

# تعیین حدود مناطق مورفودینامیکی و مورفوکلیماتیکی کواترنری در حوضه جاجرود

مجتبی یمانی<sup>1\*</sup>، علی اکبر شمسی پور<sup>2</sup>، مریم جعفری اقدم<sup>3</sup>، سجاد باقری سیدشکری<sup>4</sup>

- 1- دانشیار ژئومورفولوژی دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران
- 2- استادیار ژئومورفولوژی دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران
- 3- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، ایران
- 4- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، ایران

دریافت: 89/11/11 پذیرش: 90/7/13

## چکیده

یکی از مهم ترین موارد اقلیمی کواترنری در ایران، شواهد ژئومورفولوژی یخچالی در مناطق کوهستانی است. بررسی لندفرم های یخچالی و حدود گسترش آنها در نواحی کوهستانی ایران، بهترین شاهد به منظور شناسایی قلمروهای مورفوکلیماتیک و مورفودینامیک است. هدف این پژوهش، تعیین و بازسازی مرزهای مورفوکلیماتیک و مورفودینامیک در آخرین دوره یخچالی وورم و شناسایی مرزهای کنونی این قلمروها در حوضه جاجرود و سرانجام مقایسه نتایج به دست آمده با آرای پژوهشگران پیشین است. با استفاده از تصاویر ماهواره ای و بازدیدهای میدانی، موقعیت سیرک های منطقه شناسایی شد. سپس با روش پلتیر مرزهای مورفودینامیکی و مورفوکلیماتیکی کواترنر تعیین شد. در نهایت، نتایج به دست آمده با دیدگاه های محققان دیگر مورد مقایسه قرار گرفت. به طور کلی، ابزارها و داده های تحقیق را نقشه های توپوگرافی، زمین شناسی و تصاویر ماهواره ای ETM+، داده های اقلیمی دما و بارش ماهانه تشکیل دادند. با استفاده از میانگین دما و بارش ماهانه و سالانه طولانی مدت ایستگاه های هواشناسی منطقه و بازسازی دمای ترازهای ارتفاعی از روش رگرسیون خطی، پهنه های دمایی و بارشی محدوده مورد پژوهش محاسبه شد. سپس با استناد به نظریه بوبک، دما و بارش دوره یخچالی محاسبه شد. در مراحل مختلف تهیه و تحلیل نقشه ها از نرم افزار ArcGIS 9.3 استفاده شد. نتایج نشان می دهد در حال حاضر، حد پایین قلمرو یخچالی به طور متوسط در ارتفاع 5220 متری، سولی فلوکسیون در ارتفاع 4000 متری، قلمرو پلوویال در ارتفاع 3400 متری و قلمرو پدیمانتاسیون در



1565 متری قرار دارد. در آخرین دوره یخچالی کواترنر (وورم) نیز حد پایین قلمرو یخچالی اغلب در ارتفاع 3900 متر، سولی فلوکسیون در ارتفاع 3000 متر و پلویال در ارتفاع 2000 متری قرار داشته است. این داده‌ها از قلمروهایی که پژوهشگران پیشین برای البرز تعیین کرده‌اند، ارقام بالاتری را نشان می‌دهد. واژه‌های کلیدی: کواترنری، قلمرو مورفودینامیک، قلمرو مورفوکلیماتیک، برف‌مرز، حوضه جاجرود.

## 1- مقدمه

یکی از مهم‌ترین داده‌هایی که تحولات اقلیمی گذشته سطح کره زمین را روشن می‌کند و می‌توان به وسیله آن تغییرات آبی را نیز تاحدی پیش‌بینی کرد، شواهد یخچالی موجود است (Abramowski et al., 2006). برای این منظور در مطالعه تحول پیکرشناسی نواحی کوهستانی، پژوهشگران سعی می‌کنند مرز برف‌های دائمی و یا حد بالا و پایین قلمرو سولی فلکسیون را در دوره‌های یخچالی و بین‌یخچالی تعیین کنند؛ زیرا منطقه مورفوکلیماتیک (مورفوژنتیک) پهنه‌ای است که اشکال لندفرم‌ها در آن توسط فرایندهای شکل‌زایی یکسان و یا مشابه، به‌ویژه فرایندهایی که به وسیله اقلیم کنترل می‌شوند، شکل گرفته و یا می‌تواند به وجود آید (Bremer, 2004). بتلی<sup>1</sup> و همکاران (2007) در بررسی زمین ریخت‌شناسی و یخچال‌های جنوب شرق گرجستان، نشان دادند گسترش یخچال‌ها به دلیل تغییرات تدریجی آب و هوا محدود شده است و مرزهای یخچالی جابه‌جا شده‌اند. ناپرالسکی<sup>2</sup> و همکاران (2007) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS در زمینه لندفرم‌های یخچالی، مطالعات گسترده‌ای انجام دادند و روند پیشروی و عقب‌نشینی یخچال‌ها را بررسی کردند. در زمینه پهنه‌بندی مورفوژنتیک می‌توان به پژوهش‌های دیویس<sup>3</sup> و پنک<sup>4</sup> (1909)، بودل<sup>5</sup> (1948)، ترو<sup>6</sup> (1948) و پلتیر<sup>7</sup> (1950) اشاره کرد (به نقل از جداری عیوضی، 1385: 10).

دیویس به سه نوع فرایند شکل‌زایی وابسته به اقلیم اعتقاد داشته که شامل آب‌های جاری در مناطق مرطوب، یخ در مناطق یخچالی و باد در مناطق خشک عامل تغییرشکل

1. M. J. Bentley  
2. Napieralski  
3. W. M. Davis  
4. A. Penck, 1909  
5. J. Budel, 1948  
6. C. Troll, 1948  
7. L. Peltier, 1950

ناهمواری‌هاست. پِنک (1909) برای سه منطقه مورفوژنتیکی که از لحاظ اقلیم، هیدرولوژی و ژئومورفولوژی از یکدیگر متمایزند، سه اصطلاح خشک، مرطوب و برفی را به کار برد و تأکید کرد این مناطق در دوره‌های سرد و گرم پلیوستوسن به طور متناوب جابه‌جا شده‌اند. بودل (1948) سیستم ژئومورفولوژی اقلیمی را مطرح کرد و ترول (1948) نیز درباره رابطه اقلیم و پراکندگی فرایندها و عوامل ژئومورفیک، هفت منطقه مورفوژنتیک را ارائه کرد. پلتیر (1950) نه سیستم مورفوژنتیک مستند بر کنترل ژئومورفیک دما و بارش روی فرایندهای شکل‌زایی را نشان داد. اولین کوشش در شناسایی مناطق مورفوژنتیک و مورفودینامیک ایران با تحقیقات هانس بوبک<sup>1</sup> (1937) شروع شد. او آثار یخچال‌های کواترنری را در ارتفاعات غرب ایران مطالعه کرد. بوبک بر اساس پراکندگی تیپ‌های ناهمواری مشخص که با رژیم آب و هوایی مناطق اقلیمی بزرگ کنترل می‌شوند، در ایران پنج منطقه مورفودینامیک به شرح زیر مشخص کرد: 1. منطقه یخچالی و نیواسیون؛ 2. منطقه سولی فلوکسیون و سایر اشکال کریوتورباسیون<sup>2</sup>؛ 3. منطقه فرسایش نرمال (فرسایش آب‌های جاری)؛ 4. منطقه پدیماناسیون؛ 5. منطقه مورفودینامیک بادی.

در نقشه‌ای که شوایتزر<sup>3</sup> (1972) ارائه کرده، مرز منطقه یخچالی در دامنه‌های جنوبی البرز در حدود 4400 متر و دامنه‌های شمالی البرز در حدود 4200 متر بیان شده است. بوبک و درش مرز برف دائمی کنونی در البرز را از 4200 تا 4000 متر و در دوره‌های سرد از 3600 تا 3400 متر می‌دانند. عیوضی نیز با بهره‌گیری از مدل پلتیر، به منظور مرزبندی نواحی مورفودینامیک و مورفوکلیماتیک در دامنه‌های شمالی و جنوبی البرز، این مرز را در دامنه‌های جنوبی البرز، در ارتفاع 4400 متری - که با خط هم‌دمای 5- و هم‌بارش 1037 میلی‌متر مطابقت دارد - محاسبه کرده است. همچنین، او مرز منطقه سولی فلوکسیون در ارتفاع 2000 متر و منطبق با خط هم‌دمای 11/5، مرز منطقه پلوویال در ارتفاع 1200 متر و منطبق بر منحنی هم‌دمای 17 درجه سلسیوس، مرز منطقه پدیماناسیون

1. H. Bobek

2. پدیده‌های ناشی از یخ بستن فصلی و ذوب آن در مناطق خیلی سرد cryoturbation

3. Schweizer



در ارتفاع 1000 متر و منطبق با همدمای 19 درجه و در نهایت مرز طبقه بادی در ارتفاع کمتر از 1000 متر و منطبق با همدمای بیش از 19 درجه سلسیوس را محاسبه کرده است. هورمن<sup>1</sup> (1961) مرز سولی فلوکسیون را در شمال ایران در ارتفاع 2000 متری مشخص کرده و کوهله<sup>2</sup> (1978) این مرز را در ارتفاع بین 2100 تا 1900 متری دانسته است. رینل<sup>3</sup> (1977) در پژوهشی در زمینه فرایندهای کنونی پریگلاسیر (کریونیوال) در نواحی کوهستانی مراکش تا لبنان و ایران، سه منطقه ارتفاعی، فعالیت پریگلاسیر را مشخص کرده است. منطقه تحت سلطه فرایند کریونیوال در البرز همواره در ارتفاع 3100 متری واقع شده است. منطقه ناپیوسته در حد بینابین این ارتفاعات قرار گرفته که در البرز 2350 متر و یک منطقه بینابین دیگر با فعالیت کمتر وجود دارد که دارای ارتفاع 1800 متر است (as cited in Brookes, 1982: 203).

به نظر بیشتر محققان، در مناطق کوهستانی مرز بین جنگل و مرتع، مرز تقریبی منطقه سولی فلوکسیون است (عیوضی، 1385: 25). در مورد مرز پایین سولی فلوکسیون اختلاف زیادی وجود ندارد. هاگه درن این مرز را در ایران مرکزی در حال حاضر 3000 متر و در دوره‌های سرد 1900 متر و در ایران شمالی نیز ارقام مشابهی می‌داند (محمودی، 1367: 12). در کوهستان‌های مرتفع یعنی جایی که این پدیده‌ها به‌طور متوالی در ارتفاعات متفاوت و در دوره‌های مختلف پلیوستوسن رخ داده، امکان اشتباه در تشخیص آثار ناشی از آن‌ها زیاد است. بنابراین، همان‌طور که درش نیز باور داشته است، اشکال یخچالی و مجاور یخچالی از اشکال حاصل از فرایندهای تخریبی و یا سایر تحولات دامنه‌ها و یا حتی جویبارهای خاص مناطق خشک به‌آسانی قابل تشخیص نیستند (محمودی، 1367: 14).

یمانی در مطالعه‌ای ضمن تفسیر و تحلیل اشکال مورفولوژی یخچالی در ارتفاعات علم‌کوه، حدود گسترش زبانه‌های یخچالی را در حال حاضر و در آخرین دوره یخچالی تعیین کرده است (1381: 1-18). یمانی در پژوهشی با عنوان «ژئومورفولوژی یخچال‌های زردکوه» نیز به بررسی اشکال ژئومورفیک یخچال‌ها و حدود گسترش آن‌ها در زردکوه

1. Hovermann, 1961

2. Kuhle, 1978

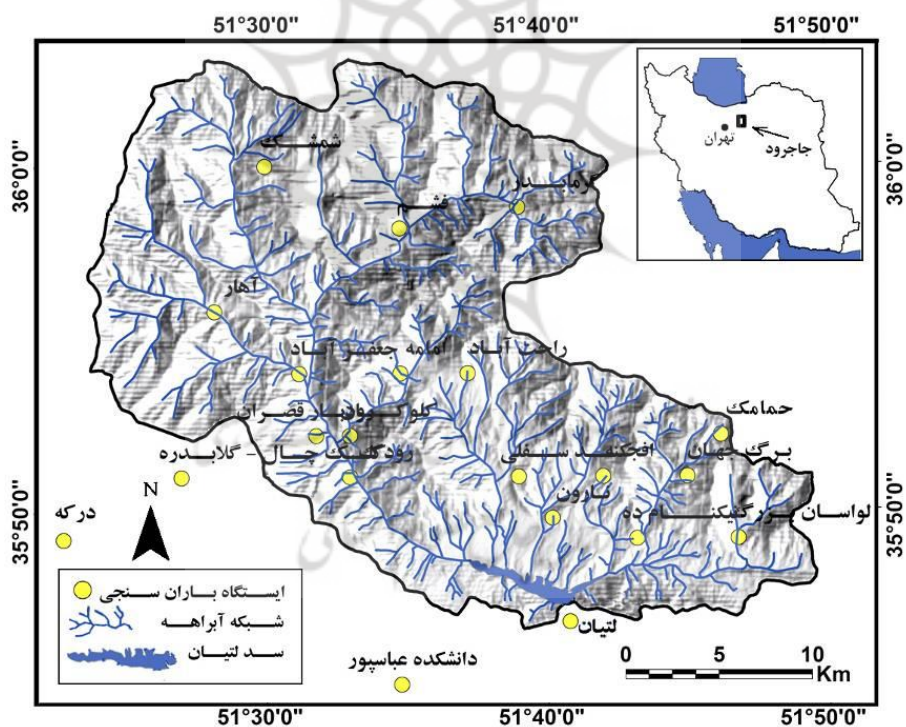
3. Raynal, 1977

پرداخته است (1386: 125-139). به اعتقاد او، حداکثر گسترش زبان‌های یخچالی تا ارتفاع 2500 متر و محدود به بستر رودخانه کوه‌رنگ است و مرز تشکیل سیرک‌ها حداقل تا 3400 متر است. یمانی و همکاران با مبنا قرار دادن کف سیرک‌های یخچالی در دامنه‌های کوه‌های کرکس برای میانگین دمای صفر درجه، به بازسازی شرایط دمایی آخرین دوره یخچالی (وورم) پرداخته‌اند (1386: 207-228). همچنین، آن‌ها مرزهای ارتفاعی مناطق مورفودینامیک و مورفوکلیماتیک را برای دوره یخچالی، بالای 3000 متر، سولی-فلوکسیون بین 2500-3000 متر، پلوویال 1200-2500 متر، نیمه‌خشک 800-1200 متر و خشک را کمتر از 800 متر برآورد کرده‌اند. پدramی (1987) خط برف دائمی دوره وورم را برای نقاط مختلف ایران تعیین کرده که بر اساس آن، خط برف در منطقه مورد مطالعه در حدود 2500 متری به دست آمده است. زمانی در مطالعه حوضه‌های جاجرود و کرج در دامنه جنوبی و حوضه‌های نور و هراز در دامنه شمالی البرز مرکزی، حد یخبندان کنونی در دامنه‌های جنوبی را 4938 متر و در دامنه‌های شمالی 5605 متر محاسبه کرده است (1388: 3). همچنین، او بر اساس مدل پلتیر، در دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی در حال حاضر، حد پایین منطقه یخچالی را در ارتفاع 4390 متری و حد پایین منطقه مجاور یخچالی را در ارتفاع 3611 متری تعیین کرده است.

مسئله اصلی تحقیق این است که مطالعات گذشته برای برف‌مرزها و قلمروهای مورفودینامیک و مورفوکلیماتیک البرز ارقام متفاوتی پیشنهاد کرده‌اند و با توجه به داده‌های آماری و تکنیک‌های جدید، آیا نتایج مطالعات گذشته و کنونی می‌تواند بر هم منطبق باشد؟ بررسی آثار و شواهد تغییرات اقلیمی و جابه‌جایی مرزهای مورفودینامیک و مورفوکلیماتیک به‌عنوان یکی از مباحث مهم در بحث‌های مرتبط با تغییرات اقلیمی در کوتاه‌مدت مطرح است (نعمت‌الهی و رامشت، 1384). این پژوهش، تحقیقی بنیادی است و هدف آن، شناسایی و بررسی آثار یخچالی به‌جای‌مانده از آخرین دوره یخچالی (وورم) است. نگارندگان با تکیه بر آثار ژئومورفیک باقی‌مانده از این لندفرم‌ها قصد دارند مناطق تحت حاکمیت یخچال‌ها را شناسایی کنند. سپس بر اساس این داده‌ها، شرایط محیطی حاکم در گذشته را بازسازی کنند و بر اساس آن، مرزبندی مناطق مورفوکلیماتیکی و مورفودینامیکی حوضه آبریز جاجرود را انجام دهند. در پایان نیز نتایج به‌دست آمده را با نظریات محققان قبلی مقایسه کنند.

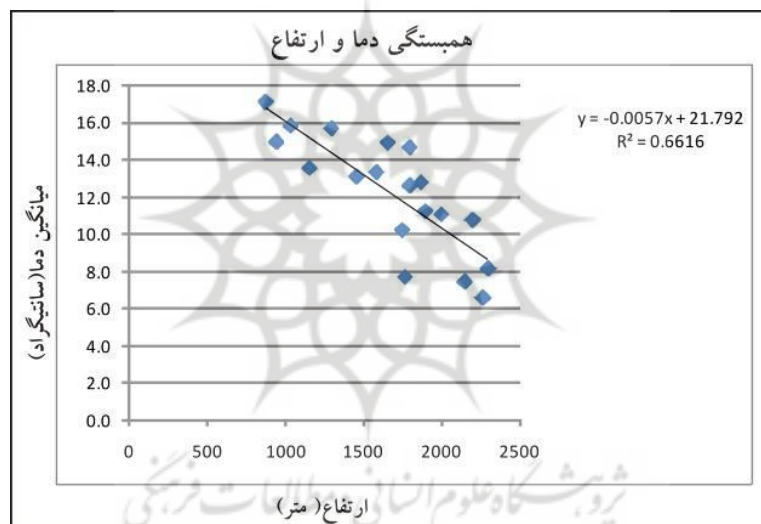
## 2- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز جاجرود با مساحت 1890 کیلومتر مربع در دامنه‌های جنوبی رشته کوه‌های البرز مرکزی قرار گرفته است. از این مساحت حدود 710 کیلومترمربع آن در بالادست سد لتیان و 1180 کیلومتر آن در پایین‌دست سد لتیان قرار گرفته است. شاخه اصلی جاجرود به طول 42 کیلومتر، اصلی‌ترین زهکش منطقه است (شکل 1). توف سبز بیشترین مساحت حوضه را به خود اختصاص داده است. راندگی مشاء - فشم دارای راستای شرق - جنوب شرق، غرب - شمال غرب است. این گسل از نوع راندگی با مؤلفه چپگرد است و اصلی‌ترین گسل منطقه به‌شمار می‌آید. اختلاف بلندای ناگهانی قسمت میانی حوضه آبخیز سد لتیان با قسمت‌های جنوبی آن، یکی از بارزترین ویژگی‌های توپوگرافی گستره مورد مطالعه است.



شکل 1 حوضه جاجرود در شمال شرقی تهران و موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی

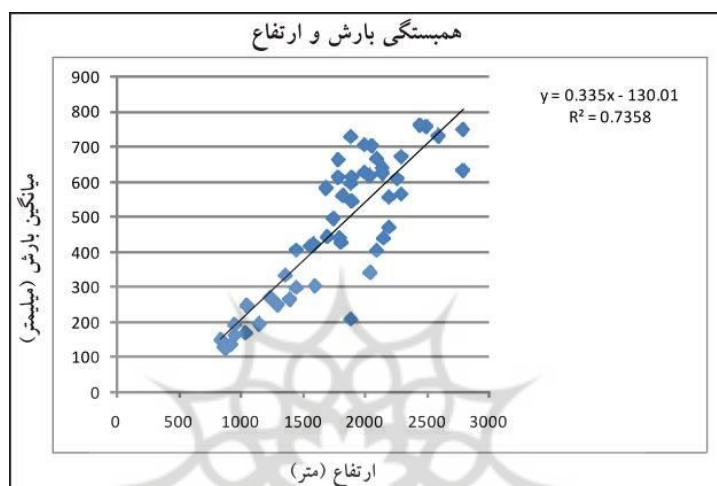
مطالعات پیشین نشان داده است طبیعت تغییرات اقلیمی طی آخرین دوره‌های یخچالی و بین‌یخچالی در مناطق شرقی دریای مدیترانه، علاوه بر ناهمواری‌ها و ارتفاع، به‌طور خاص به توزیع بارش، تبخیر و بیلان آب این مناطق وابسته بوده است (Matthew et al., 2007: 468). بر اساس این، بررسی شرایط اقلیمی منطقه ضرورت داشته است. شکل شماره دو میانگین دمای ماهانه ایستگاه‌های پیرامون منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در این شکل، ضریب تعیین ( $R^2$ ) و معادله خط رگرسیون محاسبه و ترسیم شده است. ضریب هم‌بستگی ( $R$ ) میانگین سالانه 0/813 است و به معنای ارتباط 81 درصدی کاهش دما با افزایش ارتفاع است که در سطح بالای 99 درصد معنادار است.



شکل 2 گرادیان دما در حوضه جاجرود با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های موجود

برای تعیین گرادیان بارش، از آمار 33 ایستگاه باران‌سنجی موجود استفاده شده (شکل 1) که ضریب هم‌بستگی ( $R$ ) آن برابر 0/858 است. شکل شماره سه این رابطه را نشان می‌دهد که معادله خط رگرسیون نیز روی آن ترسیم شده است. ضریب تعیین - که در این نمودار آمده - بر وجود رابطه بین بارش و ارتفاع دلالت دارد و با تصریح به امکان پیش‌بینی روند بارش در ارتفاعات، بیان می‌کند 73 درصد از تغییرات بارش در منطقه قابل استناد به تغییرات ارتفاع

است و 27 درصد بقیه از عوامل دیگر ناشی می‌شود. با توجه به این موضوع که مستندات اصلی طبقه‌بندی یا مدل‌سازی، شرایط دما و رطوبت محیط (میانگین دما و بارش سالانه) است؛ مطابقت تقریبی مناطق مورفوژنتیک با مناطق اقلیمی تأیید می‌شود.



شکل 3 گرادیان بارش در حوضه جاجرود با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های موجود

### 3- مواد و روش‌ها

هدف این پژوهش، تعیین و بازسازی مرزهای مورفوکلیماتیک و مورفودینامیک در آخرین دوره یخچالی و شناسایی مرزهای کنونی این قلمروها در حوضه جاجرود و سرانجام مقایسه نتایج به دست آمده با نظریات محققان پیشین است. در این پژوهش از روش تحلیلی با استفاده از مدل‌های تجربی و نیز روش توصیفی استفاده شده است. مطالعه کتابخانه‌ای برای بررسی مبانی نظری و پیشینه تحقیق، و کارهای میدانی برای بررسی شواهد و آثار ژئومورفیک یخچالی و کنترل اطلاعات نقشه‌های پایه انجام گرفته است. نقشه‌های توپوگرافی 1:50000، عکس‌های هوایی 1:55000 سال 1335، نقشه زمین‌شناسی 1:100000 و تصاویر سنجنده ETM+ منطقه به‌عنوان ابزار اصلی تحقیق به کار رفته‌اند. داده‌های نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی به‌عنوان داده‌های پایه به نرم‌افزار ArcGIS9.3 انتقال داده و سپس رقومی شده‌اند. از نرم‌افزار



ENVI4.3 به منظور تفسیر بصری و آماده‌سازی تصاویر ماهواره‌ای مورد نیاز و از برنامه Coreldraw برای ترسیمات گرافیکی استفاده شده است. با توجه به هدف تحقیق و به منظور دستیابی به نتایج مورد نظر، ارتفاع کف سیرک یخچالی، داده‌های دما و بارش ایستگاه‌های هواشناسی موجود به عنوان داده‌های اصلی در بازسازی و تعیین مرزهای مورفودینامیکی تحلیل و ارزیابی شده‌اند. علاوه بر این، به وسیله نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای و نیز طی کارهای میدانی تفصیلی و با استفاده از دستگاه GPS، موقعیت سیرک‌ها و حدود گسترش یخرفت‌ها و لندفرم‌های یخچالی منطقه ثبت و تعیین موقعیت شده‌اند. برای این منظور، از آمار 52 ایستگاه پیرامون حوضه استفاده شده است. در این میان 19 ایستگاه تبخیرسنجی و 33 ایستگاه باران‌سنجی هستند. با توجه به رابطه هم‌بستگی میان عناصر دما، بارش و ارتفاع، نقشه دما و بارش گذشته و حال منطقه ترسیم شده است. سپس با نرم‌افزارهای Excel و Spss داده‌های به دست آمده تجزیه و تحلیل شده‌اند. در مرحله بعد، نمودارها و نقشه‌های شش‌گانه پلتیر با توجه به داده‌ها و جدول‌ها ترسیم شده است. به منظور تعیین بازسازی مرزهای مورفودینامیک و مورفوکلیماتیک حوضه مورد مطالعه، داده‌های دما و بارش ماهانه تجزیه و تحلیل شده و سرانجام، با توجه به مبانی نظری و داده‌های به دست آمده و تحلیل آن‌ها با نرم‌افزار GIS، مرزهای مورد نظر ترسیم شده است.

به منظور بررسی دقیق معنادار بودن رابطه شکل‌گیری و گسترش سیرک‌های یخچالی با جهت‌های جغرافیایی و جهت ناهمواری‌ها، از آزمون توان دوم کی<sup>1</sup> یا آزمون مجذور X استفاده شده که پایه آن بر بررسی فراوانی‌های مشاهده شده و فراوانی‌های نظری مورد انتظار استوار است.

#### 4- یافته‌ها

##### 4-1- بررسی تأثیر جهت دامنه‌ها

برای بررسی تأثیر جهت دامنه‌ها، ابتدا داده‌های سیرک‌ها را با توجه به جهات هشت‌گانه دسته‌بندی کرده، از رابطه 1 برای محاسبه استفاده کردیم (منصورفر، 1382: 224).

$$X^2 = \frac{\sum(O-E)^2}{E} \quad \text{رابطه 1}$$

1. chi- square test

O = فراوانی مشاهده شده، E = فراوانی مورد انتظار،  $X^2 =$  آزمون توان دوم کی. جدول شماره یک مراحل کار و نتیجه را نشان می دهد.

جدول 1 آزمون مجذور کی در حوضه مورد مطالعه

سیرکها	شمال غرب	غرب	جنوب غرب	جنوب	جنوب شرق	شرق	شمال شرق	شمال	کل
O فراوانی مشاهده شده	15	10	13	9	7	4	12	15	$\sum X_{i0}$
H <sub>0</sub> احتمال تحت فرض	0/125	0/125	0/125	0/125	0/125	0/125	0/125	0/125	1
E فراوانی مورد انتظار	10/6	10/6	10/6	10/6	10/6	10/6	10/6	10/6	85
$\frac{(O - E)^2}{E}$	1/82	0/03	0/54	0/24	1/22	4/10	0/18	1/82	7=d.f = 9/95

#### 4-2- تعیین ارتفاع برف مرز

برای تعیین و برآورد ارتفاع برف مرز و اختلاف خط تعادل آب و یخ گذشته و حال، از روش پورتر استفاده کردیم. پورتر در مطالعه کوهستان های یخچالی عرض های پایین، از پنج روش برای بازسازی ارتفاع خط تعادل (ELA)<sup>1</sup> استفاده می کند. این پنج روش عبارت اند از: 1- روش مطالعه (ارتفاع) کف سیرک؛ 2- روش بررسی یخرفت های جانبی قسمت بالای دره؛ 3- روش آستانه های یخبندان؛ 4- روش نسبت ارتفاع؛ 5- روش نسبت انباشتگی - مساحت. از میان روش های ذکر شده، با توجه به بارز بودن شواهد سیرک های یخچالی، روش مطالعه کف سیرک برای منطقه مورد مطالعه مناسب تر است؛ زیرا هنگامی که یخچالی فقط سیرک را پر می کند، ELA دائمی آن معمولاً بالاتر از میانگین ارتفاع کف سیرک (CF)<sup>2</sup> نیست. بنابراین، استفاده از این روش (مطالعه کف سیرک) برای تعیین ارتفاع خط تعادل های گذشته مناسب است (Porter, 2001: 106).

برای استفاده از روش ارتفاع کف سیرک به منظور پی بردن به برف مرز گذشته و خط تعادل آب و یخ در حوضه مورد مطالعه، بر اساس داده های جدول شماره دو، نما یا مد آن ها را طبق فرمول محاسبه کردیم (علیزاده و همکاران، 1384: 329، منصف، 1372: 80).

1. equilibrium-line altitudes  
2. cirque floor

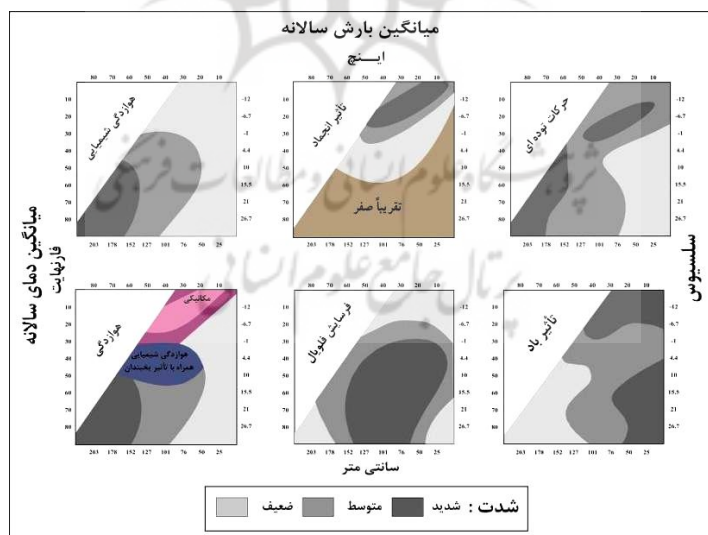
جدول 2 توزیع فراوانی ارتفاع کف سیرک‌های یخچالی در حوضه مورد مطالعه

درصد	جهت جغرافیایی								فراوانی سیرک	طبقات ارتفاعی
	شمال	شمال غربی	غربی	جنوب غربی	جنوبی	جنوب شرقی	شرقی	شمال شرقی		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1900-2000
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2000-2100
1/1	-	-	-	-	-	-	-	1	1	2100-2200
1/1	-	-	-	-	-	-	-	1	1	2200-2300
2/2	-	-	-	-	-	-	-	1	1	2300-2400
2/2	1	-	-	-	-	-	-	-	2	2400-2500
5/5	-	1	-	-	-	-	-	3	1	2500-2600
3/3	1	-	1	-	-	-	-	-	1	2600-2700
11/1	2	5	1	-	-	1	1	-	10	2700-2800
10	1	-	2	-	1	2	-	3	9	2800-2900
2/2	-	-	-	1	-	-	1	-	2	2900-3000
12/2	3	2	3	-	1	-	-	2	11	3000-3100
7/7	3	1	-	-	1	-	2	-	7	3100-3200
5/5	1	-	-	2	-	-	1	1	5	3200-3300
7/7	1	1	1	-	-	-	2	2	7	3300-3400
6/6	1	-	-	2	1	-	-	2	6	3400-3500
5/5	-	-	3	2	-	-	-	-	5	3500-3600
4/4	-	-	2	1	1	-	-	-	4	3600-3700
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3700-3800
2/2	-	-	-	-	-	1	-	-	2	3800-3900
3/3	-	-	-	1	2	1	-	-	3	3900-4000
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4000-4100
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4100-4200
100	15	10	13	9	7	4	12	15	85	جمع
3061	294 4	292 0	3071	3416	3300	3300	2800	2740	-	میانگین ارتفاع (متر)
/6 3071	310 0	275 0	3050	3500	3950	2833	2540	2850	-	نما (متر)
3355	مقدار نما									سیرک‌های روبه‌قطب
3567	مقدار نما									سیرک‌های روبه‌استوا
212	اختلاف در دو دامنه									ELA

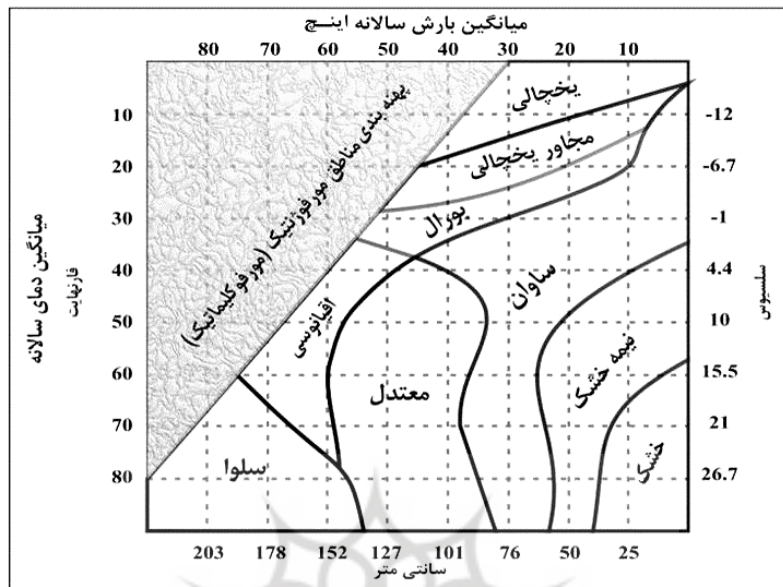
بر اساس داده‌های این جدول، ارتفاع کف سیرک‌های یخچالی در حوضه جاجرود 3061 متر و مقدار مد یا نما 3071/6 متر است. میانگین نما برای سیرک‌های روبه‌قطب برابر با 3355 متر و برای سیرک‌های روبه‌استوا برابر با 3567 متر است.

بیشترین فراوانی سیرک‌ها در دامنه‌های روبه‌قطب قرار دارند. جهت اصلی ناهمواری‌ها در حوضه جاجرود، شمال‌غرب - جنوب‌شرق است. بدیهی است دامنه‌های روبه‌شمال از تابش خورشیدی کمتری برخوردارند و در نتیجه ماندگاری برف آن‌ها بیشتر است. از این رو، سیرک‌ها از فراوانی بیشتری در این دامنه‌ها برخوردارند؛ به طوری که 38/8 درصد سیرک‌ها روبه‌قطب و 24/7 درصد سیرک‌ها در دامنه‌های روبه‌استوا شکل گرفته‌اند.

برای تعیین مرزهای مورفودینامیک و مورفوکلیماتیک در حوضه مورد مطالعه از مدل پلتیر استفاده کردیم. پلتیر با تأکید بر دامنه تغییرات دما و بارش سالیانه، نه سیستم مورفوژنتیک را ارائه کرد (عیوضی، 1385: 18). او با کمک همین دو متغیر دما و بارش، شش نمودار ترسیم کرد که در شکل شماره چهار روابط میان اقلیم و فرایندهای شکل‌زایی دیده می‌شود. شکل شماره پنج مدل پهنه‌بندی و محدوده هر منطقه مورفوژنتیک یا سیستم فرایند - اقلیم را نشان می‌دهد که بر اساس این دو متغیر ترسیم شده است.



شکل 4 نمودارهای شش‌گانه پلتیر



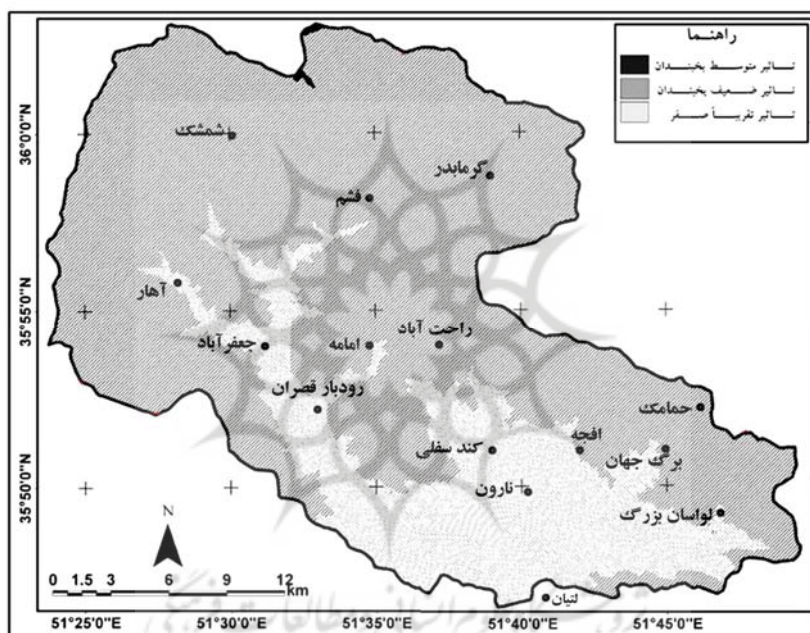
شکل 5 نمودار مناطق مورفوتنیک پلتیر

بر اساس مدل پلتیر و با کمک نرم‌افزار Arc GIS، پراکندگی فرایندهای شکل‌زایی در حوضه را بررسی و در قالب نقشه‌های شش‌گانه ترسیم کردیم. جدول شماره سه مساحت قلمروهای شکل‌زایی را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

**جدول 3** مساحت تحت پوشش فرایندهای شش‌گانه شکل‌زایی در حوضه آبریز جاجرود (کیلومتر مربع)

شدت فرایند	نوع فرایند				
	هوازگی	هوازگی شیمیایی	یخبندان	پلوویال	باد
ضعیف (شیمیایی)	60/1	69/26	531/51	-	586/5
متوسط (شیمیایی)	434	640/74	1/3	14/90	382/86
زیاد (شیمیایی)	-	-	-	695/10	327/14
متوسط (توام با تأثیر یخبندان)	215	-	-	-	-
ضعیف (مکانیکی)	-	-	-	-	-
متوسط (مکانیکی)	0/9	-	-	-	-
شدید (مکانیکی)	-	-	-	-	-

3-4- بررسی یخبندان در آخرین دوره یخچالی و دوره حال در حوضه مورد مطالعه  
فرایند یخبندان مناطقی را اشغال کرده است که فاقد دمای بالایی هستند و در نتیجه، در آنجا هوازگی مکانیکی بیشتر رخ می‌دهد. این فرایند، قلمروی را معرفی می‌کند که بارش بسیاری دارد و دمای آن اغلب، زیر صفر درجه است (زمانی، 1388: 113). با کاهش دما، شدت تأثیر یخبندان بیشتر می‌شود. شکل شماره شش نقشه تقسیم‌بندی نظری تأثیر یخبندان را در منطقه نشان می‌دهد.



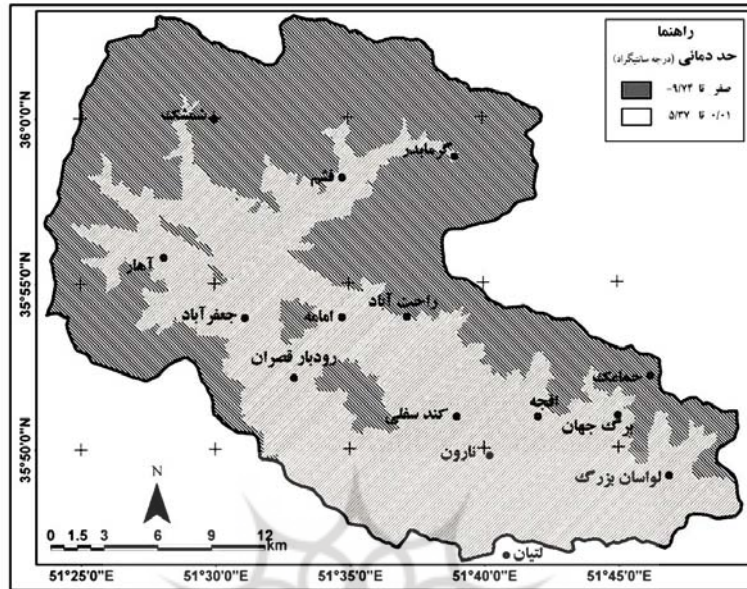
شکل 6 تقسیم‌بندی نظری تأثیر یخبندان در حوضه آبریز جاجرود بر اساس مدل پلتیر

در جدول شماره چهار، ضریب هم‌بستگی، معادله خط رگرسیون و ارتفاع حد یخبندان در ماه‌های مختلف نشان داده شده است. ضریب هم‌بستگی در تمام ماه‌ها بیش از 0/9 بوده و به این معناست که در این حوضه، تغییرات دما با متغیر ارتفاع ارتباط دارد و هم‌بستگی قوی را نشان می‌دهد. بر اساس معادلات به‌دست آمده، در ماه آگوست میانگین دمای هوا در ارتفاعات

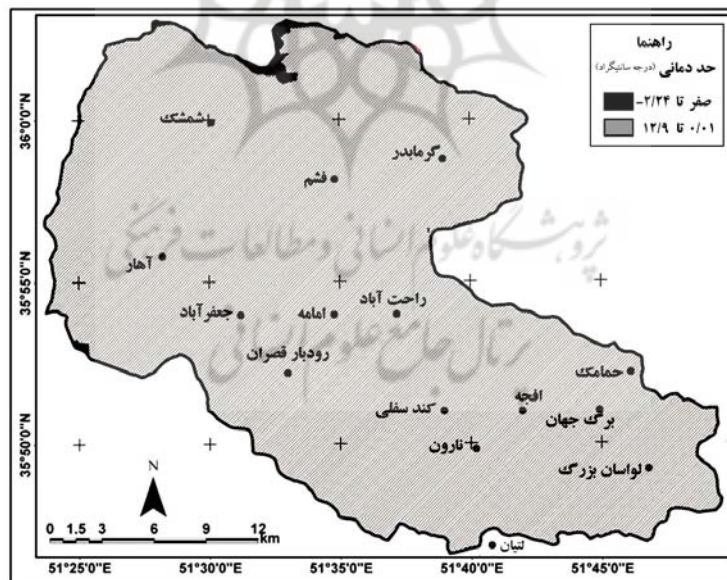
بالاتر از 5440 متر، کمتر از صفر است که حد یخبندان کنونی در این منطقه به‌شمار می‌آید. در ماه اکتبر حد یخبندان به 4585 متر کاهش می‌یابد و در ماه ژانویه به پایین‌ترین حد خود، یعنی ارتفاع 1856 متر می‌رسد. از ماه فوریه ارتفاع خط یخبندان دوباره سیر صعودی گرفته، در ماه آوریل به 3700 متر می‌رسد. شکل شماره هفت مرز یخبندان در آخرین دوره یخچالی و شکل هشت مرز یخبندان کنونی را نشان می‌دهد.

جدول 4 ضریب هم‌بستگی، معادله خط رگرسیون و ارتفاع حد یخبندان در حوضه جاجرود

ماه	ضریب تعیین ( $R^2$ )	معادله خط رگرسیون	ارتفاع حد یخبندان	ارتفاع میانه یخبندان
ژانویه	0.9237	$y = 0.9851x - 11.768$	1565-2000	1782
فوریه	0.9595	$y = 1.0014x - 11.972$	1565-1900	1732
مارس	0.9542	$y = 0.9635x - 7.3987$	2400-3000	2700
آوریل	0.9242	$y = 0.9289x - 2.226$	3300-4100	3700
می	0.8451	$y = 1.0166x + 2.3765$	4100-4300	4200
ژوئن	0.9737	$y = 1.106x + 6.2443$	4800	4800
جولای	0.9351	$y = 1.1007x + 10.688$	4300	4300
آگوست	0.9747	$y = 1.0807x + 10.98$	5440	5440
سپتامبر	0.9641	$y = 1.0228x + 8.8997$	5160	5160
اکتبر	0.9338	$y = 0.9486x + 4.4886$	4585	4585
نوامبر	0.962	$y = 0.8795x - 1.2594$	3500-4000	3750
دسامبر	0.9105	$y = 0.9436x - 8.5081$	2200-2700	2450



شکل 7 متوسط حد یخبندان در آخرین دوره یخچالی در حوضه جاجرود (ارتفاع 2500 متر)



شکل 8 متوسط حد یخبندان دوره کنونی در حوضه جاجرود (ارتفاع 3800 متر)



#### 4-4- مرزهای مورفودینامیک و مورفوکلیماتیک (مورفوژنتیک) کنونی

با دست‌یابی به گرادیان دما و بارش در منطقه و انجام محاسبات لازم در محیط GIS، نقشه پهنه‌بندی مناطق به‌دست آمده است. بر اساس این، از لحاظ مناطق مورفودینامیک و مورفوکلیماتیک زمان حال، حوضه مورد مطالعه به پنج قلمرو: مجاوربخچالی (سولی فلوکسیون)، بوریل، معتدل (پلوویال)، ساوان و نیمه‌خشک (پدیماتاسیون) تقسیم می‌شود (شکل 9).

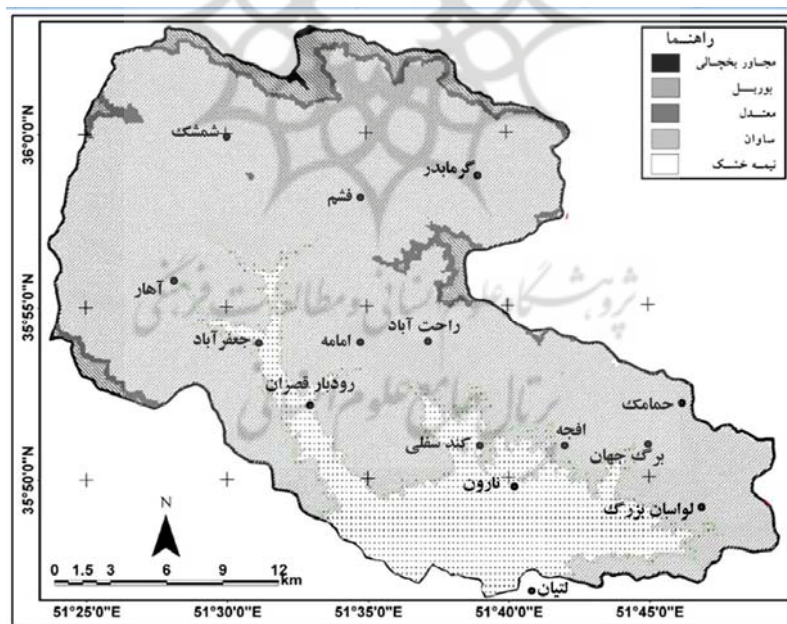
قلمرو مجاوربخچالی به منطقه‌ای گفته می‌شود که بین 4220-4000 متر ارتفاع دارد. میانگین دمای سالانه آن بین 1- تا 2- درجه سلسیوس و میانگین بارش سالانه آن 1290 تا 1250 میلی‌متر است. ویژگی‌های مورفولوژیکی این منطقه، تأثیر باد از متوسط تا شدید، حرکات توده‌ای شدید و فعالیت آب جاری ضعیف است. قلمرو بعدی بوریل است که در طبقه‌بندی کوپن، به مناطقی گفته می‌شود که با زمستان‌های برفی و تابستان‌های گرم مشخص شده است؛ مانند شرایطی که در عرض‌های بین 40 تا 60 درجه شمالی دیده می‌شود. این قلمرو بین 4000-3600 متر ارتفاع دارد و میانگین دمای سالانه آن 2 تا 1- درجه سلسیوس و میانگین بارش سالانه آن 1060-1250 میلی‌متر است. در این قلمرو، شاهد عمل یخبندان در حد متوسط، تأثیر متوسط تا ضعیف باد و فعالیت متوسط آب‌های جاری هستیم. سومین قلمرو با عنوان پلوویال، ناحیه‌ای است که بین 3600-3400 متر ارتفاع دارد و میانگین دمای سالانه آن 3 تا 2 سلسیوس و میانگین بارش سالانه آن 1060-1020 میلی‌متر است. از ویژگی‌های مورفولوژیکی این قلمرو، فعالیت حداکثر آب‌های جاری، حرکات توده‌ای متوسط، و تأثیر کم یخبندان و بدون تأثیر باد را می‌توان نام برد. چهارمین قلمرو، ناحیه ساوان است که بین 3600-2200 متر ارتفاع دارد. میانگین دمای سالانه آن 10 تا 3 درجه سلسیوس و میانگین بارش سالانه آن 1090-560 میلی‌متر است. ویژگی‌های مورفولوژیکی ناحیه ساوان شامل فعالیت آب جاری شدید تا ضعیف و تأثیر باد در حد متوسط است. پنجمین قلمرو، ناحیه‌ای است با ارتفاع 2200-1565 متر، میانگین دمای سالانه 13 تا 10 درجه سلسیوس و میانگین بارش 560-394 میلی‌متر. از ویژگی‌های مورفولوژیکی این منطقه نیز می‌توان به تأثیر باد در حد شدید و فعالیت آب جاری در حد متوسط تا شدید اشاره کرد (جدول 5). آن‌گونه که در جدول نیز دیده می‌شود، قلمرو ساوان با 533/20 کیلومتر مربع بیشترین و قلمرو مجاوربخچالی با 0/87 کیلومتر مربع کمترین مساحت حوضه را داراست.

مجتبی یمانی و همکاران ..... تعیین حدود مناطق مورفودینامیکی و ...

نتایج نشان می‌دهد حد پایین قلمرو یخچالی در ارتفاع 5220 متر، حد پایین قلمرو مجاور یخچالی در ارتفاع 4000 متری، حد پایین قلمرو معتدل در ارتفاع 3400 متری و حد پایین قلمرو نیمه‌خشک در ارتفاع 1565 متری قرار دارد.

جدول 5 مناطق مورفودینامیک و مورفوژنتیک حوضه آبریز جاجرود در زمان حاضر بر اساس مدل پلتیر

منطقه مورفودینامیک	حد ارتفاعی متر	حد میانه ارتفاع	دامنه میانگین سالانه		مساحت کیلومتر مربع	مساحت درصد	منطقه مورفوژنتیک
			دما C°	بارش mm			
نیواسیون	5220 متر به بالا	-	<-9	>1400	-	-	یخچالی
سولی فلوکسیون	4000-4220	4110	1- تا 2-	1250-1290	0/87	0/12	مجاور یخچالی
بوریل	3600-4000	3800	1 تا 2-	1060-1250	22/74	3/24	بوریل
پلوویال	3400-3600	3500	2-3	1020-1060	20/15	2/87	معتدل
علفزار (مداری و مجاورمداری)	2200-3600	2900	3-10	560-1090	533/20	74/77	ساوان
نیمه‌خشک	1565-2200	1882	10-13	394-560	133/04	19	نیمه‌خشک
جمع					710	100	




شکل 9 نواحی مورفوژنتیک و مورفودینامیک کنونی حوضه آبریز جاجرود بر اساس تقسیم‌بندی پلتیر

#### 4-5- مرزهای مورفودینامیک و مورفوکلیماتیک (مورفوژنتیک) در آخرین دوره

##### یخچالی

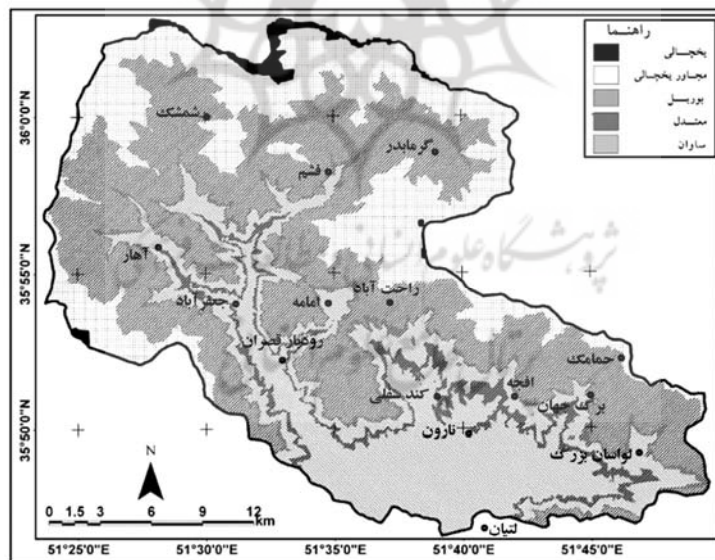
در شکل شماره ده قلمروهای مورفوکلیماتیک و مورفودینامیک کواترنری حوضه مورد مطالعه به پنج ناحیه تقسیم شده است. بر اساس آن، قلمرو یخچالی، محدوده ارتفاعی 3900-4220 را دربرمی‌گیرد که میانگین دمای سالانه در آن بین 7- تا 9- سلسیوس و میانگین بارش سالانه آن 1490 تا 1400 میلی‌متر است. مساحت تحت پوشش این ناحیه، 0/66 درصد (4/66 کیلومتر مربع) از منطقه مورد مطالعه است. از ویژگی‌های این قلمرو می‌توان به فرسایش یخچالی و نیواسیون اشاره کرد. قلمرو مجاور یخچالی به مناطقی گفته می‌شود که بین 3000-3900 متر ارتفاع دارند و میانگین دمای سالانه آن بین 2- تا 7- درجه سلسیوس و میانگین بارش سالیانه آن 1400 تا 1360 میلی‌متر است. این منطقه با وسعت 151/74 کیلومتر مربع، 21/67 درصد از مساحت حوضه را تشکیل می‌دهد. ویژگی‌های مورفولوژیکی این منطقه، تأثیر باد، حرکات توده‌ای شدید و فعالیت آب جاری ضعیف است. سومین قلمرو، ناحیه بوریل است که بین 2100-3000 متر ارتفاع دارد و میانگین دمای سالانه آن 2 تا 2- سلسیوس است و با منحنی‌های هم‌بارش 990-1360 میلی‌متر مطابقت دارد. این قلمرو با 296/46 کیلومتر مربع یا به عبارتی 40/92 درصد، وسیع‌ترین قلمرو را در میان دیگر مناطق داراست. ویژگی‌های مورفولوژیکی آن شامل تأثیر متوسط یخبندان، تأثیر باد از متوسط تا ضعیف و فعالیت متوسط آب‌های جاری است. قلمرو دیگر در تقسیم‌بندی مورفودینامیکی و مورفوکلیماتیکی حوضه مورد مطالعه، معتدل (یلوویال) است. این قلمرو بین 2000-2100 متر ارتفاع دارد و با خط هم‌دمای 4 درجه سلسیوس مطابقت دارد. میانگین بارش سالانه منطقه معتدل 910-940 میلی‌متر است. در تقسیم‌بندی مناطق، وسعت این قلمرو 32/67 کیلومتر مربع (4/66 درصد) است. ویژگی‌های مورفولوژیکی این قلمرو عبارت‌اند از: فعالیت آب جاری حداکثر، حرکات توده‌ای متوسط، و تأثیر یخبندان در حد کم و بدون تأثیر باد. پنجمین قلمرو با عنوان ساوان، ناحیه‌ای است با ارتفاع 1565-2300 متر، میانگین دمای سالانه 6 تا 2 درجه سلسیوس و میانگین بارش 783-990 میلی‌متر. این منطقه 224/47 کیلومتر مربع (32/09 درصد) از 710 کیلومتر مربع مساحت حوضه را داراست. ویژگی‌های مورفولوژیکی آن نیز شامل فعالیت آب جاری شدید تا ضعیف و تأثیر باد در حد متوسط است (جدول 6). نتایج نشان می‌دهد حد

مجتبی یمانی و همکاران  تعیین حدود مناطق مورفودینامیکی و ...

پایین قلمرو یخچالی در کواترنر در ارتفاع 3900 متری، حد پایین قلمرو مجاور یخچالی در ارتفاع 3000 متر و حد پایین قلمرو معتدل در ارتفاع 2000 متری قرار دارد.

جدول 6 مناطق مورفودینامیک و مورفوکلیماتیک حوضه آبریز جاجرود در آخرین دوره یخچالی

منطقه مورفودینامیک بر اساس نتایج به دست آمده	مساحت درصد	مساحت کیلومتر مربع	دامنه میانگین سالانه		حد میانه ارتفاع	مرز ارتفاعی متر	منطقه مورفودینامیک بر اساس نتایج به دست آمده
			بارش mm	دما °C			
یخچالی	0/66	4/66	1400-1490	-9 تا -7	4060	3900-4220	نیواسیون
مجاور یخچالی	21/67	151/74	1360-1400	-7 تا -2	3450	3000-3900	سولی فلوکسیون
بوریل	40/92	296/46	990-1360	2 تا -2	2250	2100-3000	بوریل
معتدل	4/66	32/67	910-940	4	2050	2000-2100	پلویال
ساوان	32/09	224/47	783-990	2-6	1982	1565-2300	علفزار (مداری و مجاورمداری)
					جمع		
	100	710					



شکل 10 نواحی مورفودینامیک و مورفودینامیک کواترنری حوضه آبریز جاجرود بر اساس تقسیم‌بندی پلتیر

#### 4-6- مقایسه نتایج به دست آمده با نظریات محققان دیگر

مرز پایین قلمرو یخچالی، مرزبرف‌های دائمی است. در نقشه شوایتزر، این مرز امروزه در دامنه‌های جنوبی البرز در حدود 4400 متری و در دامنه‌های شمالی البرز در حدود 4200 متر است. بویک و درش مرزبرف دائمی کنونی البرز را از 4200 تا 4000 متر و در دوره‌های سرد از 3600 تا 3400 متر دانسته‌اند. زمانی نیز حد یخبندان کنونی در دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی را ارتفاع 4938 متر و در دامنه‌های شمالی ارتفاع 5605 متر محاسبه کرده است. او با استفاده از مدل پلتیر، حد پایین منطقه یخچالی را در ارتفاع 4390 متر و حد پایین منطقه مجاور یخچالی را در ارتفاع 3611 متر برآورده کرده است. عیوضی نیز با بهره‌گیری از مدل پلتیر برای مرزبندی نواحی مورفودینامیک و مورفوکلیماتیک در دامنه‌های شمالی و جنوبی البرز، این مرز را دامنه‌های جنوبی البرز در ارتفاع 4400 متری - که با خط هم‌دمای 5- و هم‌بارش 1037 میلی‌متر مطابقت دارد - محاسبه کرده است.

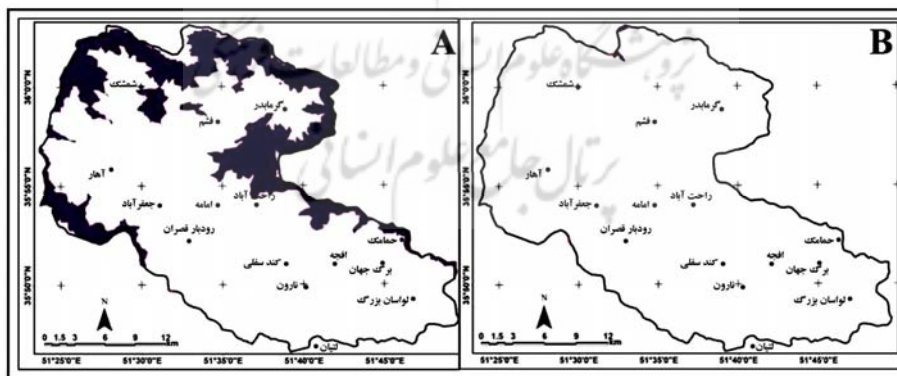
قلمرو یخچالی در زمان حال در حوضه آبریز جاجرود با استفاده از روش پلتیر، ارتفاع 5220 متر به بالا و قلمرو یخچالی در آخرین دوره یخچالی نیز دامنه ارتفاعی 3900-4220 متر را تشکیل می‌دهد (شکل 11).



شکل 11 قلمرو یخچالی در آخرین دوره یخچالی در حوضه جاجرود، دامنه ارتفاعی 3900-4220

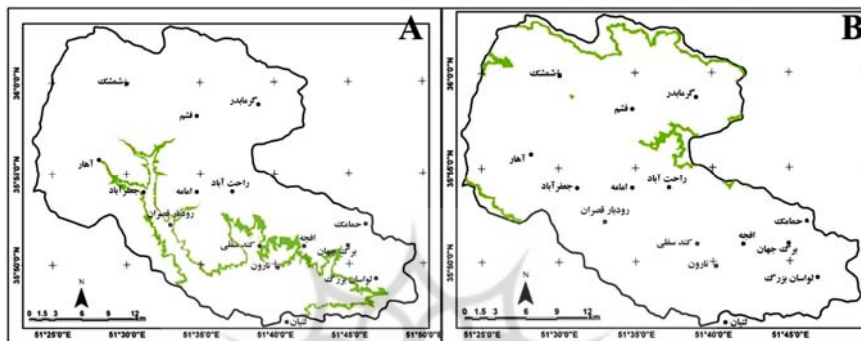
نتایج مشاهدات پژوهشگران خارجی دربارهٔ مرز زیرین منطقهٔ سولی فلوکسیون به این شرح است: هورمن (1961) مرز سولی فلوکسیون را در شمال ایران در ارتفاع 2000 متری، و کوهله (1978) این مرز را در ارتفاع بین 2100 تا 1900 متری دانسته است. بر اساس تحقیق رینل (1977)، منطقهٔ تحت سلطهٔ فرایند کریونیوال در البرز همواره در ارتفاع 3100 متری واقع شده است. منطقهٔ ناپیوسته در حد بینابین این ارتفاعات قرار گرفته که در البرز 2350 متر و یک منطقهٔ بینابین دیگر با فعالیت کمتر وجود دارد که دارای ارتفاع 1800 متر است. به نظر بیشتر پژوهشگران، در مناطق کوهستانی مرز بین جنگل و مرتع، مرز تقریبی منطقهٔ سولی فلوکسیون است.

در مورد مرز پایین سولی فلوکسیون اختلاف زیادی وجود ندارد. هاگه‌درن این مرز را در ایران مرکزی در حال حاضر 3000 متر و در دوره‌های سرد 1900 متر (شوایتزر و کوهله) و در ایران شمالی نیز ارقام مشابهی می‌داند (هورمن - درش) (محمودی، 1367: 12). در کوهستان‌های مرتفع، یعنی جایی که این پدیده‌ها به‌طور متوالی در ارتفاعات متفاوت و در دوره‌های مختلف پلیوستوسن رخ داده، امکان اشتباه در تشخیص آثار ناشی از آن‌ها زیاد است. عیوضی نیز این مرز را در ارتفاع 2000 متری می‌داند که با هم‌دمای 11/5 درجه سانتی‌گراد و هم‌بارش 460 میلی‌متر مطابقت دارد. قلمرو مجاور یخچالی کوتاه‌تر با استفاده از مدل پلتیر برای حوضهٔ آبریز جاجرود، دامنهٔ ارتفاعی 3000-3900 متر و برای زمان حال، دامنهٔ ارتفاعی 4000-4220 متری را نشان می‌دهد (شکل 12).



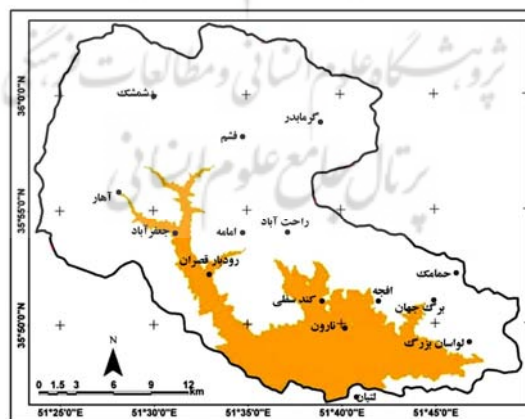
شکل 12 مقایسهٔ ارتفاع قلمرو مجاور یخچالی A: کوتاه‌تر 3000-3900 متر و B: زمان حال 4000-4220 متر

دره‌های فعال و شست‌وشوی دامنه‌ها در هر دو دامنه، شاهد برتری ماهیت نوع مورفوزن است. رودها از ارتفاع 2000 متری به پایین تا نزدیکی‌های رسیدن به دشت در حال حفر بستر هستند و در کوهپایه هم در حال ساییدن کناره‌ها و توسعه بستر خود، فرسایش پلویال حوضه آبریز جاجرود در زمان حال دامنه ارتفاعی 3000-3400 متر و در زمان کواترنر دامنه ارتفاعی 2100-2000 متر را نشان می‌دهد (شکل 13).



شکل 13 مقایسه ارتفاع قلمرو معتدل A: دوره یخچالی 2000-2100 متر و B: زمان حال 3000-3400 متر

با در نظر گرفتن شکل فرسایش در دامنه‌های کوهستانی منحنی هم‌بارش 394-560 میلی‌متری تقریباً با ارتفاع 1565-2200 متر در حوضه جاجرود مطابق است و قلمرو پدیماناسیون را در این حوضه نشان می‌دهد (شکل 14).



شکل 14 قلمرو پدیماناسیون در زمان حاضر، دامنه ارتفاعی 1565-2200 متر

## 5- نتیجه گیری

جهت اصلی ناهمواری‌ها در حوضه جاجرود، شمال غرب - جنوب شرق است. از آنجا که دامنه‌های روبه شمال از تابش خورشیدی کمتری برخوردارند، ماندگاری برف در آن‌ها بیشتر است و سیرک‌ها فراوانی بیشتری دارند؛ به گونه‌ای که  $38/8$  درصد سیرک‌ها روبه قطب و  $24/7$  درصد آن‌ها در دامنه‌های روبه استوا شکل گرفته‌اند. همچنین، بررسی‌ها نشان می‌دهد ارتفاع کف سیرک‌های یخچالی در حوضه جاجرود،  $3061$  متر و مقدار مد یا نما  $3071/6$  متر است. میانگین نما برای سیرک‌های روبه قطب برابر با  $3355$  متر و برای سیرک‌های روبه استوا برابر با  $3567$  متر است. با استفاده از این داده‌ها، از نظر پهنه‌بندی مورفودینامیک و مورفوزنتیک زمان حال، حوضه جاجرود به پنج قلمرو مجاور یخچالی (سولی فلوکسیون)، بوریل، معتدل (پلوویال)، ساوان و نیمه خشک (پدیمانتاسیون) تقسیم می‌شود.

بر اساس این، حد پایین قلمرو مجاور یخچالی در ارتفاع  $4000$  متری قرار دارد. میانگین دمای سالانه آن بین  $1-2$  درجه سلسیوس و میانگین بارش سالانه آن  $1290$  تا  $1250$  میلی‌متر است. ویژگی‌های مورفولوژیکی این منطقه، تأثیر باد از متوسط تا شدید، حرکات توده‌ای شدید و فعالیت آب جاری ضعیف است. حد پایین طبقه در ارتفاع  $3600$  متر قرار دارد و میانگین دمای سالانه آن  $2$  تا  $1-1$  درجه سلسیوس و میانگین بارش سالانه آن  $1060-1250$  میلی‌متر است. در این ناحیه شاهد عمل یخبندان در حد متوسط، تأثیر متوسط تا ضعیف باد و فعالیت متوسط آب‌های جاری هستیم. سومین قلمرو، پلوویال نام دارد. حد پایین این قلمرو در ارتفاع  $3400$  متر است، میانگین دمای سالانه آن  $3$  تا  $2$  سلسیوس و میانگین بارش سالانه آن  $1060-1020$  میلی‌متر است. ویژگی‌های مورفولوژیکی این منطقه عبارت‌اند از: فعالیت حداکثر آب‌های جاری، حرکات توده‌ای متوسط، و تأثیر کم یخبندان و بدون تأثیر باد. چهارمین قلمرو، ناحیه ساوان است. حد پایین آن در ارتفاع  $220$  متر، میانگین دمای سالانه آن  $10$  تا  $3$  درجه سلسیوس و میانگین بارش سالانه آن  $560-1090$  میلی‌متر است. ویژگی‌های مورفولوژیکی آن شامل فعالیت آب جاری شدید تا ضعیف و تأثیر باد در حد متوسط است. پنجمین قلمرو، ناحیه‌ای است با حد پایین ارتفاع  $1565$  متر، دارای میانگین دمای سالانه  $13$  تا  $10$  درجه



سلسیوس و میانگین بارش 560-394 میلی‌متر. ویژگی‌های مورفولوژیکی آن نیز شامل تأثیر باد در حد شدید و فعالیت آب جاری در حد متوسط تا شدید است.

مناطق مورفونتییک و مورفودینامیک آخرین دوره یخچالی وورم در حوضه جاجرود نیز به پنج منطقه تقسیم می‌شود. بر اساس این، حد پایین قلمرو یخچالی ارتفاع 3900 متر را داراست و میانگین دمای سالانه آن بین 7- تا 9- سلسیوس و میانگین بارش سالانه آن 1490 تا 1400 میلی‌متر است. از ویژگی‌های این منطقه می‌توان به فرسایش یخچالی و نیواسیون اشاره کرد. حد پایین قلمرو مجاور یخچالی ارتفاع 3000 متر دارد و میانگین دمای سالانه آن بین 2- تا 7- درجه سلسیوس و میانگین بارش سالانه آن 1400 تا 1360 میلی‌متر است. ویژگی‌های مورفولوژیکی آن، تأثیر باد، حرکات توده‌ای شدید و فعالیت آب جاری ضعیف است. سومین قلمرو، ناحیه بوریل است. حد پایین طبقه ارتفاعی آن 2100 متر، و میانگین دمای سالانه آن 2 تا 2- سلسیوس است و با منحنی‌های هم‌بارش 990-1360 میلی‌متر مطابقت دارد. ویژگی‌های مورفولوژیکی آن شامل تأثیر متوسط یخبندان، تأثیر باد از متوسط تا ضعیف و فعالیت متوسط آب‌های جاری است. قلمرو دیگر در تقسیم‌بندی مورفودینامیکی و مورفوکلیماتیکی حوضه مورد مطالعه، معتدل (یلوویال) است. حد پایین ارتفاع این قلمرو 2000 متر است و با خط هم‌دمای 4 درجه سلسیوس مطابقت دارد. میانگین بارش سالانه آن هم 940-910 میلی‌متر است. از ویژگی‌های مورفولوژیکی این منطقه، فعالیت آب جاری حداکثر، حرکات توده‌ای متوسط، و تأثیر یخبندان در حد کم و بدون تأثیر باد را می‌توان نام برد. پنجمین قلمرو، ساوان نام دارد. ناحیه‌ای است با حد پایین ارتفاع 1565 متر و میانگین دمای سالانه 6 تا 2 درجه سلسیوس و میانگین بارش 990-783 میلی‌متر. ویژگی‌های مورفولوژیکی آن نیز شامل فعالیت آب جاری شدید تا ضعیف و تأثیر باد در حد متوسط است. مقایسه نتایج به‌دست‌آمده درباره مرزبندی‌های مورفودینامیک و مورفوکلیماتیک با نظریات محققان پیشین نشان می‌دهد مرزهای ذکر شده بالاتر از ارتفاعی است که آن‌ها اظهار کرده‌اند.

## 6- منابع

- جداری عیوضی، جمشید، کارایی مدل پلتیر در طبقه‌بندی مناطق یخچالی، طرح پژوهشی، معاونت پژوهشی دانشگاه تهران، 1385.



- ژئومورفولوژی ایران، انتشارات دانشگاه پیام نور، 1383.
- رامشت، محمدحسین و محمد مهدی کاظمی، «آثار یخچالی در حوضه اقلید فارس»، رشد آموزش جغرافیا، د 21، ش 4، صص 3-11، 1386.
- زمانی، حمزه، شواهد و حدود گسترش یخچال‌های کواترنری در البرز مرکزی، رساله دکتری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، 1388.
- عزیززاده، امین، غلامعلی کمالی، فرهاد موسوی، و محمد موسوی بایگی، هوا و اقلیم‌شناسی، چ 8، مشهد: انتشارات دانشگاه فردوسی، 1384.
- محمودی، فرج‌الله، «تحول ناهمواری‌های ایران در کواترنر»، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، س 20، ش 23، 1367.
- منصورفر، کریم، روش‌های آماری، چ 6، انتشارات دانشگاه تهران، 1382.
- منصف، مرتضی، اصول و روش‌های آمار، چ 8، ج 1، انتشارات دانشگاه تهران، 1372.
- نعمت‌الهی، فاطمه و محمدحسین رامشت، «آثار یخساری در ایران»، مدرس علوم انسانی، س 9، ش 4، صص 1-19، 1384.
- وزارت نیرو، سازمان منابع آب کشور (تماب)، داده‌های باران‌سنجی و تبخیرسنجی ایستگاه‌های حوضه جاجرود، 1346-1385.
- یمانی، مجتبی، «ژئومورفولوژی یخچال‌های علم‌کوه»، پژوهش‌های جغرافیایی، ش 42 (بهار)، صص 1-18، 1381.
- «ژئومورفولوژی یخچال‌های زردکوه (بررسی اشکال ژئومورفولوژیک و حدود گسترش آن‌ها)»، پژوهش‌های جغرافیایی، ش 59 (بهار)، صص 125-139، 1386.
- یمانی، مجتبی، جمشید جداری عیوضی و ابوالقاسم گورابی، «شواهد ژئومورفولوژیکی مرزهای یخچالی در دامنه‌های کرکس، مدرس علوم انسانی، ش 11 (پیاپی 50)، 1386، صص 207-228.
- Abramowskia, U., A. Bergaua, D. Seebacha, R. Zecha, B. Glasera, P. Sosinb, P. W. Kubikc & W. Zecha, "Pleistocene glaciations of Central Asia: results from 10Be surface exposure ages of erratic boulders from

- the Pamir (Tajikistan), and the Alay–Turkestan range (Kyrgyzstan)", *Quaternary Science Reviews*, No. 25, Pp. 1080-1096, 2006.
- Bentleya, M. J., D. J. A. Evansa, C. J. Fogwillb, J. D. Hansomc, D. E. Sugdenb & P. W. Kubikd, "Glacial geomorphology and chronology of Deglaciation, South Georgia, sub-Antarctic", *Quaternary Science Reviews*, No. 26, Pp. 644-677, 2007.
  - Bobek, H., "Reise in Nordwest Persien 1934 Travel in northwest Persia 1934", *Zeitschrift der Gesellschaft fur Erdkunde zu Berlin*, Vols. 9/10, Pp. 359-369, 1934.
  - \_\_\_\_\_ "Die rolle der Eiszeit in Nordwest Iran [The role of the ice age in northwestern Iran]", *Zeitschrift fur Gletscherkunde*, Vol. 25, Pp. 130-183, 1937.
  - \_\_\_\_\_ "Nature and implications of Quaternary climatic changes in Iran, In: Changes of climate", *Proceedings of Symposium on Changes of Climate with Special Reference to And Zones*, Rome, 1961, UNESCO, Pp. 403-413, 1963.
  - Bremer, H., *Morphogenetic region, encyclopedia of geomorphology*, New York, 2004.
  - Matthew, D., A. B. C. Jones, B. Neil Roberts, J. Melanie & A. C. Leng, "Quantifying climatic change through the last glacial–interglacial transition based on lake isotope palaeohydrology from central Turkey", *Quaternary Research*, No. 67, Pp. 463-473, 2007.
  - Napieralski, Jacob, Jon Harbor & Li Yingkui, "Glacial geomorphology and geographic information systems", *Earth-Science Reviews*, No. 85, Pp. 1-22, 2007.
  - Pedrami, M., "Pleistocene and Paleo Climate in Iran", *Geo, l, Surv, Tehran*, 1982.

- \_\_\_\_\_ "Carlaw. Montgomery The Physical Geology of Pleistocene and Paleo climate in Iran", 1982, *Geol, Surv, Tehran*, 1987.
- Peltier, L. C., "The geographic cycle in periglacial regions as it is related to climatic geomorphology", *Annals of the Association of American Geographers*, No. 40, Pp. 214-236, 1950.
- Porter, Stephen C., "Snowline depression in the tropics during the Last Glaciation", *Quaternary Science Reviews*, No. 20, Pp. 1067-1091, 2001.
- Schweizer, G., "Klimatisch bedigte geomorphologi sche und glaziologische zuge der Hoch region Vorferasiatischer Gebirge (Iran und Ostanatolien)", *Wiesbaden*, No. 4, Pp. 221-236, 1972.
- Wright, J. R. H. E., "Late-Pleistocene glaciation and climate around the JunmHn Plain, central Peruvian Highlands", *Geogra"ska Annaler 65A*, Pp. 35-43, 1983.

