

## بررسی شاخص یخ‌زدگی-آب‌شدگی مصالح شن و ماسه در محیط‌های مختلف در منطقه دیره در استان کرمانشاه

کازم بهرامی<sup>۱</sup>، سید محمود فاطمی عقدا<sup>۲\*</sup>، علی نورزاد<sup>۳</sup> و مهدی تلخابلو<sup>۴</sup>

۱. دکتری زمین‌شناسی مهندسی، گروه زمین‌شناسی کاربردی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی
۲. استاد زمین‌شناسی مهندسی، گروه زمین‌شناسی کاربردی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی
۳. دانشیار گروه مهندسی ژئوتکنیک و حمل و نقل، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی
۴. استادیار، گروه زمین‌شناسی کاربردی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۱/۲۱

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۴/۱۹

### چکیده

با توجه به تأثیری که محیط‌های زمین‌شناسی تجمع سنگ‌دانه‌های طبیعی می‌تواند در میزان افت وزنی ناشی از یخ‌زدگی-آب‌شدگی سنگ‌دانه‌ها داشته باشد، در این پژوهش، ارتباط محیط‌های زمین‌شناسی و میزان افت وزنی سنگ‌دانه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. محل‌های نمونه‌برداری شامل دو واریزه، ۱۲ مخروط‌افکنه و سه بستر رودخانه‌ای بوده و از هر محل دو نمونه برداشته شده است. لیتولوژی حوضه بالادست برای همه نمونه‌ها یکسان و شامل آهک آسماری است.

نمونه‌های برداشت شده به آزمایشگاه منتقل و میزان افت وزنی ناشی از یخ‌زدگی-آب‌شدگی مطابق با استاندارد TEX-432-A به دست آمد. همچنین درصد سنگ‌دانه‌های دارای درزه از طریق بررسی‌های چشمی اندازه‌گیری شد. نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که محیط‌های واریزه‌ای بیشترین میزان افت وزنی (۱۴ درصد برای اندازه ۱۹-۱۶ mm) و محیط‌های رودخانه‌ای کمترین میزان افت وزنی (کمتر از یک درصد برای اندازه ۴/۷۵-۲/۳۶ mm) را دارند. مخروط‌افکنه‌ها نیز حالتی حد واسطه این دو را دارند. با افزایش مساحت حوضه بالادست از ۲۵ تا ۳۰۹ هکتار و افزایش طول آبراهه اصلی از یک تا بیش از سه کیلومتر میزان افت وزنی کاهش می‌یابد. مهم‌ترین علت این اختلاف میزان افت وزنی شدت درزه‌داری سنگ‌دانه‌ها و تخلخل ناشی از هوازدگی بیشتر در محیط‌های واریزه‌ای است که به ترتیب در محیط‌های مخروط‌افکنه‌ای و رودخانه‌ای کمتر می‌شود. اندازه سنگ‌دانه‌ها نیز بر روی میزان افت وزنی تأثیرگذار است به طوری که با افزایش اندازه، میزان افت وزنی افزایش می‌یابد. ارتباط اندازه ذرات با میزان افت وزنی متأثر از محیط‌های زمین‌شناسی است. در محیط‌های واریزه‌ای و مخروط‌افکنه‌های با حوضه بالادست کوچک اختلاف افت وزنی سنگ‌دانه‌های درشت و ریز بیشتر است و در بسترهای رودخانه‌ای و مخروط‌افکنه‌های با حوضه بالادست بزرگ اختلاف افت وزنی سنگ‌دانه‌های درشت و ریز کمتر است. در واقع در بسترهای رودخانه‌ای و مخروط‌افکنه‌های دارای حوضه بالادستی بزرگ اثر اندازه ذرات در میزان افت وزنی کاهش یا از بین می‌رود.

واژه‌های کلیدی: مخروط‌افکنه، محیط‌های زمین‌شناسی، سنگ‌دانه، یخ‌زدگی-آب‌شدگی.

\* نویسنده مرتبط: fatemi@khu.ac.ir

## مقدمه

رسوبی، فرایندهای یخزدگی-آبشستگی اثر شدیدتری بر روی آن‌ها دارند (Wang et al., 2016). درزه‌ها نیز اثر زیادی در تخریب ناشی از یخزدگی-آبشستگی سنگ‌دانه‌ها دارند (Washburn, 1979; Matsuoka, 1990; Yavuz et al., 2006). در واقع فرایند تخریب ناشی یخزدگی-آبشستگی سنگ‌ها و سنگ‌دانه‌ها به صورت توسعه و بزرگ شدن درزه‌های از قبل موجود است و در امتداد ریزترک‌های موجود، سنگ‌دانه‌ها گسیخته می‌شوند (Washburn, 1979; Kang et al., 2014). علاوه بر ویژگی‌های سنگ‌شناسی، محیط زمین‌شناسی که سنگ‌دانه‌ها در آن تجمع پیدا کرده‌اند بر روی مقاومت سنگ‌دانه‌ها در برابر یخزدگی-آبشستگی اثرگذار است.

رودخانه‌ها، مخروط‌افکنه‌ها و واریزه‌ها از مهم‌ترین محل‌های تجمع سنگ‌دانه‌ها هستند. شدت و نوع فرایندهای زمین‌شناسی اثرگذار در محیط‌های زمین‌شناسی مختلف متفاوت است. فرایندهای زمین‌شناسی از جمله هوازدگی و انتقال ذرات می‌توانند باعث تغییراتی در سنگدانه‌های طبیعی و به دنبال آن مقاومت در برابر یخزدگی-آبشستگی آن‌ها شدند. هوازدگی شیمیایی سنگ‌ها معمولاً باعث ایجاد کانی‌ها و بخش‌های سست‌تر از سنگ اصلی و مادر می‌شود. انتقال ذرات توسط جریان آب باعث سایش سنگ‌دانه‌ها به هم‌دیگر می‌شود و بخش‌های ضعیف و سست را حذف می‌کند (Neville and Brooks, 2010). همچنین سنگ‌دانه‌ها به علت برخورد با یکدیگر و با بستر رودخانه از محل ریزترک‌ها شکسته می‌شوند و در حین فرایند انتقال میزان ریزترک‌های موجود در آن‌ها کاهش می‌یابد. بنابراین هوازدگی و انتقال ذرات اثری متضاد در مقاومت در برابر یخزدگی-آبشستگی سنگ‌دانه‌ها دارند. این دو فرایند در محیط‌های زمین‌شناسی و مخروط‌افکنه‌های مختلف، شدت اثر متفاوتی دارند. در محیط‌های رودخانه‌ای به علت اثر مداوم انتقال ذرات، بخش‌های هوازده و ضعیف سنگ‌دانه از بین می‌رود، همچنین سنگ‌دانه‌ها به علت برخورد به هم‌دیگر از محل سطوح ضعیف درزه و ناپیوستگی شکسته می‌شوند و در طول فرایند حمل، میزان درزه‌داری

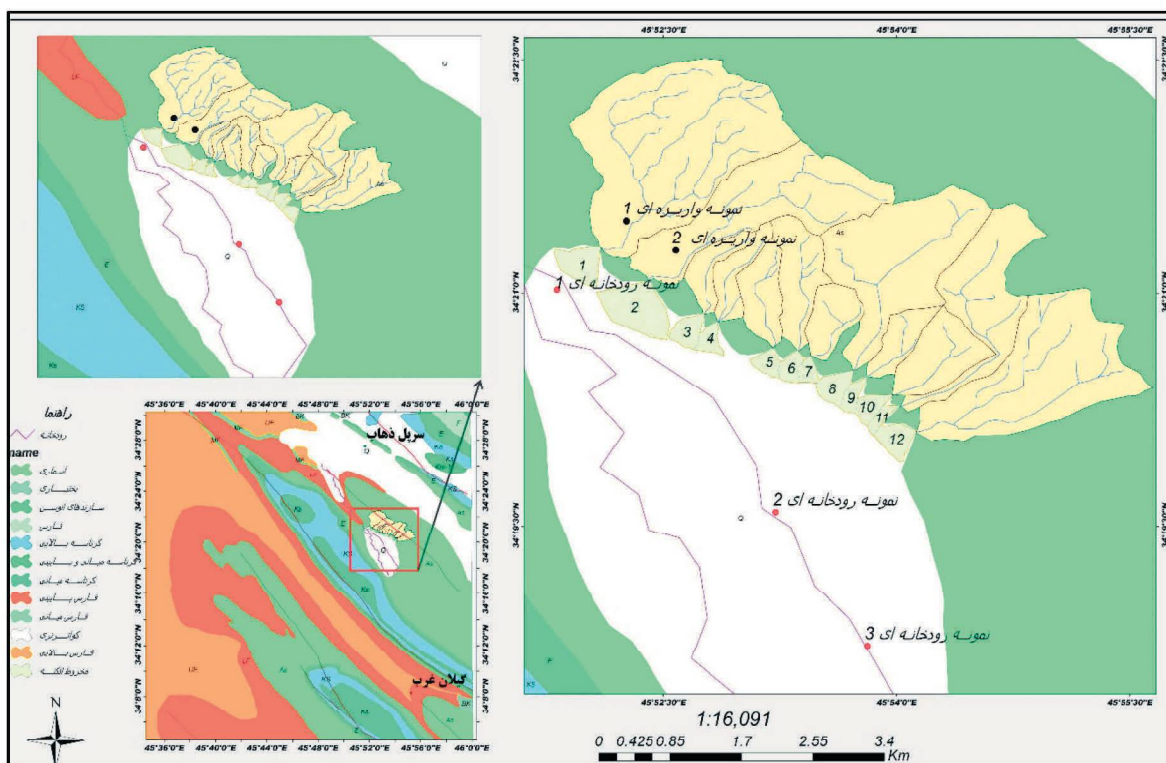
مقاومت در برابر سیکل‌های یخزدگی-آبشستگی یکی از ویژگی‌های مهمی است که در به‌کارگیری سنگ‌دانه‌ها در مناطق سردسیر و در معرض آب باید مورد توجه قرار گیرد. در چنین محیط‌هایی دوام و پایداری بتن متأثر از مقاومت سنگ‌دانه در برابر یخزدگی-آبشستگی است (Smith and Collis, 2001; Piasta et al., 2016). استفاده از سنگ‌دانه‌های ضعیف در ملات‌های مقاوم منجر به تخریب بتن در اثر یخزدگی-آبشستگی خواهد شد (ACI 201.2R-08, 2008; 221R-96, 2001). تخریب سنگ‌دانه‌های مرطوب به علت انبساط ناشی از چرخه‌های یخزدگی-آبشستگی یکی از عوامل مهم در هوازدگی سنگ‌ها و سنگ‌دانه‌ها در مناطق سردسیر است (Seto, 2010; Kang et al., 2013; Kang et al., 2014). تخریب سنگ‌ها و سنگ‌دانه‌ها به علت فرایند یخزدگی-آبشستگی عمدتاً به صورت ایجاد و توسعه ترک‌ها انجام می‌شود (Kang et al., 2013; Matsuoka, 1990). استفاده از سنگ‌دانه‌های ضعیف در مقابل یخزدگی-آبشستگی عمدتاً باعث ایجاد ترک‌هایی در بتن می‌شود که به آن ترک‌های D شکل می‌گویند (Yang and Chen, 2004; Neville and Brooks, 2010). اندازه فضا‌های خالی بر روی مقاومت سنگ‌دانه‌ها در برابر یخزدگی-آبشستگی اثرگذار است. فضا‌های خالی خیلی بزرگ و خیلی کوچک تخریب ناشی از یخزدگی را کاهش می‌دهند. فضا‌های خالی کوچک به علت کاهش نفوذپذیری سنگ‌دانه باعث کاهش تخریب ناشی یخزدگی-آبشستگی می‌شوند و فضا‌های خالی بزرگ نیز به طور کامل اشباع نمی‌شوند و شدت تخریب ناشی از یخزدگی-آبشستگی را کاهش می‌دهند. حفره‌ها با اندازه  $1/10$  تا پنج میکرون بیشترین میزان تخریب در سنگ‌دانه‌ها را ایجاد می‌کنند (Alexander and Mindess, 2005). مقاومت در برابر یخزدگی تحت تأثیر ویژگی‌های مختلفی از جمله ترکیب سنگ‌شناسی، تخلخل، میزان جذب آب، مقاومت، شدت هوازدگی قرار می‌گیرد (Smith and Collis, 2001; Mindess et al., 2003; Alexander and Mindess, 2005). به علت تخلخل و ترکیب کانی‌شناسی سنگ‌های

و فرسایش سازند آسماری در ارتفاعات می‌باشد. به صورت بسیار محدود و جزئی برونزدهایی از سازند گچساران در اطراف منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود که بیشتر به علت ضخامت کم، انحلال‌پذیری و فرسایش‌پذیری بسیار بالا، رخنمون‌ها بسیار ناچیز است. منطقه از نظر آب و هوایی دارای زمستان‌هایی ملایم و تابستان‌های گرم است. با این وجود به علت قرارگیری این منطقه در حفاصل رشته کوه زاگرس و بیابان‌های عراق تفاوت دمای شب و روز بسیار زیاد است. در طول شب به علت وزش باد از مناطق سرد کوهستانی دما به شدت کاهش می‌یابد. تعداد روزهای یخبندان در ایستگاه هواشناسی شهر سرپل ذهاب که کمترین فاصله را با محل نمونه‌برداری دارد، در دوره آماری سال ۶۶ تا ۷۷، ۲۱ روز است که می‌تواند باعث تخریب سنگ‌دانه‌ها به علت فرایند یخزدگی-آب‌شدگی شود (Karimi et al., 2005)؛ شرکت خدمات مهندسی جهاد سازندگی استان کرمانشاه، ۱۳۷۹). شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

آن‌ها کاهش می‌یابد. در محیط‌های واریزه‌ای میزان حمل ذرات کم‌تر است. در این حالت ریزترک‌ها درون سنگ‌ها و سنگ‌دانه‌ها باقی می‌مانند. مخروط‌افکنه‌ها نیز بیشتر حالتی حدواسط بین محیط‌های رودخانه‌ای و واریزه‌ای قرار دارند. فرایند انتقال ذرات و شدت انرژی جریان در مخروط‌افکنه‌ها متأثر از ویژگی‌های مورفومتری حوضه بالادست مخروط‌افکنه‌ها مثل مساحت، شیب و طول مسیر جریان اصلی حوضه بالادست مخروط‌افکنه‌ها است. هدف این پژوهش، بررسی مقاومت سنگ‌دانه‌ها در برابر سیکل‌های یخزدگی-آب‌شدگی در محیط‌های مختلف واریزه‌ای، مخروط‌افکنه‌ای و رودخانه‌ای است.

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخش شمال غربی حوضه دیره واقع در حفاصل بین شهرهای گیلان‌غرب و سرپل ذهاب است. پوشش اصلی این منطقه از نظر چینه‌شناسی از سازند آسماری و رسوبات آبرفتی کواترنر تشکیل شده است. مناطق کوهستانی متشکل از سازند آسماری و مناطق پست و ناودیدی از رسوبات کواترنری است که حاصل هوازدگی



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه و محل‌های نمونه‌برداری (شرکت ملی نفت ایران، ۱۹۷۳).

سازند آسماری و داشتن شرایط سنگ‌شناسی مشابه، انتخاب شد. با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای محیط‌های مختلف انتخاب شد و برای کنترل سنگ‌شناسی یکسان بازدیدهای میدانی دقیقی از حوضه بالادست محل‌های انتخاب شده انجام شد. در نهایت ۱۲ مخروط‌افکنه، دو واریزه و سه محل در امتداد رودخانه دیره برای نمونه‌برداری انتخاب شد. محل تغذیه رسوب در همه این محیط‌ها سازند آسماری است. محیط‌های مختلف در امتداد یا حاشیه یکدیگر واقع شده‌اند و تفاوت سنگ‌شناسی محل تغذیه رسوبات در آن‌ها بسیار کم و ناچیز است. بعد از انتخاب محیط‌های مختلف از طریق مطالعات میدانی نیز جنس سنگ‌دانه‌های تجمع یافته در هر محیط نیز مورد بررسی قرار گرفت. رسوبات تجمع یافته در همه محیط‌های انتخاب شده دارای ترکیب آهکی و از سازند آسماری است. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های توپوگرافی مساحت، شیب و طول مسیر آبراهه اصلی در ۱۲ مخروط‌افکنه مختلف به دست آمد. نمونه‌برداری از وسط نیم‌رخ طولی مخروط‌افکنه‌ها، از بخش پایین واریزه‌ها و حاشیه رودخانه دیره انجام شد. به‌منظور حذف اثرات احتمالی فعالیت‌های انسانی بر روی سنگ‌دانه‌های سطحی نمونه‌برداری بعد از برداشتن و حذف ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر از سطح رسوبات تجمع یافته در مخروط‌افکنه‌ها انجام شده است. به‌منظور افزایش دقت نتایج آزمایش یخ‌زدگی-آب‌شدگی از هر محل دو نمونه برداشت شده و آزمایش یخ‌زدگی-آب‌شدگی بر روی هر دو نمونه مطابق با استاندارد TEX-432-A (۲۰۱۴) صورت گرفت. میانگین دو نتیجه به‌دست آمده به‌عنوان میزان افت وزنی ناشی از یخ‌زدگی-آب‌شدگی در نظر گرفته شد. همچنین درزه‌داری سنگ‌دانه‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفت و درصد سنگ‌دانه‌های داری درزه از طریق بررسی‌های چشمی برای ۱۵۰ سنگ‌دانه با اندازه ۲۵-۳۷/۵، ۲۵-۱۹، ۱۶-۱۲/۵ میلی‌متر (هر اندازه ۵۰ سنگ‌دانه) به‌دست آمد. نتایج آزمایش‌های به‌دست آمده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و روابط بین مقاومت سنگ‌دانه‌ها در برابر یخ‌زدگی-آب‌شدگی

این منطقه از نظر تقسیم‌بندی‌های زمین‌ساختی جزو آگرس چین‌خورده است. مجموعه بسیار زیاد و منظمی از سیستم‌های شکستگی و گسل در این منطقه بخصوص در ارتفاعات دیده می‌شود. این منطقه از نظر تکتونیکی فعال است و شواهد تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی در الگوی شبکه‌های زهکشی و هندسه مخروط‌افکنه‌ها دیده می‌شود (Bahrami, 2013). منطقه مورد مطالعه از نظر ژئومورفولوژیکی متشکل از واحدهای کوهستان، واریزه‌ها، مخروط‌افکنه‌ها، دشت‌های سیلابی و رودخانه است. واحد کوهستان متشکل از سازند آسماری است و منشاء رسوبات موجود در واریزه‌ها، مخروط‌افکنه‌ها، دشت‌های سیلابی و رودخانه‌ای است. در حد فاصل کوهستان و دشت، مخروط‌افکنه‌ها بخش اصلی پوشش منطقه را تشکیل می‌دهند. حوضه بالادست تمامی مخروط‌افکنه‌ها از سازند آسماری است و رسوبات موجود در تمامی مخروط‌افکنه‌ها مورد مطالعه از سازند آسماری منشاء گرفته است. این موضوع توسط مطالعات و بازدیدهای دقیق میدانی نیز مورد بررسی قرار گرفته است. برای بررسی ارتباط بین مساحت حوضه بالادست مخروط‌افکنه‌ها با ویژگی‌های مخروط‌افکنه‌ها باید شرایط سنگ‌شناسی را مشابه هم در نظر گرفت و اثرات سنگ‌شناسی در تفاوت ویژگی‌های سنگ‌دانه‌ها را حذف کرد. در این راستا انتخاب مخروط‌افکنه‌ها به‌گونه‌ای صورت گرفته که حوضه بالادست مخروط‌افکنه‌ها از نظر ویژگی‌های سنگ‌شناسی مشابه هم باشند.

## روش مطالعه

با توجه به اثری که ویژگی‌های سنگ‌شناسی در مقاومت سنگ‌دانه‌ها در برابر یخ‌زدگی-آب‌شدگی دارند اولین قدم در این تحقیق یافتن محیط‌های واریزه‌ای، مخروط‌افکنه و رودخانه‌ای است که تا حد امکان دارای ویژگی‌های سنگ‌شناسی مشابهی باشند. بدین منظور ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های زمین‌شناسی، محدوده بین شهرهای گیلان غرب و سرپل ذهاب مورد بررسی قرار گرفت. منطقه شمال غرب حوضه دیره در حد فاصل بین گیلان غرب-سرپل ذهاب به علت گسترش خیلی زیاد

نیز در میزان افت وزنی سنگ‌دانه‌ها بررسی شده است. ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های توپوگرافی و بازبیده‌های میدانی محدوده بالادست مخروط‌افکنه‌ها و مشخصات کانال‌های جریان مشخص شد. سپس مساحت، شیب و طول آبراهه اصلی حوضه بالادست مخروط‌افکنه‌ها اندازه‌گیری شد. جدول ۱ مساحت، شیب و طول آبراهه اصلی حوضه بالادست ۱۲ مخروط‌افکنه مورد مطالعه در این پژوهش را نشان می‌دهد.

با محیط‌های زمین‌شناسی مختلف و ویژگی‌های مورفومتری حوضه‌های بالادست مخروط‌افکنه به‌دست آمد. در تجزیه و تحلیل نتایج از روابط بین درزه‌داری با محیط‌های مختلف و میزان افت وزنی سنگ‌دانه‌ها نیز استفاده شد.

### بحث

در این پژوهش علاوه بر بررسی ارتباط محیط‌های مختلف با میزان افت وزنی ناشی از بجزدگی-آب‌شدگی تأثیر ویژگی‌های مورفومتری حوضه بالادست مخروط‌افکنه‌ها

جدول ۱. مشخصات حوضه بالادستی مخروط‌افکنه‌ها

ردیف	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
مساحت (هکتار)	۳۰۹	۱۷۶	۲۵	۲۷	۴۰	۵۹	۲۹	۱۷۰	۳۳	۳۴	۱۳۲	۲۰۶
طول مسیر جریان اصلی (متر)	۳۳۶۶	۱۸۵۵	۱۱۶۷	۱۱۴۳	۱۳۱۴	۱۴۸۴	۹۵۱	۲۵۶۹	۹۴۶	۱۲۲۳	۲۸۰۳	۲۵۳۱
شیب (درصد)	۴/۳۶	۳/۳۷	۳/۳۹	۹/۴۳	۲/۳۸	۷/۴۹	۲/۴۳	۴/۴۱	۴/۵۵	۶/۴۵	۱/۳۳	۳/۴۴

### مطالعات سنگ‌شناسی

داده شد. جدول ۲ نتایج این بررسی‌ها را نشان می‌دهد. برای انجام مطالعات میکروسکوپی ۱۰ محل انتخاب و از هر محل ۱۵ مقطع نازک تهیه شد. نتایج بررسی‌های به‌عمل‌آمده در جدول ۳ ارائه شده است.

مطالعات سنگ‌شناسی در دو سطح ماکروسکوپی و میکروسکوپی انجام شد. برای انجام مطالعات ماکروسکوپی از هر محیط ۵۰ سنگ‌دانه در اندازه دو تا سه اینچ برداشت شده و با استفاده از مشخصات ظاهری نوع سنگ تشخیص

جدول ۲. نتایج مطالعات ماکروسکوپی سنگ‌شناسی نمونه‌های برداشت شده

نوع سنگ			نوع محیط	نوع سنگ			نوع محیط
مارن (%)	آهک مارنی (%)	آهک (%)		مارن (%)	آهک مارنی (%)	آهک (%)	
۹۰	۸	۲	رأس مخروط افکنه شماره ۹	۸۶	۸	۶	رأس مخروط افکنه شماره ۱
۹۰	۶	۴	رأس مخروط افکنه شماره ۱۰	۹۰	۸	۲	وسط مخروط افکنه شماره ۱
۸۸	۸	۴	رأس مخروط افکنه شماره ۱۱	۸۸	۸	۴	رأس مخروط افکنه شماره ۲
۸۸	۱۰	۲	رأس مخروط افکنه شماره ۱۲	۹۲	۶	۲	وسط مخروط افکنه شماره ۲
۸۴	۱۰	۶	واریزه شماره ۱	۸۸	۸	۴	رأس مخروط افکنه شماره ۳
۸۴	۸	۸	واریزه شماره ۲	۹۰	۶	۴	رأس مخروط افکنه شماره ۴
۹۶	۴	۰	رودخانه شماره ۱	۸۸	۱۰	۲	رأس مخروط افکنه شماره ۵
۹۴	۶	۰	رودخانه شماره ۲	۹۰	۶	۴	رأس مخروط افکنه شماره ۶
۹۴	۴	۲	رودخانه شماره ۳	۹۲	۶	۲	رأس مخروط افکنه شماره ۷
				۸۶	۸	۶	رأس مخروط افکنه شماره ۸

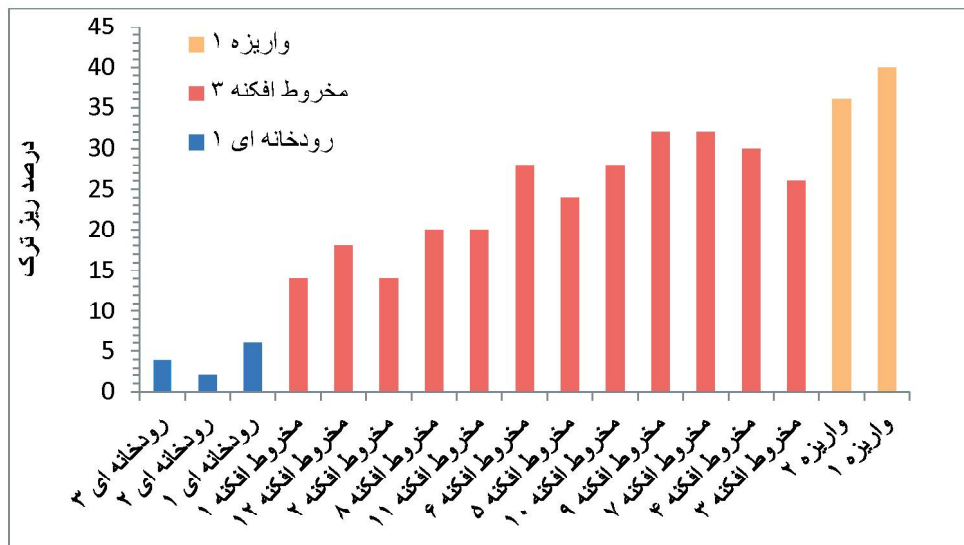
جدول ۳. جنس سنگ در مقاطع نازک تهیه شده از محیط‌های مختلف

تعداد کل مقاطع	نوع محیط	نوع سنگ			
		آهک‌های دولومیتی شده (تعداد مقاطع)	مادستون	وکستون	پکستون
۱۵	رأس مخروط افکنه شماره ۱	۳	۱		۳
۱۵	وسط مخروط افکنه شماره ۱	۳			۳
۱۵	رأس مخروط افکنه شماره ۲	۲		۱	۳
۱۵	وسط مخروط افکنه شماره ۲	۲	۱		۳
۱۵	رأس مخروط افکنه شماره ۷	۳			۴
۱۵	رأس مخروط افکنه شماره ۸	۳		۱	۲
۱۵	واریزه شماره ۱	۲	۲	۱	۲
۱۵	واریزه شماره ۲	۲	۲	۱	۲
۱۵	رودخانه شماره ۱	۳			۳
۱۵	رودخانه شماره ۲	۲			۴

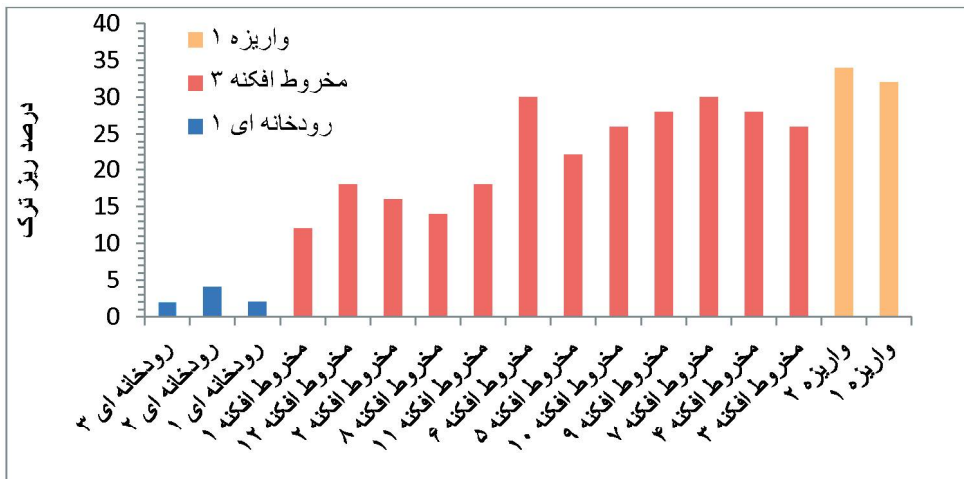
## درزه و ترک

درزه‌ها و ناپیوستگی‌های بسیار ریزی که درون سنگ‌دانه‌ها وجود دارند از جمله مهم‌ترین نقاط ضعف سنگ‌دانه‌ها هستند. درزه‌ها و ناپیوستگی‌ها می‌توانند اولیه یا ثانویه باشند. لایه‌بندی و ساختارهای رسوبی از جمله ناپیوستگی‌های اولیه هستند و تکتونیک، یخزدگی-آب‌شدگی و تنش‌های حرارتی از جمله مهم‌ترین عوامل ایجاد ناپیوستگی‌های ثانویه هستند. تأثیر این عوامل بستگی به شرایط اقلیمی و زمین‌شناسی مناطق و حتی جنس سنگ‌ها متفاوت است. در مناطق فعال زمین‌ساختی، نیروهای تکتونیک مهم‌ترین عامل ایجاد ترک در سنگ‌ها هستند. به نظر می‌رسد تأثیر تکتونیک در ایجاد درزه در سنگ‌های شکننده شدیدتر باشد. منطقه مورد مطالعه به علت شرایط دمایی و رطوبت بالا پتانسیل بسیار کمی در ایجاد درزه‌های ناشی از یخزدگی و تغییرات حرارتی دارد و به نظر می‌رسد با توجه به فعال بودن زمین‌ساختی منطقه، تکتونیک نقش مهمی در تشکیل درزه‌های موجود در سنگ‌ها و سنگ‌دانه‌ها داشته است. سنگ‌ها در محل درزه‌ها بسیار ضعیف بوده و طی فرایند یخزدگی به سهولت در امتداد آن گسیخته می‌شوند (Litvan, 1973; smith and collis, 2001). پارامترهای دیگری چون اندازه فضاهای خالی، درجه اشباع‌شدگی سنگ‌دانه‌ها، اندازه سنگ‌دانه‌ها و مقاومت کششی سنگ‌دانه‌ها می‌تواند در شدت تخریب ناشی از یخزدگی مؤثر باشد (Litvan, 1973; Janssen, D.J.).

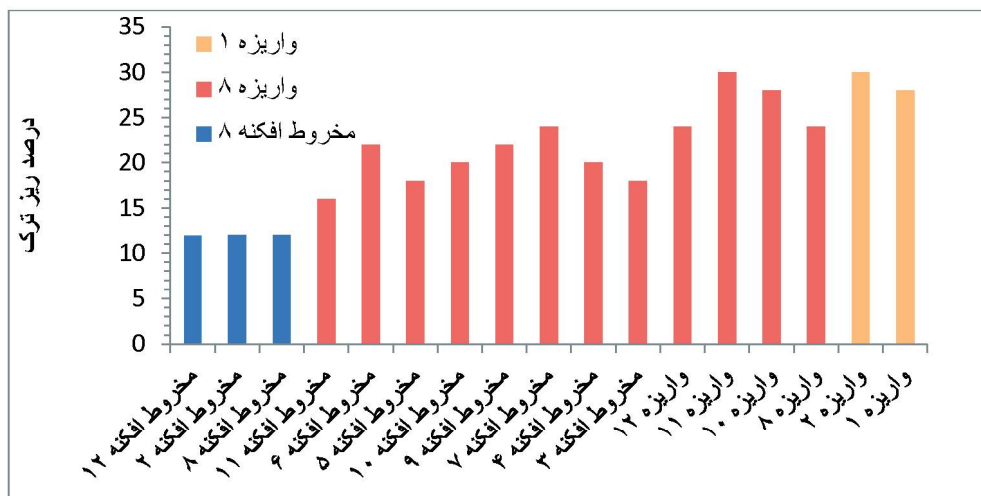
به‌منظور بررسی درزه‌داری سنگ‌دانه‌ها ابتدا از محیط‌های رودخانه‌ای، مخروط‌افکنه‌ای و واریزه‌های مورد مطالعه نمونه‌برداری برای سه اندازه مختلف ۲۵-۳۷/۵، ۱۹-۲۵ و ۱۲/۵-۱۶ میلی‌متر صورت گرفته است. محل‌های برداشت نمونه شامل سه محل در طول مسیر رودخانه دیره، دو واریزه و ۱۲ مخروط‌افکنه است. نمونه‌های برداشت شده شامل ۱۵۰ سنگ‌دانه برای هر سه اندازه مختلف (هر اندازه ۵۰ سنگ‌دانه) است. نحوه برداشت نمونه‌ها بعد از الک کردن به روش چهار بخش کردن و به‌صورت تصادفی بوده است. بررسی ریزترک‌های موجود در سنگ‌ها از روش‌های چشمی یا میکروسکوپ الکترونی امکان‌پذیر است (Schedl et al., 1994; Montoto et al., 1986). در این تحقیق بررسی درزه‌داری سنگ‌دانه‌ها با چشم غیرمسلح بوده و بر اساس تعداد سنگ‌دانه‌های دارای درزه از کل سنگ‌دانه‌ها انجام شده است. شکل‌های ۲ تا ۶ نتایج به‌دست‌آمده برای ریزترک‌های موجود در سنگ‌دانه و ارتباط آن با محیط‌های مختلف و ویژگی‌های ریخت‌شناسی حوضه بالادست مخروط‌افکنه‌ها را نشان می‌دهد. نتایج به‌دست‌آمده در شکل‌های ۲ تا ۶ نشان می‌دهد که بیشترین میزان ریزترک در محیط‌های واریزه‌ای و کمترین درصد سنگ‌دانه‌های دارای درزه در محیط‌های رودخانه‌ای



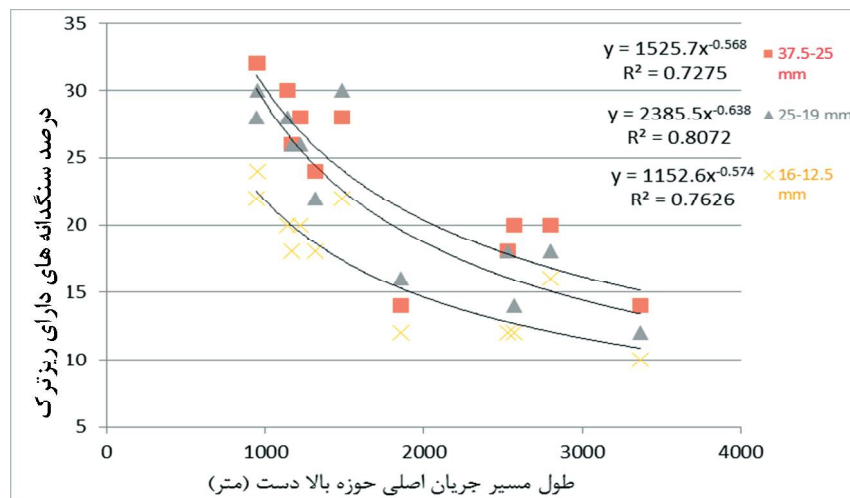
شکل ۲. ارتباط درصد ریزترک با محیط‌های تجمع سنگ‌دانه در گستره مورد مطالعه برای ذرات ۳۷/۵-۲۵ mm



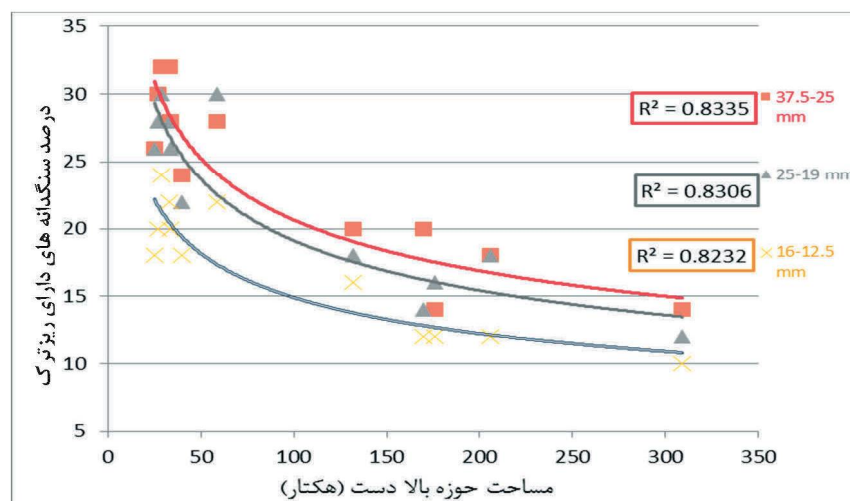
شکل ۳. ارتباط درصد ریزترک با محیط‌های تجمع سنگ‌دانه در گستره مورد مطالعه برای ذرات ۲۵-۱۹ mm



شکل ۴. ارتباط درصد ریزترک با محیط‌های تجمع سنگ‌دانه در گستره مورد مطالعه برای ذرات ۱۶-۱۲/۵ mm



شکل ۵. ارتباط درصد سنگدانه‌های دارای ریزترک با طول مسیر جریان اصلی حوضه بالادست مخروط‌افکنه‌ها



شکل ۶. ارتباط بین مساحت حوضه بالادست مخروط‌افکنه‌ها و اندازه سنگدانه‌ها با درصد سنگدانه‌های دارای درزه

شرایط محیطی است. فرایندهای محیطی از قبیل تغییرات حرارت، تر و خشک شدن و انجماد و ذوب آب سنگدانه‌ها از جمله عوامل مخرب سنگدانه‌ها هستند. انجماد و ذوب آب سنگدانه‌ها در محیط‌های سردسیر و پروژه‌هایی که در معرض آب هستند عامل بسیار مهمی در تخریب آن‌ها می‌باشد (Ruedrich et al., 2011; Wang et al., 2016). سنگ‌های آهکی نیز به علت ترکیب کانی‌شناسی و وجود ساختارهای متخلخل تأثیر بیشتری از فرایندهای یخزدگی-آب‌شدگی می‌پذیرند (Wang et al., 2016).

فرایند یخزدگی-آب‌شدگی سنگدانه‌ها به چند طریق منجر به تخریب آن‌ها می‌شود. افزایش حجم آب درون فضاهای خالی می‌تواند باعث افزایش حجم و ایجاد تنش

به‌دست‌آمده است. مخروط‌افکنه‌ها حالتی حد واسط بین محیط‌های رودخانه‌ای و واریزه‌ای هستند و متأثر از مساحت و طول مسیر جریان حوضه بالادست مخروط‌افکنه‌ها هستند. با افزایش مساحت و طول مسیر جریان حوضه بالادست مخروط‌افکنه‌ها میزان سنگدانه‌های دارای درزه کاهش می‌یابد. اندازه سنگدانه‌ها نیز ارتباط کاملاً مشخصی با درصد سنگدانه‌های درزه دارد و با کاهش اندازه ذرات درصد سنگدانه‌های درزه‌دار کاهش می‌یابد.

### یخزدگی-آب‌شدگی

یکی از ویژگی‌های مهمی که در استفاده سنگدانه‌ها باید مورد توجه قرار گیرد دوام و پایداری آن‌ها در برابر



اندازه فضاهای خالی، درجه اشباع‌شدگی سنگ‌دانه‌ها، اندازه سنگ‌دانه‌ها و شکل فضاهای خالی می‌تواند در شدت تخریب ناشی از یخ‌زدگی مؤثر باشد (Litvan, 1973). تکرار زیاد چرخه انجماد و ذوب آب منفذی درون سنگ‌ها باعث توسعه و ایجاد ترک درون آن‌ها می‌شود (Park et al., 2015). در شکل ۷ نمونه‌هایی از آن نشان داده شده است.

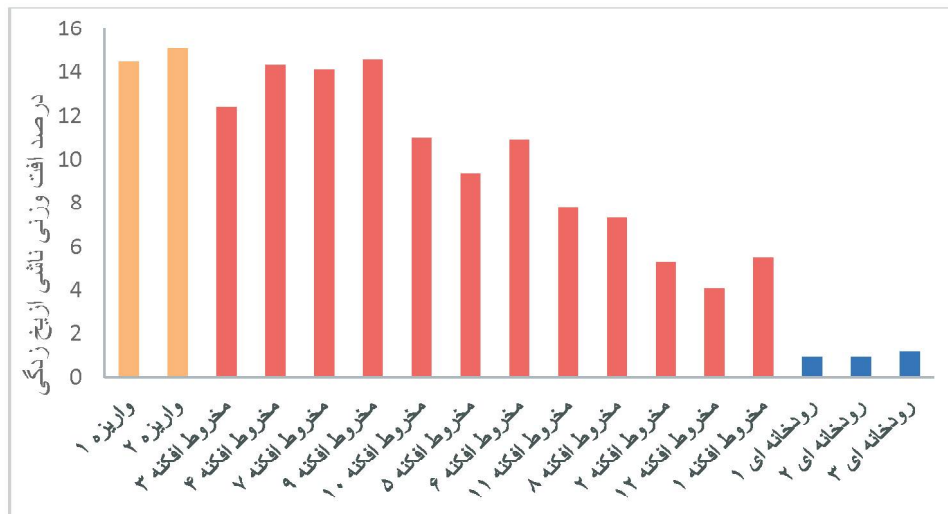
داخلی درون سنگ شود. درزه‌ها و تخلخل نیز تأثیر بسیار زیادی در تخریب ناشی از یخ‌زدگی-آب‌شدگی سنگ‌دانه‌ها دارند (Alexander and Mindess, 2005; Washburn, 1979; Matsuoka, 1990). در واقع سنگ‌ها در محل درزه‌ها بسیار ضعیف می‌باشند و طی فرایند یخ‌زدگی به سهولت در امتداد آن گسیخته می‌شوند (Litvan, 1973). شکل ۷ نمونه‌هایی که از تخریب سنگ‌دانه‌ها در این پژوهش مشاهده شده، را نشان می‌دهد. پارامترهای دیگری چون



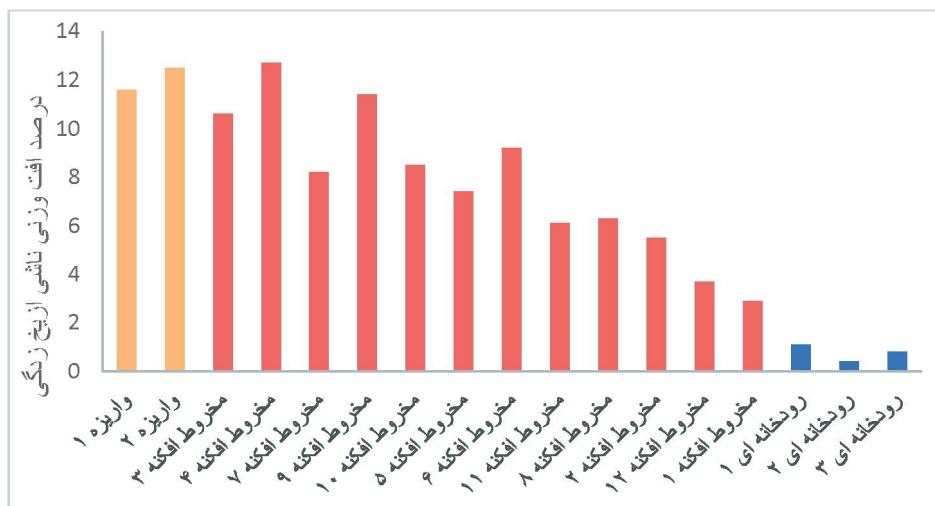
شکل ۷. نمونه‌هایی از تخریب سنگ‌دانه‌ها به علت سیکل‌های یخ‌زدگی-آب‌شدگی

همان‌طور که در بخش‌های قبل شرح داده شد سنگ‌دانه‌های تجمع یافته در محیط‌های متفاوت به علت اثر فرایندهای زمین‌شناسی مختلف، شدت درزه‌داری متفاوتی نیز دارند. بنابراین این تفاوت‌ها می‌تواند بر روی میزان افت وزنی ناشی از یخزدگی-آبشستگی سنگ‌دانه‌ها تأثیرگذار باشد. به‌منظور بررسی این موضوع،

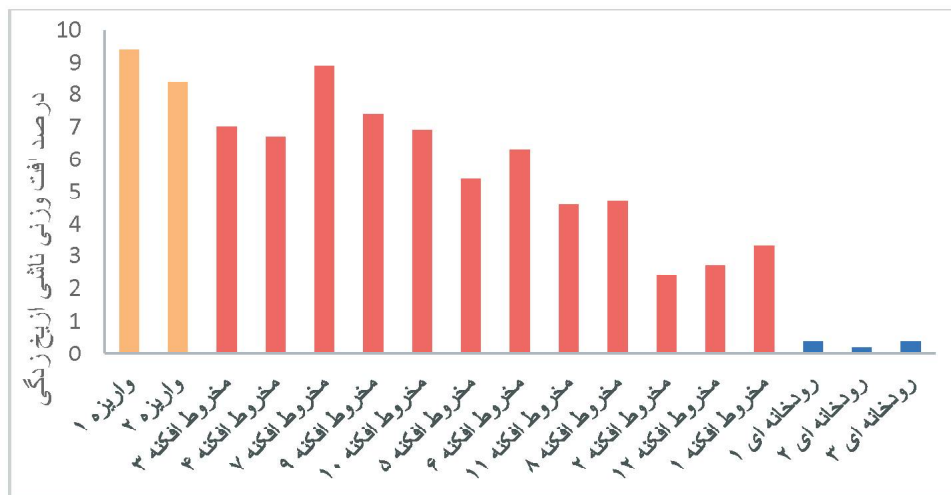
۱۰ سیکل آزمایش یخزدگی-آبشستگی مطابق با استاندارد TEX-432-A (۲۰۱۴) بر روی نمونه‌های برداشت شده از ۱۲ مخروط‌افکنه، دو واریزه و سه رودخانه انجام شده است. شکل‌های ۸ تا ۱۲ ارتباط بین افت وزنی ناشی از یخزدگی برای اندازه‌های مختلف سنگ‌دانه‌ها در محیط‌ها و مخروط‌افکنه‌های مختلف را نشان می‌دهد.



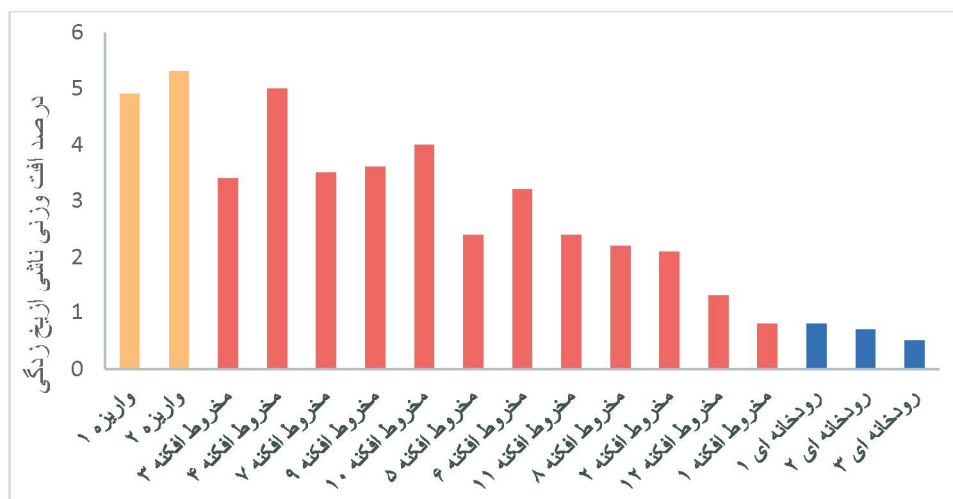
شکل ۸. ارتباط محیط‌های زمین‌شناسی با میزان افت وزنی ناشی از ۱۰ سیکل یخزدگی-آبشستگی سنگ‌دانه‌های با اندازه ۱۶-۱۹ mm



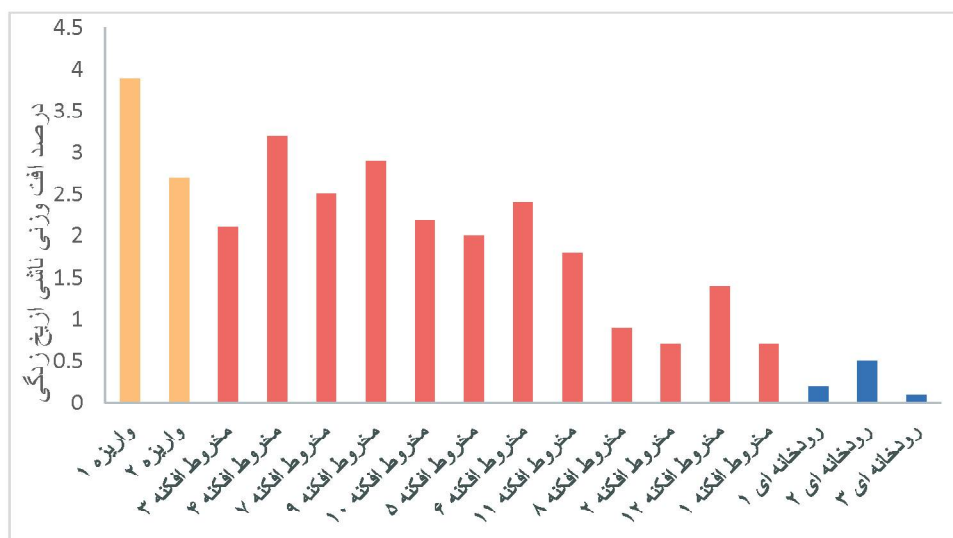
شکل ۹. ارتباط محیط‌های زمین‌شناسی با میزان افت وزنی ناشی از ۱۰ سیکل یخزدگی-آبشستگی سنگ‌دانه‌های با اندازه ۵-۱۶ mm



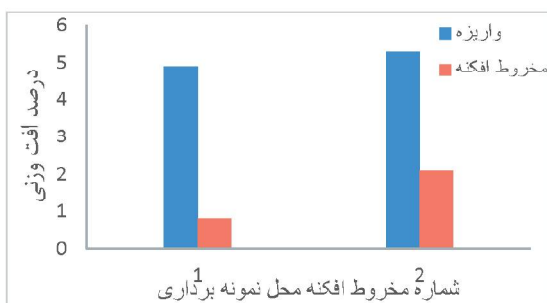
شکل ۱۰. ارتباط محیط‌های زمین‌شناسی با میزان افت وزنی ناشی از ۱۰ سیکل بایخ‌زدگی-آب‌شدگی سنگ‌دانه‌های با اندازه ۹/۵-۱۲/۵ mm



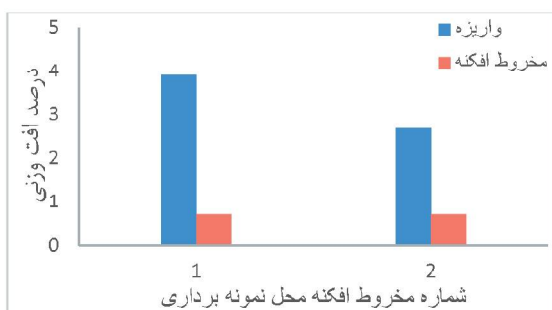
شکل ۱۱. ارتباط محیط‌های زمین‌شناسی مختلف با میزان افت وزنی ناشی از ۱۰ سیکل بایخ‌زدگی-آب‌شدگی سنگ‌دانه‌های با اندازه ۹/۵-۴/۷۵ mm



شکل ۱۲. ارتباط محیط‌های زمین‌شناسی مختلف با میزان افت وزنی ناشی از ۱۰ سیکل بایخ‌زدگی-آب‌شدگی سنگ‌دانه‌های با اندازه ۴/۷۵-۲/۳۶ mm



شکل ۱۶. اختلاف بین میزان افت وزنی ناشی از ۱۰ سیکل یخزدگی-آبشستگی سنگ‌دانه‌های تجمع یافته در مخروط‌افکنه‌ها و واریزه‌های واقع در حوضه بالادست آن (۹/۵-۴/۷۵ mm)



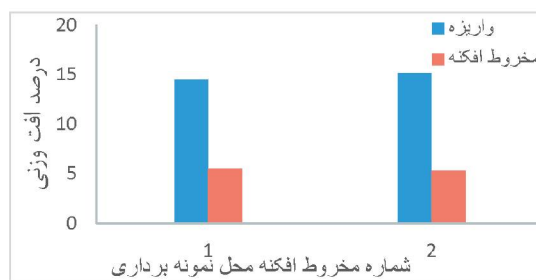
شکل ۱۷. اختلاف بین میزان افت وزنی ناشی از ۱۰ سیکل یخزدگی-آبشستگی سنگ‌دانه‌های تجمع یافته در مخروط‌افکنه‌ها و واریزه‌های واقع در حوضه بالادست آن (۴/۷۵-۲/۳۶ mm)

همان‌طور که از این نتایج مشخص است میزان افت وزنی ناشی از یخزدگی-آبشستگی برای سنگ‌دانه‌های با اندازه متفاوت در مخروط‌افکنه‌ها کمتر از واریزه‌ها است.

در بررسی علت تغییرات ایجاد شده باید به فرایندهای زمین‌شناسی حاکم بر این محیط‌ها توجه داشت. در محیط‌های رودخانه‌ای فرایند انتقال ذرات باعث برخورد ذرات به همدیگر شده و سنگ‌دانه‌ها در امتداد ریزترک‌ها و ضعیف‌ترین سطوح موجود در سنگ‌دانه‌ها شکسته می‌شوند. این فرایند باعث حذف و از بین رفتن سطوح ضعیف درون سنگ‌دانه‌ها می‌شود. این تغییرات در قسمت‌های بالاتر و در شکل‌های ۲ تا ۶ نشان داده شده است. بنابراین با توجه تأثیری که فرایندهای زمین‌شناسی در محیط‌های مختلف بر روی میزان ریزترک‌های موجود در سنگ‌دانه‌ها دارند و اختلافی که در درصد ریزترک‌های موجود در سنگ‌دانه‌ها در محیط‌های مختلف وجود دارد، می‌توان گفت فرایندهای حاکم بر محیط‌های زمین‌شناسی از طریق تأثیری که بر درزه‌داری سنگ‌دانه‌ها دارند، میزان افت وزنی ناشی از

نتایج ارائه شده نشان می‌دهد میزان افت وزنی به دست آمده در محیط‌های مختلف متفاوت است. بیشترین افت وزنی در محیط‌های واریزه‌ای دیده می‌شود و کمترین افت وزنی مربوط به محیط‌های رودخانه‌ای است. افت وزنی ناشی از یخزدگی در سنگ‌دانه‌های برداشت شده از مخروط‌افکنه نیز بیشتر حد واسط بین واریزه‌ها و رودخانه قرار دارد.

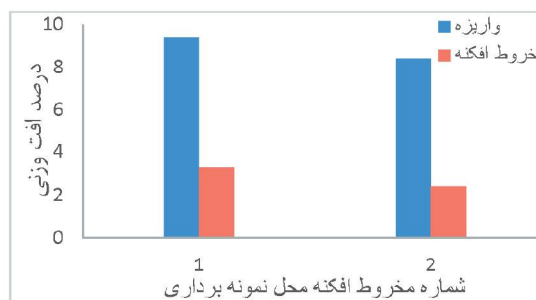
دو واریزه‌ای که برای نمونه برداری انتخاب شده‌اند در حوضه بالادست مخروط‌افکنه‌های شماره ۱ و ۲ قرار دارند. شکل‌های ۱۳ تا ۱۷ اختلاف میزان افت وزنی ناشی از یخزدگی-آبشستگی در هر مخروط‌افکنه با واریزه‌های واقع در حوضه بالادست آن مخروط‌افکنه را نشان می‌دهد. این نتایج به صورت مقایسه میزان افت وزنی در دو محیط برای اندازه‌های مختلف است.



شکل ۱۳. اختلاف بین میزان افت وزنی ناشی از ۱۰ سیکل یخزدگی-آبشستگی سنگ‌دانه‌های تجمع یافته در مخروط‌افکنه‌ها و واریزه‌های واقع در حوضه بالادست آن (۱۶-۱۹ mm)



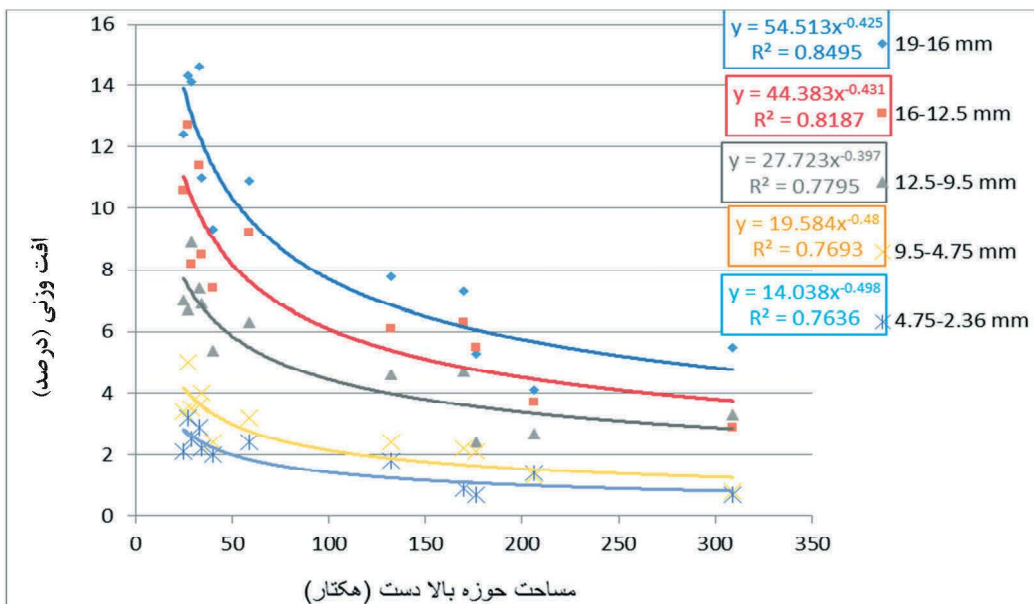
شکل ۱۴. اختلاف بین میزان افت وزنی ناشی از ۱۰ سیکل یخزدگی-آبشستگی سنگ‌دانه‌های تجمع یافته در مخروط‌افکنه‌ها و واریزه‌های واقع در حوضه بالادست آن (۱۶-۱۲/۵ mm)



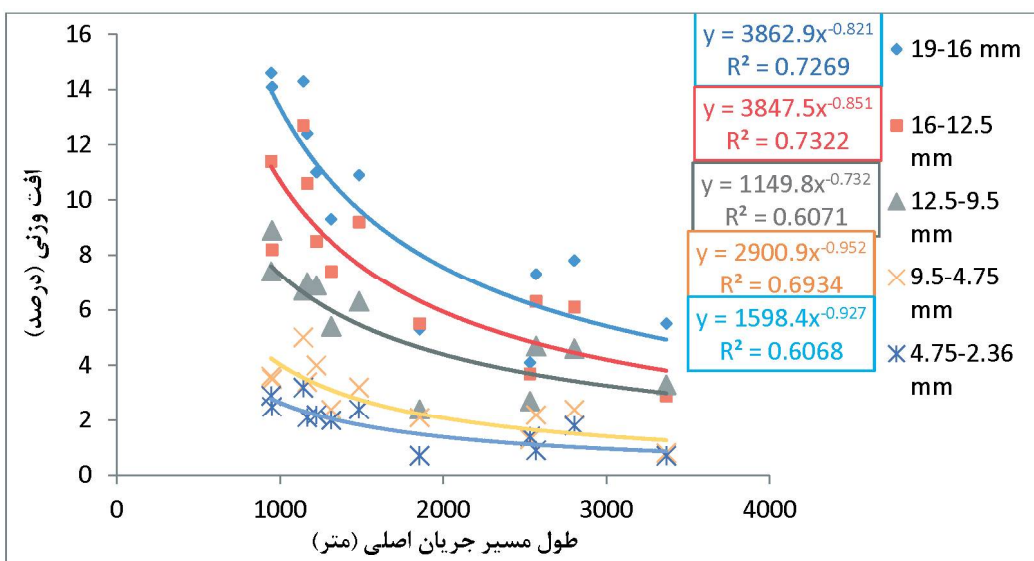
شکل ۱۵. اختلاف بین میزان افت وزنی ناشی از ۱۰ سیکل یخزدگی-آبشستگی سنگ‌دانه‌های تجمع یافته در مخروط‌افکنه‌ها و واریزه‌های واقع در حوضه بالادست آن (۱۲/۵-۹/۵ mm)

باشند. بنابراین ویژگی‌های مورفومتری حوضه بالادست مخروط‌افکنه‌ها می‌تواند بر روی مقاومت سنگ‌دانه‌ها در برابر فرایند یخ‌زدگی-آب‌شدگی تأثیرگذار باشد. در شکل‌های ۱۸ و ۱۹ ارتباط ویژگی‌های مورفومتری مخروط‌افکنه‌ها با میزان افت وزنی سنگ‌دانه‌ها در برابر سیکل‌های یخ‌زدگی-آب‌شدگی نشان داده شده است.

یخ‌زدگی-آب‌شدگی در سنگ‌دانه‌ها را کنترل می‌کنند. مخروط‌افکنه‌های مختلف نیز دارای ویژگی‌های مورفومتری متفاوتی هستند. ویژگی‌هایی مثل مساحت حوضه بالادست، طول مسیر جریان و شیب حوضه بالادست می‌توانند بر روی میزان و سرعت جریان‌های ایجاد شده در مخروط‌افکنه‌ها و در نهایت فرایند انتقال و هوازگی سنگ‌دانه‌ها تأثیرگذار



شکل ۱۸. ارتباط بین میزان افت وزنی ناشی از ۱۰ سیکل آزمایش یخ‌زدگی-آب‌شدگی سنگ‌دانه‌ها با مساحت حوضه بالادستی و تغذیه‌کننده مخروط‌افکنه‌ها

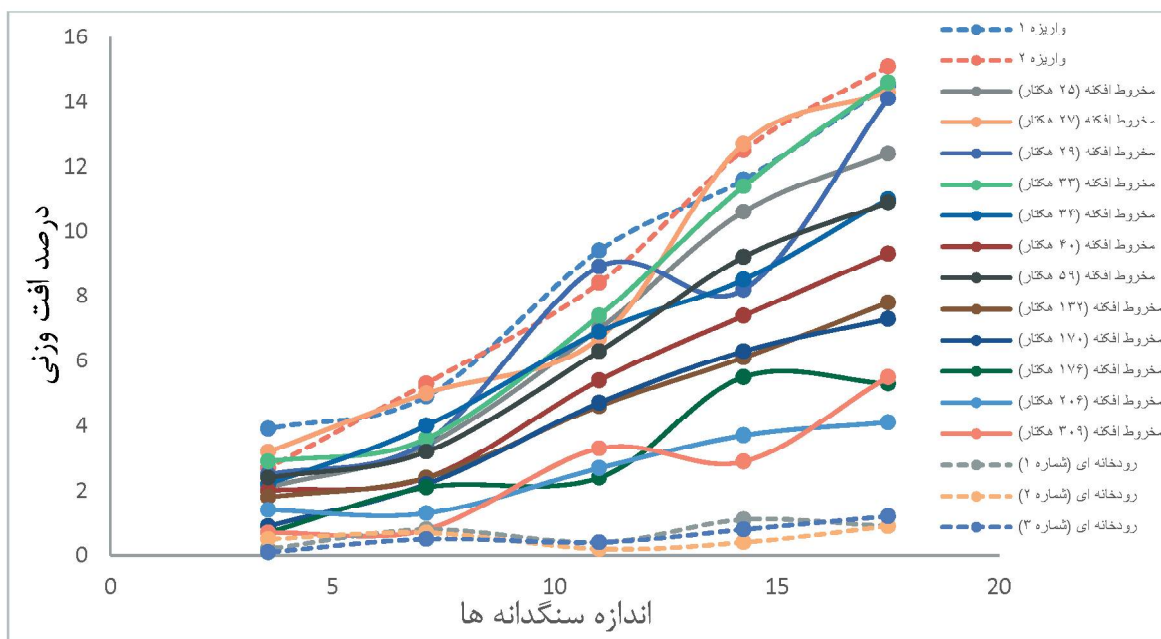


شکل ۱۹. ارتباط بین میزان افت وزنی ناشی از ۱۰ سیکل آزمایش یخ‌زدگی-آب‌شدگی سنگ‌دانه‌ها با طول آبراهه اصلی حوضه بالادست مخروط‌افکنه‌ها

سایش شده و بیشتر حذف می‌شوند. افزایش طول مسیر انتقال ذرات نیز اثری مشابه مساحت حوضه بالادست در ویژگی‌های سنگ‌دانه‌ها ایجاد می‌کند.

در شرایط یکسان می‌توان گفت که هر چقدر اندازه سنگ‌دانه‌ها بزرگ‌تر می‌شود امکان حضور ریزترک و ناپیوستگی در سنگ‌دانه‌ها بیشتر می‌شود. با توجه به اثری که ریزترک‌ها در مقاومت سنگ‌دانه‌ها در برابر یخزدگی-آب شدگی دارند اندازه سنگ‌دانه‌ها می‌تواند بر روی شدت افت وزنی ناشی از یخزدگی-آب شدگی اثرگذار باشد. در شکل ۲۰ اثر اندازه سنگ‌دانه‌های برداشت شده از محیط‌ها و مخروط افکنه‌های مختلف بر روی میزان افت وزنی ناشی از ۱۰ سیکل یخزدگی-آب شدگی نشان داده شده است.

نتایج ارائه شده نشان می‌دهد که با افزایش مساحت حوضه بالادست یا تغذیه‌کننده مخروط افکنه‌ها میزان تخریب ناشی از یخزدگی کاهش می‌یابد. این موضوع می‌تواند با افزایش انرژی جریان و حذف ریزترک‌ها و سنگ‌دانه‌های ضعیف در مخروط افکنه‌ها باشد. در واقع با افزایش مساحت حوضه بالادست، میزان جریان آب و سیل خروجی از کوهستان افزایش می‌یابد. افزایش شدت و انرژی جریان باعث برخورد شدیدتر سنگ‌دانه‌ها به یکدیگر و به بستر خود شده و باعث شکسته شدن سنگ‌دانه‌ها از محل ترک‌های موجود می‌شود. بنابراین با افزایش انرژی جریان میزان ترک‌های موجود در سنگ‌دانه‌ها کاهش می‌یابد. علاوه بر این سنگ‌دانه‌های سست و ضعیف در جریان شدید و پرانرژی‌تر، بیشتر دچار



شکل ۲۰. تأثیر اندازه ذرات بر میزان افت وزنی ناشی از ۱۰ سیکل یخزدگی-آب شدگی در محیط‌های مختلف

تفاوت میزان درزه و ترک‌های موجود در سنگ‌دانه‌ها که با چشم غیرمسلح شمارش شده‌اند را نشان می‌دهد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که با افزایش اندازه ذرات مقاومت آن‌ها در برابر یخزدگی کاهش می‌یابد اما شدت کاهش مقاومت متأثر از محیطی است که سنگ‌دانه‌ها در آن تشکیل شده‌اند. با افزایش مساحت حوضه بالادست مخروط افکنه‌ها اختلاف درزه‌داری سنگ‌دانه‌های درشت با ریز کاهش می‌یابد بنابراین اثر ریزترک‌ها در مقاومت سنگ‌دانه‌ها در برابر یخزدگی کمتر می‌شود. از طرفی نسبت سطح به حجم در سنگ‌دانه

در زمینه تأثیر اندازه سنگ‌دانه‌ها بر مقاومت آن‌ها در برابر یخزدگی مطالعات محدودی انجام شده است که نشان می‌دهد با افزایش اندازه سنگ‌دانه‌ها آسیب‌پذیری سنگ‌دانه‌ها در برابر یخزدگی بیشتر می‌شود (Mac Innis and Lau, 1973; Litvan, 1971). این اختلاف را می‌توان در ارتباط با تفاوت در میزان درزه‌های موجود در سنگ دانست. با توجه به اینکه سنگ‌دانه‌های ریزتر از شکستن سنگ‌دانه‌های درشت‌تر حاصل می‌شوند میزان درزه و ترک در آن‌ها کمتر از سنگ‌دانه‌های درشت است. نتایج ارائه شده در شکل ۵

زیادی بر روی مقاومت در برابر فرایند یخ‌زدگی-آب‌شدگی دارد.

مخروط‌افکنه‌ها نیز شرایطی حد واسط بین واریزه‌ها و رودخانه‌ها را دارند و میزان افت وزنی سنگ‌دانه‌ها متأثر از ویژگی‌های مورفومتری حوضه بالادست است. مساحت، شیب و طول مسیر آبراهه اصلی در میزان افت وزنی سنگ‌دانه‌های تجمع یافته در مخروط‌افکنه‌ها تأثیرگذار است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد با افزایش مساحت و طول آبراهه اصلی، میزان افت وزنی سنگ‌دانه‌ها کاهش می‌یابد و با افزایش شیب، میزان افت وزنی سنگ‌دانه‌ها افزایش می‌یابد. این تغییرات از بیش از ۱۴ درصد برای مخروط‌افکنه‌های با حوضه بالادست کوچک (مساحت ۳۳ هکتار و طول آبراهه اصلی کمتر از یک کیلومتر) و اندازه حوضه بالادست بزرگ (مساحت ۳۰۹ هکتار و طول آبراهه اصلی بیش از سه کیلومتر) و اندازه ۲/۳۶-۴/۷۵ میلی‌متر مشاهده شده است.

اندازه سنگ‌دانه‌ها نیز در میزان افت وزنی ناشی از یخ‌زدگی-آب‌شدگی تأثیرگذار است. عموماً سنگ‌دانه‌های درشت‌تر افت وزنی بیشتری نسبت به سنگ‌دانه‌های ریزتر دارند. ارتباط اندازه سنگ‌دانه‌ها با میزان افت وزنی نیز متأثر از محیط‌های زمین‌شناسی مختلف است به‌گونه‌ای که بیشترین میزان اختلاف افت وزنی در سنگ‌دانه‌های درشت و ریز، مربوط به واریزه‌ها است و کمترین میزان اختلاف مربوط به محیط‌های رودخانه‌ای است. در واقع در محیط‌های رودخانه‌ای میزان افت وزنی ذرات درشت و ریز نزدیک به هم بوده و اثر اندازه در میزان افت وزنی کم‌تر می‌شود. مخروط‌افکنه نیز شرایطی حد واسط را دارند و تأثیر اندازه ذرات با افزایش وسعت و طول آبراهه اصلی حوضه بالادست کمتر می‌شود.

### منابع

- شرکت خدمات مهندسی جهاد سازندگی استان کرمانشاه، ۱۳۷۹. گزارش هوا و اقلیم حوضه آبخیز پشت تنگ.
- شرکت ملی نفت ایران، ۱۹۷۳. نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ ورقه قصر شیرین.

درشت‌تر کمتر است.

به‌طور کلی می‌توان گفت که با افزایش مساحت حوضه بالادست مخروط‌افکنه‌ها اختلاف درصد ریزترک‌ها در سنگ‌دانه‌های درشت و ریز کمتر می‌شود که این امر به‌نوبه خود باعث کاهش اختلاف مقدار افت وزنی ناشی از یخ‌زدگی-آب‌شدگی در سنگ‌دانه‌های درشت و ریز می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده برای واریزه‌ها و رودخانه نیز به تأیید این مدعا کمک می‌کند. در محیط‌های رودخانه‌ای که میزان ریزترک و اختلاف درصد ریزترک در سنگ‌دانه‌های درشت و ریز بسیار کمتر است، کمترین میزان اختلاف افت وزنی در سنگ‌دانه‌های ریز و درشت دیده می‌شود. بیشترین اختلاف در افت وزنی سنگ‌دانه‌های درشت و ریز در محیط‌های واریزه‌ای است که اختلاف شدیدتری نیز در میزان ریزترک در سنگ‌دانه‌های درشت و ریز دارند.

### نتیجه‌گیری

یافتن سنگ‌دانه‌های طبیعی با دوام و مقاوم در برابر یخ‌زدگی می‌تواند تأثیر بسیار زیادی در توسعه پایدار و دوام سازه‌های بتنی و آسفالتی در مناطق سردسیر داشته باشد. در این پژوهش ارتباط بین محیط‌های زمین‌شناسی و مقاومت سنگ‌دانه‌ها در برابر فرایند یخ‌زدگی-آب‌شدگی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که جدای از اثرات سنگ‌شناسی در مقاومت سنگ‌دانه‌ها، محیط‌های زمین‌شناسی محل تجمع سنگ‌دانه‌ها نیز در مقاومت آن‌ها در برابر سیکل‌های یخ‌زدگی آب‌شدگی تأثیرگذارند. بیشترین افت وزنی ناشی از یخ‌زدگی در سنگ‌دانه‌های واریزه‌ای (۱۵ درصد برای سنگ‌دانه‌های ۱۹-۱۶ میلی‌متر) و کمترین میزان افت وزنی در سنگ‌دانه‌های رودخانه‌ای (حدود یک درصد برای همه اندازه‌های مورد بررسی) مشاهده شده است. در واقع در محیط‌های واریزه‌ای به علت هوازدگی بیشتر و میزان انتقال کمتر، سنگ‌دانه‌ها دارای قشر هوازده و درصد ریزترک بیشتری هستند که به‌شدت بر روی میزان افت وزنی ناشی از یخ‌زدگی-آب‌شدگی سنگ‌دانه‌ها اثرگذار است. در محیط‌ها رودخانه‌ای به علت فرایند طولانی حمل‌ونقل و سایش، میزان ریزترک در آن‌ها بسیار کم است که تأثیر بسیار

- ACI 201.2R-08., 2008. Guide to durable concrete.
- ACI 221R-96., 2001. Guide for use of normal weight and heavy weight aggregates in concrete.
- Alexander, M. and Mindess, S., 2005. Aggregate in Concrete. Taylor and Francis, 435.
- Bahrami, S., 2013. Tectonic controls on the morphometry of alluvial fans around Danek-hoshk anticline, Zagros, Iran. *Geomorphology*, 180-181, 217-230.
- Janssen, D.J. and Snyder, M.B., 1994. Resistance of Concrete to Freezing and Thawing. Report SHRP-C-391. Strategic Highway Research Program, Washington, DC, 201.
- Kang, Y.S., Liu, Q.S. and Huang S.B., 2013. A fully coupled thermo-hydro-mechanical model for rock mass under freezing/thawing condition, *Cold Regions Science and Technology*, 95, 19-26.
- Kang, Y.S., Liu, Q.S., Liu, X. and Huang, S.B., 2014. Theoretical and numerical studies of crack initiation and propagation in rock masses under freezing pressure and far-field stress. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 6, 466-476.
- Karimi, H., Raeisi, E. and Bakalowicz, M., 2005. Characterising the main karst aquifers of the Alvand basin, Northwest of Zagros, Iran, by a hydrogeochemical approach. *Hydrogeology Journal*, 13, 787-799.
- Litvan, G.G., 1973. Pore structure and frost susceptibility of building materials, Research Paper No. 584, Division of Building Research, National Research Council of Canada, Ottawa, 17-30.
- Mac Innis, C and Lau, E.C., 1971. Maximum aggregate size effect on frost resistance of concrete, *Journal of American Concrete Institute*, 68, 16, 144-149.
- Matsuoka, N., 1990. Mechanisms of rock breakdown by frost action: an experimental approach. *Cold Regions Science and Technology*, 17, 253-270.
- Mindess, S., Young, J.F. and Darwin, D., 2003. *Concrete*. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 644.
- Montoto, M., Rodríguez-Rey, A., Mene'ndez, B., Martínez-Nistal, A., Ruiz de Argandona, V.G., Suárez del Río, L.M. and Calleja L., 1994. Microfractography of El Berrocal granite. In: Maravic, H., Smellie, J. (Eds.). *Proceedings of an international workshop Nuclear Science and Technology*, 353-358.
- Neville, A.M. and Brooks, J.J., 2010. *Concrete Technology*. Prentice Hall. 456.
- Park, J., Hyun, C.U. and Park, H.D., 2015. Changes in microstructure and physical properties of rocks caused by artificial freeze-thaw action. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 74, 555-565.
- Ruedrich, J., Kirchner, D., and Siegesmund, S., 2011. Physical weathering of building stones induced by freeze-thaw action: a laboratory long-term study. *Environmental Earth Sciences*, 63, 1573-1586.
- Schedl, A., Kronenberg A.K. and Tullis J., 1986. Deformation microstructures of Barre granite, an optical SEM and TEM study, *Tectonophysics* 122, 149-164.
- Seto, M., 2010. Freeze-thaw cycles on rock surfaces below the timberline in a montane zone: field measurements in Kobugahara, Northern Ashio Mountains, Central Japan. *Catena*, 82 (3), 218-26.
- Smith, M.R. and Collis, L., 2001. *Aggregates: Sand, gravel and crushed rock aggregates for construction purposes (third edition)*. The Geo-



logical Society London. 339.

- TEX-432-A., 2014. Test procedure for coarse aggregate freeze-thaw test. Texas Department of Transportation.

- Wang, P., Xu, J., Liu, S., Liu, S. and Wang, H., 2016. A prediction model for the dynamic mechanical degradation of sedimentary rock after a long-term freeze-thaw weathering: Considering the strain-rate effect, *Cold Regions Science and Technology*, 131, 16-23.

- Washburn, A.L., 1979. *Geocryology: A Survey of Periglacial Processes and Environ-*

*ments*. Edward Arnold, London, 406.

- Yang, Z.J. and Chen, J.F., 2004. Fully automatic modelling of cohesive discrete crack propagation in concrete beams using local arc-length methods. *International Journal of Solids and Structures*, 41, 3-4, 801-26.

- Yavuz, H., Altindag, R., Sarac, S., Ugur, I. and Sengun, N., 2006. Estimating the index properties of deteriorated carbonate rocks due to freeze-thaw and thermal shock weathering, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 43, 767-775.