جغرافیا و توسعه شماره ۳۹ تابستان ۱۳۹۴
وصول مقاله : ۱۳۹۱/۰۵/۰۱
تأیید نهایی : ۱۳۹۲/۰۴/۲۹
صفحات : ۷۴- ۶۱

بازسازی برف‌مرزهای آخرین دوره‌ی یخچالی با شواهد دوره‌های یخچالی در زاگرس شمال غربی (مطالعه موردی: تاقدیس قلاجه)

دکتر علی اکبر شمسی پور[۱]، دکتر سجاد باقری‌سیدشکری[۲]، مریم جعفری‌اقدم[۳]، جبار سلیمی‌منش[۴]

چکیده

وجود لندفرم‌های یخچالی و مجاور یخچالی در ارتفاعات قلاجه حاکی از تغییرات اقلیمی و تغییرات مرزهای مورفوژنیک است. مسأله‌ی اصلی این پژوهش شناسایی قلمروهای سرد یخچالی و مجاور یخچالی و برآورد ارتفاع خط برف‌مرز در زاگرس چین‌خورده با توجه به فقدان مطالعه در زاگرس چین‌خورده است. بنابراین هدف مطالعه شناسایی شواهد و اثبات حاکمیت وجود قلمرو مورفوژنز یخچالی و تعیین برف‌مرز آخرین دوره‌ی یخچالی در ارتفاعات قلاجه است. نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای IRS و داده‌های اقلیمی دما و بارش ماهانه، ابزارها و داده‌های اصلی تحقیق هستند. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای متعدد میدانی، موقعیت سیرک‌های منطقه شناسایی شده و به بازسازی خط تعادل برف و یخ گذشته (ELA) اقدام گردید. از روش ارتفاع کف سیرک پورتر و روش رایت برای برآورد حد برف‌مرز آخرین دوره‌ی یخچالی وورم و حال حاضر استفاده شد. از آزمون توان دوم کی (پیرسون) برای محاسبه‌ی رابطه بین گسترش و پراکنش سیرک‌ها با جهات ناهمواری‌ها استفاده گردید.

برف‌مرز دوره‌ی وورم با استفاده از مدل پورتر در ارتفاع ۲۰۱۹ متری و از روش رایت در ارتفاع ۲۰۱۵ متری به دست آمد. همچنین خط تعادل آب و یخ در دامنه‌های شمالی و جنوبی به ترتیب در ارتفاع ۲۰۳۳ و ۲۰۷۵ متر به‌دست آمد و ELA منطقه برابر با ۴۲ متر است. نتایج آزمون توان دوم کی نشان داد که بین شکل‌گیری سیرک‌های موجود در منطقه با جهات جغرافیایی و جهات ناهمواری‌ها ارتباط معناداری وجود دارد و سیرک‌های منطقه در دامنه‌های شمالی گسترش بیشتری داشته‌اند. بطوری‌که ۶۶/۷ درصد از سیرک‌های منطقه در دامنه‌های شمالی و ۳۳/۳ درصد سیرک‌ها در دامنه‌های جنوبی شکل گرفته‌اند. مقایسه‌ی نتایج به‌دست آمده از مدل‌های اقلیمی و شواهد ژئومورفولوژیکی آخرین دوره‌ی یخچالی، اثبات‌کننده‌ی حاکمیّت قلمرو یخچالی از ارتفاع ۲۰۰۰ متری به بالا در ارتفاعات قلاجه است.

کلیدواژه‌ها: تغییرات اقلیمی، کواترنری، یخچال کوهستانی، برف‌مرز، تاقدیس قلاجه.

۱- دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه تهران (نویسنده مسؤول) shamsipr@ut.ac.ir
۲- دانش‌آموخته دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران sajadbagheri@ut.ac.ir
۳- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان M.jafaroi.geo@gmail.com
۴- دستیار علمی، دانشگاه پیام نور gs11889@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

تغییر در مرزهای مورفودینامیکی و مورفوکلیماتیکی نشانه‌ی تغییرات اقلیمی است. شواهد ژئومورفولوژیکی موجود در ارتفاعات زاگرس (تاقدیس قلاجه) نشان-دهنده‌ی غلبه‌ی اقلیم سردتر و حاکمیت قلمروهای یخچالی و مجاور یخچالی در این ارتفاعات است که امروزه از شرایط اقلیمی متفاوت و گرمتری برخوردار هستند. مطالعه‌ی یخچال‌ها راهنمای خوبی در پی بردن به تغییرات اقلیمی گذشته و پیش‌بینی آینده است. بنابراین اگرچه تغییرات آب و هوایی پدیده‌ای جهانی است،ولی روند و آثار این پدیده در مقیاس‌های محلی متفاوت بوده و بررسی این تغییرات در مقیاس محلی باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد *(Sharma & Shakya, 2006: 322)*.

در واقع امروزه با رخداد گرم شدن زمین، این‌گونه مطالعات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده‌اند و شواهد ژئومورفولوژیکی یخچالی و مجاور یخچالی یکی از بارزترین ابزارهای پژوهش در تغییرات اقلیم گذشته است، و نتایج این پژوهش‌ها علاوه بر مشخص نمودن عوامل مؤثر در تکوین ژئومورفولوژی مناطق مختلف، می‌توانند در بررسی روند تغییرات اقلیمی در آینده نیز مورد توجه قرار گیرند. مسأله‌ی اصلی در این مطالعه این است که هیچ‌گونه مطالعه‌ای در این زمینه‌ی پژوهشی در زاگرس‌چین‌خورده انجام نگرفته و مطالعات گذشته تنها محدود به کردستان شمالی است و ارقام متفاوتی برای برف‌مرزها در مناطق غربی ایران و همچنین زاگرس پیشنهاد شده است. نواحی مرتفع کوهستان‌هایی که در بالاتر از خط تعادل آب و یخ قرار گرفتند، تحت تأثیر فرسایش یخچالی قرار می‌گیرند *(Brook et al,2008:24)*.

بازسازی ارتفاع خط تعادل آب و یخ با استفاده از آثار یخچال‌های کوهستانی اواخر پلیوستوسن یک روش اصلی برای پی بردن به سرد یا خشک بودن آب و هوا در ارتفاعات است *(Prentice et al, 2005: 93)*. در مناطق مختلف جهان مطالعاتی در زمینه‌ی یخچال‌های کوهستانی انجام گرفته است که می‌توان به مطالعات اسپوتیلا و همکاران[1] (۲۰۰۴) در کوهستان چوگاچ[2] آلاسکا، کرکبراید و همکار[3] (۱۹۹۷) در کوهستان بن‌اوها[4] در نیوزیلند، میشل و همکاران[5] (۲۰۰۶) در کوهستان‌کاسکاد[6] ایالات‌متحده و اوسکاین و همکاران[7] همکاران[7] (۲۰۰۵) در کوهستان تین‌شان[8] قزاقستان اشاره نمود. آغازگر پژوهش در زمینه‌ی یخبندان‌های کواترنر ایران را می‌توان دمرگان[9](۱۸۹۰) دانست که به به بررسی سیرک‌های اشترانکوه لرستان پرداخته است. در ادامه پژوهشگرانی همچون بوبک[10] (۱۹۳۴) در کوه‌های البرز و ارتفاعات کردستان، دزیو[11] (۱۹۳۴) در زردکوه، رایت[12](۱۹۸۳) در ارتفاعات زاگرس در امتداد مرز ایران و عراق، هاگه‌درن[13] (۱۹۷۴) در شیرکوه یزد، فیشر[14](۱۹۶۸) در کوههای البرز و علم‌کوه اشاره نمود *(جداری‌عیوضی، ۱۳۸۳: ۷۳)*.

در ایران نیز می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد: تحول‌ناهمواری‌های ایران در دوره‌ی کواترنر در پژوهشی مورد توجه قرار گرفت و ضمن برشمردن شواهد متعدد برای اثبات و تناوب دوره‌های بارانی، خشک و سرد، ارتفاع برف‌مرز در نواحی کوهستانی مختلف ایران مشخص شد و در کردستان شمالی ارتفاع برف‌مرز ۱۸۰۰ متر برآورد گردید و مشخص شد دیواره زاگرس مرتفع که عموماً ارتفاع بالای۳۵۰۰ متر دارند تحت تسلط قلمرو یخچالی بوده‌اند *(محمودی، ۱۳۶۷: ۴۱)*.

1-Spotila et al, 2004
2-Chugach–St Elias
3-Kirkbride and Matthews, 1997
4-Ben Ohau
5-Mitchell and Montgomery, 2006
6-Cascade
7-Oskin et al, 2005
8-Tien Shan
9-De Morgan,1890
10-Bobek, 1933
11-Desio, 1934
12-Wright, 1983
13-Hagedorn, 1974
14-Fisher,1968

Archive of SID

www.SID.ir

در پژوهشی دیگر یخچال‌های کوهستانی زاگرس تکامل نیافته معرفی شدند که به‌صورت سیرک‌های کم‌عمق در مجاور هم واقع شده‌اند و در ارتفاع ۴۰۰۰ متر به بالا واقع شده‌اند *(ابرلندر، ۱۳۷۸: ۱۲۶)*.

در مطالعه‌ای لندفرم‌های‌یخچالی در ارتفاعات علم‌کوه شناسایی شده و حدود گسترش زبانه‌های یخچالی در حال حاضر و در آخرین دوره‌ی یخچالی تعیین گردید *(یمانی،۱۳۸۱: ۱۸-۱)*. در پژوهشی شواهد ژئومورفولوژی فرسایش یخچالی پلیوستوسن در ارتفاعات تالش مورد بررسی قرار گرفت *(طاحونی، ۱۳۸۳: ۵۵-۳۱)*. در پژوهشی با روش رایت و واکاوی داده‌های هواشناسی اقدام به بازسازی شرایط دمایی در دوره‌ی سرد و ردیابی آثار یخساری در منطقه‌ی سلفچگان قم اقدام شد *(رامشت و همکاران، ۱۳۸۳: ۱۳۲-۱۱۹)*.

در پژوهشی با عنوان آثار یخساری در ایران، نسبت به ردیابی آثار یخساری محتمل در زاگرس اقدام گردید *(نعمت‌الهی و همکاران، ۱۳۸۴: ۱۶۲-۱۴۳)*. وجود آثار یخچالی در دره‌های بر آفتاب حوضه سخوید رشته کوه‌های شیرکوه همراه با یک معبر بزرگ یخچالی مورد شناسایی قرار گرفت *(مدرسی، ۱۳۸۴: ۱)*.

در تحقیقی دیگر اشکال ژئومورفیک یخچال‌های زردکوه و حدود گسترش آنها بررسی شد، به اعتقاد محقق بیشینه‌ی گسترش زبانه‌های یخچالی تا ارتفاع ۲۵۰۰ متر و مرز تشکیل سیرک‌ها دست‌کم تا ۳۴۰۰ متر است *(یمانی، ۱۳۸۶)*.

در پژوهشی با پایه قرار دادن کف سیرک‌های‌یخچالی در دامنه‌های کوه‌های کرکس برای میانگین دمای صفر درجه، به بازسازی شرایط دمایی آخرین دوره‌ی یخچالی اقدام شد، همچنین اشکالی چون سیرک‌های یخچالی، یخرفت‌ها، حد گسترش زبانه‌های یخچالی که از مهمترین شواهد تحولات اقلیمی به‌شمار می‌روند پرداختند *(یمانی و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۳۹- ۱۲۵)*.

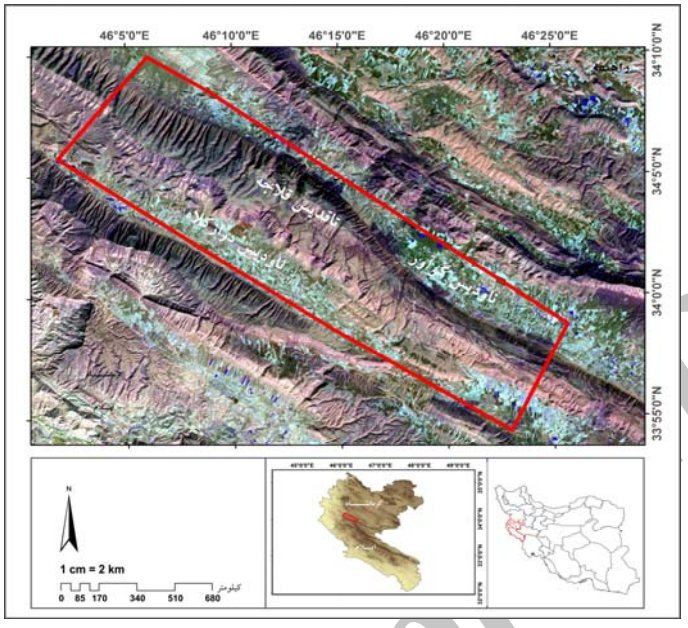
در مطالعه‌ای با توجه به‌شواهد و آثار ژئومورفیک باقیمانده از یخچال‌های‌کواترنری در منطقه‌ی اقلیدفارس شرایط محیطی منطقه در سردترین فاز یخچالی کواترنری بازسازی شد *(رامشت و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۱-۳)*. در پژوهشی بر حوضه‌های جاجرود و کرج در دامنه جنوبی و حوضه‌های نور و هراز در دامنه شمالی البرز مرکزی، ارتفاع برف‌مرز گذشته ارتفاع ۲۷۲۰ متری و در حوضه آبریز جاجرود ارتفاع برف‌مرز ۲۷۸۰ متری محاسبه شد *(زمانی، ۱۳۸۸: ۱)*. در پژوهشی دیگر بازسازی برف‌مرزهای پلیستوسن در حوضه جاجرود با بهره‌گیری از روش کف سیرک‌پورتر و روش رایت انجام شد و ارتفاع خط برف‌مرز دوره وورم با روش پورتر ۳۰۷۲ متر و روش رایت ۳۰۹۵ متر به دست آمد *(یمانی و همکاران، ۱۳۹۰: ۵۰-۳۵)*. در واکاوی شرایط اقلیم دیرینه و شواهد مورفیک دشت کرگاه خرم‌آباد، ارتفاع ۲۲۷۰ متری به عنوان خط تعادل آب و یخ شناسایی گردید *(بازگیر و همکاران، ۱۳۸۹: ۳۴۷)*. هدف این پژوهش شناسایی شواهد ژئومورفولوژیکی یخچالی، تعیین حد برف‌مرز در دوره‌ی وورم و در پایان‌شناسایی حاکمیّت و وجود قلمرو مورفوژنز یخچالی در زاگرس چین‌خورده و ارتفاعات قلاجه است.

موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

تاقدیس قلاجه در زاگرس شمال‌غربی در محدوده‌ی مرز بین استان‌های کرمانشاه و ایلام واقع شده است (شکل۱). منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر زمین‌شناسی ساختمانی،در زون‌چین‌های برگشته زاگرس‌چین‌خورده واقع شده است. بیشینه ارتفاع تاقدیس قلاجه ۲۳۵۵ متر و وسعت منطقه‌ی مورد پژوهش برابر با ۳۷۰ کیلومتر مربع است که با روند شمال غربی- جنوب شرقی بین عرض‌های جغرافیایی ´۵۵ °۳۳ تا ´۱۰ °۳۴ شمالی و طول‌های جغرافیایی ´۴۶۰۰۰ تا °۴۶۰۰۰ تا ´۲۵ °۴۶ شرقی واقع شده است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل۱: موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در تصویر ماهواره‌ای

مأخذ: تصاویر IRS، ۲۰۰۲

مواد و روش‌ها

این پژوهش یک تحقیق بنیادی- توسعه‌ای مبتنی بر روش‌های کتابخانه‌ای،برداشت‌های میدانی،تحلیل‌های آماری، مدل‌های رایت و پورتر است. ابتدا با استفاده از بازدیدمیدانی و نقشه‌های‌توپوگرافی منطقه، فرم خطوط منحنی میزان، تصاویر Google Earth، سیرک‌های موجود در منطقه شناسایی شده و مختصات دقیق آنها با GPS مشخص گردید. سپس با استفاده از داده‌های دما و بارش ایستگاه‌های هواشناسی منطقه و با استفاده از نرم‌افزارهای GIS و Excel و Spss همبستگی میان پارامترهای ارتفاع -بارش و ارتفاع- دما محاسبه شده و مبتنی بر میزان همبستگی به دست آمده، نقشه‌های هم‌دما و هم‌بارش زمان حال ترسیم شد. در ادامه، خط مرز برف به‌روش رایت‌وپورتر محاسبه گردید. با محاسبه افت آهنگ دما و با استفاده از ارتفاع خط برف دائمی موجود و میزان تغییرات دمایی، نقشه‌های هم‌دمای زمان گذشته به‌دست می‌آید. در مرحله‌ی بعد با همپوشانی نقشه‌های هم‌دما و هم‌بارش زمان حال، همبستگی نقطه‌ای بین دما و بارش زمان حال محاسبه و از طریق فرمول به دست آمده از GIS نقشه‌ی هم بارش زمان گذشته نیز ترسیم گردید. با مبنا قرار دادن کف سیرک‌های منطقه برای دمای صفر درجه، تفاوت دمایی محاسبه گردید، سپس با استفاده از شواهد ژئومورفولوژیکی، بازسازی ارتفاع خط تعادل (ELA)[1] در منطقه تعیین گردید. به منظور بررسی معنی‌دار بودن رابطه میان گسترش سیرک‌ها و جهات ناهمواری، تحلیل را بر مبنای روش‌های آماری قرار داده و از روش آزمون توان دوم‌کی[2] یا آزمون مجذور X استفاده شده است. در نهایت نقشه‌ی ژئومورفولوژی عهد حاضر و آخرین دوره‌ی یخچالی با توجه به نتایج این پژوهش تهیه، همچنین از نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی،عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای IRS ۲۰۰۲، آمار ایستگاه‌های باران‌سنجی و تبخیرسنجی منطقه به عنوان داده‌های پژوهش استفاده گردید. نرم‌افزار ArcGIS 9.3، Spss وX5 Coreldraw برای

Archive of SID

www.SID.ir

تهیه‌ی نقشه‌ها، محاسبات آماری و آماده‌سازی تصاویر مورد استفاده قرار گرفت.

یافته‌های پژوهش

شواهد دوره‌های سرد در ارتفاعات قلاجه

بررسی‌های میدانی، وجود نمونه‌های مختلفی از لندفرم‌های یخچالی و مجاور یخچالی از جمله سیرک (شکل۲)، یخرفت، سطوح یخرفتی (شکل۳)، رودسنگ‌ها (شکل ۴)، پشته‌های سنگی، دامنه‌های بلوکی، تالوس، تالوس بهمنی، ریگولیت، برف چال، سولی‌فلوکسیون و ژلی فراکسیون (شکل ۴) را در منطقه اثبات می‌نماید. شکل (۵) نقشه ژئومورفولوژی زمان حال منطقه با تکیه بر شواهد ژئومورفولوژیکی دوره‌ای سرد را نشان می‌دهد.

شکل۲: نمایی از سیرک‌های منطقه؛ الف) تصویر گوگل ارث، ب)نمایی از کف سیرک ج)پرتگاه مسلط بر سیرک *مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰*

شکل ۳: نمایی از سطوح انباشته از یخرفت در دامنه جنوبی قله کچل

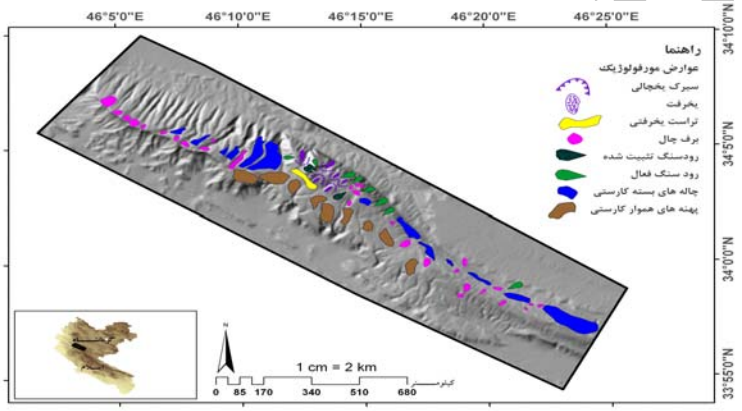
مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

1-Equilibrium-line Altitudes
2-Chi-Square Test

www.SID.ir

شکل ۴: لندفرم‌های مجاوریخچالی؛ الف) سولی فلوکسیون، ب) ژلی فراکسیون، ج) نمایی از رودسنگ

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰



شکل ۵ : نقشه‌ی ژئومورفولوژی با تأکید بر شواهد یخچالی و مجاوری یخچالی زمان حال در تاقدیس قلاجه

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

در منطقه‌ی مورد مطالعه ۶ سیرک شناسایی شده که سیرک‌های رو به‌شمال دارای بیشترین فراوانی‌می‌باشند (جدول ۱). پایین‌ترین سیرک منطقه در ارتفاع ۱۹۵۰ متری در جهت شمال و بالاترین سیرک‌ها در ارتفاع ۲۱۰۰ متری در جهت جنوب گسترش دارند.

جدول ۱: توزیع فراوانی سیرک‌های یخچالی در ارتفاعات قلاجه

جهات پراکندگی سیرک‌ها	فراوانی	درصد
شمال	۳	۵۰
جنوب	۲	۳۳/۳
شمال غرب	۱	۱۶/۷
جمع ΣX	۶	۱۰۰

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

داده‌های جدول (۱) نشان می‌دهد که بین فراوانی، تعداد و حجم سیرک‌ها با جهت ناهمواری‌ها ارتباط وجود دارد. برای آزمون معنی‌دار بودن رابطه، تحلیل بر مبنای روش‌های آماری قرار گرفت. چون در اینجا مقیاس اندازه‌گیری جهت‌های جغرافیایی است که ارزش اسمی دارند، برای آزمون معنی‌دار بودن توزیع متغیّر در جامعه باید از آزمون‌های غیرپارامتریک استفاده نمود *(منصورفر، ۱۳۸۲: ۲۲۳)*. بیشترین فراوانی سیرک‌ها در دامنه‌های رو به شمال بوده یعنی دامنه‌های رو به شمال برای تشکیل و ماندگاری اشکال یخچالی مناسب‌تر بوده و شکل‌گیری سیرک‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه تابع و معلول جهت ناهمواری‌ها است.

جهت اصلی ناهمواری‌ها در ارتفاعات قلاجه، شمال غرب- جنوب‌شرق می‌باشد و این امر باعث می‌شود که دامنه‌های رو به‌جنوب تابش‌خورشیدی بیشتری دریافت دارند و در نتیجه در دامنه‌های شمالی برف بیشتری انباشته می‌شود و سیرک‌های بیشتری را نیز می‌توان در

Archive of SID

www.SID.ir

این دامنه‌ها شاهد بود، بطوری‌که ۶۶/۷ درصد سیرک‌ها رو به‌شمال و ۳۳/۳درصد سیرک‌ها در دامنه‌های رو به جنوب شکل گرفته‌اند. به منظور بررسی ارتباط میان فراوانی، تعداد و حجم سیرک‌ها با جهات ناهمواری‌ها و معنی‌دار بودن آن از رابطه‌ی آزمون توان دوم کی یا آزمون مجذور X استفاده شد.نخست داده‌های سیرک‌ها با توجه به‌جهات هشت‌گانه دسته‌بندی و از رابطه‌ی یک برای محاسبه استفاده شد. جدول (۲) مراحل کار و نتیجه را نشان می‌دهد.

رابطه ۱:

$$X^2 = \frac{\Sigma(O - E)}{2}$$

O = فراوانی مشاهده شده

E = فراوانی مورد انتظار

X^2 = آزمون توان دوم کی

جدول ۲: آزمون مجذور کی در حوضه‌ی مورد مطالعه

سیرک‌ها	شمال غرب	غرب	جنوب غرب	جنوب	جنوب شرق	شرق	شمال شرق	شمال	کل
فراوانی مشاهده شده O	۱	–	–	۲	–	–	–	۳	ΣX ۶
احتمال تحت فرض H_0	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۱
فراوانی مورد انتظار E	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۶
$\frac{(0-E)2}{E}$	۰/۰۸	۰/۷۴	۰/۷۴	۲/۰۸	۰/۷۴	۰/۷۴	۰/۷۴	۶/۷۵	۱۲/۶۱ d.f =۷

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

میزان درجه آزادی در اینجا برابر با $v=d.f=k-1$ یعنی تعداد گروه‌های جدول منهای ۱، زیرا بر طبق نظریه ریاضی چون در محاسبه فراوانی نظری از مجموع فراوانی مشاهده شده استفاده می شود در نتیجه درجه آزادی k-1 می‌شود.چون X^2 محاسبه شده یعنی ۱۲/۶۱ از X^2 جدول درجات آزادی X^2 یعنی۱۲/۰۲ در سطح ۰/۱۰ بزرگتر است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که بین فراوانی‌های مشاهده شده و فراوانی‌های مورد انتظار تناقض و تفاوت وجود داشته و اختلاف و تفاوت موجود تصادفی نمی‌باشد. از آنجا که فرضیه‌ی صفر رد می‌شود می‌توان نتیجه گرفت که در این منطقه، سیرک‌های یخچالی در جهت قطب گسترش بیشتری داشته است.

تعیین ارتفاع برف‌مرزها

روش ارتفاع کف سیرک

در این پژوهش از میان روش‌های پنج‌گانه پورتر از روش ارتفاع کف سیرک استفاده شده است. بر اساس نظر پورتر، یخچالی که فقط سیرک را پر می‌کند، ELA دائمی آن معمولاً خیلی بالاتر از میانگین ارتفاع کف سیرک (CF) [1] نیست (شکل۶). بنابراین استفاده از این روش (مطالعه‌ی کف‌سیرک) مناسب برای تعیین ارتفاع خط تعادل‌های گذشته است *(Porter, 2001: 1068)*. بر این اساس بعد از آماده‌سازی جدول (۳)، از رابطه دو برای محاسبه‌ی نما یا مد استفاده و میانگین حسابی و مد (نما) هر یک در زیر آن یاداشت شد.

رابطه ۲:

$$M_0 = L + \left(\frac{f_1}{f_1 + f_2}\right) \times h$$

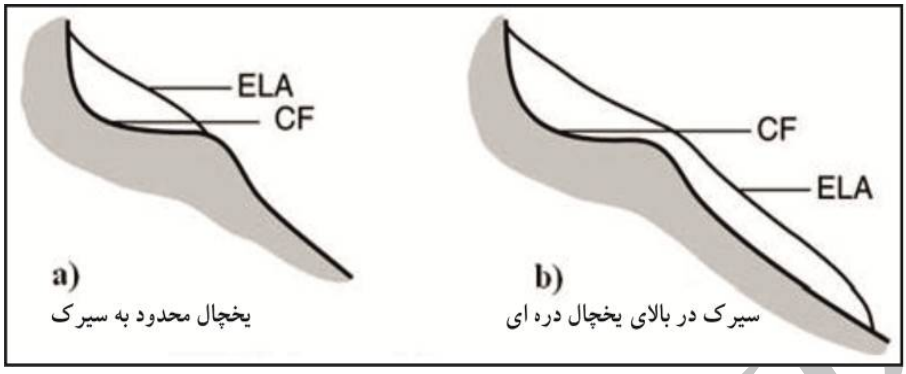
L: حد پایین طبقه نمادار

F_1: تفاضل طبقه ماقبل طبقه نمادار از فراوانی طبقه نمادار

F_2: تفاضل طبقه مابعد طبقه نمادار از فراوانی طبقه نمادار *(منصف،۱۳۷۲: ۸۰)*

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۶: روش ارتفاع کف سیرک

مأخذ: پورتر، ۲۰۰۱

همان‌طور که دیده می‌شود ارتفاع کف سیرک‌های یخچالی در منطقه‌ی مورد مطالعه، ۲۰۱۷ متر و مقدار مد یا نما ۲۰۱۹ متر است. میانگین‌نما برای سیرک‌های رو به قطب برابر با ۲۰۳۳ متر و برای سیرک‌های رو به استوا برابر با ۲۰۷۵ متر است. پایین‌ترین و بالاترین سیرک‌های منطقه با ارتفاع ۱۹۵۰ و ۲۱۰۰ متر در جهت جنوب قرار دارند. با توجه به مدل نامبرده، ارتفاع برف‌مرز گذشته (آخرین دوره‌ی یخچالی) برابر با مقدار نما در ارتفاع کف سیرک‌های یخچالی است که البته این ارتفاع در دامنه‌های شمالی و جنوبی با هم اختلاف داشته و میزان این‌اختلاف برابر با ELA=42m است (شکل ۷). بنابراین نتیجه‌ی به دست آمده از این روش، ارتفاع برف‌مرز در حوضه‌ی مورد مطالعه ۲۰۱۹ متر (شکل ۸).

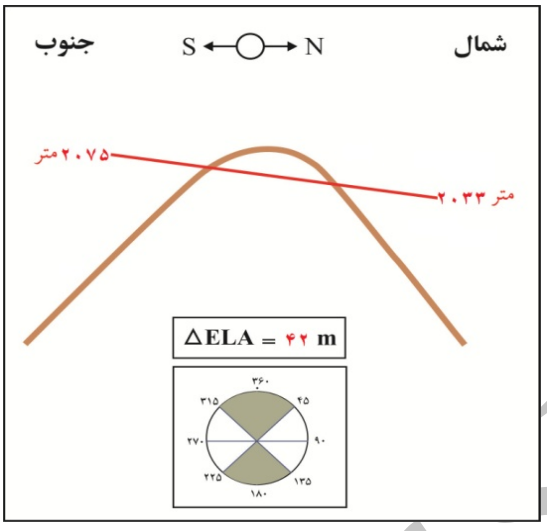
جدول ۳: توزیع فراوانی ارتفاع کف سیرک‌های یخچالی در حوضه‌ی مورد مطالعه

درصد	جهات جغرافیایی								فراوانی‌سیرک	طبقات ارتفاعی
	شمال‌غرب	غرب	جنوب‌غرب	جنوب	جنوب‌شرق	شرق	شمال‌شرق	شمال		
										۱۸۰۰-۱۹۰۰
۵۰	۱	-	-	۱	-	-	-	۱	۳	۱۹۰۰-۲۰۰۰
۵۰	-	-	-	۱	-	-		۲	۳	۲۰۰۰-۲۱۰۰
	-	-	-		-	-	-	-		۲۱۰۰-۲۲۰۰
	-	-	-		-	-	-	-		۲۲۰۰-۲۳۰۰
	-	-	-		-	-	-	-		۲۳۰۰-۲۳۲۷
۱۰۰	-	-	-		-	-	-	-	۶	جمع
۱۹۷۵	۱۹۰۰	-	-	۲۰۷۵	-	-	-	۱۹۵۰		میانگین ارتفاع (متر)
۲۰۱۹	۱۹۵۰	-	-	۲۰۷۵	-	-	-	۲۰۳۳		نما (متر)
۲۰۳۳										سیرک‌های رو به قطب
۲۰۷۵										سیرک‌های رو به استوا
۴۲										ΔELA

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

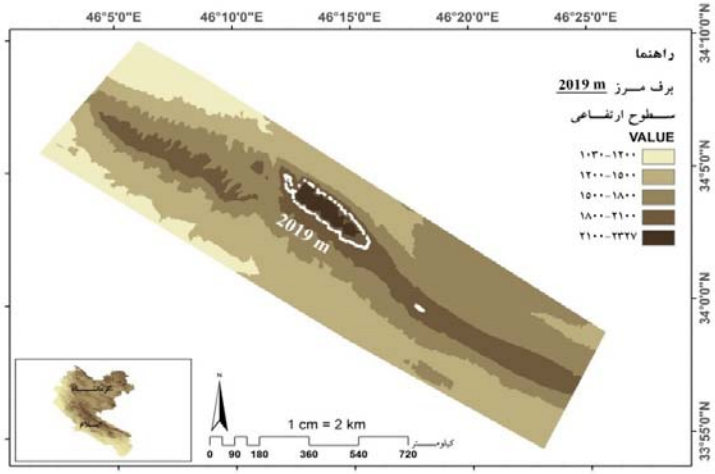
Archive of SID

www.SID.ir



شکل۷ : اختلاف برف‌مرز و خط تعادل در دو دامنه براساس مقدار نما

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰



شکل۸: ارتفاع برف‌مرز در آخرین دوره‌ی یخچالی کواترنر براساس روش پورتر

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

با استفاده از نرم افزار GIS و داده‌های به دست آمده، ارتفاع برف‌مرز زمان حال در تاقدیس قلاجه نیز محاسبه گردید. خط برف‌مرز حال حاضر در منطقه در ارتفاع ۳۱۸۵ متری قرار دارد که در مرز منطقه‌ی مورد مطالعه قرار ندارد.

روش رایت

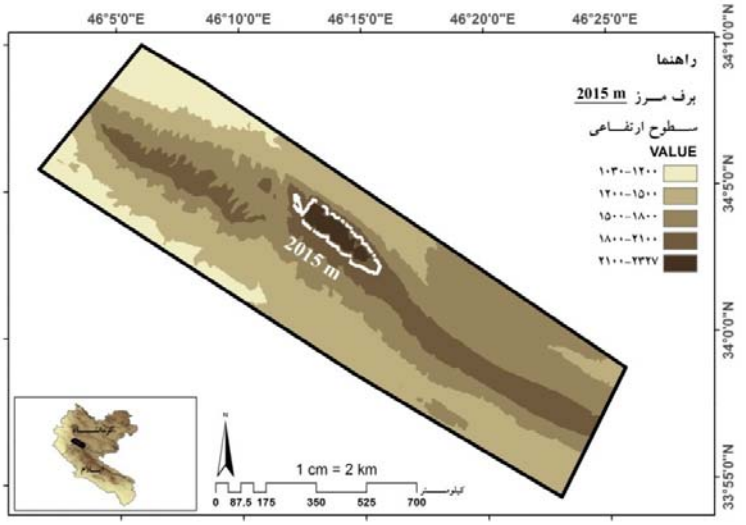
با مطالعه سیرک‌های موجـود در منطقـه و با استفاده از روش رایت می‌توان برف‌مرز دوره‌ی یخچـالی منطقه را تعیین‌نمود. در روش رایت با تعیین مکان‌سیرک‌های کوچک و گذراندن خط ۶۰ درصد از آنها، برف‌مرز دائمی تعیین می‌شود *(رامشت و نعمت‌الهی، ۱۳۸۴: ۱۳)*. بنابر جدول (۴) ارتفاع خط برف که به این روش به دست می‌آید، ۲۰۱۵ متر است (شکل ۹). به عبارتی در آخرین دوره‌ی یخچالی روی این خط دما برابر صفر درجه سلسیوس بوده و برف همیشگی وجود داشته است. مقایسه بین روش رایت و پورتر اختلاف ۴ متری میان دو روش را نشان می‌دهد.

www.SID.ir

جدول۴: تعیین خط ۶۰٪ در روش رایت

درصد	فراوانی تجمعی	فراوانی سیرک	طبقات ارتفاعی
۱۶/۶	۱	۱	۱۹۵۰
۵۰	۳	۲	۲۰۰۰
۵۰	۳	۰	۲۰۱۵
۸۳/۳	۵	۲	۲۰۵۰
۱۰۰	۶	۱	۲۱۰۰
–	–	–	۲۲۰۰
–	–	–	۲۳۰۰
		۶	جمع

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱



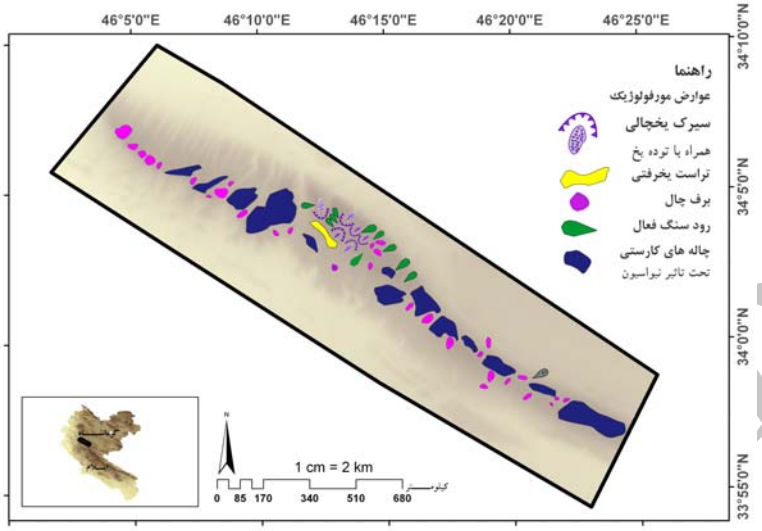
شکل ۹: ارتفاع برف‌مرز در آخرین دوره‌ی یخچالی وورم براساس روش رایت

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

بازسازی نقشه‌ی ژئومورفولوژی منطقه در آخرین دوره‌ی یخچالی

به منظور بازسازی نقشه‌ی ژئومورفولوژی آخرین دوره‌ی یخچالی در منطقه از نتایج به دست آمده از مدل‌های مختلف و همچنین شواهد ژئومورفولوژیکی استفاده گردید. بر اساس مدل پورتر، ارتفاع برف‌مرز در آخرین دوره‌ی یخچالی ۲۰۱۹ متر بوده و خط تعادل آب یخ در دامنه‌های شمالی ۲۰۳۳ و در دامنه‌های جنوبی ۲۰۷۵ متر است. بنابراین با توجه شواهد ژئومورفولوژیکی دوره‌ی سرد و ارتفاع آنها در منطقه با ارقام به دست آمده تطبیق داده شده و نقشه‌ی‌ژئومورفولوژی آخرین دوره‌ی یخچالی منطقه بازسازی گردید (شکل۱۰).

www.SID.ir



شکل ۱۰: نقشه‌ی ژئومورفولوژی بازسازی شده آخرین دوره‌ی یخچالی با تأکید بر لندفرم‌های یخچالی و مجاور یخچالی در تاقدیس قلاجه

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

نتیجه

بر پایه‌ی نتایج به دست آمده از مدل‌های پورتر و رایت و همچنین شناسایی شواهد ژئومورفولوژیکی لندفرم‌های یخچالی و مجاور یخچالی، حاکمیت قلمروهای مورفوژنز یخچالی و مجاور یخچالی برای اولین‌بار در قلمرو زاگرس چین‌خورده و ارتفاعات قلاجه اثبات گردید. بر اساس مدل پورتر خط برف‌مرز دائمی در آخرین دوره‌ی یخچالی در منطقه‌ی مورد مطالعه ۲۰۱۹ متر و بر اساس مدل رایت، ۲۰۱۵ متر بوده که نتایج این دو مدل تنها ۴ متر اختلاف را نشان می‌دهند. همچنین خط تعادل آب و یخ در دامنه‌ی شمالی ۲۰۳۳ و در دامنه جنوبی ۲۰۷۵ متر بوده است. خط تعادل آب و یخ منطقه ۴۲ متر می‌باشد. محاسبات انجام شده با استفاده از داده‌های دما و بارش در محیط نرم‌افزار GIS، ارتفاع برف‌مرز زمان حال در منطقه‌ی مورد مطالعه ارتفاع ۳۱۸۵ متری را نشان می‌دهد. شواهد یخچالی در ارتفاع ۲۰۰۰ متر به بالا به صورت سیرک و یخرفت به‌صورت کاملاً واضحی قابل شناسایی هستند. بنابراین خط برف‌مرز در زاگرس چین خورده نسبت به کردستان شمالی ۲۰۰ متر بالاتر بوده است. با توجه به‌جهت شمال‌غربی-جنوب‌شرقی ناهمواری‌های منطقه، میزان دریافت تابش خورشید باعث اختلاف ارتفاع در خط تعادل آب و یخ در منطقه شده و همچنین تعداد سیرک‌های رو به شمال و جنوب تفاوت فاحشی را نشان می‌دهند، بطوری‌که ۶۶/۷ درصد سیرک‌ها رو به قطب و ۳۳/۳ درصد سیرک‌ها در دامنه‌های رو به استوا شکل گرفته‌اند. با استفاده از آزمون توان‌دوم کی مشخص گردید که بین شکل‌گیری و گسترش سیرک‌های یخچالی با جهات جغرافیایی و جهات ناهمواری‌ها ارتباط معنی‌داری وجود دارد و سیرک‌های یخچالی در جهت قطب گسترش بیشتری داشته است.در پایان می‌توان نتیجه‌گرفت که مقایسه‌ی نتایج به‌دست آمده از مدل‌های اقلیمی و شواهد ژئومورفولوژیکی آخرین دوره‌ی یخچالی اثبات‌کننده

Archive of SID

www.SID.ir

حاکمیّت قلمروهای‌یخچالی و مجاور یخچالی در دوره‌ی وورم در ارتفاعات قلاجه هستند. بررسی نقشه‌های ژئومورفولوژیکی زمان حال و زمان گذشته حاکی از گسترش بسیار بیشتر لندفرم‌های قلمروهای یخچالی و مجاور یخچالی در منطقه‌است. بسیاری از لندفرم‌های دوره‌های سرد از جمله رودسنگ‌ها در دوره‌ی گرم هولوسن تثبیت شده و فعال نیستند. در دوره‌ی سرد، سیرک‌های منطقه، رودسنگ‌ها، برف‌چال‌ها و همچنین چاله‌های بسته کارستی از نظر شکل‌زایی فعال بوده و تحت تأثیر یخ و ذوب در طول سال تحول یافته‌اند. امروز شرایط سرد فقط در طول دوره ۴ ماهه آذر تا اسفند در منطقه حاکم است و تخریب‌های مکانیکی سنگ بر اثر یخبندان و همچنین تغذیه محدود رودسنگ‌های فعال منطقه در این چند ماه صورت می‌گیرد. در نهایت می‌توان چنین نتیجه گرفت ارتفاع به عنوان عامل اصلی در ارتباط با عوامل عرض جغرافیایی، بخصوص بارش منطقه، درجه بری بودن، جهت دامنه‌ها، کنترل‌کننده قلمروهای مورفوژنز منطقه در زمان حال و گذشته می‌باشند. تلفیق مدل‌های اقلیمی و شواهد ژئومورفولوژیکی نتایج مطلوبی در تعیین قلمروهای مورفوژنز زمان حال و گذشته دارند.

منابع

- ابرلندر، تئودور (۱۳۷۸). رودخانه‌های زاگرس از دیدگاه ژئومورفولوژی،ترجمه معصومه رجبی و احمد عباس‌نژاد. انتشارات دانشگاه تبریز.
- بازگیر، فضل‌الله؛ منصور شاهرخوندی؛ بهروز پروانه (۱۳۸۹). پالئوکلیمایی دشت‌کرگاه و شواهد مورفیک ناشی از آن، همایش کاربرد جغرافیای طبیعی در برنامه‌ریزی محیطی. دانشگاه آزاد خرم‌آباد.
- جداری‌عیوضی، جمشید (۱۳۸۳). ژئومورفولوژی ایران، انتشارات دانشگاه پیام نور.
- رامشت،محمدحسین؛ نادر شوشتری (۱۳۸۳). آثار یخساری و یخچالی در سلفچگان قم، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. شماره ۷۳. صفحات ۱۳۲-۱۱۹.
- رامشت، محمدحسین؛ محمدمهدی کاظمی (۱۳۸۶). آثار یخچالی در حوضه‌ی اقلیدفارس، رشد آموزش جغرافیا. دوره ۲۱. شماره ۴. صفحات ۱۱-۳.
- زمانی، حمزه (۱۳۸۸). شواهد و حدود گسترش یخچال‌های کواترنری در البرز مرکزی، استاد راهنما: مجتبی یمانی و جمشید جداری‌عیوضی. پایان‌نامه دکتری. دانشکده جغرافیا. دانشگاه تهران.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (۱۳۷۵).نقشه توپوگرافی ۱: ۵۰۰۰۰، کال کش، ایوانغرب، گواور.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، تصاویر ماهواره‌ای سنجنده IRS سال(۲۰۰۲).
- سازمان‌جغرافیایی نیروهای مسلح، عکس هوایی ۱: ۵۵۰۰۰، سال۱۳۳۵.
- سازمان منابع آب کشور (تماب)، داده‌های باران‌سنجی و تبخیرسنجی، ۱۳۴۰ تا ۱۳۸۸.
- طاحونی،پوران (۱۳۸۳). شواهد ژئومورفولوژیک فرسایش یخچالی در ارتفاعات تالش، پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۴۷. صفحات ۵۵-۳۱.
- محمودی، فرج‌الله (۱۳۶۷). تحول ناهمواری‌های ایران در کواترنر، پژوهش‌های جغرافیایی شماره ۲۳. صفحات ۴۳-۵.
- مدرسی، سیدعلی (۱۳۸۴). هیدروژئومورفولوژی حوضه آبخیز سخوید یزد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد واحد نجف‌آباد. استاد راهنما: محمدحسین مبین.

Archive of SID

www.SID.ir

- منصف، مرتضی (۱۳۷۲).اصول و روش‌های‌آمار، انتشارات دانشگاه تهران. چاپ هشتم. جلد یکم.
- منصورفر، کریم (۱۳۸۲). روش‌های آماری، چاپ ششم. انتشارات دانشگاه تهران.
- نعمت‌اللهی، فاطمه؛ محمدحسین رامشت (۱۳۸۴). آثار یخساری در ایران، مدرس علوم انسانی. دوره ۹. شماره ۴. صفحات ۱۶۲-۱۴۳.
- یمانی،مجتبی(۱۳۸۱). ژئومورفولوژی یخچال‌های علم‌کوه، پژوهش‌های جغرافیایی. شماره۴۲. صفحات ۱۸-۱.
- یمانی،مجتبی (۱۳۸۶). ژئومورفولوژی یخچال‌های زردکوه (بررسی اشکال ژئومورفولوژیک و حدود گسترش آنها)، پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۵۹. صفحات ۱۳۹-۱۲۵.
- یمانی،مجتبی؛ جمشید جداری‌عیوضی؛ ابوالقاسم گورابی (۱۳۸۶). شواهد ژئومورفولوژیکی مرزهای یخچالی در دامنه‌های کرکس، مدرس علوم انسانی. شماره ۱۱. پیاپی ۵۰. صفحات ۲۲۸-۲۰۷.
- یمانی، مجتبی؛ علی‌اکبر شمسی‌پور؛ مریم جعفری‌اقدم (۱۳۹۰). باسازی برف‌مرزهای پلیوستوسن درحوضه‌های جاجرود. پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی. شماره ۷۶. صفحات ۳۵-۵۰.
- Bobek, H (1934). Reise in Nordwest Persien 1934 (Travel in northwest Persia 1934: Zeitschrift der Gesellschaft fur Erdkunde zu Berlin, Vols. 9/10, PP:359-369.
- Brook,M., Kirkbride, M., Brock, B (2008). Temporal constraints on glacial valley cross-profile evolution: Two Thumb Range, central Southern Alps, New Zealand, Geomorphology , Vol, 97. PP:24-34.
- Kirkbride, M.P., Matthews, D (1997). The role of fluvial and glacial erosion in landscape evolution: the Ben Ohau Range, New Zealand. Earth Surface Processes&Landforms22,317-327.
- Mitchell, S.G., Montgomery, D.R (2006). Influence of a glacial buzzsaw on the height and morphology of the Cascade Range in central Washington State, USA. Quaternary Research 65, 96–107.
- Oskin, M., Burbank, D.W (2005). Alpine landscape evolution dominated by cirque retreat. Geology 33, 933–936.
- Porter, Stephen C (2001). Snowline Depression in the Tropics During the Last Glaciation, Quaternary Science Reviews, No. 20.
- Prentice, M., Hope, G., Maryunani, K., Peterson, J (2005). An evaluation of snowline data across New Guinea during the last major glaciation, and area-based glacier snowlines in the Mt. Jaya region of Papua, Indonesia, during the Last Glacial Maximum, Quaternary International, Vol, 138-139, PP:93-117.
- Sharma, R.H., N. Shakya. M (2006). Hydrological changes and its impact on water resources of Bagmati watershed, Nepal, Journal of Hydrology. Vol 327, Issues 3-4: 315-322.
- Spotila, J.A., Buscher, J.T., Meigs, A.J., Reiners, P.W (2004). Longterm, glacial erosion of active mountain belts: example of the Chugach–St Elias Range, Alaska. Geology 32, 501–504.
- Wright Jr., H.E (1983). Late-Pleistocene Glaciation and Climate Around the JunmHn Plain, central Peruvian Highlands. Geogra"ska Annaler 65A, PP:35-43.

Archive of SID

www.SID.ir