگ پا)، پومیس و پرلیت و سبکدانه های مصنوعی مانند لیکا، لیاپور و یونولیت تقسیم کرد. به دلیل محدودیت منابع و ذخایر مربوط به سبکدانه های طبیعی در دنیا، لزوم تولید یکنواخت و انبوه صنعتی سبکدانه ها به منظور کاربردهای مختلف و ساخت مصالح براساس این نوع سبکدانه ها به عنوان یک ضرورت در صنعت مطرح گردیده است. مجموعه ای از ویژگی های قابل توجه مانند وزن کم، هدایت حرارتی پایین، افت صوت مناسب، مقاومت در برابر آتش، دوام و پایداری شیمیایی و نظایر آن سبب گسترش کاربردهای متنوع سبکدانه های مصنوعی نسبت به سبکدانه های طبیعی در صنعت ساختمان، طرح های عمرانی، کشاورزی، محیط زیست، راه سازی، صنایع نفت، ریخته گری و ... شده است. (جدول ۱) مهمترین مزیت این مصالح مربوط به چگالی کم آنها و ترکیبات تولید شده از آنها است. به طوری که از آنها می توان برای خاکریزهای سبک،

مصالح پرکننده^۱ پشت دیواره‌های حائل و تونل‌ها، مصالح زهکش، بتن سبک، قطعات پیش ساخته و غیره استفاده نمود که با توجه به وزن کم آن‌ها، باعث کاهش نیروهای جانبی، نشست و تغییر مکان در سازه‌ها می‌شود (تهرانی ۱۳۷۷، *Wisconsin Energy Corporation, ESCSI 2011*).

جدول ۱- مقایسه سبکدانه‌های صنعتی و پوک‌های معدنی

پوک‌های معدنی	سبکدانه‌های صنعتی
پوک‌های چون بوسیله فرآیندهای طبیعی ایجاد می‌شوند وزن فضایی آنها در محدوده ۷۰۰ تا ۱۱۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب است.	وزن فضایی سبکدانه‌ها با کنترل حرارت قابل کنترل است و می‌توان برای استفاده‌های خاص مثل شیب‌بندی از دانه‌های سبکتر استفاده کرد.
پوک‌های معدنی به دلیل عدم فرآوری ممکن است دارای مواد معدنی واکنش-پذیر باشند که به تدریج باعث پوسیدگی تاسیسات ساختمان‌ها می‌شوند.	pH سبکدانه‌ها تقریباً خنثی بوده و هیچگونه آسیبی به تاسیسات عبور داده شده از لایه آن‌ها وارد نمی‌کند. همچنین باعث هیچ نوع خوردگی و پوسیدگی سایر اجزا نمی‌شود.
پوک‌های معدنی دارای میزان جذب آب بیشتر نسبت به سبکدانه‌های صنعتی می‌باشند. جذب رطوبت بیشتر باعث کاهش مقاومت حرارتی لایه عایق می‌شود، این مشکل بخصوص در اقلیم‌های مرطوب اثرگذاری بیشتری دارد.	جذب آب آن‌ها از پوک‌های معدنی کمتر است.
پوک‌های معدنی دارای ضریب انتقال حرارتی بالاتری می‌باشند.	ضریب انتقال حرارتی سبکدانه‌های صنعتی از پوک‌های معدنی کمتر است.
پوک‌های معدنی و عایق‌های پلی‌استایرین غالباً در اثر فشار مکانیکی دائم فشرده می‌شوند و باعث از بین رفتن خصوصیات عایقی آنها می‌شود.	درمقابل فشار مکانیکی دائمی فشرده نمی‌شوند و نسبت درصد هوای موجود ثابت می‌ماند.

در عصر صنعتی شدن و همزمان با توسعه فناوری، کاربرد سبکدانه‌ها در کشورهای مختلف خصوصاً در کشورهای پیشرفته گسترش قابل توجهی یافته است. به نحوی که در بعضی از کشورها مصرف سرانه سبکدانه‌ها به حدود ۲۰۰ لیتر در سال می‌رسد؛ در حالی که در کشور ما در حد بسیار کم و در حدود ۲ لیتر در سال است. (شکرچی زاده و همکاران ۱۳۸۷). در دنیا مصالح مختلفی از جمله پرلیت، ورمیکولیت، رس، اسلیت، شیل و غیره برای تولید سبکدانه‌های مصنوعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در حالی که در کشور ما سبکدانه رسی یا لیکا و لیاپور در حال حاضر تنها نوع سبکدانه‌های مصنوعی تولیدی می‌باشد. این سبکدانه، از رس انبساط‌پذیر به روش فرآیند تر در داخل کوره گردان افقی تولید می‌شود. چنان که از مخلوط کردن رس و آب و سایر افزودنی‌ها، گل ایجاد می‌شود و این گل از دریچه بالای کوره گردان وارد آن می‌شود. قطعات کوچک گل در طی حرکت درون کوره پس از خشک شدن در ناحیه پخت که دمای آن در حدود ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد است، منبسط می‌شوند (Chandra and Bemtsson, 2002). این در حالی است که منابع رس مناسب برای تولید سبکدانه در کشور فراوان نیست و مقدار زیادی از منابع رس موجود خاک‌های کشاورزی را شامل می‌شوند. با توجه به فراوان بودن و گستردگی شیل‌ها

¹ backfill

در زون‌های ساختاری مختلف ایران، در این تحقیق ترکیب شیمیایی شیل‌ها و مارن‌های استان فارس و ویژگی‌های مصالح سبکدانه تولیدی از آن مورد بررسی قرار گرفت.

۲- پیشینه تحقیق

استفاده از سبکدانه‌های طبیعی به سال‌های دور برمی‌گردد. اما استفاده از سبکدانه‌های مصنوعی از اواخر قرن ۱۹ آغاز شده است (Clark, 1993). کوکتال در سال ۱۸۸۰ در آلمان، تکه‌های رس متخلخل را با استفاده از تبخیر سریع آب رس تولید کرد (Chandra and berntsson, 2002). از اوایل قرن بیستم مطالعات بر روی انبساط شیلها و رسها شروع شد (Jacson, 1903) اولین تئوری را برای توضیح انبساط و پف کرده‌گی^۱ رس‌ها و شیل‌ها ارائه کرد او معتقد بود که وجود اکسید آهن در رسها و شیلها برای انبساط در اثر حرارت دادن لازم است چون در ضمن تجزیه اکسید آهن اکسیژن خارج شده و باعث حفره دار شدن شیل و رس می‌شود. (Riley, 1951) با استفاده از تعداد آنالیزهای شیمیایی زیادی بر روی رس‌های منبسط شونده و غیر منبسط شونده موفق به تعیین محدوده‌ای به نام محدوده انبساط در یک نمودار مثلثی شد. سه راس اصلی این مثلث شامل SiO_2 ، Al_2O_3 و راس سوم شامل مجموعه‌ای از اکسیدهای گداز آو راست محدوده ترکیب شیمیایی ماده اولیه برای تولید مصالح سبکدانه که ریلی پیشنهاد کرد در نمودار مثلثی تعریف می‌شود. (شکل ۴). مواد اولیه‌ای که در محدوده مشخص شده قرار می‌گیرند دارای خاصیت منبسط شونده‌گی است.

مواد اولیه برای اینکه دارای خاصیت انبساط مناسب‌اند باید دو شرط زیر داشته باشند:

۱. دارای موادی باشند تا در دمای بالا مقداری گاز آزاد کنند.
 ۲. مواد اولیه در دمای بالا یک فاز مایع با ویسکوزیته بالا تولید کن تا بتواند گازهای آزاد شده را به دام ببندد.
- طبق مطالعات صورت گرفته به طور کلی گازهایی که از مواد سست شده بوسیله حرارت آزاد می‌شود و باعث انبساط شیلها و رسها می‌شوند شامل موارد زیر است:

- بخار آب آزاد شده از تبخیر مولکول‌های آب بین لایه‌ای یا بین بلوری کانیهای رسی و یا سایر سیلیکاتها
- CO و CO_2 آزاد شده از مواد آلی
- CO_2 آزاد شده از گسستگی کربناتها
- CO_2 و O_2 تشکیل شده از کاهش ترکیبات آهن
- SOX آزاد شده از اکسیداسیون سولفیدها
- F و Cl آزاد شده از کانیهای رسی

۳- نمونه برداری و زمین‌شناسی عمومی منطقه:

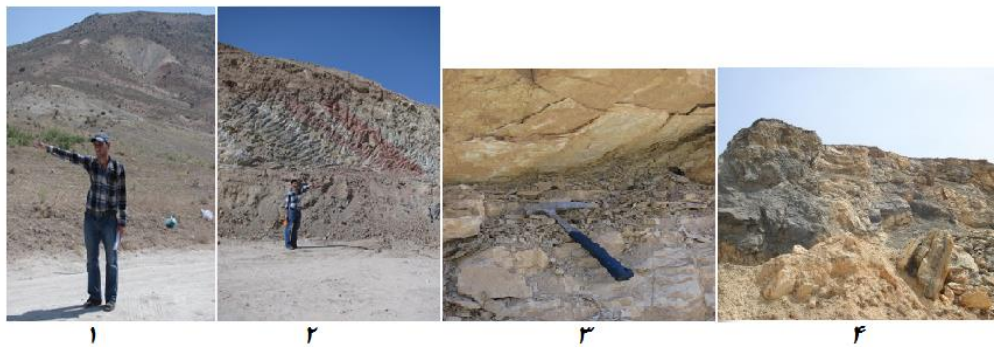
منطقه مورد مطالعه شامل برونزدهای سازندهای شیلی پاپده و گورپی در استان فارس (شهرستان شیراز، شهرستان سپیدان و شهرستان ممسنی) می‌باشد.

¹ Bloating



شکل ۱- محدوده مطالعاتی

در اغلب مناطق زاگرس تشخیص و تفکیک سازند گورپی از سازند پابده بسیار مشکل و بوسیله مطالعات میکروفسیل قابل تشخیص می باشد، بر این اساس در این قسمت دو سازند پابده و گورپی تحت نام یک سازند بررسی می شود. سن آن را از سانتونین تا پالتوسن قلمداد کرده اند. سازند پابده نیز از شیل و سنگ آهک رسی خاکستری به صورت دو بخش به نام شیل های ارغوانی و دیگری شیل های سیلتی و ماسه ای قرمز تا خاکستری و آهک نازک لایه تشکیل شده است سازند پابده با دگرشیبی فرسایشی روی سازند گورپی قرار گرفته است و تنها بخش، شیل ارغوانی قاعده سازند گورپی را می توان از سازند گورپی جدا کرد. از نظر سن رخساره های پالتوسن-ائوسن و الیگومیوسن را در بر می گیرد. لیتولوژی سازند سازند رازک از مارن های سیلتی قرمز مایل به سبز تا خاکستری و آهک های سیلتی تشکیل شده است. و سازند میشان شامل ۷۱۰ متر مارن خاکستری و آهک های رسی سرشار از پوسته و صدف سنگواره ها است.



شکل ۲-نمایی از رخنمونهای مورد مطالعه (۱.شیل های ارغوانی سازند پابده، ۲. مارن رازک، ۳. شیل گورپی، ۴. مارن میشان)

به منظور انجام مطالعات شیمیایی، کانی، شناختی و آزمایش های اولیه مکانیک خاک، نمونه بردای از شیل های مورد نظر به روش روزنه ای و شبکه بندی سیستماتیک انجام شد (استاندارد شماره ۱۱۶۲ ایران). به این ترتیب که ابتدا ۹ نقطه بر روی گوشه های مربع هایی به طول ۱/۵ متر انتخاب و روی هر یک از این نقاط روزنه ای به عمق ۳۰ سانتی متر ایجاد شد. سپس نمونه هایی به وزن ۲ کیلوگرم از هر روزنه برداشت شد سپس خردایش بر روی نمونه ها انجام شد و کلیه نمونه های برداشتی با هم مخلوط شد و نمونه مرکب بدست آمد. از نمونه کل به روش چهار بخش کردن، نمونه نهایی به دست آمد، نمونه حاصل بوسیله آسیاب پودر شد و سپس از الک ۲۰۰ عبور داده شد.

۴- نتایج

۴-۱- آزمایش XRD و XRF

برای تعیین ترکیب شیمیایی (درصد اکسیدها) از آزمایش XRF استفاده شد و نوع کانی‌های موجود در نمونه به کمک آزمایش XRD تعیین شد. (جدول ۲ و جدول ۳)

جدول ۲- نتایج XRF

نام نمونه اکسید	شیل بکت	شیل نورآباد	شیل سپیدان	شیل بووان	شیل برشنه	مارن رازک	مارن میشان
L.O.I.	۷/۲	۱۴/۴۵	۳۶/۵	۳۵	۳۴/۳	۱۷/۶۳۰	۲۲/۹۸۰
Na ₂ O	۱/۰۴۴	۰/۲۴۵	-	-	-	۰/۷۳۵	۰/۳۵۵
MgO	۱/۹۱۲	۸/۷۷	۰/۵۸۸	-	-	۵/۶۷۴	۶/۲۶۸
Al ₂ O ₃	۱۷/۷۸۵	۱۰/۵۱۱	۴/۲۴۱	-	-	۱۱/۳۲۳	۹/۳۴۸
SiO ₂	۵۹/۰۴	۴۵/۴۴۹	۱۱/۹۸۷	۶/۳۲۴	۹/۱۹۴	۳۹/۶۳	۳۳/۱۴۲
P ₂ O ₅	۰/۱۵	۰/۱۱۴	۰/۱۰۵	-	-	۰/۱۶۹	۰/۱۳۹
SO ₃	۰	۱/۵۴۵	۰/۴۷۳	-	-	۰/۱۵۵	۰/۲۶۴
CaO	۲/۲۲۶	۷/۵۹۸	۴۳/۶۳۴	۵۶/۹۲۱	۶۷/۲۱۹	۱۷/۴۹۹	۲۱/۳۴۹
K ₂ O	۳/۲۱۵	۰/۹۹۵	۰/۶۳۵	-	-	۱/۹۴۵	۱/۷۳۲
TiO ₂	۰/۸۵۳	۰/۸۳۴	۰/۲۱۳	-	-	۰/۷۲۷	۰/۵۰۷
Fe ₂ O ₃	۶/۵۵۱	۹/۱۸۳	۱/۵۸۱	۱/۶۸۲	۲/۵۹۳	۴/۴۰۷	۳/۷۸۵
Ni+Sr+Zr	کمتر از یک درصد	کمتر از یک درصد	کمتر از یک درصد	کمتر از یک درصد	کمتر از یک درصد	کمتر از یک درصد	کمتر از یک درصد

جدول ۳- کانیهای موجود در نمونه‌ها بر اساس آزمایش XRD

نام نمونه	کانی‌های موجود در نمونه بر اساس فروانی
شیل بکت	کوارتز، ورمیکولیت، آلیت، کلسیت، دولومیت، ژیس
شیل نورآباد	کوارتز، آلبت، کلینوکلر، کلسیت، مسکوویت
شیل سپیدان	کلسیت، کوارتز، ساپونیت، گرینیلیت
شیل بووان	کلسیت، کوارتز، گرینیلیت، ساپونیت
شیل برشنه	کلسیت، کوارتز، گرینیلیت، ساپونیت

مارن رازک	کوارتز، کلسیت، دولومیت، کلینوکلر، مسکوویت، آلپیت
مارن میشان	کوارتز، دولومیت، کلسیت، آلپیت، مسکوویت، کلینوکلر

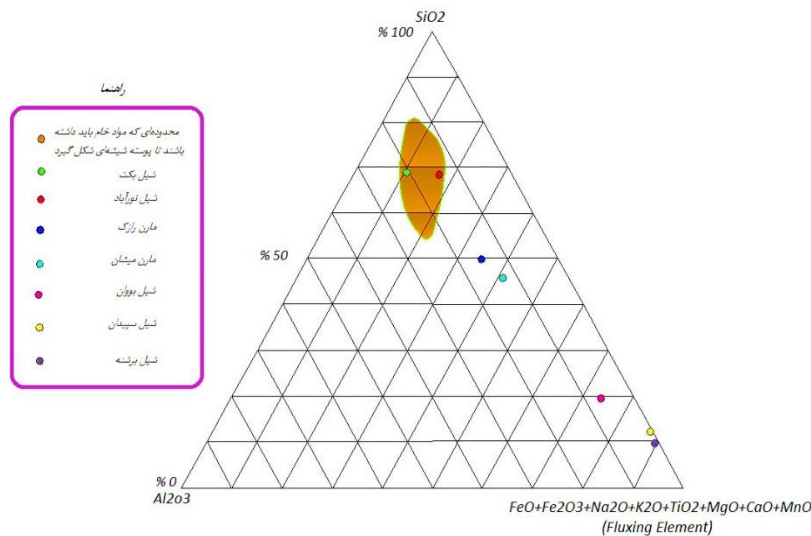
۲-۴- مقاطع نازک میکروسکوپی

برای مطالعه محیط رسوبگذاری و شناسی برخی از کانیهای موجود در نمونه‌ها از هر نمونه مقطع نازک تهیه شد و مورد مطالعه قرار گرفت جدول ۴ دو نمونه‌ای از مقاطع نازک تهیه شده است.

جدول ۴- نتایج مطالعه مقاطع میکروسکوپی

نام نمونه	عکس مقطع و توصیف	نام نمونه	عکس مقطع و توصیف
شیل بکت	 جز شیلهای سیلیسی دارای گلوکونیت و مربوط به محیطهای عمیق دریایی و اکسیدان است	شیل نورآباد	 جز شیلهای سیلیسی دارای فسیلهای محیط عمیق دریایی

سپس به کمک نرم افزار *minpet* محل قرارگیری ترکیب شیمیایی تمام نمونه‌ها در نمودار مثلثی *Riley* موقعیت‌یابی شد در شکل زیر آورده شده است.



شکل ۳- محل قرارگیری نمونه‌ها در نمودار ریلی

باتوجه با محل قرارگیری نمونه‌ها در نمودار ریلی و مطالعه مقاطع میکروسکوپی و حرارت دهی اولیه شیل‌های سیلیسی دارای کانیهای رسی که شامل شیل بکت و شیل نورآباد بودند. و با توجه به آزمایش حدود آتربرگ انجام گرفته بر روی نمونه‌ها شیل‌های بکت و نورآباد و مارن رازک شاخص خمیری مناسبی نشان دادند که به دلیل میزان کانیهای رسی بیشتری می باشد که در ترکیب آنهاست. (جدول ۵).

جدول ۵- حدود آتربرگ نمونه‌ها

نام نمونه	حد روانی	حد خمیری	شاخص خمیری
شیل بکت	۳۹	۲۸	۱۱
شیل نورآباد	۳۵	۲۶	۹
شیل سپیدان	۲۹	۲۴	۵
شیل بووان	۲۱	۱۷	۴
شیل برشنه	۲۲	۱۸	۵
مارن رازک	۲۸	۲۰	۸
مارن میشان	۲۹	۲۳	۵

۵-۲- فرآیند تولید سبکدانه از نمونه‌ها

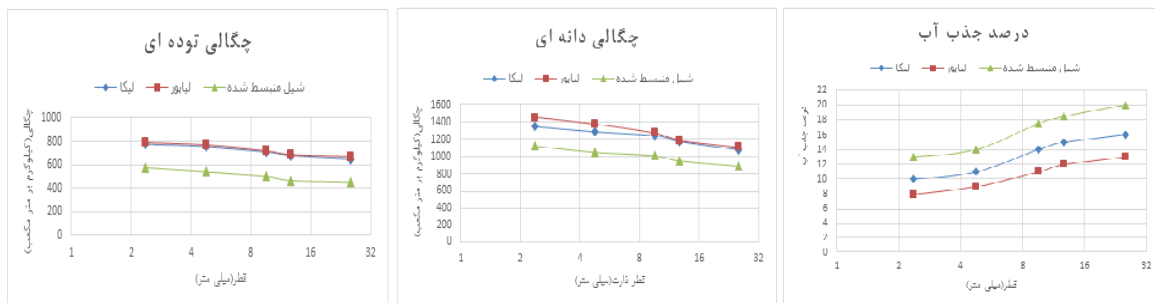
برای تولید سبکدانه‌هایی با اندازه (قطر) مناسب ابتدا خردایش صورت گرفت. خردایش در مقیاس آزمایشگاهی بوسیله سنک‌شکن فکی^۱ انجام گرفت. سپس با توجه به مطالعات صورت گرفته و داشتن یک ایده اولیه از دمای مورد نیاز دمای کوره، ابتدا بر روی ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد و بعد از ۵ دقیقه حرارت‌دهی وضعیت نمونه‌ها بررسی گردید و با توجه به تکرار حرارت‌دهی دمای مناسب برای تولید مصالح سبکدانه‌ها بدست آمد. شیل بکت در دمای ۱۱۵۵ درجه سانتی‌گراد و شیل نورآباد در دمای ۱۱۸۵ درجه سانتی‌گراد دچار منبسط شوندگی شد. مارن رازک در دمای ۱۱۶۰ مقدار اندکی منبسط شوندگی نشان داد ولی با توجه بالا بودن درصد کربنات کلسیم بالای آن و اندک بودن کانیهای رسی در ترکیب آن از مقاومت و منبسط‌شوندگی مناسب برای تولید مصالح سبکدانه مناسب برخوردار نبود. و با بررسی‌های انجام شده از بین شیل بکت و شیل نورآباد شیل بکت مناسبتر تشخیص داده شد چون شیل نورآباد میزان کمتری کانیهای رسی و میزان بیشتری کانیهای کربناته نسبت به شیل بکت داشت و در هنگام حرارت دهی حالت انفجاری داشت و از طرف دیگر نیاز به دمای بالاتری نسبت به شیل بکت برای رسیدن به مرحله منبسط شوندگی داشت. بر همین اساس و با توجه به در دسترس نبودن کوره مناسب شیل بکت برای حرارت‌دهی انتخاب شد.

¹ Jaw crusher



شکل ۴- الف) دمای مناسب برای شیل بکت ب) نمونه منبسط شده شیل نورآباد ج) نمونه منبسط شده شیل بکت د) نمونه منبسط شده مارن رازک ه) حالت انفجاری شیل نورآباد

ویژگی های مصالح حرارت داده شده از شیل بکت، لیکا و لیاپور در جدول ۶ آورده شده است:



شکل ۵- درصد جذب آب، چگالی دانه ای، چگالی توده ای

جدول ۶- سایر ویژگی های مصالح

نام نمونه	درصد تخلخل	ارزش ضربه ای	ارزش فشاری	pH پودر نمونه
شیل منبسط شده	۲۸	۳۵	۵۷	۷/۱
لیکا سازه ای	۲۴	۳۱	۵۴	۷/۲
لیاپور سازه ای	۲۰	۲۸	۴۹	۶/۹

۵- نتیجه گیری

تولید مصالح سبک در کشور ما محدود است و شرکت لیکای ساوه و اخیراً شرکت عمران پارس کرمان تنها تولیدکننده های مصالح سبک می باشند که این شرکت ها مصالح سبکدانه را از کلوخه سازی و افزودن ماده های افزودنی به خمیر رسی و سپس حرارت دادن تولید می شوند این در حالی است که منابع رس مناسب برای تولید مصالح سبکدانه اندک است و اکثر منابع رس موجود، خاکهای مرغوب کشاورزی را تشکیل می دهند. با توجه به فراوانی شیل در زونهای مختلف ساختاری ایران استفاده از شیل برای تولید مصالح سبکدانه می تواند جایگزین مناسبی بجای خاک رس برای تولید مصالح سبک باشد.

در این تحقیق شیلها نسبت به مارن ها برای تولید مصالح سبک مناسب تر تشخیص داده شدند و در بین شیل های به دلیل تنوعی که در ترکیب شیمیایی آنها وجود دارد، شیل های سیلیسی که ترکیب شیمیایی آن در محدوده منبسط شونده گی در نمودار ریلی قرار می گیرد و داری مقادیر بالایی کانی رسی و شاخص خمیری بالایی می باشد برای تولید مصالح سبک مناسب ترند. که با

توجه به مطالعات میکروسکوپی، از لحاظ حوضه رسوبی این شیلها در حوضه‌های رسوبی عمیق به شکل گرفته‌اند. با توجه به اینکه کار بر روی تولید مصالح سبکدانه از شیل برای اولین بار در ایران شروع شده است، در آینده این کار نیازمند گسترش و بهبود مصالح است. ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی مصالح حرارت داده شده نزدیک به مصالح سبکدانه تولید شده در ایران است.

تشکر و قدردانی:

در پایان بر خود می‌دارم از همکاری شرکت زمین فیزیک پویا خراسان و گروه بهداشت محیط دانشگاه تربیت مدرس بابت در اختیار گذاشتن امکانات برای انجام تحقیقات، صمیمانه قدردانی کنم.

منابع:

- تهرانی، ف، ۱۳۷۷، راهنمای جامع لیکا: دانه‌های رس منبسط شده و فرآورده‌های آن. شرکت لیکا، تهران.
- شکرچی زاده، م؛ امدادی، ا؛ لیبیر، ن. ع؛ ۱۳۸۷. بتن سبکدانه، فناوری و کاربردها. موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
- Abdullah A. Sabtan , 2005, *Geotechnical properties of expansive clay shale in Tabuk, Saudi Arabia* , *Journal of Asian Earth Sciences* 25 ,page747–757
- Chandra,S., Berntsson,L., 2002.*Lightweight Aggregate Concrete, Science, Technology and Applications. First ed. Noyes Puplications, New York*
- Clarke, J.L.,1993. *Structural Lightweight Aggregate, First ed. Blackie Academic , Professional, Londen.*
- ESCSI, 2011 . *Expanded Shale, Clay and Slate Inistitute.Document 7600, available at www.escsi.org.*
- Riley, C.M., *Relation of chemical properties to the bloating of clays,Minnesota Geological Survey, Summary Report No. 5, Minnesota,1951: 121–28.*
- Ozguven, A., Gunduz L., February 2012 .*Examination of effective parameters for the production of expanded clay aggregate, Cement & Concrete Composites* 34,page 781-787 , 28
- UNE-EN 1097-6. *Test for mechanical and physical properties of aggregates,Part 6: determenation of particle density and water absorption; 2000.*
- Abdul, W, Ajeel, A, Wasan, A. and. Joodi,S,2011,. *Bloating Characteristic Of Low Grade Ca-Montmorillonite Claystone and The Effective Of Some Additive, Iraqi Bulletin of Geology and Mining, Vol.7, No.2*