

## بررسی ویژگی های سنگ های آهکی به عنوان مصالح سنگدانه های (مطالعه موردی: شمال و شمال شرق همدان)

غلامرضا خانلری<sup>۱</sup>، بهروز رفیعی<sup>۲</sup>، حمیرا عثمان پور<sup>۳\*</sup>

۱- استاد، گروه زمین شناسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

۲- دانشیار، گروه زمین شناسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

osmanpour\_h@yahoo.com

### چکیده

مصالح خرده سنگی یا آنگونه که رایج است شن و ماسه پر مصرفترین مصالح ساختمانی هستند. منابع تامین این مصالح آبرفت های رودخانه ای، رسوبات ساحلی، رسوبات یخچالی و منابع سنگ کوهی می باشند. آبرفت های رودخانه ای اصلی ترین منابع تامین شن و ماسه هستند، ولی امروزه بدلیل کمبود این منابع و ایجاد مشکلات زیست محیطی، توجه به مصالح سنگدانه ای کوهی بیشتر شده است. جنس، اندازه، شکل ذرات و همچنین خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی مصالح سنگدانه ای مهمترین ویژگی های قابل بررسی آنها می باشد. در این پژوهش ویژگی های زمین شناسی مهندسی سنگ های آهکی به عنوان مصالح سنگدانه ای (شمال و شمال شرق همدان) مورد بررسی قرار گرفته است. در مجموع از سه منطقه استان همدان نمونه هایی تهیه شده و مورد مطالعه قرار گرفته اند. برای ارزیابی کیفی و مهندسی سنگدانه ها بر روی نمونه ها، آزمون های مختلف ژئوتکنیکی شامل: آزمون های فیزیکی (تخلخل، جذب آب) آزمون های مکانیکی (تعیین ارزش ضربه، مقاومت در مقابل خرد شدن، سایش لوس آنجلس، ذوب و انجماد) و آزمون های شیمیایی (سلامت سنگ در مقابل سولفات سدیم، منیزیم) انجام گرفته است. نتایج و تحلیل ها نشان می دهند که سنگ آهک سوباشی و آبشینه با توجه به حدود مجاز تعریف شده بر طبق استانداردهای ملی الزامی بتن، راهسازی و آسفالت جهت استفاده به عنوان مصالح سنگدانه ای مناسب شناخته شده اند، اما نمونه آهکی همه کسی کارایی مناسبی نداشته و در رده مصالح نامناسب قرار می گیرد.

**کلمات کلیدی: استان همدان، سنگدانه، سنگ آهک، ژئوتکنیکی.**

### ۱- مقدمه

سنگدانه ها یکی از پرکاربردترین منابع طبیعی موجود می باشند. در پروژه های عمرانی حدود ۵۲ درصد سنگدانه های شکسته مورد استفاده قرار می گیرند، این در حالی است که ۴۸ درصد را شن و ماسه طبیعی تشکیل می دهند (Bolen, 2005). در میان انواع سنگ ها، میزان مصرف سنگ های آهکی به دلیل گسترش فراوان در سطح در کشور ما بالا بوده و از این نوع سنگ ها به عنوان پوشش محافظ سدهای خاکی، اساس و زیر اساس جاده ها، بالاست راه آهن، منابع قرضه جهت تهیه ۹۰٪ ترکیب بتن و ۸۰٪ ترکیب آسفالت استفاده ی زیادی بعمل می آید. خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی سنگدانه ها از جمله پارامترهایی هستند که چگونگی کاربرد آنها را برای کاربردهای مختلف تعیین می کنند. تاکنون آزمایش های فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی مختلفی که عمدتاً تجربی هستند، برای ارزیابی سنگدانه ها به صورت استاندارد معرفی شده اند. البته این آزمایش ها ویژگی های متفاوتی را تشریح می کنند.

بنابراین با توجه به موارد ذکر شده در کنار ارزیابی های زمین شناسی و معدنی مصالح خرده سنگی، آزمایش های ژئوتکنیکی متعددی برای ارزیابی مهندسی مصالح صورت می گیرد که بسته به هدف استفاده از مصالح، نوع آزمایش و تعداد آنها متغیر است (آئین نامه بتنی ایران (آبا)، ۱۳۷۹). بنابراین مطالعه و بررسی سنگ های آهکی و ارزیابی کیفیت و ویژگی های مهندسی آنها، امری ضروری به نظر می رسد.

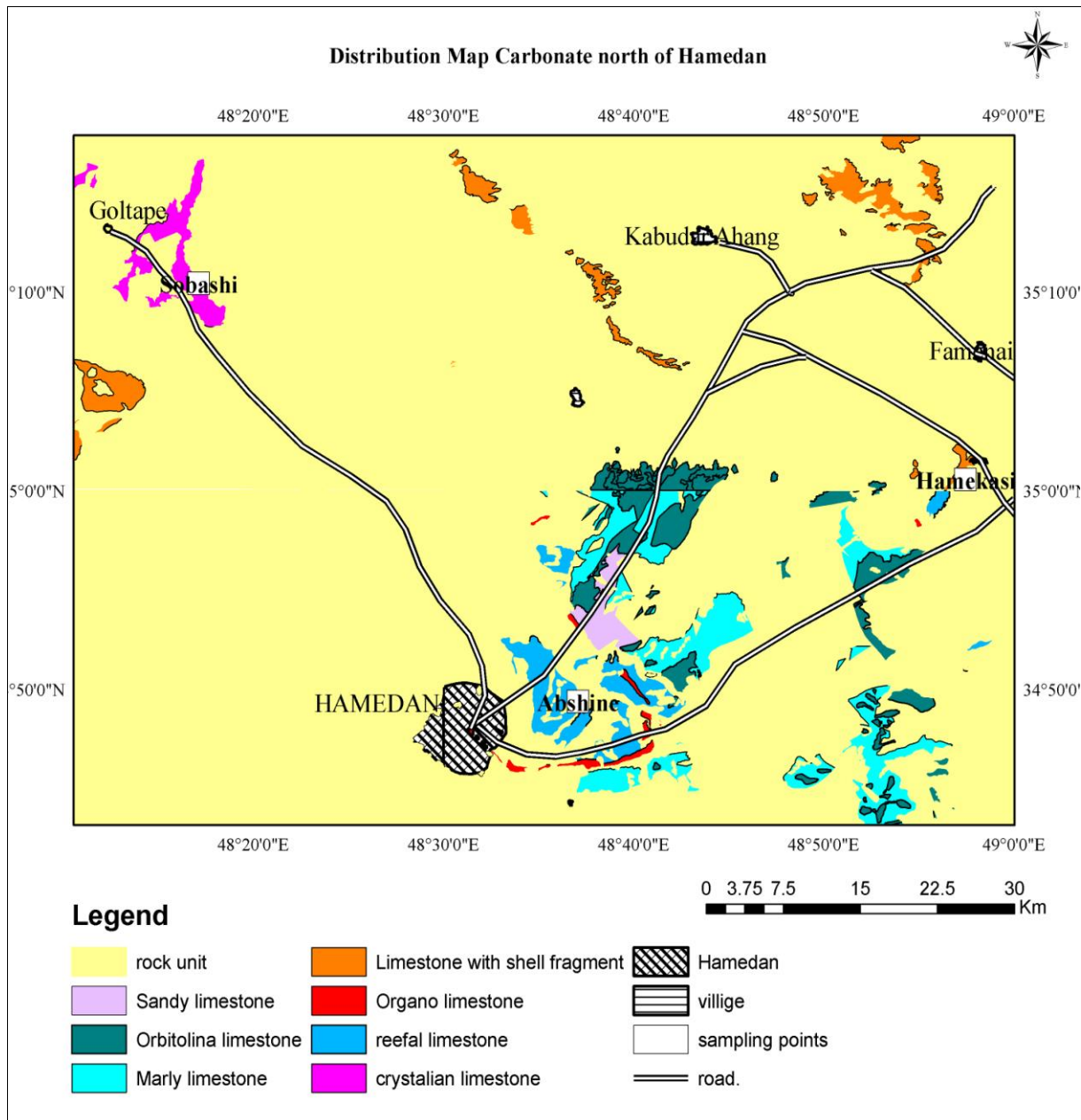
## ۲- موقعیت جغرافیایی منطقه:

سنگ‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل سه تیپ سنگ آهکی برداشت شده از شمال و شمال شرقی استان همدان می‌باشند، که این مناطق به ترتیب، شهرستان قهاوند (محل معدن همه کسی)، شهرستان همدان (محل روستای سرخ آباد) شهرستان کبودر آهنگ (محل سوباشی) می‌باشند.

منطقه قهاوند، در بخش شمال شرقی شهرستان همدان و به فاصله ۵۰ کیلومتری از شهر همدان قرار گرفته است. آهک‌های مورد مطالعه در دشت قهاوند در نزدیکی روستای همه کسی از توابع قهاوند و در موقعیت  $۵۶^{\circ}$  و  $۴۸^{\circ}$  تا  $۵۸^{\circ}$  و  $۴۸^{\circ}$  طول شرقی و  $۰۰^{\circ}$  و  $۳۵^{\circ}$  تا  $۰۳^{\circ}$  و  $۳۵^{\circ}$  عرض شمالی واقع شده است. منطقه دوم مورد مطالعه در نزدیکی شهرستان همدان واقع شده است که در موقعیت  $۳۵^{\circ}$  و  $۴۸^{\circ}$  تا  $۳۹^{\circ}$  و  $۴۸^{\circ}$  طول شرقی و  $۴۴^{\circ}$  و  $۳۴^{\circ}$  تا  $۵۰^{\circ}$  و  $۳۴^{\circ}$  عرض شمالی قرار دارد. منطقه سوم، شامل منطقه سوباشی-علیصدر در شمال استان همدان می‌باشد که توسط جاده همدان - صالح آباد- گل تپه قابل دسترسی است و در موقعیت  $۱۴^{\circ}$  و  $۴۸^{\circ}$  تا  $۲۰^{\circ}$  و  $۴۸^{\circ}$  طول شرقی و  $۰۸^{\circ}$  و  $۳۵^{\circ}$  تا  $۱۸^{\circ}$  و  $۳۵^{\circ}$  واقع شده است.

## ۳- زمین شناسی منطقه:

استان همدان از دیدگاه ساختمانی در زون سندج-سیرجان قرار گرفته است. این زون یکی از فعال ترین زون‌های ساختمانی در غرب کشور در دوران های مزوزوئیک و سنوزوئیک به شمار می‌آید که تا قبل از آغاز دوران سنوزوئیک فازهای دگرگونی و ماگماتیسیم مهمی را پشت سر گذاشته است. رسوبات پالئوزوئیک در این منطقه رخنمون ندارند (درویش زاده ع، ۱۳۶۵). واحدهای آهکی مورد مطالعه به ترتیب دارای ویژگی‌های زیر می‌باشند (شکل ۱). نمونه‌های منطقه قهاوند (همه-کسی) شامل، رسوبات آهکی الیگوسن-میوسن هستند، که با سازند قم در ایران مرکزی قابل مقایسه می‌باشند. این واحد از سنگ آهک‌های متوسط تا ضخیم لایه به رنگ خاکستری روشن تا سفید همراه با فسیل‌های مرجان و خارپوست و خرده‌های صدف تشکیل شده است و دارای چین خوردگی بسیار ملایمی است [نقشه زمین شناسی همدان ۱/۱۰۰۰۰۰]. نمونه منطقه همدان (آبشینه)، شامل سنگ آهک ریفی الیگو-میوسن، دارای فسیل‌های فراوان دوکفه‌ای، خارپوست و مرجان است. ضخامت این واحد ۱۵ تا ۳۰ متر است [نقشه زمین شناسی همدان ۱/۱۰۰۰۰۰]. واحد آهکی منطقه کبودر آهنگ (سوباشی) دارای سن تریاس بالایی است و در رخدادهای راندگی بر روی سنگ‌های جوان‌تر (شیست‌ها)، به صورت لکه‌های از هم و مجزا و با مرز گسیخته دیده می‌شوند. رخساره این واحد سنگ آهک متبلور و دولومیتی شده، همراه با دولومیت‌های ماسه‌ای می‌باشد که به صورت پراکنده حاوی نوارهای ناپیوسته از چرت سیاه‌رنگ و فاقد فسیل است. خردشدگی نیز در همه‌ی بخش‌ها قابل ملاحظه است [نقشه زمین شناسی کوهین ۱/۱۰۰۰۰۰].



شکل ۱ - نقشه پراکندگی واحدهای کربناته شمال استان همدان

#### ۴- مواد و روش ها:

این پژوهش بر روی سه تیپ سنگ آهک از مناطق شمال و شمال شرق همدان انجام گرفته است. توزیع سنگ‌های آهکی نمونه برداری شده در نقشه زمین شناسی (شکل ۱) نشان داده شده است. سه تیپ سنگ آهک با ویژگی‌های متفاوت با توجه به گسترش زیاد در منطقه و قابل دسترس بودن انتخاب شده است. مصالح سنگدانه‌ای مورد استفاده در کاربردهای مختلف باید دارای ویژگی‌های مناسب باشند و در برابر عوامل فیزیکی و شیمیایی مقاوم و بادوام باشند. در این پژوهش بمنتظر ارزیابی نمونه‌های سنگ آهکی از آزمایش‌های زیر استفاده شده است: تعیین خصوصیات فیزیکی (تخلخل و جذب آب)، ارزش سایش مصالح

(Aggregate Abrasion Value, AAV)، ارزش خرد شونده‌گی مصالح (Aggregate Crushing Value, ACV)، ارزش ضربه مصالح (Aggregate Impact Value, AIV)، آزمایش ساندنس (سلامت سنگ در مقابل سولفات سدیم و منیزیم)، آزمایش ذوب و انجماد و شاخص دوام در ۵ سیکل ( $Id_5$ ).

#### ۴-۱- تعیین خصوصیات فیزیکی:

سنگ‌ها نیز مانند خاک دارای خلل و فرج به صورت حفره‌های کم و بیش مرتبط هستند. وجود این حفره‌ها اهمیت زیادی در خواص مکانیکی سنگ دارد و بطور کلی هر چه تخلخل سنگ بیشتر باشد مقاومت آن کمتر است (فهیمی فر.ا.س، ۱۳۸۰). وجود آب یا رطوبت در تماس با مصالح سنگی باعث نفوذ آن به داخل فضای قابل نفوذ مصالح می‌گردد. قطر متوسط حفره‌ها، عمق حفره‌ها و حجم کل حفره‌ها از عوامل موثر در میزان جذب آب هستند (جدول ۱). در واقع میزان جذب آب مصالح سنگی بیانگر میزان رطوبت مصالح در حالت اشباع با سطح خشک می‌باشد (سامع س.ع، ۱۳۷۷).

#### ۴-۲- تعیین ارزش سایش مصالح (AAV):

تعیین AAV برای مصالح مصرفی در راهسازی و بالاست راه آهن ضروری است و در صورت نیاز روی مصالح مصرفی در بتن نیز انجام می‌گیرد. آزمایش سایش به روش لس آنجلس جهت تعیین میزان مقاومت سنگدانه در مقابل سایش انجام شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که ارتباط نزدیکی بین مقاومت مصالح سنگی و افت سایشی آنها در دستگاه لس آنجلس وجود دارد. در این آزمایش، با توجه به دانه بندی مصالح از روش B برای سنگدانه‌های درشت استفاده شده است که در این روش ۵ کیلو از مصالح دانه‌ای که به ترتیب ۲/۵ کیلو عبوری از الک ۱۹/۱ و مانده بر روی الک ۱۲/۵ و ۲/۵ کیلو عبوری از الک ۱۲/۵ و مانده بر روی الک ۹/۵ جداسازی شده است. تعدا گوی‌های مورد استفاده در این روش ۱۱ گوی فولادی می‌باشند. سنگدانه‌های با درصد افت وزنی زیر ۳۰٪ به عنوان مصالح مقاوم شناخته می‌شوند در حالی که مصالح با افت وزنی بالای ۳۵٪ معمولاً به عنوان مصالح خیلی ضعیف معرفی می‌شوند. از سه تیپ سنگ مورد مطالعه، نمونه‌های آهکی همه کسی بدلیل بالا بودن درصد افت وزنی با توجه به مقادیر حداکثر مجاز اعلام شده در نشریه ۱۰۱ و آیین نامه بتن ایران (آبا) غیر قابل قبول می‌باشند. نمونه‌های آهکی سوباشی و آبشینه با درصد افت وزنی کمتر از ۳۰ درصد به عنوان مصالح مورد استفاده در راهسازی به عنوان اساس و زیر اساس، انواع آسفالت و ساخت بتن مورد تایید می‌باشند.

#### ۴-۳- تعیین ارزش خرد شونده‌گی مصالح (ACV):

ارزش خرد شونده‌گی مصالح در مورد مصالح بکار رفته شده در راهسازی و هر جای دیگری که مصالح تحت بار دینامیک باشند، اطلاعات مناسبی از کارایی مصالح بدست می‌دهند. در این آزمایش، مصالح در سه لایه درون استوانه مخصوص ریخته می‌شود و هر لایه توسط ۲۵ ضربه با میله مخصوص متراکم می‌شود، مصالح متراکم شده تحت اعمال بار تدریجی ۴۰ کیلو نیوتن و در مدت زمان ۱۰ دقیقه قرار می‌گیرند. مقدار ریز دانه تولید شده بعد از اعمال فشار ارزش خرد شونده‌گی مصالح را بیان می‌کند. هر چه مصالح ریز دانه کمتری تولید شود، نشان دهنده مقاومت بالای سنگدانه‌ها در مقابل خرد شونده‌گی می‌باشد. به طوریکه مصالح با ارزش خرد شونده‌گی بالای ۳۰٪ به لحاظ استفاده در راهسازی مناسب نمی‌باشند.

#### ۴-۴- تعیین ارزش ضربه مصالح (AIV):

ارزش ضربه مصالح عبارت است از درصد ریز دانه تولید شده کوچکتر از ۲/۸ میلی متر در اثر اعمال ناگهانی بار بر روی مصالحی که در سه لایه متراکم شده‌اند. تعیین این پارامتر در مورد مصالح بکار رفته شده در راهسازی که تحت بار دینامیک باشند اطلاعات مناسبی از کارایی مصالح بدست می‌دهند. سنگدانه‌های با مقدار (AIV) کمتر از ۱۰ درصد به عنوان مصالح مقاوم و سنگدانه‌های با مقدار (AIV) بیشتر از ۳۵ درصد به عنوان مصالح خیلی ضعیف و کم دوام در راهسازی در نظر گرفته می‌شوند. از نظر عددی نتایج این آزمایش با آزمایش مقاومت در برابر خرد شدن نزدیک است (به جز در مورد مصالح دانه ریز سیلیسی که مقاومت کمتری نسبت به ضربه دارند) (معماریان، ح، ۱۳۷۴).

جدول ۱ - نتایج آزمون تعیین درصد جذب آب، (AAV)، (ACV) و (AIV) بر روی سنگ آهک‌های مورد مطالعه

نمونه سنگ	AAV (%)	AIV (%)	ACV (%)	Water Absorption (%)	تخلخل (%)
آهک سوباشی	۱۷/۸	۶/۸۲	۱۵/۲۶	۰/۳۲	۰/۸۷
آهک آبیسه	۲۶/۲	۹/۱	۲۴/۰۳	۰/۵۹	۱/۵۲
آهک همه کسی	۴۵/۴	۲۰/۷۶	۳۸/۵۶	۱۱/۵۵	۲۱/۶۵
مقدار استاندارد برای سنگدانه	< ۳۰	< ۳۵	< ۳۰	< ۱/۰	-

#### ۴-۵- آزمون تعیین سلامت سنگدانه در مقابل سولفات سدیم و منیزیم (ساندنس):

این آزمایش با هدف سلامت سنگدانه‌ها در مقابل سولفات و شرایط جوی برای استفاده در بتن و آسفالت و رویه‌های آسفالتی بکار برده می‌شود. در این آزمایش سنگدانه‌ها را در سیکل‌های تکراری در محلول سولفات سدیم یا سولفات منیزیم اشباع قرار داده و سپس خشک و توزین کرده و افت وزنی ناشی از تماس سنگدانه‌ها با محلول فوق اندازه گیری می‌شود. آزمایش فوق در شناسایی سنگدانه‌هایی که خلل و فرج زیادی داشته و بسیار تحت تاثیر هوازدگی می‌باشند، مناسب است. نمونه‌هایی که در ۵ سیکل بیش از ۳ درصد افت وزنی داشته باشند نامناسب شناخته می‌شوند. از سه تیب آهک بررسی شده نمونه‌های ایستگاه سوم (همه کسی)، بدلیل درصد بالای افت وزنی غیر قابل قبول می‌باشند.

جدول ۲- نتایج آزمون ساندنس سنگ آهک‌های مورد مطالعه (دوستی م.، ۱۳۸۸)

نمونه سنگ	افت وزنی (%) سدیم	افت وزنی (%) منیزیم	شرایط نمونه
آهک سوباشی	۰/۳۷	۰/۵۸	مناسب
آهک آبشینه	۰/۷۳	۱/۲۳	مناسب
آهک همه کسی	۲۰/۱۶	۵۴/۰۷	نامناسب

#### ۴-۶- آزمایش ذوب و انجماد:

آزمایش فوق به منظور تخمین دوام سنگ برای کنترل فرسایش، تحت شرایط ذوب و انجماد مکرر، به کار می‌رود. مطابق استاندارد ASTM D5312، اندازه کوچکترین بعد نمونه‌ها، نباید از ۱۲۵ میلی‌متر کوچکتر باشد و حداقل ۵ نمونه از هر نوع تیپ سنگ مورد نیاز است. سنگ‌های با بیش از ۵٪ جذب آب، استعداد پبی‌شتری برای هوازگی دارند، در حالی که اگر جذب آب کمتر از ۱٪ باشد، سنگ بسیار مقاوم خواهد بود (جعفرقلی زاده، ۱۳۸۵). با توجه به وضعیت آب و هوایی منطقه، انجام آزمایش فوق ضروری به نظر می‌رسد. بیشترین مقدار افت وزنی مربوط به سنگ آهک‌های همه‌کسی است که با نتایج آزمایش‌های سولفات سدیم و منیزیم مطابقت دارد. بافت ضعیف و تخلخل زیاد عامل اصلی بالا بودن میزان افت وزنی این تیپ از سنگ‌ها در طول چرخه ذوب انجماد مکرر می‌باشد.

جدول ۳- نتایج آزمون ذوب و انجماد سنگ آهک‌های مورد مطالعه (دوستی م.، ۱۳۸۸)

نمونه سنگ	افت وزنی (%)	شرایط نمونه
آهک سوباشی	۰/۲	مناسب
آهک آبشینه	۰/۴۱	مناسب
آهک همه کسی	۱/۸۶	مناسب

#### ۴-۷- آزمایش دوام فرانکلین (Id):

وارفتگی (شکفتگی) از ویژگی‌های اساسی سنگ‌های ضعیف و به خصوص سنگ‌های حاوی کانی‌های رسی می‌باشد. شاخص دوام وارفتگی بدست آمده برای دومین مرحله بر اساس نظر گمبل (۱۹۷۱)، با توجه به نتایج بدست آمده، مصالح سوباشی و آبشینه با شاخص دوام وارفتگی بیش از ۹۸ درصد در رده سنگ‌های خیلی مقاوم و همچنین سنگ آهک همه کسی در رده سنگ‌های کمی مقاوم قرار می‌گیرند. و براساس رده‌بندی فرانکلین و چاندررا (۱۹۷۲)، سنگ آهک همه کسی در رده مقاوم، سنگ‌های آهکی سوباشی و آبشینه در رده شدیداً مقاوم قرار می‌گیرند. آزمایش مقاومت بار نقطه‌ای در مورد سنگ‌های سخت با مقاومت فشاری بالای ۱۵ مگاپاسکال کاربرد دارد. با داشتن شاخص مقاومت بار نقطه‌ای، می‌توان مقاومت فشاری تک محوری سنگ را برآورد نمود.

#### جدول ۴- نتایج آزمون دوام سنگ آهک‌های مورد مطالعه

Id <sub>5</sub>	Id <sub>2</sub>	Id <sub>1</sub>	نوع آب	نمونه سنگ
۹۹/۶۱	۹۹/۸۲	۹۹/۹۱	شهری	آهک سوباشی
۹۹/۵۶	۹۹/۷۸	۹۹/۸۸	شهری	آهک آیشینه
۸۹/۸۵	۹۴/۵۲	۹۶/۶۳	شهری	آهک همه کسی

#### جدول ۵- توصیف سنگ آهک‌های مورد مطالعه بر اساس رده‌بندی فرانکلین و چاندرا (به نقل از خانلری غ،، ۱۳۸۹)

Id <sub>2</sub>	توصیف (کمبل، ۱۹۷۱)	Id <sub>1</sub>	توصیف (فرانکلین و چاندرا، ۱۹۷۲)	نمونه سنگ
۹۹/۸۲	خیلی مقاوم	۹۹/۹۱	شدیداً مقاوم	آهک سوباشی
۹۹/۷۸	خیلی مقاوم	۹۹/۸۸	شدیداً مقاوم	آهک آیشینه
۹۴/۵۲	کمی مقاوم	۹۶/۶۳	شدیداً مقاوم	آهک همه کسی

#### ۵- نتیجه گیری:

آهک سوباشی با بافت کریستالین و آهک ریفی آیشینه به دلیل تخلخل کمتر و قدرت جذب آب کم آنها دارای مقاومت بالا، قابلیت خرد شدن پایین، درصد افت وزنی در محلول‌های شیمیایی پایین، مقاوم بودن در برابر ذوب و انجماد و دوام بالا و ویژگی‌های لازم برای استفاده به عنوان مصالح ساختمانی را دارا می‌باشند.

آهک همه کسی به دلیل تخلخل بالا، قدرت جذب آب زیاد، دارای مقاومت پایین، قابلیت خرد شدن زیاد، درصد افت وزنی در محلول‌های شیمیایی بالا، مقاوم بودن در برابر ذوب و انجماد و دوام کم بر اساس استانداردهای سنگدانه به لحاظ استفاده به عنوان منابع قرضه نامناسب می‌باشد.

با توجه به نتایج بدست آمده با افزایش تخلخل در سنگدانه‌ها درصد جذب آب افزایش یافته است، که موجب کاهش مقاومت مکانیکی و شیمیایی سنگدانه‌ها شده است.

با افزایش قدرت دوام مصالح درصد افت وزنی در مقابل سولفات سدیم و منیزیم کاهش می‌یابد.

با افزایش درصد جذب، درصد افت وزنی در آزمایش ساندنس و درصد افت وزنی ناشی از ذوب و انجماد نمونه‌ها افزایش یافته است.

درصد جذب آب با شاخص دوام فرانکلین نسبت عکس دارد، این بدان معنی است که با افزایش درصد جذب شاخص دام کاهش می‌یابد.

## منابع

- سازمان زمین شناسی کشور، (۱۳۸۳). "نقشه زمین شناسی کبودرآهنگ، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰".
- سازمان زمین شناسی کشور، (۱۳۷۹). "نقشه زمین شناسی همدان، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰".
- سازمان زمین شناسی کشور، (۱۳۷۹). "نقشه زمین شناسی کوهی، ن، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰".
- سامع س.ع.، (۱۳۷۷)، کیفیت و طرح اختلاط بتن، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان.
- خانلری غ.، (۱۳۸۹). اصول مکانیک سنگ (ویژه دانشجویان زمین شناسی، عمران، معدن). انتشارات دانشگاه بوعلی سینا.
- دوستی م.، (۱۳۸۸). مطالعه زمین شناسی مهندسی سنگ آهک های شمال و شمال شرق همدان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی همدان.
- درویش زاده ع.، (۱۳۷۱). کتاب زمین شناسی ایران، انتشارات امیر کبیر.
- فهیمی فر، ا.س.، (۱۳۸۰). آزمایش های مکانیک سنگ: مبانی نظری و استانداردها، شرکت سهامی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک، دانشگاه صنعتی امیر کبیر
- معماریان ح.، (۱۳۷۴). زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۸۱-۸۲

- Alvarado C., Mahmoud E., Abdallah I., Masad E., Nazarian, S., Tandon V. and Button J. (2006) "Feasibility of quantifying the role of coarse aggregate point and mass strength on resistance to load in HMA", Texas Department of Transportation Research Report, TX 0-5268-2, October, 2006.
- AssFranklin, J.L. and Broch, E. 1972. The point load test. International Journal Rock Mechanics and Mining Science, 9, 669-697.
- ociation of Engineering Geology, 19, 364-371.
- ASTM: C131-06 (2007) "Test method for resistance to degradation of small-size coarse aggregate by abrasion and impact in the Los Angeles machine" Book of ASTM Standards, Volume 04.02: Concrete and Aggregates, ASTM International, West Conshohocken, United States.
- ASTM D5312-04 (2007) "Standard test method for evaluation of durability of rock for erosion control under freezing and thawing Conditions "Book of ASTM Standards, Volume 04.02: Concrete and Aggregates.
- ASTM: C88-05 (2007) "Test method for soundness of aggregates by use of sodium sulfate or magnesium sulfate", Book of ASTM Standards, Volume: 04.03: Concrete and Aggregates, ASTM.
- ASTM: C127-04 (2007) "Test method for density, relative density (specific gravity) and absorption of coarse aggregate", Book of ASTM Standards, Volume: 04.03: Concrete and Aggregates, ASTM.
- British Standard Institute BS 812, Part 2, 1975. Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate.
- British Standard Institute BS 812, Part 3, 1975. Method of determining Aggregate Crushing Value for civil engineering structures.
- British Standard Institute BS. 1981. British Standard code of practice for site investigation, BS 5930 (formerly CP 2001), London. 140 Pp.
- Concrete and Aggregates, ASTM International, West Conshohocken, United States.
- van de Wall I.A.R.G. and Ajalu, J.S. 1997. Characterization of the geotechnical properties of rock material for construction purposes. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. Volume 34, Issues 3-4, P.319