

## بررسی اهمیت و نقش ورنی بیابان به عنوان یک شاخص کرونومتری در مطالعه نوسانات اقلیمی کواترنر

### اخیر (مطالعه موردی ریگ گناباد)

علی محمد نورمحمدی - دانشجوی دکتری، ژئومورفولوژی دانشگاه فردوسی مشهد.  
سید رضا حسین زاده\* - دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد.  
ابوالفضل بهنیا فر - دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه آزاد مشهد.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۳/۱۶      تأیید نهایی: ۱۳۹۸/۱۲/۱۷

### چکیده

ورنی بیابان (ورنی سنگی) پوشش نازکی ترکیب یافته از عناصر مختلف همچون رس، آهن، منگنز و سایر عناصر بوده که به مرور زمان و در طی صدها تا هزاران سال به صورت لایه ای با ضخامت چند تا چند صد میکرون بر روی سنگهای نواحی بیابانی تشکیل می شود. این تحقیق به منظور بررسی اهمیت و نقش ورنی بیابان به عنوان یک شاخص ژئومورفولوژیک برای مطالعه نوسانات اقلیمی ریگ گناباد انجام شده است. بر این اساس ابتدا نمونه های ورنی از سطح منطقه جمع آوری گردید و جهت انجام آزمایشهای لازم به آزمایشگاه منتقل گردید. بعد از انجام تحلیلهای مورد نیاز توسط میکروسکپ الکترون اسکن (SEM) و تحلیلهای انرژی- پراکنی اشعه X (EDAX) ویژگیهای فیزیکی ورنی همچون، مورفولوژی ضخامت، میکروچینه شناسی، عناصر شیمیایی مورد بررسی قرار گرفت و مشخص گردید که ورنی دارای مورفولوژی ورقه ای بوده و فاقد لایه های متوالی می باشد که این نشان دهنده این است که ورنی در شرایط خشک شدید همراه با فعالیت شدید فرایندهای بادی و گرد و غبار تشکیل گردیده است. مهمترین عناصر موجود در ورنی  $Al, Mg, Ti, Ca, K, Fe, Si$  و ... بوده و مشخص گردید که میزان رس ها بیشترین مقدار را دارد و آهن از میزان منگنز موجود در ورنی بیشتر بوده که خود نشان دهنده حاکمیت شرایط خشک در زمان تشکیل ورنی بوده است. همچنین بررسی نسبت کاتیونی ورنی نشان داد که شکل گیری ورنی به احتمال خیلی زیاد با آغاز هولوسن و شروع دوره خشکی، شروع شده است. نتایج تحقیق نشان دهنده این است که ورنی بیابان و ویژگیهای آن می تواند به عنوان شاخصی برای بررسی نوسانات اقلیمی اواخر عصر حاضر مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: ورنی بیابان، ریگ گناباد، نوسانات اقلیمی، هولوسن، مورفولوژی ورنی.

## مقدمه

در مناطق بیابانی که سطوح سنگ‌ها برهنه بوده و در معرض تابش شدید خورشید قرار دارند در طول زمان بر روی آنها پوسته‌های نازکی از اکسیدهای آهن و منگنز به رنگ قرمز تا تیره به وجود می‌آید. به این قشر تیره روی سنگ‌ها سنگ پوش بیابانی گفته<sup>۱</sup> می‌شود و در صورتی که سطحی جلا زده و کاملاً تیره داشته باشند، به آنها ورنی سنگی<sup>۲</sup> یا ورنی بیابان اطلاق می‌شوند (بهنیافر و قنبر زاده، ۱۳۹۷، ۱۵۴). ورنی به احتمال فراوان کندترین تراکم رسوبی جهان می‌باشد که در طی هزاران سال خیلی کم و تا حدود ۱۰ میکرون رشد می‌کند. بر اساس نوشته‌های محققین ضخامت ورنی بین کمتر از ۵ میکرون تا ۶۰۰ میکرون متفاوت می‌باشد (لیو و بروکر<sup>۳</sup>، ۲۰۰۷، ۱). ورنی دارای طیف گسترده‌ای از عناصر شامل یک لایه نازک سیلیس بی شکل (روکش یا لعاب) کربنات‌ها، سولفات‌های مختلف و پوسته غنی از اگزالات می‌باشد (واتمن<sup>۴</sup>، ۲۰۰۰، ۲۶۲). پوتر و روسمن<sup>۵</sup> (۱۹۷۷) پی بردند که ذرات رسی بخش اصلی ورنی را تشکیل می‌دهد. آنها ذرات معلق در هوا را منبع رس و دیگر اجزاء دانستند (آلن<sup>۶</sup>، ۲۰۰۰، ۲۶۱). ورنی بیابان در بیابان‌های خشک و نیمه خشک جهان به خوبی توسعه می‌یابد و از حدود ۳۰ درصد اکسید منگنز و آهن و بیشتر از ۷۰ درصد مواد معدنی رسی و انواع عناصر ردیابی و کمیاب تشکیل شده است (لیو و بروکر<sup>۷</sup>، ۲۰۰۷، ۲). مدت‌ها بر سر این بحث بوده که آیا ورنی سنگی نتیجه فرایندهای معدنی است یا فرایندهای بیولوژیکی؟ امروزه تحقیقات متعددی نشان داده که مکانیسم‌های معدنی در تشکیل ورنی دخیل هستند. همچنین مشخص شده است که تشکیل ورنی یک فرایند غیر بیولوژیکی است (پری و کولب<sup>۸</sup>، ۲۰۰۴، ۲۰۲).

تأثیر سنگ پایه بر روی تشکیل ورنی موضوعی بحث برانگیز بوده است. فون همبولت (۱۸۱۲) فرض نمود که لایه‌های غنی از منگنز با ضخامت کمتر از یک میلی‌متر به صورت یک لایه رسوبی بر سطح سنگها شکل می‌گیرد. با این حال طرفداران نظریه هومبولت تا قبل از استفاده از میکروسکوپ‌های الکترونیک کم بودند. در بیشتر قرن ۱۹ و ۲۰ یک توافق نظر جامع به وجود آمده بود که جزء اصلی تشکیل دهنده ورنی از مواد معدنی سنگهای زیرین ایجاد می‌شود (دورن و همکاران<sup>۹</sup>، ۲۰۱۳، ۶۲). اما آزمایشات و تحقیقات انجام شده در مورد ورنی این نکته را به اثبات رسانده است که ورنی یک لایه رسوبی انباشته شده بر روی سنگ می‌باشد که دارای ویژگیهای متمایز با سنگ زیرین می‌باشد، به طوری که محققینی همچون لیو (۲۰۰۳) بیان می‌کنند که ورنی نتیجه پدیده‌های اتمسفری مانند بارندگی، گرد و غبار، هواویزه‌ها و شبنم است.

ورنی بیابان به عنوان یک فاکتور پالئوژئومورفولوژی در بیشتر مناطق خشک وجود دارد و از طریق بررسی‌های میکرو چینه نگاری می‌توان اطلاعات مفیدی از شرایط دیرینه محیطی بیابان‌ها را به دست آورد. هر لایه از سطوح ورنی سنگی از ارزش پالئو کليمایی خاصی برخوردار است. بررسی‌های سن سنجی ورنی‌ها و مواد ارگانیکی که در بین این لایه‌ها حفظ شده اند اطلاعات ارزشمندی در مورد وقایع اقلیمی مناطق خشک ارائه می‌کنند. ورنی‌ها بیشتر از ترکیب منگنز و آهن تشکیل می‌شوند، بنابراین نسبت منگنز به آهن ورنی‌ها فاکتور مهمی در تحولات دیرینه محیطی بیابان‌ها محسوب می‌شود. برای مثال ورنی‌های غنی از منگنز در دامنه‌های سنگی مبین تغییر اقلیم از شرایط خشک به مرطوب در عصر

<sup>1</sup> - rock patins

<sup>2</sup> - rock varnish

<sup>3</sup> - liu and broecker

<sup>۴</sup> - Watchman

<sup>5</sup> - Potter and Rossman

<sup>۶</sup> - Alan

<sup>7</sup> - liu and broecker

<sup>۸</sup> - Perry and Kolb

<sup>9</sup> - Dorn and etal

هولوسن می باشد، همچنین بررسی های میکرومورفولوژی ورنی ها اطلاعات مفیدی در مورد فعالیت فرساینده بادی ارائه می دهد (توماس<sup>۱</sup>، ۲۰۱۱، ۳۵).

ورنی بیابان برای بیش از ۲۰۰ سال است که به عنوان یک شگفتی علمی شناخته شده است (نویسنکی<sup>۲</sup>، ۲۰۰۹، ۲۲). مطالعه علمی ورنی بیابان در سال ۱۷۹۹ توسط فون همبولت آغاز شد، زمانی که تفاوت عمده در ترکیب منگنز بین ورنی و سنگ زیرین باعث به رسمیت شناخته شدن ورنی گردید (دورن، ۲۰۰۹، ۱۵۴). دورن (۱۹۹۰) با مطالعه نوسانات قلیایی در ورنی بیابان در سنگهای آتشفشانی بیابان های غرب آمریکا نتیجه گرفت که ورنی بیابان پتانسیل استفاده به عنوان یک شاخص برای مطالعه نوسانات محیطی کوتاه تر را دارا می باشد. بییرمن و کونر (۱۹۹۲) با واسنجی دقت و صحت استفاده از عناصر شیمیایی ورنی برای سن سنجی به این نتیجه رسیدند که این امر در کنار تحقیقات قبلی می تواند برای تعیین سن مفید باشد. پری و کلب (۲۰۰۴) با مطالعه اجزاء ارگانیک و بیولوژیک ورنی بیابان به این نتیجه رسیدند که اجزای ارگانیک ورنی بیابان می تواند مکانیسم تشکیل ورنی را آشکار سازد. لیا و بروکر (۲۰۰۸) با بررسی میکرو چینه شناسی ورنی نشان دادند که بررسی میکرو چینه شناسی ورنی می تواند شاخصی برای مطالعه نوسانات اقلیمی گذشته باشد. زربونی<sup>۳</sup> (۲۰۰۸) با بررسی میکرو چینه شناسی ورنی در صحرای لیبی بیان کرد که ارتباط مثبت و مستقیمی بین لایه بندی ورنی و تغییرات اقلیمی وجود دارد. در ایران تحقیقات مختص اهمیت ورنی در تعیین سن انجام نشده و تنها تحقیق انجام شده در این زمینه توسط سرمست و همکاران در سال ۱۳۹۴ انجام شده که در این تحقیق خصوصیات جلای بیابان در سطوح پایدار، ناپایدار و نسبتا پایدار را در منطقه جیرفت مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که می توان از جلای سنگ در تعیین سن نسبی سطوح مختلف ژئومورفیک موجود در منطقه جیرفت استفاده کرد.

بازسازی و مطالعه اقلیم دیرینه و تحولات ژئومورفولوژیکی بیابانها از زمانهای دور مورد توجه جغرافیدانان و دانشمندان علوم زمین به خصوص ژئومورفولوژیستها بوده و از روشهای متفاوتی برای مطالعه دیرینه اقلیم نواحی بیابانی استفاده شده است. به خاطر شرایط خاص حاکم بر مناطق بیابانی خصوصا ریگها نمی توان از همه روشهای مطالعه دیرینه اقلیمی برای مطالعه تغییرات اقلیمی در این نواحی استفاده کرد. و از طرفی در صورت محیا شدن شرایط انجام مطالعات آزمایشگاهی و سن سنجی این مطالعات دارای هزینه و زمان بر می باشد. از این رو شاخص های دیگر مطالعه اقلیم دیرینه این مناطق همچون ورنی بیابان می تواند تا حد زیادی به مطالعه وضعیت دیرینه اقلیم این مناطق کمک کند. در این راستا پژوهش حاضر با این هدف انجام شده که نشان دهد که ویژگیهای ورنی همچون مورفولوژی و کانی شناسی ورنی بیابان به شدت توسط نوسانات اقلیمی در مناطق خشک کنترل شده و تغییرات در مورفولوژی ورنی نشان دهنده نوسان در محیطهای بادی بوده و سن یابی نسبت کاتیونی فرصتی را برای تعیین حداقل سن برای آغاز و پایان فعالیت بادی در مناطق بیابانی فراهم می کند.

### محدوده مورد مطالعه

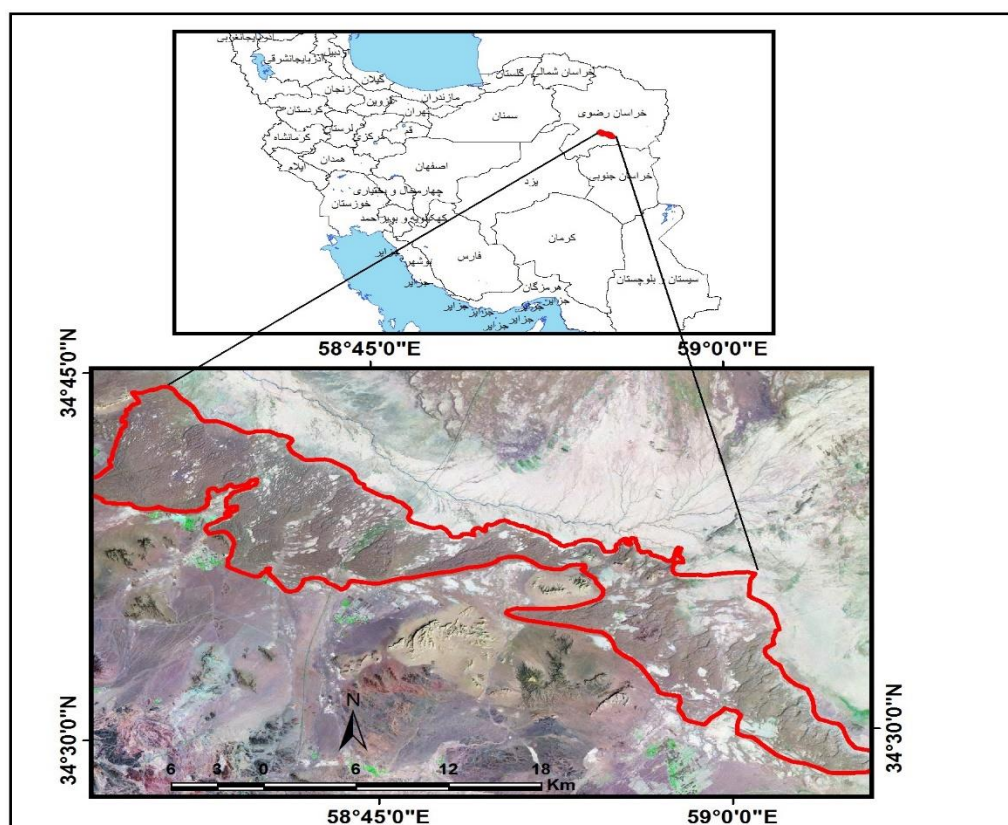
ریگ گناباد در جنوب استان خراسان رضوی و در شمال شهرستان گناباد بین  $34^{\circ} 58'$  تا  $59^{\circ} 06'$  طول شرقی و بین  $34^{\circ} 44'$  تا  $34^{\circ} 28'$  عرض شمالی قرار گرفته است. جاده ارتباطی مشهد-گناباد، از داخل این ریگ عبور می کند. میانگین دما در منطقه برابر با  $17/5$  درجه سلسیوس می باشد و میانگین بارندگی سالانه نیز برابر با  $131/9$  میلیمتر است. بر اساس آمار ثبت باد ایستگاه سینوپتیک گناباد، جهت باد غالب منطقه شرقی است. به عبارت دیگر در ۹ ماه از سال شامل بهمن، اسفند، فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد، شهریور و مهر جهت باد غالب شرقی است. جهت باد غالب در ماه

<sup>۱</sup> - Thomas

<sup>۲</sup> - Nowinski

<sup>۳</sup> - Zerboni

های آبان و آذر شمال شرقی و در دی ماه شمالی است. منطقه گناباد بخشی از بلوک لوت است که خود بخشی از خرده قاره شمال شرق ایران بشمار می آید. ریگزارهای منطقه بر روی پهنه کویری و دق های رسی شکل گرفته و در بعضی نواحی نیز سازندهای کرتاسه شامل آهک، ماسه سنگ و شیل، کنگلومرا و ژئیس به صورت برجستگی های کم ارتفاع در داخل ریگ بروزند دارند. ارتفاعات جنوبی و شرقی منطقه نیز متشکل از سازندهای ائوسن شامل آندزیت، بازالت و آندزین می باشد. ژئومورفولوژی ریگ متشکل از تپه ای ماسه ای در اشکال مختلف می باشد اماغلبه با تپه های طولی، برخان و سیف است. در بعضی نواحی که هنوز تپه ها توسعه زیادی نیافته از نوع بوکلیه و بوکلیه برخان نیز در منطقه قابل مشاهده می باشند. در نواحی مرزی ریگ و بعضی نواحی که بخش های مختلف ریگ از هم جدا شده اند توسعه پهنه های ماسه ای قدیمی باعث ایجاد پرتگاههای ماسه ای شده که در بعضی نواحی ارتفاع آن به ۱۱ متر می رسد. نیکاهای پراکنده نیز در سراسر ریگزار به خوبی قابل مشاهده می باشد که متأسفانه تبدیل به نیکاهای مرده شده و در حال نابودی می باشند.



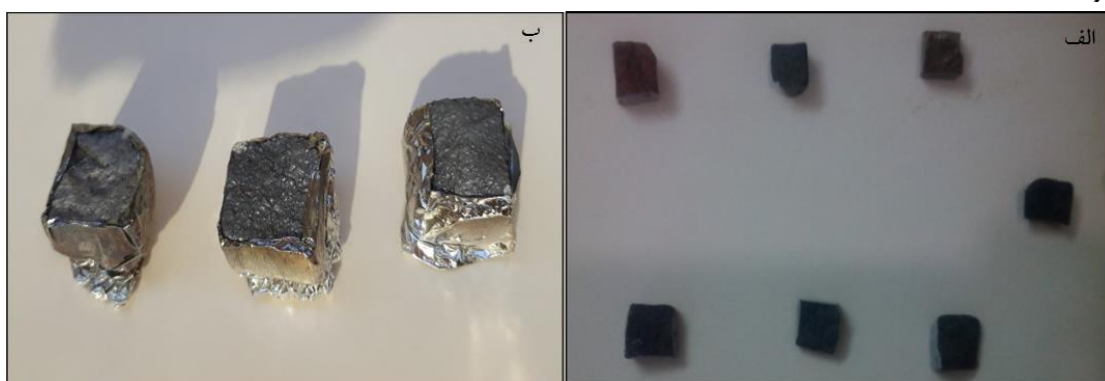
شکل ۱: موقعیت جغرافیایی ریگ گناباد

### مواد و روش ها

روش مورد استفاده در این تحقیق از نوع تحلیلی - توصیفی و تجربی بوده که در مرحله اول با مطالعات کتابخانه ای برای آگاهی از پیشینه تحقیق و در مرحله بعد مطالعات میدانی برای بررسی و شناسایی چهره های مختلف عوارض و نمونه برداری های لازم و همچنین مطالعات آزمایشگاهی برای بررسی و آنالیز نمونه های برداشت شده از منطقه جهت دستیابی به نتایج مورد نظر بوده است. به طور کلی در این تحقیق از دو نگرش تاریخی و تجربی استفاده شده است. مطالعات آزمایشگاهی در این تحقیق شامل تجزیه و تحلیل نمونه های جمع آوری شده از محدوده ریگ گناباد می باشد. بر همین اساس سعی گردیده که ورنی ها از عوارض مختلف پایدار و ناپایدار در محدوده ریگ، همچون سطح اینسلب‌رگ ها، دشت

های ریگی، سطوح آبرفتی قدیمی جمع آوری گردد. نمونه های انتخاب شده پس از جمع آوری به آزمایشگاه منتقل گردیده و برای فرایند آزمایش آماده سازی شده اند. مورفولوژی ورنی ها توسط میکروسکوپ الکترو اسکن که اولین بار توسط کرومبین<sup>۱</sup> (۱۹۶۹) استفاده گردید، مورد بررسی قرار گرفت و از تحلیل‌های انرژی-پراکنی اشعه X (EDAX) که توسط دورن<sup>۱</sup> (۱۹۸۶) برای مطالعه ورنی در بیابان های غرب آمریکا به کار برده شده، استفاده گردید.

در مرحله اول حدود سی نمونه ورنی از سطح ریگ جمع آوری گردید. و هفت نمونه مورد آزمایش قرار گرفت. پس از انتخاب ورنی ها در آزمایشگاه برای قرار گیری نمونه ها در داخل میکروسکوپ الکترونیکی نمونه های مورد نظر را در ابعاد ۱\*۱ سانتیمتر برش داده تا بتوان با قرار دادن در دستگاه آنالیزهای مورد نظر را انجام داد. قبل از قرار دادن نمونه ها در دستگاه سطح ورنی با پالادیم- طلا پوشیده شد، طلا یا کربن به وسیله میکروسکوپ الکترون اسکن (SEM) و توسط تحلیل‌های انرژی-پراکنی اشعه X (EDAX) مشاهده می شود. قسمتهای صیقلی خورده پیرامون سنگ که فاقد ورنی بوده نیز توسط ورقه های آلومینیم پوشیده شده تا از ایجاد خطا در محاسبات جلوگیری شود. بعد از انجام آنالیزها توسط میکروسکوپ الکترو اسکن و تعیین مورفولوژی ورنی با استفاده از تحلیل‌های انرژی پراکنی اشعه X (EDAX) بر روی ورنی ها عناصر موجود در هر نمونه اندازه گیری شد. برای این منظور اشعه ایکس در عمق ۱ میکرون ورنی تابانده شده تا مواد تشکیل دهنده ورنی را مورد ارزیابی قرار دهد. سرانجام میزان ضخامت قشر ورنی، مورفولوژی ورنی و عناصر آن تعیین گردید.

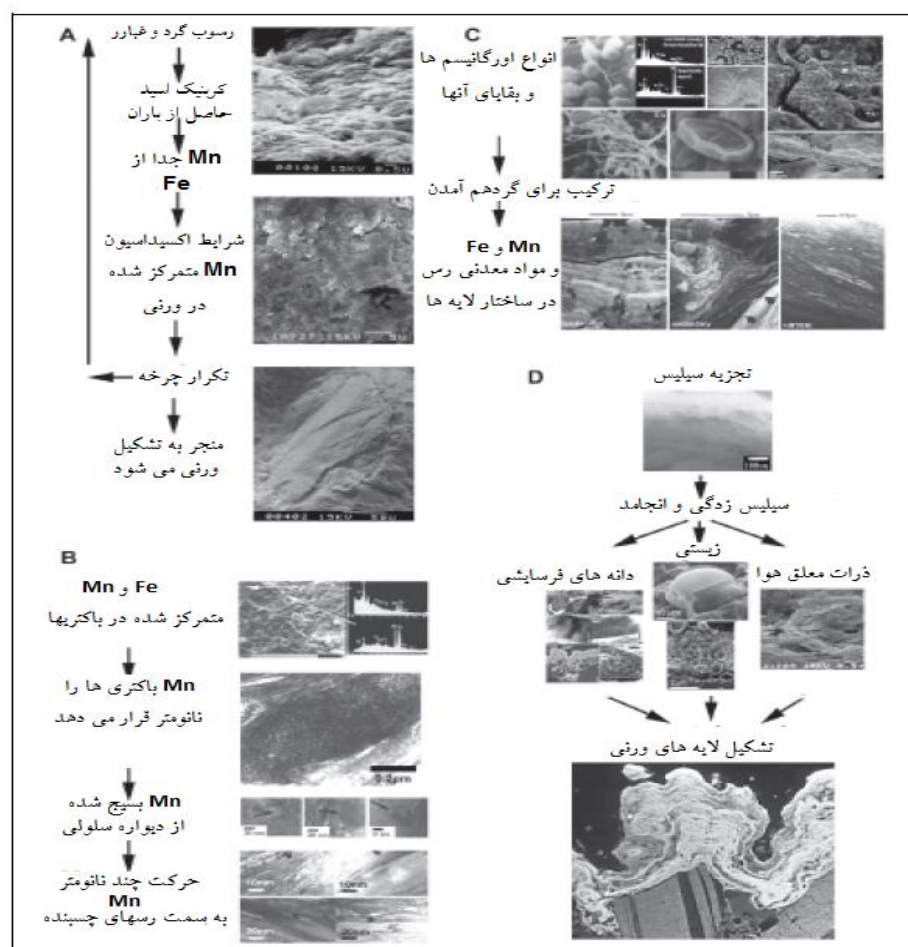


شکل ۲: نمونه های ورنی الف: نمونه های آماده شده بعد از برش با ابعاد ۱\*۱ سانتیمتر و ب: آماده شدن نمونه ها برای قرار گیری در دستگاه SEM و انجام آزمایشات مورد نظر

### نتایج و یافته های تحقیق

#### مکانیسم تشکیل و تکامل ورنی در منطقه

ورنی سنگی (اغلب ورنی بیابان نامیده می شود) یک لایه نازک با ترکیبی حدود یک سوم مواد معدنی رسی معمولاً همراه یک پنجم اکسید های منگنز و آهن بر روی سنگ میزبان تشکیل می شوند، که تا حدود زیادی مستقل از سنگ زیرین می باشد. اثر گذاری سنگ زیرین بر تشکیل ورنی بیابان (سنگی) موضوعی بحث برانگیز بوده است. فون همبولت در سال (۱۸۱۲) بیان کرد که پوشش های غنی از منگنز و آهن به صورت رسوب بر روی سنگ زیرین تشکیل می شود (دورن ۲۰۱۳ و همبولت ۱۸۱۲). از نتایج آزمایشات و تحلیل های انجام شده بر روی ورنی های منطقه و تحلیل شیمیایی آنها می توان استنباط کرد که ورنی های موجود در منطقه حاصل فرورانش ذرات معلق گرد و غبار در دوران فراوانی گرد و غبار و ذرات هواویزه در منطقه همزمان با گسترش دوران خشکی و فراوانی فعالیت های بادی در منطقه بوده است البته فرایندهای فیزیکی شیمیایی و فعالیت باکتریها نیز در تکامل ورنی ها مؤثر بوده اند (شکل ۳).



شکل ۳: مکانیسم تشکیل ورنی (دورن، ۲۰۰۷، ۲۶۳).

### میکرو مورفولوژی ورنی و تعیین نوسانات اقلیمی

تغییرات میکرو مورفولوژی در ورنی نوسانات بلند مدت فراوانی گرد و غبار را نشان می دهد (دورن، ۱۹۸۶، ۲۹۱). استفاده از ساختار میکرون - مقیاس ورنی سنگی با مشاهدات میکروسکوپیهای الکترون اسکن (SEM) توسط کرومبین<sup>۱</sup> (۱۹۶۹) شروع شد. پوتر و روسمن<sup>۲</sup> (۱۹۷۷) پری<sup>۳</sup> (۱۹۷۹) دورن و اوبرلندر<sup>۴</sup> (۱۹۸۲) و والی<sup>۴</sup> (۱۹۸۳) این روش را ادامه دادند. معمولاً مورفولوژی ورنی ها دارای شکل پیوسته است که بین خوشه مانند و ورقه ورقه متفاوت می باشند.

در مدلی که ابتدا به وسیله دورن و ابرلندر مطرح گردید زمانی که مواد معدنی رس در محیطهای بادی فراوان هستند، ته نشست پلاکتهای رسی در یک جهت افقی ساختار ورنی را تعیین می کند و ورنی های ورقه ای تولید می شوند و زمانی که رس معدنی آئروسولیک کم هستند، اکسیدها پیرامون هسته های میکروبی مجرد جمع شده و میکرومورفولوژی خوشه ای شکل می گیرد (دورن، ۱۹۸۶، ۲۹۳). بررسی مورفولوژی ورنی های موجود در منطقه نشان دهنده این است که مورفولوژی ورنی ها در منطقه دارای شکل ورقه ای بوده که نشان دهنده فراوانی فعالیت بادی با پوشش گیاهی ضعیف در

1 - Krumbein

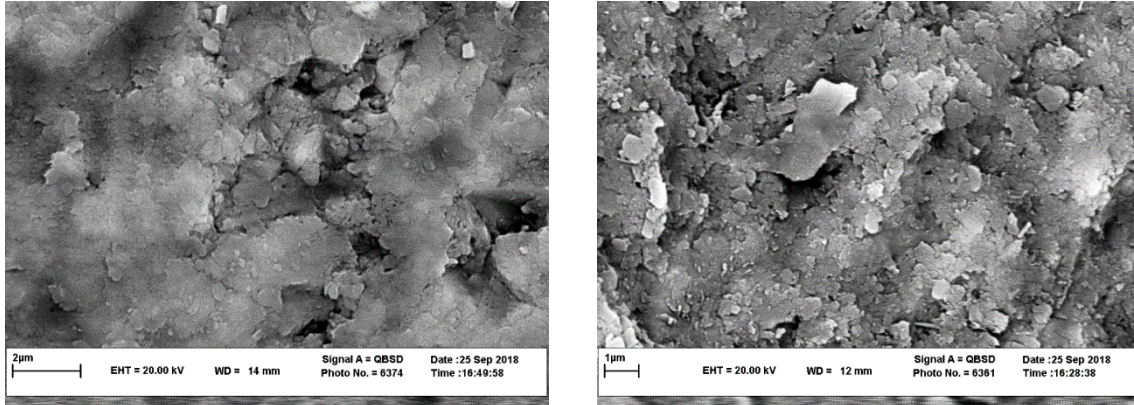
2 - Russman

3 - Perry

4 - Whalley



منطقه می باشد(شکل ۴). این نشان دهنده این می باشد که کمبود پوشش گیاهی در منطقه باعث افزایش ذرات معلق در هوا از جمله گرد و غبار شده است که فرونشینی این مواد به تدریج بر روی سنگها باعث شکل گیری ورنی شده است.



شکل ۴: تشکیل پلاکت های رسی و شکل گیری مورفولوژی ورقه ای در دو نمونه از ورنی های مورد مطالعه

### نقش شیمی و کانی شناسی ورنی در تعیین اقلیم گذشته

شیمی دان تحلیلی سلسنت انجل<sup>۱</sup> اولین پایان نامه کارشناسی ارشد را روی ورنی سنگی در بیابان موجاوا تکمیل و برای نوشتن آن با روبرت شارپ<sup>۲</sup> همکاری کرد. عناصر اصلی، اکسیژن(O)، هیدروژین(H)، سیلیکات (Si)، آلومینیوم(Al) و آهن(Fe) تقریباً برابر با منگنز(Mn) می باشند. رمز کلیدی شکل گیری ورنی این است که چگونه افزایش نسبت منگنز را توضیح دهیم. نسبت Mn:Fe ورنی از ۱:۱ تا حدود ۱:۵۰ در مقابل با نسبت Mn:Fe از حدود ۱:۶۰ در پوسته زمین متغییری باشد

آنجل و شارپ تعاریف زیر را در مورد عناصر ورنی ارائه داده اند(۱۹۸۵):

۱- سیلیکات و آلومینیوم با هم بخش عمده ای از ورنی سنگی را تشکیل داده، سازگار با رس و کانی شناسی غالب را تشکیل می دهند.

۲- اکسیدهای منگنز و آهن معمولاً یک چهارم تا یک سوم ورنی سنگی را همراه با تغییر پذیری نقطه به نقطه در مقیاس نانومتر تا کیلومتر تشکیل می دهد.

۳- عناصر جزئی الگوهای متغییری را نشان می دهند. عناصر منیزیم(Mg)، پتاسیم(K) و کلسیم(Ca) وضعیت تبادل کاتیونی مرتبط با رس هستند. باریوم اغلب با Si در سولفات باریوم مرتبط می باشد. به عبارت دیگر باریوم(Ba) با منگنز همبستگی دارد. تیتانیوم (Ti) می تواند با Fe در دانه های تیتانیوممغناطیسی قطره ای همبستگی داشته باشد. اما در اغلب موارد Ti همبستگی خوبی با اکثر عناصر ندارد.

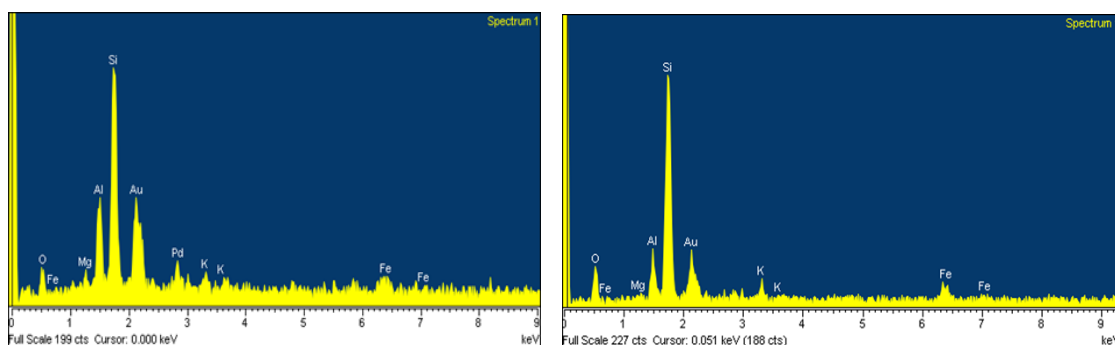
۴- فلزات ردیابی سنگین به طور کلی با فراوانی منگنز همبستگی داشته و در بعضی موارد با Fe. به علت خواص تخلیه این هیدرواکسیدها.

در بررسی عناصر موجود در ورنی در منطقه که با استفاده از میکروسکوپ الکترونیکی (Xray) صورت گرفت نشان می دهد که عناصر موجود در ورنی عبارتند از Si، Fe، K، Mg، طلا(Au)، Al، پلادیم(pd) و همچنین مقدار کمی Ca و Ti و Mn می باشد. مقدار پایین منگنز(Mn) در ورنی و بالا بودن مقدار Fe نشان دهنده افزایش نسبت آهن به منگنز در ورنی می باشد که این خود نشان دهنده حاکمیت اقلیم خشک در منطقه می باشد. همچنین اندک بودن مقادیر Ti یا تیتانیوم در

<sup>۱</sup> - Celeste Engel

<sup>۲</sup> - Robert Sharp

ورنی نشان دهنده این می باشد که دوره خشکی حاکم بر منطقه و تشکیل ورنی چندان قدیمی نبوده و می تواند مربوط به چند صد سال یا هزار سال اخیر باشد. زیرا با افزایش سن ورنی به دلیل پایداری تانیم بر مقدار آن افزوده شده و از سایر کاتیون ها مانند K، Mg و Ca کاسته می شود. بالا بودن میزان رس در ورنی نیز نشان دهنده شرایط خشک همراه با فراوانی طوفان های گرد و غبار در منطقه را نشان می دهد زیرا ذرات رس در دوره حاکمیت شرایط خشک در هوا معلق بوده و فراوانی این عنصر باعث ته نشین شدن آن بر روی سنگها و شکل گیری ورنی در منطقه می شود.



شکل ۵: عناصر موجود در نمونه های ورنی منطقه که با استفاده از میکروسکوپ الکترونیکی مشخص شده است.

### میکرو چینه شناسی و ضخامت ورنی و تغییرات اقلیمی

میکرو چینه شناسی ورنی توالی لایه های تکرار شوند ای را نشان می دهد که نشان دهنده تغییرات اقلیم در دوران گذشته در منطقه می باشد. لایه های موجود در ورنی دارای رکوردهای اقلیمی بوده که با بررسی این لایه ها می توان وضعیت اقلیمی دوران گذشته را تفسیر کرد. مطالعات میکرو چینه شناسی ورنی در سراسر جهان نشان داده که ورنی دارای سه لایه به رنگهای سیاه، پرتقالی و زرد رنگ می باشند. لایه های سیاه رنگ لایه ای فقیر از نظر منگنز بوده و در عوض از لحاظ مقدار رس و آلومینیوم غنی می باشند. در صورتی که لایه های پرتقالی و زرد غنی از منگنز بوده و از لحاظ رس و آلومینیوم فقیر می باشند.

میکرو لایه بندی ورنی (VML)<sup>۱</sup> برای اولین بار توسط پری و آدامز<sup>۲</sup> (۱۹۸۷) گزارش شد آنها تشخیص دادند که این پتانسیل مانند یک شاخص پالئو محیطی در مناطق خشک می باشد. میکرو لایه های ورنی با استفاده از میکروسکوپ پتروگرافیک (یا میکروسکوپ الکترو اسکن) زمانی که لایه های نازک ورنی حدود ۵ تا ۱۰ میکرون ضخامت دارند، می تواند مشاهده شود (لیو و بروکر، ۲۰۰۸، ۵۰۳).

بررسی میکرو چینه شناسی یا میکرو لایه بندی ورنی (VML) در منطقه که با استفاده از میکروسکوپ الکترو اسکن انجام شده نشان می دهد که ورنی مورد مطالعه در تمام نمونه ها فاقد لایه بندی بوده و به صورت یک لایه می باشد. این لایه از ورنی دارای مقدار زیادی رس، آلومینیوم، آهن و سایر کاتیون ها بوده که می توان گفت از نوع ورنی سیاه بوده و نشان دهنده حاکمیت شرایط خشک در منطقه بیشتر بوده است. که این شرایط خشکی به احتمال فراوان بعد از آخرین دوره بارانی در منطقه شروع شده و تا زمان حال نیز ادامه دارد.

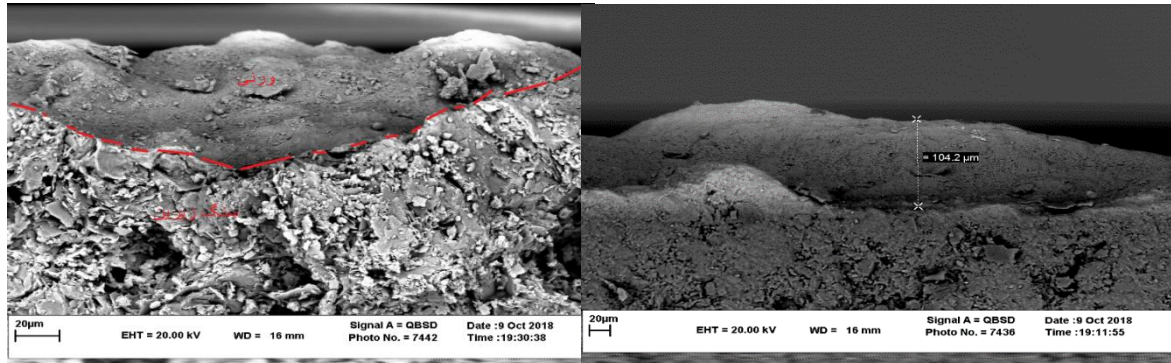
ضخامت ورنی از دیگر پارامترهای فیزیکی ورنی بوده که می توان برای تفسیر تغییرات و نوسانات اقلیمی گذشته به آن استناد کرد. با توجه به اینکه ورنی لایه ای رسوبی است که بسیار کند تجمع می یابد و هزار سال طول می کشد تا ۱-۴۰

<sup>۱</sup> - Varnish microlamination

<sup>۲</sup> - Perry and Adams



میکرون ضخامت آن ایجاد شود با استفاده از اندازه گیری ضخامت ورنی و نسبت رشد سالانه آن می توان تا حدی به دورانی که طول کشیده که ورنی تشکیل شود پی برد. اما بعضی محققین همچون لویی (۲۰۰۰) معتقدند که از آنجا که ممکن است نرخ رشد ورنی در مقیاس فضایی از میکرومتر تا کیلومتر متفاوت باشد نمی توان از این شاخص به عنوان یک شاخص معتبر برای سن سنجی در ژئومورفولوژی و باستان شناسی استفاده کرد.



شکل ۶: ضخامت ورنی در منطقه مورد مطالعه بر روی سنگ زیربنا

جدول ۱: برخی از ویژگیهای نمونه های ورنی مورد مطالعه در سطوح مختلف ژئومورفیک

| سطح ژئومورفیک | رنگ ورنی | ضخامت (µm) | سطح توپوگرافی   |
|---------------|----------|------------|-----------------|
| پایدار        | تیره     | ۶۶/۴۷      | دامنه ای شیبدار |
| پایدار        | تیره     | ۱۰۴/۲      | هموار           |
| پایدار        | تیره     | ۳۹/۲       | هموار           |
| پایدار        | تیره     | ۲۰۰/۳      | هموار           |

### نسبت کاتیونی

در سال ۱۹۸۳ توسط دورن روشی برای تعیین سن ورنی ها ارائه شد که بر اساس نسبت عناصر (نسبت کاتیونها) استوار بود (آلن، ۲۰۰۰، ۲۶۳). فرضیه تعیین سن نسبت کاتیونی بر این اساس است که با گذشت زمان کاتیون های اشباع شده در ورنی مانند، K, Mg, Na, Ca به تدریج توسط کاتیون های کمتر تغییر یافته مانند Ti یا تیتانیوم جایگزین می شوند. کاهش نسبت کاتیون  $Na + Mg + K + Ca : Ti$  یا دیگر اجزای وابسته به آن (Ca:Ti)، یک شاخصی از طول زمان را فراهم می سازد که ورنی در معرض شستشوی کاتیون قرار داشته است (Dorn, 1983) به این دلیل از تیتانیوم به جای آهن استفاده می شود که:

(۱) Ti یا تیتانیوم کمتر دچار تغییر شده و پایدارتر است (کولمن ۱۹۸۲).

(۲) آهن متمرکز یافته توسط میکرو اورگانیزم های ورنی تحت تأثیر قرار می گیرد،

(۳) Al (آلومینیوم) به وسیله مواد معدنی رس متمرکز شده در ورنی تحت تأثیر قرار می گیرد، که احتمالاً توسط سطوح گرد و غبار بادی و میکرو اورگانیزم های ورنی تحت تأثیر قرار می گیرد (دورن و ابرلندر ۱۹۸۲).

روش نسبت کاتیونی اثبات کرده است که یک نسبت معتبر بوده و یک تکنیک تعیین سن مطلق واسنجی شده است. و این تکنیک بر این اساس است که نسبت کاتیون های متغییر (مثلاً Na, Mg, K, Ca) به کاتیون های کمتر متغییر (مثلاً Ti) در طول زمان کاهش می یابد.

یکی از مهمترین فایده های تکنیک نسبت کاتیونی سادگی و ارزان بودن آن است که توسط تحلیل شیمیایی عناصر ورنی به دست می آید. مهمترین بخش این روش مرحله نمونه برداری می باشد جایی که فاکتورهای میکرو محیطی می تواند

کنترل شود و مرحله آماده سازی نمونه ها است جایی که از تداخل ناخالصی های حاصل از سنگ زیرین با ورنی باید اجتناب شود.

در سال ۱۹۸۳ دورن معتقد بود به دلیل چهار فرض نظری می توان پذیرفت که نسبت کاتیونی برای تعیین سن ورنی می تواند استفاده شود، این چهار فرض عبارتند از (آلن، ۲۰۰۰، ۲۶۳):

۱- اجزای تشکیل دهنده ورنی از منابع حساس و یکسان حاصل می شوند و نسبت کاتیون ذرات معلق در هوا در طول کواترنر ثابت می باشند.

۲- ورنی سنگی یک سطح رسوبی است به عنوان یک مجموعه تبادل کاتیونی که ظرفیت آن در تمام نمونه های مقایسه شده مشابه است.

۳- سودیم، منیزیم (Mg) فسفر (P)، پتاسیم (K) و کلسیم (Ca) در ورنی از تیتانیوم (Ti) تغییر پذیر تر می باشند.

۴- نسبت شویندگی کاتیون ها در ورنی برای همه نمونه مشابه است یا تغییرات مؤثر نسبت شویندگی همزمان بوده و در همه ورنی ها نمونه هم اندازه می باشد.

در بررسی نسبت کاتیونی حداقل نسبت و بیشترین نسبت برای منطقه محاسبه گردید که نشان دهنده حداقل سن و حداکثر سن برای ورنی های منطقه می باشد. هر چه مقدار به دست آمده کوچکتر باشد نشانه سن بیشتر ورنی می باشد. برای اینسلبرها به صورت زیر محاسبه گردید:

$$K + Ca : Ti = 9/2 + 1/5 : 0/92 = 11/63$$

جدول ۲: ترکیب شیمیایی ورنی های مورد مطالعه

| میانگین عناصر (%) |     |      |      |     |      |      |     |     |     |      | واحد                |
|-------------------|-----|------|------|-----|------|------|-----|-----|-----|------|---------------------|
| Au                | Mn  | Ba   | Na   | K   | Al   | Ti   | Mg  | Ca  | Fe  | Si   | ژئومورفولوژیک       |
| ۱۱/۶              | ۰/۳ | ۰/۰۷ | ۰/۳۱ | ۹/۲ | ۱۴/۳ | ۰/۹۲ | ۴/۳ | ۱/۵ | ۵/۲ | ۵۲/۴ | اینسلیبرگ           |
| ۱۵/۲              | ۰/۵ | ۰/۰۸ | ۰/۳۲ | ۷/۸ | ۱۳/۶ | ۰/۹  | ۳/۲ | ۲/۸ | ۶/۷ | ۴۸/۹ | پهنه ماسه ای        |
| ۱۰/۵              | ۰/۴ | ۰/۰۵ | ۰/۳۳ | ۵/۲ | ۱۵/۱ | ۰/۸۵ | ۴/۲ | ۳/۲ | ۷/۱ | ۵۳/۱ | رسوبات آبرفتی قدیمی |
| ۱۱/۳              | ۰/۳ | ۰/۰۵ | ۰/۳۰ | ۵/۶ | ۱۲/۶ | ۰/۷۵ | ۳/۱ | ۳/۲ | ۷/۶ | ۵۵/۲ | دشت ریگی            |

جدول ۳: نسبت کاتیونی محاسبه شده در ورنی های منطقه

| نسبت کاتیونی عناصر |         |                | سطح ژئومورفولوژیک   |
|--------------------|---------|----------------|---------------------|
| Ca:Ti              | K+Ca:Ti | Na+ Mg+K+Ca:Ti |                     |
| ۱/۶۳               | ۱۱/۶۳   | ۱۶/۶           | اینسلیبرگ           |
| ۳/۱                | ۱۰/۶    | ۱۵/۸           | پهنه ماسه ای        |
| ۳/۸                | ۸/۹     | ۱۳/۵           | رسوبات آبرفتی قدیمی |
| ۴/۳                | ۹/۸     | ۱۳/۳           | دشت ریگی            |

بررسی نسبت کاتیونی ورنی های منطقه نشان می دهد که این نسبت با استفاده از رابطه  $K+Ca:Ti$  بین ۹/۸ تا ۱۱/۶۳ قرار دارد. این نسبت نشان دهنده این است که شروع دوره شکل گیری و رسوبگذاری ورنی در منطقه و به عبارتی شروع دوره خشکی در منطقه از ابتدای هولوسن و احتمالاً ۱۰۵۰۰ سال پیش بوده و به احتمال زیاد در میانه دوره هولوسن منطقه با افزایش رطوبت (دوره مرطوب کوتاه مدت) همراه بوده است. با توجه به کار مشابهی که دورن (۱۹۸۳) در شرق آمریکا انجام داده تقریباً نسبت هایی شبیه به تحقیق حاضر را به دست آورده (نسبت کاتیونی بین ۹/۱۷ تا ۱۵/۵۶) و سن محتمل برای این بازه را ۱۰۰ تا ۱۰۵۰۰ سال حدس زده است. این نسبت سنی و بازه زمانی برای منطقه ما نیز می تواند بین ۱۰۰

تا حدود ۱۰۵۰۰ سال باشد. که این وضعیت با نتایج مطالعاتی که در سایر نقاط ایران شروع شده مطابقت دارد. برای مثال داودی و همکاران (۱۳۹۳) شروع دوره هولوسن در زاگرس جنوبی را ۱۰۲۰۰ سال پیش بیان کرده اند.

### نتیجه گیری

نتایج حاصل از بررسی ورنی های منطقه نشان می دهد که با شروع دوره خشکی و فعالیت بادی در منطقه تقریباً از ابتدای شروع دوره هولوسن ورنی ها شروع به شکل گیری نموده اند، که نتیجه خشک بودن منطقه و وجود فعالیت بادی شدید در منطقه می باشد. مورفولوژی و چینه نگاری ورنی ها نشان دهنده این واقعیت است که دوره فعالیت بادی و خشکی در منطقه طولانی بوده و دوره مرطوب چندان طولانی نبوده است. مورفولوژی ورنی های منطقه فقط به صورت ورقه ای بوده که نشان از حاکمیت دوره خشک و فراوانی فعالیت بادی و طوفان های گرد و غبار در منطقه دارد، چنانچه فعالیت دوره مرطوب رخ داده در منطقه طولانی بود اثرات این دوره در مورفولوژی و عناصر ورنی های منطقه منعکس می گردید. مورفولوژی ورنی از ورقه ای به خوشه ای تغییر شکل می یافت و ترکیبات ورنی نیز دچار تغییر می شد چرا که در دوره مرطوب مقدار و درصد منگنز (Mn) بیشتری در ورنی تمرکز می یابد این در حالی است که میزان منگنز در ورنی های منطقه ناچیز و در عوض میزان آهن (Fe) در ورنی فراوان تر است که خود شاهدی از حاکمیت دوره خشک و کمبود پوشش گیاهی در منطقه می باشد. نسبت کاتیونی حاصل از تحلیل عناصر موجود در ورنی های منطقه نیز نشان دهنده این است که شکل گیری و تحولات ریگ مربوط به دوره هولوسن بعد از رخداد آخرین دوره حداکثر گسترش یخچالها بوده است. تراکم و انباشت ماسه ها در منطقه از آن زمان شروع و تا زمان حال با شدت و ضعفهایی ادامه دارد. همچنین می توان گفت تراکم و تجمع ماسه ها و شکل گیری ریگ در منطقه در شرایط اقلیمی متفاوت یعنی تکرار دوره های خشک و بارانی متوالی، شکل نگرفته است. ولی دوره های مرطوب و بارانی کوتاه مدت در منطقه وجود داشته است. به طور کلی می توان بیان کرد که ورنی بیابان می تواند به عنوان یک شاخص ژئومورفولوژیکی برای بررسی نوسانات اقلیمی دوران کواترنر، خصوصاً کواترنر اخیر مورد استفاده قرار گیرد چرا که هم ویژگیهای فیزیکی و هم ویژگیهای شیمیایی آن منعکس کننده شرایط محیط در دوران انباشت و تجمع ورنی در منطقه می باشد.

### منابع

- بهنیا، ابوالفضل. قنبرزاده، هادی. ۱۳۹۷. ژئومورفولوژی مناطق خشک و بیابانی (فرآیندها، لندفرم ها، عملکردهای انسانی و مخاطرات). انتشارات سخن گستر. مشهد.
- سرمست، معصومه و همکاران. ۱۳۹۴. مقایسه برخی خصوصیات جلای بیابان در سطوح پایدار، ناپایدار و نسبتاً پایدار پدیمت پوشیده در منطقه جیرفت. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). سال نوزدهم. شماره ۷۳، ص ۹۹-۱۱۱
- داودی، محمود. عزیزی، قاسم. مقصودی، مهران. ۱۳۹۳. بازسازی تغییرات آب و هوایی هولوسن در زاگرس جنوبی: شواهد گرده شناسی و زغال در رسوبات دریاچه پریشان. پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی. سال سوم. شماره ۱. تابستان.
- Alan, W. 2000. A review of the history of dating rock varnishes. *Earth-Science Reviews* 49. 261-277.
- Bierman, P.R. Koehner, S.M. 1992. Accurate and precise measurement of rock varnish chemistry using SEM/EDS. *Chemical Geology*, 95. 283-297.
- Dorn, R.I. 1983. Cation-Ratio Dating: A New Rock Varnish Age-Determination Technique. *Quaternary Research*. 20, 49-73.
- Dorn, R.I. and T.M. Oberlander, 1982. Rock varnish. *Progress in physical Geography* 6, 317-67.
- Dorn, R.I. 1986. Rock varnish as an indicator of aeolian environmental change, in *Aeolian Geomorphology* (ed. W.G. Nickling), *The Binghamton Symposia in Gemorphology: International Series 17*, Allen and Unwin, Boston, pp. 291-307.

- Dorn, R.I. 2000. Quaternary alkalinity fluctuations recorded in rock varnish microlaminations on western U.S.A. volcanics. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 76 . 291-310
- Dorn, R.I., 2009, deserts Rock Coatings, in: *Geomorphology of Desert Environments*, A. Abrahams and A. Parsons, ed., Chapman and Hall, London, pp. 153–186.
- Dorn, R., Krinsley, D., H. Langworthy, K., A. Ditto, J. Thompson, T. 2013. The influence of mineral detritus on rock varnish formation. *Aeolian Research* 10 . 61–76
- Krumbein, W.E., 1969. *Über den Einfluss der Mikroflora auf die Exogene Dynamik (Verwitterung und Krustenbildung)*. *Geologische Rundschau* 58, 333-63.
- Liu, T. 2003. Blind testing of rock varnish microstratigraphy as a chronometric indicator: results on late Quaternary lava flows in the Mojave Desert, California. *Geomorphology* 53 . 209–234.
- Liu, T. and W. S. Broecker. 2008. Rock varnish microlamination dating of late Quaternary geomorphic features in the drylands of western USA. *Geomorphology* 93: 501-523.
- Liu, T., Broecker, W.S. 2007. Holocene rock varnish microstratigraphy and its chronometric application in the drylands of western USA. *Geomorphology* . 84 . 1-24.
- Liu, T., Broecker, W.S., 2000. How fast does rock varnish grow? *Geology* 28, 183–186.
- Nowinski, P. 2009. *Desert Varnish as an Indicator of Modern-Day Air Pollution in Southern Nevada*. Phd. Thesis, Graduate College University of Nevada, Las Vegas December.
- Perry, R.S. 1979. *Chemistry and structure of desert varnish*. M.Sc. Thesis, University of Washington, Seattle.
- Perry, R. S. and V. M. Kolb. 2004. Biological and organic constituents of desert varnish: review and new hypotheses. *P. Sco. Photo-Opt. Ins.* 5163: 202-217.
- Potter, R.M. And G.R. Rossman. 1977. Desert varnish: important of clay minerals. *Science* 196. 1446-48.
- Thomas, D.S.G. 2011. *Arid zone, geo-morphology, process, form and change in dry land*. 3 edition. John Wiley & Sons, Ltd. P 626.
- Watchman, A. 2000. A review of the history of dating rock varnishes. *Earth-Sci. Rev.* 49: 261-277.
- Whalley, Wb. 1983. Desert varnish. In *Chemical sediments and Geomorphology*, A.S. Goudi and K. Pye (eds). 197-226. London.
- Zerboni, A. 2008. Holocene rock varnish on the Messak plateau (Libyan Sahara): Chronology of weathering processes. *Geomorphology* 102 . 640–651.