پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال پنجم، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۵
صص. ۱۲۸-۱۱۰

ارزیابی تغییرات اقلیمی بین زمان حال و پلئیستوسن و بازسازی شرایط اقلیمی گذشته با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک(نمونه موردی: حوضه دشت ابراهیم آباد–یزد)

محمد شریفی*– استادیار ژئومورفولوژی گروه جغرافیا، دانشگاه یزد
کاظم طاهری نژاد– کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه یزد
فاطمه زارع– کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه یزد

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۲/۰۵ تأیید نهایی: ۱۳۹۵/۰۶/۱۸

چکیده

ایران مرکزی در حال حاضر از شرایط آب‌وهوایی گرم و خشک و بعضاً بسیار خشک برخوردار است. بااین‌وجود، آثار لند فرم‌های موجود در منطقه حاکی از آب‌وهوای بسیار سردتر و البته مرطوب‌تری درگذشته است. هدف این پژوهش ارزیابی شرایط اقلیمی گذشته و محاسبه تفاوت‌های آن با شرایط دمایی و بارشی حال حاضر است. برای انجام این تحقیق، از نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰، نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰، عکس‌های هوایی، نقشه رقومی ارتفاعی زمین باقدرت تفکیک ۲۰ متر، گوگل ارث و نرم‌افزارهای Excel، GIS، سامانه GPS و همچنین بررسی‌های میدانی استفاده شد. یافته‌ها حاکی از آن است که برف‌مرزها در این منطقه برحسب روش‌های رایت و پورتر در ارتفاع حدود ۲۲۰۰ متری و خط تعادل آب و یخ نیز در سه‌طبقه ارتفاعی ۱۵۷۰ متر، ۱۷۰۰ و ۱۸۰۰ متر قرار داشته است که احتمالاً مربوط به شکل‌گیری سه دوره‌یخچالی یا دست‌کم پسروی یخچال‌ها در سه دوره متناوب بوده است. مقایسه نقشه‌های هم‌دمای حال و گذشته حاکی از تفاوت دمایی ١٤.٤ درجه سانتی‌گراد دارد. درواقع، متوسط دمای حال حاضر ١١.٤ درجه بوده اما این میزان برای گذشته ۳- درجه بوده است که این مقدار نیز در ارتفاعات مختلف نیز تغییر می‌کرده است به‌گونه‌ای که بین ۱۰- در ارتفاعات تا ٤.١ در بخش پایین‌دست حوضه متغیر بوده است. ازنظر شرایط بارش نیز، مقایسه نقشه‌های هم‌بارش حال و گذشته نشان می‌دهد که بارش گذشته در حدود ۳۵۰ میلی‌متر (۲.۵) برابر بیشتر از حال حاضر بوده است که با افت دمایی ١٤ درجه سانتی‌گراد، قاعدتاً بیشتر بارش‌ها به‌صورت برف نیز می‌باریده است.

***واژگان کلیدی:** تغییرات دمایی، تغییرات رطوبتی، حوضه آبریز ابراهیم آباد، برفمرز*

* نویسنده مسئول: E-mail: mscharifi@yahoo.com

مقدمه

تغییرات شرایط آب‌وهوایی در طول تاریخ زمین به شکل‌های متوالی و متناوب امری ثابت‌شده است. به‌منظور نمایش میزان تغییرات و نوع رژیم‌های اقلیمی حاکم بر مناطق مختلف و آثار برجای‌مانده از دستگاه‌های اقلیمی گذشته بررسی‌های زیادی انجام‌گرفته است. ازجمله محققینی که در این زمره به بررسی و مطالعه و بازسازی شرایط اقلیمی گذشته، به‌ویژه در آخرین دوره زمین‌شناسی پرداخته‌اند، ژئومورفولوژیست‌ها بوده‌اند. ازنظر محققین، در این دوره‌یخبندان‌های شدید و طولانی‌مدت اتفاق افتاده و یخچال‌هایی را در سراسر کره زمین به‌ویژه در ارتفاعات بالا به وجود آورده است. درواقع، بررسی آثار مورفولوژیکی یخبندان‌های کواترنر ایران موضوعی است که علاقه بسیاری از محققین علوم زمین را برانگیخته و آنان را به طورکامل در این موضوع کشانده است. به‌طوری‌که این تغییرات لندفرم‌هائی را در مدتی کوتاه یا در زمان طولانی بر چهره زمین تحمیل کرده‌اند که بررسی آن‌ها در بازسازی و درک محیط‌های اقلیمی گذشته محققین را یاری می‌دهد (شریفی و فرح‌بخش ۱۳۹۴). آثار باقی‌مانده لند فرم‌های گذشته نشان می‌دهد شرایط آب و هوایی بارها دستخوش تغییر و تحول قرارگرفته و به دنبال آن شرایط جغرافیایی و ازجمله ژئومورفیک نیز تغییر پیداکرده است (پدرامی،۱۳۶۷). تغییرات کوتاه‌مدت اقلیمی پلئیستوسن با توجه به زمان وقوع و نقش آن در شکل-گیری چشم‌انداز کره‌ی زمین از اهمیت زیادی برخوردار است (طاحونی،۱۳۸۳). ازاین‌رو، 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 موردتوجه قرار گیرد (شارما و شاکیا،۲۰۰۶)[1]. امروزه نیز با رخداد گرم شدن زمین، این‌گونه مطالعات اهمیت ویژه‌ای پیداکرده و آثار ژئومورفولوژی یخچالی و مجاور یخچالی یکی از بارزترین ابزارهای پژوهش در تغییرات اقلیم گذشته بوده و نتایج این پژوهش‌ها می‌تواند در بررسی روند تغییرات اقلیمی در آینده نیز موردتوجه قرار گیرد(بروک و همکاران،۲۰۰۸)[2]. تحولات اقلیمی دوران چهارم برای اولین بار از روی آثار مورفولوژیکی یخچال‌ها در اروپا شناخته شد و بعدها شواهد مربوط به این پدیده و نتایج دیگر آن در نقاط دیگر کره زمین موردبررسی قرارگرفته است(المدرسی،۱۳۸۴:۳۰) که در اینجا به برخی از مهم‌ترین و جدیدترین آن‌ها اشاره‌شده است. برای نمونه، مومانی و الکساندر[3] (۲۰۰۳) در پژوهشی که در منطقه مرکزی اردن انجام دادند نشان دادند که رسوبات موجود در این منطقه به اواخر دوره کواترنر می‌رسد که دارای دوره‌های متناوب خشک و مرطوب بوده و به‌عنوان شواهد مهمی از نوسانات آب‌وهوا می‌توان ملاحظه نمود. ناپیرالسکی و همکاران[4] (۲۰۰۷) مطالعات وسیعی در رابطه با لندفرم های یخچالی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام دادند و روند گسترش و عقب‌نشینی یخچال‌ها را بررسی نمودند. خیانگ و همکاران[5] (۲۰۱۳) در پژوهشی به بررسی اقلیم گذشته و آثار یخچالی در دره تاشکورگان[6] در شمال غرب فلات تبت پرداخته و مشاهده کردند که درجه حرارت در این دره ۵ تا ۸ درجه سردتر از امروزه بوده و بارش آن در مقایسه با امروز نیز در حدود ۳۰ تا ۷۰ درصد کمتر بوده است و از این نظر اقلیم سرد و خشکی در فلات تبت حاکمیت داشته است. خیانگ (۲۰۱۴) مطالعاتی بر روی دره یین پو[7] در فلات تبت شرقی انجام داد و دریافت که حجم یخ در این دره در سه مرحله‌ی متوالی یخچالی با ارتفاع خط تعادل (ELA) ۱/۶۵، ۱/۰۳ و ۰/۲۹ کیلومتر مکعب کاهش و مقدار آن به ترتیب ۵۰۰، ۴۱۰ و ۱۵۰ متر رسیده است. همچنین او با ارزیابی و بازسازی‌های مستقل اقلیم گذشته مشاهده نمود که دما در این سه مرحله به ترتیب ۵/۹-۴،

[1] Sharma and Shakya
[2] Brook et al
[3] Moumani and Alexander
[4] Napieralski et al
[5] Xiangke et al
[6] Tashkurgan
[7] Yinpu

۳/۴-۳/۷، ۶/-۳/ و مقدار بارش به ترتیب ۸۰-۴۰، ۱۰۰-۸۰، ۱۱۰-۱۰۰ درصد کاهش‌یافته است. هندریکس و همکاران[1] (۲۰۱۵) در کوه‌های شمالی اتیوپی مطالعاتی انجام و ملاحظه نمودند که افت کمربند یخچالی و جنب یخچالی به نسبت زمان حال در حدود ۶۰۰ متر بوده و بر این اساس در آخرین دوره سرد دما در این منطقه در حدود ۶ درجه سانتی‌گراد کمتر از حال حاضر بوده است. در مورد کشور ایران نیز ابتدا محققین اروپایی به بررسی آثار یخچالی و تغییرات اقلیمی کواترنر ایران پرداختند. بوبک و کرینسلی جز نخستین پژوهشگرانی بودند که به بررسی دیرینه اقلیم‌شناسی ایران پرداختند. بوبک با بررسی ویژگی‌های ژئومورفیک نقاط مختلف ایران، به شناسایی مراکز یخچالی و تغییرات خط برف‌مرز دائمی طی پلیستوسن پرداخت. او بامطالعه‌ی رشته‌کوه‌های البرز مهم‌ترین مراکز یخچالی را در البرز غربی معرفی کرد (بوبک[2]، ۱۹۳۷). رایت[3] (۱۹۸۳) روی ارتفاعات زاگرس در امتداد مرز ایران و عراق پژوهشی انجام داد و خط برفمرز دائمی را در دوره وورم در ارتفاع ۱۸۰۰ متری مشخص نمود. محمودی (۱۳۶۷) معتقد است که تغییر مرز برف‌های دائمی حاکی از تغییرات قلمروهای شکل‌زایی بوده است و شرایط اقلیمی در دوره‌های بین یخچالی، شبیه زمان حال بوده و ارتفاع برفمرزهای دائمی در دوره‌های بین یخچالی به بالای ارتفاع ۵۰۰۰ متر می‌رسیده است. پدرامی برف‌مرز های دائمی را در دوره وورم در البرز مرکزی در حدود ۲۲۰۰ متر و یمانی حد گسترش این یخچال‌ها را در دامنه‌های شمالی علم‌کوه و تخت سلیمان ۲۸۰۰ متر و در دامنه‌های جنوبی آن ۳۱۰۰ متر برآورد می‌کند (یمانی،۱۵:۱۳۸۳). رامشت و همکاران (۱۳۹۰) در منطقه ماهان کرمان خط مرز برف دایمی را ۲۹۰۰ متر محاسبه کرده‌اند. قهرودی(۱۳۹۰) بامطالعه برف‌مرزهای گذشته در حوضه رود هراز به این نتیجه رسید قلمرو برف‌مرزهای دائمی در آن دوره تا ارتفاع ۱۸۰۰ متر پایین می‌آمده است. بیگلو و همکاران (۱۳۹۳) در مقاله بازسازی برفمرزهای یخچالی کواترنر در کوهستان بیدخوان در استان کرمان بیان کرده‌اند که در آخرین دوره‌یخچالی دما در منطقه حدود ۹ و ۱۱ درجه سانتی‌گراد به ترتیب در پایکوه و مناطق مرتفع سردتر بوده است. شمسی‌پور و همکاران (۱۳۹۴: ۷۴-۶۱). در پژوهشی با عنوان بازسازی برفمرزهای آخرین دوره‌ی یخچالی در زاگرس شمال غربی نتیجه گرفتند که مدل‌های اقلیمی و شواهد ژئومورفولوژیکی آخرین دوره‌ی یخچالی، اثبات‌کننده حاکمیت قلمرو یخچالی از ارتفاع ۲۰۰۰ متری به بالا در ارتفاعات قلاجه است. شریفی و فرح بخش (۱۳۹۴) در پژوهشی با عنوان بررسی آنومالی‌های حرارتی و رطوبتی بین زمان حال و پلیئستوسن و بازسازی شرایط اقلیمی با استفاده از شواهد ژئومورفیک در حوضه خضرآباد یزد به این نتیجه دست یافتند که دما در حدود ۱۳ درجه سردتر از حال حاضر بوده و مقدار بارش سالانه نیز در زمان گذشته ۱۷۶/۵۲ میلی‌متر نسبت به میانگین امروزی بیشتر بوده است .بعلاوه، خط تعادل آب و یخ معادل ۴/۸ درجه بوده و در ارتفاع ۱۵۶۰ متری واقع‌شده است. بدیهی است که در تمام نواحی ایران، میزان تفاوت یا آنومالی حرارتی نسبت به حال یکسان نبوده است، ولی نکته مهم آن است که (حداقل در ایران مرکزی) آنومالی‌های حرارتی تابعی از ارتفاع محیطی بوده است (طالبی، ۸۰:۱۳۸۱). در این پژوهش نیز، بر اساس شاخص‌های ژئومورفیک به بررسی و بازسازی شرایط اقلیمی دوره پلئیستوسن و میزان تغییرات دمایی آن دوره باحال حاضر در بخشی از ایران مرکزی، در حوضه آبریز دشت ابراهیم آباد در غرب کوه شیرکوه در استان یزد پرداخته‌شده است.

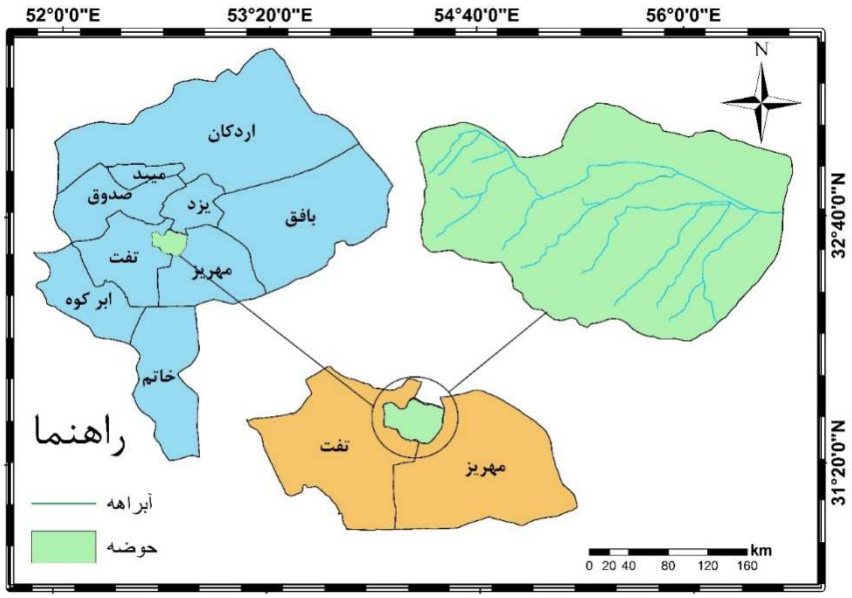
موقعیت منطقه موردمطالعه

حوضه آبریز دشت ابراهیم‌آباد ازنظر موقعیت جغرافیایی در محدوده‌ی ´۲۵ °۵۴ تا ´۱۴ °۵۴ طول جغرافیایی شرقی و ´۳۰ °۳۱ تا ´۱۸ °۳۱ عرض جغرافیایی شمالی با وسعتی در حدود ۶۵۶ کیلومترمربع در شمال غرب شهر مهریز در استان یزد واقع‌شده است (شکل ۱). حداقل ارتفاع منطقه موردمطالعه ۱۶۰۰ و حداکثر ارتفاع آن ۴۱۰۰ متر است.

[1] Hendrickx et al

[2] Bobek

[3] Wright



شکل۱: نقشه موقعیت حوضه آبریز دشت آبراهیم آباد

روش تحقیق

پژوهش حاضر بیشتر بر مبنای بررسی‌ها و مطالعات میدانی و پیمایش‌های زمینی قرار دارد که در آن در مرحله اول به جمع‌آوری داده‌ها شامل نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، تصاویر گوگل ارث، عکس‌های منطقه، نقشه رقومی ارتفاعی زمین باقدرت تفکیک ۲۰ متر و همچنین آمار و اطلاعات اقلیمی پرداخته شد. به‌علاوه برای انجام کار از نرم‌افزارهای Excel، GIS و سامانه GPS نیز بهره گرفته شد. در ابتدا با استفاده داده‌های مربوط به منطقه به مطالعات اجمالی و اولیه پرداخته شد که در آن سیرک‌های یخچالی برحسب فرم آن‌ها که درروی نقشه‌های توپوگرافی به حالت پنجه‌ای درمی‌آیند، مشخص گردیدند. در ادامه، برای بررسی شرایط اقلیمی موجود منطقه از ۱۲ ایستگاه باران‌سنج، ۶ ایستگاه کلیماتولوژی و ۴ ایستگاه سینوپتیک منطقه استفاده گردید (جداول ۱ تا ۳). با استفاده از داده‌های اقلیمی این ایستگاه‌ها، نقشه‌های هم بارش و هم‌دمای حال حاضر ترسیم و برحسب همبستگی بین بارش و دما با ارتفاع، گرادیان رطوبتی و حرارتی حوضه موردمطالعه تعیین گردید. سپس، با بررسی آثار سیرک‌های یخچالی گذشته در منطقه و مشخص نمودن آن‌ها بر روی نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای، درروی زمین به کنترل آن‌ها و تعیین دقیق‌تر موقعیتشان با استفاده از سامانه GPS اقدام گردید. برحسب مشخصات این سیرک‌ها و دو روش رایت و پورتر خط برف مرز دایمی پلیستوسن مشخص گردید. در ادامه، با مطالعات میدانی خط تعادل آب و یخ، یعنی جایی که زبانه‌های یخچالی گذشته تا آنجا پایین می‌آمده‌اند، برحسب آثار سنگ‌های سرگردان تعیین گردید. درنهایت، بر پایه این شاخص‌های ژئومورفیک و نقشه‌های هم‌دما و هم‌بارش کنونی، نقشه‌های هم‌دما و هم‌بارش گذشته ترسیم و بر اساس این نقشه‌ها مقدار تغییرات اقلیمی منطقه به دست آمد. به‌طور مفصل‌تر مراحل انجام کار را می‌توان در دو بخش الف) محاسبه داده‌های اقلیمی و نحوه تهیه و ترسیم نقشه‌های هم بارش و هم‌دمای حال و گذشته و ب) نحوه به دست آوردن خطوط برفمرز و تعادل آب و یخ دسته‌بندی نمود که در زیر آورده شده است:

الف- نقشه‌های هم‌دمای حال با استفاده از آمار ایستگاه‌های موجود در منطقه و همچنین ایستگاه‌های مجاور منطقه موردمطالعه ترسیم گردید. این آمار شامل ۱۴ سال (۱۳۹۴-۱۳۸۱) که از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۴ می‌باشد. آمار مربوط به ۱۲ ایستگاه باران‌سنج، ۴ ایستگاه سینوپتیک و ۶ ایستگاه کلیماتولوژی است. البته تنها ایستگاه‌هایی که دارای اطلاعات

مشترک بودند مورد تحلیل قرار گرفت (جداول ۱-۳). برای محاسبه دمای حال حاضر یک رابطه‌ی خطی (Y=a+bx) بین ارتفاع به‌عنوان متغیر مستقل و بارش به‌عنوان متغیر وابسته به شکل زیر مشخص گردید:

$$T=-/0052H + 25.774$$ (معادله شماره ۱)

در رابطه فوق، T دما و H ارتفاع است که ضریب همبستگی آن‌ها در اکسل برای حوضه آبریز ابراهیم‌آباد ۸۵۳/. به‌دست‌آمده است. با اعمال این رابطه در GIS نقشه هم‌دمای منطقه موردنظر در حال حاضر رسم شد (شکل ۵).

جدول ۱: ایستگاه‌های باران‌سنجی

باران‌سنج	طول	عرض	ارتفاع	بارندگی
منشاد	۵۴.۲۵	۳۱.۵۶	۲۰۱۰	۲۸۳.۷
بنادک سادات	۵۴.۲۲	۳۱.۵۹	۱۹۳۹	۱۹۰.۵
خورمیز	۵۴.۴۵	۳۱.۵۳	۱۵۳۴	۸۳.۷
سریزد	۵۴.۵۰	۳۱.۵۹	۱۴۲۵	۴۲.۶
گردکوی	۵۴.۷۸	۳۱.۵۲	۱۴۹۰	۵۵.۸
گل افشان	۵۴.۲۵	۳۱.۵۷	۱۹۴۵	۱۵۵.۹
علی آبادچهل گزی	۵۴.۲۷	۳۱.۲۹	۱۹۶۰	۱۰۴.۳
کذاب	۵۳.۸۸	۳۱.۸۶	۲۰۶۵	۱۵۶.۵۴
صدر آباد ندوشن	۵۴.۰۶	۳۲.۰۴	۱۸۵۲	۱۰۳
سورک ندوشن	۵۳.۲۵	۳۵.۰۹	۱۹۸۴	۱۱۰.۷۶
هامانه	۵۳.۸۸	۳۱.۸۵	۱۹۶۰	۱۷۵.۶
قوام آباد	۵۴.۰۶	۳۱.۸۱	۱۷۶۰	۱۲۳.۸

جدول ۲: ایستگاه کلیماتولوژی

ایستگاه کلیماتولوژی	طول	عرض	ارتفاع	بارش	دما
تنگ چنار	۵۴.۱۹	۳۱.۲۴	۲۲۵۰	۲۰۸.۱۶	۱۳.۲۱
ابراهیم آباد	۵۴.۲۰	۳۱.۳۹	۱۶۳۰	۶۰.۰۳	۱۷.۰۸
ندوشن	۵۳.۳۳	۳۲.۰۲	۱۹۵۰	۸۴.۹۵	۱۴.۰۳
اشکذر	۲۵.۵۴	۳۲	۱۱۴۰	۵۰.۰۶	۱۹.۲۶
گاریز	۵۴.۰۶	۳۱.۱۸	۲۴۲۰	۱۰۷.۱۴	۱۴.۰۱
خضرآباد	۵۳.۵۷	۳۱.۰۵	۱۶۳۷	۹۸.۱۴	۱۸.۴۶

جدول ۳: ایستگاه سینوپتیک

ایستگاه سینوپتیک	طول	عرض	ارتفاع	بارندگی	دما
یزد	۵۴.۲۸	۳۱.۹	۱۲۳۰	۴۵.۸۴	۱۹.۴۹
مهریز	۵۴.۴۸	۳۱.۵۷	۱۵۲۰	۵۷.۵	۱۹.۰۲
اردکان	۵۴.۰۱	۳۲.۱۹	۱۱۰۴	۶۸.۸۱	۱۹.۴۹
میبد	۵۳.۹۶	۳۲.۲۱	۱۱۰۹	۵۱.۴۶	۱۹.۳۵

ب- با استفاده از رابطه خطی که از همبستگی بین ارتفاع و میانگین بارش سالیانه ایستگاه‌های مجاور حوضه موردمطالعه به دست آمد، نقشه هم‌بارش زمان حال حاضر نیز ترسیم گردید (معادله-۲). درواقع، پس از سنجش اطلاعات ایستگاه‌های موجود در منطقه موردمطالعه، به‌منظور تهیه نقشه هم بارش در زمان حال، همبستگی بین ارتفاع و میانگین بارش ماهیانه در رابطه با ۲۲ ایستگاه انجام‌گرفته و رابطه خطی رگرسیونی با ضریب همبستگی ۷۸۴/. حاصل شد.

$$T=0.1155x - 89.045$$ (معادله شماره ۲)

رابطه فوق نشان می‌دهد که بارش منطقه موردمطالعه از تغییرات ارتفاع تأثیر پذیرفته است، یعنی با افزایش ارتفاع بارندگی بیشتر شده که نشان‌دهنده رابطه مستقیم و معنادار است.

ج- پس از بررسی شرایط دمایی منطقه موردمطالعه در حال حاضر، به بازسازی شرایط دمایی منطقه درگذشته اقدام گردید. در این صورت، با استفاده از روش رایت و پورتر خط برفمرز در دوره سرد مشخص گردید که در ارتفاع حدود ۲۲۰۰ قرار داشته است. سپس، نقشه میانگین دما در دوره سرد با استفاده از رابطه زیر ترسیم گردید:

$$Tw=(Hs- H)*.65/100$$ (معادله شماره ۳)

که در آن: Tw دمای پلیستوسن، HS ارتفاع خط برفمرز و H ارتفاع منطقه به متر است. رابطه‌ای که از همبستگی بین ارتفاع و دما به دست آمد در GIS از ارتفاع خط برفمرز دائمی کم شده و نقشه هم‌دمای گذشته ترسیم شد.

د- نقشه هم‌بارش گذشته نیز برحسب رابطه‌ی دما و بارش حال و با فرض ثابت بودن این رابطه درگذشته با استفاده از رابطه زیر و در سیستم اطلاعات جغرافیایی ترسیم گردید.

$$y= -23.685T + 509.09$$ (معادله شماره ۴)

در این معادله، به‌جای T نقشه‌ی هم‌دمای گذشته جای‌گذاری شده تا میزان بارش گذشته حاصل شود. بر اساس رابطه فوق، رابطه بین دو عامل دما و بارش ضریب همبستگی ۹۹۹/. به دست آمد.

تعیین خط برف مرز به دو روش مختلف (رایت و پورتر)

با بررسی نقشه‌های توپوگرافی، تصاویر گوگل ارث، نقشه رقومی دیجیتالی و عکس‌های هوایی آثار سیرک‌های موجود در منطقه مشخص و با استفاده از GPS موقعیت دقیق سیرک‌ها درروی زمین کنترل‌شده و مورد اصلاح نهایی قرار گرفت. سپس با دو روش رایت و پورتر خط برف مرز در منطقه موردمطالعه تعیین و ترسیم گردید:

الف) روش رایت

درروش رایت، اختلاف ارتفاع سیرک‌ها محاسبه و با ضرب آن در ۶۰ درصد سیرک‌ها و کم کردن حاصل از بیشترین ارتفاع، برف مرز تعیین می‌شود:

ب) روش پورتر

برای تعیین خط برفمرز در منطقهٔ دشت ابراهیم‌آباد، از سه روش پورتر استفاده شد که عبارت‌انـد از: الـف) روش ارتفـاع کف سیرک؛ب) روش نسبت ارتفاعی و ج) روش نسبت مساحت تجمعی

۱- روش ارتفاع کف سیرک

در این روش، برای مشخص کردن برف‌مرز گذشته، پس از آماده‌سازی جدول طبقات ارتفاعی و مشخص کردن سیرک‌ها در محدودهٔ ترازهای ارتفاعی، از معادله شماره(۶) برای محاسبه نما یا مد استفاده می‌شود:

$$Mo = 1 + \left(\frac{f1}{f1+f2}\right) * h$$ معادله شماره (۶)

که در آن، M حد پایین طبقهٔ نمادار؛F1 تفاضل طبقهٔ ماقبل طبقهٔ نمادار از فراوانی طبقهٔ نمادار؛F2 تفاضل طبقهٔ مابعد طبقهٔ نمادار از فراوانی طبقهٔ نمادار و h ارتفاع دو طبقهٔ ارتفاعی است.

۲- روش نسبت‌های ارتفاعی

در این روش، از راه میانگین محدودهٔ ارتفاعی پایانهٔ زبانهٔ یخچالی و بلندترین ستیغ حوضه یا منطقهٔ موردنظر، خط برف-مرز مشخص می‌گردد(معادله شماره ۷).

$$\frac{Ah+At}{2}$$ (معادله شماره ۷)

که در آن A_h بالاترین نقطه قلمرو یخچالی و A_t محدوده پایانی قلمرو یخچالی است.

۳- روش نسبت مساحت تجمعی

در ابتدا برف‌مرز اولیه با استفاده از روش نسبت ارتفاعی انتخاب و سپس خطوط میزان (۲۰۰متری) سطح یخچالی تعیین می‌شود. در ادامه، مساحت بین دو منحنی متوالی (به فاصله ۲۰۰ متری) را اندازه‌گیری و برای ایجاد منحنی تجمعی استفاده می‌شود که به شکل گرافیکی، مساحت یخچال را به نسبت توزیع ارتفاعی نمایش می‌دهد. در جدول ۷ مساحت‌های تجمعی ترازهای ارتفاعی به شکل درصد نوشته و نمودار آن ترسیم می‌شود. نقطه‌ای که حوالی 0.65 مساحت قلمرو یخچال‌های گذشته را بپوشاند، برف مرز در نظر گرفته می‌شود.

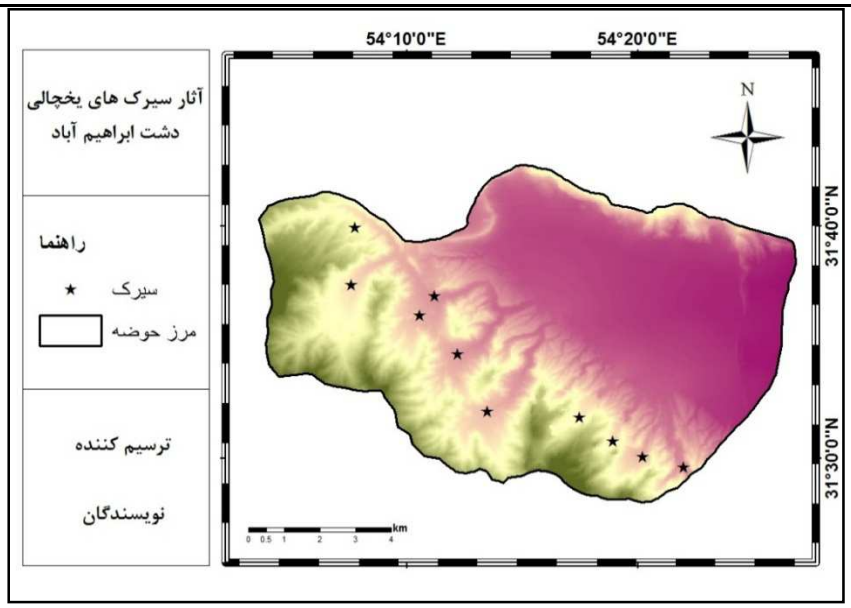
بحث و یافته‌ها

توزیع سیرک‌های منطقه و تحلیل آن

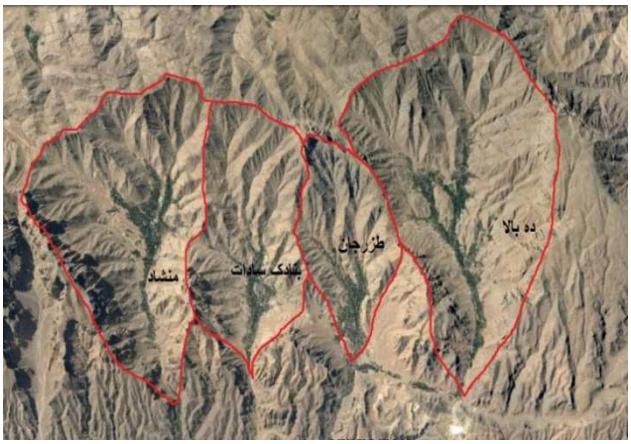
با توجه به نقشه‌های توپوگرافی، تصاویر ماهواره‌ای، مشاهدات میدانی و نتایج دستگاه GPS ،۱۰ سیرک بزرگ و کوچک در منطقه پژوهشی شناسایی که بین ارتفاع ۲۰۳۷ تا ۲۵۵۰ متر پراکنده‌شده‌اند(شکل‌های ۲ و ۳و جداول ۳ و۴)

جدول ٤: موقعیت دقیق سیرک‌ها برحسب طول و عرض جغرافیایی

نقاط	جهت	ارتفاع	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	شمال غرب	۲۵۵۰	۵۴° ۱۲	۳۱° ۳۶
۲	شمال غرب	۲۳۶۸	۵۴° ۱۲	۳۱° ۶۲
۳	غرب	۲۱۷۱	۵۴° ۱۷	۳۱° ۶۰
۴	غرب	۲۰۶۹	۵۴° ۱۸	۳۱° ۶۱
۵	جنوب غرب	۲۱۰۱	۵۴° ۲۰	۳۱° ۵۷
۶	جنوب	۲۲۳۱	۵۴° ۲۲	۳۱° ۵۳
۷	جنوب	۲۴۴۸	۵۴° ۲۹	۳۱° ۵۲
۸	جنوب شرق	۲۴۲۹	۵۴° ۳۱	۳۱° ۵۱
۹	جنوب شرق	۲۲۰۰	۵۴° ۳۳	۳۱° ۵۰
۱۰	جنوب شرق	۲۰۳۷	۵۴° ۳۱	۳۱° ۴۹



شکل ۲: موقعیت سیرک‌های یخچالی در حوضه دشت ابراهیم‌آباد



شکل :۳: نمونه‌ای از چند سیرک در منطقه موردمطالعه (تصویر اخذشده از گوگل ارث) و عکس تصویر سیرک بنادک‌سادات است که در حال حاضر روستایی به همین نام در آن استقرار پیداکرده است(عکس از نگارنده)

نتایج محاسبات برای تعیین خط برف مرز به دو روش مختلف

روش رایت

با توجه به نحوه محاسبه روش رایت خط برف مرز در منطقه ابراهیم‌آباد، در ارتفاع حدود ۲۲۴۲ متر مشخص گردید. به این معنا که در سردترین دور حاکم در منطقه، سطوح بالاتر از ارتفاع ۲۲۴۲ متر ممکن است متحمل انباشتگی‌های گسترده یخ و برف طی زمان‌های متمادی شده باشد؛ چراکه دمای متوسط سالانهٔ این خط، صفر درجهٔ سانتی‌گراد است.

روش پورتر

برای تعیین خط برف مرز در منطقهٔ کذاب، از سه روش پورتر استفاده شد کـه عبـارت‌انـد از :الـف)روش ارتفـاع کـف سیرک؛ ب)روش نسبت ارتفاعی؛ ج)روش نسبت مساحت تجمعی، که در زیر این سه روش برای منطقه موردمطالعه به کار گرفته‌شده‌اند:

روش ارتفاع کف سیرک

با توجه به معادله شماره ۶، ارتفاع کف سیرک‌های موجود منطقه محاسبه و محاسبه‌ها برای تعیـین ارتفـاع کـف سـیرک صورت گرفت که نتایج آن در جدول ۶ آورده شده است.

جدول شماره ٦: توزیع فراوانی سیرک‌های یخچالی در طبقات ارتفاعی حوضه دشت ابراهیم‌آباد

تعداد سیرک	ارتفاع برحسب متر
۲	۲۰۰۰-۲۱۰۰
۲	۲۱۰۰-۲۲۰۰
۲	۲۲۰۰-۲۳۰۰
۱	۲۳۰۰-۲۴۰۰
۲	۲۴۰۰-۲۵۰۰
۱	۲۵۰۰-۲۶۰۰

$$M_{2000\text{ - }2100}= 2000 + \left(\frac{(2000-2)}{(2000-2)+(2100-2)}\right) * 100 = 2048/77$$

$$M_{2100\text{- }2200}= 2100 + \left(\frac{(2100-2)}{(2100-2)+(2200-2)}\right) * 100 = 2148/83$$

$$M_{2200\text{- }2300}= 2200 + \left(\frac{(2200-2)}{(2200-2)+(2300-2)}\right) * 100 = 2204/88$$

$$M_{2300\text{- }2400}= 2300 + \left(\frac{(2300-2)}{(2100-2)+(2200-2)}\right) * 100 = 2351/11$$

میانگین چهار عدد بالا را که عدد ۲۱۸۷ می‌باشد را می‌توان به‌عنوان خط برف مرز در نظر گرفت.

روش نسبت‌های ارتفاعی

در این روش ابتدا از راه میانگین محدود ارتفاعی پایانهٔ زبانهٔ یخچالی و بلندترین ستیغ حوضه یا منطقهٔ موردنظر خط برف مرز مشخص می‌شود.

$$\text{خط برف مرز} = \frac{2560+1615}{2} = 2087$$

روش نسبت مساحت تجمعی

با توجه به بررسی‌ها و محاسبه‌ها، همان‌طور که جدول (۷) آورده شده است، در ستون مربوط به درصد تجمعی میزان ۶۴.۷۱۲ در طبقهٔ ارتفاعی بین۲۲۰۰ —۲۰۰۰ قرارگرفته است که میانگین بین دو این دو عدد ارتفاعی(۲۱۰۰) به‌عنوان خط برف مرز برآورد شده است.

جدول ۷: مساحت‌های تجمعی بین طبقات ارتفاعی

طبقه‌بندی ارتفاعی	مساحت به کیلومتر	مساحت به درصد	درصد تجمعی n
۳۶۰۰–۳۸۰۰	۱۳.۵۲۶	۲.۰۶۱	۲.۰۶۱
۳۴۰۰–۳۶۰۰	۲۴.۷۰۸	۳.۷۶۴	۵.۸۲۵
۳۲۰۰ –۳۴۰۰	۳۱.۵۲۵	۴.۸۰۳	۱۰.۶۲۸
۲۰۰۰ – ۳۲۰۰	۳۹.۶۳۵	۶.۰۳۹	۱۶.۶۶۷
۲۸۰۰ –۳۰۰۰	۵۰.۰۲۴	۷.۶۲۲	۲۴.۲۸۹
۲۶۰۰ – ۲۸۰۰	۶۲.۳۹۴	۹.۵۰۷	۳۳.۷۹۶
۲۴۰۰ – ۲۶۰۰	۶۳.۳۰۹	۹.۶۴۶	۴۳.۴۴۲
۲۲۰۰ – ۲۴۰۰	۶۹.۴۵۳	۱۰.۵۸۲	۵۴.۰۲۴
۲۰۰۰ – ۲۲۰۰	**۷۰.۱۴۸**	**۱۰.۶۸۸**	۶۴.۷۱۲
۱۸۰۰ – ۲۰۰۰	۷۴.۸۱۵	۱۱.۳۹۹	۷۶.۱۱۱
۱۶۰۰ – ۱۸۰۰	۱۵۶.۷۴	۲۳.۸۸۳	۱۰۰

خط تعادل آب و یخ

جریان‌های یخی که از برف خانه‌های بالادست تغذیه می‌شده‌اند، صدها و در مواردی هزاران متر پایین‌تر از خط برف دائم جریان پیدا می‌کرده و درنهایت در نقطه‌ای براثر افزایش دمای سالانه متوقف و از آن نقطه به بعد، آب ذوبان زبانهٔ یخی آغاز می‌شده است؛ به این محل در اصطلاح، خط تعادل آب و یخ گفته می‌شود(طالبی،۱۳۸۱:۱۰۹). یک روش اصلی برای پی بردن به سرد یا خشک بودن آب‌وهوا در ارتفاعات، بازسازی ارتفاع خط تعادل آب و یخ با استفاده از آثار یخچال‌های کوهستانی اواخر پلئیستوسن است (پرنتیس و همکاران[1]،۲۰۰۵). اگرچه تعیین خط برف دائمی در ارتفاع خاصی برآورد می‌شود ولی به این نکته باید دقت داشت که خط تعادل یخ همواره پائین تر از خط برف دائمی است. این خط اگرچه تابع دمای فصلی بوده ولی به‌طورکلی در دامنه‌های برآفتاب بالاتر از دامنه‌های نسار است(عبدی و رامشت،۱۳۹۱).

اغلب خط تعادل آب و یخ را بر پایه‌ی آثار ژئومورفیک به دو روش تعیین می‌کنند: اولی بر اساس وجود و مشاهده مورن های انتهایی یا به عبارتی سنگ‌های سرگردان در پایین‌ترین بخش قلمرو منطقه یخچالی است. درواقع، در این روش قلمرو انتهایی زبانهٔ یخچالی(محل برجای ماندن سنگ‌های حمل شده توسط زبانه یخی)را خط تعادل آب و یخ در نظر می‌گیرند. اما روش دیگر، خط تعادل آب و یخ دوران کواترنر را بر پایهٔ فرم درهٔ یخچالی در نظر می‌گیرد؛ یعنی تا جایی که دره به شکل عریض امتداد داشته و حالت U شکل خود را حفظ کرده است، جزء قلمرو یخی گذشته قلمداد می‌کند. از این نظر، درست نقطه‌ای را که فرم دره تغییر می‌کند، را به‌عنوان خط تعادل آب و یخ در نظر می‌گیرند. اغلب در این نقطه، درهٔ عریض به‌طور ناگهانی قطع‌شده، رها می‌شود. بر این اساس، با بازدید میدانی از منطقه مشخص شد که اگرچه خط برف مرز دایمی در ارتفاع حدود ۲۲۰۰ متری قرار می‌گرفته، خط تعادل آب و یخ به‌مراتب از این خط پایین‌تر می‌آمده است. در حوضهٔ آبریز دشت ابراهیم‌آباد برحسب روش اول، خط تعادل آب و یخ در ۳ ارتفاع حدود ۱۶۱۵ متری ،۱۷۰۰ متر و ۱۸۰۰ متری تعیین شد که معادل دمای ۴.۱ درجه سانتی‌گراد محیطی درگذشته تلقی می‌شود(شکل ۶). درواقع، بر اساس نقشهٔ هم‌دمای دوران پلیئستوسن حوضهٔ ابراهیم‌آباد می‌توان بیان داشت خط دمای۴.۱ درجه متوسط سالانه در این حوضه در ابتدای دشت ابراهیم‌آباد قرار داشته است.

[1] Prentice et al

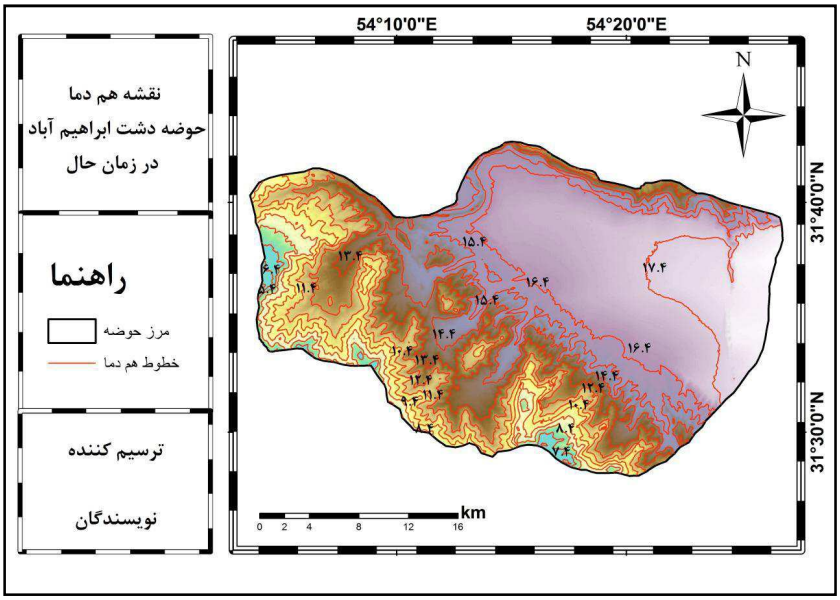
شکل ٤: نمایی از سنگ‌های سرگردان در حوضه آبریز دشت ابراهیم‌آباد در ارتفاع ۱۸۰۰ متری سطح دریا

شرایط اقلیمی دورهٔ کواترنر در منطقه

برای بررسی شرایط اقلیمی دوران کواترنر در منطقه، از میراث ژئومورفولوژیک موجود و همچنین داده‌های اقلیمی کنونی استفاده‌شده است. به این منظور، ابتدا مقدار دما و بارش زمان گذشته را بازسازی و سپس تغییرات دما و بارش منطقه را بر اساس برف مرز و همبستگی دما و رطوبت با ارتفاع مشخص‌شده است.

دمای محیطی حال منطقه

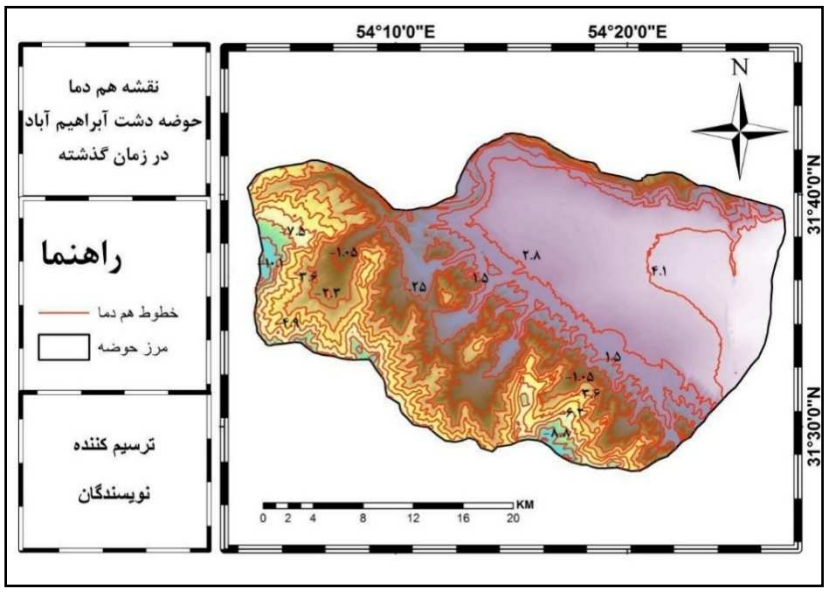
جهت ترسیم نقشه‌های هم‌دمای حال، با استفاده از یک رابطه خطی (معادله شماره ۱) همبستگی بین ارتفاع و متوسط دمای سالیانه بین۱۶ ایستگاه اطراف برقرار و با اجرا نمودن این رابطه در محیط ArcGIS نقشهٔ هم‌دمای منطقه برای حال حاضر ترسیم شد(شکل ۵). بر پایه محاسبات انجام‌گرفته، به ازای افزایش 100 متر ارتفاع در محدودهٔ پژوهش، افت آهنگ دما۵۲/. درجهٔ سانتی‌گراد برآورد شد. نقشه هم‌دما نشان دهندهٔ مقدار متوسط دما در زمان حال در حوضه بوده که مقدار آن از ۵.۴ درجهٔ سانتی‌گراد در ارتفاعات تا ۱۷.۴درجهٔ سانتی‌گراد به سمت دشت متغیر است(شکل۵).



شکل ۵: نقشه هم‌دمای سالانه حوضه دشت ابراهیم‌آباد در زمان حال

بازسازی شرایط دمای محیط در پلئیستوسن

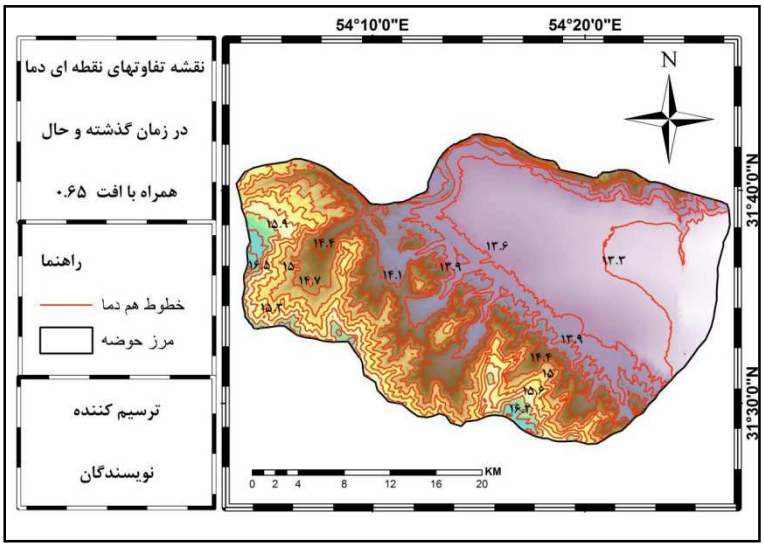
برحسب معادله شماره ۲ و با پردازش آن درArcGIS (روش کریجینگ) نقشهٔ هم‌دمای گذشته بازسازی و ترسیم شد (شکل۶). نتایج ارزیابی رقومی نقشهٔ هم‌دمای متوسط سالانه در دورهٔ گذشته(دوره وورم) نشان می‌دهد که در ارتفاعات سلول‌های برودتی به سمت غرب و جنوب غرب منطقه، بیش از هر مکان دیگر غلبه داشته و مقدار آن از حداقل دما(-10.1) تا حداکثر دما (۴.۱) درجه سانتی‌گراد در حوضهٔ دشت ابراهیم‌آباد، متغیر است.



شکل ٦: نقشه هم‌دمای متوسط سالانه حوضه دشت ابراهیم‌آباد در زمان گذشته

مقایسه شرایط دمایی حال و گذشته منطقه (آنومالی برودتی)

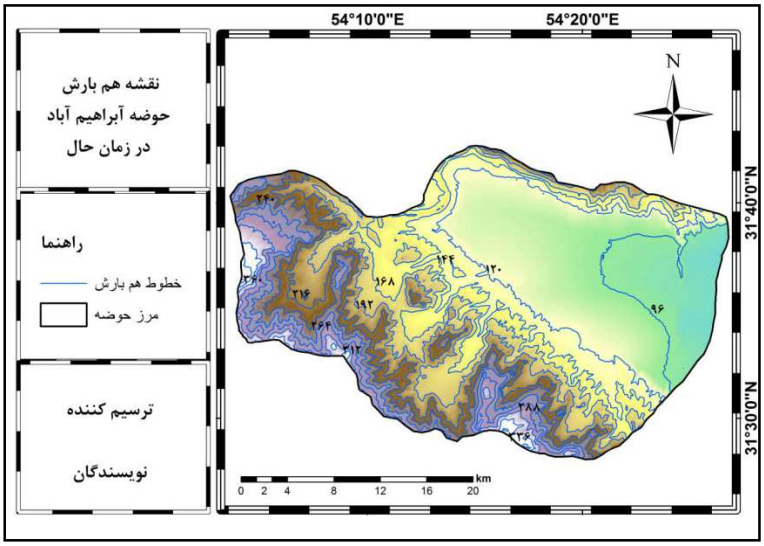
مقایسهٔ دمای گذشته و حال را تغییرات دمایی گویند. با توجه به میانگین دمای متوسط ۱۴سالهٔ ایستگاه انتخابی موجود و با در نظر گرفتن رابطهٔ دمای گذشته با ارتفاع و همچنین دمای حال حاضر با ارتفاع که ارتباط مستقیم باهم دارند و با فرض اینکه این رابطه در تمام دوران‌ها ثابت است (به افزایش یا کاهش ارتفاع بستگی دارد)، مقدار آنومالی حرارتی با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ در سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی برآورده شد(شکل ۷). با مقایسهٔ شکل‌های شماره‌ی ۵ و ۶ می‌توان مقدار تغییرات دمایی گذشته و حال را محاسبه نمود. بدین شکل، تغییرات دمایی حوضه به‌طور میانگین ۱۴.۴ درجهٔ سانتی‌گراد است. کمترین تفاوت مربوط به حوالی شرق و مرکز دشت است. همان‌طور که از نقشه تغییرات دمایی پیداست میزان تغییر در قسمت ابتدای دشت حدود ۱۳.۳ درجهٔ سانتی‌گراد است ولی این میزان در ارتفاعات بالا به حدود ۱۶.۵درجهٔ سانتی‌گراد می‌رسد(شکل ۷).



شکل۷: نقشه تفاوت نقطه‌ای دما درگذشته و حال (همراه با افت ۰/٦٥ درجه سانتی‌گراد)

بارش محیطی فعلی حوضه

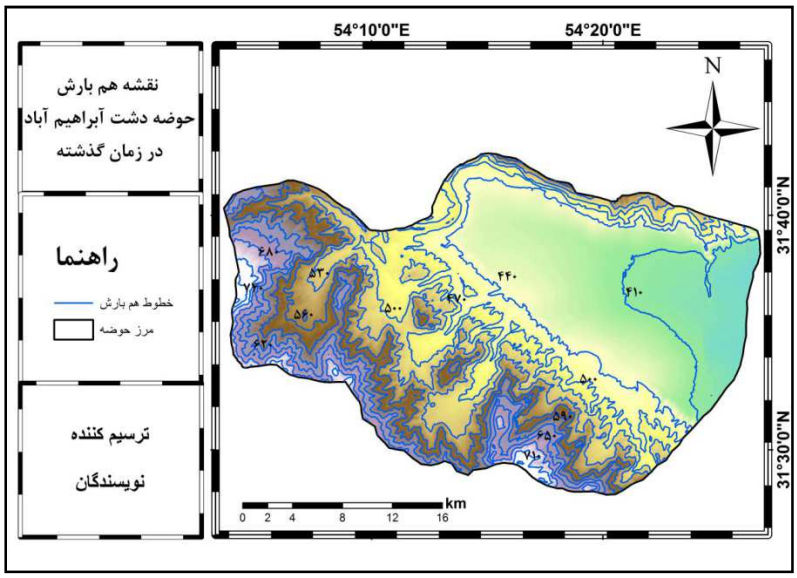
به‌طور بدیهی، با افزایش ارتفاع در هر منطقه بارندگی نیز افزایش پیدا می‌کند. هرچند که عوامل دیگری ازجمله موقعیت جغرافیایی منطقه و جهت جغرافیایی دامنه‌ها نیز در میزان بارندگی نقش دارند. برای ترسیم نقشه هم‌بارش زمان حال ابتدا رابطه خطی از همبستگی بین ارتفاع و متوسط بارش سالیانه ایستگاه‌های پیرامون منطقه موردمطالعه به دست آمد و برحسب بارش سالانه و نقشه رقومی ارتفاعی منطقه و اجرای معادله (۳) در GIS نقشه هم‌بارش زمان حال ترسیم گردید(شکل ۸). همان‌طور که از شکل پیداست مقدار بارش حال حاضر حوضه دشت ابراهیم‌آباد از ۹۶ میلی‌متر در نقطه خروجی تا ۳۶۰ میلی‌متر در ارتفاعات متغیر است. بر اساس این نقشه، متوسط بارندگی منطقه حدود ۲۲۸ میلی‌متر در سال است.



شکل ۸: نقشه هم‌بارش حوضه دشت ابراهیم‌آباد در زمان حال

بازسازی شرایط بارش محیطی درگذشته

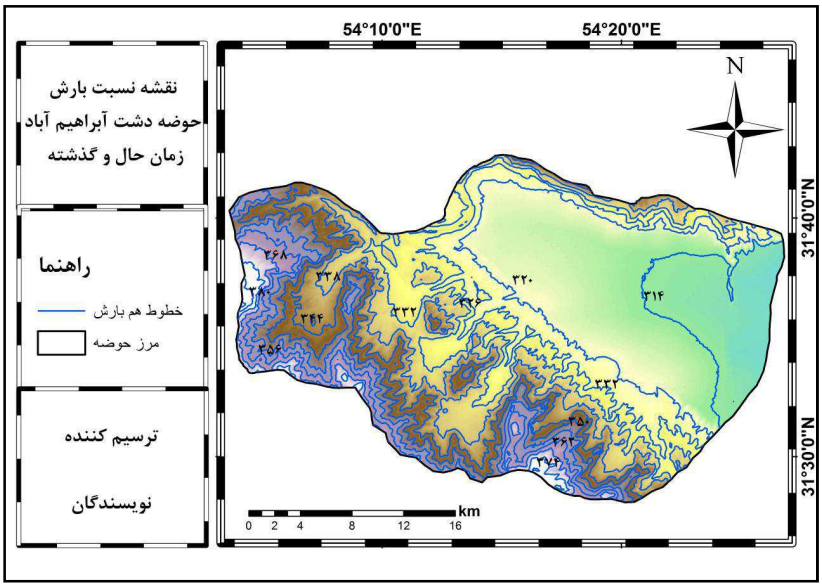
با فرض ثابت بودن رابطه دما و رطوبت در زمان حال، می‌توان به بازسازی شرایط رطوبت گذشته بر اساس نقشه دمای محیطی به‌دست‌آمده از گذشته اقدام نمود(رامشت و همکاران،۱۳۹۰؛یمانی و همکاران،۱۳۹۳؛سیف و همکاران، ۱۳۹۴؛ شریفی و فرح بخش،۱۳۹۴) از طریق معادله شماره ۴ و بر اساس رابطه خطی بین دما و بارش زمان حال و همچنین بر اساس رابطه درون‌یابی کریجینگ در ARC GIS نقشه مقدار رطوبت در کواترنر ترسیم گردید(شکل ۹). همان‌طور که از نقشه پیداست مقدار بارش در ارتفاعات حدود۷۴۰ میلی‌متر، در پایین‌دست حوضه حدود ۴۱۰ میلی‌متر و به‌طور متوسط ۵۷۵ میلی‌متر بوده است. این نقشه نشان‌دهنده این است که مانند زمان حال، در ارتفاعات (غرب) مقدار بارندگی بیشتر و به سمت خروجی حوضه (شرق) مقدار بارندگی کاهش پیداکرده است.



شکل ۹: نقشه هم‌بارش حوضه دشت ابراهیم‌آباد در زمان گذشته

مقایسه بارش حال و گذشته منطقه (تغییرات بارش)

مقدار و نحوه تغییر رطوبت محیطی با نسبت گرفتن مقدار بارش در دوره سرد و بارش امروزه به‌دست‌آمده است(شکل ۱۰) بر اساس این شکل، میزان اختلاف بارش در زمان گذشته نسبت به حال در حدود ۳۵۰ میلی‌متر بوده است که این میزان نیز در بخش‌های مختلف منطقه متفاوت بوده است. به‌طوری‌که حداقل آن در بخش خروجی حوضه و در داخل دشت بوده که به حدود ۳۱۵ میلی‌متر می‌رسیده و حداکثر آن در ارتفاعات بوده که به مقدار حدود ۳۸۰ میلی‌متر می‌رسیده است. بدین روی ملاحظه می‌شود که بارش درگذشته نسبت به حال بیش از دو ۲ برابر بوده است.



شکل ۱۰: نقشه نسبت بارش حوضه ابراهیم‌آباد در زمان حال و گذشته

نتیجه‌گیری

ایران مرکزی در حال حاضر از آب‌وهوای گرم و خشک و بعضاً بسیار خشک برخوردار است به‌طوری‌که در برخی بخش‌های آن بارش سالیانه کمتر از ۵۰ میلی‌متر صورت می‌گیرد درحالی‌که میزان تبخیر و تعرق بالقوه آن به چند برابر این مقدار بارش می‌رسد. بااین‌وجود، ژئوفرمها و آثار لند فرم‌های موجود در این مناطق از آب‌وهوای بسیار سردتر و مرطوب‌تری حکایت دارند. در این پژوهش نیز تلاش بر این بوده که با استفاده از آثار ژئوفرمهای باقی‌مانده از گذشته به بررسی شرایط اقلیم درگذشته و بازسازی آن پرداخته شود و میزان تغییرات و آنومالی‌های رطوبتی و دمایی ارزیابی گردد. ازاین‌رو، با بررسی‌های میدانی حوضه آبریز دشت ابراهیم‌آباد در جنوب شرق شهر یزد و شمال غرب شهر مهریز، در داخل دشت سنگ‌های بسیار بزرگ در سه ارتفاع متفاوت شامل ۱۶۱۵ متر، ۱۷۰۰ متر و ۱۸۰۰ متر مشاهده گردید که قطر برخی از آن‌ها به بیش از ۱۰ متر و وزن آن به بیش از ده تن می‌رسد. جنس این سنگ‌ها از گرانیت بوده درحالی‌که سنگ‌های مادر پیرامون به‌طور کامل از آهک‌ها و دولومیت ها تشکیل‌شده‌اند. بعلاوه، این سنگ‌ها به شکل توده‌ای و شامل صدها و هزاران سنگ در داخل دشت قرارگرفته‌اند. در بالادست این سنگ‌ها، چند دره بسیار وسیع ازجمله دره‌های فخرآباد و منشاد با عرض بیش از صد متر ایجادشده‌اند که در ارتفاع حدود ۲۰-۳۰ متری کف دره آثار تراس‌های سنگی در امتداد دره به شکل متناوب دیده می‌شود که احتمالاً این تراس‌ها بستر انتقال توده‌های یخی بالادست هست که بعدا با ذوب آن‌ها و شکل‌گیری جریان آب، دره بستر خود را به شکل V حفر نموده و بدین ترتیب تراس‌های سنگی مشرف بر آن‌ها برجای‌مانده‌اند. در ارتفاعات بالادست نیز، بالای ارتفاع ۲۰۰ متری آثار سیرک‌های بسیار بزرگ یخچالی قابل‌مشاهده است که امروزه روستاهای نسبتاً بزرگی در داخل آن‌ها قرارگرفته‌اند. برحسب این آثار به‌عنوان شاخص، به بازسازی شرایط دمایی و رطوبتی پلئیستوسن اقدام گردید. در ابتدا برای بازسازی برفمرزها از دو روش رایت و پورتر بهره گرفته شد که با روش رایت خط برف مرز در ارتفاع ۲۲۴۲ متر و با روش پورتر خط برف مرز در ارتفاع حدود ۲۱۵۰ متر تعیین گردید. همچنین، ارتفاع محل قرارگیری سنگ‌های سرگردان به‌عنوان خط تعادل آب و یخ گذشته در نظر گرفته شد که همان‌گونه که ذکر گردید در سه ارتفاع مختلف بین ۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰ متر و معادل خط هم‌دمای حدود ۴ درجه سانتی‌گراد قرار داشته است. در ادامه بر مبنای همبستگی بین دما و ارتفاع، گرادیان دمایی و نقشه هم‌دمای حال حاضر ترسیم شد که گرادیان دمایی حال حاضر آن در حدود ۰/۶۵ برای هر صد متر ارتفاع است. بر اساس این نقشه، متوسط

دمای کنونی حوضه ۱۱.۴ درجه که حداقل آن در دشت ۱۷.۴ و در ارتفاعات ۵.۴ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. بر مبنای ارتفاع برفمرزها(خط هم‌دمای صفر درجه درگذشته)، گرادیان دمایی گذشته محاسبه و بر مبنای همبستگی بین این خط با ارتفاعات بالاتر و پایین‌تر، خط هم‌دمای گذشته محاسبه شد که متوسط آن درگذشته حدود ۶- درجه بوده است که گستره آن بین ۱۰- درجه در ارتفاعات و ۴ درجه در سطح دشت متغیر بوده است. با مقایسه نقشه هم‌دمای حال و گذشته مشاهده می‌شود که دمای این منطقه به نسبت گذشته در حدود ۱۴.۴ درجه تغییر و گرم‌تر شده است. مقدار تغییر در بخش دشت ۱۳.۳ درجه و در ارتفاعات به ۱۶.۵ درجه است. همچنین، برحسب داده‌های اقلیمی به کار گرفته‌شده و با استفاده از همبستگی بارش و ارتفاع، گرادیان رطوبتی حال محاسبه و نقشه آن تهیه گردید. بر این اساس، بارش متوسط منطقه در حال حاضر حدود ۲۲۸ میلی‌متر با گرادیان حدود ۱۱ میلی‌متر در هر صد متر ارتفاع است. بنابراین، حداقل آن ۹۶ میلی‌متر در دشت ابراهیم‌آباد و حداکثر آن ۳۶۰ میلی‌متر در ارتفاعات بالاست. همچنین، با استفاده از همبستگی بین دما و بارش حال و قرار دادن نقشه هم‌دمای گذشته در معادله همبستگی، نقشه هم‌بارش گذشته ترسیم گردید. بر اساس این نقشه، بارش متوسط در منطقه درگذشته در حدود ۵۷۵ میلی‌متر در سال بوده است که کمترین آن به مقدار ۴۱۰ میلی‌متر در دشت و بیشترین آن در حدود ۷۴۰ میلی‌متر در بالاترین ارتفاعات بوده است. درواقع، بارش درگذشته حدود ۳۵۰ میلی‌متر (۲.۵)برابر بیشتر از حال حاضر بوده است. مقایسه نتایج با بیشتر تحقیقاتی که در ایران مرکزی انجام‌گرفته است تفاوت محسوسی را نشان می‌دهد. برای مثال، مانند المدرسی و همکاران در سخوید یزد ارتفاع برف مرز را ۳۲۲۰ متر و خط تعادل آب و یخ را ۲۳۵۰ متر برآورد کرده‌اند، یمانی و همکاران در کرکس که ارتفاع برف مرز را ۳۰۰۰ متر و خط تعادل آب و یخ را ۲۵۰۰ متر محاسبه نمودند و سیف و همکاران ارتفاع برف مرز را ۲۸۳۶ متر و خط تعادل آب و یخ را ۲۱۰۹ متر برای محدوده سایت ریگ برآورد نموده‌اند؛ که با پژوهش حاضر تفاوت‌های چشمگیری را نشان می‌دهد. همچنین، رامشت و همکاران در حوضه تیگرانی دمای گذشته را ۸.۵ درجه سردتر برآورد کرده‌اند، ایشان در زفره کاهش ۹ درجه‌ای و در اقلید فارس کاهش ۱۰ درجه‌ای را تخمین زده‌اند. ابطحی در حوضه دریاچه نمک این مقدار را ۵.۶ درجه، یمانی برای ارتفاعات کرکس ۱۰-۱۲ درجه و المدرسی ۸ درجه را برای سخوید یزد تخمین زده‌اند. که با تغییر دمایی ۱۴.۴ درجه محاسبه‌شده در این پژوهش تفاوت محسوسی دارند. ازنظر خط تعادل آب و یخ نیز این تفاوت‌ها قابل‌تأمل است. برای نمونه، در اقلید فارس رامشت و همکاران خط تعادل آب و یخ را در ارتفاع ۲۳۵۰ متر در نظر گرفته‌اند، رفیعی ارتفاع ۱۵۲۰ متر را برای ارتفاعات کهک لحاظ نموده است، المدرسی و همکاران در منطقه سخوید یزد خط تعادل آب و یخ را ۲۳۵۰ متر برآورد نموده‌اند. اما این مطالعه، با نتایج مطالعه شریفی و فرح‌بخش در حوضه خضرآباد شباهت بیشتری دارد که این خط را در ارتفاع ۱۵۶۰ متر در نظر گرفته‌اند. بدین ترتیب، مشاهده می‌شود که تفاوت‌های عمده‌ای بین این مطالعه با مطالعات دیگران در ایران مرکزی قابل‌مشاهده است که احتمالاً مربوط به ارتفاع زیاد شیرکوه(۴۱۰۰ متر)، حجم زیاد آن، ایجاد سیرک‌های بزرگ به دلیل وجود سنگ‌های آهکی و انحلال ساده‌تر آن‌ها و همچنین مساحت و شیب زیاد حوضه موردمطالعه است که سبب شده حجم بیشتری از یخ به شکل زبانه حرکت نموده و تا ارتفاعات پایین‌تری کشیده شوند

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از سازمان هواشناسی یزد به‌ویژه آقای منوچهر فرودی که داده‌های اقلیمی را به‌طور کامل و جامع در اختیار ما قراردادند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌کنیم.

منابع

- پدرامی، منوچهر، ۱۳۶۷، سن مطلق کواترنر، مجله دانشکده علوم، شماره ۴ و ۳، جلد ۱۷،ص ۸۸.
- جعفربیگلو، منصور؛ یمانی، مجتبی؛ عباس نژاد، احمد؛ زمان زاده، سیدمحمد؛ ذهاب ناظوری، سمیه.،۱۳۹۳، بازسازی برف مرزهای یخچالی کواترنر در کوهستان بیدخوان در (استان کرمان)، فصلنامه علمی-پژوهشی و بین‌المللی انجمن جغرافیایی ایران، سال دوازدهم، شماره ۴۰، صص ۱۰۷-۹۳
- رامشت، محمدحسین؛ لاجوردی،محمود، لشکری،حسن، محمودی محمدآبادی، طیبه،۱۳۹۰، ردیابی آثار یخچال‌های طبیعی، مطالعه موردی: یخچال طبیعی حوضه تیگرانی ماهان، مجله جغرافیایی و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۲، شماره پیاپی ۴۲، شماره ۲، صص ۷۸-۵۹
- سرور، جلیل الدین، فرید مجتهدی، نیما، ۱۳۸۹، شواهد ریخت‌شناسی (ژئومورفولوژی) یخچالی کواترنر در البرز غربی(دامنه شمالی کوه سیالان)،جغرافیا و توسعه، شماره ۱۸، صص ۹۲-۶۹
- شریفی، محمد، فرح‌بخش، زهرا،۱۳۹۴، بررسی آنومالی‌های حرارتی و رطوبتی بین زمان حال و پلئیستوسن و بازسازی شرایط اقلیمی با استفاده از شواهد ژئومورفیک(نمونه موردی: حوضه آبریز خضرآباد)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۹۴، صص ۶۰۵-۵۸۳
- شمسی‌پور، علی‌اکبر، باقری سید شکری، سجاد، جعفری اقدم، مریم، سلیمی منش، جبار، ۱۳۹۴، بازسازی برف مرزهای آخرین دوره‌ی یخچالی با شواهد دوره‌های یخچالی در زاگرس شمال غربی(منطقه موردی: تاقدیس قلاجه)، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۳۹، صص ۷۴- ۶۱
- طاحونی،پوران،۱۳۸۳، شواهد ژئومورفیک فرسایش یخچالی پلیستوسن در ارتفاعات تالش، پژوهش‌های جغرافیایی شماره ۴۷ ،صص ۵۵-۳۱
- طالبی،حمیدرضا، رامشت، محمدحسین، ۱۳۸۱، بررسی آثار یخچالی زفره اصفهان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد ، دانشگاه آزاد اسلامی نجف‌آباد، گروه جغرافیا،
- عبدی، صمد، رامشت، محمدحسین، ۱۳۹۱، ردیابی آثار یخچالی کواترنر در حوضه آبی رودخانه بوانات، مجله سپهر، دوره‌ی بیست و یکم، شماره ۸۲، صص ۷۰-۶۴
- قهرودی، منیژه، ۱۳۹۰، تخمین و مقایسه قلمرو برف‌های دائمی در عصر یخچالی و بین یخچالی (حوضه رود هراز)، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۵، صص ۱۱۰-۹۷
- محمودی،فرج الله، ۱۳۶۷، تحول ناهمواری‌های ایران در کواترنر، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۲۳. دانشگاه تهران، صص ۴۳-۵
- معیری، مسعود، رامشت، محمدحسین، تقوایی، مسعود، تقی زاده، محمدمهدی،۱۳۸۷، مواریث یخچالی در حوضه صفاشهر استان فارس، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان، علوم انسانی، جلد ۳۲. شماره ۴، صص ۱۳۰-۱۰۹
- یمانی، مجتبی،۱۳۸۳، ژئومورفولوژی یخچال‌های علم‌کوه، پژوهش‌های جغرافیایی، سال ۳۴، شماره ۴۲،تهران، موسسه جغرافیایی دانشگاه تهران،صص ۱۸-۱
- *Bobek H.,1937, Nature and Implications of Quaternary Climatic Changes in Iran, Proceedings of Symposium on Changes of Climate with Special Reference to and Zones,Rome.UNESCO,PP.403-413.*
- *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.*
- *Hagedorn, H., Haars, W., Busche, D. and Grunert, j., 1978, "Some geomorphological observations from the Shir kuh, mountains area.Geography". Journalof the Association of Iranin Geographers. Vol. 1: 10-15*

- *Hendrickx Hanne, Jacob، Miro, Frankl،Amaury, Nyssen Jan., 2015,Glacial and periglacial geomorphology and its paleoclimatological significance in three North Ethiopian Mountains, including a detailed geomorphological map. Geomorphology, Volume 246, Pages 156-167*
- *Moumani,Kh.,Bateman, M.D and Alexander, J, 2003, Sedimentology of the Late Quaternary Wadi Hasamarl Formation of Central Jordan: a record of climate variability.D. palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology vol. 191 2003.pp 221.242*
- *Napieralski, Jacob, Jon Harbor & Li Yingkui, 2007, "Glacial geomorphology and Geographic information systems", Earth-Science Reviews,No.85,Pp.1-22*
- *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.*
- *Prokop, P. ,2009, Land degredation in Meghalaya(India)-possible scenario of climate change effects in monsoonal Asia.7th international Conference on Geomorphology.6-11 Jully 2009.Melbourve,Australia.*
- *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*
- *Wright, H.E., 1983, Late-Pleistocene Glaciation and Climate around the Junin Plain, Central Peruvian Highlands, Geografiska Annaler 65A, pp. 35-43.*
- *Xiangke X., Gang Hu, Baojin Qiao,2014, Last glacial maximum climate based on cosmogenic 10Be exposure ages and glacier modeling for the head of Tashkurgan Valley, northwest Tibetan Plateau.Original Research Article Quaternary Science Reviews, Volume 80, 11 November 6014, Pages 71-101*
- *Xiangke Xu., 2014, Climates during Late Quaternary glacier advances: glacier-climate modeling in the Yingpu Valley, eastern Tibetan Plateau, Quaternary Science Reviews, Volume 101, Pages 18-27*