



## بررسی ویژگی‌های کانی‌شناختی، زمین‌شیمیایی و خاستگاه نهشته‌های بادرفتی استان گلستان، شمال شرق ایران

سینا اسدی\*<sup>۱</sup>، فرید مرّ<sup>۱</sup>، بهنام کشاورزی<sup>۱</sup>، فرح رحمانی<sup>۲</sup>

۱- بخش علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز

۲- بخش زمین‌شناسی پزشکی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

(دریافت مقاله: ۸۹/۶/۷، نسخه نهایی: ۸۹/۸/۱۶)

**چکیده:** از خاستگاه، روند تکاملی، ویژگی‌های نهشته‌های بادرفتی در شمال شرق ایران و ارتباط آن‌ها با دیرینه اقلیم کوتاه‌تر، اطلاعات اندکی وجود دارند. بررسی‌های کانی‌شناختی، بافتی و ترکیب زمین‌شیمیایی بادرفتهای استان گلستان نشان می‌دهد که خاستگاه همه‌ی سنگ‌های آذرین فلسیک (بیشتر گرانیتی و گرانودیوریتی) هستند. نمونه‌های بررسی شده ترکیب شیمیایی یکنواختی را نشان می‌دهند که می‌توانند نشانگر تاریخچه‌ی دگرسانی همسان آن‌ها باشد. شاخص شیمیایی دگرسانی درجات متفاوتی از هوازدگی (ضعیف تا متوسط) را در خاستگاه فلسیک پیشنهاد می‌کند. کانی‌های سنگین مشتق شده از خاستگاه ماگمایی مانند زیرکن، تورمالین، آپاتیت، تیتانیت و فیلسیلیکات‌هایی مانند کلریت، بیوتیت و مسکوویت از عوامل اصلی کنترل‌کننده‌ی ترکیب شیمیایی سنگ‌اند. بررسی‌هایی که با میکروسکوپ الکترونی روبشی روی دانه‌های کوارتز انجام گرفت، نشان داد که حجم بزرگی از اجزای در اندازه سیلت در اثر فرایندهای یخساری و در عصر یخساری پلیستوسن ایجاد شده‌اند. این مواد سپس با بادهای مناطق خشک و نیمه خشک آسیای میانه (مانند صحراهای بزرگ ترکمنستان، تاجیکستان و ازبکستان) به حرکت در آمده و به نظر می‌رسد که در پشت سدهای توپوگرافیکی محلی شمال ایران بدام افتاده باشند.

**واژه‌های کلیدی:** نهشته‌های بادرفتی؛ سنگ خاستگاه فلسیک؛ شاخص شیمیایی دگرسانی؛ استان گلستان.

### مقدمه

مغناطیسی و تغییرات جغرافیای دیرینه‌ی آن را بررسی کنند [۱، ۲]. نهشته‌های بادرفتی تقریباً ۱۰ درصد سطح زمین را می‌پوشانند [۳]. در ایران، استان گلستان، دارای بیشترین گستره‌ی بادرفتی در سطحی معادل ۳۲۰۰ کیلومتر مربع (۱۹ درصد وسعت استان) است؛ که از شرقی و شمال شرق (بخش‌های مراوه تپه و داشلی برون) تا غرب و جنوب غربی استان (مناطق پست و کم ارتفاع دریای خزر) در ارتفاع بین ۱۰۰ تا

بررسی نهشته‌های بادی، مانند بادرفتهای، با میان لایه‌هایی از دیرینه خاک در سرزمین‌های حاشیه‌ی یخساری، بیابان‌ها و حوضه‌های داخلی رودخانه‌ها، وجود پدیده‌های پیش یخساری موجود در این مناطق و چرخه‌هایی از افق‌های رسی و ماسه‌ای همراه با آثار زندگی جانوری، بی‌شک بهترین فرصت را در اختیار زمین‌شناسان قرار می‌دهد تا اقلیم کوتاه‌تر، پذیرفتاری

\* نویسنده مسئول، تلفن - نمابر: ۲۲۸۴۵۷۲ (۰۷۱۱)، پست الکترونیکی: geosinaa@gmail.com

زمان، روی شیب‌های تند فرسایش یافته، پشته‌ی تاقدیس‌ها، تپه‌ها و دامنه‌های کم‌شیب، به‌صورت کلاهِک باقی مانده‌اند. در استان گلستان ضخامت نهشته‌های بادرفتی گاهی به بیش از ۵۰ متر هم می‌رسد و معمولاً فاقد لایه‌بندی هستند [۱۱]. بنا بر محاسبات انجام شده و با فرض آهنگ رسوب‌گذاری ۱۲ سانتیمتر در هر ۱۰۰۰ سال، سن بادرفت‌ها را بین پلیستوسن میانی تا هولوسن برآورد کرده‌اند [۱۲]. بنابراین نهشته‌های بادرفتی استان گلستان وابسته به اقلیم سرد و خشک وُرم پسین و پس از آنند. تغییرات جانبی و قائم اندازه‌ی ذرات در نهشته‌های بادرفتی نه تنها جهت وزش بادهای غالب را نشان می‌دهد، بلکه شدت این بادهای نیز با میانگین اندازه‌ی ذرات ارتباط مستقیم دارد به‌طوری که افزایش شدت باد، افزایش اندازه‌ی ذرات را به همراه دارد [۴]. به باور روزیکی [۱۳] و براساس ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بادرفت‌ها، راستای اصلی حرکت توده‌های هوای قطبی و بادهای محلی در تشکیل بادرفت‌های شمال ایران، شمال شرقی به جنوب غربی بوده است، ضمن اینکه لطیف [۱۲] بادهای شمالی- جنوبی را در تشکیل بادرفت‌ها موثر می‌داند. این تغییرات براساس رخساره‌های بادرفتی به‌صورت دنباله‌ای از ماسه‌ بادرفتی به بادرفت ماسه‌ای و بادرفت‌های رسی پیش بینی شده است [۱۲]. شرایط متنوع محیطی، پراکندگی بلندی‌ها و تغییرات محسوس پارامترهای اقلیمی در استان گلستان باعث به‌وجود آمدن رژیم‌های گرمایی و رطوبتی اریدیک با پوشش گیاهی مرتعی و میزان بارش سالانه کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر در بخش‌های مراوه تپه و داشلی برون، زریک و ترمیک در منطقه‌ی میانی و دشت‌های گنبد کاووس با بارش سالانه ۲۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر و یودیک و مزیک در ارتفاعات جنوبی منطقه‌ی گرگان با پوشش جنگلی و میزان بارش سالانه بیش از ۷۰۰ میلی‌متر شده است [۱۴].

#### روش بررسی

در پی جوی‌های صحرایی، ۳۰ نمونه رسوب بادرفتی از دو اقلیم متفاوت شمال شرقی (مراوه تپه و داشلی برون-گنبد کاووس) تا جنوب غربی استان (گرگان) بر اساس میزان پراکندگی، تنوع ریخت‌شناختی، تغییرات کانی‌شناختی صحرایی، تنوع رنگ بندی و تفاوت‌های ساختی و بافتی نمونه-

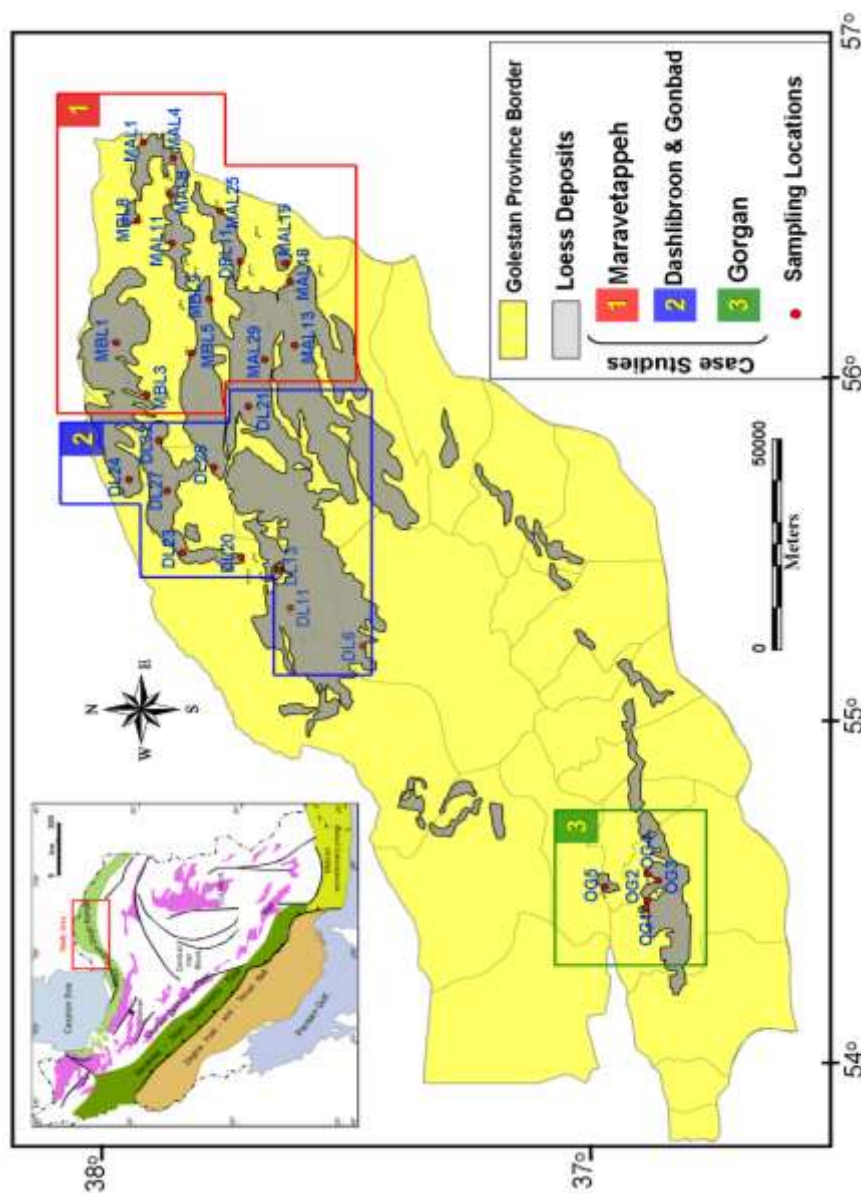
۱۵۰۰ متری سطح دریا گسترش دارند [۴]. این نهشته‌ها بخشی از کمربند بادرفتی اوراسیا به شمار می‌آیند که از شمال غرب اروپا تا آسیای میانه (تاجیکستان، ازبکستان و قزاقستان) و چین کشیده شده‌اند. بیشترین بررسی‌هایی که تا به حال روی بادرفت‌های شمال ایران انجام شده است شامل ویژگی‌های رسوب‌شناختی، زمین ریخت‌شناختی، خاک‌زایی، دیرینه اقلیم [۴-۶]، سال سنجی بادرفت‌ها و دیرینه خاک‌ها [۷] می‌شود. در مورد خاستگاه و ترکیب کانی‌شناختی بادرفت‌های شمال ایران تاکنون بررسی‌های گسترده‌ای انجام نشده است و تنها می‌توان به بررسی‌های اخروی و امینی [۸] و رقیمی و همکاران [۹] اشاره کرد. این پژوهشگران بیشتر بر خاستگاه بادی این رسوب-ها تاکید دارند. در این پژوهش به تغییرات کانی‌شناختی، اندازه‌ی ذرات و تعیین دوری و نزدیکی اجزای تشکیل دهنده‌ی بادرفت‌ها نسبت به خاستگاه از شمال شرقی (مناطق مراوه تپه و داشلی برون-گنبد کاووس) به جنوب غربی استان (گرگان)، بررسی ویژگی‌های زمین شیمیایی بادرفت‌ها و مقایسه‌ی آن با نمونه‌های جهانی و در نهایت برآورد خاستگاه‌های بادرفتی با استفاده از عوامل اصلی موثر در ترکیب شیمیایی آن‌ها خواهیم پرداخت.

#### ویژگی‌های زمین‌شناختی و اقلیم استان گلستان

جلگه‌ی گرگان از نظر تقسیم‌بندی ساختاری و زمین‌شناسی ایران بخشی از زون شرقی البرز شمالی است [۱۰]. وجود انواع نهشته‌ها به ویژه سنگ‌های رسوبی از پرکامبرین تا عصر حاضر، این جلگه را از نظر ویژگی‌های زمین‌شناختی در ردیف مناطق استثنایی جهان قرار داده است. این زون در شرق، با زون‌های بینالود، هزار مسجد و کپه داغ هم‌مرز است. شیست‌های گرگان قدیمی ترین واحد سنگی منطقه و پی سنگ دگرگونی پرکامبرین کپه داغ به‌شمار می‌روند که در نتیجه عملکرد فاز کوهزایی کالدونین رخمون یافته‌اند [۱۱]. نهشته‌های بادرفتی جدیدترین واحد رسوبی منطقه و بخشی از رسوب‌های کواترنری هستند که در مرز جنوبی پهنه‌ی رسوبی- ساختاری کپه‌داغ و در ساحل شرقی دریای خزر، در راستای WNW تا ESE، بیشتر به رنگ زرد روشن تا مایل به قهوه‌ای دیده می‌شوند و با نیروهای حمل‌کننده جابجا شده و نخست مانند پوششی یکنواخت تمام منطقه را پوشانده‌اند؛ ولی با گذشت

در مقاطع نازک، ریخت‌شناسی سطحی کانی‌ها (شناسایی بافت‌های سطحی) و تجزیه‌ی شیمیایی، به‌ترتیب از میکروسکوپ قطبشی المپیوس مدل BX41TF در بخش علوم زمین دانشگاه شیراز، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل Leica Cambridge در بخش مهندسی مواد دانشگاه شیراز و فلورئورسانی پرتو ایکس (XRF) با دستگاه Magix Pro در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (مرکز کرمان) استفاده شد.

برداری شدند (شکل ۱). برای کاهش اثر هوازدگی شیمیایی و فرایندهای خاک‌زایی در ترکیب کانی‌شناختی اولیه و توزیع اندازه‌ی دانه‌ها، نمونه‌ها از عمق ۲ متری برداشته شدند. اشباع-سازی نمونه‌ها در شرایط خلا، طی چند مرحله با رزین پلی استر (۶۰٪)، رقیق‌کننده‌ی استون (۴۰٪) و سخت‌کننده‌ی متیل اتیل کتون پراکسید (۱۵ قطره) صورت گرفت. برش و تهیه مقاطع در آزمایشگاه تهیه مقاطع میکروسکوپی دانشگاه تربیت مدرس تهران انجام شد. برای شناسایی کانی‌های موجود



شکل ۱ پراکندگی و نقاط نمونه برداری از نهشته‌های بادرفتی استان گلستان.

## بررسی‌های کانی‌شناختی

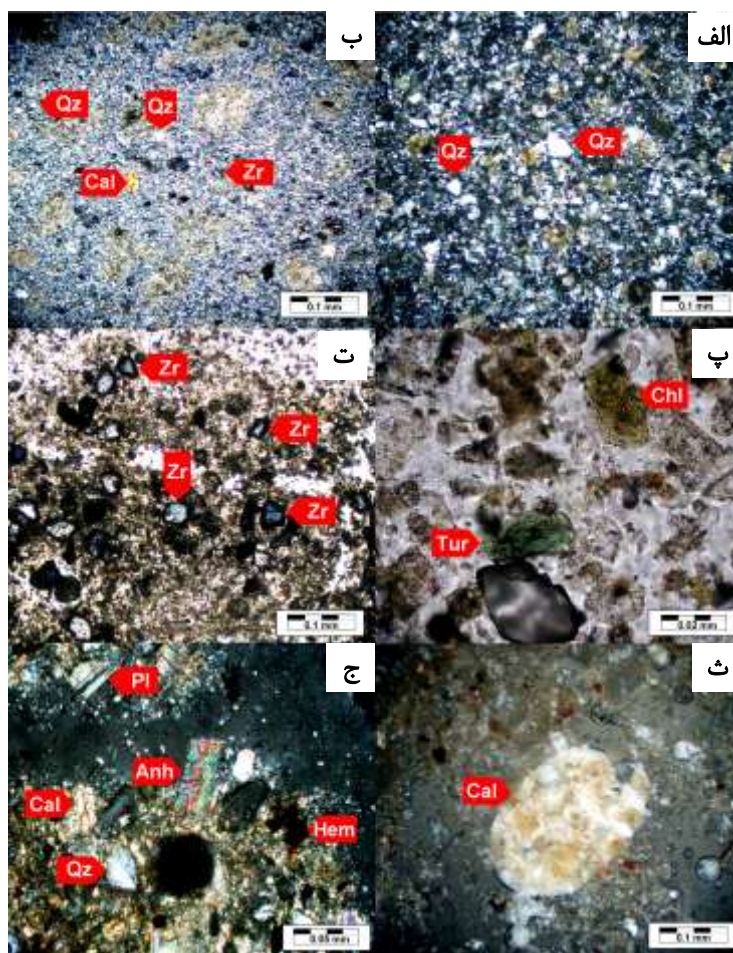
کانی‌شناسی نهشته‌های بادرفتی بیشتر به زمین‌شناسی خاستگاه و تا حدودی به فرایندهای ثانویه بستگی دارد. به‌طور معمول ۷۰ تا ۹۰ درصد مواد تشکیل دهنده‌ی بادرفتها را سیلت در بر می‌گیرد که قطر متوسط آن‌ها از ۵ تا ۱۲۵ میکرون یعنی سیلت متوسط تا ماسه خیلی ریز تغییر می‌کند [۱۵]. ترکیب کانی‌شناختی بادرفتها به‌طور کلی شامل کوارتز، فلدسپار، کانی‌های سنگین، کانی‌های کربناتی، سولفاتی و میکاها است [۳]. کانی‌های رسی بیشتر عبارتند از کلریت، ایلیت و مقادیر جزئی کائولینیت و اسمکتیت. کوارتز مهم‌ترین و فراوان‌ترین کانی در تمام مقاطع این ناحیه است. میانگین اندازه‌ی بادرفتها با فراوانی کوارتز رابطه‌ی مستقیم دارد، لذا برای در بررسی جهت و شدت باد و تغییرات زمانی و مکانی آن، میزان کوارتز در کنار میانگین اندازه دانه‌ها روشی متداول محسوب می‌شود. تعیین درصد فراوانی با استفاده از جدول‌های استاندارد برآورد درصد اجزای تشکیل دهنده، فلوگل [۱۶] نشان داد که درصد فراوانی کوارتز در مقاطع شمال شرقی به بیش از ۵۰ درصد می‌رسد (شکل ۲ الف)؛ در حالی که در جنوب غربی به کمتر از ۴۰ درصد کاهش می‌یابد (شکل ۲ ب). این فراوانی به دلیل مقاومت فیزیکی و شیمیایی بالای کوارتز در مقایسه با ذرات رسوبی - تخریبی دیگر است. اندازه‌ی دانه‌های کوارتز بین ماسه‌ی ریز دانه تا سیلت درشت دانه (۰/۱۲۵ - ۰/۳۱ میلی‌متر) در بخش شمال شرقی و سیلت متوسط دانه تا رس (۰/۱۵۶ - ۰/۰۳۹ میلی‌متر) در بخش جنوب غربی تغییر می‌کند. خاموشی مستقیم تا موجی، تک بلوری بودن و همراهی با میانبرهای بسیار ریز تورمالین و روتیل نشان می‌دهد که خاستگاه تمام این کوارتزها یک سنگ مادر آذرین درونی بوده است. فلدسپارها (پلاژیوکلازها و فلدسپارهای پتاسیم‌دار) دومین ذره رسوبی - تخریبی فراوان در بادرفتها هستند که با سریسیتی و سوسوریتی شدن همراهند. فراوانی کانی‌های سنگین در بادرفتها ممکن است به بیش از ۵ درصد برسد. این کانی‌ها بیشتر شامل گروه کانی‌های شفاف زیرکن، تورمالین (شکل ۲ پ)، آپاتیت، اپیدوت، تیتانیت و آمفیبول و کانی‌های کدر هماتیت، پیریت و کلکوپیریت‌اند. زیرکن مهم‌ترین کانی سنگین شفاف به ویژه در نمونه‌های شمال شرقی استان است (شکل ۲ ت). متامیکتی شدن در حاشیه‌ی بعضی از زیرکن‌ها آنچنان پیشرفت کرده است که موجب شکل گیری سیرتولیت

شده است. این کانی به دلیل سختی بیشتر (۷/۵) نسبت به کوارتز (۷) از بلورهای درشت‌تری تشکیل شده، در حالی که در نمونه‌های جنوب غربی به دلیل فاصله‌ی بیشتر از سنگ خاستگاه با کاهش اندازه و گرد شدگی بیشتر همراه است. هماتیت فراوان‌ترین کانی سنگین تیره در تمام نمونه‌هاست و به صورت منفرد یا با بافت افشان و خوشه‌ای در دسته‌های مختلف دیده می‌شود. بخشی از هماتیت‌ها نیز محصول تخریب ناشی از پس زنی آلفا ( $\alpha$ -recoil) و رد شکافت در حاشیه‌ی زیرکن‌ها هستند که در نور بازتابی تشخیص داده می‌شوند. این نوع هماتیت‌ها در حاشیه‌ی متامیکتی زیرکن‌های موجود در نهشته‌های لسی نیومکزیکو، نبراسکا و یوتا در ایالات متحده‌ی، انتاریو در کانادا و ماداگاسکار نیز گزارش شده‌اند [۱۷]. بسیاری از ویژگی‌های خاص و بنیادی یک نهشته‌ی بادرفتی، مثل بافت بادرفتها ناشی از محتوای کربنات آن‌هاست [۱۸]. بادرفت فاقد کربنات اصولاً یک نهشته‌ی بادرفتی به شمار نمی‌آید بلکه یک رس ماسه‌ای یا گل ماسه [خاک گلدانی] (Loam) است [۳]. در بررسی کربنات‌های بادرفتها استان گلستان مقاطع میکروسکوپی با معرف‌های آلزارین قرمز - اس و فروسیانید پتاسیم رنگ آمیزی شدند. کربنات‌ها در تمام نمونه‌های رنگ آمیزی شده به ویژه در جنوب غربی استان نسبت بسیار بالایی را نشان می‌دهند. ۴ گروه کانی‌های کربناتی در این پژوهش شناسایی شدند که بر حسب فراوانی به ترتیب شامل کلسیت (به رنگ قرمز)، دولومیت (بی‌رنگ)، کلسیت آهن‌دار (صورتی کم رنگ) و دولومیت آهن‌دار (فیروزه‌ای پر رنگ) می‌شوند. این کربنات‌ها در بادرفتها از ۴ نوع مختلف پیروی می‌کنند: الف) پودر کلسیت و دولومیت که جزء پهنه‌ای به صورت هاله اطراف توپ‌های رسی را احاطه کرده‌اند و این ریز کربنات‌ها در بادرفتها بررسی شده به عنوان کربنات‌های اولیه شناخته می‌شوند؛ ب) کلسیت‌ها و دولومیت‌های بازیافته منفرد که تا حدودی دستخوش گرد شدگی شده‌اند و شکلی توده مانند و برجسته دارند؛ ج) کلسیت‌های جانشین شده‌ی پلاژیوکلاز به صورت ثانویه ایجاد شده‌اند و حالتی ابری شکل دارند. این کلسیت‌ها پس از نهشت و طی فرایند سنگ‌شدگی ایجاد شده‌اند و د) کلسیت‌های درجا زا با بلورهای خود شکل و بافت هسته ریختی (Cytomorphic) که در جریان سنگ‌شدگی در حفره‌ها تشکیل شده و فضاهای خالی را پر کرده‌اند. کلسیت درجا با بافت هسته ریختی، ویژگی اصلی دیرینه خاک‌ها و

بادرفت‌ها بوده است و این کانی بااستثنای کانی‌های حاصل از دگرسانی بیوتیت، خاستگاه اولیه دارد.

انیدریت و ژپس به‌طور محلی از کانی‌های سولفاتی مهم به‌شمار می‌روند. بررسی‌های میکروسکوپی، حضور درصد بالایی از انیدریت (۱۰ تا ۲۰ درصد) را در نمونه‌های وابسته به بادرفت‌های مسیر جاده‌ی اصلی مراوه تپه به گنبد کاووس نشان می‌دهد (شکل ۲ ج). این مشاهدات با داده‌های شیمیایی تجزیه شده نیز هم‌خوانی دارد، ولی در کل بادرفت‌های داشلی برون-گنبد کاووس نسبت به مراوه تپه و گرگان سولفاتی‌ترند. این امر ممکن است ناشی از آبخوبی شدید این کانی‌ها در مناطق با اقلیم مرطوب مانند گرگان نسبت به آب و هوای گرم و خشک مراوه تپه و داشلی برون-گنبد کاووس باشد.

نشانگر تبدیل بادرفت‌ها به خاک است [۱۹]؛ که گسترش بیشتر آن‌ها در جنوب غربی استان دیده می‌شود (شکل ۲ ث). از گروه فیلسیلیکات‌ها مسکوویت، کلریت (شکل ۲ پ) و بیوتیت مهم‌ترین و فراوان‌ترین کانی‌ها هستند. مسکوویت‌ها و بیوتیت‌ها ریز دانه‌اند و کلریت‌ها بلورهای خود شکل بزرگی را در نمونه‌ها می‌سازند. فراوانی کلریت به صورت اولیه در بادرفت‌های گلستان وجود یک اقلیم سرد و خشک را برای خاستگاه این نهشته‌ها نشان می‌دهد [۴]. کلریت کانی‌ای است که اگر در معرض آب‌های اسیدی و سطح ایستایی کم عمق قرار گیرد به آسانی دگرسان می‌شود [۲۰]. بنابراین وجود کلریت فراوان در مناطق مراوه تپه و داشلی برون-گنبد کاووس حاکی از حاکم بودن شرایط گرم و خشک پس از نهشت



شکل ۲ (الف): فراوانی کوارتزهای درشت دانه (Qz) در حد ماسه خیلی ریز دانه تا سیلت درشت دانه (۰/۱۲۵-۰/۰۳۱ میلی‌متر) در مقاطع شمال شرقی (XPL)؛ (ب): کاهش اندازه ی ذرات تشکیل دهنده بادرفت‌ها در حد سیلت میان دانه تارس (۰/۱۵۶-۰/۰۳۹ میلی‌متر) در مقاطع جنوب غربی (کوارتز (Qz) + زیرکن (Zr) + کربنات کلسیم (Cal) (XPL)؛ (پ): درشت بلور تورمالین (Tur) + کلریت منیزیم دار (Chl) (PPL)؛ (ت): زیرکن‌های درشت دانه (Zr) با حاشیه متامیکتی در مقاطع شمال شرقی (PPL)؛ (ث): کربنات کلسیم (Cal) با بافت هسته ریخت (Cytomorphic) (XPL) و (ج): انیدریت (Anh) + پلاژیوکلاز (Pl) + هماتیت (Hem) + کربنات کلسیم (Cal) (XPL).

به سمت جنوب غربی از به ترتیب از ۵۹٫۴٪ تا ۳۸٫۸٪ کاهش می‌یابد. بنابراین بادرفتهای مناطق شمال شرقی از نوع ماسه-ای و جنوب غربی از نوع رسی است. مقدار CaO گستره‌ی بزرگی را بین ۵ تا ۲۶ درصد وزنی نشان می‌دهد. میانگین این ترکیب از شمال شرقی به جنوب غربی استان از ۱۳ تا ۱۶ درصد وزنی رو به افزایش است. همه‌ی نمونه‌ها غلظت پایینی از Na<sub>2</sub>O (بین ۰٫۹ تا ۱٫۶ درصد وزنی) و K<sub>2</sub>O (بین ۲٫۱ تا ۲٫۳ درصد وزنی) را نشان می‌دهند. افزایش درصد SiO<sub>2</sub> همراه با افزایش Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> نشانگر فراوانی کانی‌های آلومینوسیلیکاتی

زمین شیمی نهشته‌های بادرفتی

نتایج تجزیه‌ی شیمیایی عناصر اصلی بادرفتهای مراوه تپه، داشلی برون-گنبد کاووس و گرگان و مقایسه میانگین غلظت عناصر در این سه منطقه با نمونه‌های جهانی بادرفت در جدول شماره ۱ آمده‌اند. درصد وزنی مواد فرار (LOI) از ۸٫۸ تا ۲۹٫۱۹ تغییر می‌کند و همبستگی مثبتی را با CaO در تمام نمونه‌ها نشان می‌دهد (r = ۰٫۹۴). این همبستگی به کانی‌های کربناتی وابسته است و کانی‌های رسی و مواد آلی ممکن است نقش کمی را در تولید آن ایفا نمایند. درصد بیشینه و کمینه‌ی اکسید سیلیسیم (SiO<sub>2</sub>) در بادرفتهای گلستان از شمال شرقی

جدول ۱ نتایج تجزیه شیمیایی عناصر اصلی بادرفتهای سه منطقه‌ی استان گلستان (مراوه تپه: MAL-MBL)، داشلی برون-گنبد کاووس (DL) و گرگان (OGL) و مقایسه با میانگین نمونه‌های بادرفتهای جهانی با استفاده از روش فلورسانسی پرتو ایکس (XRF) تغییر نماید.

Field No.	%LOI	%Na <sub>2</sub> O	%MgO	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%SiO <sub>2</sub>	%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%SO <sub>3</sub>	%Cl	%K <sub>2</sub> O	%CaO	%TiO <sub>2</sub>	%MnO	%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%SrO
MAL13	۱۰٫۳۹	۱٫۹۲	۳٫۹۹	۱۴٫۰۴	۵۱٫۳۰	۲٫۲۰	۰٫۲۲	۰٫۷۳	۲٫۶۸	۸٫۲۴	۰٫۶۶	۰٫۱۱	۵٫۳۴	۰٫۰۴
MAL11	۱۷٫۲۳	۱٫۴۷	۳٫۵۰	۹٫۷۶	۳۷٫۴۰	۲٫۰۰	۱٫۲۷	۰٫۴۶	۲٫۰۶	۲۱٫۸۰	۰٫۵۸	۰٫۰۹	۴٫۰۲	۰٫۰۵
MAL8	۲۲٫۵۰	۰٫۷۰	۲٫۶۲	۹٫۴۶	۳۱٫۷۳	۱٫۰۰	۰٫۰۸	۰٫۰۳	۱٫۶۹	۲۶٫۳۲	۰٫۵۱	۰٫۰۸	۴٫۰۳	۰٫۰۶
MAL4	۱۲٫۳۲	۱٫۴۳	۴٫۹۰	۱۲٫۳۲	۴۵٫۷۹	۱٫۶۰	۱٫۸۲	۰٫۱۸	۲٫۳۲	۱۳٫۱۰	۰٫۶۰	۰٫۰۹	۴٫۷۲	۰٫۰۷
MAL1	۱۲٫۴۰	۲٫۱۰	۳٫۴۶	۱۲٫۴۶	۴۷٫۳۲	۱٫۶۰	۰٫۸۷	۰٫۳۰	۲٫۲۲	۱۳٫۲۷	۰٫۶۱	۰٫۰۹	۴٫۵۷	۰٫۰۴
MBL1	۲۹٫۱۹	۱٫۳۰	۳٫۲۸	۱۰٫۰۶	۵۹٫۴۲	۱٫۵۰	۰٫۷۱	۰٫۰۹	۱٫۸۵	۹٫۸۰	۰٫۴۸	۰٫۰۷	۳٫۴۷	۰٫۰۳
MAL29	۱۳٫۵۹	۱٫۹۰	۳٫۵۷	۱۲٫۱۴	۴۵٫۴۴	۱٫۸۰	۰٫۶۸	۰٫۴۲	۲٫۲۶	۱۴٫۱۵	۰٫۶۴	۰٫۰۸	۴٫۷۴	۰٫۰۵
Field No.	%LOI	%Na <sub>2</sub> O	%MgO	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%SiO <sub>2</sub>	%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%SO <sub>3</sub>	%Cl	%K <sub>2</sub> O	%CaO	%TiO <sub>2</sub>	%MnO	%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%SrO
MAL25	۹٫۲۵	۲٫۲۴	۳٫۹۶	۱۳٫۰۴	۵۱٫۶۷	۰٫۲۲	۱٫۰۹	۰٫۳۶	۲٫۵۱	۱۰٫۱۸	۰٫۶۲	۰٫۰۹	۴٫۶۲	۰٫۰۴
MAL19	۱۶٫۱۲	۰٫۷۷	۲٫۶۸	۱۱٫۸۰	۴۲٫۲۸	۰٫۱۵	۰٫۱۲	-	۲٫۱۷	۱۸٫۰۱	۰٫۶۴	۰٫۱۰	۴٫۹۹	۰٫۰۴
MAL18	۱۰٫۱۱	۰٫۸۲	۳٫۱۶	۱۵٫۶۸	۵۴٫۹۵	۰٫۱۷	۰٫۱۳	-	۲٫۷۷	۵٫۰۳	۰٫۷۶	۰٫۱۲	۶٫۱۰	۰٫۰۳
MBL11	۱۲٫۵۳	۱٫۱۷	۳٫۹۶	۱۲٫۷۲	۴۸٫۳۱	۰٫۱۶	۰٫۱۳	۰٫۰۸	۲٫۳۲	۱۲٫۸۳	۰٫۶۲	۰٫۱۰	۴٫۸۷	۰٫۰۵
MBL9	۱۱٫۴۰	۱٫۷۶	۴٫۳۳	۱۲٫۲۷	۴۶٫۸۸	۰٫۲۰	۲٫۲۸	۰٫۲۷	۲٫۳۴	۱۲٫۷۸	۰٫۶۱	۰٫۰۹	۴٫۵۹	۰٫۰۵
MBL5	۱۳٫۵۸	۲٫۲۶	۳٫۸۴	۱۱٫۲۰	۴۲٫۷۵	۰٫۱۶	۴٫۳۲	۱٫۱۹	۲٫۰۵	۱۳٫۸۰	۰٫۵۶	۰٫۰۸	۳٫۹۷	۰٫۱۳
MBL3	۸٫۸۸	۲٫۱۴	۳٫۸۵	۱۳٫۰۶	۵۲٫۱۱	۰٫۲۱	۰٫۷۰	۰٫۳۸	۲٫۴۸	۱۰٫۸۳	۰٫۶۱	۰٫۰۹	۴٫۵۰	۰٫۰۴
Field No.	%LOI	%Na <sub>2</sub> O	%MgO	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%SiO <sub>2</sub>	%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%SO <sub>3</sub>	%Cl	%K <sub>2</sub> O	%CaO	%TiO <sub>2</sub>	%MnO	%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%SrO
DL6	۱۱٫۸۴	۱٫۴۶	۳٫۷۷	۱۱٫۷۹	۴۶٫۳۶	۰٫۱۸	۳٫۱۷	۰٫۲۶	۲٫۱۲	۱۴٫۱۴	۰٫۵۷	۰٫۰۸	۴٫۰۳	۰٫۰۸
DL11	۱۱٫۲۹	۱٫۵۹	۴٫۲۸	۱۱٫۹۵	۴۶٫۳۰	۰٫۱۹	۳٫۱۴	۰٫۳۸	۲٫۱۸	۱۳٫۷۲	۰٫۵۸	۰٫۰۸	۴٫۱۰	۰٫۰۸
DL13	۱۱٫۹۷	۱٫۶۸	۳٫۸۸	۱۲٫۰۴	۸٫۰۲	۰٫۱۶	۲٫۶۹	۰٫۴۰	۲٫۲۰	۱۲٫۹۴	۰٫۵۸	۰٫۰۸	۴٫۲۰	۰٫۰۶
DL20	۱۱٫۲۲	۱٫۴۲	۴٫۵۸	۱۲٫۱۷	۴۷٫۷۳	۰٫۱۸	۲٫۶۴	۰٫۱۶	۲٫۱۸	۱۲٫۶۴	۰٫۵۸	۰٫۰۸	۴٫۲۳	۰٫۰۶
DL21	۱۱٫۷۸	۲٫۴۳	۴٫۰۳	۱۲٫۲۷	۴۷٫۰۴	۰٫۱۷	۲٫۵۱	۰٫۷۵	۲٫۲۵	۱۱٫۴۷	۰٫۵۸	۰٫۰۸	۴٫۴۶	۰٫۰۵
DL23	۱۲٫۴۰	۲٫۱۰	۳٫۴۶	۱۲٫۴۶	۴۷٫۳۲	۰٫۱۶	۰٫۸۷	۰٫۳۰	۲٫۲۲	۱۳٫۲۷	۰٫۶۱	۰٫۰۹	۴٫۵۷	۰٫۰۴
DL24	۱۰٫۸۵	۱٫۶۳	۴٫۰۲	۱۲٫۳۷	۴۸٫۸۷	۰٫۱۷	۱٫۸۳	۰٫۱۷	۲٫۲۴	۱۲٫۶۴	۰٫۶۰	۰٫۰۹	۴٫۳۵	۰٫۰۴

References: Russia (Siberia, Yakatia), Tajikestan and Uzbekestan [29]; China 1 (Shaanxi), China 2 (Narjan), China 3 (Louchuan), Hungary 1 (Packs), Hungary 2 (Mende), USA [3], Upper Continental Crust Composition: UCC [21] and Average World Loess Composition: AWL [30].



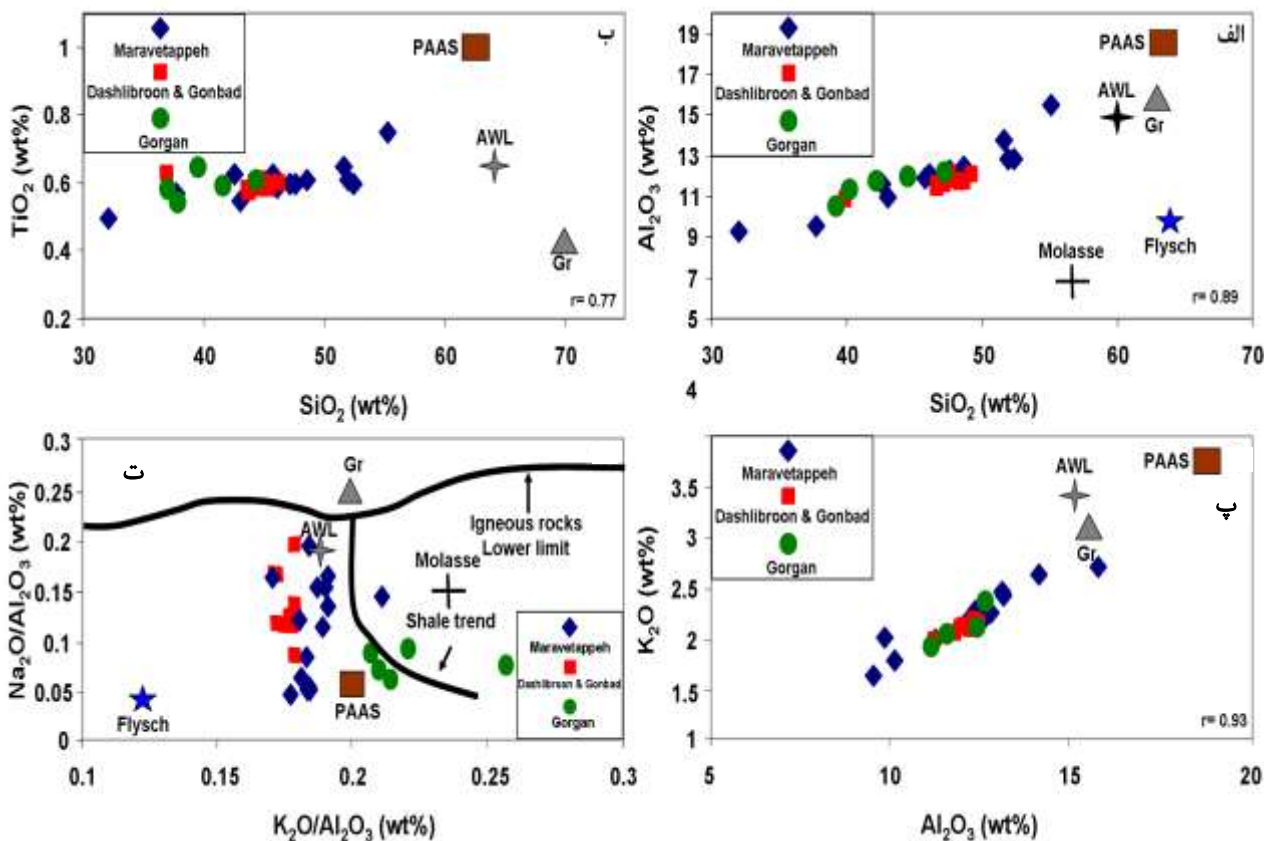
جدول ۱ (ادامه) نتایج تجزیه شیمیایی عناصر اصلی لس‌های سه منطقه استان گلستان و مقایسه با میانگین نمونه‌های لس‌های جهانی با استفاده از روش فلورسانسی پرتو ایکس (XRF).

Field No.	%LOI	%Na <sub>2</sub> O	%MgO	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%SiO <sub>2</sub>	%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%SO <sub>3</sub>	%Cl	%K <sub>2</sub> O	%CaO	%TiO <sub>2</sub>	%MnO	%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%SrO
DL27	۱۱٫۷۸	۱٫۴۷	۴٫۳۵	۱۱٫۹۷	۴۶٫۸۴	۰٫۱۸	۲٫۰۰	۰٫۲۳	۲٫۱۸	۱۳٫۸۸	۰٫۶۰	۰٫۰۸	۴٫۲۳	۰٫۰۶
DL28	۱۱٫۶۷	۱٫۴۹	۴٫۰۸	۱۲٫۲۱	۴۸٫۳۱	۰٫۱۹	۱٫۷۳	۰٫۰۷	۲٫۱۶	۱۲٫۸۹	۰٫۶۰	۰٫۰۹	۴٫۳۳	۰٫۰۶
DL32	۱۷٫۳۸	۱٫۰۶	۲٫۸۲	۱۱٫۱۸	۳۹٫۵۲	۰٫۱۵	۱٫۱۸	۰٫۳۷	۲٫۰۵	۱۹٫۲۸	۰٫۶۳	۰٫۰۶	۴٫۱۰	۰٫۰۹
OGL1	۱۸٫۴۰	۰٫۸۶	۲٫۶۹	۱۰٫۹۴	۳۸٫۸۰	۰٫۱۶	۰٫۲۴	۰٫۰۴	۱٫۹۴	۲۰٫۱۸	۰٫۶۱	۰٫۰۹	۴٫۸۸	۰٫۰۴
OGL2	۱۳٫۲۸	۱٫۱۱	۳٫۳۶	۱۲٫۵۲	۴۶٫۳۲	۰٫۱۸	۰٫۱۸	۰٫۰۳	۲٫۴۱	۱۴٫۶۸	۰٫۶۵	۰٫۱۰	۵٫۰۱	۰٫۰۴
OGL3	۱۵٫۴۴	۰٫۹۴	۳٫۴۷	۱۲٫۲۲	۴۳٫۶۱	۰٫۱۶	۰٫۱۳	-	۲٫۱۲	۱۵٫۹۲	۰٫۶۳	۰٫۱۰	۵٫۰۷	۰٫۰۴
OGL4	۱۷٫۹۳	۰٫۷۴	۲٫۷۶	۱۱٫۴۴	۳۹٫۷۰	۰٫۱۵	۰٫۲۴	۰٫۰۳	۲٫۰۹	۱۹٫۲۳	۰٫۵۹	۰٫۱۰	۴٫۸۳	۰٫۰۴
OGL5	۱۵٫۰۴	۰٫۹۲	۴٫۵۷	۱۲٫۱۶	۴۱٫۵۰	۰٫۲۸	۱٫۴۹	۰٫۲۸	۳٫۱۰	۱۳٫۴۰	۰٫۷۰	۰٫۱۰	۵٫۲۴	۰٫۰۸
Mean	%LOI	%Na <sub>2</sub> O	%MgO	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%SiO <sub>2</sub>	%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%SO <sub>3</sub>	%Cl	%K <sub>2</sub> O	%CaO	%TiO <sub>2</sub>	%MnO	%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%SrO
Maravehtappe	۱۴٫۲۵	۱٫۵۷	۳٫۶۵	۱۲٫۱۴	۴۶٫۹۵	۰٫۱۷	۱٫۰۳	۰٫۳۷	۲٫۲۷	۱۳٫۵۸	۰٫۶۱	۰٫۰۹	۴٫۶۱	۰٫۰۵
Dashlibroon	۱۲٫۱۱	۱٫۶۳	۳٫۹۳	۱۲٫۰۴	۴۶٫۶۳	۰٫۱۷	۲٫۱۸	۰٫۳۱	۲٫۱۸	۱۳٫۶۹	۰٫۵۹	۰٫۰۸	۴٫۲۶	۰٫۰۶
Gorgan	۱۶٫۰۲	۰٫۹۱	۳٫۳۷	۱۱٫۸۶	۴۱٫۹۹	۰٫۳۹	۰٫۴۶	۰٫۱۰	۲٫۳۳	۱۶٫۶۸	۰٫۶۴	۰٫۱۰	۵٫۰۱	۰٫۰۵
AWL	-	۲٫۵۰	۰٫۵۰	۶٫۱۵	۵۰٫۷۵	۰٫۱۳	-	-	۳٫۵۰	۷٫۰۰	۰٫۴۵	۱٫۱۰	۲۷٫۰۰	۰٫۰۳
UCC	-	۳٫۱۰	۳٫۱۰	۱۵٫۶۰	۶۱٫۹۰	۰٫۱۳	-	-	۲٫۹۰	۵٫۷۰	۰٫۶۲	۰٫۰۶	۶٫۵۰	-
China 1	-	۱٫۹۲	۶٫۶۰	۱۳٫۴۴	۶۲٫۷۸	۰٫۱۶	-	-	۲٫۰۶	۶٫۷۲	۰٫۵۳	۰٫۱۵	۶٫۵۸	۰٫۰۳
Caina 2	-	۱٫۳۴	۱٫۴۹	۱۵٫۷۳	۷۱٫۲۸	-	-	-	۲٫۱۴	۰٫۹۰	۰٫۸۱	۰٫۰۸	۵٫۸۰	-
Mean	%LOI	%Na <sub>2</sub> O	%MgO	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%SiO <sub>2</sub>	%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%SO <sub>3</sub>	%Cl	%K <sub>2</sub> O	%CaO	%TiO <sub>2</sub>	%MnO	%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%SrO
China 3	-	۱٫۷۵	۳٫۲۵	۱۰٫۰۰	۵۰٫۰۰	-	-	-	۳٫۲۵	۹٫۰۰	-	-	۴٫۵۰	-
Uzbekistan	-	۱٫۵۰	۲٫۸۹	۱۰٫۱۸	۵۶٫۲۸	۰٫۱۳	-	-	۲٫۰۳	۱۱٫۰۶	۰٫۵۸	۰٫۰۷	۳٫۸۶	-
Tajikistan	-	۱٫۱۷	۲٫۴۵	۱۴٫۹۵	۵۹٫۱۰	۰٫۱۴	-	-	۲٫۸۶	۴٫۷۲	۰٫۷۷	۰٫۱۲	۶٫۲۴	-
Russia	-	۲٫۱۸	۱٫۴۳	۱۱٫۸۴	۵۹٫۰۱	۰٫۸۱	-	-	۲٫۵۶	۷٫۱۹	۰٫۷۲	۰٫۱۶	۴٫۶۰	-
Hungary 1	-	۳٫۶۸	۸٫۹۶	۵۲٫۹۶	۶۲٫۷۵	۰٫۱۹	-	-	۲٫۱۰	۱۱٫۰۷	۰٫۰۹	۲٫۸۰	۴٫۸۶	۰٫۰۵
Hungary 2	-	۳٫۱۱	۱۰٫۶۰	۶۱٫۲۶	۶۳٫۸۷	۱٫۰۰	-	-	۷٫۵۰	۰٫۴۰	۰٫۱۰	۲٫۸۰	۳٫۵۷	-
USA	-	۶٫۵۱	۷٫۸۶	۵۲٫۴۶	۸۰٫۰۷	۱٫۷۳	-	-	۱۰٫۰۰	۰٫۵۸	۰٫۶۷	۰٫۰۳	۳٫۴۲	۰٫۰۲

سازی کربناتی، همبستگی کمتری را بین  $SiO_2$  و  $Al_2O_3$  نشان می‌دهد ( $r = ۰٫۸۹$ ). علاوه بر این غلظت کمتر  $SiO_2$  در بادرفت‌های گرگان نسبت به مراوه تپه و داشلی برون-گنبد کاووس متناسب با فراوانی سیلت با اندازه‌ی کوارتز در بادرفت-های این منطقه است.

همبستگی مثبت بین  $SiO_2$  و  $TiO_2$  ( $r = ۰٫۷۷$ ) ممکن است ناشی از حضور تیتانیم در پیوند با تیتانیت، روتیل و ایلمنیت باشد (شکل ۳ ب). همچنین غنی‌شدگی  $TiO_2$  می‌تواند بازتابی از حضور فیلسیلیکات‌های تیتانیم دار مانند بیوتیت و کلریت باشد که در بررسی‌های میکروسکوپی نیز

(مانند فلدسپارها و میکاها) در نهشته‌های بادرفتی است. روند تغییر غلظت عناصر به سمت ترکیب میانگین جهانی بادرفت‌ها (Average World Loess Composition: AWL) با میانگین ترکیب پوسته‌ی بالایی [۲۱] و نیز گرانیات شاهد کارپاتیانس (Carpathians Granite: Gr) [۲۲] همخوانی دارد (شکل ۳ الف). این روند ترکیب شیمیایی با ترکیب نهشته‌های رسوبی نسبتاً دگرسان شده شیل رسوبی میانگین پسا آرکنن استرالیا (PAAS) [۲۳]، رسوب‌های فلیشی (Flysch) [۲۴] و ماسه سنگ‌های مولاسی (Molasse) [۲۵] فاصله دارد. غلظت مطلق عناصر اصلی احتمالاً در اثر رقیق-



شکل ۳ نمودارهای (الف):  $Al_2O_3$  نسبت به  $SiO_2$ ، (ب):  $TiO_2$  نسبت به  $SiO_2$ ، (پ):  $K_2O$  نسبت به  $Al_2O_3$  و (ت):  $Na_2O/Al_2O_3$  نسبت به  $K_2O/Al_2O_3$  در مقایسه با ترکیب میانگین جهانی بادرقتها (AWL) [۳۰]، شیل رسوبی میانگین پسا آرکن استرالیا (PAAS) [۲۳]، ماسه سنگ مولاسی (Molasse) [۲۵]، گرانیت شاهد کارپاتیانس (Carpathians Granite: Gr) [۲۲] و رسوبهای فلیشی (Flysch) [۲۴].

مشابهی را نشان می‌دهند (شکل ۴ الف). این شباهت ناشی از یکسان بودن خاستگاه نهشته‌های بادرقتی است.  $Al_2O_3$ ،  $SiO_2$  و  $Fe_2O_3$  کل نسبت به UCC تهی شده‌اند در حالی که  $MnO$ ،  $MgO$  و  $P_2O_5$  غنی شدگی نشان می‌دهند. افزایش  $MgO$  و  $P_2O_5$  به ترتیب می‌تواند نشانگر حضور دولومیت و آپاتیت در نهشته‌های بادرقتی باشد. افزایش درصد  $Fe_2O_3$  کل در بادرقت‌های گرگان نسبت به مراوه تپه و داشلی برون-گنبد کاووس ناشی از تاثیر شرایط پس از نهشت و رژیم رطوبتی- گرمایی و یونی و دمای متوسط حاکم بر منطقه بوده است.  $TiO_2$  نسبت به عناصر دیگر بدون تغییر مانده است. تهی شدگی شدید  $Na_2O$  و  $K_2O$  ویژگی اصلی این نهشته‌های بادرقتی است. غنی شدگی شدید  $CaO$  به ویژه در گرگان نسبت به مناطق شمال شرقی استان از ویژگی‌های بادرقت‌های مناطق

تایید شد. همبستگی مثبت  $K_2O$  و  $Al_2O_3$  ( $r = 0.93$ ) نیز نشانگر حضور فلدسپارهای پتاسیم‌دار و فیلوسیلیکات‌ها در ترکیب بادرقت‌هاست (شکل ۳ پ). در نمودار  $Na_2O/Al_2O_3$  نسبت به  $K_2O/Al_2O_3$  تمام نمونه‌ها به استثنای نمونه‌های گرگان به صورت خوشه‌ای و نزدیک به ترکیب میانگین جهانی بادرقت‌ها (AWL) انباشته شده‌اند (شکل ۳ ت). نسبت کمتر  $Na_2O/Al_2O_3$  در مقایسه با نمونه‌های گرانیتی (Gr) نشانگر شرایط محیط نهشت، فرایندهای جدایشی طی رسوبگذاری، و دور شدن اجزای تشکیل دهنده بادرقت‌ها از سنگ خاستگاه است.

تمام نمونه‌ها از نظر عناصر اصلی در نمودار عنکبوتی بهنجار شده با ترکیب پوسته‌ی قاره‌ای بالایی (Upper Continental Crust Composition: UCC) [۲۱] الگوی



شرایط هوازدهی با پایای مکان‌هایی است که زمین ساخت فعال سبب شده است تا هوازدهی در تمام نیم رخ‌های سنگ خاستگاه گسترش یابد [۲۶]. این شرایط احتمالاً در عصر پلیستوسن و در ناحیه‌ی سنگ خاستگاه نهشته‌های بادرفت استان گلستان نیز حاکم بوده است. در شمال شرقی استان به دلیل حاکم بودن اقلیم سرد و خشک، فراوانی کانی‌های کلریت، میکا (بیوتیت و موسکویت)، و ایلیت بیشتر است. مقدار بالای کلریت و ایلیت حاکی از جوانی و مراحل اولیه‌ی تکامل خاک در این بخش از استان است. بنابر نظر شاملی [۲۸] اگر سم‌گیری نمونه‌ها (چنان که در نمودار A-CN-K مشاهده می‌شود)، به سمت گسترده‌ی پایداری کلریت و ایلیت باشد، می‌توان شرایط اقلیمی محیط خاستگاه بادرفت‌ها را سرد و خشک به‌شمار آورد. همچنین رژیم رطوبتی اریدیک در این ناحیه سبب انباشت نمک‌ها (با افزایش  $SO_3$  و  $Cl$ ) به‌ویژه فراوانی ژپس و انیدریت شده است. این شرایط در pH بین ۷ تا ۸ تشکیل می‌شود و به همین دلیل شرایط لازم برای شکل‌گیری کائولینیت در این بخش از استان فراهم نیست. در مقابل در گرگان به دلیل تغییرات اقلیمی و شرایط آب و هوایی مرطوب، دگرسانی میکاها و ایلیت با تشکیل کانی‌های اسمکتیت، کائولینیت و گیبسیت همراه است. ضمن اینکه هوازدهی بیشتر ایلیت و کلریت در این بخش از استان شرایط مساعدی را برای خاک‌زایی فراهم آورده است. دیرینه خاک‌ها در چنین مراحل بیشتر گسترش می‌یابند. فراوانی بیشتر کانی‌های کربناتی در این بخش از استان، لس‌های ترد و با پوکی بیشتری را نسبت به لس‌های ماسه‌ای و به نسبت مقاوم شمال شرقی ایجاد کرده است. از نظر باریس [۱۸] کانی‌های کربناتی، کنترل‌کننده اصلی نسبت حفره‌ای (Void ratio) یا پوکی نهشته‌ی بادرفتی هستند. این نسبت در یک رس ماسه‌ای، فاقد کربنات پایین (تقریباً ۲۰ درصد) است، در حالی که در لس‌های کربنات دار به ۴۵ تا ۶۰ درصد افزایش می‌یابد. حضور زیرکن، تورمالین، تیتانیت و آپاتیت در تمام مقاطع نشانگر سنگ مادر اولیه‌ی گرانیته‌ی و گرانودیوریتی برای نهشته‌های این منطقه است. این کانی‌ها در بسیاری از نهشته‌های بادرفتی دنیا (مانند لوچوان (Louchuan) چین [۳]، مینگ تپه (Mingtepe) ازبکستان،

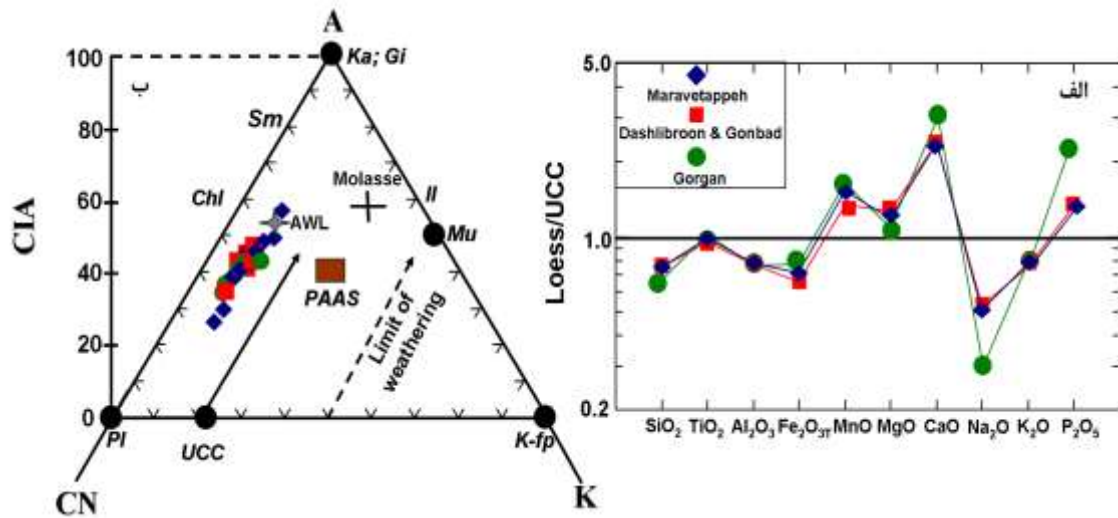
مرطوب مانند بادرفت‌های اروپاست [۲]. همچنین تحرک Ca طی هوازدهی، کمتر از عناصر دیگر (به ویژه عناصر قلیایی) است.

#### بحث و بررسی

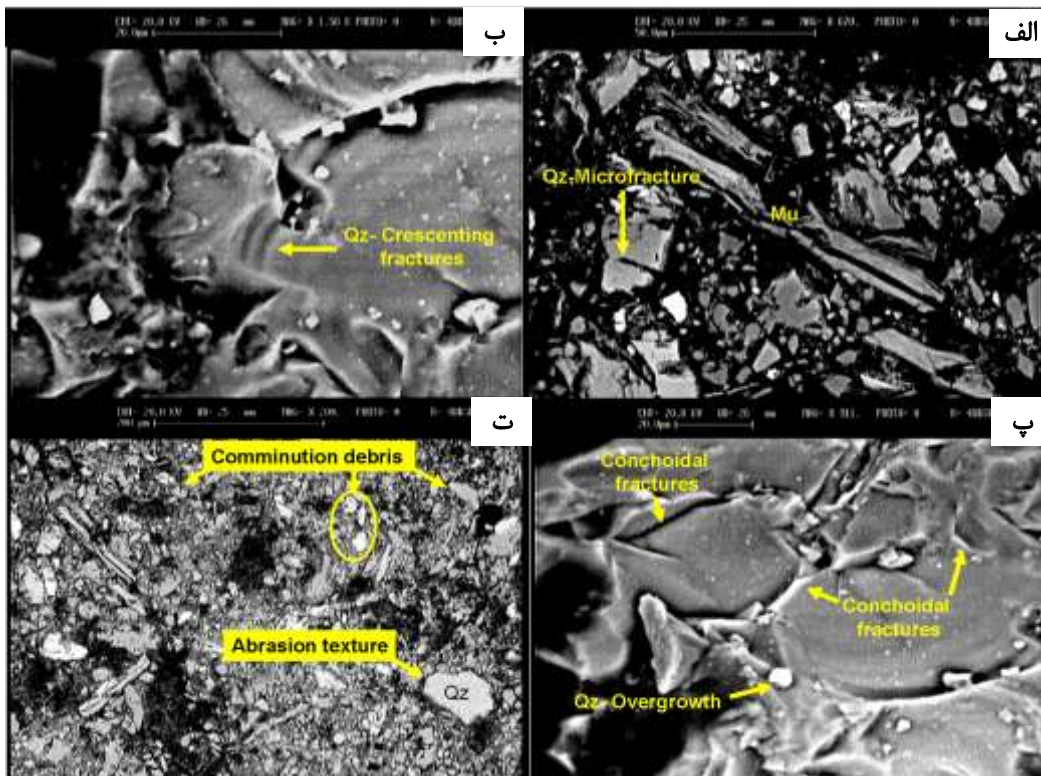
محیط ترکیب کانی‌شناختی نهشته‌های بادرفتی استان گلستان بیانگر زمین‌شناسی خاستگاه است. هرچند فرایند هوازدهی ممکن است ترکیب کانی‌شناختی اولیه را تا حدودی از بین برده باشد. اندازه‌ی لس‌ها و ترکیب کانی‌شناختی در دو بخش مراوه تپه و داشلی برون-گنبد کاووس تغییر چندانی را نشان نمی‌دهد در حالی که این تغییرات به سمت گرگان با کاهش اندازه‌ی ذرات تشکیل دهنده‌ی یا بادرفتی‌ها، کاهش کوارتز، زیرکن، کلریت، تورمالین و افزایش کربنات‌ها همراه است. بررسی هوازدهی شیمیایی، بیانگر ویژگی‌های خاستگاه و تاریخچه‌ی تکامل بادرفت هاست. درجه‌ی هوازدهی شیمیایی، وابسته به زمان، اقلیم، آهنگ فرسایش و نرخ بالآمدگی ساختاری است [۲۶]. بر اساس نمودار نزبیت و یانگ [۲۷] و شاخص شیمیایی دگرسانی (Chemical Index of Alteration: CIA) که به صورت  $CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)] \times 100$  محاسبه می‌شود، روند هوازدهی بادرفت‌های گلستان به موازات محور A-CN است (شکل ۴ ب). راستای این روند به سمت نمونه‌های جهانی بادرفت (AWL)، معرف تکامل بادرفت‌های منطقه و شباهت آن‌ها با نمونه‌های نوعی نهشته‌های بادرفتی است. ارزش‌های CIA نمونه‌های بادرفت گلستان بین ۲۴٫۷ تا ۶۴٫۵ تغییر می‌کند. این سم‌گیری به دلیل خروج بیشتر Na و Ca از ساختار پلاژیوکلاز و سیلیکات‌های فرومنیزین دار نسبت به خروج کمتر K از ساختار فلدسپارهای پتاسیم است. همچنین بر اساس این نمودار نقطه‌ی شروع هوازدهی نزدیک به مقدار ترکیب پوسته‌ی قاره‌ای بالایی (UCC) است که نشان می‌دهد ترکیب بادرفت‌ها نخست برابر با ترکیب سنگ‌های آذرین نوع گرانودیوریتی بوده است. این شواهد حاکی از آن است که نهشته‌های بادرفت از یک ناحیه با سنگ خاستگاه فلسیک مشتق شده‌اند و دارای تمایلی جزئی به سمت فلدسپار پتاسیم هستند. تغییرات زیاد درجه‌ی هوازدهی و پیروی از یک روند خطی، الگوی نوعی

بادرفتی ایران با بادرفتهای تاجیکستان و ازبکستان نیز هم خاستگاه بودن آنهاست. پسروری یخسارهای کوتاهتر از ارتفاعات آسیای میانه به دلیل اختلاف دمای این ارتفاعات با فرورفتگی خزر در ترکمنستان، باعث پدید آمدن توفانهای بسیار شدید از سمت شمال و شمال شرقی شد که پس از گذشتن از کویرهای ترکمنستان و ایجاد تپه‌های ماسه‌ای گسترده در آنجا مقدار زیادی ذرات ریز سیلتی و رسی را به صورت معلق به سمت جنوب انتقال داده‌اند. این توفانها پس از برخورد به ارتفاعات کپه داغ و هزارمسجد در بخش شمال شرقی و ارتفاعات البرز در استان گلستان، قدرت انتقال خود را از دست داده و مواد سیلتی معلق را در سراسر استان بر جای گذاشته‌اند. نمودار پراکندگی عناصر اصلی در سه منطقه‌ی مورد بررسی در استان گلستان بر اساس درصد میانگین و مقایسه آنها با نمونه‌های جهانی بادرفتهای مختلف، در شکل ۶ الف نشان داده شده‌اند. بر اساس این نمودار، میانگین  $\text{SiO}_2$  در بادرفتهای گلستان از میانگین جهانی (۵۰٫۷۵٪) بادرفتها کمتر است. بیشترین شباهت بین بادرفتهای مناطق مورد بررسی با بادرفتهای ازبکستان وجود دارد. این شباهتها به استثنای کاهش نسبی  $\text{CaO}$  و افزایش نسبی  $\text{SiO}_2$  با بادرفتهای تاجیکستان نیز هم خوانی دارد. این شباهتها ارتباطی به اقلیم این مناطق ندارد؛ زیرا شرایط آب و هوایی آنها با یکدیگر بسیار متفاوت است. بنابراین، شباهتهای موجود احتمالاً به خاستگاه مشترک بادرفتها بر می‌گردد. بنابراین نهشته‌های بادرفتی استان گلستان از مناطق نیمه خشک آسیای میانه با حمل شده‌اند. نهشته‌های بادرفتی لهستان نیز در کمربند بادرفت اروپا بیشترین شباهت را به بادرفتهای گلستان دارند، ولی بادرفتهای آمریکا تفاوت عمده‌ای با این بادرفتها نشان می‌دهند. ترکیب بادرفتهای استان گلستان یک تفاوت چشمگیر نیز با بادرفتهای چین دارند. بدین ترتیب که بادرفتهای چین از  $\text{SiO}_2$  غنی و از  $\text{CaO}$  تهی شده‌اند. همچنین نمودار فار [۳۳] با استفاده از میانگین پراکندگی عناصر جزئی (مانند  $\text{Sr}$ ) نشان می‌دهد که خاستگاه نهشته‌های بادرفتی استان گلستان یک سنگ گرانیتی با کلسیم بالا بوده است (شکل ۶ ب).

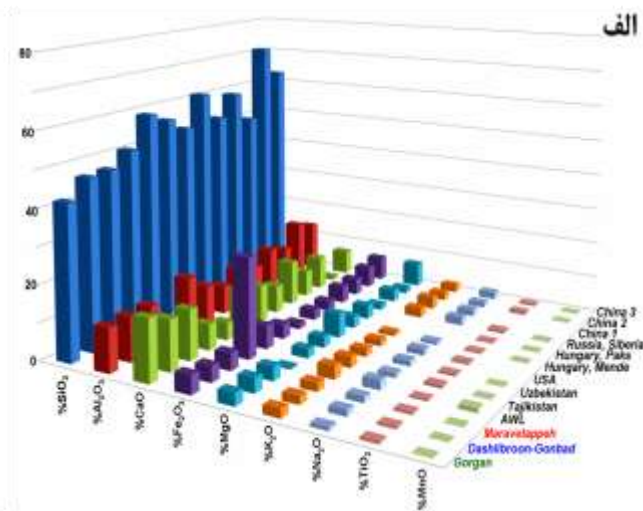
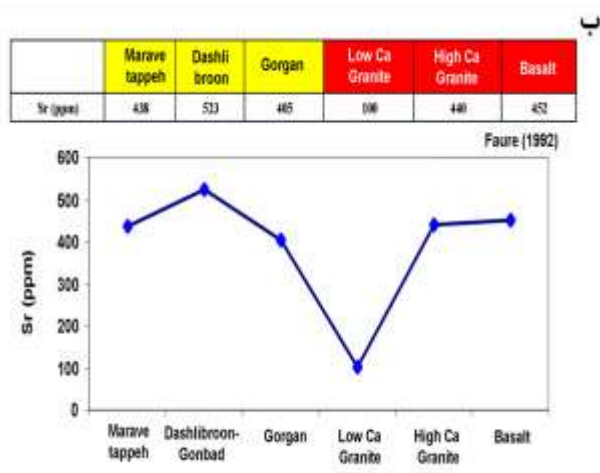
کارا تپه‌ی (Karatepe) تاجیکستان [۲۹]، الینویز (Illinois) آمریکا [۳] و بارانیا هیلز (Baranya Hills) مجارستان [۳۰] که به ماگماهای مادر فلسیک وابسته‌اند گزارش شده‌اند. بررسی‌های مازلو و ریتر [۳۱] نشان می‌دهد که بافتهای سطحی در دانه‌های کوارتز می‌تواند بازتابی از ویژگی‌های خاستگاه بادرفت باشد. بر اساس بررسی‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی که روی کانی کوارتز انجام گرفت، بافت سطحی ریز شکستگی (Microfracture texture) (شکل ۵ الف)، شکستگی‌های موازی هلالی شکل (Crescenting fractures) (شکل ۵ ب)، شکستگی‌های صدفی (Conchoidal fractures)، گرهک‌های بلورین ثانویه (Secondary crystalline nodes) با بافت فزون رشدی (Overgrowth) (شکل ۵ پ) و واریزه‌های خردشدگی (Comminution debris) (شکل ۵ ت) در نهشته‌های بادرفتی استان گلستان مشاهده شدند (شکل های ۵ الف و ب). تشکیل گرهک‌های بلورین ثانویه با بافت فزون رشدی فقط طی خردایش تر و در یک اقلیم یخساری ایجاد می‌شوند [۳۲]. تمام این بافتها نشان می‌دهند که اجزای تشکیل دهنده‌ی بادرفتها پیش از باد روبی و در اثر کوبش و فشار وزن یخ در طول فرایندهای جابه‌جایی یخساری در ناحیه‌ی خاستگاه ایجاد شده‌اند. بافتهای سایشی (Abrasion textures) و کوارتزهای با لبه‌های گرد شده (شکل ۵ ت) نیز در نتیجه‌ی حمل در محیط پسا یخساری و طی فرسایش بادی ایجاد شده‌اند. با توجه به بافتهای گسترده‌ی یخساری مشاهده شده در بررسی‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی، سنگ مادر اولیه فلسیک در عصر یخساری پلیستوسن خرد و آسیاب شده و سپس در دوران‌هایی با اقلیم سرد و خشک و با پوشش استپی کم، در راستای شمال شرقی به جنوب غربی به وسیله‌ی باد منتقل شده است. مکان برداشت این بادرفتها کشورهای شمال ایران و سنگ‌های آذرین فلسیک آنها بوده است. از جمله این سنگ‌های آذرین می‌توان به گرانیتها و گرانودیوریت‌های صحرای آسیای میانه مانند قره قوم، قزل قوم و بیابانهای اطراف دریاچه‌ی آرال اشاره کرد. دلیل شباهت نهشته‌های



شکل ۴ (الف): الگوی پراکندگی میانگین عناصر اصلی بهنجارشده با ترکیب میانگین پوسته‌ی قاره‌ای (UCC) [۲۱] در سه منطقه مراوه تپه، داشلی برون-گنبد کاووس و گرگان، (ب): نمودار سه تایی (A-CN-K)  $Al_2O_3 - CaO + Na_2O - K_2O$  [۲۷] برای تعیین روند تکاملی و تعیین شاخص شیمیایی دگرسانی (Chemical Index of Alteration: CIA) نهشته‌های بادرفتی استان گلستان و مقایسه با ترکیب میانگین جهانی بادرفتهای شیل رسوبی میانگین پس آرکشن استرالیا (PAAS) و ماسه سنگ مولاسی (Molasse). نشانه‌های این نمودار عبارتند از: PI: پلاژیوکلاز، K-fp: فلدسپار پتاسیم دار، Mu: مسکویت، Chl: کلریت، Il: ایلیت، Sm: اسمکتیت، Ka: کائولینیت و Gi: گیبسیت.



شکل ۵ بافت‌های سطحی کانی کوارتز (QZ) در نهشته‌های بادرفتی استان گلستان با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM). (الف): بافت ریز شکستگی (Microfracture texture) و حضور چند رشته تار مسکوویت (Mu)، (ب): شکستگی‌های موازی هلالی شکل Crescenting (fractures)، (پ): شکستگی‌های صدفی (Conchoidal fractures) و گرهک‌های بلورین با بافت بر رشدی (Overgrowth)، و (ت): بافت سایشی (Abrasion texture) و واریزه‌های خردشدگی کوارتز (Comminution debris).



شکل ۶ (الف): ترکیب عناصر اصلی بادرفتهای مناطق گرگان، مراوه تپه و داشلی برون-گنبد با بعضی از انواع نهشتههای بادرفتی آسیا، اروپا و آمریکا، (ب): تعیین خاستگاه نهشتههای بادرفتی استان گلستان اقتباس از نمودار فار [۳۳].

References: Average World Loess Composition: AWL [30], Russia (Siberia, Yakatia), Tajikistan and Uzbekistan [29]; China 1 (Shaanxi), China 2 (Narjan), China 3 (Louchuan), Hungary (Packs), Hungary (Mende) and USA [3].

پیش بینی می شود که تشکیل نهشتههای بادرفتی با پسروی یخسارها در شمال و شمال شرقی ایران در پلیستوسن آغاز و به دنبال آن ایجاد اختلاف دما بین ارتفاعات و فرورفتگی جلگه‌ی شرقی خزر سبب توفان‌های سهمگینی شده که پیامد آن انتقال رسوب‌های ریزدانه‌ای است که پیشتر با یخسایبی سنگ بستر ایجاد شده‌اند و در نهایت بادروبی و دور شدن آن‌ها از خاستگاه در برخورد با ارتفاعات کپه داغ و هزار مسجد در شمال خراسان و ارتفاعات البرز در گرگان نهشته‌های بادرفتی را بر جای گذاشته‌اند.

#### قدردانی

این پژوهش بخشی از طرح "بررسی زمین پزشکی شهرهای مراوه تپه، داشلی برون، گنبد کاووس و گرگان استان گلستان" است که در مرکز زمین پزشکی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام شده است. نگارندگان مراتب تشکر خود را از سازمان زمین‌شناسی کشور و دانشگاه شیراز اعلام می‌دارند.

#### مراجع

[1] Gallet S., Jahn B., Torii M., "Geochemical characterization of the Luochuan loess-paleosol sequence, China, and paleoclimatic implications", Chemical Geology 133 (1996) 67-88.

#### برداشت

نتایج حاصل از این پژوهش، نشان می‌دهد که فراوانی سیلیس و میانگین اندازه‌ی دانه‌ها در بادرفتهای گلستان از همبستگی بالایی برخوردار است. بر اساس بررسی‌های انجام شده، جهت اصلی حرکت توده‌های هوای قطبی و بادهای محلی، شمال شرقی - جنوب غربی بوده است که روند اصلی بادهای غالب در تشکیل بادرفتهای شمال ایران است. این روند با سمت گیری نهشته‌های بادرفتی استان گلستان هم‌خوانی دارد. با توجه به کانی‌شناسی بادرفتها در سه منطقه مورد بررسی کاهش میزان زیرکن، تورمالین، آپاتیت، تیتانیت و کلریت و افزایش کانی‌های کربناتی و رسی از شمال شرقی به جنوب غربی استان گلستان مشاهده می‌شود. این تغییرات با کاهش مقدار کوارتز و اندازه‌ی دانه‌ها در این روند نیز هم‌خوانی دارد. تمام نمونه‌های استان گلستان یک ترکیب شیمیایی یکنواخت و مشابه را نشان می‌دهند. این ویژگی نشانگر هم‌خاستگاه بودن بادرفتهاست. مقادیر نسبتاً بالای  $SiO_2$  و  $Al_2O_3$ ، حضور تورمالین، تیتانیت، زیرکن و آمفیبول در نمونه‌ها، نشان دهنده‌ی یک خاستگاه فلسیک (گرانیتوئیدی) برای نهشته‌های بادرفتی استان گلستان است. گستره گسترده‌ی ارزش‌های CIA، درجه‌ی کم تا متوسط هوازدگی را برای خاستگاه فلسیک پیشنهاد می‌کند.

Loess, New Zealand, Balkema, Rotterdam, 14–21 February (1988) 93–101.

[13] Rozycki S.Z., "Loess and Loess-Like Deposits", The Publishing House of the Polish Academy of sciences. Wroclaw, (1991) 76-107.

[۱۴] قرقره چی ش، خرمالی ف، "مطالعه اثر تراز آب زیر زمینی و نوع کاربری بر منشاء و توزیع کانی‌های رسی در خاکهای لسی جنوب غرب استان گلستان"، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی جلد ۱۵، شماره ۳ (۱۳۸۷) ص ۱-۱۴.

[15] Iriondo M.H., Kröhling D.M., "Non-classical types of loess", *Sedimentary Geology* 202 (2007) 352–368.

[16] Flugel E., "Microfacies Analysis of Limestone", Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York (1982) p.633.

[17] Romer R. L., Nowaczyk N., Wirth R., "Secondary Fe-Mn-oxides in minerals heavily damaged by  $\alpha$ -recoil: possible implications for paleomagnetism", *International Journal Earth Science* 96 (2007) 375-387.

[18] Bariss N., "Loess in Form 2", Geographical Research Institute, Hungarian Academy of Science (1993) p. 82.

[19] Becze-Deak J., Langhor R., Verrechia E. P., "Small scale secondary CaCO<sub>3</sub> accumulations in selected sections of the European loess belt", *Geoderma* 76 (1997) 221-252.

[20] Abtahi A., "Soil genesis as affected by topography and time in calcareous parent materials", *Soil Science Society of America* 44 (1980) 329-336.

[21] McLennan S.M., "Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust", *Geochemistry Geophysics Geosystems* 2 (2001) 1–29.

[22] Broska I., Williams C.T., Uher P., Konecny P., Leichmann J., "The geochemistry of phosphorus in different granite suites of the Western Carpathians, Slovakia: the role of apatite and P-bearing feldspar", *Chemical Geology* 205 (2002) 1–15.

[23] Taylor S.R., McLennan S.M., "The Continental Crust: its Composition and

[2] Jahn B., Gallet S., Han J., "Geochemistry of the Xining, Xifeng and Jixian sections, Loess Plateau of China: aeolian dust provenance and paleosol evolution during the last 140 ka", *Chemical Geology* 178 (2001) 71–94.

[3] Pecsí M., "Loess is not just the accumulation of dust", *Quaternary International* 7/8 (1991) 1–21.

[۴] خواجه م، "بررسی رسوب‌شناسی، محیط رسوبی و رسوب-زایی نهشته‌های کواترنر حوضه گرگانرود"، رساله دکتری زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات (۱۳۸۱) ص ۲۵۰.

[۵] امینی آ، "مطالعه برخاستگاه و مکانیزم رسوب زائی لرها در حوضه آبخیز قره تیکان"، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، (۱۳۷۴) ۱۶۴ ص.

[۶] پاشایی ع، "ترکیب کانی‌های رسی در مواد لسی و تغییرات آن نسبت به شرایط محیط در استان گلستان"، مجله علوم زمین، شماره ۶۰ (۱۳۷۶) ۴۸-۵۵.

[7] Kehl M., Frechen M., Skowronek A., "Paleosols derived from loess and loess-like sediments in the basin of Perspolis, Southern Iran", *Quaternary International* 140/141 (2005) 135-149.

[8] Okhravi R., Amini A., "Characteristics and provenance of the loess deposits of the Gharatikan watershed in Northeast Iran", *Global and Planetary Change* 28 (2001) 11–22.

[۹] رقیمی م، خواجه م، شمعیان غ، "مطالعه کانی‌شناسی نهشته‌های لسی، استان گلستان"، چهاردهمین کنفرانس انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران (۱۳۸۵) ص ۴۱۵-۴۱۷.

[۱۰] آقا نباتی ع، "زمین‌شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۳) ۵۸۶ ص.

[۱۱] درویش زاده ع، "زمین‌شناسی ایران"، نشر دانش امروز، وابسته به انتشارات امیر کبیر، چاپ دوم (۱۳۸۰) ۹۰۱ ص.

[12] Lateef A.S.A., "Distribution, provenance, age and paleoclimatic record of the loess in Central North Iran", Eden, D.N., Furkert, R.J. (Eds.), *Loess-Its Distribution, Geology and Soils, Proceeding sofa International Symposium on*

- [28] Chamly H., "*Clay Sedimentology*", Springer Verlag (1989) p. 3-72.
- [29] Pye K., "*Aeolian Dust and Dust Deposit*", Academic Press, London (1987) p. 334.
- [30] Ujvari G., Varga A., Balogh-Brunstad Z., "*Origin, weathering, and geochemical composition of loess in southwestern Hungary*", Quaternary Research 69 (2008) 421-437.
- [31] Mazzullo J., Ritter C., "*Influence of sediment source on the shape and surface textures of glacial quartz and sand grains*", Geology 19 (1991) 384-385.
- [32] Whalley W.B., Kinsley D.H., "*A scanning electron microscopy study of surface textures of quartz grains from glacial environments*", Sedimentology 21 (1974) 87-105.
- [33] Faure C., "*Principles and Application of Inorganic Geochemistry*", Macmillan (1992) p. 626.
- Evolution*", Blackwell Scientific Publications Ltd., (1985) p. 312.
- [24] Adamova M., "*Geochemistry of flysch sediments and its application in geological interpretations*", Geologica Carpathica 42 (1991) 147-156.
- [25] Von Eynatten H., "*Petrography and chemistry of sandstones from the Swiss Molasse Basin: an archive of the Oligocene and Miocene evolution of the Central Alps*", Sedimentology 50 (2003) 703-724.
- [26] Nesbitt H.W., Fedo C.M., Young G.M., "*Quartz and feldspar stability, steady and nonsteady-state weathering, and petrogenesis of siliciclastic sands and muds*", Journal of Geology 105 (1997) 173-191.
- [27] Nesbitt H.W., Young G.M., "*Formation and diagenesis of weathering profiles*", Journal of Geology 97 (1989) 129-147.