Archive of SID

هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۱۸، سال ۵، بهار ۱۳۹۸، صص ۹۶-۷۹
Hydrogeomorphology, Vol.5, No.18, Spring 2019, pp (79-96)

مرز سیستم شکل‌زای یخچال کواترنری در حوضه‌های آبریز شمال غرب ایران

غلامحسن جعفری[۱]*، نسرین حضرتی[۲]

وصول مقاله: ۱۳۹۶/۰۹/۱۰ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۷/۰۸/۲۲

چکیده

واحد شمال غربی که محل تلاقی رشته‌کوه‌های شمالی و جنوب غربی ایران است، یک منطقه‌ی کوهستانی به‌حساب می‌آید. شواهد فراوانی از فعالیت‌های یخچالی کواترنری در این واحد باقی‌مانده است. در راستای همین مسئله، این مقاله درصدد آن است که با توجه به آثار یخچالی موجود در منطقه به برآورد ارتفاع برف مرز کواترنری آن بپردازد. با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و انعکاس فرم اشکال یخچالی بر روی نقشه‌ها، بیش از ۴۰۰۰ سیرک یخچالی شناسایی شد که در بین حوضه‌های آبریز ارس، سفیدرود و دریاچه‌ی ارومیه پراکنده‌شده است. با توجه به قرارگیری مناطق کوهستانی این منطقه، سیرک‌های یخچالی در قسمت‌های غرب، شرق و مرکز واحد شناسایی شدند. ارتفاع برف مرز به روش‌های رایت، ارتفاع کف سیرک، نسبت پنجه به دیواره و نسبت‌های ارتفاعی برآورد شد. در این واحد ژئومورفیک سیرک‌های یخچالی از ارتفاع ۱۸۰۰ متر به بالا امکان شکل‌گیری داشته‌اند. تجزیه و تحلیل ارتفاعات برآورد شده گواه این است که ارتفاع برف مرز دائمی در روش ارتفاع کف سیرک پورتر، به دلیل انعکاس اثرگذاری جهت بر ارتفاع برف مرز نسبت به سایر روش‌ها با واقعیت انطباق بیشتری دارد. ارتفاع برف مرز کواترنری بین ۲۴۵۳ متر (حوضه‌ی آبریز ارس) تا ۲۶۸۵ متر (حوضه‌ی آبریز سفیدرود) متغیر برآورد گردید (۲۳۲ متر اختلاف ارتفاع). این اختلاف نشان‌دهنده‌ی کاهش ارتفاع برف مرز از جنوب به شمال است. متوسط ارتفاع برف مرز این واحد ۲۵۸۶ متر است. تجزیه و تحلیل یافته‌ها نشان می‌دهد که این واحد در دوره‌های سرد تحت حاکمیت سیستم شکل‌زایی یخچالی بوده است.

کلمات کلیدی: کواترنری، سیرک، برف مرز، ارتفاع کف سیرک.

۱ـ دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا دانشگاه زنجان، زنجان، ایران، (نویسنده‌ی مسئول).
E-mail:jafarihas@yahoo.com
۲ـ دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

روند تغییرات اقلیمی که از اوایل کواترنر شروع‌شده است، تاکنون نقش خود را در زمین ایفا نموده است در واقع می‌توان گفت که ،مورفولوژی کنونی زمین، ساخته و پرداخته شرایط آب‌وهوایی کواترنری است (اسفندیاری درآبادی، ۱۳۸۸: ۸۳). یخچال‌ها از شاخص‌های تغییر اقلیم هستند و یخچال‌های سیرکی شاید بهترین مورد برای این منظور باشد، چراکه اندازه و حجم اندک و نیز سرعت زیاد واکنش آنها به تغییرات مثبت و منفی که معمولاً طی دو سال آشکار می‌شود، باعث شده تا از آنها به‌مثابه شواهدی بر تغییر اقلیم استفاده کنند (یمانی و زمانی، ۱۳۹۵: ۳۰۸). در دوره‌ی کواترنر شرایط یخچالی و بین یخچالی به‌تناوب به وقوع پیوسته و شواهد ژئومورفولوژیکی انکارناپذیری بر جای گذاشته است. با استفاده از این شواهد می‌توان برای تعیین برف مرز و حدود گسترش یخچالی و مطالعه تغییرات اقلیمی آن دوره اقدام نمود. این امر به این دلیل امکان‌پذیر است که فرایندهای بیرونی تغییردهنده‌ی شکل زمین نتوانسته‌اند به‌طور کامل آثار باقی‌مانده از فرسایش یخچالی کواترنری را از بین ببرند (یمانی و زمانی، ۱۳۸۶: ۱۰۰).

اولین بار در قرن نوزدهم در اروپا مطالعه آثار ژئومورفولوژیکی یخچال‌ها آغاز شد. وجود سنگ‌های سرگردان در برخی کشورهای اروپایی، ذهن محققان علوم زمین را در رابطه با موضوع یخچال مشغول کرد و باعث شکل‌گیری تئوری یخچالی گردید (رامشت، ۱۳۸۱: ۹۸). از قرن نوزدهم تا به امروز محققان زیادی در رابطه با یخچال‌های جهان مطالعاتی انجام داده‌اند. مطالعات یخچال‌شناسی در ایران با تحقیقات دومورگان فرانسوی (۱۸۹۰)، آغاز شد اما مطالعات جدی‌تر در رابطه با یخچال‌های کواترنری ایران (۱۹۳۳)، توسط هانس بوبک انجام گردید (جداری عیوضی، ۱۳۸۹: ۴۴). پس از او نیز در طی این سال‌ها افراد زیادی به مطالعه‌ی یخچال‌های ایران پرداخته‌اند. یمانی (۱۳۸۵)، به بررسی اشکال ژئومورفیک یخچال‌ها و حدود گسترش آن‌ها در منطقه‌ی زردکوه پرداخت و به این نتیجه رسید که در دامنه‌های شمال غربی این رشته‌کوه و اطراف قلل اصلی، بیش از ۱۵ سیرک و زبانه‌ی یخچالی وجود دارد (رامشت و همکاران، ۱۳۹۰: ۶۱). بهادری

www.SID.ir

Archive of SID

(۱۳۸۶)، با اتکا به شواهد و آثار ژئومورفیک باقی‌مانده از یخسارهای دوران چهارم، منطقه‌ی سمیرم را مطالعه کرد و برای اولین بار وجود آثار یخساری را در منطقه‌ی سمیرم اثبات کرد و حاصلخیزی این منطقه را به نهشته‌های به‌جامانده از پهنه‌های عظیم یخ ارتباط داد (نقل از سیف و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۹۵). یمانی و زمانی (۱۳۸۶)، وقتی یخچال‌های زردکوه بختیاری را مطالعه کردند، آن را به‌عنوان وسیع‌ترین و گسترده‌ترین یخچال موجود در منطقه‌ی زاگرس معرفی کردند و با بررسی اشکال ژئومورفیک یخچال‌های زردکوه، حداکثر گسترش زبانه‌های یخچالی را تا ارتفاع ۲۵۰۰ متر و ارتفاع مرز تشکیل سیرک‌ها را تا ۳۴۰۰ متر بیان کرده‌اند. اسفندیاری و خیام (۱۳۸۶)، منشأ و نحوه‌ی تشکیل لندفرم‌های یخچالی را در دامنه‌های شرقی سبلان مطالعه نمودند و به دلیل شرایط جغرافیایی کوه سبلان، برف را عامل شکل‌گیری و توسعه بسیاری از اشکال معرفی نمودند. سرور و مجتهدی (۱۳۹۰)، در البرز غربی (کوه خشچال) مطالعاتی را انجام دادند و شکل‌گیری یخچال توسط سه عامل زمین‌ساخت، ریخت‌شناسی و تغییرات آب‌وهوایی را در این منطقه تأیید نمودند. معیری و همکاران (۲۰۱۱) اثر جهت ناهمواری‌ها بر تفاوت ارتفاع خط تعادل آب و یخ را در ایران بررسی نمودند. قهرودی و حسنی (۱۳۹۱)، در کوهستان قندیل در مرز عراق و ایران مطالعاتی انجام دادند که حداکثر ارتفاع آن ۳۴۰۰ متر می‌باشد. ارتفاع برف مرز در آخرین دوره‌ی یخچالی را ۱۶۵۰ متر برآورد کردند. سیف و ابراهیمی (۲۰۱۴) به مورفومتری سیرک‌های یخچالی در زردکوه بر اساس مدل ارتفاعی با دقت ۱۰ متری به مطالعه‌ی شکل‌سنجی و ارتفاع سنجی سیرک‌ها پرداختند و به این نتیجه رسیدند که توسعه‌ی عمودی سیرک‌ها از گسترش طولی و عرضی آن کندتر است. قهرودی و همکاران (۱۳۹۴)،ارتفاع برف مرز را در آخرین دوره‌ی یخچالی در حوضه‌ی دالاخانی کرمانشاه در آخرین دوره‌ی یخچالی در ارتفاع ۲۸۲۰ متری برآورد نمودند. رسوبات یافت شده تا این ارتفاع، منشأ یخچالی دارند. صادقی و همکاران (۱۳۹۴)، مرز مناطق مورفوژنتیک و مورفودینامیک را در استان کرمانشاه تعیین نمودند و این نکته را اثبات کردند که عامل ارتفاع با تغییر در متغیرهای دما و بارش، عامل اصلی کنترل‌کننده‌ی شدت عمل هوازدگی در منطقه است.

www.SID.ir

Archive of SID

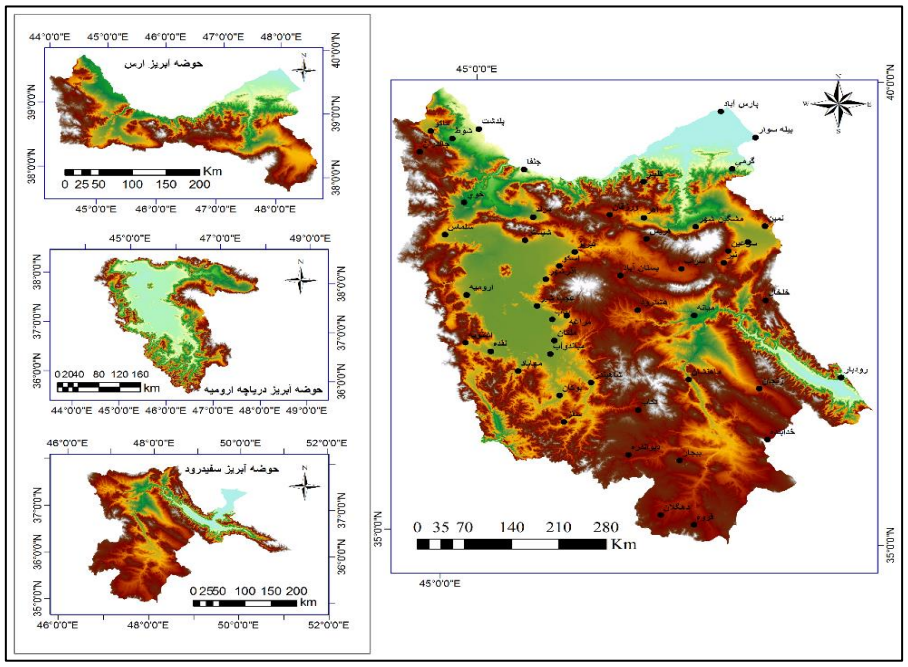
جعفری و همکاران (۱۳۹۴)، با روش‌های رایت، شیب-جهت و ضریب خمیدگی به بازسازی ارتفاع برف مرز کواترنری الوند همدان پرداختند. نتیجه مطالعات آن‌ها، مناسب بودن دامنه‌های نسار برای شکل‌گیری و فعالیت یخچالی مورد تأیید قرار داده است. خوش‌رفتار و همکاران (۱۳۹۵)، شواهد ژئومورفولوژیکی یخچال‌های کوهستانی در کوه شاه البرز در منطقه‌ی البرز غربی را بررسی کردند و برای بررسی شواهد یخچالی، روش‌های تجربی را به کار گرفتند و در دامنه‌ی شمالی که هم‌اکنون تحت تأثیر فرسایش آبی است، سیرک‌های یخچالی را شناسایی کردند. قربانی شورستانی و همکاران (۱۳۹۵)، به بررسی شواهد ژئومورفولوژیکی یخچالی کواترنری در ارتفاعات شمال شرق ایران (کوه بینالود) پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که سیرک‌های یخچالی بین ۲۱۰۰ تا ۳۳۸۰ متری پراکنده شده‌اند و ارتفاع برف مرز بین ۲۳۵۰ تا ۲۵۰۰ متر قرار گرفته است. یمانی و زمانی (۱۳۹۵)، ارتفاع خط تعادل را در آخرین دوره‌ی یخچالی در دره‌ی هراز در ارتفاع ۲۷۹۹ متر برآورد کردند و آن‌ها به تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و ارتباط بین جهت و ارتفاع ناهمواری‌ها و چگونگی پیدایش اشکال مورفولوژی یخچالی پرداختند.

طالقانی (۱۳۹۱) واحد شمال غربی را به‌عنوان گره کوهستانی ایران معرفی کرده است، به طوری‌که رشته‌کوه‌های شمالی و جنوب غربی ایران با ساختمان‌های متفاوت در این ناحیه به هم می‌رسند؛ و چون شمال غرب محل تلاقی و به فشردگی سه فلات است و این موضوع باعث پیچیدگی و بی‌نظمی ناهمواری‌های این منطقه شده است. واحد شمال غربی شامل مجموعه ناهمواری‌هایی است که در محدوده‌ی سیاسی آذربایجان، کردستان و زنجان گسترده شده‌اند. امتداد واحد ژئومورفیک شمال غربی از ۴۴ تا ۵۱ درجه طول شرقی و ۳۵ تا ۳۹ درجه‌ی عرض شمالی می‌باشد. این ناهمواری‌ها از سمت شمالی، به‌وسیله‌ی فرورفتگی دره‌ی ارس از کوه‌های قفقاز و ارمنستان جدا شده‌اند. مرز غربی هم‌مرز سیاسی کشور را با ترکیه تعیین می‌کند. در شرق، ناهمواری‌های شمال غرب توسط کوه‌های تالش محدودشده است. در جهت جنوبی، مرز مشخصی برای جدا کردن آن از زمین‌های مجاور وجود ندارد؛ زیرا بعضی ویژگی‌های این ناحیه تا شروع

www.SID.ir

Archive of SID

کوه‌های زاگرس دیده می‌شود. در جنوب شرقی نیز تحول شکل زمین تدریجی هست و تا مسافتی ویژگی‌های آذربایجان را دارد (شکل ۱). تنوع عوارض ژئومورفولوژی در این ناحیه به دلیل اتصال رشته‌کوه‌های مختلف با ویژگی‌های ساختمانی متفاوت زیاد می‌باشد. این ناحیه در دوره‌های سرد کواترنر تحت حاکمیت سیستم شکل‌زایی یخچالی و مجاور یخچالی بوده است. برف مرز دائمی در این ناحیه تا ۱۸۰۰ متری پایین آمده است (طالقانی، ۱۳۹۱: ۱۰۲). این حوضه دارای زیرحوضه‌های ارس، دریاچه‌ی ارومیه، سفیدرود می‌باشد.



شکل (۱) موقعیت مکانی واحد ژئومورفیک شمال غربی و حوضه‌های آبریز آن

مواد و روش‌ها

از موارد اساسی که در مطالعات یخچال‌شناسی باید به آن توجه شود ارتفاع برف مرز دائمی است. در نقشه‌های توپوگرافی، اشکال مربوط به فعالیت‌های یخچالی فرم خاصی

www.SID.ir

Archive of SID

دارند. در اولین قدم با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ به شناسایی لندفرم‌های یخچالی مانند سیرک‌های یخچالی مبادرت شد. برای شناسایی این شواهد از فرم خطوط منحنی میزان، وضعیت آبراهه‌ها و مدل ارتفاعی رقومی ۳۰×۳۰ و نرم‌افزارهای Arc GIS، Global Mapper استفاده گردید. جهت کلی سیرک‌های شناسایی‌شده با توجه به امتداد ناهمواری‌ها مشخص شد، امتداد خط‌الراس اصلی، تعیین‌کننده‌ی جهت شکل‌گیری سیرک‌ها است. با استفاده از نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ایران، شرایط لیتولوژیکی مکان سیرک‌های این واحد بررسی شد و از اطلاعات سیرک‌های شناسایی‌شده در رسوبات دیاژنز نشده آبرفتی یا رسوبات حساس به فرسایش مثل مارن و رس، در برآورد ارتفاع برف مرز استفاده نگردید. آثار یخچالی بر روی سنگ‌هایی در برابر فرسایش مقاوم نیستند برای مدت طولانی باقی نمی‌ماند. در ادامه برای برآورد ارتفاع برف مرز چندین روش مختلف به کار گرفته شد. روش رایت اولین رایج‌ترین روشی است که ارتفاع برف مرز منطقه با آن برآورد گردید که با تعیین مکان سیرک‌ها و گذراندن خط ۶۰ درصد از آن برف مرز دائمی تعیین می‌شود (جعفربیگلو و همکاران، ۱۳۹۳). روش رایت به‌صورت دو رابطه‌ی مختلف که در این روش فراوانی سیرک (n)، بالاترین ارتفاع سیرک (Hmax)، پایین‌ترین ارتفاع سیرک (Hmin) به کار گرفته شد. برای تجزیه و تحلیل ارتفاع برف مرزهای برآوردی علاوه بر رابطه‌ی (۱) از رابطه‌ی (۲) نیز برای برآورد ارتفاع برف مرز به روش رایت در دو مرحله استفاده شد. در مرحله‌ی اول به این صورت که حداکثر ارتفاع از حداقل ارتفاع کسر و عدد حاصله بر عدد ۱۰۰ تقسیم و در عدد ۶۰ ضرب شد. از جمع عدد به‌دست‌آمده از این مرحله با کمترین ارتفاع سیرک شناسایی‌شده، ارتفاع برف مرز محاسبه شد. در مرحله‌ی دوم نیز همانند مرحله‌ی اول عمل شد با این تفاوت که در این مرحله جهت جغرافیایی شکل‌گیری سیرک‌ها نیز در نظر گرفته شد ولی در این مرحله داده‌های آن دسته از سیرک‌هایی که در رسوبات دیاژنز نشده مثل کنگلومرا و سست قرار داشتند، از مجموع داده‌های مورد تجزیه و تحلیل، خارج شدند. آثار سیرکی در این سنگ‌ها، شبه سیرک‌هایی هستند که بعد از عقب‌نشینی یخچال‌ها و در شرایط کنونی بر اثر عوامل فرسایشی شکل گرفته‌اند و

www.SID.ir

Archive of SID

نمی‌توان تشکیل آن‌ها را به کواترنری نسبت داد. پورتر عقیده دارد که یخچال زمانی سیرک را پر می‌کند که خط برف مرز خیلی بالاتر از میانگین ارتفاع کف سیرک نباشد و این روش برای به دست آوردن ارتفاع خط تعادل‌های گذشته می‌باشد (سیف و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۱۹). در این روش ارتفاع کف سیرک (Mo)، حد پایین طبقه‌ی نمادار (L)، تفاضل فراوانی طبقه ماقبل طبقه‌ی نمادار از فراوانی طبقه‌ی نمادار (d1)، تفاضل فراوانی طبقه‌ی مابعد طبقه‌ی نمادار از فراوانی طبقه‌ی نمادار (d2) و اختلاف ارتفاع طبقه‌ی نمادار (h) است. ارتفاع برف مرز دائمی کواترنری در طبقه‌ای قرار دارد که سیرک‌ها بیشترین فراوانی را داشته باشد. با استفاده از روش نسبت پنجه به دیواره ارتفاع خط تعادل (ELA) و نسبت THAR[1] به دست می‌آید. با روش THAR بهترین نتیجه برای یخچال‌های کوچک و متقارن با توزیع نرمال پهنه‌ها و ارتفاعات به دست می‌آید. این روش با توجه به پارامترهای ارتفاع خط تعادل (ELA)، ارتفاع سر یخچال (AH)، ارتفاع پایه‌ی یخچال (AT) به دست می‌آید (پورتر[2]، ۲۰۰۱: ۱۰۶۹) به این صورت که ارتفاع پایین‌ترین قسمت پروفیل از ارتفاع کف سیرک کسر شد و عدد به‌دست‌آمده بر تفاوت بین حداقل ارتفاع و حداکثر ارتفاع پروفیل تقسیم شد. نسبت به‌دست‌آمده بین ۰ تا ۱ متغیر است. برای شناسایی سیرک‌ها نیز از این روش استفاده می‌شود و اگر نسبت THAR کمتر از ۰/۵ یا بزرگ‌تر از ۰/۸ باشد، شکل شناسایی‌شده، سیرک محسوب نمی‌شود و از دخالت آن در برآورد ارتفاع برف مرز صرف‌نظر شد (یمانی و همکاران، ۱۳۹۲: ۷). روش نسبت پنجه به دیواره در دو مرحله، روش رایت (مرحله‌ی اول) و روش ارتفاع کف سیرک (مرحله‌ی دوم)، ارتفاع برف مرز انجام شد. روش بعدی، روش نسبت‌های ارتفاعی است که به کار گرفته شد. در این روش از راه میانگین محدوده‌ی ارتفاعی پایانه‌ی زبانه‌ی یخچالی و بلندترین ستیغ حوضه یا منطقه‌ی مورد نظر، ارتفاع برف مرز مشخص می‌شود (شریفی و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۱۹). ارتفاع برف مرز (AR)، بالاترین ارتفاع قلمرو یخچالی (Ah) و پایین‌ترین ارتفاع قلمرو یخچالی (At) است و

1- Terminus-to-Head Altitude Ratio
2- Porter

www.SID.ir

Archive of SID

برای محاسبه‌ی این روش، پایین‌ترین ارتفاع با بالاترین ارتفاع پروفیل ترسیمی جمع و بر ۲ تقسیم گردید. برای به دست آوردن برف مرز از میانگین و مد استفاده شد.

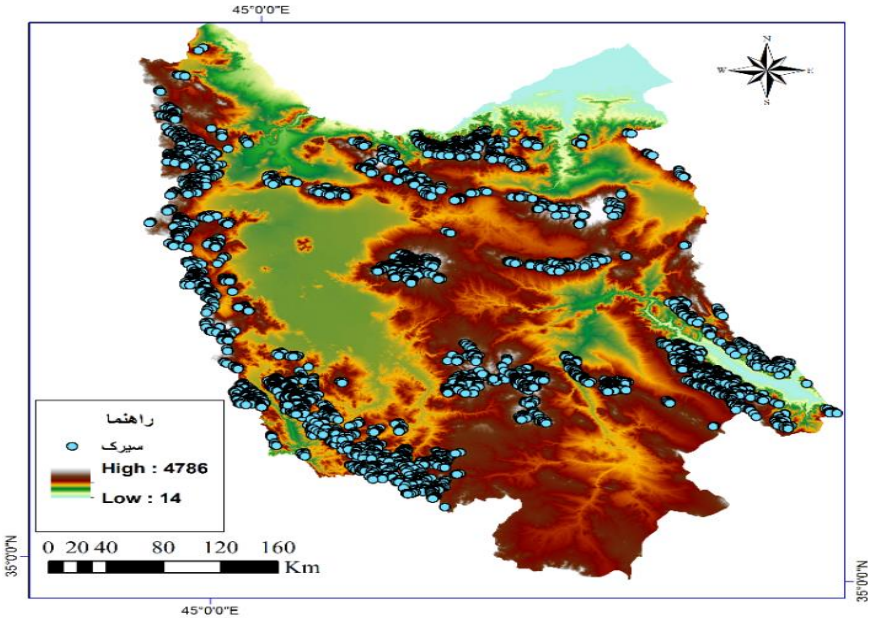
بحث و نتایج

مناطق مرتفع واحد ژئومورفیک شمال‌غرب در قسمت‌های غرب، شرق و مرکز قرار گرفته‌اند. حوضه‌های آبریز ارس، دریاچه‌ی ارومیه و سفیدرود در این واحد واقع شده‌اند. جهت ناهمواری‌ها در این واحد به‌گونه‌ای است که در ۶ جهت شمال-جنوب، شرق-غرب، شمال شرق-جنوب غرب امکان شکل‌گیری یخچال سیرکی وجود داشته است. تعداد ۴۰۵۹ سیرک در این واحد شناسایی شد؛ از این تعداد ۱۲۱۵ سیرک در حوضه‌ی آبریز ارس، ۱۴۴۲ سیرک در حوضه‌ی آبریز سفیدرود و ۱۶۴۳ سیرک در حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه پراکنده شده‌اند (شکل ۲). پس از حذف شبه‌سیرک‌ها ۲۷۲۰، لندفرم سیرکی باقی ماند. پس از آن درصد فراوانی سیرک‌ها در جهات مختلف برآورد شد. یافته‌ها نشان می‌دهد که ۷۱/۲۵ درصد از سیرک‌های شناسایی‌شده در دامنه‌های نسار و ۲۸/۶۹ درصد در دامنه‌های نگار شکل‌گرفته‌اند (جدول ۱). توزیع ارتفاعی سیرک‌های این واحد بگونه‌ای است که امکان شکل‌گیری یخچال سیرکی کواترنری را تا ارتفاع ۲۰۰۰ متری توجیه می‌نماید. به دلیل وسعت منطقه، ارتفاع برف مرز ابتدا در حوضه‌های آبریز برآورد گردید.

بعد از شناسایی آثار سیرکی، برای برآورد ارتفاع برف مرز روش رایت اعمال شد. با اعمال این روش، کمترین ارتفاع برف مرز برآوردی در مرحله‌ی اول به حوضه‌ی آبریز ارس (۱۸۲۶ متر) و در مرحله‌ی دوم با حذف اطلاعات شبه‌سیرک‌ها از مجموع داده‌های مورد تجزیه و تحلیل، به حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه (۲۳۶۰ متر) اختصاص داده شد. مقایسه این دو مرحله، نشان‌دهنده‌ی بالاتر بودن ارتفاع برف مرز برآوردی در مرحله‌ی دوم برای تـمام حوضه‌ها است. به‌طوری‌که در حوضه‌ی ارس با حـذف داده شبه‌سیرک‌ها در برآورد برف مرز، ارتفاع برف مرز بیش از ۵۰۰ متر بالاتر برآورد گردید (جدول ۲).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۲) سیرک‌های شناسایی‌شده واحد شمال غربی

جدول (۱) فراوانی سیرک‌های شناسایی‌شده

حوضه‌ی آبریز	جهت	فراوانی‌کل سیرک	فراوانی سیرک پس از حذف شبه سیرک	درصد فراوانی
دریاچه ارومیه	غرب	۳۹۶	۳۷۲	۱۳/۶۷
	شرق	۱۰۱۹	۵۲۳	۱۹/۲۲
	شمال	۲۰۳	۱۹۳	۷/۰۹
	جنوب	۲۵	۲۴	۰/۸۸
سفیدرود	شمال‌شرق	۵۶۲	۲۸۶	۱۰/۵۱
	جنوب‌غرب	۴۱۸	۳۱۰	۱۱/۳۹
	شرق	۳۸۷	۳۰۳	۱۱/۱۳
ارس	جنوب	۷۵	۷۵	۲/۷۵
	شمال	۷۳۳	۴۴۰	۱۶/۱۷
	شرق	۲۴۱	۱۹۴	۷/۱۳

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۲) ارتفاع برف مرز به روش رایت

حوضه‌ی آبریز	رابطه‌ی ۱ (قبل از حذف سیرک)	رابطه‌ی ۱ (بعد از حذف سیرک)	تفاوت ارتفاعی
ارس	۱۸۲۶	۲۴۰۳	۵۵۷
سفیدرود	۲۱۵۸	۲۴۵۶	۲۹۸
دریاچه ارومیه	۲۰۸۵	۲۳۶۰	۲۷۵

ارتفاع برف مرز در این مرحله روش دوم از رایت برآورد گردید که دال بر بالاتر برآورد شدن ارتفاع برف مرز در مقایسه با مرحله‌ی قبل است (جدول ۲). بیشترین افزایش ارتفاع برف مرز برآوردی مربوط به حوضه‌ی آبریز سفیدرود ۶۱۲ متر است (جدول ۳).

جدول (۳) ارتفاع برف مرز به روش رایت (رابطه‌ی ۲)

حوضه‌ی آبریز	رابطه‌ی ۱	رابطه‌ی ۲	تفاوت ارتفاعی
ارس	۲۴۰۳	۲۷۳۰	۳۲۷
سفیدرود	۲۴۵۶	۳۰۶۸	۶۱۲
دریاچه ارومیه	۲۳۶۰	۲۷۸۰	۴۲۰

در این مرحله جهات جغرافیایی منطقه (شمال شرق و جنوب غرب حوضه‌های آبریز) مدنظر قرار گرفت. معمولاً دامنه‌ی نسار (شمال، شمال شرق، شرق) باید ارتفاع برف مرز پایین‌تری نسبت به دامنه نگار (جنوب، جنوب غرب، جنوب شرق) داشته باشد. در هر ۳ زیرحوضه، دامنه‌های نگار ارتفاع برف مرز بیشتری داشتند. بیشترین اختلاف ارتفاع برف مرز بین دامنه‌های برای حوضه‌ی آبریز ارس (۴۴۰ متر) است (جدول ۴).

جدول (۴) ارتفاع برف مرز به روش رایت (رابطه ۲) در جهات مختلف

حوضه‌ی آبریز	شمال	جنوب	شمال شرق	جنوب غرب	شرق	غرب	اختلاف
ارس	۲۴۸۵	-	-	-	۲۹۲۵	-	۴۴۰
سفیدرود	-	۲۸۷۲	۲۸۲۵	۳۱۲۷	۲۶۱۴	-	۲۸۰
دریاچه‌ی ارومیه	۲۶۰۷	۲۵۸۱	-	-	۲۶۳۷	۲۹۲۲	۱۲۹/۵

www.SID.ir

Archive of SID

بیشترین اختلاف ارتفاع برف مرز در مرحله بعد نیز در حوضه‌ی آبریز ارس در بین دامنه‌های مختلف برآورد گردید (۷۶۱ متر)، (جدول ۵).

جدول (۵) ارتفاع برف مرز به روش ارتفاع کف سیرک

حوضه‌ی آبریز	شمال	جنوب	شمال شرق	جنوب غرب	شرق	غرب	اختلاف
ارس	۲۰۷۳	-	-	-	۲۸۳۴	-	۷۶۱
سفیدرود	-	۲۸۲۰	۲۱۵۳	۳۱۵۳	۲۶۱۶	-	۶۰۲
دریاچه‌ی ارومیه	۲۸۵۰	۲۴۵۰	-	-	۲۱۲۸	۳۰۵۵	۲۶۳/۵

در مرحله‌ی اول روش نسبت پنجه به دیواره که با ترکیب روش رایت اعمال شد، بیشترین تفاوت ارتفاع برف مرز برای حوضه‌ی آبریز ارس ۵۹۶ متر برآورد شد (جدول۶).

در برآورد ارتفاع برف مرز به روش پنجه به دیواره در مرحله‌ی دیگری، همانند روش ارتفاع کف سیرک پورتر عمل شد. در این مرحله نیز همانند روش‌های قبل حوضه‌ی آبریز ارس بیشترین تفاوت (۷۴۲ متر) را در بین دامنه‌های نگار و نسار از خود نشان داده است (جدول ۷).

جدول (۶) ارتفاع برف مرز به روش نسبت پنجه به دیواره (با اعمال روش رایت)

حوضه‌ی آبریز	شمال	جنوب	شمال شرق	جنوب غرب	شرق	غرب	اختلاف
ارس	۲۱۴۸	-	-	-	۲۷۴۴	-	۵۹۶
سفیدرود	-	۲۵۲۸	۲۲۹۴	۲۵۶۷	۲۶۰۳	-	۹۹
دریاچه‌ی ارومیه	۲۶۵۵	۲۴۷۲	-	-	۲۱۹۷	۲۶۵۰	۱۳۵

جدول (۷) ارتفاع برف مرز به روش نسبت پنجه به دیواره (با اعمال روش پورتر)

حوضه‌ی آبریز	شمال	جنوب	شمال شرق	جنوب غرب	شرق	غرب	اختلاف
ارس	۲۰۲۸	-	-	-	۲۷۷۰	-	۷۴۲
سفیدرود	-	۲۵۵۰	۲۳۴۲	۳۱۴۴	۲۸۶۶	-	۲۴۳
دریاچه ارومیه	۲۸۵۰	۲۶۶۲	-	-	۲۱۵۰	۳۰۴۲	۳۵۲

www.SID.ir

Archive of SID

آخرین روشی که برای برآورد ارتفاع برف مرز اعمال شد، روش نسبت‌های ارتفاعی است. با توجه به این‌که تفاوت ارتفاع برف مرز برآورد شده‌ی حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه با این روش، بین دامنه‌های نگار و نسار منفی بود، مورد تجزیه و تحلیل قرار نگرفت. همانند روش‌های قبل، حوضه‌ی ارس بیشترین تفاوت ارتفاع برف مرز (۷۰۷ متر)را به خود اختصاص داده است (جدول ۸).

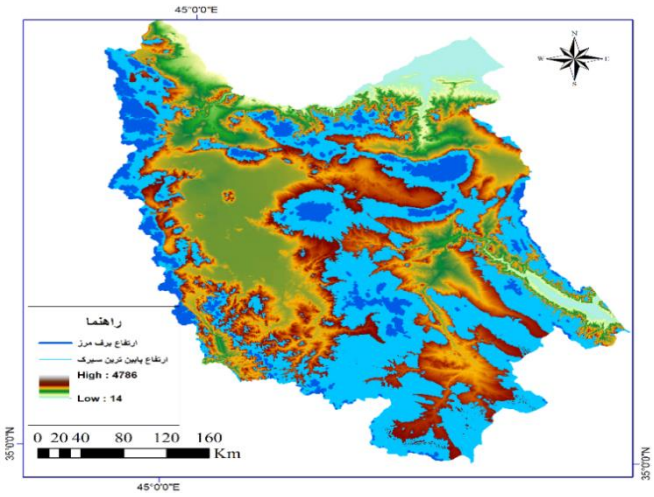
جدول (۸) ارتفاع برف مرز به روش نسبت‌های ارتفاعی

حوضه‌ی آبریز	شمال	جنوب	شمال شرق	جنوب غرب	شرق	غرب	اختلاف
ارس	۲۰۳۶	-	-	-	۲۷۴۳	-	۷۰۷
سفیدرود	-	۲۲۵۰	۲۱۵۵	۳۰۵۴	۲۴۷۶	-	۳۳۶
دریاچه‌ی ارومیه	۲۷۸۰	۲۵۸۰	-	-	۲۲۵۰	۲۴۲۰	-۱۵

توجه به ارتفاعات ارائه‌شده برای ارتفاع برف مرز دائمی کاملاً گویای این مطلب است که ارتفاع برف مرز از جنوبی‌ترین حوضه (سفیدرود) تا شمالی‌ترین حوضه (ارس) کاهش یافته است به‌طوری‌که از جنوب به شمال ارتفاع برف مرز ۲۳۲ متر کمتر برآورد شده است. با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، پیشروی یخچال‌ها بر اساس ارتفاع پایین‌ترین سیرک شناسایی‌شده مشخص گردید. بر اساس این فرض یخچال‌های کواترنری در حوضه‌ی آبریز ارس تا ارتفاع ۱۸۷۵ متر، سفیدرود تا ارتفاع ۱۸۲۵ و در حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه تا ارتفاع ۱۹۶۱ متری گسترش داشته‌اند. برای نمایش مناطقی از واحد شمال غربی که در طی کواترنری تحت تأثیر فرایند یخچالی بوده‌اند نقشه‌ی منطقه‌ی تحت حاکمیت فرایند یخچالی تهیه گردید (شکل ۳).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۳) مناطق تحت تأثیر فرایند یخچالی

نتیجه‌گیری

از آنجایی که بررسی مربوط به دوران کواترنری، مربوط به ۱۲۰۰۰ سال قبل می‌باشد، نمی‌توان ارتفاع برف مرز آن را به‌صورت دقیق و قطعی برآورد نمود و وجود تفاوت‌های جزئی در ارتفاع برف مرز برآورد شده به روش‌های مختلف امری بدیهی است. از عرض‌های جغرافیایی ۳۵ درجه به بالاتر، امکان شکل‌گیری لندفرم‌های سیرکی از ارتفاع ۱۸۰۰ متر به بالا است. یافته‌ها نشان می‌دهد که ۷۱/۲۵ درصد از سیرک‌های شناسایی‌شده در دامنه‌های نسار و ۲۸/۶۹ درصد در دامنه‌های نگار شکل گرفته‌اند. تجزیه و تحلیل نتایج به‌دست‌آمده در روش‌های مختلف، نشان‌دهنده‌ی این مطلب است که در این واحد، مناسب‌ترین روش برای برآورد ارتفاع برف مرز، روش ارتفاع کف سیرک پورتر است، چراکه برف مرز برآورد شده در این روش هم کمترین اختلاف را با میانگین دارد و هم تأثیر جهت در تفاوت ارتفاع برف مرز را منعکس می‌کند. متوسط ارتفاع برف مرز درحوضه‌های آبریز ارس (۲۴۵۳ متر)،سفیدرود (۲۶۸۵ متر) و دریاچه‌ی ارومیه (۲۶۲۱ متر) است. در این واحد ژئومورفیک ارتفاع برف مرز کواترنری بین ۲۴۵۳ متر (حوضه‌ی آبریز ارس) تا ۲۶۸۵ متر (حوضه‌ی آبریز سفیدرود) متغیر بوده است (۲۳۲

www.SID.ir

Archive of SID

متر اختلاف ارتفاع). این اختلاف نشان‌دهنده‌ی کاهش ارتفاع برف مرز از جنوب به شمال است. متوسط ارتفاع برف مرز این واحد ۲۵۸۶ متر است. ارتفاع برف مرز برآورد شده در این واحد ژئومورفیک توسط جعفری و اصغری سرکانسرودی (۱۳۹۳) در حوضه‌ی زنجانرود ۲۲۷۰ متر و قهرودی و حسنی (۱۳۹۱) در ارتفاعات دالامپر در غرب ارومیه ۲۵۴۳ متر بوده است. قهرودی و حسنی (۲۰۱۲) در مطالعات خود در کوه قندیل مرز بین ایران و عراق، ارتفاع برف مرز را ۱۷۴۰ متر برآورد نموده‌اند. تفاوت احتمالی ارتفاع برف مرز برآورد شده توسط محققان یادشده با ارتفاع ارائه‌شده در این پژوهش برای زیرحوضه‌های آبریز، ناشی از مقیاس مطالعاتی و جهت قرارگیری سطوح ارضی مورد مطالعه بوده است. نتایج به‌دست‌آمده دال بر این است که شمال غرب در دوره‌های سرد تحت حاکمیت سیستم شکل‌زایی یخچالی بوده است.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

ـ اسفندیاری درآبادی، فریبا (۱۳۸۸)، **شواهد ژئومورفولوژیکی تغییرات آب‌وهوایی پلیوستوسن فوقانی در دامنه شرقی سبلان**، فصلنامه‌ی جغرافیای طبیعی، سال ۱، شماره‌ی ۳، بهار، صص ۹۶-۸۳.

ـ اسفندیاری درآبادی، فریبا و مقصود خیام (۱۳۸۶)، **تحلیلی بر اثرات ژئومورفیک برفساب در دامنه‌ی شرقی سبلان**، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره‌ی ۶۰، صص ۶۰-۴۹.

ـ جعفربیگلو، منصور؛ یمانی، مجتبی؛ عباس نژاد، احمد؛ زمان‌زاده، سیدمحمد و سمیه ذهاب ناظوری (۱۳۹۳)، **بازسازی برف مرزهای یخچال کواترنری در کوهستان بیدخوان کرمان**، جغرافیا (فصلنامه‌ی علمی – پژوهشی و بین‌المللی انجمن جغرافیای ایران)، سال ۱۲، شماره‌ی ۴۰، صص ۱۰۷ -۹۳.

ـ جعفری، غلام حسن و صیاد اصغری سراسکانرودی (۱۳۹۳)، **بررسی آثار یخچالی کواترنری زنجان رود**، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۳، شماره‌ی ۲، صص ۳۰ – ۱۶.

ـ جداری عیوضی، جمشید (۱۳۸۹)، **ژئومورفولوژی ایران**، انتشارات دانشگاه پیام نور.

ـ خوش‌رفتار، رضا؛ فرید مجتهدی، نیما؛ اسعدی اسکوئی، ابراهیم و کامبیز نوروزپور شهربیجاری (۱۳۹۵)، **شواهد ژئومورفولوژیکی یخچال‌های کوهستانی پلئیستوسن پایانی در کوه‌شاه البرز- البرز غربی**، فصلنامه‌ی کواترنری ایران (علمی- پژوهشی)، سال ۲، شماره‌ی ۲، صص ۱۶۵- ۱۵۵.

ـ رامشت، محمدحسین (۱۳۸۱)، **دریاچه‌های دوران چهارم بستر تبلور و گسترش مدنیت در ایران**، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، سال ۱۶، شماره‌ی ۶۰، ۱۱۱-۹۸.

ـ رامشت، محمدحسین؛ لاجوردی، محمود؛ لشکری، حسن و طیبه محمودی (۱۳۹۰)، **ردیابی آثار یخچال‌های طبیعی حوضه‌ی تیگرانی ماهان**، مجله‌ی فضای جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۲، شماره‌ی ۲، صص ۵۹ – ۷۸.

www.SID.ir

Archive of SID

- سرور، جلیل‌الدین و نیما فریدمجتهدی (۱۳۹۰)، **شواهد ژئومورفولوژیکی یخچالی پلئیستوسن در دامنه‌ی شمالی کوه خشچال (البرز غربی)**، فصلنامه‌ی جغرافیایی سرزمین، سال ۸، شماره‌ی ۳۱، صص ۶۷–۵۱.

- سیف عبدالله؛ ثروتی محمدرضا و محمد راهدان مفرد (۱۳۹۴)، **بازسازی برف مرزهای کواترنری پایانی در محدوده‌ی سایت ریگ**، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، سال ۳۰، شماره‌ی ۱، شماره‌ی پیاپی ۱۱۶، صص ۲۰۸-۱۹۳.

- شریفی، محمد؛ طاهری نژاد، کاظم و زهرا فرح‌بخش (۱۳۹۴)، **ارزیابی تغییرات اقلیمی بین زمان حال و پلئیستوسن و بازسازی شرایط اقلیمی گذشته با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی دشت ابراهیم‌آباد–یزد)**، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۵، شماره‌ی ۱، صص ۶۲۸-۶۱۰.

- صادقی، منصور؛ جهانفر، علی؛ ولی‌پور، طاهره؛ محمدنژاد، وحید و علی‌اکبر شایان یگانه (۱۳۹۴)، **تعیین حدود مرزهای مناطق مورفوژنتیک و مورفودینامیک در آخرین دوره‌ی یخچالی وورم و حال حاضر در استان کرمانشاه**، جغرافیا و مطالعات محیطی، سال ۴، شماره‌ی ۱۴، صص ۱۳۶-۱۲۷.

- قربانی شورستانی، علی؛ خسروی، عذرا و علی‌محمد نورمحمدی (۱۳۹۵)، **بررسی شواهد ژئومورفولوژیکی یخچال کواترنری در ارتفاعات شمال شرق ایران (مطالعه‌ی موردی: رشته‌کوه بینالود)**، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۵، شماره‌ی ۱، صص ۱۳-۱.

- قربانی، محمدصدیق؛ محمودی، فرجاله؛ یمانی، مجتبی و ابراهیم مقیمی (۱۳۸۹)، **نقش تغییرات اقلیمی در تحول ژئومورفولوژیکی فرو چاله‌های کارستی (مطالعه‌ی موردی: ناهمواری‌های شاهو، غرب ایران)**، فصلنامه‌ی پژوهش‌های جغرافیایی، شماره‌ی ۷۴، صص ۱۶-۱.

- قهرودی تالی، منیژه و رسول حسنی قارنایی (۱۳۹۴)، **شواهد یخچالی در مناطق کوهستانی مرز ایران، ترکیه، عراق (کوهستان بزسینا و دالامپر)**، فصلنامه‌ی کواترنری ایران (علمی-پژوهشی)، دوره‌ی ۱، شماره‌ی ۴، صص ۳۳۷-۳۲۳.

www.SID.ir

Archive of SID

- قهرودی تالی، منیژه؛ ثروتی، محمدرضا و رسول حسنی قارنایی (۱۳۹۲)، **تحلیل ناپایداری‌های حاصل از نهشته‌های یخچالی در حوضه‌ی رود زاب کوچک**، فصلنامه‌ی علمی– پژوهشی فضای جغرافیایی، سال ۱۳، شماره‌ی ۴۳، صص ۱۷ – ۱.
- قهرودی تالی، منیژه؛ نصرتی، کاظم و اسماعیل عبدلی (۱۳۹۴)، **تخمین برف مرز در آخرین دوره‌ی یخچالی در حوضه‌ی دالاخانی**، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۶، شماره‌ی ۲، صص ۲۴۶-۲۳۱.
- یمانی، مجتبی و حمزه زمانی (۱۳۸۶)، **بازیابی حدود مرز برف دره‌ی شهرستانک در آخرین دوره‌ی یخچالی**، جغرافیا (نشریه‌ی علمی- پژوهشی انجمن جغرافیایی ایران) دوره‌ی جدید، سال پنجم، شماره‌ی ۱۲ و ۱۳، صص ۱۱۶-۹۹.
- یمانی، مجتبی و حمزه زمانی (۱۳۹۵)، **تعیین ارتفاع خط تعادل (ELA) در دره‌ی هراز در آخرین دوره‌ی یخچالی**، فصلنامه‌ی کواترنری ایران (علمی- پژوهشی)، دوره‌ی ۲، شماره‌ی ۴، صص ۳۱۴- ۳۰۵.
- یمانی، مجتبی؛ مقیمی، ابراهیم؛ عزیزی، قاسم و کاوه باخویشی (۱۳۹۲)، **تعیین قلمروهای مورفوکلیماتیک هولوسن در بلندی‌های غرب استان کردستان**، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دانشگاه تهران، سال ۴۵، شماره‌ی ۴، صص ۱۴-۱.

Ghahroudi Tali, M., & Hassani Gharnaie, R., (2012), **Evolution of glacial landforms in Iraq and Iran borders, Geological Conference of Kurdistan**, November 14-16, Sulaimani, Kurdistan Region, Iraq.

Moayeri, M., Ramesht, M.H., Saif, A., Yamani, M. and Jafari, Gh.H. (2011), **The impact of mountainous skirtsdirection of Iran on differences in altitude of wither and ice equilibrium line of quaternar**, Geography and Environmental Planning Journal, Vol. 40, No. 4, PP. 1-12.

Moussavi, M.S., Valadan, Zoej. M.J., Vaziri, F., Sahebi, M.R., Rezaei, Y., (2009), **A new glacier inventory of Iran. Annals of Glaciology**, Vol. 50, No. 53, PP.93-103.

Porter, S.C., (2000), **Snowline depression in the tropics during the Last Glaciation,** Quaternary science reviews, Vol 20, No 10, pp.1067-1091.

www.SID.ir

Archive of SID

Seif, A., Ebrahimi, B., (2014), **Combined Use of GIS and Experimental Functions for the Morphometric Study of Glacial Cirques in Zardkuh Mountain, IRAN**. Quaternary International, No. 353, PP. 1-14.

Seif, A., Ebrahimi, B., (2016), **Equilibrium-Line Altitude of Late Quaternary Glaciers in the Zardkuh Mountain, Iran**, Vol. 6, No. 2, PP. 229-322.

www.SID.ir