بازسازی شرایط اقلیمی دوره‌های یخچالی پلیوستوسن الوند همدان بر اساس شواهد ژئومورفولوژی

غلام حسن جعفری *
استادیار گروه جغرافیا دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
زینب براتی
کارشناس ارشد هیدروژئومورفولوژی دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۲/۲۹

چکیده
تغییرات اقلیمی پلیوستوسن با توجه به زمان وقوع و نقش آن در شکل‌گیری چشم‌اندازهای فعلی کره زمین، از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای متعدد میدانی شواهد ژئومورفولوژیکی تغییرات آب‌وهوایی پلیوستوسن فوقانی در توده الوند شناسایی شد. ازجمله شواهد ژئومورفولوژیکی تغییرات آب‌وهوایی پلیوستوسن فوقانی می‌توان به آثار کاوشی سیرک‌ها و دره‌های یخچالی، بقایای تراکمی مانند سنگ‌های سرگردان اشاره کرد. بر اساس بررسی‌های میدانی، آثار مورفولوژیکی کاوشی یخچال در دامنه شمال شرقی الوند از ارتفاع بالای ۲۰۰۰ متر و در دامنه‌های جنوب غربی از ارتفاع ۱۷۰۰ متر به بالا به‌خوبی قابل‌تشخیص و تفکیک است. آثار تراکمی یخچالی موجود در منطقه به‌اندازه‌ای بزرگ است که حتی‌الامکان حمل آن‌ها در حالت سیلابی شدید در دوره‌های بارانی گذشته قابل‌تصور نیست. با برآورد و استفاده از روابط گرادیان دمایی (دما- ارتفاع) و بارشی (بارش- ارتفاع) و ارتفاع برف مرز کواترنری الوند (سه روش رایت، شیب- جهت و ضریب خمیدگی)، نقشه هم‌دما و هم بارش دوران چهارم ترسیم شد. بررسی‌های صورت گرفته حاکی از آن است که در آخرین دوره یخچالی دما با توجه به استفاده از روش ترکیبی برآورد برف مرز، ۹/۲۶ درجه سانتی‌گراد سردتر و میزان بارش ۳۱۷ میلی‌متر بیشتر از زمان کنونی بوده است. وجود سنگ‌های سرگردان نشان‌گر این است که؛ زبانه‌های یخچالی تا ارتفاعی که این سنگ‌ها وجود دارند، پیشروی کرده‌اند (دامنه شمال غربی ۱۷۸۰ و دامنه جنوب شرقی ۱۶۸۰ متری).

واژگان کلیدی: الوند، تغییرات اقلیمی، سیرک، سنگ سرگردان، کواترنری.

مقدمه

دما و الگوهای آب‌وهوایی زمین به‌طور طبیعی در مقیاس‌های زمانی مختلف (ده‌ها، صدها یا میلیون‌ها سال) تغییر می‌کند. مدارک و شواهد تغییرات آب‌وهوایی در یک طیف گسترده‌ای از مدارک زمین‌شناسی حفظ می‌گردد ازجمله: رسوب‌های

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۷۷۵۱۹۲۲۷ E-mail: jafarihas@znu.ac.ir

دریایی و دریاچه‌ای، لایه‌های یخ، فسیل مرجان‌ها و فسیل حلقه درخت و غیره. بررسی تغییرات آب‌وهوایی با پیشرفت در مشاهدات، آزمایشگاه و تکنیک‌ها و مدل‌سازی عددی میسر شده است (انجمن زمین‌شناسی لندن[1]، ۲۰۱۰: ۲). مطالعه تاریخچه عصر یخبندان نه‌تنها در درک ما از میراث‌های این دوره و حفاظت و استفاده پایدار از آن مهم است، بلکه در درک ما از حساسیت زمین نیز ارزشمند است (لی[2]، ۲۰۱۱: ۲۷۴). یخچال‌های طبیعی یکی از روشن‌ترین و مستقیم‌ترین واکنش‌ها به تغییرات آب‌وهوا درگذشته هستند و بررسی مراحل مختلف در یخچال‌های طبیعی کواترنری زمینه‌ای مناسب برای کشف تغییرات آب‌وهوایی گذشته را فراهم می‌کند (گلاسیر و موراین[3]، ۲۰۱۰: ۱۰)؛ بنابراین یخچال‌های طبیعی و ارتفاع خط تعادل یخ (ELA) شواهد مهمی در مورد اقلیم زمین در طول آخرین دوره یخبندان ارائه می‌دهند (لی‌آ[4]، ۲۰۰۴: ۲۱۷۱). پژوهش‌های اخیر در ژئومورفولوژی یخچالی به‌طور فزاینده روی سیستم‌های زمین یخچالی متمرکزشده است. صراحتاً کاربرد این بخش از ژئومورفولوژی یک رویکرد سیستمی است. منظور از یک سیستم زمین یخچالی در یک منطقه این است که آن سیستم مجموعه‌ای مشترک از ویژگی‌هایی است که آن را از مناطق اطرافش، نه‌تنها ازنظر ویژگی‌های توپوگرافی خود، بلکه ازنظر مواد تشکیل‌دهنده خود، نوع خاک و پوشش گیاهی متمایز می‌کند. این شامل توصیف و تفسیر ویژگی‌های رسوبی مواد سازنده سطحی زمین است؛ مثلاً بامطالعه ساختار داخلی و ترکیب مورن می‌توان اطلاعات زیادی از منشأ آن به دست آورد (والر و کینگ[5]، ۲۰۰۰: ۵). توپوگرافی کوهستان در طول زمان زمین‌شناسی، از طریق ترکیبی از فرآیندهای فرسایشی و زمین ساختی تشکیل‌شده است. در بسیاری از مناطق، علاوه بر دیگر فرایندهای ژئومورفیک، توپوگرافی کوه از فرسایش یخچال‌های طبیعی نیز تأثیر گرفته است. اثرات کمی دوره یخچالی روی توپوگرافی نیاز به توجه به خواص فیزیکی و ژئولوژیکی حاکم بر فرسایش‌های یخچالی دارد (هیدلی و الرس[6]، ۲۰۱۵: ۱۵۳). مطالعات انجام‌شده درباره یخچال‌های کواترنری در ایران، چندان زیاد نیست و اندک مطالعات انجام‌شده نیز مربوط به سده اخیر است (راب و دات[7]، ۱۹۸۱، ۵۲). موقعیت کنونی سرزمین ایران (عرض ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی) و تسلط شرایط خشک و نیمه‌خشک، تشکیل یخچال‌ها را در این کشور محدود ساخته است و تنها در معدود نواحی مرتفع کوهستانی در حال حاضر یخچال‌های بسیار کوچکی دیده می‌شود، دماوند (۵۶۷۲ متر)، علم‌کوه (۴۸۵۰ متر)، سبلان (۴۸۱۱ متر)، اشترانکوه (۴۰۹۰ متر)، زرد کوه (۴۲۲۱ متر) از مرتفع‌ترین قلل کوهستانی ایران به شمار می‌روند که در حال حاضر دارای یخچال فعال می‌باشند (وزیری، ۱۳۸۲: ۳۸-۳۲). در سال ۱۹۳۳ مطالعه جدی درباره آثار مستقیم یخبندان کواترنری در کوه‌های ایران باکارهای هانس بوبک در البرز، ارتفاع‌های کردستان و دزیو در زرد کوه شروع شد .بوبک با بررسی مورن‌های رشته‌کوه البرز و زاگرس، آن را شواهدی بر یخبندان قبل از وورم در این ارتفاع‌های معرفی کرد. این

[1] - Geological Society of London
[2] - Lee
[3] - Glacier & Moraine
[4] - Lea
[5] - Waller & knight
[6] - Headley and Ehlers
[7] - Rob & Dott

مطالعات او را بر آن داشت که در سال ۱۹۵۵ اولین اظهارنظر کلی درباره اقلیم ایران در کواترنری را منتشر سازد. وی معتقد بود که در طول دوران یخچالی، اقلیمی سرد و خشک‌تر از امروز بر ایران حاکم بوده است پژوهشگران بعدی غالباً به نتایجی برخلاف نظریه وی دست‌یافته‌اند؛ از آن جمله شارلاو است که به اقلیم سرد و مرطوب‌تر از امروز اعتقاد دارد (جداری عیوضی،۱۳۹۶: ۳۱–۱۵). حضور سیرک‌های یخچالی قدیمی در مناطق کوهستانی ایران، یکی از اشکال کلاسیک، می‌تواند در تشخیص نسبتاً درست ارتفاع برف مرزهای دائمی به کار گرفته شود (زمردیان، ۱۳۹۲: ۲۹).

از جمله مطالعاتی که در نقاط مختلف جهان درباره بررسی شواهد یخچال‌ها صورت گرفته است می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: در یک کار پژوهشی مسرلی[1] (۱۹۶۷) شواهد و مستنداتی از یخبندان را در دل کالدرون که یک یخچال طبیعی در جنوب اروپا است کشف و از این شواهد آن برای بازسازی برف مرز دوره یخبندان استفاده کرد. در اکثر نواحی منطقه مطالعاتی، این خط ۱۰۰۰ متر پایین‌تر از برف مرز کنونی بود. در پژوهش دانشگاه مینی سوتا[2] (۱۹۹۷) درباره یخچال آمده است که عصر یخبندان در مینه سوتا، زمانی است که ورقه‌های یخی زیادی، شمال امریکا را پوشانده بود و مینه سوتا در لبه ورقه یخ بوده است و به‌این‌ترتیب این منطقه همیشه از یخ پوشیده شده است. اشکال یخچالی مشاهده‌شده در این منطقه شامل مورن، اسکر و دروملین است. در مطالعه‌ای دیگر مانگومری[3] (۲۰۰۲) از پروفایل‌های دره‌ای دامنه غربی شبه‌جزیره المپیک، واشنگتن، به‌منظور بررسی اثرات نسبی فرسایش رودخانه‌ای و یخبندان در شکل‌گیری دره استفاده کرده است. میلر و وستفال[4] (۲۰۰۸) معتقدند که لند فرم‌های بسیاری حاصل از عملکرد یخچال‌های طبیعی و سنگ‌های یخی، در سیرانوادا (واقع در کالیفرنیا) وجود دارد. در بررسی‌های میدانی بر اساس مورفولوژی، این اشکال را در شش گروه طبقه‌بندی کرده‌اند. ساریکایا و همکاران[5] (۲۰۰۸) در بررسی اقلیم گذشته منطقه ساندیراس[6] واقع در جنوب غرب ترکیه، میزان بارش را در آخرین دوره یخبندان ۱/۹ برابر بیشتر از زمان حال و در بررسی دیگر (۲۰۱۱) ارتفاع برف مرز کواترنری و کنونی را در کوهستان هوناز (واقع در ترکیه) را به ترتیب در ارتفاع ۲۶۰۰ و ۳۶۰۰ متری برآورد کردند. روی و لاچنیت[7]، (۲۰۱۰) سیرا لوس کوچوماتانز فلاتی از سنگ‌آهک، واقع در ارتفاع‌های مایان در جنوب امریکای شمالی را که توسط یک کلاه یخی و دره‌های یخچالی با وسعتی در حدود ۴۳ کیلومترمربع احاطه‌شده را مطالعه نمودند. یافته‌هایشان بیان‌کننده این است که مورن های جانبی و ترمینال مورنی تا ارتفاعات حدود ۳۴۵۰ متری وجود دارند. ارتفاع خط تعادل یخ (ELA) با استفاده از روش نسبت تعادل ارتفاع برای یخبندان اواخر کواترنری برای دره‌های یخچالی منطقه در ارتفاع ۳۴۷۰ متری و کلاهک یخی در ارتفاع ۳۶۷۰ متری برآورد گردید. محدوده عملکرد یخ درگذشته توسط مورن جانبی و ترمینال مورنی با ارتفاع حدودی ۳۴۵۰ متری و دره‌های یخچالی با

[1] - Messerli
[2] - University of Minnesota
[3] - Montgomery
[4] - Millar& Westfall
[5] -Sarıkaya & et al
6 - Sandıras
[7] - Roy & Lechite

ارتفاع حدوداً ۳۰۰۰ تا ۳۳۰۰ متری مشخص می‌شود. فردین و همکاران[1] (۲۰۱۳) معتقدند که چشم‌اندازهای کنونی نروژ نتیجه فرآیندهای زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی در طول زمان بسیار طولانی است. بااین‌حال بخش بزرگی از لند فرم‌های کنونی آن نتیجه یخچال‌های کواترنری هستند. اشکال یخچالی مانند سیرک، دره‌های **U** شکل، مورن ها، دروملین و اسکر با اندازه‌های میلی‌متری تا کیلومتری در نروژ دیده می‌شوند.

ازجمله پژوهش‌های انجام‌شده در ایران روی شواهد اقلیمی دوران پلئیستوسن می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد: در ایران غربی (کردستان)، مرز برف‌های دائمی، در حال حاضر ۴۲۰۰ متر (شوایتزر) و در دوره‌های سرد ۱۸۰۰ متر (رایت) تشخیص داده‌شده است (محمودی، ۱۳۶۷: ۱۲). جعفری (۱۳۸۸)، بامطالعه ارتفاع خط تعادل آب‌ویخ در کل کشور، بیشترین تأثیر جهت شیب سطوح ارضی بر تفاوت ارتفاعی خط تعادل آب‌ویخ را در دامنه‌هایی معرفی می‌کند که امتداد آن‌ها، غربی شرقی باشد. حد برف مرز آخرین دوره یخچالی در حوضهٔ جاجرود، از دو روش رایت و پورتر، توسط یمانی و همکاران (۱۳۹۰)، برآورد گردید و نتایج نشان‌دهندهٔ این است که خط برف دائمی منطقه با استفاده از روش رایت در ارتفاع ۳۰۹۵ متری و درروش پورتر در ارتفاع ۳۰۷۲ متری قرار دارد. قهرودی‌تالی و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی روی حوضه رود زاب کوچک، بیان داشتند که ارتفاعات غربی و شمالی این حوضه در دوره یخبندان، جزء قلمرو یخچالی بوده و آثار کاوشی این یخچال‌ها به‌صورت سیرک و دره‌های یخچالی به‌جامانده است و آثار تراکمی آن‌ها نیز روی دامنه‌ها و بستر رود امروزه سبب وقوع حرکات دامنه‌ای می‌شود. امیر احمدی و همکاران (۱۳۹۰) نیز در بررسی آثار یخچالی کواترنری در دشت آسپاس با تعیین خط برف دائمی در دوره یخچالی که به روش رایت صورت گرفت (ارتفاع ۲۶۰۰ متری)، نشان دادند که دمای متوسط سالانه صفر درجه سانتی‌گراد در ارتفاع ۲۶۰۰ متری منطقه قرار می‌گرفته و وجود بالغبر ۲۵۵ سیرک بزرگ و کوچک نشان می‌دهد که در دوران سرد یخچالی سیرک‌ها به‌عنوان یکی از منابع تغذیه‌کننده بسیار غنی برای تشکیل یک پوشش یخی در منطقه به شمار می‌رفته‌اند. شواهد ژئومورفولوژی موجود، وجود بیش از یک خط تالوگ در دشت که به‌جای جریان‌های آبی، سطوح یخی عمل کرده است را تأیید می‌کند. همچنین برای تأیید تسلط یخچال‌ها بر منطقه به عملیات گرانولومتری و مورفوسکوپی و نتایج حاصل از آن پرداخته‌شده که اکثر نمونه‌ها از نوع رسوبات یخچالی هستند. ابطحی (۱۳۹۲) در حوضه جاجرود، ۴۴۰ سیرک را در ارتفاع‌های این حوضه شناسایی کرد، همچنین وجود پادگانه‌های رودخانه‌ای و مخروط‌افکنه‌های گسترده در دامنه جنوبی البرز و وجود آثار دریاچه‌ها و چاله‌های به‌جامانده از گذشته را مؤید تغییرات اقلیمی دانسته‌اند. پاریزی و همکاران (۱۳۹۲) در بررسی شواهد یخچال‌های کواترنری پایانی در حوضه تنگوئیه سیرجان، سیرک‌های یخچالی، دره‌های یخچالی و یخرفت‌ها را مشخص‌ترین شواهد ژئومورفولوژیکی یخچال‌ها در حوضه موردمطالعه معرفی کردند. جعفری (۱۳۹۲) در پژوهشی با عنوان روش برآورد ارتفاع خط برف مرز دائمی ایران و مقایسه آن با روش رایت با استفاده از متغیرهای مؤثر بر ارتفاع برف مرز دائمی، مثل؛ عرض جغرافیایی، دما، مقدار و جهت شیب سطوح ارضی در ایستگاه‌های تابش‌سنج کشور، روابطی ارائه داد تا به کمک آن‌ها

[1] - Fredin & et al.

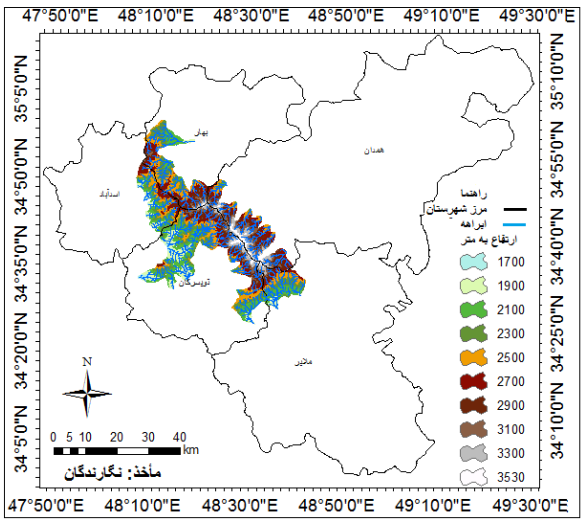
بتوان ارتفاع برف مرز دائمی را برآورد کرد. جعفری و اصغری سراسکانرود (۱۳۹۳)، در بررسی آثار یخچالی کواترنری زنجان‌رود، به این نتیجه دست یافتند که خط تعادل آب‌ویخ در ارتفاعی بالاتر از ارتفاع خط هم‌دمای پنج درجه و منطبق با خط هم‌دمای ۲/۱۶ درجه سانتی‌گرادی گذشته در ارتفاع ۱۵۵۰ متری بوده است. جعفربیگلو و همکاران (۱۳۹۳) خط برف مرز وورم را در کوهستان بید خوان (استان کرمان) با روش میانگین ارتفاع کف سیرک در ارتفاع ۳۱۶۶ متری و از طریق روش رایت در طبقه ارتفاعی ۳۱۰۰ تا ۳۲۰۰ متری و خط برف مرز کنونی را در ارتفاع ۵۵۰۰ متری مشخص کردند. در حوضه خضرآباد واقع در یزد، شریفی و فرح‌بخش (۱۳۹۴) خط برف مرز دائمی را با روش‌های رایت و پورتر، در ارتفاع ۲۱۰۰ تا ۲۲۰۰ متر برآورد کردند. راه دان مفرد و همکاران (۱۳۹۴) در محدوده سایت ریگ، برف مرز را از روش پورتر در ارتفاع ۲۸۱۲ و درروش رایت در ارتفاع ۲۸۳۶ متری و همچنین خط تعادل آب‌ویخ را در ارتفاع ۲۰۱۹ متری برآورد کردند. خسروی و همکاران (۱۳۹۵)، در بررسی شواهد ژئومورفولوژیکی یخچالی کواترنری در ارتفاعات بینالود، افزون بر ۳۹ سیرک بزرگ و کوچک را در منطقه شناسایی کرده و حداقل دمای متوسط سالانه بینالود را در زمان حاکمیت یخچال‌ها برابر ۵/۸- درجه سانتی‌گراد در ارتفاع ۳۳۰۸ متری و دمای متوسط سالانه را برابر با ۹/۵ درجه سانتی‌گراد در ارتفاع ۸۷۰ متری برآورد کردند.

تاکنون در الوند مطالعات متعددی صورت گرفته اما ازنظر بررسی شواهد یخچالی این مطالعات انگشت‌شمار بوده، ازجمله، دریو در سال (۱۹۳۳) در دامنه شمالی الوند در جنوب شهر همدان آثار سیرک یخچالی جبهه شمالی را در ۳۰۰۰ متر و یخرفت‌ها را در دره‌های کوچک تا ارتفاع ۲۶۰۰ متر مشاهده کرده است (جداری عیوضی، ۱۳۹۶: ۷۶). جعفری و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از سه روش رایت، شیب جهت، ضریب خمیدگی ارتفاع برف مرز کواترنری را در توده کوهستانی الوند برآورد کردند. جعفری (۱۳۹۵) در پژوهشی با عنوان بررسی لند فرم‌های یخچالی کواترنری توده کوهستانی الوند همدان با تأکید بر قسمت‌های مختلف سیرک تأثیرگذاری جهت جغرافیایی قرارگیری سیرک را بر شکل‌گیری یخچال‌های کواترنری و همچنین بیان این مطلب که شکل سیرک‌های دامنه‌های شمالی به دایره نزدیک‌تر و در جهات جنوبی به شکل مستطیل نزدیک‌ترند را تأیید نموده است. پژوهش حاضر سعی دارد تا با توجه به وجود آثار تیپیک یخچالی در دامنه‌های شمال شرقی و جنوب غربی و مورن های سرگردان عظیم‌الجثه، حاکمیت فرآیندهای یخچالی کواترنری و تغییرات دما و بارش دوره‌های سرد کواترنری نسبت به امروز را موردبررسی قرار دهد.

معرفی منطقه موردپژوهش

ناحیه موردبررسی با آب‌وهوای سرد کوهستانی، از ۳۴/۵ تا ۳۴/۸۵ درجه عرض شمالی و ۴۸ تا ۴۸/۶ طول شرقی گسترش‌یافته است. این کوهستان از شمال غربی به جنوب شرقی کشیده شده است (شکل ۱). بلندترین نقطه ارتفاعی، مربوط به قله الوند با ۳۵۷۴ متر و پست‌ترین نقطهٔ ارتفاعی ۱۵۲۰ متر است. بالغبر ۵۰ درصد از پهنهٔ منطقه، در ارتفاع بین ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متری است. دامنهٔ ارتفاعی در منطقه ۲۰۵۴ متر است. بیشترین مساحت منطقه را طبقه ارتفاعی ۲۳۵۰ تا

۲۵۵۰ متر به خود اختصاص داده است. در دامنه‌های شمالی الوند دره‌هایی مانند دره برفین، دره گنج‌نامه، دره عباس‌آباد، دوزخ دره، دره گوساله، دره کیوارستان، دره سیمین دره، دره مرادبیگ، دره دیوین، دره قز، دره حیدریه و غیره وجود دارد و دره‌هایی نیز در دامنه جنوبی الوند واقع است، ازجمله دره سرکان، دره آرتیمانی، دره فاران، دره گزندر، دره شهرستانِ و غیره. توده گرانیتی الوند بر روی نقشه‌های زمین‌شناسی روند شمال غربی – جنوب شرقی رتبه موازات راندگی زاگرس نشان می‌دهد و ازلحاظ زمین‌شناسی تنوع زیادی دارد (حمیدی، ۱۳۷۶: ۷۸). ازنظر سنگ‌شناسی، شامل گرانیت میکا دار، گرانیت زیرکندار هست (ایلدرمی، ۱۳۹۱: ۲۲۰)؛ به‌طورکلی بخش عمده توده پلوتونیک الوند را گرانیتوئیدها (به‌ویژه گرانیت‌های پرفیروئید) تشکیل می‌دهد (سپاهی گرو و معین وزیری ۱۳۷۹: ۱۷۶). ازنظر ساختاری محدوده موردمطالعه در بخشی از پهنه سنندج–سیرجان قرار دارد (اشکوتلین: ۱۹۶۸). در توده کوهستانی الوند گسل‌های کوچک و بزرگ، سطوح توپوگرافی را جابه‌جایی ایجاد کرده که بیانگر سطح فرسایش در این بخش است (ایلدرمی، ۱۳۷۴: ۹۵).



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱: موقعیت منطقه مطالعاتی

داده‌ها و روش‌ها

در این پژوهش با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌های پایه زمین‌شناسی استان همدان با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و استفاده از منابع موجود در سازمان‌ها، اطلاعات موردنیاز استخراج و پس از مشخص نمودن مرز منطقه مطالعاتی، نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی تهیه‌شده رستراستیج[1] گردید و اطلاعات به‌دست‌آمده در مراحل مختلف، با استفاده از نرم‌افزارهایی همچون گلوبال‌مپر[2]، جی‌آی‌اس[3]، سورفر[4]، اکسل[5] و اس پی اس اس[1] مورد

[1] -Raster stitch
[2] - Global Mapper 15
[3] - Georaphic Information System(Gis)
[4] -Surfer
[5] - Excel

تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. با استفاده ارتفاع برف مرز، خط تعادل آب‌ویخ در دامنه شمال شرقی و جنوب غربی الوند به کمک مطالعات میدانی و بررسی مسیر نهایی حرکت یخچال‌ها تعیین گردید. برای بازسازی شرایط اقلیمی گذشته، ایستگاه‌های اقلیمی منطقه انتخاب گردید (جدول ۱ و ۲).

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های دمایی منطقه

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	دمای کنونی (درجه سانتی‌گراد)	دمای گذشته (درجه سانتی‌گراد)
باباپیرعلی	۴۸/۳۴	۳۴/۶۳	۱۸۷۲	۹/۸	۱/۳
صالح‌آباد	۴۸/۳۴	۳۴/۹۲	۱۷۸۱	۱۰/۹۳	۲/۴
سور لانه	۴۸/۴۳	۳۴/۸۱	۲۰۵۵	۹/۸۶	۱/۴
سد اکباتان	۴۸/۵۵	۳۴/۸۶	۱۷۴۳	۱۱/۳	۲/۸
جوکار	۴۸/۶۸	۳۴/۴	۱۶۸۳	۱۱/۸۲	۳/۳
آق تپه	۴۸/۶۸	۳۴/۴۱	۱۶۸۴	۱۱/۷۲	۳/۲
گنبد	۴۸/۷۵	۳۴/۶۸	۲۰۲۳	۹/۹۴	۱/۴

مأخذ: نگارندگان

جدول ۲: مشخصات ایستگاه‌های بارشی منطقه

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	بارش (میلی‌متر)
اسدآباد	۴۸/۱۱	۳۴/۷۸	۱۷۰۰	۳۱۱/۳۷
همه‌کسی	۴۸/۰۱	۳۴/۹۶	۱۶۷۰	۱۲۹۰/۷
صالح‌آباد	۴۸/۰۳	۳۴/۹۱	۱۷۰۰	۳۸۴/۱۸
سور لانه	۴۸/۴۳	۳۴/۸۱	۱۹۸۰	۴۶۱/۷۱
گنبد همدان	۴۸/۷۵	۳۴/۶۸	۱۹۸۵	۳۹۴/۴
جوکار ملایر	۴۸/۶۸	۳۴/۴۱	۱۷۰۰	۳۱۷/۷۸
سد اکباتان	۴۸/۵۵	۳۴/۸۶	۱۷۳۰	۳۳۸/۳۴
آق تپه	۴۸/۶۸	۳۴/۴	۱۶۷۵	۲۲۵/۲۸
باباپیرعلی	۴۸/۳۴	۳۴/۶۳	۱۹۰۳	۴۱۲/۰۱
سرابی	۴۸/۴۷	۳۴/۵۳	۱۹۰۶	۴۱۵/۱۹
خیرآباد	۴۸/۵۶	۳۴/۴۶	۱۷۴۴	۳۵۲/۴
آب باریک	۴۸/۲۸	۳۴/۸۹	۱۸۸۰	۳۳۷/۱۳
سوباشی	۴۸/۲۴	۳۵/۱۶	۲۲۱۹	۳۹۹/۷۷
عمرآباد	۴۹/۲۴	۳۵/۰۹	۱۵۹۱	۲۴۶/۱۶
قهاوند	۴۹	۳۴/۸۶	۱۶۲۵	۲۳۹/۲
پیهان ملایر	۴۸/۸۷	۳۴/۱۳	۱۸۲۵	۲۸۵/۲۸
وسج نهاوند	۴۸/۲۷	۳۴/۳۱	۱۵۴۶	۳۷۸/۴۲
سیاه دره	۴۸/۳۵	۳۴/۳۶	۱۸۸۳	۴۸۰/۹

مأخذ: نگارندگان

پس از مرتب‌سازی داده‌ها، برازش بین دما–ارتفاع و بارش–ارتفاع به کمک معادلات رگرسیونی صورت گرفت و نقشه هم بارش و هم‌دمای حال در نرم‌افزار سورفر ترسیم گردید. با توجه به ارتفاع برف مرز برآورد شده به روش‌های رایت، شیب–جهت، ضریب خمیدگی و روش ترکیبی (ارتفاع برف مرز برآورد شده روش رایت در دامنه جنوب غربی و

[1] -Spss

ارتفاع برف مرز برآورد شده شیب–جهت در دامنه شمال شرقی)، دمای گذشته ایستگاه‌ها برآورد و به کمک این دما، بارش گذشته نیز بازسازی گردید. با توجه به شرایط اقلیمی گذشته و حال و پس از ترسیم نقشه آن‌ها در نرم‌افزار سورفر، مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند. مهم‌ترین بخش کار، ارتباط نتایج حاصل از بررسی‌ها و فرآیند تشکیل لند فرم‌های کواترنری و سپس تلفیق نتایج ژئومورفولوژیک، توپوگرافیک و زمین‌شناسی بوده است. در تمامی مراحل تحقیق، یافته‌های پژوهش کاملاً مستند به انجام کارهای میدانی و مشاهدات روی زمین بوده است.

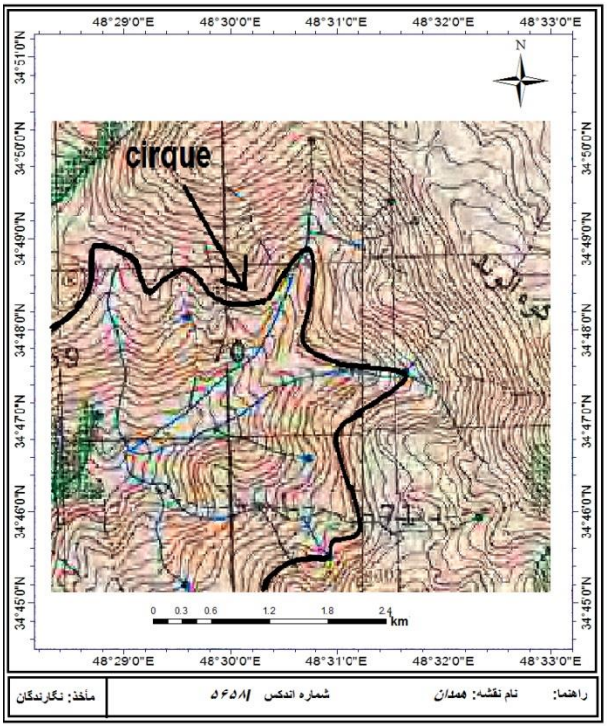
یافته‌های پژوهش

ردیابی آثار یخچالی بر اساس شاخص‌های ژئومورفیک: فرم‌شناسی در ژئومورفولوژی چندان با اصول فرم‌شناسی عمومی تفاوت نمی‌کند. آنچه در اینجا بدان باید توجه داشت نقش عناصر اصلی (خطوط، سطوح، نقاط، احجام) در بیان فرم ارضی است و فرم‌های ارضی چیزی جز ترکیب این عناصر با یکدیگر نیست. هر یک از این عناصر ممکن است ویژگی‌های خاصی داشته باشند. شناخت و بررسی این ویژگی‌ها ازجمله اهداف ژئومورفولوژیست‌ها در تحلیل سیستم‌های ارضی است (رامشت، ۱۳۹۰: ۱۰–۱۱). فرآیند مجموعه فعالیت‌های متوالی و مرتبطی است که محصول خاصی را به وجود می‌آورد. در ژئومورفولوژی ژئوفرم‌ها[۱] حاصل فرآیندهای مختلف می‌باشند که برگرفته از شرایط خاص آن منطقه و محیط پیرامونی است (قنواتی و بهشتی جاوید، ۱۳۹۲: ۳۵). در تحلیل فرم و فرآیند یک منطقه با اتکا به ابزارهایی همچون نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی می‌توان فرم‌های منطقه موردبررسی را شناسایی و مورد تحلیل قرارداد. بین فرم و فرآیند رابطه‌ای است که ما می‌توانیم بگوییم هر فرآیندی چه فرمی ایجاد می‌کند یا اینکه هر فرم وابسته به چه فرآیندی است. فرآیندها ازنظر ژئومورفولوژیست‌ها آب (به‌صورت آب جاری و راکد، یخچال و...)، باد، نیروی جاذبه (شیب)، انسان است. هرکدام این‌ها فرم خاص خود را ایجاد می‌کنند. شناسایی فرم‌ها برای پژوهش‌گران بازگوکنندهٔ این مطلب است تا زمانی که فرم تغییر زیادی نکرده باشد تعیین نوع فرآیند ایجادکننده فرم امکان‌پذیر است. اگر فرم‌ها و فرآیندها همخوانی داشته باشند، یعنی فرم‌ها در حال حاضر متعلق به فرآیندی باشند که در منطقه مسلط است، تحلیل چنین فرآیندهایی هرچند نیاز به مهارت خاصی دارد ولی مشکل نیست. هنگامی‌که فرم‌ها با فرآیند کنونی همخوانی نداشته باشند لازم است که با توجه به فرم‌ها، فرآیندهای دوران گذشته را بازسازی شود. برای مثال یک سیرک یخچالی یا دره U شکل ازجمله فرم‌هایی هستند که در فرآیند عملکرد آب در حالت‌جامد به وجود می‌آید؛ اگر در شرایط کنونی چنین فرآیندی در منطقه وجود ندارد می‌تواند دال بر اثرگذاری آن درگذشته باشد. بر این اساس در مناطقی که در شرایط کنونی فرایند یخچالی حاکمیت ندارد ولی فرم‌های مشابه فرم‌های یخچالی دیده می‌شود می‌توان با توجه به فرآیندهای دیگر به تجزیه‌وتحلیل فرم مبادرت کرد.

---

[۱]. منظور از ژئوفرم‌ها اشکال ویژه‌ای است که در سطوح به وجود آمده‌اند؛ برای مثال یک سیرک یخچالی، ژئوفرم تلقی می‌شود (قنواتی و بهشتی جاوید، ۱۳۹۲: ۳۵).

در توده کوهستانی الوند همدان وجود آثار تیپیک سیرکی در دامنه‌های شمال غربی و جنوب شرقی مورن‌های سرگردان عظیم‌الجثه به‌طور مستقیم در مشاهدات میدانی و نیز به‌وسیله تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های توپوگرافی قابل ردیابی است. در توده کوهستانی الوند، به کمک نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ با توجه به اصول فرم‌شناسی، بررسی‌های اولیه برای شناسایی فرم‌های شاخص انجام گرفت، توجه به این موضوع حائز اهمیت است که سیرک‌های یخچالی شناسایی‌شده در نقشه‌های توپوگرافی خود سیرک‌ها نیستند که در حال حاضر نیز فعالیت داشته باشند، بلکه شواهد به ارث گذاشته از دوره‌های قبل است که در شرایط کنونی نیز برای مدت طولانی از سال پوشیده از برف هستند و تمرکز برف در دیواره‌های سیرک کاملاً مشخص است (شکل ۲).



مأخذ: نگارندگان

شکل ۲: انعکاس سیرک یخچالی در خطوط منحنی تراز الوند

پژوهشگران برای بررسی تحول ژئومورفولوژیکی نواحی کوهستانی، سعی می‌کنند مرز برف‌های دائمی یا حد بالا و پایین سولی فلوکسیون را در دوره‌های یخچالی و بین یخچالی تعیین کنند (مقیمی، ۱۳۸۷: ۱۳۹). برآورد این ارتفاع، در مناطقی که احتمال گسترش یخچال‌های آن زمان را داشته‌اند همواره یکی از تفکرات اصلی ژئومورفولوژیست‌ها بوده است. چراکه شناسایی این مرز به آن‌ها کمک می‌کند که به تحلیل فرآیندهای حاکم و جاری بپردازند تا بتوانند در کارهای عملیاتی و مدیریتی برنامه‌های مطلوب‌تری ارائه دهند. در تحقیق حاضر، از ارتفاع برف مرز و خط تعادل آب‌ویخ برآورد شده در کار پژوهشی جعفری و همکاران (۱۳۹۴) که در همین منطقه مطالعاتی صورت گرفته، استفاده‌شده است (جدول ۳).

جدول ۳: برآورد ارتفاع برف مرز کنونی و گذشته با روش‌های مختلف در الوند همدان (جعفری و همکاران: ۱۳۹۴)

زمان	روش	کل	دامنه شمالی	دامنه جنوبی
برف مرز کنونی (متر)	–	۳۸۷۹/۵	۳۶۱۴	۴۱۴۵
برف مرز کواترنری (متر)	ضریب خمیدگی	۲۱۳۸	۲۱۶۷	۲۰۹۹
	رایت	۲۲۹۴	۲۴۰۴	۲۲۴۶
	شیب–جهت	۲۲۲۶	۱۹۶۰	۲۴۹۱/۵
اختلاف برف مرز گذشته و کنونی (متر)	ضریب خمیدگی	۱۷۴۱/۵	۱۴۴۷	۲۰۴۶
	رایت	۱۵۸۵/۵	۱۵۷۰	۱۸۹۹
	شیب–جهت	۱۶۵۳/۵	۱۶۵۴	۱۶۵۳,۵
خط تعادل آب‌ویخ	–	–	۱۷۷۶	۱۶۸۰

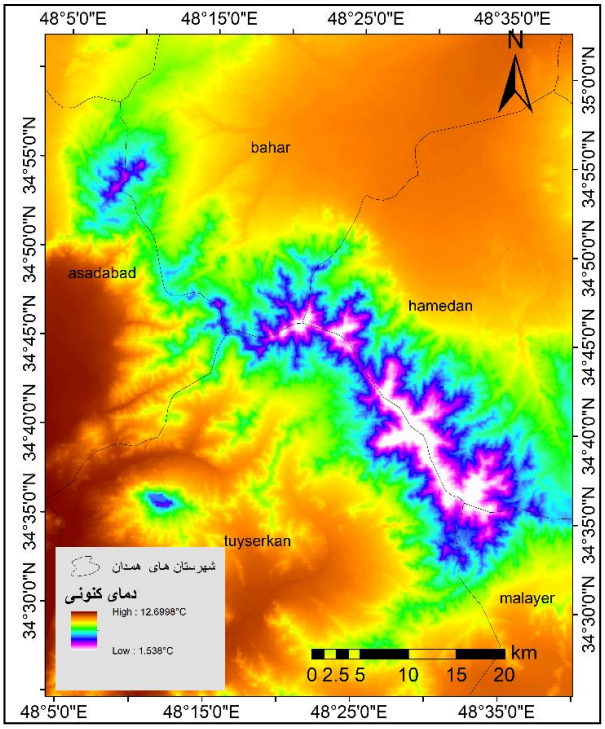
مأخذ: نگارندگان

ردیابی آثار یخچالی بر اساس شواهد اقلیمی: معمولاً تاریخ فعلی به‌عنوان یک نقطه مرجع برای مقایسه‌ها در نظر گرفته می‌شود؛ بااین‌حال، چشم‌اندازهای دهه‌ها و یا در برخی موارد حتی قرن‌های اخیر تا حد زیادی توسط فعالیت‌های انسانی تغییر کرده است؛ بنابراین، برای تعیین تغییرات آب‌وهوایی اخیر ما نیازمند مقایسه سری زمانی طولانی برای مشاهدات هستیم (فریتز[1]، ۱۹۹۶: ۸۸۳)؛ بررسی میزان تغییرات عناصر اقلیمی، ازجمله دما نیازمند دانستن دمای فعلی و نحوه تغییر آن در ارتباط با قانون افت آهنگ دمایی است. برای مشخص شدن میزان افت آهنگ دمایی برازش بین ارتفاع و دمای ایستگاه‌های منطقه صورت گرفت (رابطه ۱).

$$T = -0/0053H + 20/4662 \qquad R^2 = 0/83 \text{ رابطه} \quad (1)$$

طبق این رابطه به ازای هر صد متر افزایش ارتفاع در منطقه مطالعاتی ۰/۵۳ درجه سانتی‌گراد کاهش دما داریم؛ سپس در نرم‌افزار سورفر با واردکردن این رابطه، نقشه هم‌دمای فعلی ترسیم گردید (شکل ۳). با توجه به شکل خط هم‌دمای ۱۲/۱۴ درجه سانتی‌گراد بالاترین دمای متوسط سالانه و خط هم‌دمای ۱/۵ درجه سانتی‌گراد کمترین دمای متوسط سالانه در منطقه را نشان می‌دهد و اختلاف دمای متوسط سالانه در منطقه ۱۰/۶۴ درجه سانتی‌گراد است. به خاطر دمای پایین منطقه در مرتفع‌ترین نقاط الوند همدان است که اسامی همچون دره دائم‌البرف، تاریک دره، دره یخچالی، دوزخ دره و ... به خاطر ویژگی غالب هرکدام (وجود برف در اکثر اوقات سال، در سایه قرار گرفتن دامنه‌ها، وجود یخ‌برفی، وجود بهمن فراوان و غیره) در منطقه رایج شده است. دمای پایین آن به‌خصوص درشیب‌های شمال شرقی وجود آبشار دائمی گنج‌نامه را به ارمغان آورده است. جهت بازسازی شرایط دمایی گذشته و ترسیم نقشه خطوط هم‌دمای مربوطه، ابتدا خط برف دائمی گذشته تعیین گردید. با تعیین این خط می‌توان به برآورد دمای متوسط گذشته با استفاده از اصل افت آهنگ دما اقدام کرد.

1. Fritz



مأخذ: نگارندگان

شکل ۳: هم‌دمای کنونی منطقه مطالعاتی

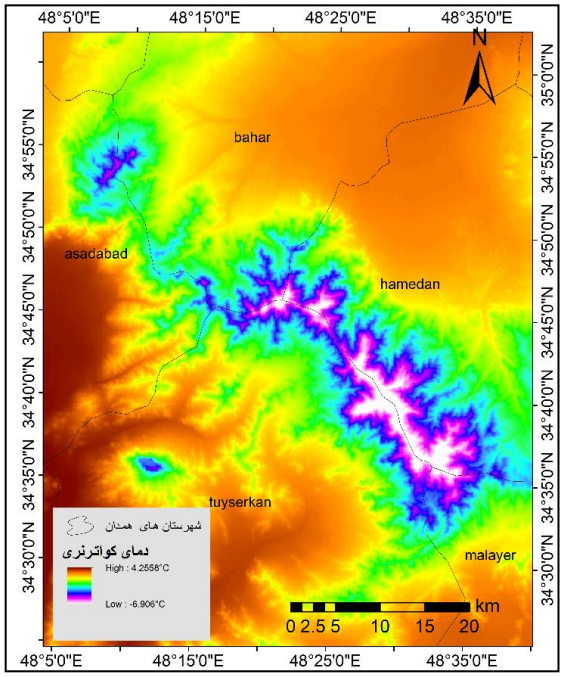
ارتفاع خط برف دائمی برآورد شده از یافته‌های پژوهشی جعفری و همکاران (۱۳۹۴)، به روش‌های رایت، شیب–جهت، ضریب خمیدگی و روش ترکیبی رایت و شیب–جهت استفاده شد (در دامنه شمال شرقی برف مرز برآورد شده از روش رایت و در دامنه جنوب غربی برف مرز برآورد شده از روش شیب–جهت). اگر ارتفاع برآوردی در رابطه (۱) قرار داده شود، دمای حاصله بیانگر دمای کنونی این ارتفاع است که میزان اختلاف دمای حال را با صفر گذشته مشخص می‌کند (جدول ۴)؛ میانگین دمای برآورد شده، از دمای کنونی ایستگاه‌ها کسر و دمای گذشته ایستگاه‌ها محاسبه شد. سپس برازش بین ارتفاع و دمای گذشته ایستگاه‌ها صورت گرفت (رابطه ۲) و در نرم‌افزار سورفر با اعمال این رابطه، نقشه دمایی گذشته ترسیم گردید (شکل ۴). کمترین میزان دمای منطقه در دوره سرد در خط‌الرأس برابر با ۶/۹- درجه سانتی‌گراد و بیشترین دما برابر با ۳/۷ درجه سانتی‌گراد در نزدیک پیشانی جبهه کوهستان است. اختلاف دمای متوسط حدود ۱۰/۶ درجه سانتی‌گراد برآورد می‌شود. تفاوت دمایی سالانه در توده کوهستانی الوند درگذشته و حال حدوداً یکسان بوده است.

$$TK = -0/0053H + 11/962 \qquad R^2 = 0/83 \qquad \text{رابطه (۲)}$$

جدول ۴: برآورد دمای گذشته به روش‌های مختلف در منطقه مطالعاتی

روش	رایت		شیب–جهت		ضریب خمیدگی		ترکیبی	
جهت دامنه	N	S	N	S	N	S	N(ش.ج)*	S(رایت)
دما	۷/۳۵	۸/۵	۱۰/۰۱	۷/۲	۹/۸	۹/۰۳	۱۰/۰۱	۸/۵
اختلاف دمای دو دامنه	۱/۹		۲/۸۱		۰/۷۷		۱/۵۱	

* روش شیب–جهت (مأخذ: نگارندگان)



مأخذ: نگارندگان

شکل ۴: هم‌دمای گذشته در الوند

همان‌طور که از جدول (۴) مشخص است بیشترین دما در دامنه شمال شرقی از روش شیب–جهت و در دامنه جنوب غربی از روش ضریب خمیدگی و کمترین دما نیز در دامنه شمال شرقی از روش رایت و در دامنه جنوب غربی از روش شیب–جهت برآورد گردید. کمترین اختلاف دما در دو دامنه از روش ضریب خمیدگی و بیشترین آن از روش شیب–جهت محاسبه شد. با ترسیم نقشه هم بارش منطقه می‌توان به بررسی شرایط رطوبتی گذشته پرداخت. برای دست‌یابی به این منظور، ایستگاه‌های بارشی منطقه انتخاب و پس از مرتب‌سازی داده‌ها و حذف داده‌های پرت، برازش بین بارش و ارتفاع صورت گرفت (رابطه ۳) و با توجه به همین رابطه در نرم‌افزار سورفر نقشه بارشی کنونی منطقه ترسیم گردید (شکل ۵).

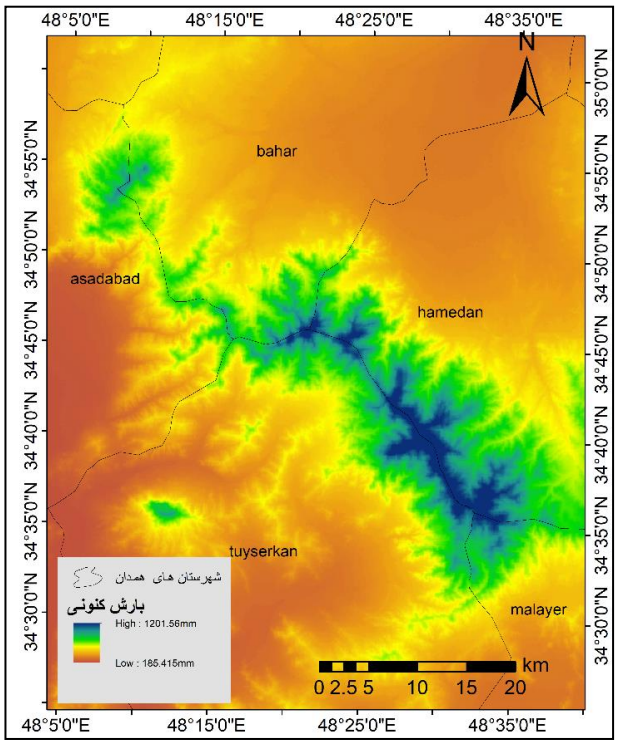
جدول ۵: برآورد آنومالی دما به روش‌های مختلف

روش	رایت	شیب–جهت	ضریب خمیدگی	ترکیبی
آنومالی دما	۸/۵	۸/۶	۹/۱۱	۹/۲۶

مأخذ: نگارندگان

رابطه (۳) $R = ۰/۷۹$ $\qquad P= ۰/۴۸۲۵X - ۵۱۶/۱۴$

با توجه به شکل (۵)، بیشترین بارش در قله الوند با میزان ۱۲۰۱/۵ میلی‌متر و کمترین بارش منطقه ۲۳۵/۵ میلی‌متر است. اختلاف میانگین بارش سالانه ۹۶۶ میلی‌متر است. مناطق پر بارش دقیقاً با مناطقی منطبق است که دمای پایین‌تری دارند و همین مسئله باعث می‌شود که با دمای پایین بارش جامد دریافت شود و به‌مرور زمان با ذوب آن‌ها، منابع آب دائمی برای منطقه فراهم آید. با استفاده از رابطه (۳) و داشتن دمای گذشته، به برآورد میزان بارش گذشته اقدام شد؛ سپس برازش بین بارش گذشته و ارتفاع صورت گرفت (رابطه ۴).

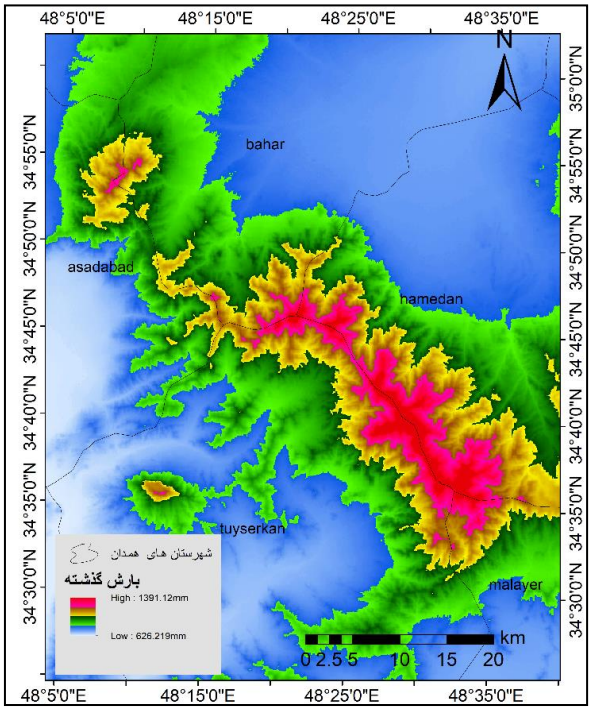


مأخذ: نگارندگان

شکل ۵: هم بارش کنونی در الوند

رابطه (۴) $R^2 = ۰/۶۸$ $Pk= ۰/۳۶۳۲x + ۹۸/۱۲$

با اعمال رابطه (۴) در نرم‌افزار سورفر، نقشه هم بارش منطقه در دوره حاکمیت یخچال‌ها ترسیم شد (شکل ۶).



مأخذ: نگارندگان

شکل ۶: هم بارش گذشته در الوند

با بررسی کامل و تجزیه‌وتحلیل نقشه به‌دست‌آمده میزان بارش در پایین‌ترین حد دمای محیطی درگذشته در ارتفاع‌های بالا ۱۳۹۱/۱۲ میلی‌متر و در ارتفاع‌های پایین ۶۶۳/۹۹ میلی‌متر برآورد شد. هرچه از ارتفاع‌های بالا به ارتفاع‌های پست پیش می‌رویم از میزان بارش کاسته می‌شود. بررسی‌ها نشان‌دهنده این است که بارش حوضه درگذشته بیشتر از زمان کنونی آن‌ها بوده است و در ارتفاع‌های پایین‌تر تغییرات بارشی نسبت به زمان حال بیشتر است. تفاوت دمای گذشته و حال را آنومالی دمایی گویند (رامشت و نعمت الهی، ۱۳۸۴: ۱۵۳). با توجه به میانگین دمای متوسط سالانه ایستگاه‌های موجود و با در نظر گرفتن دمای گذشته به روش‌های برآورد شده با ارتفاع، آنومالی دما محاسبه گردید (جدول ۵).

با توجه به جدول (۵)، به‌عنوان‌مثال آنومالی دما (ΔT) به روش رایت، حدود ۸ درجه سانتی‌گراد محاسبه‌شده است؛ بدین معنی که در دوره حاکمیت یخچال دمای منطقه ۸/۵ درجه سانتی‌گراد سردتر بوده است.

برای مشخص کردن میزان و نحوه تغییر بارش محیطی گذشته نسبت به حال، نسبت میان میزان بارش در دوره حاکمیت یخچال‌ها و بارش امروز، به دست می‌آید. با قرار دادن ارتفاع متوسط حوضه (۲۴۹۰ متر) در روابط (۳ و ۴) به‌جای X، نسبت آن‌ها طبق رابطه (۵) تعریف می‌شود که همان آنومالی بارش محسوب گردیده است؛ یعنی بارش گذشته (دوره سرد)، ۳۱۷ میلی‌متر بیشتر از زمان کنونی بوده است.

$$\Delta p = PK - P = \text{۱۰۰۲-۶۸۵=۳۱۷}$$ رابطه (۵) (میلی‌متر)

شناسایی آثار یخچالی از طریق عملیات صحرایی

مطالعه اشکالی که تحت تأثیر شرایط مورفوکلیماتیک متفاوت با شرایط کنونی در این ناحیه به وجود آمده‌اند، راهنمای خوبی در بازشناسی حدوث وقایع دوران چهارم خواهد بود. درواقع با استناد به اشکال موجود و نهشته‌های متناسب در منطقه، می‌توان به عواملی که در طی زمان در محیط فعال بوده و مکانیسم‌های تولید و به جاگذاری مواد را عهده‌دار بوده‌اند، پی برد. با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده به ردیابی شواهد و آثار هر یک از فرم‌ها در عملیات صحرایی مبادرت شد. فرایندهای یخچالی و مجاور یخچالی از عوامل مؤثر بر لند فرم‌های توده کوهستانی الوند همدان در طی فازهای یخچالی کواترنری بودند. شواهد بسیار زیادی از فعالیت این‌گونه فرایندها در منطقه باقی‌مانده است. در این عملیات اشکال کاوشی ازجمله سیرک یخچالی و دره‌های یخچالی و اشکال تراکمی ازجمله مورن‌ها شناسایی شد. سیرک‌ها از مشخص‌ترین اشکال کاوشی منطقه هستند که در دامنه‌های شمال شرقی به علت وضعیت پیشانی کوهستان تا ارتفاع ۲۰۰۰ متری و در دامنه جنوب غربی تا ارتفاع ۱۷۰۰ متری شناسایی گردید (شکل ۷). شرایط توپوگرافی دامنه‌های جنوب غربی الوند به‌گونه‌ای است که امکان به هم پیوستن آن دسته از سیرک‌های یخچالی که از تغذیه خوبی برخوردار بوده‌اند در پایین‌دست فراهم است و شرایط توپوگرافیکی این امکان را نیز فراهم آورده که در صورت به هم پیوستن دره‌های یخچالی، دره‌ای آبشخور مانند و U شکل جریان یافته و به ارتفاع‌های پایین منتقل شوند. درصورتی‌که در دامنه‌های

شمالی ازآنجایی‌که عرض پیشانی جبهه کوهستان کم است و پیشانی جبهه کوهستان به‌صورت نوار باریکی در امتداد ناهمواری قرار دارد، امکان به هم پیوستن دره‌های یخچالی در پایین‌دست فراهم نیست و بعد از مسیر کوتاهی دره‌های یخچالی به دشت‌های وسیعی ختم می‌شوند که باعث گسترش بیشتر یخ در سطح وسیع‌تر شده و همین امر کاهش ضخامت یخ و حرکت کندتر آن و درنتیجه عدم پایداری جریان آن در ارتفاع‌های پایین‌تر را منجر شده است. با چنین وضعیتی هرچند ارتفاع برف مرز دائمی دامنه‌های جنوبی در ارتفاع بالاتری نسبت به دامنه‌های شمالی قرار داشته است ولی شرایط توپوگرافیکی باعث شده که خط تعادل آب‌ویخ آن‌ها در دو دامنه شرایط متفاوتی را داشته باشند و در ارتفاع ۱۷۶۰ متری به خط تعادل آب‌ویخ خود نزدیک شوند.

مأخذ: نگارندگان

شکل ۷: سیرک موجود در منطقه مطالعاتی

عمده‌ترین اشکال تراکمی حاصل از فرسایش یخچالی، سنگ‌های سرگردان می‌باشند که وسعت زیادی از منطقه را به خود اختصاص داده‌اند. در بررسی‌های میدانی انواع سنگ‌های سرگردان متعددی مشاهده گردید. شکل (۸) مورن سرگردان بزرگی را نشان می‌دهد که در زیر رسوب‌ها مدفون‌شده و دفن آن یعنی این‌که در زیر رسوب‌های آن زمان قرار داشته ست. حمل مواد بعد از تغییر فرآیند توسط آب، این‌گونه مواد را در سطح بیشتر و هم‌جوارتر نشان می‌دهد که گاه با مورن‌های سرگردان اشتباه گرفته می‌شوند.

مأخذ: نگارندگان

شکل ۸: سنگ سرگردان پوشیده شده توسط رسوب‌ها

بارزترین شواهد منطقه (مورن های سرگردان) از دره‌های منشعب شده از مرتفع‌ترین قسمت همدان چه در دامنه‌های شمال شرقی و چه در دامنه‌های جنوب غربی دیده می‌شوند. در استان همدان ازاین‌گونه مورن‌ها برای زیباسازی بیشتر شهر در بلوارها استفاده‌شده است (شکل ۹). مسیرهای انتقال یخچالی در محدوده شهر با توجه به پراکندگی این مورن‌ها در میدان‌ها و بلوارهای شهری ردیابی گردیده است. حضور این‌گونه نمادها در شهرهای کوچک و بزرگ اطراف الوند همدان ازنظر ژئومورفولوژیکی بسیار جذاب و مهم است. هرچند بعید به نظر می‌رسد که برنامه‌ریزان شهری از این موهبت طبیعی که بقایای طبیعی شناخته می‌شوند مطلع باشند. وجود این‌گونه آثار در شهرهای اطراف توده الوند همدان یخچال‌های کواترنری را در نواحی کوهستانی ایران برای ژئومورفولوژیست‌ها تداعی می‌نماید.

مأخذ: نگارندگان

شکل ۹: سنگ سرگردان در بلوار شهر تویسرکان

برای بازسازی خط تعادل آب‌ویخ با توجه به تغییر فرایندهای ژئومورفولوژیکی در منطقه و غلبه بیشتر با فرایند آبی بخصوص در ارتفاع‌های پایین (حدفاصل بین ارتفاعات برف مرز و خط تعادل آب‌ویخ کواترنری منطقه) بهترین ابزار استفاده از مورن های سرگردان در منطقه است. پراکندگی این مورن‌ها در منطقه به‌گونه‌ای است که هرچند بعضی آن‌ها گاهی هم در مجاورت یا بستر رودخانه‌های موقت یا دائمی منطقه نیز قرارگرفته‌اند، ولی مهم این است که این‌گونه مواد با ابعاد بزرگ فقط تا ارتفاع مشخصی وجود داشته و از آن ارتفاع به بعد به‌طور ناگهانی کمیاب و ناپدید می‌شوند. چنین توزیع فضایی دال بر این است که فرایند حاکم در منطقه توانسته است این مواد را تا فاصلهٔ مشخصی از کوهستانی (منشأ اولیه) جابه‌جا نماید و از آن به بعد با تحلیل رفتن فرایند حاکم مواد بر جاگذاشته شده‌اند. این‌گونه عملکرد به فرایندهای یخچالی بیشتر منتسب است که با برابر شدن سرعت جریان و ذوب یخ تمامی مواد را بر جاگذاشته و تورها و پایانه‌های مورنی را پدیدار می‌سازد. مسلماً آب توانایی جابه‌جایی مواد بزرگ‌تر ازاین‌گونه مواد را نیز دارد ولی آنچه بیشتر در مورد آب صادق است این است که در حین عمل جابه‌جایی مواد، آن‌ها را خرد و کوچک کرده و از طرفی دیگر قطع ناگهانی این‌گونه مواد در ارتفاع مشخص و وجود رسوب‌ها رودخانه‌ای با ابعاد یکنواخت در ارتفاع‌های پایین‌تر حاکی از آن است که فرایند دیگری به‌جز آب آن‌ها را انتقال داده است.

نتیجه‌گیری

در توده کوهستانی الوند همدان وجود آثار تیپیک سیرکی در دامنه‌های شمال غربی و جنوب شرقی و مورن‌های سرگردان عظیم‌الجثه تا فاصله قابل‌توجهی از سینوزیته کوهستان، مؤید حاکمیت فرآیندهای یخچالی کواترنری است که این آثار به‌طور مستقیم به کمک مشاهدات میدانی و نیز به‌وسیله تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های توپوگرافی و اسناد و مدارک کتاب‌خانه‌ای قابل‌بررسی است. پژوهش حاضر تلاش دارد، با بررسی این آثار، نرخ کاهش دما را در دوره پلئیستوسن در توده کوهستانی الوند موردبررسی قرار دهد. برای بررسی خط تعادل آب‌ویخ، توجه به شواهد مورن‌های سرگردان منطقه، اولویت اصلی کار بود و مسیر سنگ‌های سرگردان با پیمایش میدانی بررسی و خط تعادل آب‌ویخ در دامنه‌های شمالی و جنوبی برآورد گردید. یخ دامنه جنوب غربی از نوع گرم و یخ دامنه شمال غربی از نوع سرد بوده است؛ یخ گرم تجمع بیشتر داشته، به عبارتی از حالت ورقه‌ای خارج‌شده و تجمع می‌یافته است و سرعت بیشتری داشته است درحالی‌که در دامنه شمال غربی یخ حالت ورقه‌ای داشته، بر این اساس ارتفاع خط تعادل آب‌ویخ در دو دامنه متفاوت بوده (دامنه شمال غربی ۱۷۸۰ و دامنه جنوب شرقی ۱۶۸۰ متری) و با این اصل که ارتفاع معادل دمای ۵ درجه سانتی‌گراد بیان‌گر خط تعادل آب‌ویخ است مطابقت ندارد. در منطقه موردمطالعه، توجه به شواهد اقلیمی، مانند اطلاعات دما و بارش، حاکی از آن است که حداکثر و حداقل دما ۱۲/۱ و ۱/۵ درجه سانتی‌گراد و حداکثر و حداقل بارش ۱۲۰۱/۵ و ۲۳۵/۵ میلی‌متر را در زمان حال و در کواترنر پایانی، حداکثر و حداقل دمای ۷/۳ و ۹/۶- درجه سانتی‌گراد و حداکثر و حداقل بارش ۱۳۹۱/۱۲ و ۶۶۴ میلی‌متر در منطقهٔ مطالعاتی وجود داشته است و با مقایسهٔ شرایط اقلیمی زمان کنونی و پلئیستوسن می‌توان نتیجه گرفت که اختلاف دمایی ۹/۲۶ درجه سانتی‌گراد (استفاده از روش ترکیبی) و اختلاف بارشی ۳۱۷ میلی‌متر در الوند به وجود آمده است؛ البته این میزان تفاوت در همه نقاط منطقه یکسان نبوده و با توجه به عامل ارتفاع متغیر بوده است؛ به‌طوری‌که در مرتفع‌ترین قسمت بیشترین بارش و کمترین دما و در پست‌ترین قسمت کمترین بارش و بیشترین دما حاکم بوده است.

منابع

۱- ابطحی، سید مرتضی. (۱۳۹۲): بررسی پالئوکلیمای حوضه آبخیز جاجرود به کمک شواهد یخچالی، کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی، دوره اول، شماره اول، یزد.

۲- امیر احمدی، ابوالقاسم، مقصودی، اکبر، احمدی، طیبه. (۱۳۹۰). بررسی آثار یخچالی کواترنری و تأثیر آن بر عدم شکل‌گیری مدنیت و سکونتگاه مهم شهری در دشت آسپاس، مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، سال سوم، شماره دهم، اصفهان.

۳- ایلدرمی، علیرضا. (۱۳۷۴): پژوهشی در فرایندهای فرسایشی و ممیزی مناطق آسیب‌پذیر حوضه قره‌چای همدان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد رهنما: دکتر مقصود خیام، دانشگاه تبریز، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، گروه ژئومورفولوژی.

۴- ایلدرمی، علیرضا. (۱۳۹۱): بررسی علل تشکیل و وقوع جریان واریزه‌ای در دامنه‌های شمالی الوند همدان، فصل‌نامهٔ علمی - پژوهشی فضای جغرافیایی، سال دوازدهم، شمارهٔ ۳۷، اهر.
۵- پاریزی، اسماعیل، رامشت محمدحسین، تقیان علیرضا. (۱۳۹۲):. شواهد یخچال‌های کواترنری پایانی در حوضهٔ تنگوئیه سیرجان، پژوهش‌های ژئومورفولوژیکی کمی، سال دوم، شماره ۳، زمستان ۱۳۹۲، تهران.
۶- جداری عیوضی، جمشید. (۱۳۹۶): ژئومورفولوژی ایران. چاپ هفدهم. تهران، انتشارات پیام نور.
۷- جعفربیگلو، منصور، یمانی مجتبی، عباس نژاد احمد، زمان زاده سید محمد، ذهاب ناظوری سمیه. (۱۳۹۳): بازسازی برف مرزهای یخچالی کواترنری در کوهستان بیدخوان (استان کرمان)، جغرافیا فصل‌نامه علمی پژوهشی و بین‌المللی انجمن جغرافیای ایران، دوره جدید، سال دوازدهم، شماره ۴۰، بهار ۹۳، تهران.
۸- جعفری غلام حسن، اصغری سراسکانرود صیاد. (۱۳۹۲): بررسی آثار یخچالی کواترنری زنجان‌رود، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال سوم، شماره ۲، پاییز ۱۳۹۳، تهران.
۹- جعفری غلام حسن، فیضا... پور مهدی، براتی زینب. (۱۳۹۴): بازسازی ارتفاع برف مرز کواترنری الوند همدان (با سه روش رایت، شیب-جهت، ضریب خمیدگی)، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۳۰، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۴، شماره پیاپی ۱۱۹، صص ۱۵۳-۱۳۵,
۱۰- جعفری غلامحسن. (۱۳۹۵): بررسی لند فرم‌های یخچالی کواترنری توده کوهستانی الوند همدان با تأکید بر قسمت‌های مختلف سیرک، فصل‌نامه جغرافیا و مطالعات محیطی، سال پنجم، شماره نوزدهم، پاییز ۱۳۹۵، صص ۱۳۹- ۱۲۹,
۱۱- جعفری، غلامحسن. (۱۳۸۸): تأثیر جهت ناهمواری‌ها در ارتفاع خط تعادل آب‌ویخ کواترنری ایران، رساله دکتری، استاد راهنما: دکتر محمدحسین رامشت، دانشگاه اصفهان، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، گروه جغرافیا.
۱۲- جعفری، غلامحسن. (۱۳۹۲): روش برآورد ارتفاع خط برف مرز دائمی ایران و مقایسه آن با روش رایت، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۴، پیاپی ۵۲، شماره ۴، زمستان، اصفهان.
۱۳- حمیدی، محمد. (۱۳۷۶): بر فراز قله‌های الوند: از آلمابلاغ تا کلاه قاضی، همدان، انتشارات مفتون همدانی.
۱۴- خسروی، عذرا، قربانی شورستانی علی، نورمحمدی علی‌محمد. ۱۳۹۵): بررسی شواهد ژئومورفولوژیکی یخچالی کواترنری در ارتفاعات شمال شرق ایران (مطالعه موردی: رشته‌کوه بینالود)، پژوهش‌های ژئومورفولوژیکی کمی، سال پنجم، شماره ۱، تهران.
۱۵- رامشت، محمدحسین. ۱۳۹۰): نقشه‌های ژئومورفولوژی؛ چاپ دوم. تهران، انتشارات سمت.
۱۶- راهدان مفرد، محمد، ثروتی محمدرضا، سیف عبدا.... (۱۳۹۴): بازسازی برف مرزهای کواترنری پایانی در محدوده سایت ریگ، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۳۰، شماره ۱، بهار ۱۳۹۴، شماره پیاپی ۱۱۶، اصفهان.
۱۷- رامشت، محمدحسین، نعمت‌الهی، فاطمه. (۱۳۸۵): آثار یخساری در ایران. نشریه دانشکده علوم انسانی تبریز، شماره ۳، تبریز.
۱۸- زمردیان، محمدجعفر. (۱۳۹۲): ژئومورفولوژی ایران. جلد دوم. چاپ هفتم. مشهد، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
۱۹- سپاهی گرو علی‌اصغر، معین وزیری حسین. (۱۳۷۹): مروری بر فازهای نفوذی و رگه‌های موجود در مجموعه نفوذی الوند. نشریه علوم دانشگاهی تهران، جلد ۲۲، شماره ۲، تهران.
۲۰- شریفی محمد، فرح‌بخش زهرا. (۱۳۹۴): بررسی آنومالی حرارتی و رطوبتی بین زمان حال و پلئیستوسن و بازسازی شرایط اقلیمی با استفاده از شواهد ژئومورفیک (مطالعه موردی: حوضهٔ خضرآباد -یزد)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۷، شماره ۴، تهران.
۲۱- قنواتی، عزتا...، بهشتی جاوید، ابراهیم. (۱۳۹۲): روش‌ها و تکنیک‌های جدید ترسیم نقشه‌های ژئومورفولوژی، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد البرز.
۲۲- قهرودی‌تالی منیژه، ثروتی محمدرضا، حسنی قارنانی رسول. (۱۳۹۲): تحلیل ناپایداری‌های حاصل از نهشته‌های یخچالی در حوضه رود زاب کوچک، فصل‌نامه علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی، سال سیزدهم، شماره ۴۳، اهر.
۲۳- محمودی، فرجا.... (۱۳۶۷): تحول ناهمواری‌های ایران در کواترنری، پژوهش‌های جغرافیایی، دانشگاه تهران، شماره ۲۳، تهران.
۲۴- مقیمی، ابراهیم. (۱۳۸۷): ژئومورفولوژی اقلیمی قلمرو سرد و یخچالی، انتشارات دانشگاه تهران.

۲۵- وزیری، فریبرز. (۱۳۸۲): هیدرولوژی کاربردی در ایران: شناسایی مقدماتی یخچال‌های طبیعی ایران، جلد دوم، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، تهران.
۲۶- یمانی، مجتبی، شمسی‌پور، علی‌اکبر، جعفری اقدام، مریم. (۱۳۹۰): بازسازی برف مرزهای پلیوستوسن در حوضهٔ جاجرود، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، شماره ۷۶، تهران.

27- A Statement From The Geological Society of London November, (2010). Climate Change Evidence From The Geological Record, London.
28- Fredin, Ola, Bjørn Bergstrøm, Raymond Eilertsen, Louise Hansen, Oddvar Longva, Atle Nesje, and Harald Sveian. (2013): Glacial Landforms and Quaternary Landscape Development in Norway. Quaternary Geology of Norway. Geological Survey of Norway, Special Publication, No 13.
29- Fritz, Sherilyn C. (1996) Paleolimnological Records of Climatic Change in North America. Limnology and Oceanography, Vol. 41, No 5, United States.
30- Glacier, Ben, and Moraine, Jerry. (2010); Using Glacier Models to Reconstruct Climate Change Over The Last 13,000 Years, Wellington, Canada.
31- Headley, R. M. & Ehlers, T. A. (2015): Ice Flow Models and Glacial Erosion Over Multiple Glacial–Interglacial Cycles. Earth Surface Dynamics, Vol 3, no 1, United Kingdom.
32- Knight, Peter G. Carrie J. Patterson, Richard I. Waller, Alison P. Jones, and Zoe P. Robinson. (2000): Preservation of Basal-Ice Sediment Texture in Ice-Sheet Moraines. Quaternary Science Reviews, Vol. 19, No 13, United States.
33- Lea, David W. (2004): The 100 000-yr Cycle in Tropical SST, Greenhouse Forcing, and Climate Sensitivity. Journal of Climate, Vol. 17, No 11, United States.
34- Lee, Jonathan R. (2011): Cool Britannia: From Milankovich Wobbles to Ice Ages. Mercian Geologist, Vol. 17, VoL. 4, United Kingdom.
35- Messerli, Bruno. (1967): Die Eiszeitliche and Die Gegenwärtige Vergletscherung Im Mitte Lmeerraum. Geographical Helvetica, Vol. 22, No 3, Swiss.
36- Millar, Constance I. and Robert D. Westfall. (2008): Rock Glaciers and Related Periglacial Landforms in The Sierra Nevada, CA, USA; Inventory, Distribution and Climatic Relationships. Quaternary International, vole 188, No 1, United Kingdom.
37- Montgomery, David R. (2002): Valley Formation By Fluvial and Glacial Erosion. Geology, Vol. 30, No 11, United States
38- Rob, h. & Dott, I. (1981): Pleistocene Glaciations and The Rise of Man. Third Edition. Evolution OF The Earth, California.
39- Roy, Alex J. and Matthew S. Lachniet. (2010): Late Quaternary Glaciation and Equilibrium-Line Altitudes of The Mayan Ice Cap, Guatemala, Central America. *Quaternary Research*, Vol. 74, No 1, United Kingdom
40- Sarıkaya, Mehmet Akif, Attila Ciner, and Marek Zreda. (2011): Quaternary Glaciations of Turkey. In Developments in Quaternary Sciences, Vol. 15, Elsevier.
41- Sarıkaya, Mehmet Akif, Marek Zreda, Attila Çiner, and Chris Zweck. (2008): Cold and Wet Last Glacial Maximum on Mount Sandıras, SW Turkey, Inferred From Cosmogenic Dating and Glacier Modeling. Quaternary Science Reviews, Vol. 27, No 7-8, United Kingdom.
42- Stocklin, Jovan. (1968): Structural History and Tectonics of Iran: a Review. AAPG Bulletin, Vol. 52, No 7, United States.
43- The Minnesota Geological Survey University of Minnesota, (1997): A Glance is Produced, Paul, MN 55114, United States.