

بررسی تغییرات زمانی و مکانی فصل برفی و تاریخ‌های آغاز و پایان آن در منطقه کوهستانی زاگرس

سعید جهانبخش اصل^۱، بهروز ساری صراف^۲، طیب رضیئی^۳ و اکرم پرنده خوزانی^{۴*}

^۱ استاد، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز، استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران و ^۴ دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۱۳

چکیده

برای پایش روند تغییرات زمانی و مکانی برف در مناطق برف‌گیری مانند زاگرس نیاز به داده‌های درازمدت برف با دقت مکانی بالا است، در حالی که در بیشتر ایستگاه‌های منطقه زاگرس اندازه‌گیری برف یا انجام نشده و یا آمار آن در دسترس نیست. از این‌رو، در این پژوهش برای بررسی تغییرات زمانی و مکانی فصل برفی در منطقه زاگرس از داده‌های روزانه عمق برف ERA-Interim/Land در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۷۹ میلادی استفاده شد. سپس، برای هر سال آبی (اکتبر تا سپتامبر سال بعد) از دوره آماری مورد مطالعه، نخستین تاریخی که در آن بیش از یک سانتی‌متر برف ریزش کرده، به‌عنوان نخستین روز برفی و آخرین تاریخی که بیش از یک سانتی‌متر برف دریافت کرده است، به‌عنوان آخرین روز برفی سال و فاصله زمانی میان این دو تاریخ نیز به‌عنوان فصل برفی سال تعریف شد. شیب تغییرات روند سری‌های زمانی زمان آغاز و پایان ریزش برف و طول فصل برفی نقاط مختلف منطقه مورد مطالعه با استفاده از رگرسیون خطی و برآوردگر خطی سن برآورد و معنی‌داری آن‌ها به کمک آزمون من-کندال آزمون شد. افزون بر این، میانگین تاریخ‌های آغاز و پایان ریزش برف و طول فصل برفی در دهه‌های مختلف دوره مورد مطالعه با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفت. همچنین، ارتباط بین تاریخ‌های آغاز و پایان ریزش برف و طول فصل برفی در منطقه با ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی آزمون شد. نتایج نشان داد که الگوی توزیع مکانی تاریخ نخستین و آخرین ریزش برف و طول فصل برفی منطقه مورد مطالعه با طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌ها رابطه معنی‌داری دارد. بررسی روند تغییرات زمانی پارامترهای یاد شده نیز نشان داد که در بخش گسترده‌ای از زاگرس زمان آغاز نخستین بارش برف سال به تاخیر افتاده است و زمان ریزش آخرین برف سال نیز پیش افتاده است. پس، افتادن نخستین بارش برف سال و پیش افتادن آخرین بارش برف سال باعث کوتاه‌تر شدن طول فصل برفی در منطقه شده است. بخش بزرگی از این روند کاهشی نتیجه کاهش شدید و معنی‌دار سری زمانی زمان آخرین برف سال است که با شیب تندی کاهش یافته و خود را از ماه مارس به ماه‌های آوریل و ژانویه منتقل کرده است.

واژه‌های کلیدی: آخرین برف سال، روند، عمق برف، نخستین برف سال، ERA-Interim/Land

مقدمه

می‌دهد. از این‌رو، پوشش برف نیز پدیده‌ای فصلی و گذراست که بسته به زمان و مکان ممکن است، برای ساعت‌ها و ماه‌ها روی زمین باقی بماند. پوشش برف در

برف، بخش قابل توجهی از رویدادهای بارشی فصل زمستان را در مناطق کوهستانی مانند زاگرس تشکیل

همکاران، ۱۹۹۸). Groisman و همکاران (۲۰۰۶) و Bulygina و همکاران (۲۰۰۹) کاهش پوشش برفی را به ترتیب برای سال‌های ۱۹۹۱-۱۹۵۶ و ۲۰۰۷-۱۹۶۶ گزارش کرده‌اند، در حالی که Kitaev و همکاران (۲۰۰۶ و ۲۰۰۴) نشان دادند که روند تغییرات پوشش برف در دو دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۶ و ۲۰۰۰-۱۹۳۶ افزایشی بوده است. این نتایج متفاوت، به علت استفاده از داده‌های با طول دوره آماری متفاوت به دست آمده است که در آن‌ها روند دمایی نیز متفاوت بوده است. در میان ویژگی‌های مختلف مرتبط با برف، تداوم پوشش برف بیشترین حساسیت را به تغییرات دمایی هوا دارد (Mote و Brown، ۲۰۰۹). مطالعات، همچنین نشان می‌دهد که از سال ۱۹۸۰ به بعد با دیرتر آغاز شدن بارش برف و زودتر ذوب شدن آن‌ها کاهش گسترده‌ای در طول فصل برفی و تداوم پوشش برف پدید آمده است (Callaghan و همکاران، ۲۰۱۱؛ Radionov و همکاران، ۲۰۰۴). در بررسی روند تغییرات زمانی تاریخ نخستین و آخرین ریزش برف و طول فصل برفی در شمال مرکزی و شمال غربی آسیا در دوره ۱۹۹۴-۱۹۳۷ مشخص شد که در هر دهه در حدود چهار روز بر طول فصل برفی افزوده شده است. این افزایش طول فصل برفی، به خاطر آغاز زود هنگام‌تر بارش برف و پایان دیر هنگام‌تر آخرین بارش برف در پایان فصل می‌باشد (Ye، ۲۰۰۱). در پژوهشی دیگر، کوتاه‌تر شدن فصل ریزش برف و نیز روند تغییرات تاریخ‌های آغازین و پایانی ریزش برف و طول فصل برفی در آسیای شمالی و ارتباط آن‌ها با دمای هوا بررسی شده است (Ye و همکاران، ۲۰۱۳). بررسی تغییرات الگوهای فضایی و زمانی آغاز، پایان و طول فصل برفی در نیمکره شمالی نشان می‌دهد که میانگین تداوم فصل برفی در نیمکره شمالی با نرخ ۵/۳ روز در هر دهه (۰/۸ هفته در دهه) بین سال‌های ۱۹۷۲ تا ۲۰۰۷ کاهش یافته است. تغییرات در تداوم فصل برفی به طور عمده به آغاز زود هنگام‌تر فصل برف نسبت داده می‌شود که با سرعت ۵/۵ روز در دهه افزایش داشته است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در اواخر دهه ۱۹۸۰ یک تغییر عمده در روند زمانی تاریخ پایان فصل برفی و در نتیجه، در تداوم آن اتفاق افتاده است که نتیجه آن کوتاه‌تر شدن فصل برفی در اروپای

یک محل مشخص ممکن است، در طول فصل، چندین بار پدیدار و سپس، ناپدید شود. در مناطق قطبی شمالگان، این پدیده در همه ماه‌های سال وجود دارد، ولی در عرض‌های میانه جغرافیایی تنها در طول فصل زمستان چنین است (Frei و Robinson، ۲۰۰۰). پوشش برف بر الگوهای فضایی انرژی حرارتی و منابع هیدرولوژیکی در مقیاس‌های زمانی مختلف تأثیر می‌گذارد. آلودگی بالای پوشش برف، دمای سطحی هوا را به اندازه چهار تا هشت درجه سانتی‌گراد در مقایسه با شرایط بدون برف کاهش می‌دهد (Robinson و Leathers، ۱۹۹۳؛ Dewey، ۱۹۷۷). علاوه بر این، پوشش برف در کوهستان‌ها به عنوان یک مخزن آب عمل می‌کند که با گرم شدن تدریجی هوا در فصل بهار به آب تبدیل شده و آب مورد نیاز اکوسیستم‌ها و زمین‌های کشاورزی مناطق پائین دست خود را فراهم می‌کند. برای مثال، مناطق کشاورزی شمال هند وابستگی زیادی به آب ذوب برف کوهستان‌ها دارد (Bagla، ۲۰۰۷).

پژوهش‌های انجام شده به وسیله Zhang و همکاران (۲۰۰۱)، Cayan و همکاران (۲۰۰۱) و Hodgkins و همکاران (۲۰۰۳) به ترتیب نشان می‌دهند که زمان اوج جریان‌های بهاری در کانادا، کوهستان‌های راکی و شمال شرقی آمریکا در طول ۳۰ تا ۵۰ سال اخیر به سمت زمستان پسرقت داشته است. افزون بر این، در دهه‌های اخیر گزارش‌های زیادی از ناپدید شدن زود هنگام پوشش برف در بهار و افزایش روزهای بدون برف در مقیاس قاره‌ای ارائه شده است (Robinson و Dewey، ۱۹۹۰؛ Dye، ۲۰۰۲؛ Bamzai، ۲۰۰۳). از سوی دیگر، پسروی زمان اوج ذوب برف به سوی زمستان مشکلات هیدرولوژیکی مانند فراوانی وقوع خشکسالی‌های بهاره و آتش‌سوزی‌های شدید و گسترده در جنگل‌ها و کشتزارها را در بهار و تابستان پس از آن به همراه داشته است (Westerling و همکاران، ۲۰۰۶). همچنین، افزایش دمای هوا در پائیز و بهار به ترتیب سبب تاخیر در زمان آغاز بارش برف و پیش افتادن زمان پایان بارش برف در سیبری و منطقه اروپایی روسیه شده، طول فصل برفی منطقه را به شدت کاهش داده است (Ye، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱؛ Ye و

همچنین، پیش‌بینی کردند که تا سال ۲۰۵۰ دبی حوضه در فصل زمستان با افزایش و دبی فصل بهار و تابستان با کاهش روبه‌رو می‌شود، ولی تغییری در دبی فصل پاییز روی نخواهد داد. Fatahi و Ghasemi (۲۰۱۲) نیز نشان دادند که با توجه به افزایش دما و روند افزایشی ذوب برف، رواناب حوضه آبخیز بختیاری روند افزایشی خواهد داشت و یک رابطه منفی بین دمای هوای سالانه و درصد پوشش برف منطقه وجود خواهد داشت.

با افزایش دما در اثر تغییرات اقلیمی، ممکن است، الگوی توزیع زمانی و مکانی بارش برف در هر منطقه - ای تغییر کند. بررسی تحقیقات گذشته در زمینه موضوع برف در ایران نیز نشان می‌دهد که با وجود این‌که موضوع برف در کشور از دیدگاه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است، ولی تا کنون مطالعه‌ای در زمینه بررسی تغییرات طول فصل برفی و تغییر در زمان آغاز و پایان ریزش برف در کشور در ارتباط با گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی صورت نگرفته است. بر این اساس، در این مطالعه، الگوی توزیع مکانی طول فصل برفی و نخستین و آخرین تاریخ ریزش برف در منطقه کوهستانی زاگرس شناسایی و روند تغییرات زمانی آن‌ها در پاسخ به گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج این بررسی می‌تواند اطلاعات مهمی از توزیع مکانی و زمانی این سه ویژگی مهم برف را در اختیار برنامه‌ریزان منابع آب و بخش کشاورزی کشور قرار دهد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه، بر روی منطقه کوهستانی و برف‌گیر زاگرس انجام شده است که از جنوب استان آذربایجان غربی آغاز و استان‌های کردستان، همدان، زنجان، کرمانشاه، لرستان، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد، مرکزی و قسمتی از استان فارس و اصفهان را در بر می‌گیرد. برای بررسی تغییرات زمانی و مکانی برف و شناسایی تاریخ‌های آغاز، پایان و طول فصل برفی در مناطق برف‌گیری مانند منطقه کوهستانی و برف‌گیر زاگرس نیاز به داده‌های برف با طول دوره آماری درازمدت و دقت مکانی بالا است. اغلب

غربی، مرکز و شرق آسیا و کوهستان‌های غربی ایالات متحده و در نتیجه پایان زودهنگام‌تر فصل برفی (در حدود پنج تا ۲۵ روز در دهه) بوده است (Choi و همکاران، ۲۰۱۰). Rikiishi و همکاران (۲۰۰۴) تغییرات زمانی طول فصل برفی نیمکره شمالی را مطالعه کرده و گزارش کردند که فصل پوشش برفی هم در عرض‌های میانی و هم در مناطق با ارتفاعات بالا با نرخ شدیدی در حال کوتاه‌تر شدن است. Rikiishi و همکاران (۲۰۰۶) در بررسی نقش ارتفاعات در کاهش فصل برفی منطقه هیمالیا و تبت دریافتند که میانگین سالانه گستره پوشیده از برف در منطقه هیمالیا و تبت با نرخی در حدود یک درصد در سال کاهش می‌یابد و به عبارتی، میانگین سطح پوشیده از برف از سال ۱۹۶۶ تا ۲۰۰۱ تا یک سوم کاهش یافته است. آن‌ها مشخص کردند که طول فصل پوشیده شده از برف در تمام ارتفاعات در حال کاهش است و بیشترین میزان کاهش در محدوده ارتفاعی ۴۰۰۰-۶۰۰۰ متری روی داده است. آن‌ها همچنین گزارش دادند که طول فصل برفی کاهش یافته و تاریخ پایان پوشش برف در این دوره ۳۵ ساله به زمستان نزدیک‌تر شده است.

تحقیقات انجام شده در ایران نشان می‌دهد که در اثر افزایش دما و تغییر اقلیم مقدار برف در کشور کاهش یافته، فصل ریزش برف زودتر به اتمام می‌رسد و به همین منظور، حجم رواناب در زمستان افزایش و در بهار کاهش خواهد یافت. Rahimi و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که در منطقه کوه‌رنگ دما بیشترین تأثیر را بر روی نوسانات عمق برف داشته که خود می‌تواند تأثیر زیادی بر کاهش حجم آب و تغییر رژیم رودخانه‌ها داشته باشد. Ghorbanizadeh و Kharazi (۲۰۰۷) نیز در مطالعه خود تأثیر تغییر اقلیم بر زمان وقوع دبی بیشینه رودخانه‌های کارون و دز را بررسی کرده و دریافتند که زمان وقوع دبی بیشینه از فصل بهار به فصل زمستان انتقال یافته، این روند به‌طور میانگین در حوضه کارون بزرگ حدود سه روز در هر دهه خواهد بود. Ghorbanizadeh و Kharazi (۲۰۱۰) در مطالعه دیگری در حوضه دز نشان دادند که زمان بیشینه جریان از فصل بهار به فصل زمستان انتقال خواهد یافت. آن‌ها

بارش برف ثبت شده است، به‌عنوان نخستین روز برفی و آخرین روز پیش از پایان سپتامبر هر سال که در آن بارش برف روی داده است، به‌عنوان آخرین روز برفی شناسایی شد. در این روش، در صورتی که در یک سال معین، اولین بارش برف پس از ماه دسامبر یعنی در ژانویه و فوریه روی دهد، شماره ژولیوسی آن روز به شماره ژولیوسی آخرین روز دسامبر سال پیش (۳۶۵) یا ۳۶۶ در صورت کبیسه بودن) افزوده می‌شود و به همین دلیل ممکن است، شماره ژولیوسی اولین روز برفی یک سال عددی بزرگ‌تر از ۳۶۶ باشد. برای مثال، اگر در یک سال اولین بارش برف در دوم ژانویه روی دهد، روز ژولیوسی آن روز به‌جای ۲ با شماره ۳۶۷ معرفی می‌شود. با توجه به این‌که در بسیاری از نقاط منطقه مورد مطالعه اولین بارش برف در برخی از سال‌ها در ماه ژانویه ریزش می‌کند، شماره ژولیوسی اولین بارش برف در خیلی از نقاط بیشتر از ۳۶۷ خواهد بود. در هر نقطه از منطقه مورد مطالعه، فاصله زمانی میان نخستین و آخرین روز برفی هر سال به‌عنوان طول فصل برفی آن سال در نظر گرفته شد. به‌عبارت دیگر، برای محاسبه طول فصل برفی در یک نقطه، شماره ژولیوسی اولین روز برفی هر سال که در پاییز سال پیش روی داده است، از عدد ۳۶۵ (۳۶۶ برای سال‌های کبیسه) کم شده، نتیجه آن با شماره ژولیوسی آخرین روز برفی هر سال که اغلب در بهار آن سال روی می‌دهد، جمع می‌شود. با توجه به این‌که اغلب، پس از نخستین رویداد برفی سال هوا دوباره گرم می‌شود و برف باریده شده، ماه‌ها پیش از آخرین روز برفی سال کاملاً آب می‌شود، منظور از فصل برفی آن نیست که در آن زمین به‌طور پیوسته پوشیده از برف باشد و یا کل روزها برف داشته باشند، بلکه منظور از فصل برفی فاصله زمانی بین اولین ریزش برف به‌عنوان آغاز زمستان و آخرین ریزش برف به‌عنوان پایان فصل زمستان است. به‌عبارت دیگر، منظور از فصل برفی فاصله زمانی میان نخستین و آخرین بارش برف در طول یک سال هیدرولوژیکی است. پیش از این Ye و همکاران (۲۰۰۱ و ۲۰۱۳)، Rikiishi و همکاران (۲۰۰۶) و Irannezhad و همکاران (۲۰۱۶) نیز از این روش برای شناسایی تاریخ‌های نخستین و آخرین روز برفی و طول فصل

ایستگاه‌های برف‌سنجی به‌صورت پراکنده و محدود در سطح منطقه مورد مطالعه توزیع شده‌اند و بیشتر آن‌ها در مناطق کم ارتفاع و پست قرار گرفته‌اند. به همین دلیل، از عمق برف تازه مناطق مرتفع اطلاع کمتری در دست است. از سوی دیگر، طول دوره آماری آن‌ها عمدتاً کوتاه و آمار گم شده، در آن‌ها نیز فراوان است. این محدودیت‌ها امکان انجام یک مطالعه جامع در مورد الگوی تغییرات مکانی و زمانی برف در کشور را محدود می‌کند. داده‌های بازکاوی شده (reanalysis) و ماهواره‌ای که کاربرد گسترده‌ای در مطالعه برف در سطح جهان پیدا کرده‌اند، می‌توانند گزینه‌های مناسبی برای برطرف کردن این محدودیت در کشور باشند. از این‌رو، در این پژوهش، از داده‌های عمق برف ERA-Interim/Land وابسته به مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان‌مدت جوی (ECMWF) برای بررسی روند تغییرات زمانی تاریخ‌های نخستین و آخرین ریزش برف و طول فصل برفی در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است.

برای هر سال آبی (اکتبر تا سپتامبر سال بعد) نخستین تاریخی که در آن بیش از یک سانتی‌متر برف ریزش کرده باشد، به‌عنوان نخستین روز برفی و آخرین تاریخی که بیش از یک سانتی‌متر برف دریافت کرده باشد، به‌عنوان آخرین روز برفی سال شناسایی شدند. فاصله بین نخستین و آخرین روز برفی هر سال نیز به‌عنوان طول فصل برفی آن سال محاسبه شد. برای تعیین تاریخ‌های آغاز و پایان فصل برفی از تاریخ ژولیوسی استفاده شد. در این مطالعه، با پیروی از روش Ye (۲۰۰۱) تاریخ‌های اولین و آخرین ریزش برف در هر سال آبی بر اساس تقویم ژولیوسی شناسایی شد. در تقویم ژولیوسی نخستین روز سال (روز نخست ژانویه) با شماره ۱ و آخرین روز سال (پایان دسامبر) در سال‌های معمولی با شماره ۳۶۵ و در سال‌های کبیسه با شماره ۳۶۶ مشخص می‌شود. در این پژوهش، سال آبی نیز از نخستین روز اکتبر تا آخرین روز ماه سپتامبر تعریف شد که تقریباً برابر با سال آبی کشور است که از نخستین روز مهر تا پایان شهریور ماه را در بر می‌گیرد. با پیروی از Ye (۲۰۰۱) و Ye و همکاران (۲۰۱۳ و ۲۰۰۳) در هر سال آبی، نخستین روز پس از ماه اکتبر که در آن نخستین

ب) از رگرسیون خطی و برآوردگر خطی سن (Sen estimator) استفاده شد. برای این منظور، به هر یک از سری‌های زمانی مورد نظر یک رگرسیون خطی برازش داده شد تا نرخ تغییرات آن‌ها در سال شناسایی شود. برای ارزیابی معنی‌داری روند تغییرات به دست آمده در هر نقطه نیز از آزمون من-کندال بهره گرفته شد. همچنین، برای بررسی ارتباط بین تاریخ‌های آغازین و پایانی ریزش برف و طول فصل برفی با ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. برای نمایش الگوی توزیع مکانی طول فصل برفی و تاریخ‌های نخستین و آخرین روز ریزش برف در منطقه و همچنین، روند آن‌ها در طی زمان نیز از نرم‌افزار ArcGIS استفاده شده است.

نتایج و بحث

شکل ۲، الگوی مکانی میانگین تاریخ آغازین و آخرین روز ریزش برف و نیز طول فصل برفی منطقه زاگرس را در دوره آماری ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۰ نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۲-الف، میانگین سالانه تاریخ آغاز بارش برف در منطقه زاگرس روز ژوئیه ۳۴۸ یا ۱۴ دسامبر است. در دوره مورد مطالعه، زودترین آغاز بارش برف در منطقه روز ژوئیه ۲۹۹ برابر با ۲۶ اکتبر سال ۱۹۸۷ و دیرترین آن نیز روز ژوئیه ۴۰ برابر با ۹ فوریه سال ۱۹۸۶ بوده است. بررسی نقشه پراکنش جغرافیایی میانگین آغازین روز فصل برفی در منطقه زاگرس نشان می‌دهد که تاریخ آغازین روز برفی در منطقه از وضعیت توپوگرافی و عرض جغرافیایی منطقه زاگرس پیروی می‌کند و با افزایش ارتفاع و عرض جغرافیایی تاریخ آغازین روز برفی کاهش می‌یابد. با توجه به شکل ۲-الف، به‌طور میانگین زودترین تاریخ آغاز ریزش برف در روزهای ژوئیه ۳۳۰ تا ۳۳۵ در مناطق شمالی منطقه مورد مطالعه و نیز در ارتفاعات کوه‌رنگ مشاهده می‌شود. در مناطق پست و کم ارتفاع منطقه زاگرس و نیز عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر، تاریخ آغازین روز برفی به دلیل گرم‌تر بودن هوا در این مناطق به سمت ماه ژانویه گرایش پیدا می‌کند. به‌طور کلی، روز ژوئیه ۳۳۰ تا ۳۳۵ در مناطق شمال شرقی به طرف مرکز، جنوب غرب و حواشی غربی و جنوبی

برفی به ترتیب در آسیای شمال غربی-شمالی، هیمالیا-تبت و فنلاند استفاده کرده‌اند.

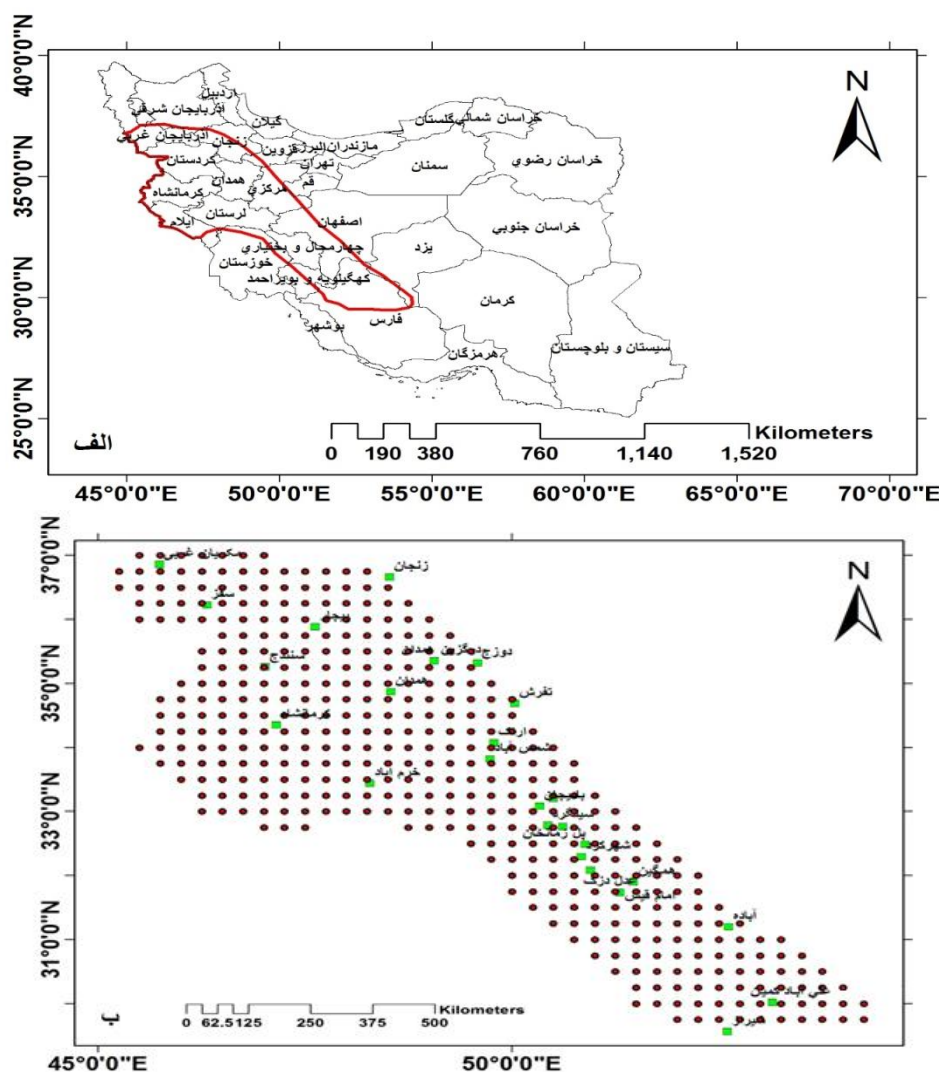
با توجه به گفته‌های بالا، در این پژوهش از داده‌های شبکه‌بندی شده روزانه عمق برف Era-Interim/land در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۷۹ میلادی استفاده شده است. داده‌های Era-Interim/land از ترکیب داده‌های متغیرهای اقلیمی به دست آمده از مدل جوی Era-Interim با داده‌های مدل زمینی HTESSEL (Hydrology-Tiled ECMWF Scheme for Surface Exchanges over Land) داده‌های بارش اصلاح شده GPCP v2.1 به دست می‌آید و دارای دقت مکانی 0.25×0.25 درجه جغرافیایی است (Balsamo و همکاران، ۲۰۱۵). این داده‌ها برخلاف داده‌های Era-Interim که به روز می‌باشند، برای دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۷۹ موجود است و ممکن است، هر چند سال یک‌بار به‌روز رسانی شود. در این پژوهش، برای نخستین بار در کشور از داده‌ها روزانه عمق برف Era-Interim/land برای مطالعه تغییرات زمانی و مکانی برف در منطقه کوهستانی و برفگیر زاگرس استفاده شده است. برای این منظور، داده‌های عمق برف ۲۰۰۹ نقطه (گرید) پراکنده بر روی منطقه مورد مطالعه از سایت مربوطه^۱ دریافت و مورد استفاده قرار گرفت. سپس، نقاط بیرون از محدوده مورد مطالعه حذف و سری زمانی داده‌های ۳۸۷ نقطه پراکنده بر روی منطقه زاگرس شکل ۱-ب برای تجزیه و تحلیل‌های بیشتر انتخاب شدند. همچنین، به منظور بررسی ارتباط دمای هوا و تاریخ‌های شروع، پایان و طول فصل برف در منطقه مورد مطالعه از داده‌های میانگین دمای بیشینه، میانگین دمای کمینه و میانگین دمای روزانه برخی از ایستگاه‌های هواشناسی منطقه که در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۷۹ میلادی از آمار مناسب و کامل برخوردار بودند استفاده شد (نقاط سبز شکل ۱).

برای بررسی روند تغییرات زمانی طول فصل برفی و تاریخ‌های نخستین و آخرین روز برفی در هر یک از ۳۸۷ نقطه پراکنده بر روی منطقه زاگرس (شکل ۱-ب)

^۱<https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/archive-datasets/reanalysis-datasets/era-interim-land>

شدن هوا کاهش یافته و به سمت ماه‌های زمستان میل پیدا می‌کند. به‌طور کلی، از قسمت‌های شمال شرق به‌طرف مرکز و جنوب غرب و حواشی غربی و جنوبی، میانگین روز ژولیوسی پایان ریزش برف کاهش می‌یابد. در دوره مورد مطالعه، میانگین روز ژولیوسی پایان بارش برف در منطقه زاگرس روز ژولیوسی ۶۷ برابر با ۸ مارس است. زودترین روز ژولیوسی پایان فصل برف در منطقه نیز روز ژولیوسی ۱۲۶ نه برابر با ۹ ژانویه و دیرترین آن روز ژولیوسی ۶ برابر با ۶ می می‌باشد (شکل ۲-ب).

منطقه زاگرس افزایش می‌یابد. با توجه به شکل ۲-ب، می‌توان دریافت که الگوی میانگین آخرین روز فصل برفی در منطقه زاگرس از الگوی نقشه آغازین روز برفی منطقه (شکل ۲-الف) پیروی می‌کند. از این‌رو، نقشه آخرین روز برفی منطقه نیز از توپوگرافی و عرض جغرافیایی منطقه زاگرس پیروی کرده، با افزایش ارتفاع و عرض جغرافیایی روز ژولیوسی پایان ریزش برف افزایش یافته، به سمت ماه‌های بهار گرایش پیدا می‌کند. در مقابل، در مناطق پست و کم ارتفاع جنوبی منطقه زاگرس، روز ژولیوسی پایان برف به‌دلیل گرم‌تر



شکل ۱- الف) نمایش محدوده منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه ایران و ب) پراکنش نقاط Era-Interim/land (نقاط قرمز رنگ) و ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده (نقاط سبز رنگ) بر روی منطقه مورد مطالعه

می‌دهد. با توجه به شکل، مناطق کم ارتفاع و عرض‌های جغرافیایی پایین منطقه با یک فصل برفی در

شکل ۲- ج، توزیع مکانی میانگین طول مدت فصل برفی در منطقه را در دوره ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۰ نشان

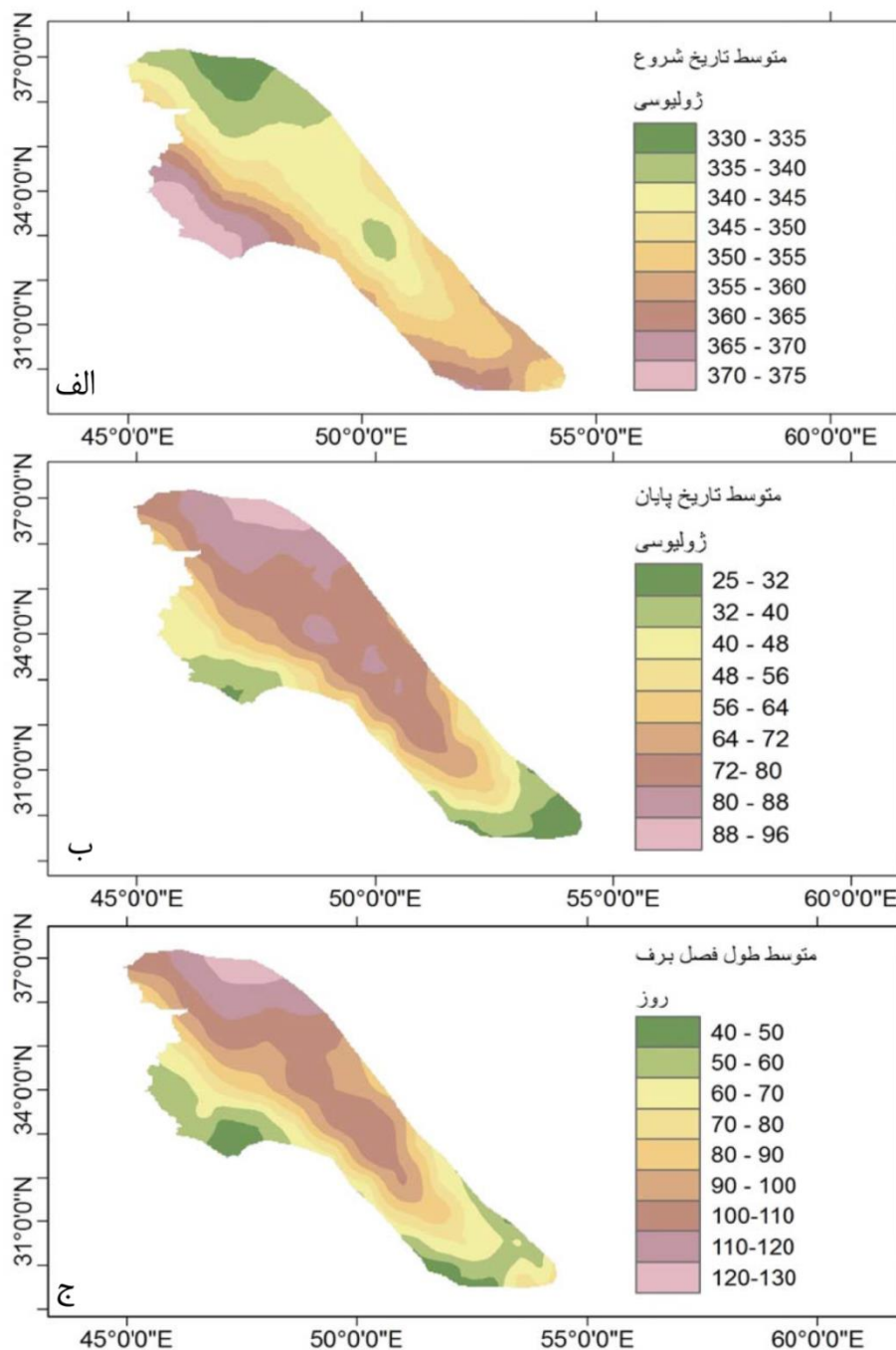
است، در مناطق پر ارتفاع عرض‌های پائین‌تر برف ریزش نکند.

بررسی ارتباط میان تاریخ‌های آغازین برف و طول جغرافیایی نیز نشان می‌دهد که همبستگی بین این دو متغیر برابر با ۰/۲۳ است که در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار است. این رابطه نیز نشان می‌دهد که با افزایش طول جغرافیایی تاریخ‌های آغازین برف افزایش و با کاهش آن تاریخ‌های آغازین برف کاهش می‌یابد. رابطه مثبت تاریخ‌های آغازین برف با طول جغرافیایی در منطقه مورد مطالعه به این علت است که (۱) ارتفاع زاگرس در دامنه‌های شرقی آن به سرعت کاهش می‌یابد، (۲) دامنه‌های شرقی زاگرس در بادپناه کوهستان قرار دارند و در نتیجه رطوبت کمتری برای بارش به آنجا می‌رسد و (۳) همسایگی با مناطق پست کویری باعث می‌شود که اندک رطوبت رسیده به دامنه‌های شرقی فرصت تراکم و ریزش به صورت برف را پیدا نکنند. با توجه به جدول ۱، ضریب همبستگی بین مقادیر میانگین آخرین روز فصل برفی با ارتفاع نقاط شبکه‌بندی برابر با ۰/۱۸ و با عرض جغرافیایی برابر با ۰/۷۹ است که هر دو در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دارند. این رابطه نیز نشان می‌دهد که آخرین روز فصل برفی نیز با ارتفاع و عرض جغرافیایی نقاط یک رابطه خطی مستقیم و معنی‌دار دارد. از این‌رو، با افزایش ارتفاع و عرض جغرافیایی به دلیل سردتر شدن هوا، تاریخ‌های آخرین روز فصل برفی دیرتر و با کاهش ارتفاع و عرض جغرافیایی به دلیل گرم‌تر شدن هوا، تاریخ‌های آخرین روز فصل برفی زودتر اتفاق می‌افتد. با وجود این که بین تاریخ‌های آخرین روز فصل برفی و عرض جغرافیایی یک همبستگی مستقیم و معنی‌دار وجود دارد، ولی ضریب همبستگی بین تاریخ‌های آخرین روز فصل برفی و طول جغرافیایی (۰/۵۴-) نشان از رابطه معکوس این دو پارامتر با یکدیگر دارد که البته در سطح ۹۹ درصد اطمینان معنی‌دار است. این رابطه نشان می‌دهد که با افزایش طول جغرافیایی تاریخ‌های پایان برف کاهش و با کاهش طول جغرافیایی تاریخ‌های پایان ریزش برف افزایش می‌یابد. ضریب همبستگی میان مقادیر میانگین طول فصل برفی با ارتفاع و عرض جغرافیایی نقاط شبکه‌بندی نیز به ترتیب ۰/۳۲ و ۰/۶۸ برآورد شد

حدود ۳۰ روز در سال کمترین طول فصل برفی و مناطق مرتفع و شمالی‌تر منطقه با یک فصل برفی در حدود ۱۷۰ روز در سال (در حدود شش ماه) طولانی‌ترین فصل برفی منطقه را دارا است. شکل ۲- ج، همچنین نشان می‌دهد که الگوی توزیع مکانی طول فصل برفی در منطقه زاگرس نیز از توپوگرافی و عرض جغرافیایی پیروی می‌کند. بر این اساس، با افزایش ارتفاع و عرض جغرافیایی بر میانگین طول فصل برفی افزوده می‌شود و در مقابل، طول فصل برفی در مناطق جنوبی منطقه زاگرس و بخش‌های کم ارتفاع آن کوتاه‌تر است. به‌طور کلی، میانگین سالانه طول مدت فصل برفی در منطقه زاگرس در دوره مورد مطالعه در حدود ۸۸ روز می‌باشد. جدول ۱، ضریب همبستگی میان تاریخ‌های آغازین، آخرین و طول فصل برفی را با ارتفاع، عرض و طول جغرافیایی نشان می‌دهد. بر اساس این جدول، ضریب همبستگی بین میانگین آغازین روز برفی با ارتفاع نقاط شبکه‌بندی برابر ۰/۳۲- و با عرض جغرافیایی نیز برابر ۰/۵۸- است که هر دوی آن‌ها در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار هستند. این نشان می‌دهد که یک رابطه خطی معکوس و معنی‌دار بین روز آغازین برف در منطقه و ارتفاع و نیز عرض جغرافیایی وجود دارد. بر این اساس، با افزایش ارتفاع و عرض جغرافیایی و در نتیجه سردتر شدن هوا، تاریخ‌های آغازین برف زودتر اتفاق می‌افتد و در مقابل با کاهش ارتفاع و عرض جغرافیایی به دلیل گرم‌تر شدن هوا، تاریخ‌های آغازین برف دیرتر رخ می‌دهد. ارتباط قوی‌تر بارش برف با عرض جغرافیایی در مقایسه با ارتفاع به این علت است که عرض جغرافیایی عامل اصلی تعیین نوع بارش است، در حالی که ارتفاع یک عامل کمکی است. از این‌رو، هر چه عرض جغرافیایی بیشتر می‌شود، شانس ریزش برف در هر دو نیمکره زمین بیشتر می‌شود. در عرض‌های جغرافیایی پائین، مانند نیمه جنوبی زاگرس شانس بارش برف کمتر است، ولی در پاره‌ای از شرایط هواشناسی عامل ارتفاع در این‌گونه مناطق باعث ریزش برف می‌شود. عامل ارتفاع به تنهایی نمی‌تواند در همه زمان‌ها باعث تشکیل دانه‌های برف بشود، به همین علت، در برخی زمان‌ها که مناطق پست‌تر عرض‌های شمالی‌تر برف دریافت می‌کنند، ممکن

حالی که بین طول فصل برفی و عرض جغرافیایی یک همبستگی مستقیم و معنی‌دار وجود دارد، رابطه همبستگی بین طول فصل برفی و طول جغرافیایی معکوس (۰/۳۶-) و در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار است که نشان از کاهش طول فصل برفی در بخش‌های شرقی منطقه زاگرس که از طول جغرافیایی بزرگ‌تری برخوردارند، دارد (جدول ۱).

که هر دو در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار هستند که نشان‌دهنده وجود یک رابطه خطی مستقیم و معنی‌دار میان ارتفاع و عرض جغرافیایی با روز پایان برف است. بر این اساس، با افزایش ارتفاع و عرض جغرافیایی به دلیل سرد شدن هوا، طول فصل برفی طولانی‌تر و با کاهش ارتفاع و عرض جغرافیایی به دلیل گرم‌تر شدن هوا، طول فصل برفی کوتاه‌تر است. در



شکل ۲- الگوی مکانی الف) آغازین روز فصل برفی، ب) آخرین روز فصل برفی و ج) طول فصل برفی در منطقه زاگرس در دوره آماری ۱۹۷۹-

جدول ۱ - ضرایب همبستگی (پیرسون) تاریخ‌های آغازین، آخرین و طول فصل برفی با ارتفاع، عرض و طول جغرافیایی (مقادیر داخل پرانتز p-value رابطه‌های همبستگی را نشان می‌دهند)

طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع
۰/۲۳(۰/۰۰۰۱)	-۰/۵۸(۰/۰۰۰۱)	-۰/۳۲(۰/۰۰۰۱)
-۰/۵۴(۰/۰۰۰۱)	۰/۷۹(۰/۰۰۰۰۱)	۰/۱۸(۰/۰۰۰۱)
-۰/۳۶(۰/۰۰۰۱)	۰/۶۸(۰/۰۰۰۰۱)	۰/۳۲(۰/۰۰۰۱)

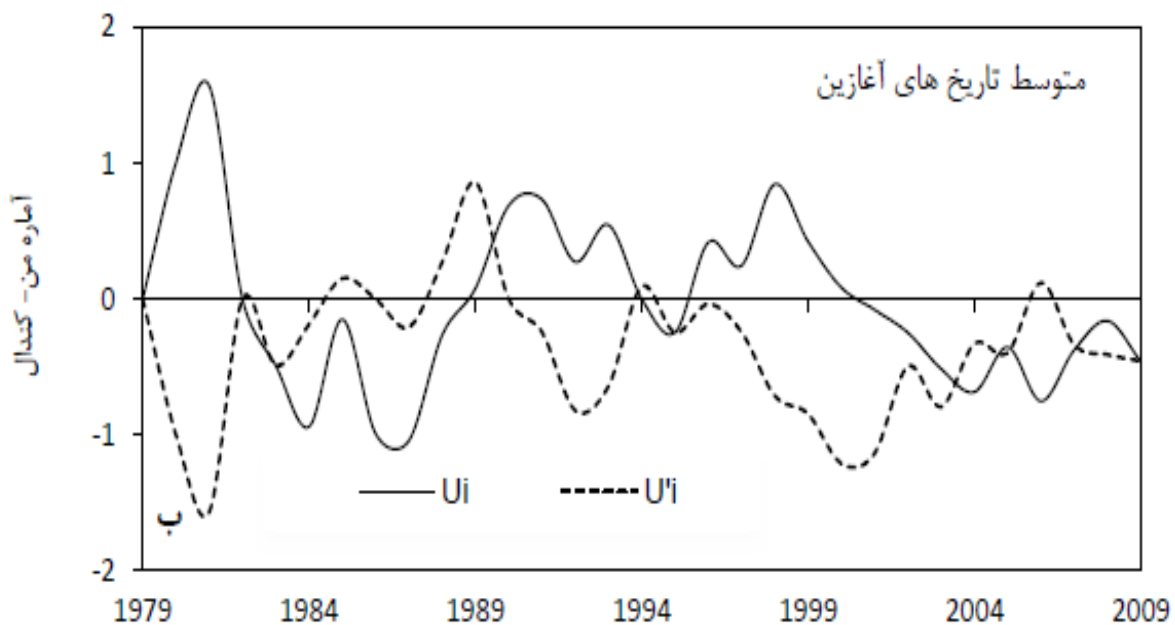
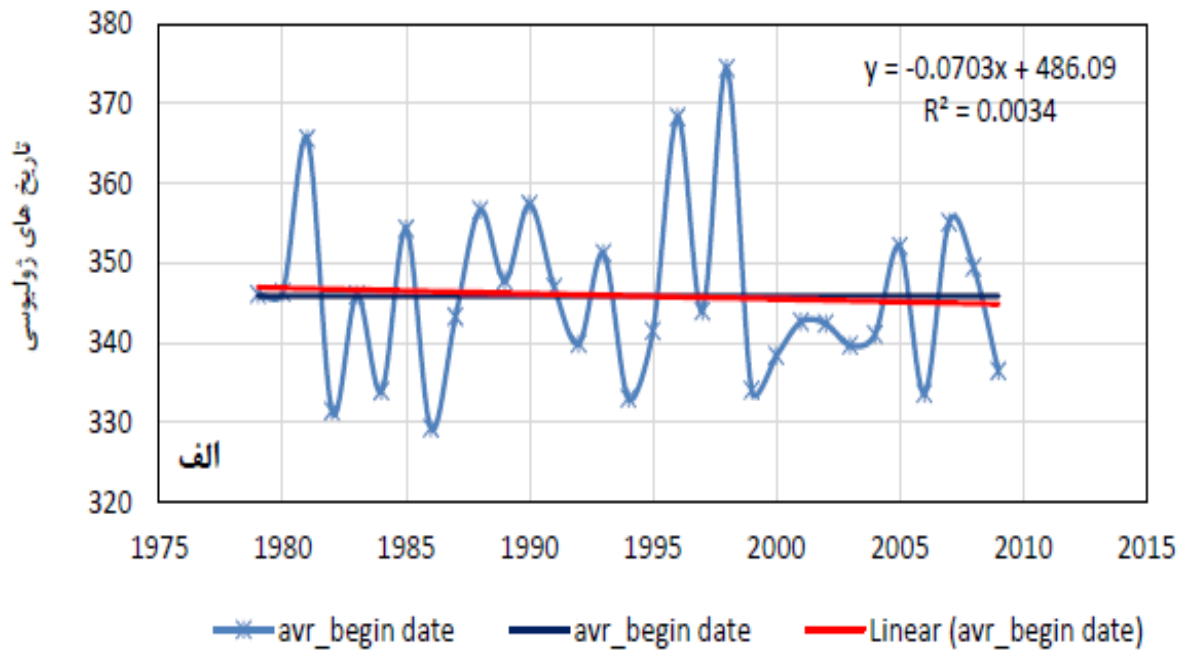
تاریخ‌های پایانی برف دارای روند کاهشی است و با توجه به مقدار آماره آزمون من-کندال (-۲/۵۱) این کاهش در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار و نرخ این کاهش نیز برابر ۰/۵- روز در سال است. علاوه بر این، چون محل تلاقی خطوط 'ui,ui' در داخل محدوده بحرانی قرار گرفته، یک تغییر ناگهانی در سال ۱۹۹۹ روی داده است و از آن پس تاریخ‌های پایان برف روند کاهشی پیدا کرده است. شکل ۵ نیز سری زمانی میانگین طول فصل برفی در دوره مورد مطالعه را به همراه روند و نقاط جهش آن به روش من-کندال نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، سری زمانی طول فصل برفی در منطقه زاگرس نیز روند کاهشی از خود نشان می‌دهد که با توجه به مقدار آماره من-کندال (-۱/۳) و شیب سن ۰/۳۲- روز در سال در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نیست. با توجه به محل تلاقی خطوط 'ui,ui' در داخل محدوده بحرانی، طول فصل برف در سال ۲۰۰۶ دچار تغییر ناگهانی شده و از این نقطه، روند کاهشی طول فصل برفی در منطقه آغاز شده است.

با توجه به شکل ۶- الف، میانگین تاریخ‌های آغازین فصل برفی دهه دوم دوره مورد مطالعه (۱۹۸۸-۱۹۹۸) با روز ژولیوسی ۳۵۰ نسبت به دهه اول (۱۹۷۹-۱۹۸۸) با روز ژولیوسی ۳۴۵، به مقدار پنج روز افزایش یا به عبارتی، پنج روز دیرتر آغاز شده است. میانگین تاریخ‌های آغازین فصل برفی دهه سوم (۱۹۹۹-۲۰۰۹) نیز با روز ژولیوسی ۳۴۲ نسبت به دهه اول و دوم به ترتیب سه و هشت روز کاهش داشته و به عبارتی، سه و هشت روز زودتر آغاز شده است. مقایسه زودترین تاریخ‌های آغازین فصل برفی دهه دوم (۱۹۸۸-۱۹۹۸) با روز ژولیوسی ۳۳۳ نسبت به

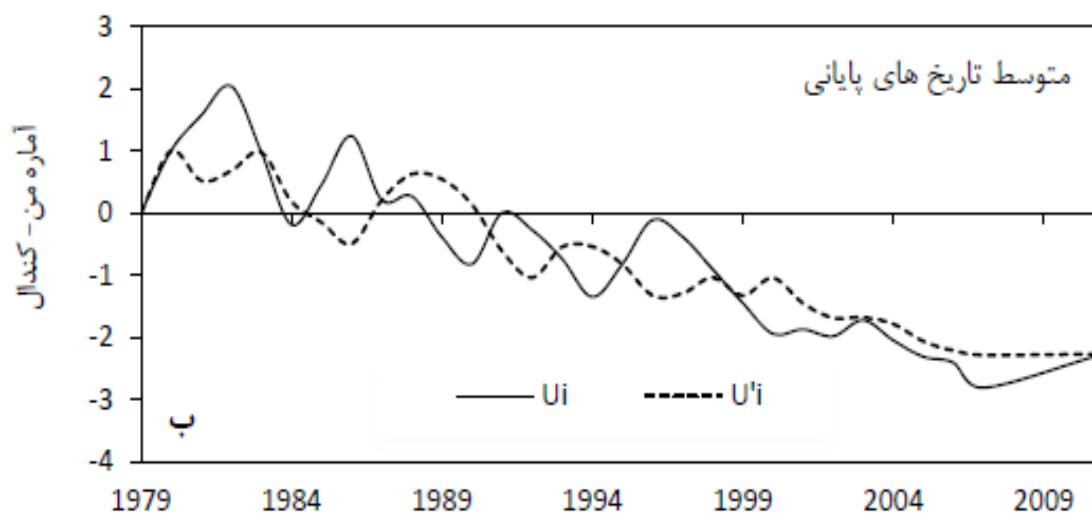
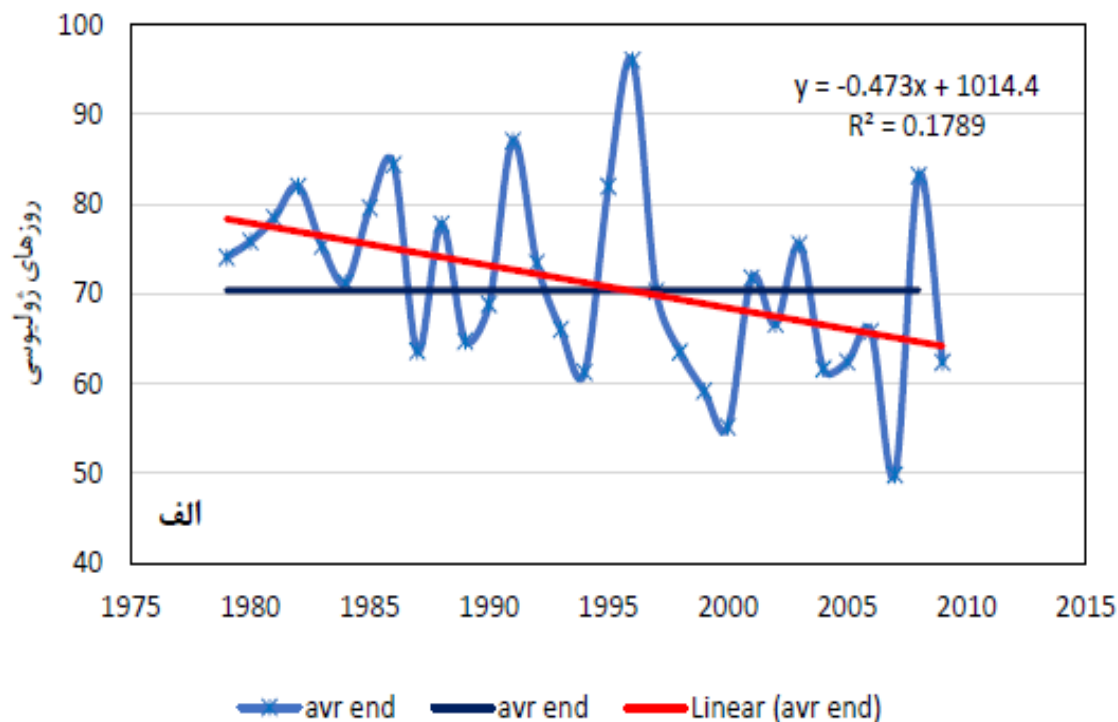
بین تاریخ‌های آغاز و پایان برف در منطقه کوهستانی زاگرس نیز همبستگی منفی قوی (۰/۸۳-) وجود دارد که در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار است. بر این اساس، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که وقتی نخستین تاریخ‌های آغازین فصل برفی زودتر از میانگین درازمدت اتفاق می‌افتد، آخرین تاریخ‌های پایان فصلی برف نیز دیرتر از میانگین درازمدت روی می‌دهد. همچنین، بین تاریخ‌های آغازین فصل برفی و طول فصل برفی نیز یک همبستگی منفی قوی (۰/۹۳-) وجود دارد که در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار است و نشان می‌دهد که هرگاه تاریخ‌های آغازین برف زودتر از میانگین درازمدت رخ دهد، طول مدت فصل برفی بیشتر خواهد بود و برعکس. در مقابل، بین تاریخ‌های پایان فصل برفی و طول فصل برفی یک همبستگی مستقیم و قوی (۰/۹۴) وجود دارد که در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار است و نشان می‌دهد که هرگاه تاریخ‌های پایان برف زودتر از میانگین درازمدت آن رخ دهد، طول فصل برفی نیز دقیقاً به همان میزان کمتر خواهد بود. شکل ۳، سری زمانی میانگین تاریخ‌های آغازین برف در دوره ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۰ و روند و نقاط جهش از میانگین آن را به روش من-کندال نشان می‌دهد. با توجه به این شکل‌ها، روند تغییرات میانگین تاریخ‌های آغازین برف کاهشی است، ولی با توجه به مقدار آماره آزمون من-کندال ۰/۵- و شیب سن ۰/۰۶- روز در سال این روند کاهشی در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نیست. شکل ۴ هم سری زمانی میانگین تاریخ‌های پایانی برف در دوره ۱۹۷۹-۲۰۱۰ و روند و نقاط جهش آن را به روش من-کندال نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۴، سری زمانی میانگین

ژوئیه ۳۷۴ نسبت به دهه اول (۱۹۷۹-۱۹۸۸) با روز ژوئیه ۳۶۶ به مقدار هشت روز افزایش یا هشت روز دیرتر آغاز شده، میانگین تاریخ‌های آغازین فصل برفی دهه سوم (۱۹۹۹-۲۰۰۹) با روز ژوئیه ۳۵۵ نسبت به دهه اول و دوم به ترتیب ۱۱ و ۱۹ روز کاهش و یا ۱۱ و ۱۹ روز زودتر آغاز شده است.

دهه اول (۱۹۷۹-۱۹۸۸) با روز ژوئیه ۳۲۹ به مقدار چهار روز افزایش یا دیرتر آغاز شده و میانگین تاریخ‌های آغازین فصل برفی دهه سوم (۲۰۰۹-۱۹۹۹) با روز ژوئیه ۳۳۴ نسبت به دهه اول و دوم به ترتیب پنج و یک روز افزایش و یا پنج و یک روز دیرتر آغاز شده است. مقایسه دیرترین تاریخ‌های آغازین فصل برفی دهه دوم (۱۹۸۸-۱۹۹۸) با روز



شکل ۳- الف) میانگین سری زمانی تاریخ آغاز بارش برف در منطقه زاگرس و ب) روند و نقاط جهش از میانگین ۳۰ ساله آن به روش من-کندال



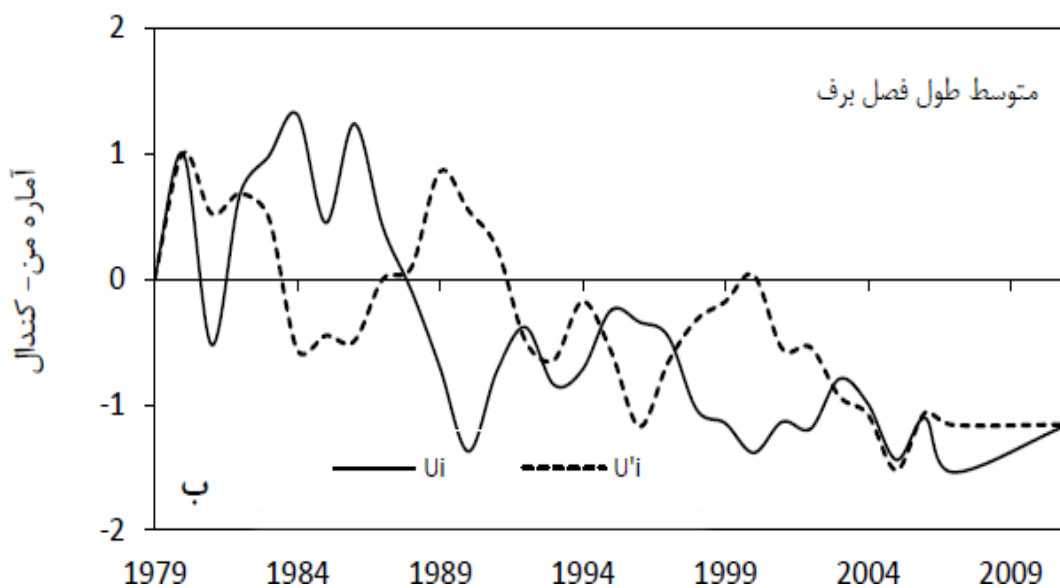
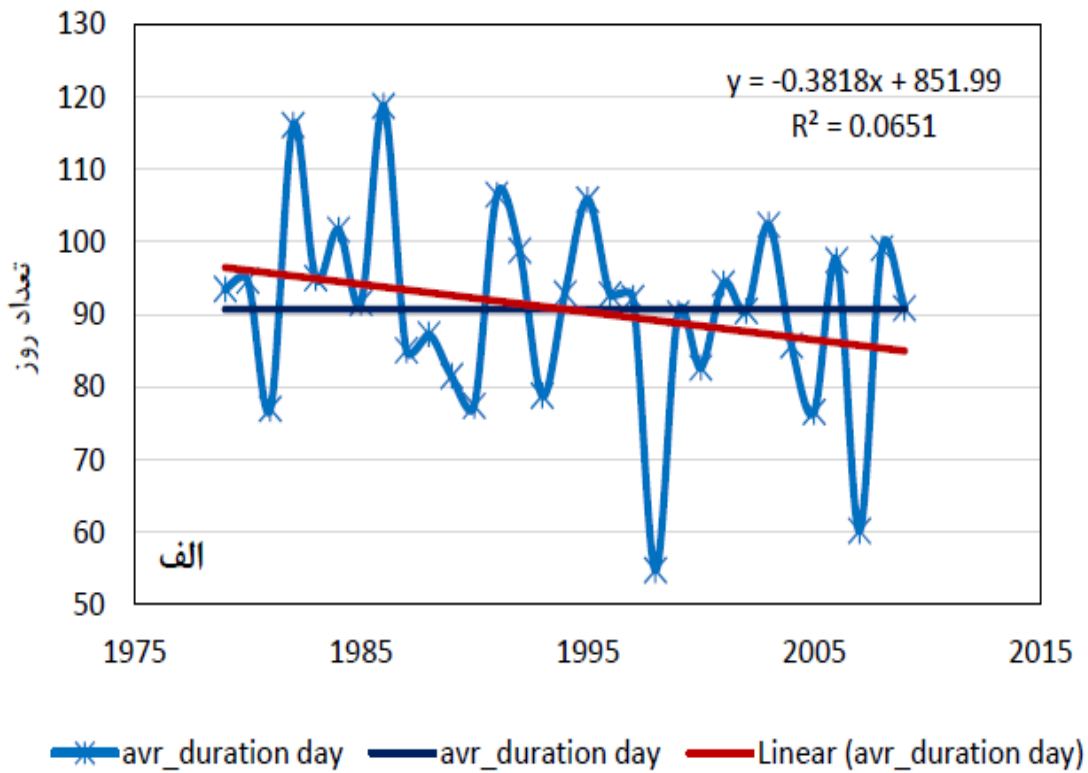
شکل ۴- الف) میانگین سری زمانی تاریخ پایان بارش برف در منطقه زاگرس و ب) روند و نقاط جهش از میانگین ۳۰ ساله آن به روش من-کندال

برفی و تاریخ‌های پایان فصل برفی در همه گروه‌های ارتفاعی کاهش یافته است. روند افزایشی تاریخ‌های شروع فصل برفی در طبقه ارتفاعی ۵۰۰-۱۰۰۰ متر در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار است، در حالی که روند کاهش تاریخ‌های پایان فصلی برفی در بیشتر طبقات ارتفاعی از نظر آماری معنی‌دار است. روند کاهش طول فصل برفی نیز تنها در دو طبقه ارتفاعی ۵۰۰-۱۰۰۰ و ۱۰۰۰-۱۵۰۰ متر در سطح اطمینان

جدول ۲، برای روند طول فصلی، تاریخ‌های پایان فصل برفی و تاریخ‌های شروع فصل برفی را برای طبقات مختلف ارتفاعی نمایش می‌دهد. با توجه به این جدول، ملاحظه می‌شود که برای روند تغییرات هر سه پارامتر مورد مطالعه در این پژوهش، در همه طبقات ارتفاعی یکسان است. با توجه به جدول ۲، روند تغییرات تاریخ‌های شروع فصل برفی در همه گروه‌های ارتفاعی افزایشی است، در حالی که روند طول فصل

طبقات ارتفاعی کاسته شده است. همان‌گونه که جدول ۲ نشان می‌دهد، کاهش طول فصل برفی در طبقه ارتفاعی ۵۰۰-۱۰۰۰ با افزایش تاریخ‌های شروع فصل برفی نیز همراه بوده است.

۹۹ درصد معنی‌دار است. با توجه به سطح معنی‌داری روندهای هر سه پارامتر مورد مطالعه، می‌توان گفت که تاریخ‌های پایان فصلی برفی در دو طبقه ارتفاعی ۵۰۰-۱۰۰۰ و ۱۰۰۰-۱۵۰۰ متر به سمت زمستان پسروی کرده که در نتیجه آن از طول فصل برفی این



شکل ۵-الف) میانگین سری زمانی طول فصل برفی در منطقه زاگرس و ب) روند و نقاط جهش از میانگین ۳۰ ساله آن به روش من-کندال

جدول ۲- مقادیر آماره من-کندال در طبقات ارتفاعی مختلف منطقه زاگرس

طبقات ارتفاعی (متر)		آماره من-کندال	
تاریخ‌های شروع فصل برفی	تاریخ‌های پایان فصل برفی	تاریخ‌های پایان فصل برفی	طول فصل برفی
۰/۵۶۱	افزایشی	۰/۸۳۳	کاهشی
۲/۲۹۵*	افزایشی	۳/۰۷۶**	کاهشی
۱/۱۳۹	افزایشی	۳/۳۸۲**	کاهشی
۰/۰۵۱	افزایشی	۲/۷۰۲**	کاهشی
۰/۳۲۳	کاهشی	۲/۶**	کاهشی
۰/۱۸۷	کاهشی	۱/۸۸۷	کاهشی
۰/۵۲۷	کاهشی	۱/۹۸۹*	کاهشی

** معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد و * معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد

نسبت به دهه اول (۱۹۸۸-۱۹۷۹) با مقدار ۹۶ روز هفت روز کاهش و میانگین تداوم فصل برف دهه سوم (۲۰۰۹-۱۹۹۹) با مقدار ۸۸ روز نسبت به دهه اول هشت روز و نسبت به دهه دوم یک روز کاهش داشته، به عبارتی، کوتاه‌تر شده است. مقایسه کمترین طول فصل برفی دهه دوم (۱۹۹۸-۱۹۸۸) با مقدار ۵۵ روز نسبت به دهه اول (۱۹۸۸-۱۹۷۹) با مقدار ۷۷ روز ۲۲ روز کاهش و میانگین تداوم فصل برفی دهه سوم (۲۰۰۹-۱۹۹۹) با مقدار ۶۱ روز نسبت به دهه اول ۱۶ روز کاهش و نسبت به دهه دوم، شش روز افزایش داشته است. مقایسه بیشترین طول فصل برفی در دهه دوم (۱۹۹۸-۱۹۸۸) با مقدار ۱۰۶ روز نسبت به دهه اول (۱۹۸۸-۱۹۷۹) با مقدار ۱۱۹ روز ۱۳ روز کاهش و میانگین تداوم فصل برفی دهه سوم (۲۰۰۹-۱۹۹۹) با مقدار ۱۰۲ روز نسبت به دهه اول ۱۷ و نسبت به دهه دوم چهار روز کاهش داشته است.

بررسی تغییرات تاریخ‌های آغاز، پایان و طول فصل برفی در ارتفاعات و عرض‌های جغرافیایی مختلف: شکل ۷، ارتباط میان میانگین تاریخ‌های شروع، پایان و طول فصل برفی منطقه را با دسته‌های ارتفاعی مختلف نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۷-الف، میانگین تاریخ‌های آغازین برف در ارتفاع صفر تا ۵۰۰ متری در روز ژوئیه ۳۶۳ برابر با ۲۹ دسامبر، در ارتفاع ۱۰۰۰-۵۰۰ متری در روز ژوئیه ۳۶۰، در ارتفاع ۱۵۰۰-۱۰۰۰ متر در روز ژوئیه ۳۵۵، در ارتفاع ۲۰۰۰-۱۵۰۰ متر در روز ژوئیه ۳۵۰، در ارتفاع ۲۵۰۰-۲۰۰۰ متر در روز ژوئیه ۳۴۸، در

شکل ۶- ب، نشان می‌دهد که میانگین تاریخ‌های پایانی فصل برفی دهه دوم (۱۹۹۸-۱۹۸۸) با روز ژوئیه ۷۳ نسبت به دهه اول (۱۹۸۸-۱۹۷۹) با روز ژوئیه ۷۶ به مقدار سه روز کاهش یا به عبارتی، سه روز زودتر پایان یافته و میانگین تاریخ‌های آغازین فصل برفی دهه سوم (۲۰۰۹-۱۹۹۹) با روز ژوئیه ۶۵ نسبت به دهه اول و دوم به ترتیب ۱۱ و هشت روز کاهش داشته و به عبارتی، ۱۱ و هشت روز زودتر پایان یافته است. مقایسه زودترین تاریخ‌های پایان فصل برفی دهه دوم (۱۹۹۸-۱۹۸۸) با روز ژوئیه ۶۱ نسبت به دهه اول (۱۹۸۸-۱۹۷۹) با روز ژوئیه ۶۴ به مقدار سه روز کاهش یا زودتر پایان یافته است. زودترین تاریخ‌های پایان فصل برفی دهه سوم (۲۰۰۹-۱۹۹۹) با روز ژوئیه ۵۰ نسبت به دهه اول و دوم به ترتیب ۱۴ و ۱۱ روز کاهش و یا ۱۴ و ۱۱ روز زودتر پایان یافته است. مقایسه دیرترین تاریخ‌های پایان فصل برفی دهه دوم (۱۹۹۸-۱۹۸۸) با روز ژوئیه ۹۶ نسبت به دهه اول (۱۹۸۸-۱۹۷۹) با روز ژوئیه ۸۴ به مقدار ۱۲ روز افزایش یا ۱۲ روز دیرتر پایان یافته است و میانگین تاریخ‌های پایان فصل برفی دهه سوم (۲۰۰۹-۱۹۹۹) با روز ژوئیه ۸۳ نسبت به دهه اول و دوم به ترتیب یک و ۱۳ روز کاهش و یا یک و ۱۳ روز زودتر پایان یافته است.

شکل ۶- ج نیز میانگین، کمینه و بیشینه طول فصل برفی منطقه را در سه دهه مختلف با یکدیگر مقایسه می‌کند. با توجه به این شکل، میانگین طول فصل برفی دهه دوم (۱۹۹۸-۱۹۸۸) با مقدار ۸۹ روز

۲۵۰۰-۳۰۰۰ متر ۸۵ روز، در ارتفاعات ۳۰۰۰-۲۵۰۰ متر ۸۸ روز و در ارتفاعات ۳۵۰۰-۳۰۰۰ متر ۸۵ روز می‌باشد.

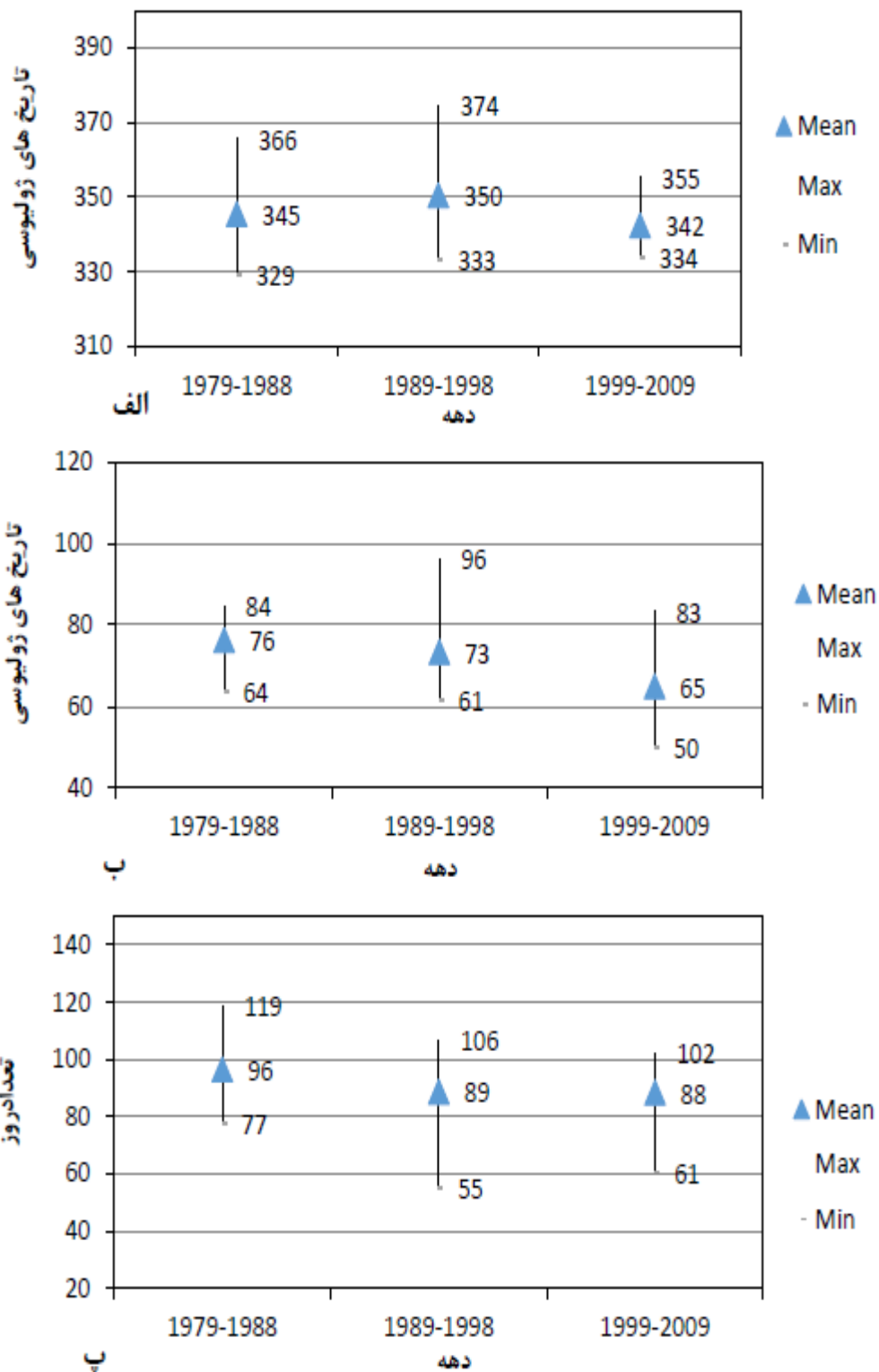
همان‌گونه که در شکل ۲ نشان داده شد، تاریخ‌های شروع، پایان و طول فصل برفی منطقه، از عرض جغرافیایی پیروی می‌کنند. برای بررسی بیشتر ارتباط میان عرض جغرافیایی و این متغیرها، تاریخ‌های شروع، پایان و طول فصل برفی نقاط مختلف منطقه در دامنه‌های مختلفی از عرض جغرافیایی دسته‌بندی و در شکل ۸ نمایش داده شد. با توجه به شکل ۸- الف، یک ارتباط خطی میان عرض جغرافیایی و میانگین تاریخ‌های آغازین برف وجود دارد که بر اساس آن هر چه عرض جغرافیایی افزایش می‌یابد، تاریخ ژولیوسی نخستین برف سال کاهش می‌یابد. بر اساس، شکل ۸- الف، میانگین تاریخ‌های آغازین برف در عرض جغرافیایی ۳۰ درجه روز ژولیوسی ۳۷۳ (۸ ژانویه) است، ولی در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه در روز ژولیوسی ۳۳۶ اتفاق افتاده است. با توجه به شکل ۸- ب، ارتباط میان میانگین تاریخ‌های پایان برف با عرض جغرافیایی برعکس شکل ۸- الف، است. همان‌گونه که شکل ۸- ب نشان می‌دهد، روز ژولیوسی میانگین تاریخ‌های پایانی برف در عرض‌های جغرافیایی پائین‌تر رقم کوچک‌تری را نشان می‌دهد که نشان از نزدیک‌تر بودن آن تاریخ به اول ژانویه است. در مقابل، در عرض‌های جغرافیایی بالاتر روز ژولیوسی بزرگ‌تر و تاریخ پایان فصل برفی دیرتر اتفاق می‌افتد. همان‌گونه که در شکل ۸- ب دیده می‌شود، در جنوبی‌ترین بخش منطقه زاگرس (عرض جغرافیایی ۳۰ درجه) آخرین تاریخ ریزش برف به‌طور میانگین در روز ژولیوسی ۳۳ روی می‌دهد، در حالی‌که در شمالی‌ترین بخش منطقه یعنی در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه در روز ژولیوسی ۸۵ اتفاق افتاده است. شکل ۸- ج، نیز نشان می‌دهد که طول فصل برفی در منطقه زاگرس نیز از عرض جغرافیایی پیروی می‌کند، به‌طوری‌که بلندترین فصل برفی در مناطق با عرض جغرافیایی بالاتر و کوتاه‌ترین فصل برفی در مناطق با عرض جغرافیایی پایین دیده می‌شود. بر این اساس، طول

ارتفاع ۳۰۰۰-۲۵۰۰ متر در روز ژولیوسی ۳۴۷ و در ارتفاع ۳۵۰۰-۳۰۰۰ متر در روز ژولیوسی ۳۴۸ اتفاق افتاده است. این نشان می‌دهد که تاریخ آغاز برف در هر دسته ارتفاعی نسبت به دسته ارتفاعی کوچک‌تر از خود چند روزی زودتر آغاز شده است (شکل ۷- الف). با توجه به شکل ۷- ب، ارتباط میانگین تاریخ‌های پایان برف با ارتفاع درست عکس شکل ۷- الف است که نشان‌دهنده ارتباط مستقیم بین آن‌ها است. به بیانی دیگر، هر چه ارتفاع کمتر روز ژولیوسی کوچک‌تر است که نشان می‌دهد که در ارتفاعات کمتر تاریخ پایان برف به اول ژانویه نزدیک‌تر است. در مقابل روز ژولیوسی، دسته‌های ارتفاعی بالاتر رقم‌های بزرگ‌تری را نشان می‌دهد که نشان از این دارد که در این ارتفاعات تاریخ پایان برف از اول ژانویه فاصله بیشتری دارد.

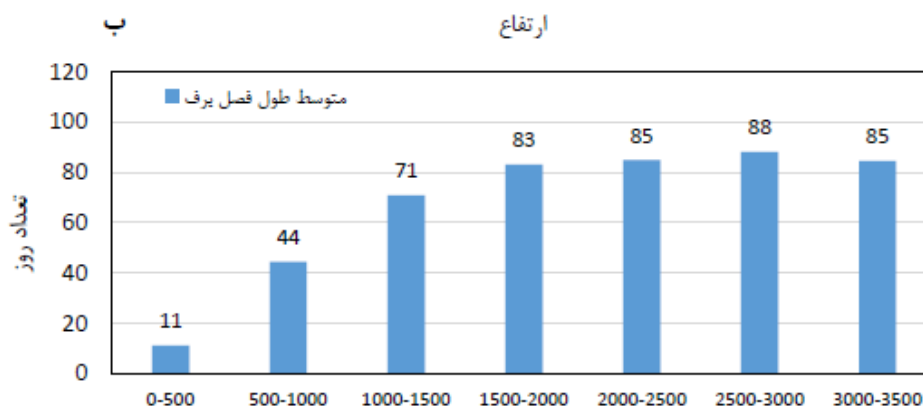
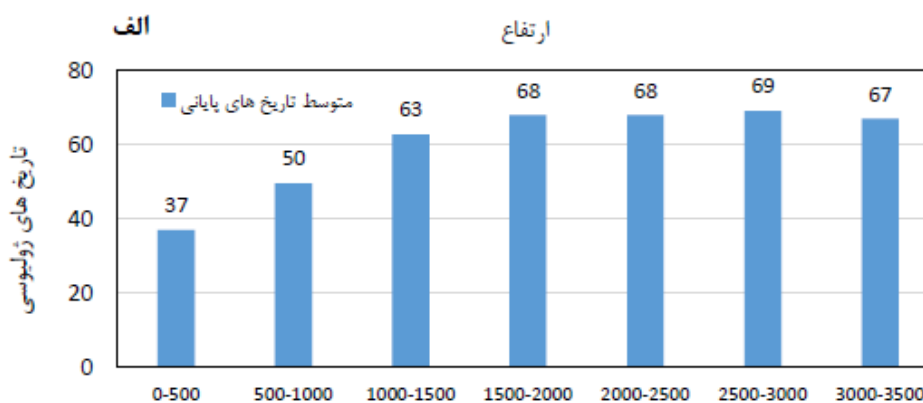
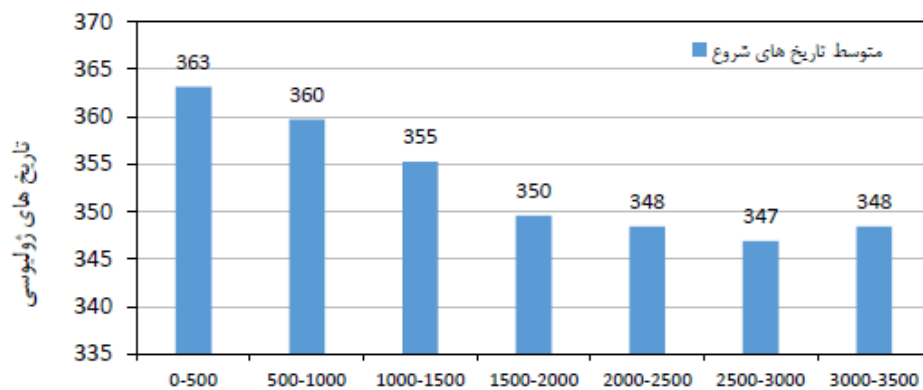
بر این اساس، همان‌گونه که در شکل ۷- ب دیده می‌شود، در ارتفاع صفر تا ۵۰۰ متر آخرین تاریخ ریزش برف به‌طور میانگین در روز ژولیوسی ۳۷ روی می‌دهد، در حالی‌که در ارتفاع ۱۰۰۰-۵۰۰ متر روز پایانی فصل برفی ۱۳ روز دیرتر و در روز ژولیوسی ۵۰ روی می‌دهد. به همین ترتیب، در ارتفاع ۱۵۰۰-۱۰۰۰ متر در روز ژولیوسی ۶۳، در ارتفاع ۲۰۰۰-۱۵۰۰ متر در روز ژولیوسی ۶۸، در ارتفاع ۲۵۰۰-۲۰۰۰ متر در روز ژولیوسی ۶۸، در ارتفاع ۳۰۰۰-۲۵۰۰ متر و ۳۵۰۰-۳۰۰۰ متر در روزهای ژولیوسی ۶۹ و ۷۰ اتفاق افتاده است. با توجه به شکل ۷- ج، طول فصل برفی در منطقه زاگرس نیز از ارتفاع نقاط پیروی می‌کند. به‌طوری‌که بلندترین طول فصل برفی در مناطق با ارتفاع بیشتر و کوتاه‌ترین آن در مناطق کم ارتفاع دیده می‌شود. کوتاه‌تر بودن فصل برفی در مناطق کم ارتفاع به‌دلیل زودتر سر رسیدن تاریخ‌های پایان برف در آن‌ها است. بر این اساس، طول فصل برفی در مناطق پست و کم ارتفاع منطقه مورد مطالعه که ارتفاعی کوچک‌تر از ۵۰۰ متر دارند، کمتر از یک ماه است، در حالی‌که در ارتفاعات ۵۰۰-۱۰۰۰ متر، طول فصل برفی به ۴۴ روز افزایش می‌یابد. به همین ترتیب، در ارتفاعات ۱۵۰۰-۱۰۰۰ متر ۷۱ روز، در ارتفاعات ۲۰۰۰-۱۵۰۰ متر ۸۳ روز، در ارتفاعات

جغرافیایی ۳۷ درجه نزدیک به چهار ماه (۱۱۵ روز) به درازا می‌کشد.

فصل برفی در مناطق با عرض جغرافیایی ۳۰ درجه کمتر از یک ماه است، ولی این فصل در عرض



شکل ۶- الف) مقایسه دیرترین تاریخ‌های شروع فصل برف، ب) زودترین تاریخ‌های شروع فصل برف و ج) بیشترین تداوم طول فصل برف در سه دهه مورد مطالعه



شکل ۷- ارتباط میان ارتفاع نقاط مختلف با الف) میانگین تاریخ‌های شروع فصل برف، ب) میانگین تاریخ‌های پایان فصل برف و ج) میانگین تداوم طول فصل برف در منطقه مورد مطالعه

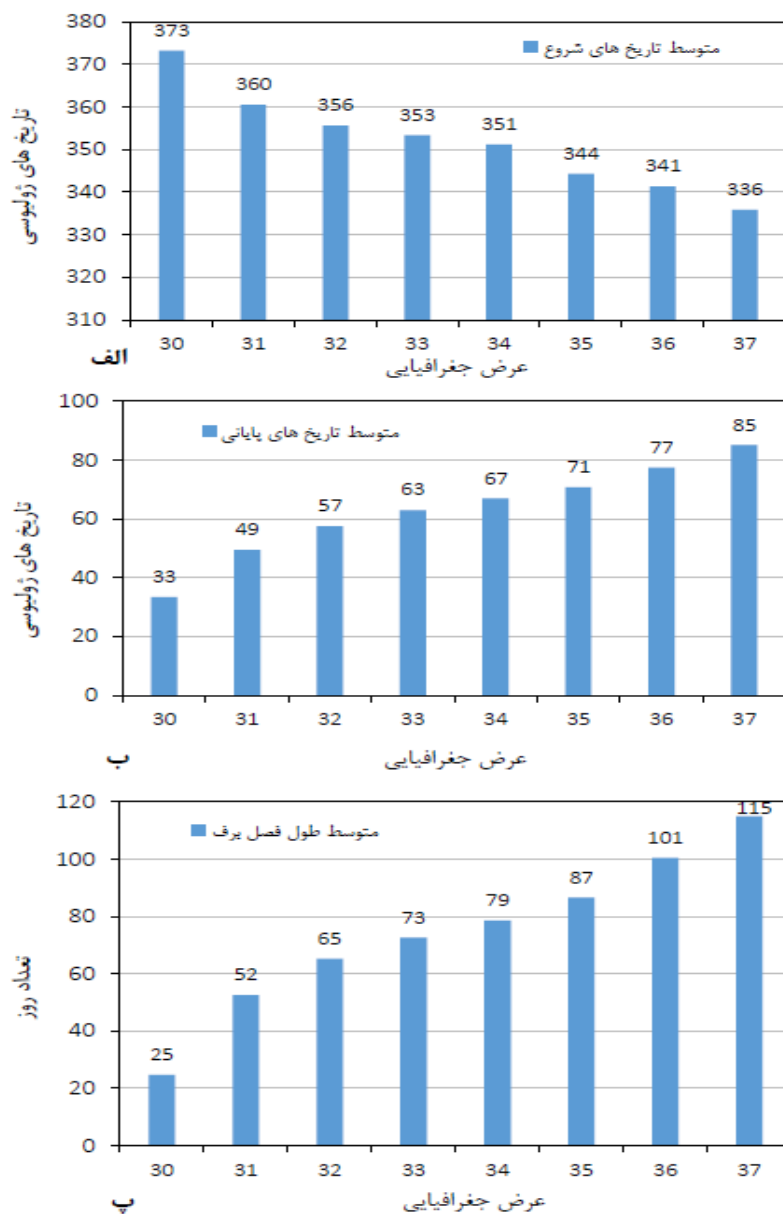
منفی نشان می‌دهند که این ارتباط با دمای فصل بهار در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار است که نشان‌دهنده ارتباط غیرمستقیم بین آن‌ها است. به بیانی دیگر، هر چه دمای فصول پاییز و به‌ویژه بهار بیشتر باشد، تاریخ پایان فصل برفی زودتر اتفاق می‌افتد و بالعکس. میان طول فصل برفی و میانگین دمای فصل پاییز و فصل بهار نیز یک ارتباط منفی وجود دارد که این ارتباط با دمای فصل پاییز معنی‌دار

جدول ۳، ضرایب همبستگی میان تاریخ‌های آغازین، آخرین و طول فصل برفی را با میانگین دمای فصل پاییز و فصل بهار نشان می‌دهد. بر اساس این جدول، تاریخ‌های آغازین فصل برفی با میانگین دمای فصل پاییز ارتباط منفی و با میانگین دمای فصل بهار ارتباط مثبتی را نشان می‌دهد که این ارتباط ضعیف و از نظر آماری بی‌معنی است. تاریخ‌های پایانی فصلی برفی نیز با میانگین دمای فصل پاییز و بهار ارتباط

زمانی تاریخ‌های آغاز و پایان فصل برفی و طول فصل برفی منطقه را در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۷۹ به صورت استاندارد نمایش می‌دهد. با توجه به شکل ۹- الف و ۹- ب ملاحظه می‌شود که یک رابطه معکوس میان دمای پاییز و بهار و هر یک از این پارامترها وجود دارد که این رابطه در اغلب سال‌ها اعتبار دارد، ولی در برخی از سال‌ها ممکن است، کمی ضعیف باشد. با توجه به شکل ۹، این رابطه معکوس، از سال ۲۰۰۰ به بعد به‌ویژه برای تاریخ‌های پایان فصل برفی و طول فصل برفی به صورت قوی‌تری خود را نشان می‌دهد.

است که نشان از این دارد که هر چه دمای فصول بهار و به‌ویژه پاییز بیشتر باشد، طول فصل برفی کمتر می‌شود و برعکس. بر اساس جدول ۳، ارتباط بین تاریخ‌های آغاز و پایان فصل برفی و طول فصل برفی با بیشینه و کمینه دما نیز کم و بیش همین روند را دنبال می‌کند.

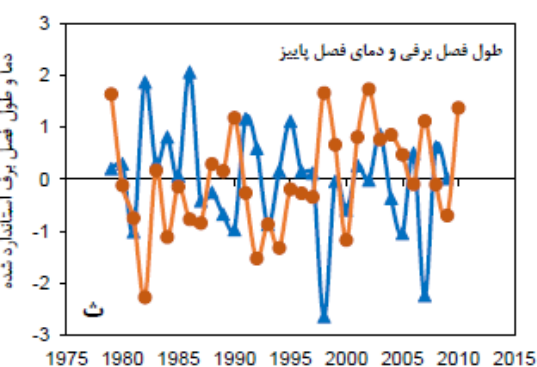
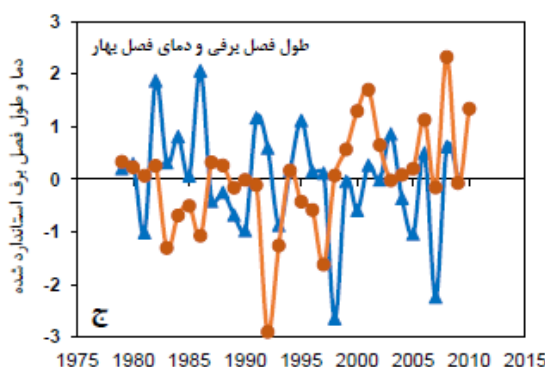
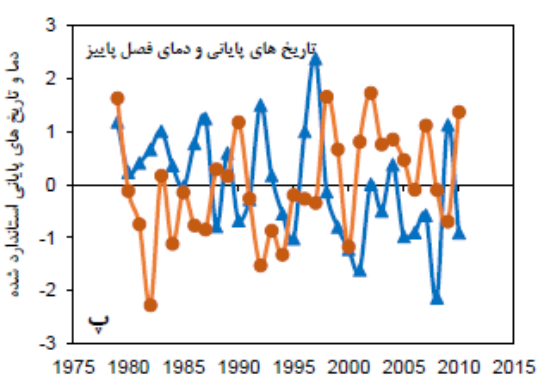
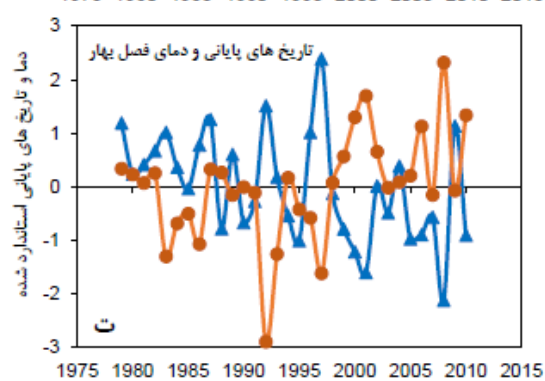
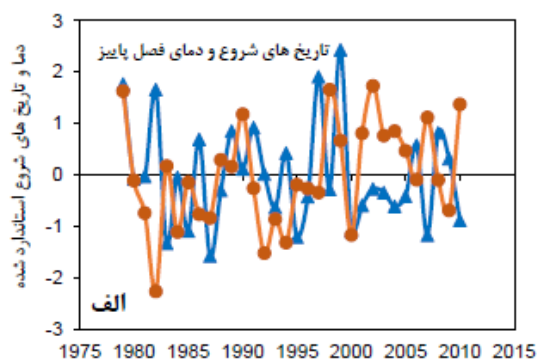
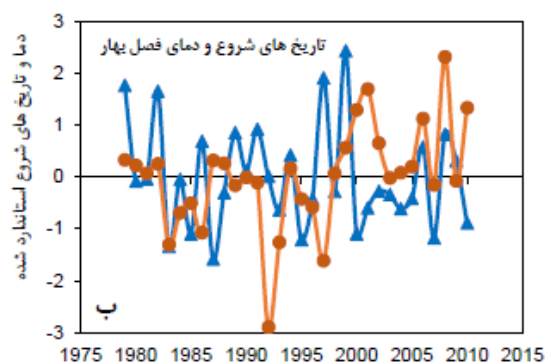
با توجه به ارتباط میان دما و طول فصل برفی و تاریخ‌های آغاز و پایان آن که در جدول ۳ نمایش داده شد، شکل ۹ نیز سری زمانی میانگین دمای فصلی (فصل پاییز و بهار) منطقه زاگرس و سری‌های



شکل ۸- ارتباط میان عرض‌های جغرافیایی مختلف با الف) میانگین تاریخ‌های شروع فصل برف، ب) میانگین تاریخ‌های پایان فصل برف و ج) میانگین طول فصل برفی در منطقه مورد مطالعه

جدول ۳- ضرایب همبستگی (پیرسون) تاریخ‌های آغازین، آخرین و طول فصل برفی با میانگین دمای فصل پاییز و فصل بهار

P_value	دمای میانگین فصل بهار	P_value	دمای میانگین فصل پاییز	پارامترهای برفی
۰/۹۷۷	۰/۰۰۵	۰/۶۴۸	-۰/۰۸۴	تاریخ‌های آغازین فصل برفی
۰/۰۰۰۱	-۰/۷۲۶(**)	۰/۱۲۹	-۰/۲۷۴	تاریخ‌های پایانی فصل برفی
۰/۶۲۰	-۰/۹۳	۰/۰۰۸	-۰/۴۶۵(**)	طول فصل برفی
P_value	دمای بیشینه فصل بهار	P_value	دمای بیشینه فصل پاییز	
۰/۹۸۵	۰/۰۰۴	۰/۱۸۸	-۰/۲۳۹	تاریخ‌های آغازین فصل برفی
۰/۰۰۰۱	-۰/۷۶۷(**)	۰/۱۹۲	-۰/۲۳۷	تاریخ‌های پایانی فصل برفی
۰/۶۷۵	-۰/۰۷۸	۰/۰۱۳	-۰/۴۴۲(**)	طول فصل برفی
P_value	دمای کمینه فصل بهار	P_value	دمای کمینه فصل پاییز	
۰/۹۱۳	-۰/۰۲۰	۰/۲۹۴	۰/۱۹۱	تاریخ‌های آغازین فصل برفی
۰/۰۰۱	-۰/۵۶۸(**)	۰/۰۸۳	-۰/۳۱۱	تاریخ‌های پایانی فصل برفی
۰/۵۲۲	-۰/۱۲۰	۰/۱۵۵	-۰/۲۶۱	طول فصل برفی



شکل ۹- میانگین دما (فصل پاییز و بهار) و تاریخ‌های شروع، پایان و طول فصل برف استاندارد شده در دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۰ منطقه زاگرس (خطوط قهوه‌ای رنگ میانگین دما و خطوط آبی رنگ تاریخ‌های شروع، پایان و طول فصل برفی را نشان می‌دهند)

نتیجه‌گیری

نتیجه این پژوهش، نشان داد که الگوی توزیع مکانی تاریخ‌های آغاز و پایان ریزش برف و طول فصل برفی در منطقه زاگرس از عرض جغرافیایی و ناهمواری‌های منطقه پیروی می‌کنند. به طوری که در عرض‌های جغرافیایی و ارتفاعات بالاتر، به دلیل سردتر شدن هوا، نخستین برف سال زودتر و بالعکس، در عرض‌های جغرافیایی و ارتفاعات پایین‌تر به دلیل گرم‌تر شدن هوا دیرتر رخ می‌دهد. بر همین اساس، میانگین تاریخ روزهای پایانی برف نیز در عرض‌های جغرافیایی و ارتفاعات بالاتر دیرتر و بالعکس، در عرض‌های جغرافیایی و ارتفاعات پایین‌تر زودتر اتفاق می‌افتد. طول فصل برفی نیز در مناطق با ارتفاع بیشتر و عرض جغرافیایی بالاتر طولانی‌تر و در مناطق با ارتفاع کمتر و عرض جغرافیایی پایین‌تر کوتاه‌تر است. بررسی ارتباط میان تاریخ‌های پایان ریزش برف و طول فصل برفی منطقه زاگرس با طول جغرافیایی نیز نشان داد که با افزایش طول جغرافیایی، آخرین ریزش برف در بخش‌های شرقی منطقه مورد مطالعه زودتر از مناطق غربی آن روی می‌دهد و طول فصل برفی در آن نیز کوتاه‌تر است. همچنین، مشخص شد که میان تاریخ‌های آغازین برف و طول جغرافیایی یک رابطه مستقیم وجود دارد که نشان‌دهنده این است که با افزایش طول جغرافیایی تاریخ‌های شروع برف در مناطق شرقی‌تر افزایش می‌یابد. با توجه به روابط موجود بین تاریخ‌های آغاز و پایان برف در منطقه کوهستانی زاگرس و عوامل جغرافیایی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در سال‌هایی که نخستین ریزش برف زودتر از میانگین درازمدت آن رخ می‌دهد، آخرین برف سال نیز دیرتر از میانگین درازمدت آن ریزش می‌کند. همچنین، روابط موجود بین تاریخ‌های آغاز فصل

برفی و طول فصل برفی نیز نشان داد که هرگاه تاریخ‌های آغازین برف زودتر از میانگین درازمدت آن روی دهد، طول مدت فصل برفی بیشتر خواهد بود و برعکس. روابط بین تاریخ‌های پایان فصل برفی و طول فصل برفی نیز نشان داد که هرگاه تاریخ‌های پایان برف زودتر (دیرتر) از میانگین درازمدت آن رخ دهد، طول فصل برفی نیز دقیقاً به همان میزان کمتر (بیشتر) خواهد بود. نتیجه این پژوهش همچنین، نشان می‌دهد که روند تغییرات سری زمانی میانگین تاریخ‌های آغاز و پایان ریزش برف و طول فصل برفی در منطقه مورد مطالعه کاهش است. نرخ روند کاهشی در سری زمانی تاریخ‌های پایان ریزش برف ۰/۵- روز در سال است که از نظر آماری معنی‌دار است. این نشان می‌دهد که در منطقه کوهستانی زاگرس آخرین ریزش برف سال با نرخی در حدود پنج روز در هر دهه به سوی زمستان پسروی کرده و در نتیجه زمان اوج ذوب برف در منطقه را از بهار به زمستان جابه‌جا کرده است. بررسی تغییرات دهه‌ای تاریخ‌های آغاز و پایان ریزش برف و طول فصل برفی نیز بیانگر وجود تغییرات بیشتر دهه دوم نسبت به دهه اول و تغییرات کمتر دهه سوم نسبت به دهه اول و به خصوص دهه دوم است. با پسروی تاریخ آخرین ریزش برف به سمت زمستان، طول فصل برفی منطقه کاهش می‌یابد که در صورت همراه شدن با افزایش گرمایش جهانی و کاهش رویدادهای برفی در منطقه، از حجم پهنه‌های برفی زمستانه زاگرس که سرچشمه بسیاری از رودهای مهم کشور است، به طور درخور توجهی کاسته خواهد شد. از این رو، لازم است تا مدیران منابع آب کشور توجه ویژه‌ای به اقلیم‌شناسی برف در کشور کرده و زمینه انجام مطالعات تکمیلی‌تر در این زمینه را فراهم کنند.

منابع مورد استفاده

1. Bagla, P. 2007. Big melt threatens India's water. Available online at: <http://news.sciencemag.org/sciencenow/2007/01/>.
2. Balsamo, G., C. Albergel, A. Beljaars, S. Boussetta, E. Brun, H. Cloke, D. Dee, E. Dutra, J. Muñoz-Sabater, F. Pappenberger, P. de Rosnay, T. Stockdale and F. Vitart. 2015. ERA-Interim/Land: a global land surface reanalysis data set. *Journal of Hydrology and Earth System Sciences*, 19: 389-407.
3. Bamzai, A.S. 2003. Relationship between snow cover variability and Arctic Oscillation index on a hierarchy of time scales. *International Journal of Climatology*, 23: 131-142.

4. Brown, R.D. and P.W. Mote. 2009. The response of Northern Hemisphere snow cover to a changing climate. *Journal of Climate*, 22: 2124-2145.
5. Bulygina, O.N., V.N. Razuvaev and N.N. Korshunova. 2009. Changes in snow cover over Northern Eurasia in the last few decades. *Journal of Environmental Research Letters*, 4: 26-39.
6. Callaghan, T.V. 2011. The changing face of Arctic snow cover: a synthesis of observed and projected changes. *AMBIO*, 40: 17-31.
7. Cayan, D.R., S.A. Kammerdiener, M.D. Dettinger, J.M. Caprio and D.H. Peterson. 2001. Changes in the onset of spring in the western United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82: 399-415.
8. Choi, G., D.A. Robinson and S. Kang. 2010. Changing Northern Hemisphere snow seasons. *Journal of Climate*, 23: 5305-5310.
9. Dewey, K.F. 1977. Daily maximum and minimum temperature forecasts and the influence of snow cover. *Monthly Weather Review*, 105: 1594-1597.
10. Dye, D.G. 2002. Variability and trends in the annual snow-cover cycles in Northern Hemisphere land areas, 1972-2000. *Hydrological Processes*, 16: 3065-3077.
11. Ghasemi, A. and I. Fatahi. 2012. Evaluation of the effects of climate change on snowmelt runoff: a case study on Bakhtiari Basin. 1st National Conference on Desert, Tehran, Iran (in Persian).
12. Ghorbanizadeh Kharrazi, H., H. Sedghi, B. Saghafian and J. Porhemmat. 2007. The effects of climate change on the time of maximum snowmelt runoff, a case study on Karun and Dez rivers as the main sources of agricultural water in north of Khuzestan. *Journal Scientific and Research of Plant and Ecosystem*, 11: 38-50 (in Persian).
13. Ghorbanizadeh Kharrazi, H. and M. Chelema Dezfulejad. 2010. A study on the effect of climate change on snowmelt runoff timing in Dez Basin. *Journal of Science and Professional Talab Islamic Azad University of Ahvaz*, 3: 56-66 (in Persian).
14. Groisman, P.Y., R.W. Knight, V.N. Razuvaev, O.N. Bulygina and T.R. Karl. 2006. State of the ground: climatology and changes during the past 69 years over Northern Eurasia for a rarely used measure of snow cover and frozen land. *Journal of Climate*, 19: 4933-55.
15. Hodgkins, G.A., R.W. Dudley and T.G. Huntington. 2003. Changes in the timing of high river flows in New England over the 20th Century. *Journal of Hydrology*, 278: 244-252.
16. Irannezhad, M., A.K. Ronkanen and B. Klove. 2016. Wintertime climate factors controlling snow resource decline in Finland. *International Journal of Climatology*, 36: 110-131.
17. Kitaev, L.M., V.M. Radionov, E. Forland, V.N. Razuvaev and R.A. Martuganov. 2004. Duration of Northern Eurasia snow cover under present climate change conditions. *Russian Meteorology and Hydrology*, 11: 46-51.
18. Kitaev, L.M., V.N. Razuvaev, R. Heino and E. Forland. 2006. Snow cover period in Northern Europe. *Russian Meteorology and Hydrology*, 3: 72-77.
19. Leathers, D.J. and D.A. Robinson. 1993. The association between extremes in North American snow cover extent and United States temperatures. *Journal of Climate*, 6: 1345-1355.
20. Radionov, V.F., E.I. Aleksandrov, V.R. Bayborodova, N.N. Bryazgin and A.A. Dementev. 2004. Long-term changes of snow cover period in the Arctic Data. *Glacial Studies*, 97: 136-42.
21. Rahimi, D. and M. Danapour. 2011. Analysis of climate fluctuations affecting snowfall in Kuhrang region. *Journal of Scientific-Research Geographic Space of Islamic Azad University Ahar*, 38: 75-61 (in Persian).
22. Rikiishi, K., E. Hashiya and M. Imai. 2004. Linear trends of the length of snow cover season in the Northern Hemisphere as observed by the satellites in the period 1972-2000. *Annals of Glaciology*, 38: 229-237.
23. Rikiishi, K. and H. Nakasuto. 2006. Height dependence of the tendency for reduction in seasonal snow cover in the Himalaya and the Tibetan Plateau region, 1966-2001. *Annals of Glaciology*, 43: 369-377.
24. Robinson, D.A. and A. Frei. 2000. Seasonal variability of Northern Hemisphere snow extent using visible satellite data. *The Professional Geographer*, 52: 307-315.
25. Westerling, A.L., H.G. Hidalgo, D.R. Cayan and T.W. Swetnam. 2006. Warming and earlier spring increase western U.S. forest wildfire activity. *Science*, 313: 940-943.
26. Ye, H., H.M. Cho and P.E. Gustafson. 1998. The changes in Russian winter snow accumulation during 1936-1983 and its spatial patterns. *Journal of Climate*, 11: 856-863.
27. Ye, H. 2000. Decadal variability of Russian winter snow accumulation and its associations with Atlantic Sea surface temperature anomalies. *International Journal of Climatology*, 20: 1709-1728.
28. Ye, H. 2001. Quasi-biennial and quasi-decadal variations in snow accumulation over Northern Eurasia and their connections to the Atlantic and Pacific Oceans. *Journal of Climate*, 14: 4573-4584.

29. Ye, H. and J. Cho. 2013. Higher air temperatures over Northern Eurasia. *Journal of Environmental Research Letters*, 8: 1405-1422.
30. Zhang, X., K.D. Harvey, W.D. Hogg and T.R. Yuzyk. 2001. Trends in Canadian streamflow. *Water Resources Research*, 37: 987-999.