

بررسی اثر مینرالوژی و ویژگی‌های فیزیکومکانیکی سنگ منبع بر مقاومت فشاری بتن

حسن محمدی گلستان^۱، محمد غفوری*^۲، غلامرضا لشکری پور^۳، ناصر حافظی مقدس^۲

پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۲۲

دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۲۳

چکیده

کانی‌شناسی و ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی سنگهای مورد استفاده در تولید سنگدانه‌ها، از مهمترین پارامترها جهت تصمیم‌گیری در انتخاب روش مصرف آنها برای اهداف مختلف مهندسی است. بتن از آن دسته فرآورده‌های تولیدی در صنعت ساختمان می‌باشد که بیشترین مصرف سنگ را بصورت مصالح خرده‌سنگی شن و ماسه در ساختمان خود دارد. در این مقاله اثر مینرالوژی و همچنین ویژگی‌های فیزیکومکانیکی سنگدانه بر مقاومت فشاری بتن با رده مقاومتی C25 مورد بررسی قرار گرفته است. سنگهای منبع سنگدانه‌های مورد تحقیق، توده‌های نفوذی با ترکیب آندزیت و بازالت و سنگهای آهکی کریستالیزه و دولومیت می‌باشند که در شرق شهر اردبیل (ایران) رخنمون دارند. به منظور انجام تحقیق، تعداد ۲۰ نمونه از معادن و کارگاه‌های شن و ماسه فعال در منطقه برداشت و آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی و سنگ‌نگاری و کانی‌شناسی به عمل آمد. سپس نسبت اجزای سازنده بتن مطابق آئین‌نامه ACI-211-1.91 مشخص گردید به طوری که در کلیه طرح‌ها نسبت آب به سیمان ثابت نگه داشته شده و هیچ نوع افزودنی مصرف نشده است. برای تجزیه و تحلیل نتایج، توده‌سنگهای منطقه براساس جنس و ترکیب کانی‌شناسی به چهار رده تقسیم شده و اثر ویژگی‌های فیزیکومکانیکی آنها بر مقاومت بتن در هر رده بطور جداگانه بررسی شد. نتایج نشان می‌دهند که مقاومت بتن ساخته شده با توده سنگ آندزیتی (رده II) دارای بالاترین مقدار و رده IV (توده سنگ دولومیتی) دارای کمترین مقدار مقاومت می‌باشد همچنین بتن ساخته شده با سنگهای آهکی (رده III) بسته به ویژگی‌های متفاوت کانی‌شناسی و فیزیکومکانیکی، طیف گسترده‌ای از مقاومت را ارائه می‌دهند.

کلمات کلیدی: سنگ، بتن، فیزیکومکانیکی، مینرالوژی

^۱ دانشجوی دکتری زمین‌شناسی مهندسی، گروه زمین‌شناسی، واحد بین‌الملل دانشگاه فردوسی مشهد، hmgoolestani@gmail.com

^۲ هیئت علمی گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

* مسئول مکاتبات ghafoori@um.ac.ir

۱. مقدمه

بتن از سه قسمت؛ آب، سیمان و سنگدانه تشکیل شده و پرمصرف‌ترین ماده ساخته شده توسط بشر است (Petrounias et al., 2018) و بخش اصلی آن سنگدانه می‌باشد که در حدود ۷۰ تا ۷۵ درصد ساختمان بتن را بخود اختصاص می‌دهد (Li et al., 2018, Bismark et al., 2018) و در واقع نحوه اختلاط سنگدانه‌های ریز و درشت تاثیر بسزائی بر اقتصادی بودن و کیفیت بتن خواهد داشت (Amritkar et al., 2015). ویژگی‌های فیزیکی - مکانیکی سنگدانه‌ها به ویژگی‌های سنگ‌شناسی از قبیل؛ ترکیب کانی‌شناسی، بافت، اندازه، شکل و ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی (دانسیته، جذب آب، دوام، مقاومت) سنگ منبع بستگی دارد. انتخاب نوع سنگدانه‌ها برای بتن، عامل اصلی موثر بر کیفیت بتن است. بطوریکه در صورت تهیه مخلوط‌های بتنی با یک نوع سیمان و با نسبت آب به سیمان (W/C) یکسان، استفاده از سنگدانه‌های مختلف که از نظر ترکیب کانی‌شناسی و ویژگی‌های فیزیکومکانیکی از هم تفکیک شده‌اند منجر به مقاومت فشاری مختلف در بتن خواهند شد (Petrounias et al., 2012, Yilmaz and Turul, 2012). افزایش تعداد خرابی‌های ساختمانی اهمیت درک این نکته را که کانی‌شناسی وسیله‌ای برای تشخیص مشکلات در ساخت و سازهای مهندسی است، برجسته کرده است (Yilmaz, et al., 2011). ویژگی‌های فیزیکی - مکانیکی سنگهایی که به عنوان سنگدانه استفاده می‌شوند مهمترین پارامترها در هر کاربرد و در طبقه‌بندی آنها برای اهداف مختلف مهندسی است (Piasta et al., 2016). سنگ یکی از پرکاربردترین و رایج‌ترین مصالح ساختمانی است که از گذشته تاکنون مورد استفاده قرار گرفته است و دارای قابلیت منحصر به فردی هستند که قابل مقایسه با سایر مصالح ساختمانی نمی‌باشند (امیرکیایی و همکاران، ۱۳۹۹). زمین‌شناسان سنگها را براساس منشا و نحوه تشکیل به سه گروه آذرین، رسوبی و دگرگونی تقسیم می‌کنند بطوریکه هر کدام از گروهها براساس بافت و کانیهای تشکیل دهنده و شرایط تشکیل، سنگهای مختلفی را بخود اختصاص می‌-

دهند (Mibei, 2014, Gogoi et al., 2015). در کشورهای در حال توسعه، فعالیت‌های زیادی انجام گرفته تا تولید کننده‌گان شن و ماسه را به استخراج این مصالح از سنگ سخت تشویق کنند. امروزه با گسترش شهرنشینی و کمبود منابع آبرفتی تامین شن و ماسه، استفاده از سنگ بعنوان مواد اولیه در تامین سنگدانه، رونق یافته است و به تبع آن محققان زیادی تلاش کرده‌اند تا اثر انواع مختلف سنگدانه‌ها را بررسی کنند اما نتایج محدودی در مورد همبستگی بین انواع مختلف سنگدانه‌ها بر مقاومت بتن وجود دارد (Yilmaz and Turul, 2012, Gonolho et al., 2009, Piasta et al., 2016, Giannakopoulou et al., 2016). در سال ۲۰۰۷ اوزتران و سیزن (Özturan and Cecen, 2007) مطالعاتی بر روی اثر سنگدانه درشت تهیه شده از سنگ بازالیت و سنگ آهک انجام دادند. نتایج نشان می‌داد که بتن ساخته شده با سنگ آهک از مقاومت بالاتری برخوردار است. همچنین ییلماز و طغرل در سال ۲۰۱۲ (Yilmaz and Tugrul, 2012) اثر سنگدانه درشت را بر مقاومت فشاری بتن مورد مطالعه قرار داده‌اند. آنها متوجه شدند که مخلوط‌های بتنی ساخته شده با سنگدانه‌های ساب آرکوز ۴۰ تا ۵۰ درصد مقاومت بالاتری نسبت به سنگدانه‌های ساب لیتارنایت، لیتارنایت و آرکوز دارند. بررسیها نشان دادند که مهمترین عامل در این تحقیق، ترکیب کانی‌شناسی و سختی میکروسکوپی ذرات سنگدانه بوده است. بطوریکه سختی میکروسکوپی ذرات سنگدانه مربوط به عدم وجود کانیهای فیلسیلیکاته بوده و این امر باعث پیوند بهتر سنگدانه و سیمان می‌شود و در نتیجه منجر به تولید بتن‌های با کیفیت بالاتر می‌گردد. علاوه بر این، محققان زیادی با استفاده از سنگهایی همچون کوارتزیت، گرانیت، آهک و مارن اقدام به تولید سنگدانه درشت نموده و سپس تاثیر سنگدانه‌ها را بر روی خواص مختلف بتن از جمله مقاومت فشاری و کششی، انرژی شکست و مدول الاستیک مورد بررسی قرار داده‌اند (Saraswati et al., 2013, Kannan et al., 2014). بطور معمول اکثر مصالح شن و ماسه‌ای از سنگهای آذرین و دگرگونی، سنگ آهک دولومیتی و ماسه‌سنگ تشکیل می‌یابند (Rahman et al., 2015, Torpe et al., 2015). ویژگی‌های

بطور گسترده در منطقه برای تهیه بتن استفاده می‌شوند. نتایج این تحقیق، تاثیر ترکیب کانی‌شناسی و خواص فیزیکومکانیکی سنگدانه‌ها را بر مقاومت فشاری بتن نشان می‌دهد.

۲. موقعیت جغرافیائی و زمین شناسی منطقه

محدوده تحقیق در استان اردبیل، شهرستان اردبیل و در شمال غرب ایران و در موقعیت جغرافیایی 38° و 37° تا 48° و 45° و 35° و 48° طول شرقی و 17° و 1° تا 38° و 7° عرض شمالی در دامنه کوه‌های عنبران واقع شده است (شکل ۱). بدلیل توسعه فعالیت‌های عمرانی در دهه‌های اخیر، برداشت‌های بی‌رویه از شن و ماسه موجود در بستر رودخانه‌ها (شن و ماسه رودخانه‌ای) و اراضی مستعد کشاورزی و آبرفت‌های قدیمی (شن و ماسه کوهی) بدون رعایت قوانین مربوطه و حفظ حریم رودخانه‌ها صورت گرفته است. طبق بررسی‌های انجام شده می‌توان گفت که در سال ۱۳۹۵ نزدیک به ۲/۳ میلیون تن مصالح شن و ماسه توسط ۸۶ واحد تولیدی مستقر در شهرستان اردبیل تولید شده که ۶۰ درصد آنها از انواع مصالح سنگی (سنگ شکسته و توده سنگ) می‌باشند. از نظر زمین شناسی می‌توان گفت که محل طرح در منتهی‌الیه بخش شرقی دشت اردبیل واقع شده است که با توده عظیم آتشفشان سبلان در شمال و رشته کوه‌های ولکانیکی باغرو در جنوب احاطه می‌شود. بخش اعظم منطقه را ولکانیک‌های مربوط به ائوسن تشکیل می‌دهد. این گدازه‌ها با ماهیت ژئوشیمیائی عمدتاً آلکالن، نتیجه فاز انبساطی جنبش‌های لارامید بوده و قابل مقایسه با ولکانیک‌های ائوسن آذربایجان، البرز و ارمنستان است. براساس اطلاعات حاصله از تحقیقات انجام یافته (پیران قرنی و همکاران، ۱۳۹۷، قلمقاش و کتابی، ۱۳۹۹)، عدم وجود گدازه‌های تیپیک کالک‌آلکالن چهره شاخص کمر بند ولکانیکی آذربایجان - البرز قفقاز کوچک می‌باشد که تجزیه شیمیائی این ولکانیکها نظریه مذکور را تأیید می‌کند (مبشر گرمی و جهانگیری، ۱۳۹۶). مهمترین واحدهای چینه‌ای که در محدوده تحقیق دیده می‌شوند عبارتند از:

سنگدانه تولیدی را میتوان به دو گروه اولیه و ثانویه تقسیم بندی نمود. ویژگی‌های اولیه مربوط به ویژگی‌هایی هستند که در ارتباط با سنگ منشا بوده و به منبع تولید سنگدانه مربوط می‌باشند این ویژگی‌ها شامل ترکیب کانی‌شناسی، جذب آب، دانسیته، وزن مخصوص ویژه و سایش لس آنجلس است که پس از فرآوری هم تغییر چندانی نخواهند یافت. ویژگی‌های ثانویه مربوط به ویژگی‌های فرآوری مصالح در کارگاه بوده و شامل دانه‌بندی، مواد ریزتر از ۷۵ میکرون، ارزش ماسه‌ای، تطویل و تورق، کلوخه رسی و ذرات سست است. این ویژگی‌ها بسته به روش فرآوری تغییر خواهد یافت و میتوان ایرادات مربوط به این ویژگی‌ها را در کارگاه اصلاح نمود. گروهی از پژوهشگران بیان نموده‌اند که امروزه بسیاری از کشورهای جهان تمایل برای برداشت مصالح شکسته شده مخصوصاً مصالح آهکی دارند که به علت وجود مقدار بسیار کم مواد ریزدانه در مصالح، مستقیماً بر روی پارامترهای مختلف بتن تاثیر می‌گذارد (Aquino, 2010). در داخل کشورمان ایران نیز محققان زیادی در خصوص بررسی همبستگی بین پارامترهای سنگ منبع و سنگدانه‌های بتن و اثر آنها بر ویژگی‌های مقاومتی بتن مطالعاتی انجام داده‌اند (شعبانی و پیرمحمدی، ۱۳۹۷، خانلری و همکاران، ۱۳۹۷، فتاحی و همکاران، ۱۳۹۷، عقیلی و رمضانپور، ۱۳۹۷، شریفی و همکاران، ۱۳۹۷). فتاحی و همکاران در سال ۱۳۹۷ اثر کاربرد سنگدانه‌های بازیافتی معدنی را بر روی مقاومت بتن مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد که سنگدانه‌های کوارتزی نسبت به سایر انواع سنگدانه‌ها مقاومت فشاری بتن را تا ۲۰ درصد افزایش داده ولی مقاومت کششی بتن به نوع سنگدانه بستگی ندارد.

در استان اردبیل بخصوص شهرستان اردبیل، علیرغم مشکلات فراوانی که منابع سنگی نسبت به منابع کوهی و رودخانه‌ای دارند، کمبود منابع شن و ماسه رودخانه‌ای و کوهی موجب شده که تولیدکننده گان به معادن سنگی روی آورند. هدف از این تحقیق، بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی سنگدانه‌های تولید شده از سنگهای آذرین و رسوبی است که

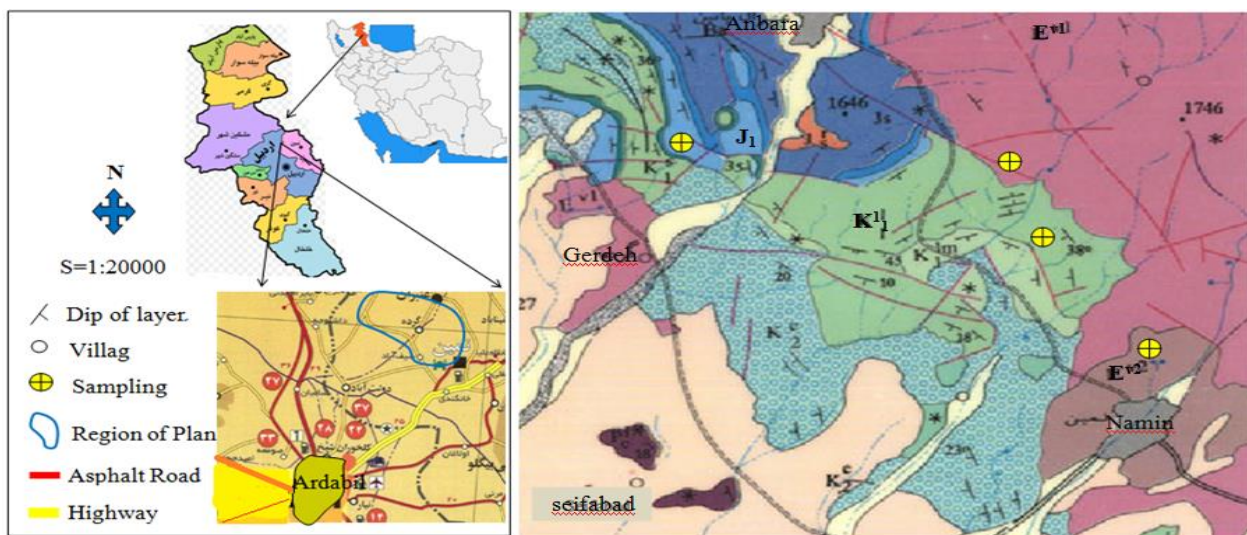
وابسته به سری آلکالن دانسته که تحت اشباع از سیلیس بوده و در نورم آنها نفلین ظاهر می‌گردد.

واحد چینه‌ای K_1 : این وحد چینه‌ای از آهکهای توده‌ای خاکستری رنگ به ضخامت ۲۰ تا ۵۰ متر تشکیل شده که متعلق به کرتاسه بالائی بوده و بطور همساز بر روی کنگلومرا و ماسه‌سنگهای قرمز کرتاسه بالائی در محدوده روستای کولاندرق قرار گرفته است.

واحد چینه‌ای J_1 : این واحد چینه‌ای متشکل از دولومیت و دولومیت‌های آهکی چرت‌دار ژوراسیک زیرین به رنگ خاکستری تا زرد متمایل به قهوه‌ای و ضخیم لایه می‌باشد که با ستبرای ۵۰ الی ۱۵۰ متر در منطقه گسترش دارند.

واحد چینه‌ای E^{v2} : این واحد چینه‌ای متشکل از توده‌های سنگی البوین بازالت متعلق به ائوسن که حاوی فنوکریست-های پلاژیوکلاز، پیروکسن و البوین می‌باشند اما نتایج تجزیه شیمیائی ترکیب آنها را آلکالی بازالت- تراکی بازالت با گرایش پتاسیک از نوع آلکالن مشخص می‌کند.

واحد چینه‌ای E^{v1} : برشهای ولکانیکی و گدازه‌های برشی شده همراه با جریانهای گدازه‌ای متعلق به ائوسن بوده که دارای بافت پورفیری و کمتر آفانیتیک است و کانی‌های پیروکسن و آمفیبول در سطح آنها نمایان می‌باشد. نتایج مطالعات میکروسکوپی بدلیل وجود فنوکریست‌های پلاژیوکلاز، پیروکسن، آمفیبول و بیوتیت، این سنگها را از انواع پیروکسن آندزیت معرفی می‌نماید. بررسیهای ژئوشیمیائی ترکیب آنها را تراکی آندزیت، تراکی بازالت و



E^{v1}	Volcanic section with pyroxene andesite components, basalt	K_1	Gray crystallized lime with nap
E^{v2}	Olivine Basalt	J_1	Dolomite, chert calcareous dolomite (Lar Formation)
K_2	Rotation of conglomerate and red sandstone	J_2	Rotation of shale, marl with a layer of lime (Shemshak Formation)

شکل ۱. موقعیت جغرافیائی و نقشه زمین‌شناسی منطقه طرح

۳. مواد و روشها
۳-۱. مواد
از ۲۰ نمونه سنگدانه خرد شده که از ۴ معدن با سنگ‌شناسی مختلف تهیه شده بودند، برای ساخته نمونه‌های بتنی استفاده گردید (جدول ۱). بر روی توده‌سنگ منبع و سنگدانه‌های

ساخته شده از این معادن، آزمایشات کانی‌شناسی و فیزیکومکانیکی انجام یافته است (جدول ۲). برای تهیه بتن از سیمان پرتلند نوع II کارخانه سیمان اردبیل و برای مخلوط کردن مصالح از آب شهری اردبیل که قابل شرب و عاری از آلودگی‌هایی از قبیل نمک، سیلت و رس و مواد آلی می‌باشد

ساخته شده از این معادن، آزمایشات کانی‌شناسی و فیزیکومکانیکی انجام یافته است (جدول ۲). برای تهیه بتن از سیمان پرتلند نوع II کارخانه سیمان اردبیل و برای مخلوط کردن مصالح از آب شهری اردبیل که قابل شرب و عاری از آلودگی‌هایی از قبیل نمک، سیلت و رس و مواد آلی می‌باشد

نموده و نسبت اجزای سازنده بتن از نظر جرم سیمان، سنگدانه و آب برابر ۰/۶۱ : ۵/۹۲ : ۱ منظور شده و نسبت آب به سیمان برابر ۰/۶۱ و ثابت نگه داشته شده است.

استفاده گردید. مقدار pH آب برابر ۷/۱۲ بوده و وزن مخصوص سیمان برابر ۳/۱۵ می‌باشد. برای اینکه یک ترکیب ثابت برای نمونه‌های بتنی در نظر گرفته شود، اصل حفظ حجم سنگدانه‌ها را در هر یک متر مکعب از مخلوط رعایت

جدول ۱. تعداد نمونه مکعبی بتن ساخته شده از هر نوع سنگدانه

Aggregate type	Basalt	Andesite	Limestone	Dolomite
Name of Mine	Artadavam	Hadid	Ghzeldash	Khorshid
Microscopy Name	Pyroxene Basalt	Hornblende Biotite Andesite	Madstone	Dolocalcite
Sample Number	5	5	5	5

ترکیب معدنی (کانی‌شناسی) نمونه‌ها نیز با استفاده از پراش اشعه X (XRD) و به کمک دستگاه پراش سنج مدل PW1800 ساخت کارخانه PHILIPS تعیین گردید (شکل ۳). آنالیز شیمیایی نمونه‌ها هم بروش تجزیه غیر مخرب و با دستگاه XRF مطابق با استاندارد ICDD تعیین شد (جدول ۳).

۳-۳. آزمایشات بتن

برای تهیه طرح اختلاط بتن از آئین‌نامه انجمن بتن آمریکا (ACI-211.1-91, 2002) استفاده گردید. به همین منظور تعداد ۲۰ نمونه مکعبی بتن معمولی به ابعاد ۱۵×۱۵×۱۵ سانتیمتر از نوع مختلف مصالح دانه‌بندی شده ساخته شد. در کلیه طرح‌ها، نسبت آب به سیمان برابر ۰/۶۱ و اسلامپ هدف برابر ۷۵ میلی‌متر و مقاومت مشخصه ۲۸ روزه نمونه استوانه‌ای برابر ۲۵ مگاپاسکال در نظر گرفته شده است. بر طبق نتایج آزمایش دانه‌بندی، حدود تغییرات قطر ذرات سنگدانه ریز (ماسه) بین ۰/۰۷۵ تا ۴/۷۵ میلی‌متر و شن ریز (نخودی) از ۴/۷۵ تا ۱۴ میلی‌متر و شن درشت (بادامی) از ۱۴ تا ۲۴ میلی‌متر بوده است. نمونه‌های مکعبی مطابق استاندارد ASTM C192 در آزمایشگاه ساخته شده و نمونه‌ها پس از ۲۴ ساعت از قالب خارج و به مدت ۲۸ روز در حوضچه آب اشباع از آهک در دمای 23 ± 2 درجه سانتیگراد نگهداری شدند. پس از این مدت، نمونه‌ها از حوضچه خارج و پس از خشک کردن سطح بتن، آنها را در داخل دستگاه بتن‌شکن دیجیتالی ۲۰۰ تنی قرار داده و با سرعت بارگذاری ۲/۵ مگاپاسکال بر ثانیه مطابق استاندارد ASTM C39 مقاومت فشاری تعیین شد.

۳-۲. آزمایشات توده‌سنگ و سنگدانه

نمونه‌های برداشت شده از معادن در اندازه قطعاتی به ابعاد حداقل ۳۰ سانتیمتری بوده تا بتوان براحتی در آزمایشگاه مغزه استوانه‌ای جهت آزمایش مقاومت فشاری از آنها تهیه نمود. برای تهیه نمونه‌های استوانه‌ای از دستگاه مغزه‌گیر برقی با مت‌الماسه بقطر ۱۰ سانتیمتر استفاده شده و مغزه‌هایی با نسبت طول به قطر ۲ تا ۲/۵ تهیه گردید (ASTM D4543, 2019). ویژگی‌های فیزیکومکانیکی نمونه‌های معدن شامل؛ جذب آب ۲۴ ساعته (w)، تخلخل (n)، دانسیته طبیعی (γ)، مقاومت فشاری (UCS) بوده که آزمایشات آنها مطابق استاندارد انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ (ISRM, 1981) صورت گرفته است. همچنین بر روی نمونه‌های فله‌ای برداشت شده از کارگاه‌های ماسه‌شوئی، آزمایشاتی از قبیل؛ دانه‌بندی مطابق استاندارد ASTM C136 و مواد ریزتر از ۷۵ میکرون (F200) مطابق استاندارد ASTM C117 و افت وزنی بروش سایش لس‌آنجلس (LA) مطابق استاندارد ASTM C131 و حدود آتربرگ مطابق استاندارد ASTM D4318 انجام یافته است (جدول ۲). بمنظور بررسی ویژگی‌های کانی‌شناسی و بافتی نمونه سنگها، مقاطع نازک (Thin Section) تهیه شده و به کمک میکروسکوپ نوری پلاریزان انکساری مدل ORTHOLUX II ساخت شرکت LEITZ آلمان مطابق با استاندارد اروپایی (EN932-3, 1996) از نظر ترکیب پتروگرافی و مشخصات بافتی شامل؛ نوع کانی، اندازه دانه‌ها، شکل دانه‌ها و درصد فراوانی کانیها مورد مطالعه قرار گرفتند (شکل ۲).

دانسیته بیشتری نسبت به نمونه K4 داشته و مقاومت آن هم بالا است. سنگهای گروه IV جذب آب بیشتری نسبت به سایر گروهها داشته و این بدلیل تخلخل بالای نمونه سنگ-های این گروه است. نتایج آزمایشات نمونه‌های فله‌ای سنگدانه ریز برداشت شده از محل واحد تولیدی (واحد تولیدی شن و ماسه خورشید)، نشان می‌دهد که درصد مواد ریزتر از ۷۵ میکرون آنها بیش از سایر گروهها می‌باشد و این با میکرایتی بودن زمینه سنگ (گل کربناته) در ارتباط است. به‌طوریکه با فرآوری سنگ منبع بخصوص به صورت سنگدانه ریز (ماسه) و با انجام آزمایش آتربرگ، شاخص خمیری مصالح سنگدانه ریز این گروه سنگی بین ۵ تا ۸ متغیر می‌باشد که نشانگر حضور گل‌های کربناته با خاصیت خمیری (پلاستیسیته) در بین ذرات ریزتر از ۷۵ میکرون است. بطورکلی میتوان گفت که گروه II متعلق به سنگهای آذرین نیمه عمیق از نوع آندزیت بوده که پارامترهای فیزیکومکانیکی بالائی را در بین سایر گروههای تعیین شده دارد. تخلخل کم و مقاومت بالای این سنگدانه‌ها، آنها را بعنوان بهترین گروه از سنگهای مورد مطالعه طبقه‌بندی می‌کند.

مقدار مقاومت فشاری بتن از تقسیم مقدار بار در لحظه گسیختگی بر سطح مقطع نمونه بدست می‌آید (جدول ۵).

۴. نتایج آزمایشات

۴-۱. آزمایشات فیزیکومکانیکی سنگدانه

نتایج آزمایشات فیزیکومکانیکی سنگدانه‌ها و توده‌سنگ منبع نشان می‌دهد که تنوع گسترده‌ای از نظر ویژگی‌های مهندسی در نمونه‌های برداشت شده وجود آمده بطوریکه چهار گروه سنگ منبع سنگدانه تعیین شده است. گروه I شامل سنگهای بازیک و ملانوکراتیک بوده و عمدتاً از کانیهای مافیک تشکیل شده‌اند. در بین سنگدانه‌های مورد مطالعه گروه I، نمونه A5 تخلخل (n) بیشتر و مقاومت کمتری نسبت به نمونه A1 دارد. گروه II از سنگهای مزوکراتیک بوده و عمدتاً از کانیهای پلاژیوکلاز (Plg)، پیروکسن (Px)، آمفیبول (Am)، بیتویت (Bio) تشکیل شده است. در بین آزمونه‌های گروه II، نمونه H2 تخلخل و جذب آب بیشتر و مقاومت کمتری نسبت به نمونه H3 دارد. گروه III و IV از سنگهای رسوبی شیمیائی بوده که از جنس سنگ آهک و دولومیت می‌باشند. از نظر فیزیکومکانیکی می‌توان گفت که سنگهای آهکی کریستالیزه مقاومت بیشتری نسبت به دولومیت دارند، بطوریکه نمونه G4

جدول ۲. نتایج آزمایش‌های فیزیکومکانیکی نمونه‌های سنگ و سنگدانه

Passing #200(%)	Losangelos (%)	Compressive Strength MPa	Porosity (%)	Water Absorption 24h(%)	Natural Density gr/cm ³	Macroscopic description	Sample No.	Rock Group
1.2	9	98.3	0.23	0.35	2.64		A1	
1.6	11	97.5	0.25	0.40	2.64		A2	
1.4	10	88.2	0.32	0.51	2.63	Basalt	A3	I
0.7	14	91.3	0.26	0.4	2.60		A4	
1.5	13	85.4	0.37	0.54	2.65		A5	
0.8	11.5	119.4	0.44	0.58	2.69		H1	
1.9	10.5	117.5	0.45	0.60	2.67		H2	
1.1	11	123.6	0.40	0.50	2.66	Andesite	H3	II
0.6	10.5	131.7	0.39	0.50	2.68		H4	
1.3	11	121.8	0.41	0.50	2.67		H5	
4.7	16	76.5	0.59	0.74	2.65		G1	
5.2	16	73.9	0.55	0.66	2.69		G2	
6.3	15	64.8	0.54	0.65	2.68	Limestone	G3	III
4.5	14	87.4	0.57	0.68	2.67		G4	
5.0	15	83.2	0.54	0.63	2.66		G5	
6.2	15	46.8	0.70	1.02	2.61		K1	
5.8	24	48.7	0.75	1.91	2.60		K2	
5.8	21	48.6	0.73	1.06	2.62	Dolomite	K3	IV
6.4	17	45.7	0.84	1.09	2.65		K4	
5.5	16	46.4	0.74	1.07	2.64		K5	

۲-۴. ویژگی‌های پتروگرافی سنگ‌ها

تقسیم‌بندی سنگهای منبع مورد مطالعه به گروههای متفاوت، به دلیل ویژگی‌های فیزیکی- مکانیکی نمونه‌های سنگ مورد مطالعه بوده است. گروه I از سنگ‌های بازیک و ملانوکراتیک بوده و عمدتاً از کانیهای مافیک تشکیل شده‌اند. مطالعه مقاطع میکروسکوپی نمونه‌های این گروه از سنگها نشان می‌دهد که بافت اصلی سنگ از نوع پورفیری بوده که فراوانی فنوکریست آن به حدود ۱۸ الی ۲۰ درصد می‌رسد. کانیهای اصلی تشکیل دهنده این سنگها پلاژیوکلاز (Plg)، الیوین (Ol)، کلینوپیروکسن (Cpx) و کانی‌های اوپاک (Opq) می‌باشد. به طوریکه پلاژیوکلازها با فراوانی ۳ تا ۴ درصد و به اندازه ۰/۵ میلیمتر بصورت تیغه‌های ریزبلور و الیوین با بیرفرانسیس بالا و بیرنگ و با فراوانی ۲ درصد به اندازه ۰/۳ میلیمتر دیده می‌شوند. همچنین کلینوپیروکسن‌ها با فراوانی ۱۳ درصد و به اندازه حداکثر ۴/۵ میلیمتر اغلب از نوع دیوپسید (dis) سبز کم رنگ و حدود ۳ درصد آنها از نوع اوژیت (Aug) به رنگ کرمی بوده که در نمونه‌های سنگ بصورت فنوکریست قابل مشاهده است. کانی‌های اوپاک هم به اندازه ۰/۱ تا ۰/۵ میلیمتر حدود ۵ درصد کانیهای تشکیل دهنده سنگ را بخود اختصاص می‌دهند. این سنگها آلتراسیون پروپلیتیک متوسطی داشته و زمینه سنگ اغلب پلاژیوکلاز است. گروه II از سنگهای مزوکراتیک بوده که بافت اصلی آن پورفیری و بافت فرعی آن گلوپورفیری است. سنگهای این گروه بدلیل اینکه دارای زمینه نسبتاً درشت بلور هستند، جزو سنگهای نیمه عمیق می‌باشند. و کانیهای آن عبارتند از: کلینوپیروکسن نوع دیوپسید با فراوانی ۶ درصد از مهمترین کانی‌های این واحد است اندازه دیوپسید در این نمونه بین ۰/۳ تا ۳/۸ میلیمتر متغیر بوده و متوسط اندازه آن ۰/۶ میلیمتر است. پلاژیوکلاز با فراوانی ۵ تا ۶ درصد به میزان ۰ تا ۱۰٪ به سرسیت (ser) تجزیه شده است. این کانی اندازه‌ای بین ۰/۳ تا ۰/۷ میلیمتر دارد. هورنبلند (hbl) نیز با چند رنگی سبز- سبز به میزان ۵ درصد به کربنات آتیره شده و فراوانی آن حدود ۷ درصد است. اندازه این کانی نیز بین ۰/۳ تا ۲ میلیمتر متغیر

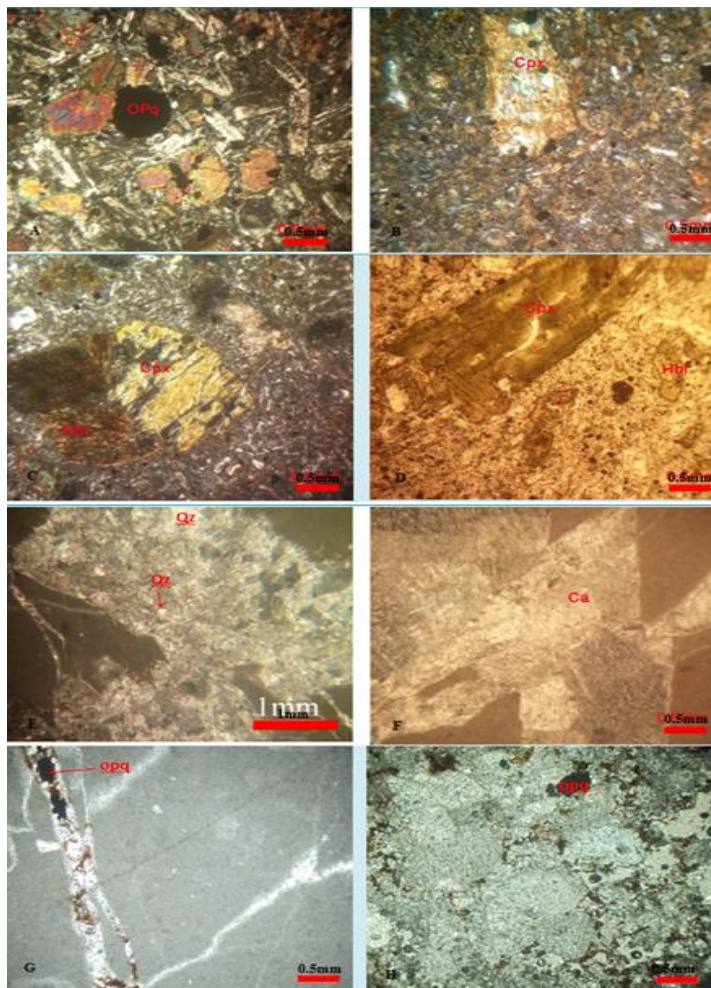
می‌باشد. بیوتیت (bio) با فراوانی ۲ درصد و اندازه ۰/۴ میلیمتر غالباً به صورت غربالی در داخل کانی هورنبلند وجود دارد. قابل ذکر است که پلاژیوکلازها به صورت ریزدانه اکثراً در زمینه سنگ دیده می‌شوند و کربنات کمی در داخل فضاهاى خالی تشکیل شده است. همچنین کانی اوپاک با فراوانی ۱ درصد و اندازه ۰/۱ تا ۰/۲ میلیمتر در این نمونه شناسایی شده است. سنگهای این گروه فاقد آلتراسیون بوده و ۷۰ درصد زمینه سنگ از پلاژیوکلاز تشکیل شده است. گروه III از انواع سنگهای رسوبی شیمیائی بوده که از ویژگی‌های سنگهای این گروه، وجود شکستگی‌های فراوان است. بطوریکه شکستگی‌ها با ضخامت بین ۰/۳ تا ۲ میلیمتر با کربنات اسپاریتی پر شده‌اند. به تعبیری پدیده نئومورفیسم در آن رخ داده است. کانی‌های اوپاک و کانی‌های آواری در این سنگها مشاهده نمی‌شود و بندرت خرده فسیلی از فرامینفر در برخی مقاطع مشاهده می‌گردد که توسط کربنات اسپاریتی جایگزین شده است. بر طبق نامگذاری دانهام (Dunham, 1962) سنگهای این گروه از نوع مادستون و براساس طبقه- بندی فولک (Folk, 1962) از نوع میکریتمی‌باشند. سنگهای گروه IV از انواع سنگهای رسوبی شیمیائی بوده که از نوع دولومیت می‌باشد. در این نمونه بلورهای رمبهدر دولومیت (dol) به وفور مشاهده می‌گردد. در این واحد زمینه میکریتمی بوده که توسط دولومیت جانشین شده است و به همین سبب می‌توان آنرا دولومیکریتم نامگذاری کرد. همینطور با توجه به اینکه حدود ۵۰ درصد سنگ از دولومیت است می‌توان نام دولومیت کلسیتی را نیز به آن اطلاق نمود. از ویژگی‌های این نمونه آن است که شکستگی فراوان سنگ تماماً از یک جهت مشخص تبعیت می‌کند این نمونه فاقد آلوکم‌های زیستی بوده ولیکن ذرات آواری از قبیل کوارتز (Qz) با فراوانی ۰/۱ درصد به همراه ۰/۵ درصد کانی‌های اوپاک در این نمونه مشاهده می‌گردد.

۳-۴. آنالیز XRD سنگ منبع

علاوه بر تفسیر مقاطع میکروسکوپی نمونه سنگهای مورد مطالعه از طریق میکروسکوپ قطبی پلاریزان، ترکیب کانی-

(SiO₂) در نمونه‌های سنگ آذرین وجود دارد. به طوریکه در نمونه‌های آذرین با ترکیب بازالتی کانیهای آنورتیت، آنالسیم، اوژیت و مونتموریلونیت بصورت کتانیهای فرعی دیده می‌شوند. به نظر می‌رسد کانی مونتموریلونیت نتیجه آلتراسیون و تجزیه شیمیائی پلاژیوکلازها باشد و اغلب در نمونه‌های معدن حدید قابل مشاهده است. بررسی الگوهای XRD در سنگهای آذرین منطقه نشان داد که عمدتاً از کانی کلسیت و دولومیت تشکیل شده‌اند که بر طبق پراش X، کوارتز و کانی اوپیک با فراوانی کمتر از ۱ درصد در داخل نمونه‌های گروه III مشاهده می‌شود.

شناسی آنها نیز با کمک پراش اشعه X مطابق با استاندارد EN-932-9 مشخص شد (جدول ۴). پراش اشعه X ما را قادر می‌سازد تا مراحل بلوری سنگهای مورد مطالعه را شناسایی کنیم. الگوهای XRD نماینده نمونه‌ها در زیر نشان داده شده است. نتایج تحلیل XRD برای نمونه‌های سنگی منطقه نشان می‌دهد که بر طبق این نتایج، مقادیر زیادی ترکیب کربناتی (CaCO₃) در نمونه‌های سنگ رسوبی و مقادیر زیادی ترکیب سیلیسی پیروکسن کانی مشترک در تمام نمونه‌های گروه I است. و در گروه II، الگوهای XRD نمونه‌ها وجود کلینوپیروکسن، پلاژیوکلاز، اوژیت و دیوپسید را نشان می‌دهد. در حالی که سنگهای رسوبی شیمیائی گروههای III و IV به ترتیب



شکل ۲. تصاویر مقاطع میکروسکوپی از گروه‌های مختلف سنگ منبع سنگدانه‌های مورد مطالعه
A, B: پیروکسن بازالت - C, D: پیروکسن هورنبلند آندزیت - E, F: سنگ آهک مادستون - G, H: دولومیت

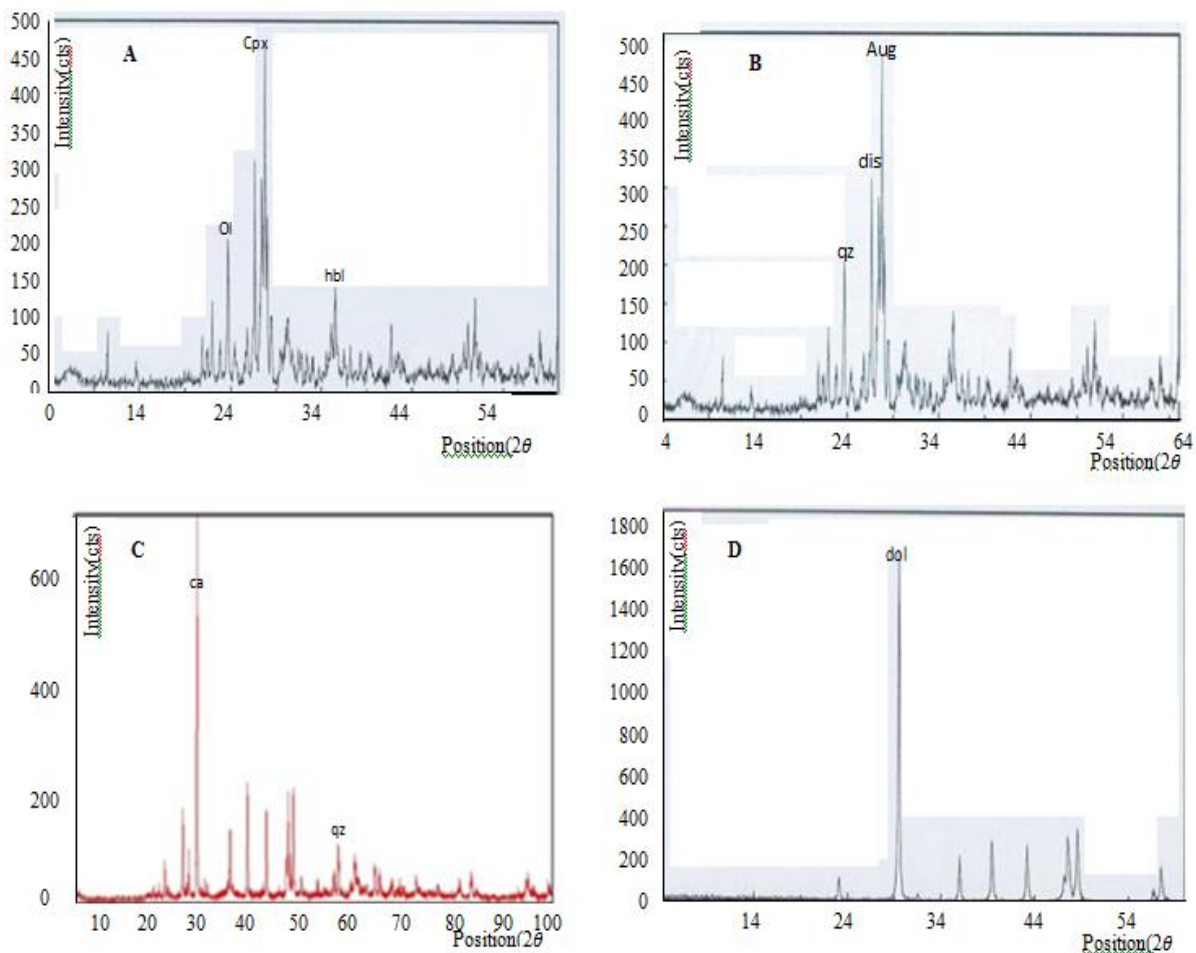
جدول ۳. نتایج آنالیز شیمیائی (XRF) نمونه‌ها

Mine Name	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	S	L.O.I
Artadavam	48.39	16.86	7.03	8.21	1.52	1.34	3.19	0.508	0.144	0.113	0.006	12.36
Hadid	61.10	14.78	5.48	4.91	2.94	3.68	2.93	0.69	0.07	0.27	0.03	3.120
Ghzaldash	12.98	0.64	0.42	47.11	0.02	0.06	0.36	0.033	0.023	0.065	0.012	38.12
Khorshid	5.16	1.24	1.78	36.75	0.02	0.55	12.02	0.07	0.005	0.055	0.012	42.22

جدول ۴. ویژگی‌های پتروگرافی سنگدانه‌های مورد مطالعه

Rock Group	Sample No.	Lithology	Main Mineral	Sub-Mineral
I	A1,A2,A3,A4,A5	Basalt	Cpx,Plg,Ol	Aug,Opq,dis
II	H1,H2,H3,H4,H5	Andesite	Cpx,hbl,Plg	Bio,ser,dis
III	G1,G2,G3,G4,G5	Limestone	Ca	Qz,opq
IV	K1,K2,K3,K4,K5	Dolomite	Dol,Ca	Qz,opq

Cpx=Clinopyroxene, plg=Plagioclase, Ol=Olivine, hbl=Hornblende, bio=biotite, Aug=Augite, opq=Opaque, dis=diopside, cal=Calsite, dol=Dolomite, qz=Quartz, ser=Sericite



شکل ۳. الگوهای پراش اشعه X از گروه‌های مختلف سنگ منبع سنگدانه‌های مورد مطالعه

A: پیروکسن بازالت (نمونه A3)، B: پیروکسن هورنبلند آندزیت (نمونه H1)، C: آهک. مادستون (نمونه G5)،

D: دولومیت (نمونه K2)

۴-۴. نتایج آزمایش مقاومت فشاری بتن

نتایج حاصل از آزمون مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی در جدول ۵ ذکر شده است. مقاومت بتن‌ها پس از ۲۸ روز نگهداری و عمل‌آوری در حوضچه آب اشباع از آهک شکفته بین ۱۵/۲ تا ۲۸/۶ مگاپاسکال، متغیر است. نتایج مقاومت فشاری بتن‌های ساخته شده از گروه‌های I تا IV، نشان دادند که طبقه‌بندی اولیه آنها در گروه‌ها به درستی انجام شده است. کمترین مقادیر مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی از نمونه‌های ساخته شده با سنگدانه‌های گروه IV بدست آمد. بطوریکه میانگین مقاومت فشاری نمونه بتن‌های این گروه حدود ۱۵/۹ مگاپاسکال بوده و بیشترین مقدار مقاومت مربوط به نمونه‌های گروه II با میانگین مقاومت برابر ۲۷/۶ مگاپاسکال می‌باشد. تحلیل مقاطع ماکروسکوپی تهیه شده از بتن‌های ساخته شده می‌توان گفت که ریزترکهای موجود در سنگهای گروه IV در حین عمل‌آوری نمونه‌های بتن و تحت تاثیر هیدراتاسیون سیمان، گسترش یافته و بنابراین باعث

ایجاد نقاط ضعف در بتن شده و این نقص، در کاهش مقاومت بتن نقش چشمگیری داشته است. همچنین حضور مواد ریزتر از ۷۵ میکرون بالا که اغلب از نوع گل کربناته می‌باشند بر روی سنگدانه یا داخل آن، با جذب آب شدید باعث جمع‌شدگی سنگدانه‌ها در هنگام خشک شدن می‌شود که این اثر به نوبه خود باعث کاهش مقاومت بتن تهیه شده می‌گردد. سنگدانه‌های گروه II انسجام بهتری با خمیر سیمان نشان دادند و این در افزایش مقاومت نمونه‌های بتن این گروه تاثیر زیادی داشته است. در کل می‌توان دریافت که بتن‌های ساخته شده با سنگهای مزوکراتیک مقاومت بیشتری نسبت به سنگهای مافیک و اولترامافیک از خود نشان می‌دهند و این بدلیل وجود کانی کوارتز در بافت این نوع از سنگها می‌باشد. ضمناً سنگهای اولترامافیک بدلیل آلتراسیون کانی پیروکسن، ویژگیهای فیزیکومکانیکی ضعیفی از خود نشان می‌دهند که این ویژگی در کاهش مقاومت بتن ساخته شده از آنها موثر است.

جدول ۵. نتایج آزمایش مقاومت فشاری بتن (بر حسب MPa) ساخته شده از سنگ منبع مورد مطالعه

IV	III	II	I
Dolomite	Limestone	Andesitic	Basalt
17.4	22.6	27.8	26.6
14.8	21.1	26.4	25.9
15.2	17.8	27.2	26.0
15.8	19.4	28.6	25.5
16.3	20.7	28.1	25.1
15.9	20.3	27.6	25.8

۵. تحلیل نتایج

مختلف مهندسی سنگها، تجزیه و تحلیل بروش رگرسیونی است. همبستگی زیادی بین خواص فیزیکی و مکانیکی سنگدانه‌های مورد مطالعه مشاهده می‌شود که مربوط به مشخصات کانی‌شناسی و سنگ‌نگاری آنها است (شکل ۴). افزایش مقاومت فشاری تک محوری سنگ منبع (UCS_{roc}) با دانسیته طبیعی سنگ (γ) در سنگهای آذرین و رسوبی در نمودارهای جداگانه با معادله خطی یک رابطه مستقیم را نشان می‌دهد (روابط ۱ و ۲). همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهند که یک همبستگی توانی بین مقاومت فشاری سنگ منبع با درصد جذب آب (W_{ab}) سنگ منبع وجود دارد (رابطه ۳).

پارامترهای فیزیکومکانیکی سنگدانه‌های بتن توسط محققان مختلف بمنظور ارزیابی کیفیت آنها مورد بررسی قرار گرفته است. کانی‌شناسی، ویژگیهای بافتی، هوازگی سنگها و آلتراسیون کانی‌ها از عوامل اصلی تأثیرگذار بر ویژگی‌های فیزیکومکانیکی و در نتیجه مناسب بودن آنها برای کاربردهای مختلف صنعتی است (Rigopoulos et al., 2012). تعدادی از محققان روابط بین خواص فیزیکی و مکانیکی سنگهای منبع سنگدانه را مطالعه نموده‌اند (Özturan, 2007, Piasta, 2016, Petrounias et al., 2018) متداول‌ترین روش آماری برای تعیین روابط بین پارامترهای

(۱) رابطه دانسیته طبیعی (γ) با مقاومت فشاری تک محوری سنگ منبع آذرین (UCS_{roc})

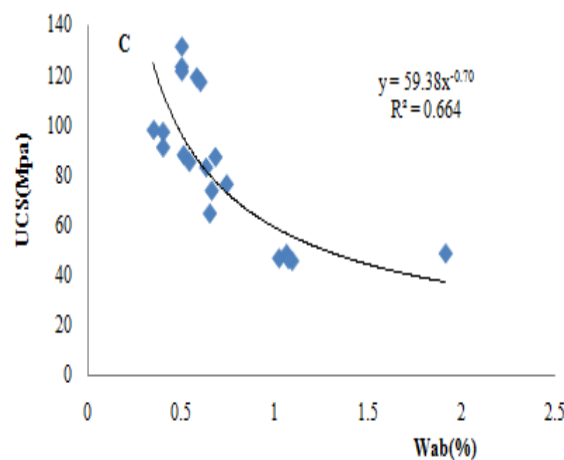
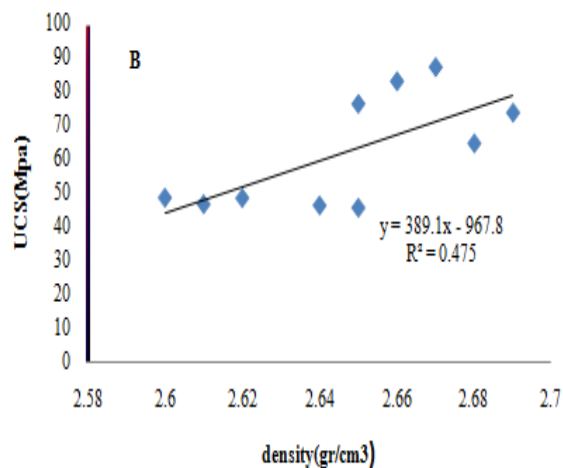
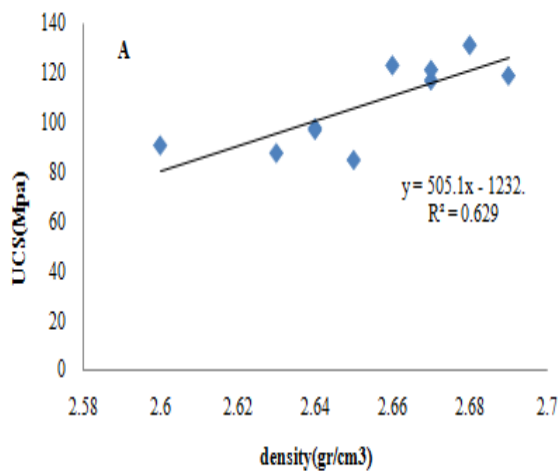
$$UCS_{roc} = 505.1(\gamma_{ign}) - 1232 \quad R^2 = 0.629$$

(۲) رابطه دانسیته طبیعی (γ) با مقاومت فشاری تک محوری سنگ منبع رسوبی (UCS_{roc})

$$UCS_{roc} = 389.1(\gamma_{sed}) - 967.8 \quad R^2 = 0.475$$

(۳) رابطه درصد جذب آب (W_{ab}) سنگ منبع با مقاومت فشاری تک محوری سنگ منبع آذرین و رسوبی

$$UCS_{roc} = 59.38(W_{ab})^{-0.7} \quad R^2 = 0.664$$



شکل ۴. (A) دانسیته (γ) نمونه سنگهای آذرین منطقه در برابر مقاومت فشاری تک محوری سنگ منبع (UCS_{roc}), (B) دانسیته (γ)

نمونه سنگهای رسوبی منطقه در برابر مقاومت فشاری تک محوری سنگ منبع (UCS_{roc}), (C) درصد جذب آب (W_{ab}) نمونه

سنگهای منطقه در برابر مقاومت فشاری تک محوری سنگ منبع (UCS_{roc})

از طرفی هم مقاومت فشاری سنگ (UCS_{roc}) یک رابطه خطی مستقیم با مقاومت فشاری بتن (UCS_{con}) از خود نشان می‌دهند (شکل ۵.D). همبستگی بین درصد سایش لس آنجلس سنگدانه آذرین و مقاومت فشاری بتن هم بصورت یک رابطه

از طرف دیگر ویژگی‌های فیزیکی مکانیکی سنگدانه‌ها همبستگی زیادی با مقاومت فشاری بتن دارند، بطوریکه درصد جذب آب (W_{ab}), تخلخل (n) و مواد ریزتر از ۷۵ میکرون (F_{200}) یک رابطه خطی معکوس (شکل ۵.A, B, C) و

جنس کوارتز و رشد کلسیت اسپارایتی در شکستگی‌های سنگهای گروه III باعث افزایش مقاومت آنها نسبت به سنگهای گروه IV شده است. برخی از محققان اثر شکل و بافت سطحی سنگدانه بر مقاومت فشاری بتن را مورد ارزیابی قرار داده‌اند (Poloju et al., 2017, Hossain et al., 2000,) (Ahlrich, 1996, Wright, 1955). آنها دریافته‌اند که سنگدانه‌های درشت با دانه‌های نامنظم (دانه‌هایی با شکل صاف و صیقلی و بدون گردشدگی) مقاومت بتن را ۱۰ تا ۱۷ درصد کاهش می‌دهند. همچنین حضور سنگدانه درشت با دانه‌های نامنظم در بتن، مقدار آب مصرفی بتن را کاهش و کارایی بتن را افزایش می‌دهد اما مقاومت فشاری بتن را کاهش می‌دهد و این بدلیل چسبندگی ضعیف بین سیمان و سنگدانه می‌باشد. بررسی مقاطع ماکروسکوپی بتن‌های ساخته شده (شکل ۷) نشان می‌دهد که سنگدانه‌های گروه IV دارای سطح صاف و صیقلی یافته بوده و این مورد، در چسبندگی خمیر سیمان نقش منفی داشته و یک زون ضعیف در بتن ایجاد شده است بطوریکه پیوستگی خمیرسیمان و سنگدانه خیلی ضعیف بوده و مقاومت بتن پائین آمده است.

(۴) رابطه درصد جذب آب سنگ منبع (W_{ab}) با مقاومت فشاری بتن (UCS_{con})

$$UCS_{con} = 302.7 - 109.1(W_{ab}) \quad R^2 = 0.662$$

(۵) رابطه تخلخل کل سنگ منبع (n) با مقاومت فشاری بتن (UCS_{con})

$$UCS_{con} = 350.6 - 250.4(n) \quad R^2 = 0.878$$

(۶) رابطه مواد ریزتر از ۷۵ میکرون سنگدانه‌ها (F_{200}) با مقاومت فشاری بتن (UCS_{con})

$$UCS_{con} = 291.5 - 19.98(F_{200}) \quad R^2 = 0.883$$

(۷) رابطه مقاومت فشاری تک محوری سنگ (UCS_{roc}) با مقاومت فشاری بتن (UCS_{con})

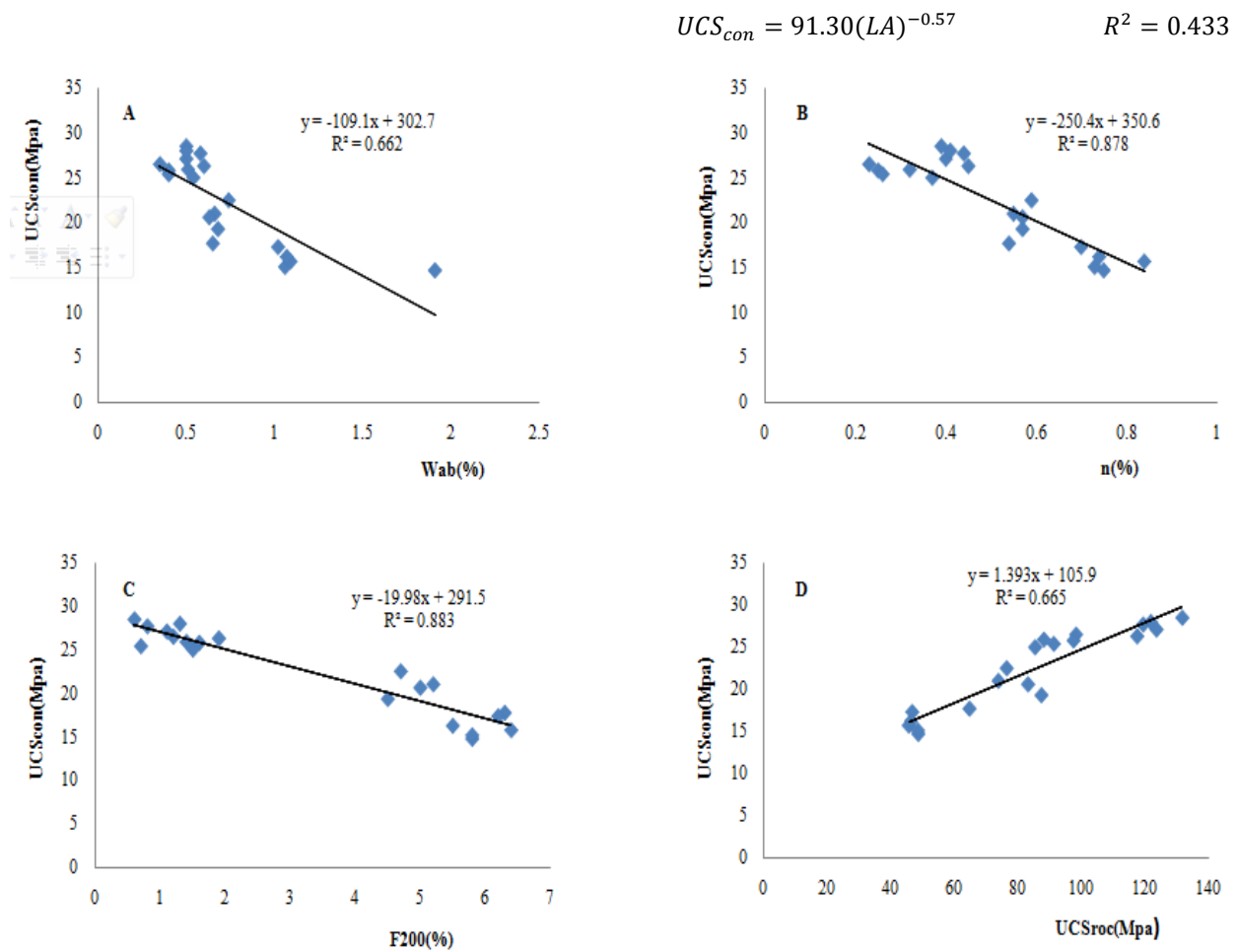
$$UCS_{con} = 1.393(UCS_{roc}) + 105.9 \quad R^2 = 0.665$$

(۸) رابطه درصد سایش لس‌آنجلس سنگهای آذرین منطقه (LA) با مقاومت فشاری بتن (UCS_{con})

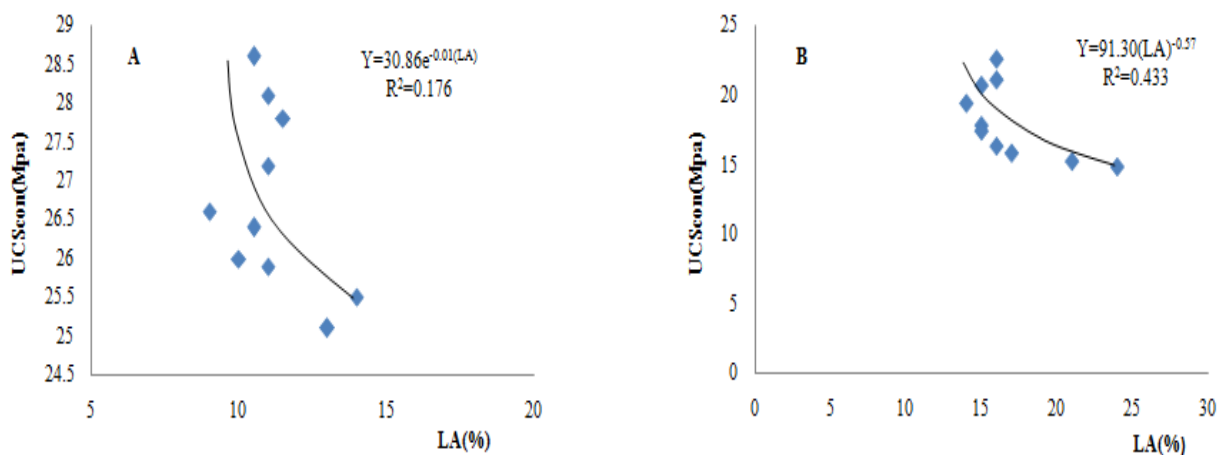
$$UCS_{con} = 30.86e^{-0.01(LA)} \quad R^2 = 0.176$$

(۹) رابطه درصد سایش لس‌آنجلس سنگهای رسوبی منطقه (LA) با مقاومت فشاری بتن (UCS_{con})

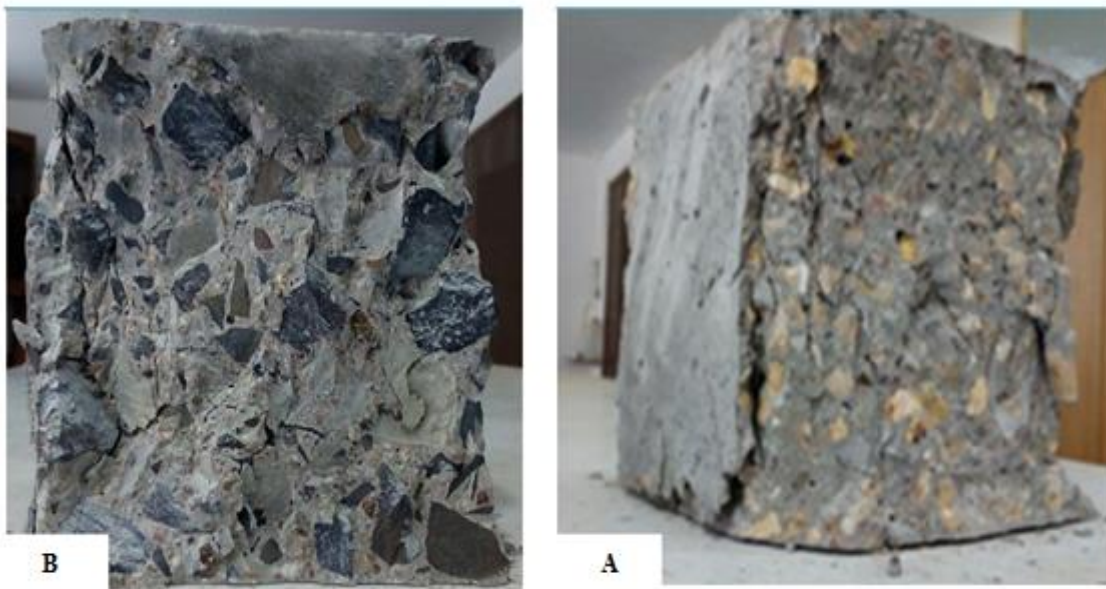
نمائی با ضریب همبستگی $R^2=0.176$ نشان داده شده که رابطه چندان قابل قبولی نمی‌باشد و میتوان گفت که ارتباط معناداری نمیتوان بین این دو پارامتر یافت (شکل ۶.۱). بررسیها نشان می‌دهند که تخلخل زیاد سنگدانه‌ها بر پیوندهای بین سنگدانه و خمیر سیمان تاثیر منفی داشته به طوریکه شرایط متغیر واکنش هیدراتاسیون در حین عمل‌آوری بتن رخ داده و منجر به رفتار مکانیکی متفاوت نمونه‌های بتنی شده است. همچنین افزایش تخلخل باعث افزایش جذب آب سنگدانه‌ها شده که در کاهش مقاومت فشاری بتن نقش موثری خواهد داشت. طبق استاندارد ملی ۳۰۲ ایران، حد مجاز مواد ریزتر از ۷۵ میکرون (درصد مواد ریزتر از ۲۰۰ مش) در سنگدانه ریز بتن حداکثر ۳ درصد و در سنگدانه درشت بتن حداکثر ۱ درصد می‌باشد. با توجه به نمودار شکل ۵-C-5 میتوان نتیجه گرفت که افزایش درصد مواد عبوری از ۲۰۰ مش باعث کاهش مقاومت بتن شده و این بدلیل تمیز نبودن سطح سنگدانه از ذرات خاک رس است که جزء مواد ریزتر از ۷۵ میکرون محسوب شده و باعث ایجاد پیوستگی بد بین خمیر سیمان و سنگدانه می‌شوند. تحقیقات نشان داده‌اند که پیوستگی بین سیمان و سنگدانه مهمترین عامل در افزایش مقاومت بتن می‌باشد ولی تاکنون عامل ایجاد کننده پیوستگی کاملا روشن نشده است و عوامل و پارامترهای مختلفی از قبیل؛ سطح ناصاف، تخلخل، ترکیب کانی شناسی غیر یکنواخت سنگدانه و عاری بودن سطح سنگدانه از ذرات خاک رس می‌توانند در ایجاد پیوستگی خوب بین سیمان و سنگدانه موثر باشند (Zheng and Zhou, 2013, Rangaraju et al., 2010). از طرفی هم بر طبق سری باون (Bowen, 1956) می‌توان گفت کانیهای مثل پیروکسن و سیلیکاتهای غنی از کلسیم که در دماهای بالا متبلور شده‌اند مقاومت کمتری نسبت به کانیهای مثل کوارتز که در دماهای پائین متبلور می‌شوند، در برابر فرسایش از خود نشان می‌دهند. حضور کانی پیروکسن در سنگهای گروه I مقاومت فرسایشی سنگ را کاهش داده و اثر هوازگی در کانیها مشاهده می‌شود. این هوازگی بر مقاومت سنگ و نهایتا مقاومت بتن اثرگذار است. همچنین، حضور کانی آواری از



شکل ۵. (A) درصد جذب آب (W_{ab}) نمونه سنگهای منطقه در برابر مقاومت فشاری بتن (UCS_{con}), (B) تخلخل سنگهای منطقه (n) در برابر مقاومت فشاری بتن, (C) درصد مواد ریزتر از ۷۵ میکرون سنگدانه‌های مورد مطالعه (F_{200}) در برابر مقاومت فشاری بتن, (D) مقاومت فشاری تک محوری نمونه سنگهای منطقه (UCS_{roc}) در برابر مقاومت فشاری بتن (UCS_{con})



شکل ۶. (A) درصد سایش لس آنجلس نمونه سنگهای آذرین منطقه (LA) در برابر مقاومت فشاری بتن، (B) درصد سایش لس آنجلس نمونه سنگهای رسوبی منطقه (LA) در برابر مقاومت فشاری بتن.



شکل ۷. مقاطع ماکروسکوپی نمونه بتن‌های ساخته شده: (A) بتن با سنگدانه گروه III (B) بتن با سنگدانه گروه II

۶. نتیجه گیری

پلاژیوکلاز می‌باشند از آنجا که این کانیها در سری واکنشی باون در دماهای پائین متبلور شده‌اند مقاومت بالایی در برابر هوازگی و فرسایش دارند همچنین مقدار مواد ریزتر از ۷۵ میکرون در سنگدانه‌های این گروه نسبتاً کمتر و مقاومت مغزه سنگ در آنها بالاست. بتن ساخته شده با سنگهای گروه IV هم بدلیل حضور کانی کلسیت و درصد ریزدانه بیش از حد مجاز و همچنین دانسیته پائین و تخلخل زیاد سنگ، مقاومت کمتری نسبت به سایر گروهها از خود نشان می‌دهند. بطورکلی میتوان گفت که سنگدانه‌های تولیدی از معادن سنگ آهک و دولومیت بدلیل حضور مواد ریز از نوع گل کربناته در زمینه سنگ و از آنجا که درصد مواد ریزتر از ۷۵ میکرون آنها بیش از سایر گروهها می‌باشد و همچنین بدلیل جذب آب شدید، موجب جمع‌شدگی واقعی سنگدانه در هنگام خشک شدن می‌شود که نتیجه این عمل کاهش مقاومت فشاری بتن سخت شده خواهد بود.

در این تحقیق بمنظور بررسی اثر مینرالوژی و ویژگی‌های مهندسی سنگ منبع بر مقاومت فشاری بتن، تعداد چهار معدن در منطقه نمین - اردبیل انتخاب و نمونه‌برداری از سنگ منبع و سنگدانه آنها انجام و آزمایشات کانی شناسی (شامل XRF و XRD و مقطع‌گیری و تفسیر میکروسکوپی) و مهندسی (شامل مقاومت مغزه، دانسیته، تخلخل، جذب آب، سایش لس آنجلس و مواد ریزتر از ۷۵ میکرون) بر روی آنها انجام یافت. سپس نمونه‌های بتن در قالبهای مکعبی ۱۵×۱۵×۱۵ سانتیمتر در آزمایشگاه تهیه شد بطوریکه در تمامی طرحها نسبت W/C ثابت نگه داشته شده است. سپس آزمایش تعیین مقاومت فشاری بتن انجام و نتایج آزمایشات از طریق روابط همبستگی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. بررسیها نشان می‌دهند که بتن‌های ساخته شده با سنگهای گروه II نسبت به سایر گروهها مقاومت فشاری بالایی از خود نشان داده‌اند و این بدلیل پیوستگی خوب خمیرسیمان و سنگدانه بوده که تحت تاثیر حضور کانیهای مقاوم مثل آمفیبول و بیوتیت و

منابع

- امیرکیایی، و.، قاسمی، و.، فرامرزی، ل.، ۱۳۹۹، "ارزیابی دوام طولانی مدت سنگهای ساختمانی کربناته بعد از چرخه های ذوب و انجماد"، مجله انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران، جلد سیزدهم، پائیز ۹۹، شماره ۳، صفحه ۶۷-۸۱.
- پیران قرنی، س.، جاوید، ا.ح.، قدوی، ج.، ۱۳۹۷، "بررسی تاثیر سازندهای زمین‌شناسی بر روی کیفیت منابع اب زیرزمینی (مطالعه موردی؛ دشت اردبیل)، نشریه علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره ۲۰، شماره ۳، ص. ۱ تا ۱۰.
- خانلری، غ.، ناصری، ف.، عثمان پور، آ.، ۱۳۹۷، معرفی شاخص جدید سنگدانه (AI) با استفاده از ویژگیهای پتروگرافی و ژئومکانیکی (مطالعه موردی: سنگ آهکهای استان همدان، نشریه زمین‌شناسی مهندسی ایران، شماره ۱-۲).
- سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۹، استاندارد ملی شماره ۳۰۲: سنگدانه های بتن-ویژگیها، ویرایش چهارم. ۴۶ ص.
- شعبانی، م.، پیرمحمدی علیشاه، ف.، ۱۳۹۷، بررسی و شناسایی کیفیت سنگدانه‌های بتن در برابر زلزله در شهرستان میانه، کنفرانس عمران، معماری و شهرسازی کشورهای جهان اسلام، تبریز.
- عقیلی لطف، م.، رمضانیانپور، ا.م.، ۱۳۹۷، بررسی همبستگی بین پارامترهای مختلف فیزیکی و مکانیکی بتن های ساخته شده با سنگدانه بازیافتی بتنی، نشریه فنی مهندسی مدرس، دوره ۱۸، شماره ۳، ص. ۱۵۳-۱۶۷.
- فتاحی، م.، خبیری، م.م.، یار احمدی بافقی، ع.، ۱۳۹۷، اثر کاربرد سنگدانه های باطله معدنی بر عملکرد مقاومتی روسازی بتن غلتکی، پژوهشنامه حمل و نقل، دوره ۱۵، شماره ۵۵، ص. ۱۱۹-۱۳۴.
- قلمقاش، ج.، کتابی، ز.، ۱۳۹۹، "بررسی و مقایسه پتروگرافی و ژئوشیمی سنگ های آتشفشانی قدیمی و جوان سبلان"، بیست و سومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تهران.
- مبشرگرمی، م.، جهانگیری، ا.، ۱۳۹۶، زمین‌شناسی و سنگ زائی منشورهای بازالتی جنوب شهرستان گرمی (استان اردبیل)، نشریه پترولوژی، دوره ۸، شماره ۳۱، ص. ۱۶۵ تا ۱۸۸.
- ACI-211.1-91: American Concrete Institute, 2002, "Standard for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight and Mass Concrete, Farmington Hills, MI, USA.
- Ahlich, A.C., 1996, "Influence of aggregate properties on heavy duty pavements", Transportation Research Record No.1547, Transportation Research Board, Washington DC, pp. 8-14.
- Amritkar, S.S., Chandak, S.N., Patil, S.S., Jadhav, R.A., 2015, "Effect of waste foundry sand (WFS) on the mechanical properties of concrete with artificial sand as fine aggregate", Int. J. Eng. Res. Technol. 4, 390-393.
- ASTM C39M, 2014, "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens".
- ASTM C117, 2013, "Standard Test Method for Materials Finer than 75-micron (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing".
- ASTM C131, 2009, "Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine".
- ASTM C136, 2006, "Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates".
- ASTM C192M, 2013, "Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory".
- ASTM D4318-17e1, 2017, "Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils", ASTM International, West Conshohocken.
- ASTM D4543-19, 2019, "Standard Practices for Preparing Rock Core as Cylindrical Test Specimens and Verifying Conformance to Dimensional and Shape Tolerances". ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Aquino, C., Inoue, M., Miura, H., Mizuta, M., Okamoto, T., 2010, "The effects of limestone aggregate on concrete properties", Construction and Building Materials, Vol. 24 (12): 2363-2368.
- Bismark, M., Charle, K., Thomas, B., 2018, "Effect of quarry rock dust on the flexural strength of concrete", Case Studies in Construction Materials, V.8, P.16-22.
- Bowen, N.L., 1956, "The Evolution of the Igneous Rocks", Canada: Dover. pp. 60-62.

- Dunham, R. J., 1962, "Classification of carbonate Rocks according to depositional texture". In: Ham, W. E. (ed.), Classification of carbonate Rocks: American Association of Petroleum Geologists Memoir, p. 108-121.
- EN932:European Standard, 1996, Part 3: Procedure and Terminology for Simplified Petrographic Description, Warsaw, Poland.
- Folk, R.L., 1962, Spectral subdivision of limestone types, in Ham, W.E., ed., Classification of carbonate Rocks-A Symposium: American Association of Petroleum Geologists Memoir 1, p. 62-84.
- Giannakopoulou, P.P., Tsikouras, B., Hatzipanagiotou, K., 2016, "The interdependence of mechanical properties of ultramafic rocks from Gerania ophiolitic complex", Bull. Geol. Soc. Greece 2016, 50, 1829-1837.
- Gogoi, I.B., Goaswami, D., Deka, G., 2015, "A Study of River-Borne Aggregates of River Nanoi as Construction Material", SSRG International Journal of Civil Engineering (SSRG-IJCE), vol. 2, no. 5.
- Gonilho Pereira, C., Castro-Gomes, J., Pereira de Oliveira, L., 2009, "Influence of natural coarse aggregate size, mineralogy and water content on the permeability of structural concrete", Constr. Build. Mater., 23, 602-608.
- Hossain, M.S., Parker, F., Kandhal, P.S., 2000, "Comparison and evaluation of tests for coarse aggregate particle shape, angularity, and surface texture, Journal of testing and Evaluation", 28 (2), pp. 77-7.
- ISRM Suggested Methods, 1981, "Rock Characterization Testing and Monitoring", Brown, E., Ed.; Pergamon Press: Oxford, UK, 211p.
- Kanan, K., Subramanian, M.A., Aleen, J., 2014, "Optimum mix as partial replacement of fine aggregate in concrete", Int. J. Res. Eng. Technol. Manag. 2, P.1-5.
- Li, P.P., Yu, Q.L., Brouwers, H.J.H., 2018, "Effect of coarse Basalt Aggregates on the properties of ultra-high performance Concrete. Construction and Building Materials", V.170, P:649-659.
- Mibei, G., 2014, "Introduction to type and classification of rocks", Exploration for Geothermal Resources, Kenya. Nov.2-24.
- Özturan, T., Çeçen, C., 2007, "Effect of coarse aggregate type on mechanical properties of concretes with different strengths", Cem. Concr., 27, 165-170.
- Petrounias, P., Giannakopoulou, P.P., Rogkala, A., Lampropoulou, P., Koutsopoulou, E., Papoulis, D., Tsikouras, B., Hatzipanagiotou, K., 2018, "The Impact of Secondary Phyllosilicate Minerals on the Engineering Properties of Various Igneous Aggregates from Greece", Minerals, 8, 329.
- Piasta, W., Góra, J., Turkiewicz, T., 2016, "Properties and durability of coarse igneous rock aggregates and concretes", Constr. Build. Mater., 126, 119-129.
- Poloju, K.K., Anil, V., Manchiryal, R.K., 2017, "Properties of Concrete as Influenced by Shape and Texture of Fine Aggregat" American Journal of Applied Scientific Research, No3(3):28-36.
- Rangaraju, P.R., Olek, J., Diamond, S., 2010, "An investigation into the influence of inter-aggregate spacing and the extent of the ITZ on properties of Portland cement concretes", Cement and Concrete Research, Volume 40, Issue 11, November, Pages. 1601-1608.
- Rigopoulos, I., Tsikouras, B., Pomonis, P., Hatzipanagiotou, K., 2012, "The impact of petrographic characteristics on the engineering properties of ultrabasic rocks from northern and central Greece", Q. J. Eng. Geol. Hydrogeol, 45, 423-433.
- Rahman, M.A., Imteaz, M., Arulrajah, A., Disfani, M.M., 2015, "Suitability of recycled construction and demolition aggregates as alternative pipe backfilling materials", J. Clean. Prod. 66, 75-84.
- Saawati, C.P., Jaykrushna, K.R., Palas, A.S., Jay, G.M., Ankti, N.P., 2013, "Application of waste foundry sand for evolution of low cost concrete", Int. J. Eng. Trends. Technol. 4, 4281-4286.
- Thorpe, M.T., Rogers, D., Bristow, F., Pan, C., 2015, "Quantitative compositional analysis of sedimentary materials using thermal emission spectroscopy: Application to sedimentary rocks", Journal of Geophysical Research: Planets, By Doi: 10.1002/2015JE004863.
- Wright, P.J.F., 1955, "A method for measuring the surface texture of aggregate", Magazine of Concrete Research, 5 (2), pp.151-160.
- Yilmaz, M.; Tugrul, A., 2012, "The effects of different sandstone aggregates on concrete strength", Constr. Build. Mater., 35, 294-303.

-
- Yilmaz, N.G., Goktan, R.M., Kibici, Y.,2011,"Relations between some quantitative petrographic characteristics and mechanical strength properties of granitic building stones',*Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 48, 506–513.
- Zheng, J.J., Zhou, X.Z., 2013,"Effective medium method for predicating the chloride diffusivity in concrete", eith ITZ percolation effect *Construction and Building Material*, Volume 47,October,page.1093-1098.