# تعیین حدود مناطق مورفودینامیکی و مورفوکلیماتیکی کواترنری در حوضهٔ جاجرود

مجتبی یمانی[1*]، علی‌اکبر شمسی‌پور[2]، مریم جعفری اقدم[3]، سجاد باقری سیدشکری[4]

1- دانشیار ژئومورفولوژی دانشکدهٔ جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران
2- استادیار ژئومورفولوژی دانشکدهٔ 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 مهم‌ترین مواریث اقلیمی کواترنری در ایران، شواهد ژئومورفولوژی یخچالی در مناطق کوهستانی است. بررسی لندفرم‌های یخچالی و حدود گسترش آن‌ها در نواحی کوهستانی ایران، بهترین شاهد به‌منظور شناسایی قلمروهای مورفوکلیماتیک و مورفودینامیک است. هدف این پژوهش، تعیین و بازسازی مرزهای مورفوکلیماتیک و مورفودینامیک در آخرین دورهٔ یخچالی وورم و شناسایی مرزهای کنونی این قلمروها در حوضهٔ جاجرود و سرانجام مقایسهٔ نتایج به‌دست‌آمده با آرای پژوهشگران پیشین است.

با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی، موقعیت سیرک‌های منطقه شناسایی شد. سپس با روش پلتیر مرزهای مورفودینامیکی و مورفوکلیماتیکی کواترنر تعیین شد. در نهایت، نتایج به‌دست‌آمده با دیدگاه‌های محققان دیگر مورد مقایسه قرار گرفت. به‌طور کلی، ابزارها و داده‌های تحقیق را نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای +ETM، داده‌های اقلیمی دما و بارش ماهانه تشکیل دادند. با استفاده از میانگین دما و بارش ماهانه و سالانهٔ طولانی‌مدت ایستگاه‌های هواشناسی منطقه و بازسازی دمای ترازهای ارتفاعی از روش رگرسیون خطی، پهنه‌های دمایی و بارشی محدودهٔ موردپژوهش محاسبه شد. سپس با استناد به نظریهٔ بوبک، دما و بارش دورهٔ یخچالی محاسبه شد. در مراحل مختلف تهیه و تحلیل نقشه‌ها از نرم‌افزار ArcGIS 9.3 استفاده شد.

نتایج نشان می‌دهد در حال حاضر، حد پایین قلمرو یخچالی به‌طور متوسط در ارتفاع 5220 متری، سولی فلوکسیون در ارتفاع 4000 متری، قلمرو پلوویال در ارتفاع 3400 متری و قلمرو پدیمانتاسیون در

* نویسندهٔ مسئول مقاله: Email: myamani@ut.ac.ir

[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-19 ]

**1565 متری قرار دارد. در آخرین دورهٔ یخچالی کواترنر (وورم) نیز حد پایین قلمرو یخچالی اغلب در ارتفاع 3900 متر، سولی فلوکسیون در ارتفاع 3000 متر و پلوویال 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، حوضهٔ جاجرود.**

## 1- مقدمه

یکی از مهم‌ترین داده‌هایی که تحولات اقلیمی گذشتهٔ سطح کرهٔ زمین را روشن می‌کند و می‌توان به‌وسیلهٔ آن تغییرات آتی را نیز تاحدی پیش‌بینی کرد، شواهد یخچالی موجود است (Abramowski et al., 2006). برای این منظور در مطالعهٔ تحول پیکرشناسی نواحی کوهستانی، پژوهشگران سعی می‌کنند مرز برف‌های دائمی و یا حد بالا و پایین قلمرو سولی‌فلکسیون را در دوره‌های یخچالی و بین‌یخچالی تعیین کنند؛ زیرا منطقهٔ مورفوکلیماتیک (مورفوژنتیک) پهنه‌ای است که اشکال لندفرم‌ها در آن توسط فرایندهای شکل‌زایی یکسان و یا مشابه، به‌ویژه فرایندهایی که به‌وسیلهٔ اقلیم کنترل می‌شوند، شکل گرفته و یا می‌تواند به‌وجود آید (Bremer, 2004). بنتلی[1] و همکاران (2007) در بررسی زمین ریخت‌شناسی و یخچال‌های جنوب‌شرق گرجستان، نشان دادند گسترش یخچال‌ها به‌دلیل تغییرات تدریجی آب و هوا محدود شده است و مرزهای یخچالی جابه‌جا شده‌اند. ناپرالسکی[2] و همکاران (2007) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS در زمینهٔ لندفرم‌های یخچالی، مطالعات گسترده‌ای انجام دادند و روند پیشروی و عقب‌نشینی یخچال‌ها را بررسی کردند.

در زمینهٔ پهنه‌بندی مورفوژنتیک می‌توان به پژوهش‌های دیویس[3] و پنک[4] (1909)، بودل[5] (1948)، ترول[6] (1948) و پلتیر[7] (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



[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-19 ]

ناهمواری‌هاست. پنک (1909) برای سه منطقهٔ مورفوژنتیکی که از لحاظ اقلیم، هیدرولوژی و ژئومورفولوژی از یکدیگر متمایزند، سه اصطلاح خشک، مرطوب و برفی را به‌کار برد و تأکید کرد این مناطق در دوره‌های سرد و گرم پلیوستوسن به‌طور متناوب جابه‌جا شده‌اند. بودل (1948) سیستم ژئومورفولوژی اقلیمی را مطرح کرد و ترول (1948) نیز دربارهٔ رابطهٔ اقلیم و پراکندگی فرایندها و عوامل ژئومورفیک، هفت منطقهٔ موروفوژنتیک را ارائه کرد. پلتیر (1950) نُه 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[1] (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 منطقهٔ مورفودینامیک به شرح زیر مشخص کرد: 1. منطقهٔ یخچالی و نیواسیون؛ 2. منطقهٔ سولی‌فلوکسیون و سایر اشکال کریوتورباسیون[2]؛ 3. منطقهٔ فرسایش نرمال (فرسایش آب‌های جاری)؛ 4. منطقهٔ پدیمانتاسیون؛ 5. منطقهٔ مورفودینامیک بادی.

در نقشه‌ای که شوایتزر[3] (1972) ارائه کرده، مرز منطقهٔ 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، به‌منظور 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 منطقهٔ سولی‌فلوکسیون در ارتفاع 2000 متر و منطبق با خط هم‌دمای 11/5، مرز منطقهٔ پلوویال در ارتفاع 1200 متر و منطبق بر منحنی هم‌دمای 17 درجه سلسیوس، مرز منطقهٔ پدیمانتاسیون

1. H. Bobek

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

3. Schweizer



[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-19 ]

در ارتفاع 1000 متر و منطبق با هم‌دمای 19 درجه و در نهایت مرز طبقهٔ بادی در ارتفـاع کمتر از 1000 متر و منطبق با هم‌دمای بیش از 19 درجه سلسیوس را محاسبه کرده است.

هورمن[1] (1961) مرز سولی‌فلوکسیون را در شمال ایران در ارتفاع 2000 متری مشخص کرده و کوهله[2] (1978) این مرز را در ارتفاع بین 2100 تا 1900 متری دانسته است. رینل[3] (1977) در پژوهشـی در زمینـهٔ فراینـدهای کنـونی پریگلاسـیر (کریونیـوال) در نـواحی کوهستانی مراکش تا لبنان و ایران، سه منطقهٔ ارتفاعی، فعالیت پریگلاسیر را مشخص کرده است. منطقهٔ تحت سلطهٔ فرایند کریونیوال در البرز همواره در ارتفـاع 3100 متـری واقـع شده است. منطقهٔ ناپیوسته در حد بینابین این ارتفاعات قرار گرفته که در البرز 2350 متر و یک منطقهٔ بینابین دیگر با فعالیت کمتـر وجـود دارد کـه دارای ارتفـاع 1800 متـر اسـت (as cited in Brookes, 1982: 203).

به نظر بیشتر محققان، در مناطق کوهستانی مرز بین جنگل و مرتع، مرز تقریبی منطقـهٔ سولی‌فلوکسیون است (عیوضی، 1385: 25). در مورد مرز پایین سولی‌فلوکسیون اختلاف زیادی وجود ندارد. هاگه‌درن این مرز را در ایران مرکزی در حال حاضـر3000 متـر و در دوره‌های سرد 1900 متر و در ایران شمالی نیز ارقام مشابهی می‌دانـد (محمـودی، 1367: 12). در کوهستان‌های مرتفع یعنی جایی که این پدیده‌هـا بـه‌طـور متـوالی در ارتفاعـات 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، اشـکال یخچـالی و مجاوریخچالی 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 اشـکال مورفولـوژی یخچـالی در ارتفاعـات علم‌کوه، حدود گسترش زبانه‌های یخچالی را در حال حاضر و در آخرین دورهٔ یخچـالی تعیین کرده است (1381: 1-18). یمانی در پژوهشی با عنوان «ژئومورفولوژی یخچال‌های زردکوه» نیز به بررسی اشکال ژئومورفیک یخچال‌ها و حدود گسـترش آن‌هـا در زردکـوه

1. Hovermann, 1961
2. Kuhle, 1978
3. Raynal, 1977



[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-19 ]

پرداخته است (1386: 125-139). به اعتقاد او، حداکثر گسترش زبانه‌های یخچالی تا ارتفاع 2500 متر و محدود به بستر رودخانهٔ 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 صفردرجه، به بازسازی شرایط دمایی آخرین دورهٔ یخچالی (وورم) پرداخته‌اند (1386: 207-228). همچنین، آن‌ها مرزهای ارتفاعی مناطق مورفودینامیک و مورفوکلیماتیک را برای دورهٔ یخچالی، بالای3000 متر، سولی-فلوکسیون بین 3000- 2500 متر، پلوویال 2500-1200 متر، نیمه‌خشک 1200-800 متر و خشک را کمتر از 800 متر برآورد کرده‌اند. پدرامی (1987) خط برف دائمی دورهٔ وورم را برای نقاط مختلف ایران تعیین کرده که بر اساس آن، خط برف در منطقهٔ مورد مطالعه در حدود 2500 متری به‌دست آمده است. زمانی در مطالعهٔ حوضه‌های جاجرود و کرج در دامنهٔ جنوبی و حوضه‌های نور و هراز در دامنهٔ 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 منطقهٔ یخچالی را در ارتفاع 4390 متری و حد پایین منطقهٔ مجاور یخچالی را در ارتفاع 3611 متری تعیین کرده است.

مسئلهٔ 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؟

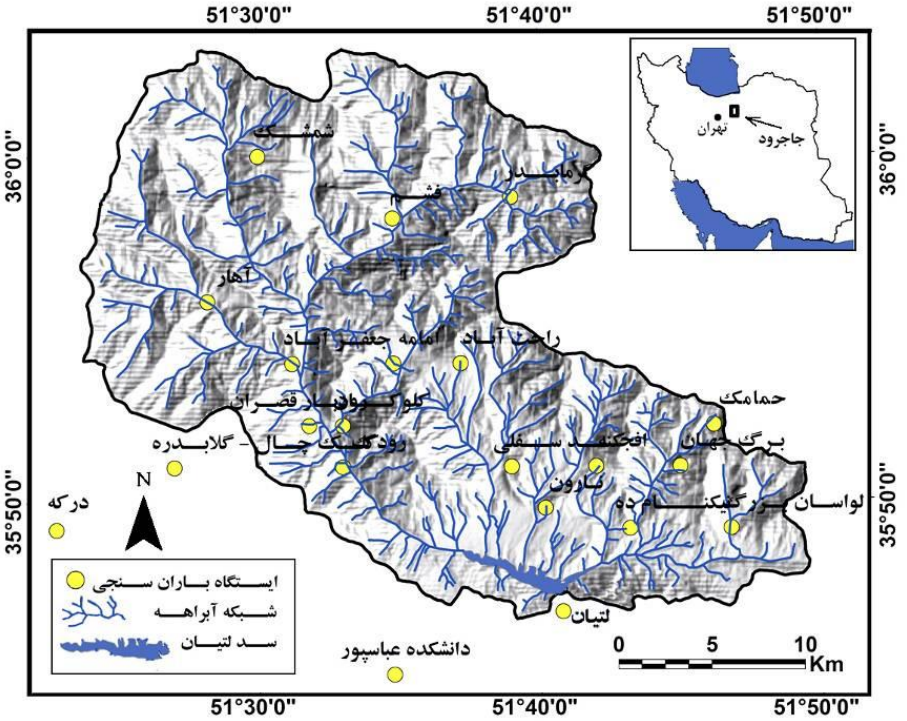
بررسی آثار و شواهد تغییرات اقلیمی و جابه‌جایی مرزهای مورفودینامیک و مورفوکلیماتیک به‌عنوان یکی از مباحث مهم در بحث‌های مرتبط با تغییرات اقلیمی در کواترنری مطرح است (نعمت‌الهی و رامشت، 1384). این پژوهش، تحقیقی بنیادی است و هدف آن، شناسایی و بررسی آثار یخچالی به‌جای‌مانده از آخرین دورهٔ یخچالی (وورم) است. 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 حوضهٔ آبریز جاجرود را انجام دهند. در پایان نیز نتایج به‌دست آمده را با نظریات محققان قبلی مقایسه کنند.



[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-19 ]

## 2- منطقهٔ مورد مطالعه

حوضهٔ 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. شاخهٔ 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- جنوب‌شرق، غرب- شمال‌غرب است. این گسل از نوع راندگی با مؤلفه چپگرد است و اصلی‌ترین گسل منطقه به‌شمار می‌آید. اختلاف بلندای ناگهانی قسمت میانی حوضهٔ آبخیز سد لتیان با قسمت‌های جنوبی آن، یکی از بارزترین ویژگی‌های توپوگرافی گسترهٔ مورد مطالعه است.

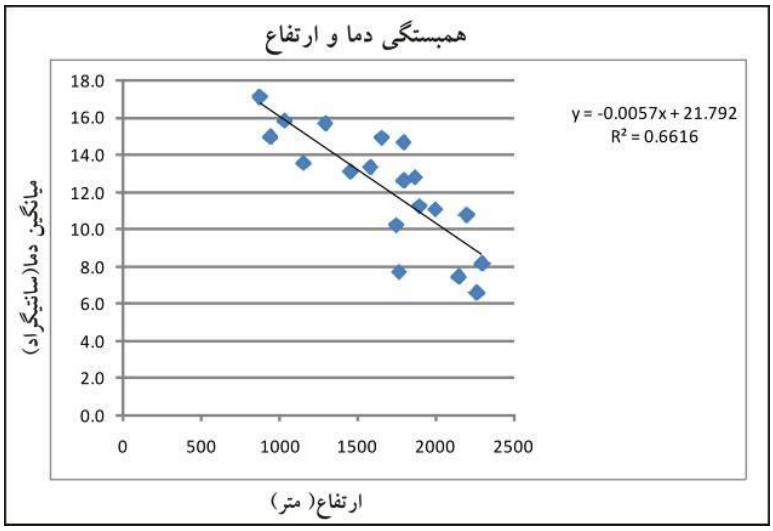



**شکل** 1 حوضهٔ جاجرود در شمال‌شرقی تهران و موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی



[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-19 ]

مطالعات پیشین نشان داده است طبیعت تغییرات اقلیمی طی آخرین دوره‌های یخچالی و بین‌یخچالی در مناطق شرقی دریای مدیترانه، علاوه‌بر 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 شمارهٔ دو میانگین دمای ماهانهٔ ایستگاه‌های پیرامون منطقهٔ مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در این شکل، ضریب تعیین ($R^2$) و معادلهٔ 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.



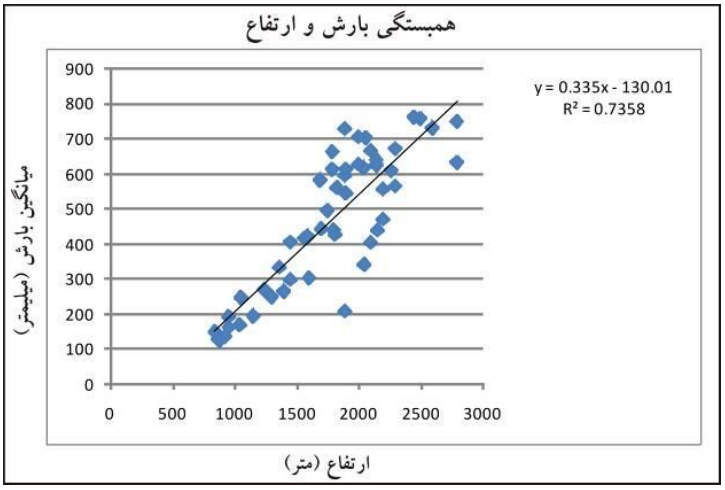

**شکل 2** گرادیان دما در حوضهٔ جاجرود با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های موجود

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 معادلهٔ 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



[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-19 ]

است و 27 درصد بقیه از عوامل دیگر ناشی می‌شود. با توجه به این موضوع که مستندات اصلیِ 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 حوضهٔ جاجرود با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های موجود

## 3- مواد و روش‌ها

هدف این پژوهش، تعیین و بازسازی مرزهای مورفوکلیماتیک و مورفودینامیک در آخرین دورهٔ یخچالی و شناسایی مرزهای کنونی این قلمروها در حوضهٔ جاجرود و سرانجام مقایسهٔ نتایج به‌دست‌آمده با نظریات محققان پیشین است. در این پژوهش از روش تحلیلی با استفاده از مدل‌های تجربی و نیز روش توصیفی استفاده شده است. مطالعهٔ کتابخانه‌ای برای بررسی مبانی نظری و پیشینهٔ تحقیق، و کارهای میدانی برای بررسی شواهد و آثار ژئومورفیک یخچالی و کنترل اطلاعات نقشه‌های پایه انجام گرفته است. نقشه‌های توپوگرافی1:50000، عکس‌های هوایی1:55000 سال 1335، نقشهٔ زمین‌شناسی 1:100000 و تصاویر سنجنده +ETM منطقه به‌عنوان ابزار اصلی تحقیق به‌کار رفته‌اند. داده‌های نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی به‌عنوان داده‌های پایه به نرم‌افزار ArcGIS9.3 انتقال داده و سپس رقومی شده‌اند. از نرم‌افزار



[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-19 ]

ENVI4.3 به‌منظور تفسیر بصری و آماده‌سازی تصاویر ماهواره‌ای مورد نیاز و از برنامهٔ Coreldraw برای ترسیمات گرافیکی استفاده شده است. با توجه به هدف تحقیق و به‌منظور دست‌یابی به نتایج موردنظر، ارتفاع کف سیرک یخچالی، داده‌های دما و بارش ایستگاه‌های هواشناسی موجود به‌عنوان داده‌های اصلی در بازسازی و تعیین مرزهای مورفودینامیکی تحلیل و ارزیابی شده‌اند. علاوه‌بر این، به‌وسیلهٔ 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 رابطهٔ هم‌بستگی میان عناصر دما، بارش و ارتفاع، نقشهٔ دما و بارش گذشته و حال منطقه ترسیم شده است. سپس با نرم‌افزارهای Excel و Spss داده‌های به‌دست‌آمده تجزیه و تحلیل شده‌اند. در مرحلهٔ بعد، نمودارها و نقشه‌های شش‌گانهٔ پلتیر با توجه به داده‌ها و جدول‌ها ترسیم شده است. به‌منظور تعیین و بازسازی مرزهای مورفودینامیک و مورفوکلیماتیک حوضهٔ مورد مطالعه، داده‌های دما و بارش ماهانه تجزیه و تحلیل شده و سرانجام، با توجه به مبانی نظری و داده‌های به‌دست‌آمده و تحلیل آن‌ها با نرم‌افزار GIS، مرزهای مورد نظر ترسیم شده است.

به‌منظور بررسی دقیق معنادار بودن رابطهٔ شکل‌گیری و گسترش سیرک‌های یخچالی با جهت‌های جغرافیایی و جهت ناهمواری‌ها، از آزمون توان دوم کی[1] یا آزمون مجذور X استفاده شده که پایهٔ آن بر بررسی فراوانی‌های مشاهده‌شده و فراوانی‌های نظری مورد انتظار استوار است.

## 4- یافته‌ها

### 4-1- بررسی تأثیر جهت دامنه‌ها

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

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

1. chi- square test



[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-19 ]

O = فراوانی مشاهده‌شده، E = فراوانی مورد انتظار، $X^2$ = آزمون توان دوم کی.

جدول شمارهٔ یک مراحل کار و نتیجه را نشان می‌دهد.

**جدول 1** آزمون مجذور کی در حوضهٔ مورد مطالعه

| کل | شمال | شمال شرق | شرق | جنوب شرق | جنوب | جنوب غرب | غرب | شمال غرب | سیرک‌ها |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\sum X$ ۸۵ | 15 | 12 | 4 | 7 | 9 | 13 | 10 | 15 | O فراوانی مشاهده‌شده |
| 1 | 0/125 | 0/125 | 0/125 | 0/125 | 0/125 | 0/125 | 0/125 | 0/125 | $H_0$ احتمال تحت فرض |
| 85 | 10/6 | 10/6 | 10/6 | 10/6 | 10/6 | 10/6 | 10/6 | 10/6 | E فراوانی مورد انتظار |
| **7**=d.f = **9/95** | 1/82 | 0/18 | 4/10 | 1/22 | 0/24 | 0/54 | 0/03 | 1/82 | $\frac{(O-E)^2}{E}$ |

## 4-2- تعیین ارتفاع برف‌مرز

برای تعیین و برآورد ارتفاع برف‌مرز و اختلاف خط تعادل آب و یخ گذشته و حال، از روش پورتر استفاده کردیم. پورتر در مطالعهٔ کوهستان‌های یخچالی عرض‌های پایین، از پنج روش برای بازسازی ارتفاع خط تعادل (ELA)[1] استفاده می‌کند. این پنج روش عبارت‌اند از: 1- روش مطالعهٔ (ارتفاع) کف‌سیرک؛ 2- روش بررسی یخرفت‌های جانبی قسمت بالای دره؛ 3- روش آستانه‌های یخبندان؛ 4- روش نسبت ارتفاع؛ 5- روش نسبت انباشتگی - مساحت. از میان روش‌های ذکرشده، با توجه به بارز بودن شواهد سیرک‌های یخچالی، روش مطالعهٔ کف‌سیرک برای منطقهٔ مورد مطالعه مناسب‌تر است؛ زیرا هنگامی که یخچالی فقط سیرک را پر می‌کند، ELA دائمی آن معمولاً بالاتر از میانگین ارتفاع کف سیرک (CF)[2] نیست. بنابراین، استفاده از این روش (مطالعهٔ کف سیرک) برای تعیین ارتفاع خط تعادل‌های گذشته مناسب است (Porter, 2001: 106).

برای استفاده از روش ارتفاع کف سیرک به‌منظور پی بردن به برف‌مرز گذشته و خط تعادل آب و یخ در حوضهٔ مورد مطالعه، بر اساس داده‌های جدول شماره دو، نما یا مد آن‌ها را طبق فرمول محاسبه کردیم (علیزاده و همکاران، 1384: 329؛ منصف، 1372: 80).

1. equilibrium-line altitudes
2. cirque floor



[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-19 ]

**جدول 2** توزیع فراوانی ارتفاع کف سیرک‌های یخچالی در حوضهٔ مورد مطالعه

| طبقات ارتفاعی | فراوانی سیرک | جهات جغرافیایی | | | | | | | | درصد |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | شمال | شمال شرق | شرق | جنوب شرق | جنوب | جنوب غرب | غرب | شمال غرب | |
| 1900-2000 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2000-2100 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2100-2200 | 1 | 1 | - | - | - | - | - | - | - | 1/1 |
| 2200-2300 | 1 | 1 | - | - | - | - | - | - | - | 1/1 |
| 2300-2400 | 2 | 1 | 1 | - | - | - | - | - | - | 2/2 |
| 2400-2500 | 2 | - | - | - | - | - | - | - | 1 | 2/2 |
| 2500-2600 | 5 | 1 | 3 | - | - | - | - | 1 | - | 5/5 |
| 2600-2700 | 3 | 1 | - | - | - | - | 1 | - | 1 | 3/3 |
| 2700-2800 | 10 | - | 1 | 1 | - | - | 1 | 5 | 2 | 11/1 |
| 2800-2900 | 9 | 3 | - | 2 | 1 | - | 2 | - | 1 | 10 |
| 2900-3000 | 2 | - | 1 | - | - | 1 | - | - | - | 2/2 |
| 3000-3100 | 11 | 2 | - | - | 1 | - | 3 | 2 | 3 | 12/2 |
| 3100-3200 | 7 | - | 2 | - | 1 | - | - | 1 | 3 | 7/7 |
| 3200-3300 | 5 | 1 | 1 | - | - | 2 | - | - | 1 | 5/5 |
| 3300-3400 | 7 | 2 | 2 | - | - | - | 1 | 1 | 1 | 7/7 |
| 3400-3500 | 6 | 2 | - | - | 1 | 2 | - | - | 1 | 6/6 |
| 3500-3600 | 5 | - | - | - | - | 2 | 3 | - | - | 5/5 |
| 3600-3700 | 4 | - | - | - | 1 | 1 | 2 | - | - | 4/4 |
| 3700-3800 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 3800-3900 | 2 | - | - | 1 | - | - | - | - | - | 2/2 |
| 3900-4000 | 3 | - | - | 1 | 2 | 1 | - | - | - | 3/3 |
| 4000-4100 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 4100-4200 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| جمع | 85 | 15 | 12 | 4 | 7 | 9 | 13 | 10 | 15 | 100 |
| میانگین ارتفاع (متر) | - | 2740 | 2800 | 3300 | 3300 | 3416 | 3071 | 2920 | 2944 | 3061 |
| نما (متر) | - | 2850 | 2540 | 2833 | 3950 | 3500 | 3050 | 2750 | 3100 | /6 3071 |
| سیرک‌های روبه‌قطب | | مقدار نما | | | | | | | | 3355 |
| سیرک‌های روبه‌استوا | | مقدار نما | | | | | | | | 3567 |
| ELA | | اختلاف در دو دامنه | | | | | | | | 212 |

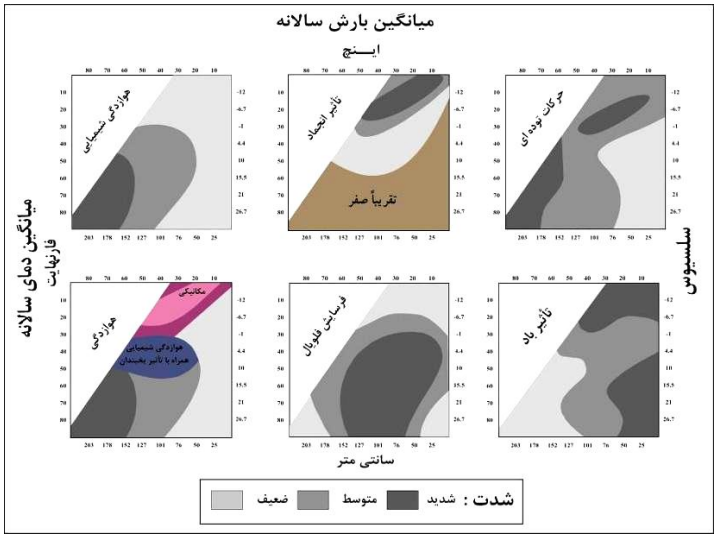


[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-19 ]

بر اساس داده‌های این جدول، ارتفاع کف سیرک‌های یخچالی در حوضهٔ 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 حوضهٔ جاجرود، شمال‌غرب- جنوب‌شرق است. بدیهی است دامنه‌های روبه‌شمال از تابش خورشیدی کمتری برخوردارند و درنتیجه ماندگاری برف آن‌ها بیشتر است. ازاین‌رو، سیرک‌ها از فراوانی بیشتری در این دامنه‌ها برخوردارند؛ به‌طوری که 38/8 درصد سیرک‌ها روبه‌قطب و 24/7 درصد سیرک‌ها در دامنه‌های روبه‌استوا شکل گرفته‌اند.

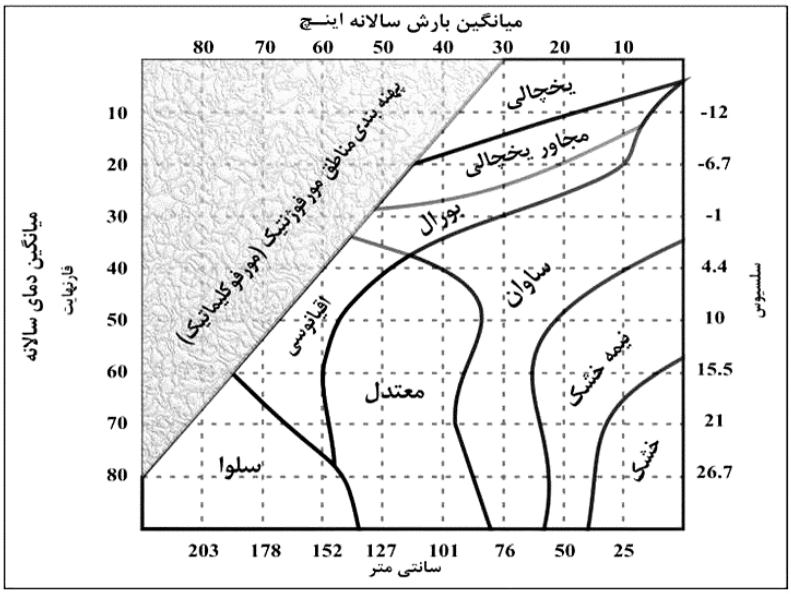
برای تعیین مرزهای مورفودینامیک و مورفوکلیماتیک در حوضهٔ مورد مطالعه از مدل پلتیر استفاده کردیم. پلتیر با تأکید بر دامنهٔ تغییرات دما و بارش سالیانه، نه سیستم مورفوژنتیک را ارائه کرد (عیوضی، 1385: 18). او با کمک همین دو متغیر دما و بارش، شش نمودار ترسیم کرد که در شکل شمارهٔ چهار روابط میان اقلیم و فرایندهای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




**شکل 4** نمودارهای شش‌گانهٔ پلتیر



[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-19 ]




**شکل 5** نمودار مناطق مورفوژنتیک 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 شمارهٔ سه مساحت قلمروهای شکل‌زایی را در منطقهٔ مورد مطالعه نشان می‌دهد.

**جدول 3** مساحت تحت پوشش فرایندهای شش‌گانهٔ شکل‌زایی در حوضهٔ آبریز جاجرود (کیلومتر مربع)

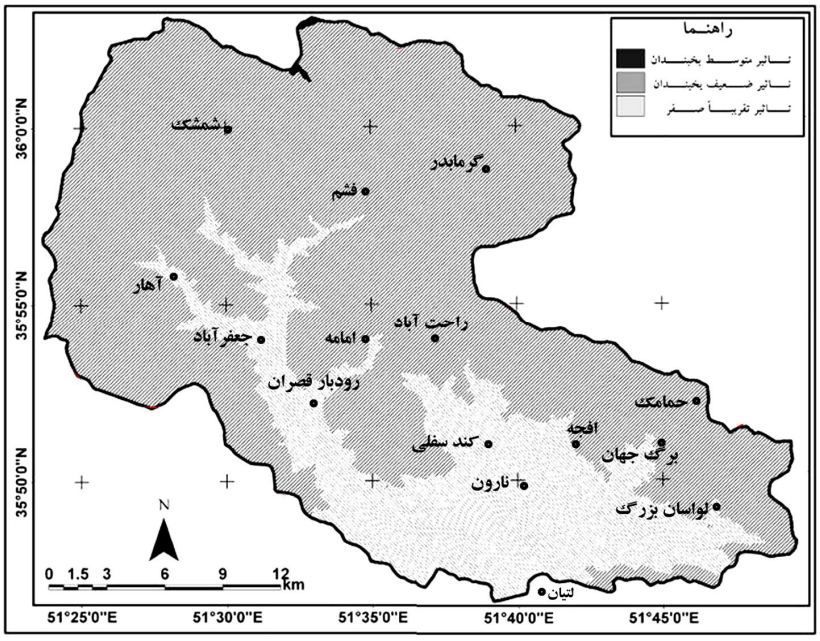
| شدت فرایند | نوع فرایند | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | هوازدگی | هوازدگی شیمیایی | یخبندان | پلوویال | باد | حرکات توده‌ای |
| ضعیف (شیمیایی) | 60/1 | 69/26 | 531/51 | - | | 586/5 |
| متوسط (شیمیایی) | 434 | 640/74 | 1/3 | 14/90 | 382/86 | 123/55 |
| زیاد (شیمیایی) | - | - | - | 695/10 | 327/14 | - |
| متوسط (توأم با تأثیر یخبندان) | 215 | - | - | - | - | - |
| ضعیف (مکانیکی) | - | - | - | - | - | - |
| متوسط (مکانیکی) | 0/9 | - | - | - | - | - |
| شدید (مکانیکی) | - | - | - | - | - | - |



[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-19 ]

### 4-3- بررسی یخبندان در آخرین دورهٔ یخچالی و دورهٔ حال در حوضهٔ مورد مطالعه

فرایند یخبندان مناطقی را اشغال کرده است که فاقد دمای بالایی هستند و درنتیجه، در آنجا هوازدگی مکانیکی بیشتر رخ می‌دهد. این فرایند، قلمروی را معرفی می‌کند که بارش بسیاری دارد و دمای آن اغلب، زیر صفردرجه است (زمانی، 1388: 113). با کاهش دما، شدت تأثیر یخبندان بیشتر می‌شود. شکل شمارهٔ شش نقشهٔ تقسیم‌بندی نظری تأثیر یخبندان را در منطقه نشان می‌دهد.




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

در جدول شمارهٔ چهار، ضریب هم‌بستگی، معادلهٔ 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 به‌دست‌آمده، در ماه آگوست میانگین دمای هوا در ارتفاعات



[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-19 ]

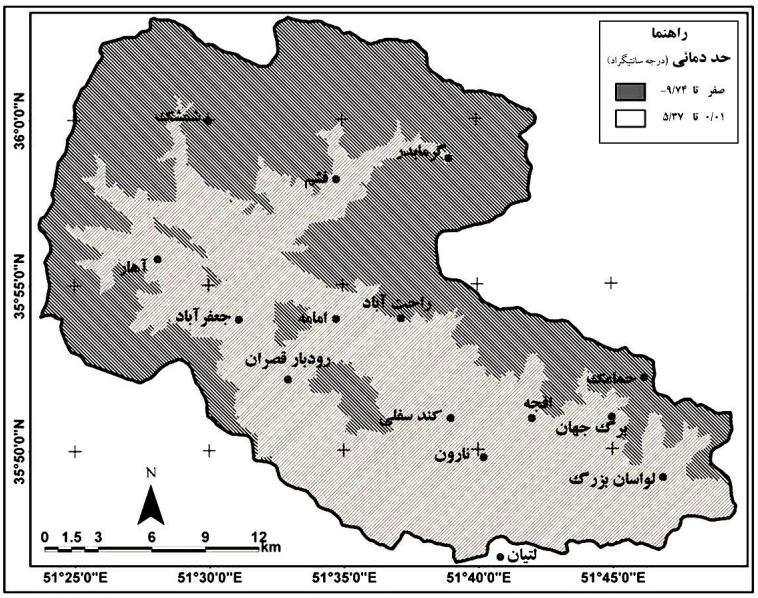
بالاتر از 5440 متر، کمتر از صفر است که حد یخبندان کنونی در این منطقه به‌شمار می‌آید. در ماه اکتبر حد یخبندان به 4585 متر کاهش می‌یابد و در ماه ژانویه به پایین‌ترین حد خود، یعنی ارتفاع 1856 متر می‌رسد. از ماه فوریه ارتفاع خط یخبندان دوباره سیر صعودی گرفته، در ماه آوریل به 3700 متر می‌رسد. شکل شمارهٔ هفت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

**جدول 4** ضریب هم‌بستگی، معادلهٔ خط رگرسیون و ارتفاع حد یخبندان در حوضهٔ جاجرود

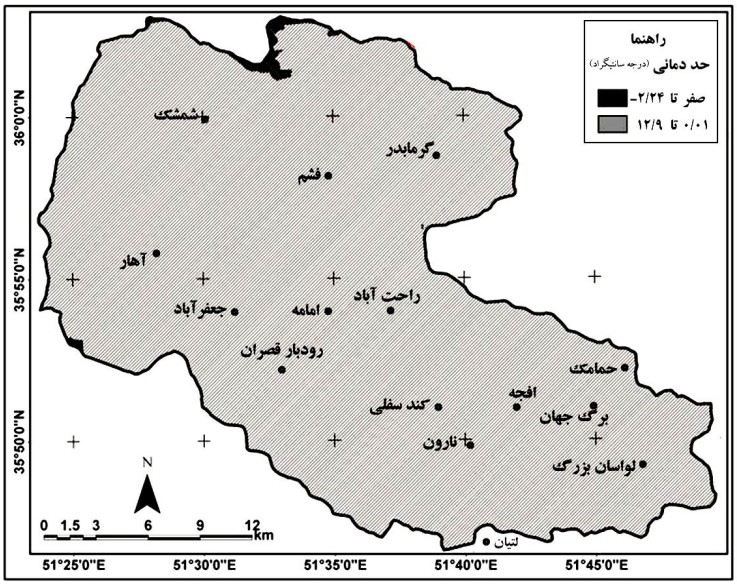
| ماه | ضریب تعیین ($R^2$) | معادلهٔ خط رگرسیون | ارتفاع حد یخبندان | ارتفاع میانهٔ یخبندان |
|---|---|---|---|---|
| ژانویه | 0.9237 | y = 0.9851x - 11.768 | 1565-2000 | 1782 |
| فوریه | 0.9595 | y = 1.0014x - 11.972 | 1565-1900 | 1732 |
| مارس | 0.9542 | y = 0.9635x - 7.3987 | 2400-3000 | 2700 |
| 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 |



[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-19 ]




**شکل 7** متوسط حد یخبندان در آخرین دورهٔ یخچالی در حوضهٔ جاجرود (ارتفاع 2500 متر)




**شکل 8** متوسط حد یخبندان دورهٔ کنونی در حوضهٔ جاجرود (ارتفاع 3800 متر)



[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-19 ]

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

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

قلمرو مجاوریخچالی به منطقه‌ای گفته می‌شود که بین 4220- 4000 متر ارتفاع دارد. میانگین دمای سالانهٔ آن بین 1- تا 2- درجه سلسیوس و میانگین بارش سالانهٔ 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 درجهٔ شمالی دیده می‌شود. این قلمرو بین 4000-3600 متر ارتفاع دارد و میانگین دمای سالانهٔ آن 2 تا 1- درجه سلسیوس و میانگین بارش سالانهٔ آن 1250-1060 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 سالانهٔ آن 3 تا 2 سلسیوس و میانگین بارش سالانهٔ 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 سالانهٔ آن 10 تا 3 درجه سلسیوس و میانگین بارش سالانهٔ آن 1090-560 میلی‌متر است. ویژگی‌های مورفولوژیکی ناحیهٔ 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 مجاوریخچالی با 0/87 کیلومترمربع کمترین مساحت حوضه را داراست.

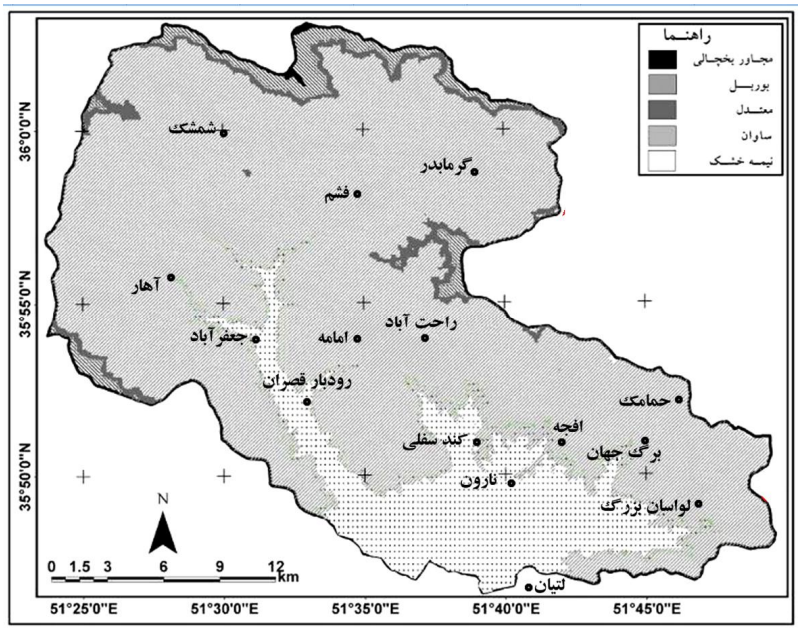


[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-19 ]

نتایج نشان می‌دهد حد پایین قلمرو یخچالی در ارتفاع 5220 متر، حد پایین قلمرو مجاوریخچالی 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 حوضهٔ آبریز جاجرود در زمان حاضر بر اساس مدل پلتیر

| منطقهٔ مورفودینامیک | حد ارتفاعی متر | حد میانهٔ ارتفاع | دامنهٔ میانگین سالانه | | مساحت کیلومتر مربع | مساحت درصد | منطقهٔ مورفوژنتیک |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | دما $C^o$ | بارش mm | | | |
| نیواسیون | 5220 متر به بالا | - | <-9 | >1400 | - | - | یخچالی |
| سولی‌فلوکسیون | 4000-4220 | 4110 | 1- تا 2- | 1250-1290 | 0/87 | 0/12 | مجاوریخچالی |
| بوریل | 3600-4000 | 3800 | 2 تا 1- | 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 حوضهٔ آبریز جاجرود بر اساس تقسیم‌بندی پلتیر



[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-19 ]

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

در شکل شماره ده قلمروهای مورفوکلیماتیک و مورفودینامیک کواترنری حوضهٔ مورد مطالعه به پنج ناحیه تقسیم شده است. بر اساس آن، قلمرو یخچالی، محدودهٔ ارتفاعی 4220-3900 را دربرمی‌گیرد که میانگین دمای سالانه در آن بین 7- تا 9- سلسیوس و میانگین بارش سالانهٔ آن 1490 تا 1400 میلی‌متر است. مساحت تحت پوشش این ناحیه، 0/66 درصد ( 4/66 کیلومتر مربع) از منطقهٔ مورد مطالعه است. از ویژگی‌های این قلمرو می‌توان به فرسایش یخچالی و نیواسیون اشاره کرد. قلمرو مجاوریخچالی به مناطقی گفته می‌شود که بین 3900-3000 متر ارتفاع دارند و میانگین دمای سالانهٔ 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، ناحیهٔ بوریل است که بین 3000-2100 متر ارتفاع دارد و میانگین دمای سالانهٔ آن 2 تا 2- سلسیوس است و با منحنی‌های هم‌بارش 1360-990 میلی متر مطابقت دارد. این قلمرو با 296/46 کیلومترمربع یا به‌عبارتی 40/92درصد، 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 حوضهٔ مورد مطالعه، معتدل (پلوویال) است. این قلمرو بین 2100-2000 متر ارتفاع دارد و با خط هم‌دمای 4 درجه سلسیوس مطابقت دارد. میانگین بارش سالانهٔ منطقهٔ معتدل 940-910 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 2300-1565 متر، میانگین دمای سالانه 6 تا 2 درجه سلسیوس و میانگین بارش990-783 میلی‌متر. این منطقه 224/47 کیلومترمربع (32/09 درصد) از 710 کیلومترمربع 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

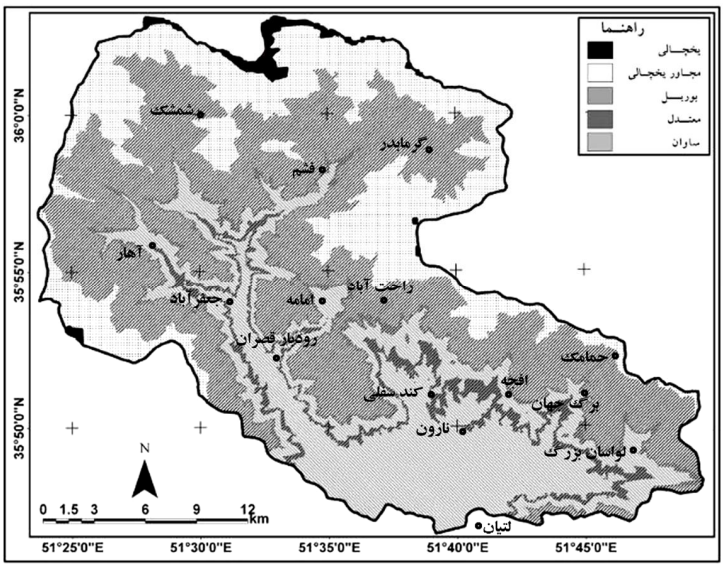


[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-19 ]

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

**جدول 6** مناطق مورفودینامیک و مورفوکلیماتیک حوضهٔ آبریز جاجرود در آخرین دورهٔ یخچالی

| منطقهٔ مورفودینامیک بر اساس نتایج به‌دست‌آمده | مرز ارتفاعی متر | حد میانهٔ ارتفاع | دامنهٔ میانگین سالانه | | مساحت کیلومترمربع | مساحت درصد | منطقهٔ مورفوژنتیک بر اساس نتایج به‌دست‌آمده |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | دما c° | بارش mm | | | |
| نیواسیون | 3900-4220 | 4060 | 7- تا 9- | 1400-1490 | 4/66 | 0/66 | یخچالی |
| سولی‌فلوکسیون | 3000-3900 | 3450 | 2- تا 7- | 1360-1400 | 151/74 | 21/67 | مجاور یخچالی |
| بوریل | 2100-3000 | 2250 | 2 تا 2- | 990-1360 | 296/46 | 40/92 | بوریل |
| پلوویال | 2000-2100 | 2050 | 4 | 910-940 | 32/67 | 4/66 | معتدل |
| علفزار (مداری و مجاورمداری) | 1565-2300 | 1982 | 2-6 | 783-990 | 224/47 | 32/09 | ساوان |
| جمع | | | | | 710 | 100 | |




**شکل 10** نواحی مورفوژنتیک و مورفودینامیک کواترنری حوضهٔ آبریز جاجرود بر اساس تقسیم‌بندی پلتیر

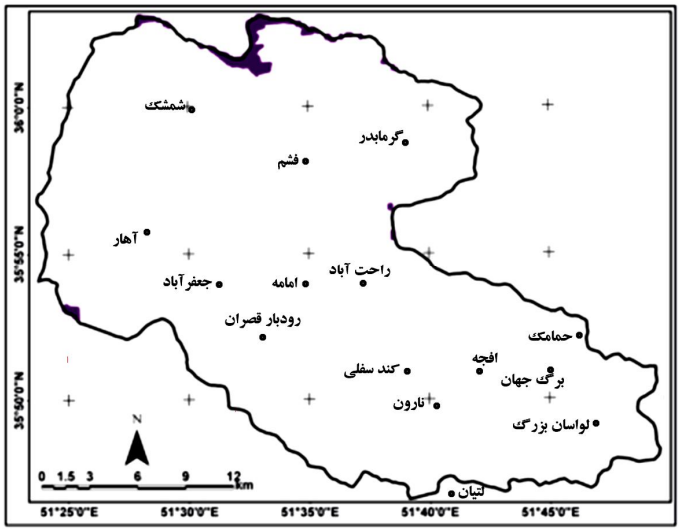


[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-19 ]

### 4-6- مقایسهٔ نتایج به‌دست‌آمده با نظریات محققان دیگر

مرز پایین قلمرو یخچالی، مرزبرف‌های دائمی است. در نقشهٔ شوایتزر، این مرز امروزه در دامنه‌های جنوبی البرز در حدود 4400 متری و در دامنه‌های شمالی البرز در حدود 4200 متر است. بوبک 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 منطقهٔ یخچالی را در ارتفاع 4390 متر و حد پایین منطقهٔ مجاوریخچالی 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 حوضهٔ آبریز جاجرود با استفاده از روش پلتیر، ارتفاع 5220 متر به بالا و قلمرو یخچالی در آخرین دورهٔ یخچالی نیز دامنهٔ ارتفاعی4220-3900 متر را تشکیل می‌دهد (شکل 11).



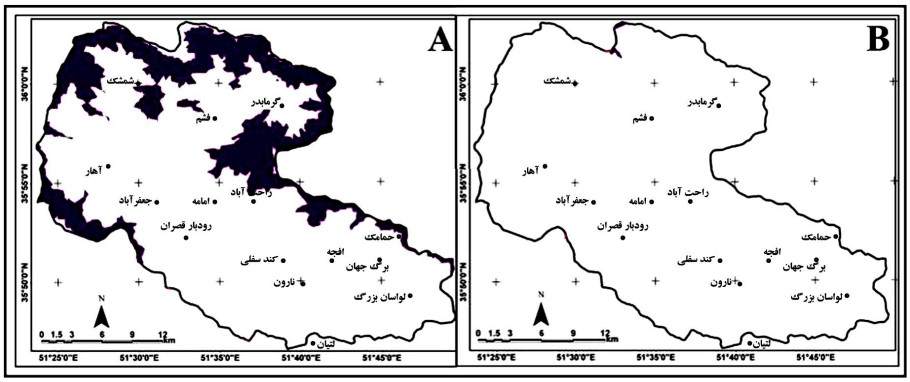

**شکل** 11 قلمرو یخچالی در آخرین دورهٔ یخچالی در حوضهٔ جاجرود، دامنهٔ ارتفاعی 4220-3900



[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-19 ]

نتایج مشاهدات پژوهشگران خارجی دربارهٔ مرز زیرین منطقهٔ سولی‌فلوکسیون به این شرح است: هورمن (1961) مرز سولی‌فلوکسیون 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 سولی‌فلوکسیون است.

در مورد مرز پایین سولی‌فلکسیون اختلاف زیادی وجود ندارد. هاگه‌درن این مرز را در ایران مرکزی در حال حاضر3000 متر و در دوره‌های سرد 1900 متر (شوایتزر و کوهله) و در ایران شمالی نیز ارقام مشابهی می‌دانند (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 مجاوریخچالی کواترنر با استفاده از مدل پلتیر برای حوضهٔ آبریز جاجرود، دامنهٔ ارتفاعی 3900-3000 متر و برای زمان حال، دامنهٔ ارتفاعی 4220-4000 متری را نشان می‌دهد (شکل 12).

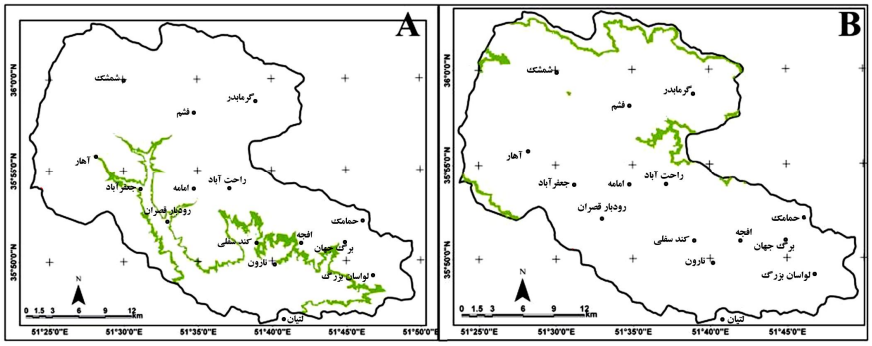



**شکل** 12 مقایسهٔ ارتفاع قلمرو مجاوریخچالی **A**: کواترنر3900-3000 متر و **B**: زمان حال 4220-4000 متر



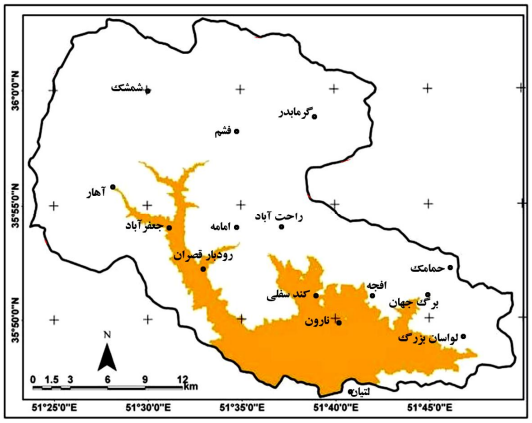
[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-19 ]

دره‌های فعال و شست‌وشوی دامنه‌ها در هر دو دامنه، شاهد برتری ماهیت نوع مورفوژنز 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 توسعهٔ بستر خود. فرسایش پلوویال حوضهٔ آبریز جاجرود در زمان حال دامنهٔ ارتفاعی 3000-3400 متر و در زمان کواترنر دامنهٔ ارتفاعی 2100-2000 متر را نشان می‌دهد (شکل 13).




**شکل** 13 مقایسهٔ ارتفاع قلمرو معتدل **A**: دورهٔ یخچالی2100-2000 متر و **B**: زمان حال 3400-3000 متر

با درنظرگرفتن شکل فرسایش در دامنه‌های کوهستانی منحنی هم‌بارش 560-394 میلی‌متری تقریباً با ارتفاع2200-1565 متر در حوضهٔ جاجرود مطابق است و قلمرو پدیمانتاسیون را در این حوضه نشان می‌دهد (شکل 14).




**شکل** 14 قلمرو پدیمانتاسیون در زمان حاضر، دامنهٔ ارتفاعی 2200-1565 متر



[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-19 ]

## 5- نتیجه‌گیری

جهت اصلی ناهمواری‌ها در حوضهٔ جاجرود، شمال‌غرب- جنوب‌شرق است. از آنجا که دامنه‌های روبه‌شمال از تابش خورشیدی کمتری برخوردارند، ماندگاری برف در آن‌ها بیشتر است و سیرک‌ها فراوانی بیشتری دارند؛ به‌گونه‌ای که 38/8 درصد سیرک‌ها روبه‌قطب و 24/7 درصد آن‌ها در دامنه‌های روبه‌استوا شکل گرفته‌اند. همچنین، بررسی‌ها نشان می‌دهد ارتفاع کف سیرک‌های یخچالی در حوضهٔ 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. با استفاده از این داده‌ها، از نظر پهنه‌بندی مورفودینامیک و مورفوژنتیک زمان حال، حوضهٔ جاجرود به پنج قلمرو مجاوریخچالی (سولی‌فلوکسیون)، بوریل، معتدل (پلوویال)، ساوان و نیمه‌خشک (پدیمانتاسیون) تقسیم می‌شود.

بر اساس این، حد پایین قلمرو مجاوریخچالی در ارتفاع 4000 متری قرار دارد. میانگین دمای سالانهٔ آن بین1- تا 2- درجه سلسیوس و میانگین بارش سالانهٔ 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 سالانهٔ آن 2 تا 1- درجه سلسیوس و میانگین بارش سالانهٔ آن 1250-1060 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 سالانهٔ آن 3 تا 2 سلسیوس و میانگین بارش سالانهٔ آن 1020-1060 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، ناحیهٔ ساوان است. حد پایین آن در ارتفاع 220 متر، میانگین دمای سالانهٔ آن 10 تا 3 درجه سلسیوس و میانگین بارش سالانهٔ آن 1090-560 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



[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-19 ]

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 مورفوژنتیک و مورفودینامیک آخرین دورهٔ یخچالی وورم در حوضهٔ جاجرود نیز به پنج منطقه تقسیم می‌شود. بر اساس این، حد پایین قلمرو یخچالی ارتفاع 3900 متر را داراست و میانگین دمای سالانهٔ آن بین 7- تا 9- سلسیوس و میانگین بارش سالانهٔ آن 1490 تا 1400 میلی‌متر است. از ویژگی‌های این منطقه می‌توان به فرسایش یخچالی و نیواسیون اشاره کرد. حد پایین قلمرو مجاوریخچالی ارتفاع3000 متر دارد و میانگین دمای سالانهٔ آن بین 2- تا 7- درجه سلسیوس و میانگین بارش سالانهٔ آن 1400 تا 1360 میلی‌متر است. ویژگی‌های مورفولوژیکی آن، تأثیر باد، حرکات توده‌ای شدید و فعالیت آب جاری ضعیف است. سومین قلمرو، ناحیهٔ بوریل است. حد پایین طبقهٔ ارتفاعی آن 2100 متر، و میانگین دمای سالانهٔ آن 2 تا 2- سلسیوس است و با منحنی‌های هم‌بارش 1360-990 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 حوضهٔ مورد مطالعه، معتدل (پلوویال) است. حد پایین ارتفاع این قلمرو 2000 متر است و با خط هم‌دمای 4 درجه سلسیوس مطابقت دارد. میانگین بارش سالانهٔ 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 بارش990-783 میلی‌متر. ویژگی‌های مورفولوژیکی آن نیز شامل فعالیت آب جاری شدید تا ضعیف و تأثیر باد در حد متوسط است. مقایسهٔ نتایج به‌دست‌آمده دربارهٔ مرزبندی‌های مورفودینامیک و مورفوکلیماتیک با نظریات محققان پیشین نشان می‌دهد مرزهای ذکرشده 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.



[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-19 ]

- ________ *ژئومورفولوژی ایران*، انتشارات دانشگاه پیام نور، 1383.
- رامشت، محمدحسین و محمدمهدی کاظمی، «آثار یخچالی در حوضهٔ اقلید فارس»، *رشد آموزش جغرافیا*، د21، ش4، صص3-11، 1386.
- زمانی، حمزه، *شواهد و حدود گسترش یخچال‌های کواترنری در البرز مرکزی*، رسالهٔ دکتری، دانشکدهٔ جغرافیا، دانشگاه تهران، 1388.
- علیزاده، امین، غلامعلی کمالی، فرهاد موسوی، و محمد موسوی بایگی، *هوا و اقلیم‌شناسی*، چ8، مشهد: انتشارات دانشگاه فردوسی، 1384.
- محمودی، فرج‌الله، «تحول ناهمواری‌های ایران در کواترنر»، *مجلهٔ پژوهش‌های جغرافیایی*، س20، ش23، 1367.
- منصورفر، کریم، *روش‌های آماری*، چ6، انتشارات دانشگاه تهران، 1382.
- منصف، مرتضی، *اصول و روش‌های آمار*، چ8، ج1، انتشارات دانشگاه تهران، 1372.
- نعمت‌الهی، فاطمه و محمدحسین رامشت، «آثار یخساری در ایران»، *مدرس علوم انسانی*، س9، ش4، صص1-19، 1384.
- وزارت نیرو، سازمان منابع آب کشور (تماب)، *داده‌های باران‌سنجی و تبخیرسنجی ایستگاه‌های حوضهٔ جاجرود*، 1346-1385.
- یمانی، مجتبی، «ژئومورفولوژی یخچال‌های علم‌کوه»، *پژوهش‌های جغرافیایی*، ش42 (بهار)، صص1-18، 1381.
- ________ «ژئومورفولوژی یخچال‌های زردکوه (بررسی اشکال ژئومورفولوژیک و حدود گسترش آن‌ها)»، *پژوهش‌های جغرافیایی*، ش59 (بهار)، صص125-139، 1386.
- یمانی، مجتبی، جمشید جداری عیوضی و ابوالقاسم گورابی، «شواهد ژئومورفولوژیکی مرزهای یخچالی در دامنه‌های کرکس، *مدرس علوم انسانی*، ش11 (پیاپی50)، 1386، صص207-228.
- 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



[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-19 ]

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 Glestscherkunde*, 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.



[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-19 ]

- _____ "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., "Klimatich 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 andclimate around the JunmHn Plain, central Peruvian Highlands", *Geogra"ska Annaler 65A*, Pp. 35-43, 1983.



[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-19 ]