

بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی برف در منطقه کوهستانی زاگرس در دوره زمانی ۱۹۷۹-۲۰۱۰

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

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۸/۱۴)

چکیده

در این پژوهش روند تغییرات زمانی و مکانی عمق برف در منطقه کوهستانی زاگرس با استفاده از داده‌های شبکه‌بندی شده روزانه عمق برف Era-Interim/land وابسته به مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان‌مدت جوی (ECMWF) در دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۰ میلادی بررسی شد. به‌منظور بررسی ارتباط بین تغییرات عمق برف و دمای هوا در منطقه، از داده‌های بیشینه، کمینه و میانگین ماهانه دمای هوای ایستگاه‌های هواشناسی منطقه نیز استفاده شد. برای بررسی نرخ تغییرات عمق برف و دمای هوا از تخمین‌گر شیب سن و برای ارزیابی معنی‌داری روند تغییرات نیز از روش من‌کنندال اصلاح‌شده استفاده شد. نتایج نشان داد که در بیشتر ماه‌های مورد مطالعه به‌ویژه در ماه‌های فوریه و مارس از عمق برف در منطقه به‌طور چشمگیری کاسته شده است که این کاهش از نظر آماری در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار است. برخلاف روند کاهشی عمق برف در منطقه، یک روند افزایشی شدید و معنی‌دار در بیشینه، کمینه و میانگین دمای هوای ایستگاه‌های منطقه دیده می‌شود که در اغلب ایستگاه‌ها از نظر آماری معنی‌دار است. نتیجه این بررسی نشان می‌دهد که کاهش عمق برف در منطقه در ارتباط با روند افزایش دما در دوره مورد مطالعه است که در اثر گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی روی داده است.

واژه‌های کلیدی: تغییرات زمانی- مکانی، برف، روند، من- کندال، تخمین‌گر شیب سن، زاگرس

۱. گروه اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز

۲. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: parandeh_153@yahoo.com

مقدمه

با افزایش اهمیت موضوع تغییر اقلیم در جهان امروز، بررسی نوسانات و روند تغییرات متغیرهای هواشناسی از جمله عمق برف و دما اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. افزایش دمای هوا می‌تواند منجر به تغییراتی در روند برخی مؤلفه‌های چرخه هیدرولوژی از جمله دما، برف و... در نقاط مختلف جهان شود. علاوه بر این پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که تغییر اقلیم باعث افزایش دما، کاهش مقادیر بارش برف و در نتیجه کوتاه شدن طول دوره ریزش آن، افزایش حجم رواناب در زمستان و کاهش دبی در بهار شده است. بررسی فرایندهای مربوط به برف در مناطق مرتفع کوهستانی که بخش عمده‌ای از بارش خود را به صورت برف دریافت می‌کنند و ذوب برف آنها منبع اصلی تأمین کننده آب شیرین بسیاری از مناطق پیرامونی خود است، اهمیت بسیار بالایی در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب دارد. برای این منظور در بیشتر مناطق کشور به ویژه در مناطق مرتفع کوهستانی نیاز به آمار و داده‌های برف است که اندازه‌گیری منظم و جامع از فرایندهای مربوط به برف به جز در بعضی از حوضه‌های برف گیر که سدهای مهم را تغذیه می‌کنند صورت نمی‌گیرد. نبود داده‌های برف در کشور، این ضرورت را ایجاد می‌کند که از داده‌های ماهواره‌ای، داده‌های مدل‌های اقلیمی و یا ترکیبی از آنها برای بررسی تغییرات زمانی و مکانی برف در کشور بهره‌گیری شود.

کاتریکووا و همکاران با استفاده از آزمون من‌کندال در بررسی تغییرات پوشش برف و آب معادل برف شبیه‌سازی شده در حوضه آبریز هرون در اسلوواکی استفاده کردند و نشان دادند که در دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰ به طور پیوسته از عمق برف و آب معادل برف ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه کاسته شده است (۹). پونزو و همکاران با بررسی فراوانی بارش برف در شبه جزیره ایبریا نتیجه‌گیری کردند که از اواسط دهه ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۰ تعداد روزهای بارش برف در حدود ۵۰ درصد کاهش پیدا کرده است (۱۲). مرینو و همکاران نیز با بررسی الگوهای سینوپتیکی منجر به بارش‌های مهم برف در شبه جزیره ایبریا یک روند کاهش

معنی‌دار در تعداد روزهای برفی بیشتر ایستگاه‌های منطقه پیدا کردند (۱۱). سونمز و همکاران در تجزیه و تحلیل روند بارش و پوشش برف سالانه و ماهانه ترکیه از آزمون ناپارامتری من‌کندال استفاده کردند و نشان دادند که سطح منطقه تحت پوشش برف در ترکیه به طور معنی‌داری کاهش یافته است که این روند منفی در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار است (۱۷). یانگ و همکاران با استفاده از داده‌های روزانه برف در دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۳ در ۱۰۵ ایستگاه هواشناسی در سین‌کیانگ چین به بررسی تغییرات فضایی چندین پارامتر هواشناسی از جمله میانگین، بیشینه عمق برف و تاریخ شروع، پایان و مدت زمان ریزش برف در بازه سالانه و ماهانه پرداختند و دریافتند که میانگین و بیشینه عمق برف در بازه سالانه و نیز در ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه در بیشتر مناطق افزایش داشته است (۱۸). هارتنت و همکاران در مطالعه روند تغییرات زمانی بارش برف در نیویورک مرکزی دریافتند که در دوره ۱۹۷۲-۱۹۳۱ برف دارای روند افزایشی شدید و در دوره ۲۰۱۱-۱۹۷۲ روند کاهش داشته است که این رفتار می‌تواند بیانگر روند غیرخطی بارش برف در طول دوره مطالعه باشد. آنها مشخص کردند که میانگین دمای هوا در نیویورک مرکزی یک همبستگی تقریباً قوی (۰/۵۶-) با مجموع بارش فصلی برف دارد که از نظر آماری در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار است (۷).

در ایران نیز پژوهش‌های گسترده‌ای توسط پژوهشگران علوم مختلف در زمینه روند متغیرهای مختلف هواشناسی و هیدرولوژیکی انجام شده است که در اینجا تنها به مواردی که با موضوع مورد مطالعه بیشترین ارتباط را دارند اشاره می‌شود.

ابراهیمی و همکاران روند تغییرات زمانی پوشش برف در مناطق برف‌خیز ایران را با استفاده از محصول روزانه پوشش برف مودیس (MOD10_L2) در یک دوره ۱۰ ساله ۲۰۱۰-۲۰۰۱ بررسی کردند و نشان دادند که در تمامی مناطق کوهستانی و برف‌خیز کشور طی ۱۰ سال گذشته کاهش چشمگیری در بارش برف روی داده است (۱). عطایی و همکاران نیز روند تغییرات زمانی ارتفاع برف، میانگین دما،

روند کاهشی دمای بیشینه و کاهش دامنه تغییرات دما در طول دوره آماری مورد مطالعه را گزارش کردند (۳).

مواد و روش‌ها

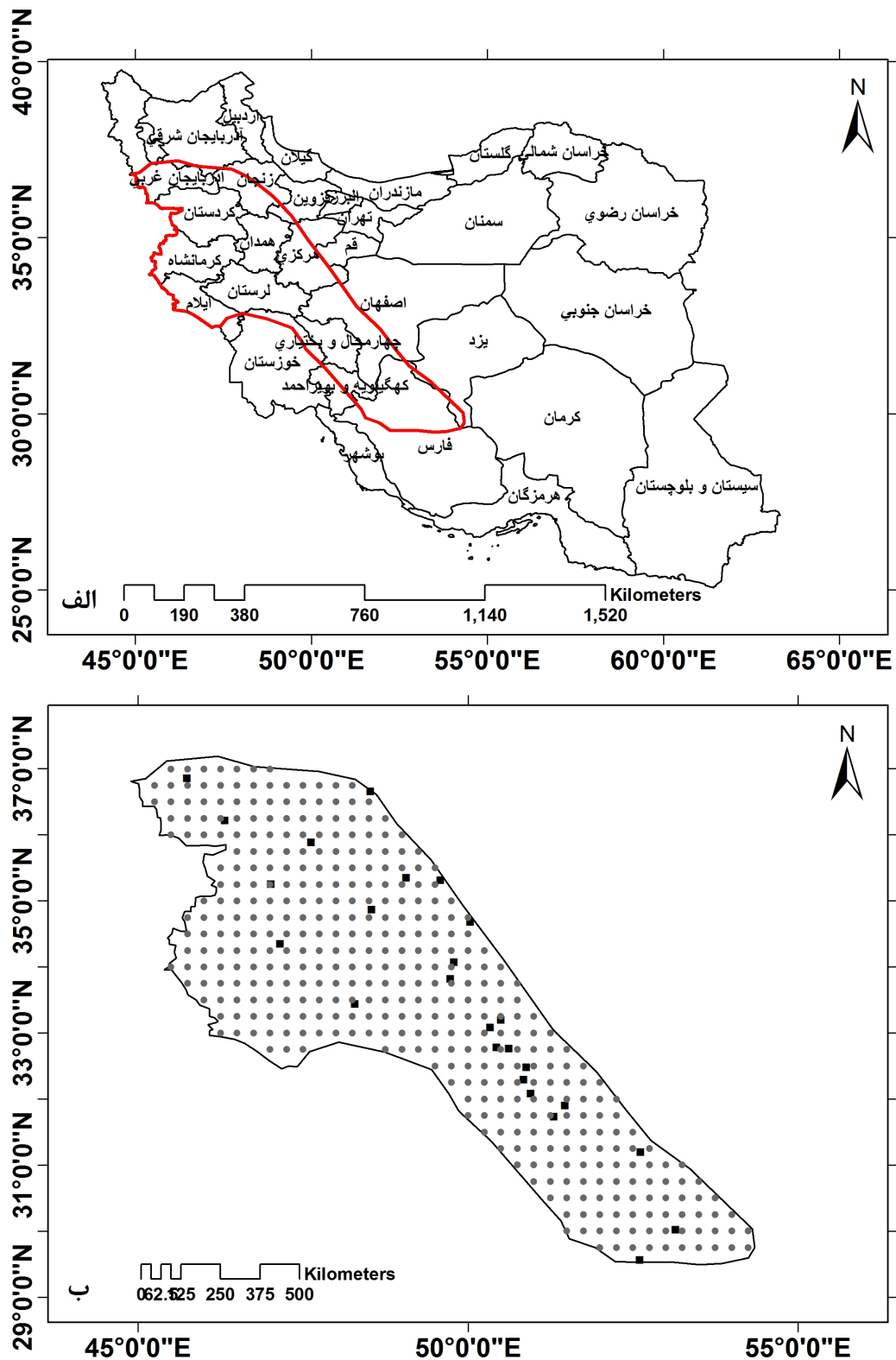
داده‌ها

در این مطالعه به منظور بررسی روند تغییرات زمانی برف از داده‌های شبکه‌بندی شده روزانه عمق برف Era-Interim/land وابسته به مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان‌مدت جوی (ECMWF) در دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۰ میلادی استفاده شده است (نقاط خاکستری رنگ شکل ۱ب). داده‌های Era-Interim/land از ترکیب داده‌های متغیرهای اقلیمی به‌دست آمده از مدل جوی Era-Interim با داده‌های مدل زمینی HTESSEL (Hydrology-Tiled ECMWF Scheme for Surface Exchanges over Land) و داده‌های بارش اصلاح شده GPCP v2.1 به‌دست می‌آید و دارای دقت مکانی 0.25×0.25 درجه جغرافیایی است (۵). این داده‌ها برخلاف داده‌های Era-Interim که به‌روز هستند، هم‌اکنون برای دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۰ موجود است و ممکن است هر چند سال یک‌بار به‌روزرسانی شود. برای این مطالعه داده‌های شبکه‌بندی شده Era-Interim/land از سایت مربوطه www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/archive-datasets/reanalysis-datasets/era-interim-land شد. از میان داده‌های ۲۰۰۹ نقطه دریافت شده، داده‌های ۳۸۷ نقطه پراکنده روی منطقه زاگرس برای ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، می، سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر که در آنها احتمال ریزش برف در منطقه وجود دارد، استخراج و استفاده شد.

در نتیجه به منظور بررسی روند تغییرات زمانی دمای هوا 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 ۱۹۷۹-۲۰۱۰ میلادی از آمار مناسب و کامل برخوردار بودند استفاده شد (نقاط مشکی رنگ شکل ۱-ب و جدول ۱).

دمای کمینه و کمینه مطلق دما در ایستگاه کوه‌رنگ را در دوره آماری ۱۳۹۰-۱۳۶۹ بررسی کردند و دریافتند که ارتفاع برف در این منطقه روند کاهشی و میانگین دما، دمای کمینه و کمینه مطلق دما هم در مقیاس سالانه و هم در مقیاس فصلی روند افزایشی دارند (۴). ارکیان و همکاران هم با بررسی تغییرات زمانی تعداد روزهای برفی و عمق برف و نیز بیشینه و کمینه دمای هوای ماه‌های دسامبر تا فوریه ایران در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۸۱ دریافتند که تعداد روزهای برفی و عمق برف در اغلب ایستگاه‌های مورد مطالعه به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است (۲). سلطانی و همکاران هم با استفاده از آزمون ناپارامتری من‌کنندال به مطالعه روند بلندمدت مقدار بارندگی، حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته و تعداد روزهای بارانی در بازه زمانی ماهانه و سالانه در ۳۳ ایستگاه سینوپتیک ایران پرداختند و به این نتیجه رسیدند که روند بارش ماهانه و سالانه در بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه معنی‌دار نیست و تنها در پنج ایستگاه از ایستگاه‌های مورد مطالعه، بارش سالانه دارای روند خطی معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد است و در نتیجه نبود روند خطی معنی‌دار را، در بارش حداکثر ۲۴ ساعته و تعداد روزهای بارانی ماهانه برای بیشتر نواحی ایران گزارش کردند (۱۶).

صوبوحی و همکاران روند بلندمدت بیشینه، کمینه و میانگین دما را در بازه زمانی ماهانه و سالانه در ۳۵ ایستگاه سینوپتیک ایران با استفاده از آزمون من‌کنندال بررسی و نتیجه‌گیری کردند که سری زمانی ماهانه دمای هوا در ماه‌های فصل تابستان در بیشتر ایستگاه‌های غربی و شرقی کشور روند افزایشی چشمگیری را از خود نشان می‌دهند. آنها دریافتند که بیشترین تعداد ایستگاه با روند افزایشی دما در ماه‌های آوریل و آگوست و بیشترین تعداد ایستگاه با روند منفی دما نیز در ماه‌های فوریه و مارس قرار دارد. آنها در نتیجه نشان دادند که میانگین دمای سالانه بسیاری از ایستگاه‌های غربی و جنوبی ایران دارای روند افزایشی است (۱۵). عزیزی و روشن هم با استفاده از آزمون من‌کنندال به بررسی روند دما در سواحل جنوبی دریای خزر پرداختند و روند افزایشی دمای کمینه،



شکل ۱. الف) موقعیت منطقه مورد مطالعه و ب) پراکنش نقاط Era-Interim/land (نقاط خاکستری رنگ) و ایستگاه‌های هواشناسی (نقاط مشکی رنگ) روی منطقه مورد مطالعه

جدول ۱. مختصات ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)
شیراز	۵۲°-۶'	۲۹°-۶'	۱۴۸۸
کرمانشاه	۴۷°-۲'	۳۴°-۴'	۱۳۱۸/۵
سنندج	۴۷°	۳۵°-۳'	۱۳۷۳/۴
خرم‌آباد	۴۸°-۳'	۳۳°-۴'	۱۱۴۷/۸
مکریان غربی	۴۵°-۷'	۳۶°-۹'	۱۳۳۲
همدان	۴۸°-۵'	۳۴°-۹'	۱۷۴۰/۸
بیجار	۴۷°-۶'	۳۵°-۹'	۱۸۸۳/۴
سقز	۴۶°-۳'	۳۶°-۲'	۱۵۲۲/۸
اراک	۴۹°-۸'	۳۴°-۱'	۱۷۰۲/۸
زنجان	۴۸°-۵'	۳۶°-۷'	۱۶۵۹/۴
پل زمانخان	۵۰°-۹'	۳۲°-۵'	۱۸۸۳
علی‌آباد کمین	۵۳°-۱'	۳۰°	۱۸۹۲
چشمه بناب	۵۳°-۲'	۳۰°-۳'	۱۹۲۹
کردغرب	۴۶°-۲'	۳۴°-۳'	۱۵۳۰
درگزین همدان	۴۹°-۱'	۳۵°-۴'	۱۸۴۰
شهرکرد	۵۰°-۸'	۳۲°-۳'	۲۰۴۸/۹
همگین	۵۱°-۵'	۳۱°-۹'	۲۱۵۱
آباده	۵۲°-۶'	۳۱°-۲'	۲۰۳۰
بادیجان	۵۰°-۳'	۳۳°-۱'	۲۳۰۰
سینگرد	۵۰°-۴'	۳۲°-۸'	۲۱۶۹
دامنه فریدن	۵۰°-۵'	۳۳°-۲'	۲۳۰۰
چادگان-فریدن	۵۰°-۶'	۳۲°-۸'	۲۱۵۶
عدل دزک	۵۱°	۳۲°-۱'	۲۰۵۴
امام قیس	۵۱°-۳'	۳۱°-۷'	۲۲۸۵
شمس‌آباد	۴۹°-۷'	۳۳°-۸'	۲۱۹۰
دوزج	۴۹°-۶'	۳۵°-۳'	۲۰۶۵

روند (مثبت یا منفی) بیشتر از واقعیت برآورد شود و وجود خودهمبستگی منفی نیز معنی‌داری روند (مثبت یا منفی) را کمتر نشان می‌دهد (۶، ۱۰ و ۱۹). بنابراین برای حذف اثر خودهمبستگی ضروری است که قبل از انجام آزمون، اجزا خودهمبستگی از قبیل فرایند خودهمبستگی مرتبه اول $AR(1)$ از سری داده‌ها حذف شود. این فرایند در اصطلاح پیش‌سفید

آن از مقادیر حدی موجود در سری زمانی داده‌ها است (۸) و (۱۰). فرض اصلی تحلیل روند در آزمون من‌کندال مستقل بودن و عدم وجود خودهمبستگی معنی‌دار در داده‌های مورد مطالعه است. با این وجود ممکن است برخی از سری‌های زمانی مورد بررسی دارای خودهمبستگی معنی‌دار باشند. وجود خودهمبستگی مثبت در داده‌ها باعث می‌شود که معنی‌دار بودن

کردن نامیده می‌شود. برای حذف اثر ضریب خودهمبستگی قبل از انجام آزمون من‌کنندال، حامد و رائو پیشنهاد کردند که واریانس داده‌ها پیش از آزمون اصلاح شود. مراحل محاسبه آماره من‌کنندال بدون حذف ضریب خودهمبستگی (پیش‌سفید نشده) به شرح زیر است، محاسبه اختلاف بین تک‌تک مشاهدات و اعمال تابع علامت و استخراج پارامتر S از رابطه (۱) به شرح زیر به دست می‌آید:

مقدار مثبت Z روند افزایشی و مقدار منفی آن روند کاهشی را نشان می‌دهد. مقدار آماره Z به دست آمده از رابطه بالا با مقدار جدول توزیع استاندارد نرمال در سطح معنی‌داری α مقایسه می‌شود. اگر $|Z| \leq 1/960$ فرض صفر (عدم وجود روند) در سطح معنی‌داری نمود و پنج درصد رد می‌شود و اگر

می‌شود (۱۰).
حامد و رائو (۶) برای حذف خود همبستگی معنی‌دار از سری‌های زمانی، آزمون من‌کنندال اصلاح شده را ارائه کردند که در آن ابتدا ضریب خودهمبستگی مرتبه k ام (rk) بر اساس رابطه (۷) محاسبه می‌شود:

$$rk = \frac{1}{n-k} = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x})(x_{t+k} - \bar{x})}{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2} \quad (7)$$

در رابطه ۷، $k = 1, 2, \dots, n$ مرتبه خودهمبستگی است. اگر $\frac{1-1/645 \pm \sqrt{n-k-1}}{n-k} \leq rk \leq \frac{1+1/645 \pm \sqrt{n-k-1}}{n-k}$ باشد، آنگاه داده‌ها بدون خودهمبستگی و در سطح معنی‌داری ۱۰ درصد مستقل فرض می‌شود و روند با استفاده از روش من‌کنندال اصلی محاسبه می‌شود اما اگر ضریب خودهمبستگی مرتبه k ام معنی‌دار باشد، ابتدا واریانس اصلاح شده از رابطه (۸) محاسبه می‌شود:

$$\text{var}^*(s) = \text{Var}(s) \frac{n}{n^*} \quad (8)$$

در رابطه فوق $\text{Var}(s)$ واریانس آماری سری زمانی اصلی داده‌ها، n تعداد نمونه، n^* اندازه مؤثر داده‌ها و $\frac{n}{n^*}$ ضریب تصحیح به خودهمبستگی در داده‌هاست که از رابطه (۹) به دست می‌آید:

$$\frac{n}{n^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \sum_{j=1}^{n-1} (n-k)(n-k-1)(n-k-2) * rk \quad (9)$$

که در آن (rk) ضرایب خودهمبستگی با تأخیر k است که از رابطه (۷) محاسبه می‌شود. حامد و رائو اثبات کردند که اگر واریانس اصلاح شده $\text{var}^*(s)$ جایگزین $\text{Var}(s)$ شود، نتایج دقیق‌تری به دست می‌آید. در این مطالعه برای محاسبه آماره من‌کنندال اصلاح شده، از این جایگزینی استفاده شده است.

شیب خط روند با تخمین گر سن

در آزمون من‌کنندال شیب خط روند سری داده‌ها با روش تخمین گر سن (۱۳) از رابطه ناپارامتری زیر محاسبه می‌شود:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (1)$$

در رابطه ۱، n تعداد مشاهدات در سری، x_i و x_j به ترتیب داده‌های زام و نام سری و $\text{Sgn}(\theta)$ نیز تابع علامت است که با رابطه (۲) تعریف می‌شود:

$$\text{Sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{if } \theta > 0 \\ 0 & \text{if } \theta = 0 \\ -1 & \text{if } \theta < 0 \end{cases} \quad (2)$$

به‌ازای $n \geq 8$ آماره s دارای توزیع نرمال است و میانگین و واریانس آن به ترتیب از رابطه (۳) و (۴) به دست می‌آید.

$$E(S) = 0 \quad (3)$$

$$\text{var}(s) = \frac{n - (n-1)(2n+5) - \beta}{18} \quad (4)$$

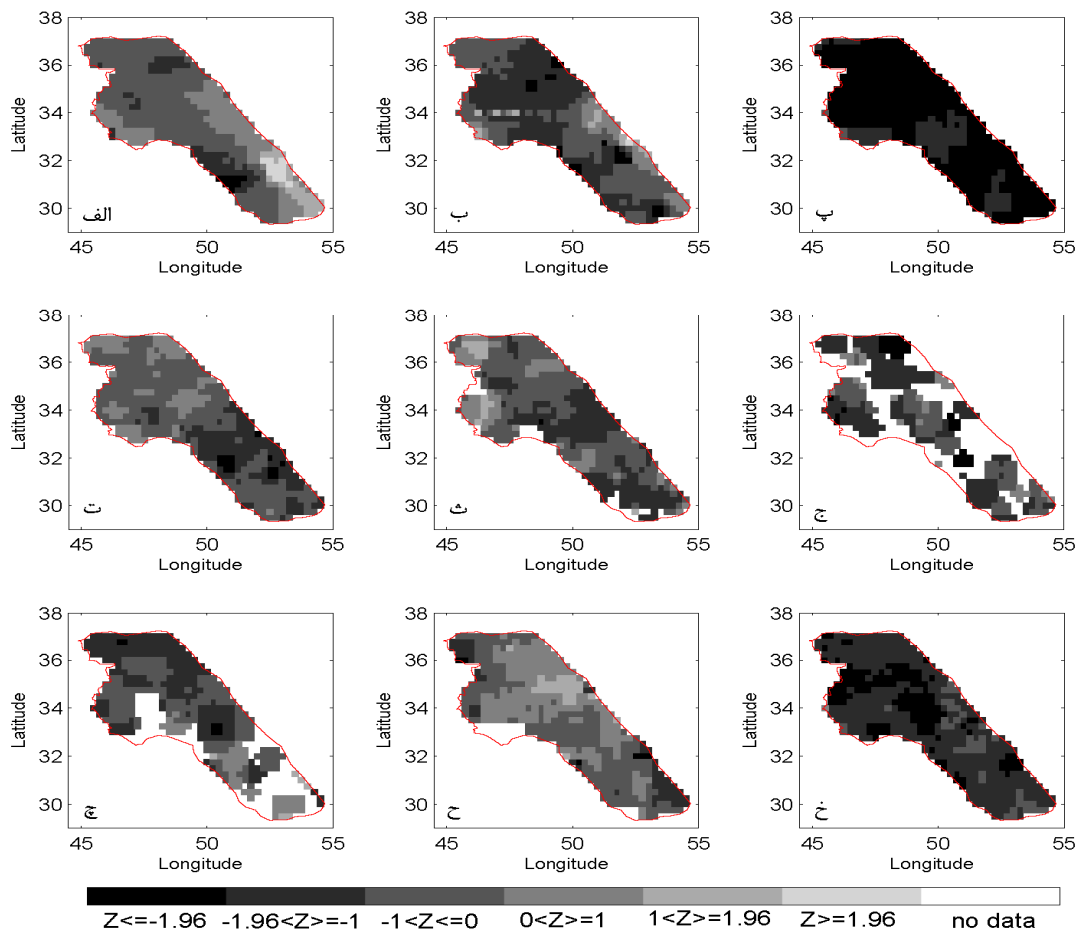
در رابطه ۴، β عامل مربوط به تصحیح واریانس است و در صورتی که داده‌های تکراری متوالی در سری مورد بررسی وجود داشته باشد از رابطه (۵) محاسبه و در واریانس اعمال می‌شود.

$$\beta = \sum_{t=1}^m t_i (t_i - 1) (2t - 5) \quad (5)$$

در رابطه ۵، t_i تعداد داده‌های یکسان در دسته نام است. در نهایت آماره Z آزمون من‌کنندال از رابطه (۶) به دست می‌آید:

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & s > 0 \\ 0 & s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & s < 0 \end{cases} \quad (6)$$

مقدار مثبت Z روند افزایشی و مقدار منفی آن روند کاهشی را نشان می‌دهد. مقدار آماره Z به دست آمده از رابطه بالا با مقدار جدول توزیع استاندارد نرمال در سطح معنی‌داری α مقایسه می‌شود. اگر $|Z| \leq 1/960$ فرض صفر (عدم وجود روند) در سطح معنی‌داری نمود و پنج درصد رد می‌شود و اگر



شکل ۲. آماره من‌کندال اصلاح شده برای سری زمانی عمق برف: الف) ژانویه، ب) فوریه، پ) مارس، ت) آوریل، ث) می، ج) سپتامبر، چ) اکتبر، ح) نوامبر و خ) دسامبر

افزایشی است در بخش گسترده‌ای از منطقه روند تغییرات عمق برف کاهشی است. این روند کاهشی که با نرخ بین ۲ تا ۶/۵ سانتی‌متر در سال روی داده است (شکل ۳- الف) تنها در قسمت کوچکی از جنوب غرب منطقه مورد مطالعه (کهکیلویه و بویر احمد) در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار است. با توجه به (شکل ۲- ب)، در ماه فوریه قسمت‌های عمده‌ای از منطقه دارای روند کاهشی است که با توجه به مقدار آماره آن از نظر آماری معنی‌دار نیستند ولی این روند کاهشی در بخش‌های کوچکی از شرق، غرب، جنوب و شمال شرق منطقه در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار است. (شکل ۳- ب) نیز نشان می‌دهد که در بخش بزرگی از منطقه مورد مطالعه عمق برف در این ماه با نرخ بین ۱ تا ۵/۵ سانتی‌متر در سال کاهش

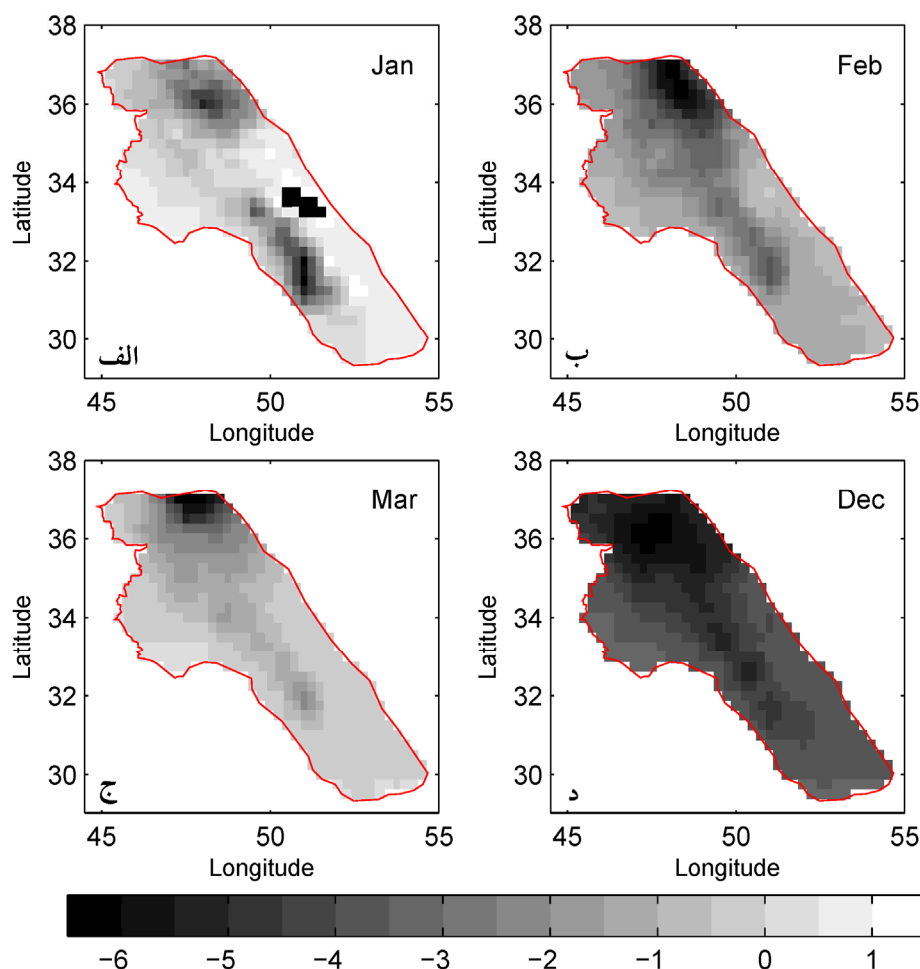
$$\beta = \text{Median} \left[\frac{x_j - x_i}{j - i} \right] (\forall j > i) \quad (11)$$

در رابطه بالا β برآورده‌گر شیب خط روند و x_i, x_j به ترتیب مقادیر مشاهداتی i ام و j ام و $j - i$ واحد زمانی بعد از i است.

نتایج

تغییرات عمق برف در منطقه مورد مطالعه

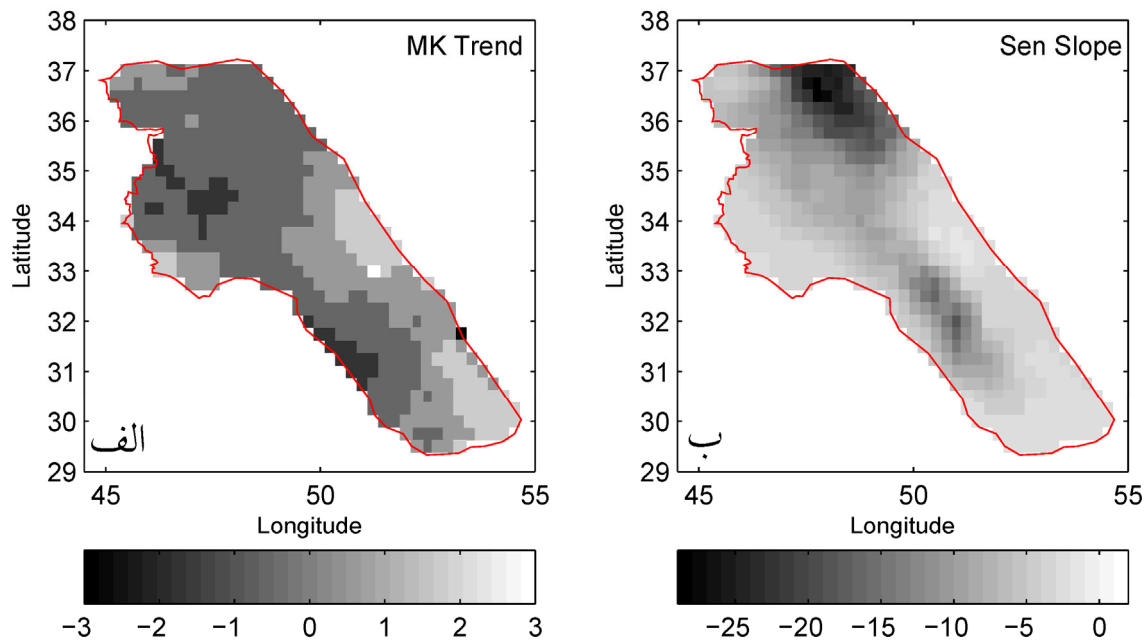
شکل‌های (۲- الف تا ۲- خ و ۳- الف تا ۳- د) به ترتیب مقادیر آماره آزمون من‌کندال و مقادیر شیب خط روند داده‌های عمق برف ماه‌های منتخب در این مطالعه را نشان می‌دهند. با توجه به شکل (۲- الف)، در ماه ژانویه به‌استثنای حاشیه شرقی و جنوب شرقی و نیز قسمت کوچکی از غرب منطقه که دارای روند



شکل ۳. شیب تغییرات عمق برف در ماه‌های: الف) ژانویه، ب) فوریه، ج) مارس و د) دسامبر بر اساس تخمین‌گر شیب سن

بختیاری) معنی‌دار است. در ماه می نیز روند تغییرات عمق برف در بیشتر منطقه کاهش‌یافته است، هر چند این روند در هیچ نقطه‌ای از منطقه معنی‌دار نیست. در ماه‌های می، سپتامبر، اکتبر و نوامبر نرخ تغییرات زمانی عمق برف در سال تقریباً در سرتاسر منطقه مورد مطالعه برابر با صفر است و به همین دلیل نقشه آنها ارائه نشده است. با توجه به (شکل ۲-ج) مقدار روند برای بیشتر نقاط در ماه سپتامبر قابل محاسبه نبوده است چرا که در ماه سپتامبر ریزش برف در این نقاط به‌ندرت روی می‌دهد. از این رو مقدار روند تنها برای ارتفاعات منطقه که در این ماه ریزش برف در آنها امکان‌پذیر است، محاسبه شده است. با توجه به (شکل ۲-ج) روند تغییرات عمق برف این نقاط نیز معنی‌دار نیست. بر اساس (شکل ۲-چ)، روند تغییرات عمق

می‌یابد که این نرخ در شمال شرق منطقه (زنجان و قسمتی از آذربایجان، کردستان، همدان و مرکزی) در حدود ۵/۵ سانتی‌متر در سال است. با توجه به آماره Z ماه مارس که بین -۱ تا -۸/۹ است (شکل ۲-پ) در این ماه تقریباً در تمامی منطقه زاگرس عمق برف دارای روند کاهش‌یافته شدید است که از نظر آماری در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار است. با توجه به (شکل ۳-ج)، نرخ کاهش‌یافته تغییرات عمق برف در بخش قابل توجهی از منطقه مورد مطالعه در این ماه بین ۱/۴ تا ۶/۸ سانتی‌متر در سال است. با توجه به (شکل ۲-ت) این روند کاهش‌یافته با نرخی کمتر از یک سانتی‌متر در سال در ماه آوریل نیز دیده می‌شود، با این تفاوت که روند کاهش عمق برف در این ماه تنها در قسمتی از جنوب غرب منطقه زاگرس (چهارمحال و



شکل ۴. الف) آماره من‌کندال و ب) تخمین گر شیب سن برای فصل برفی منطقه زاگرس

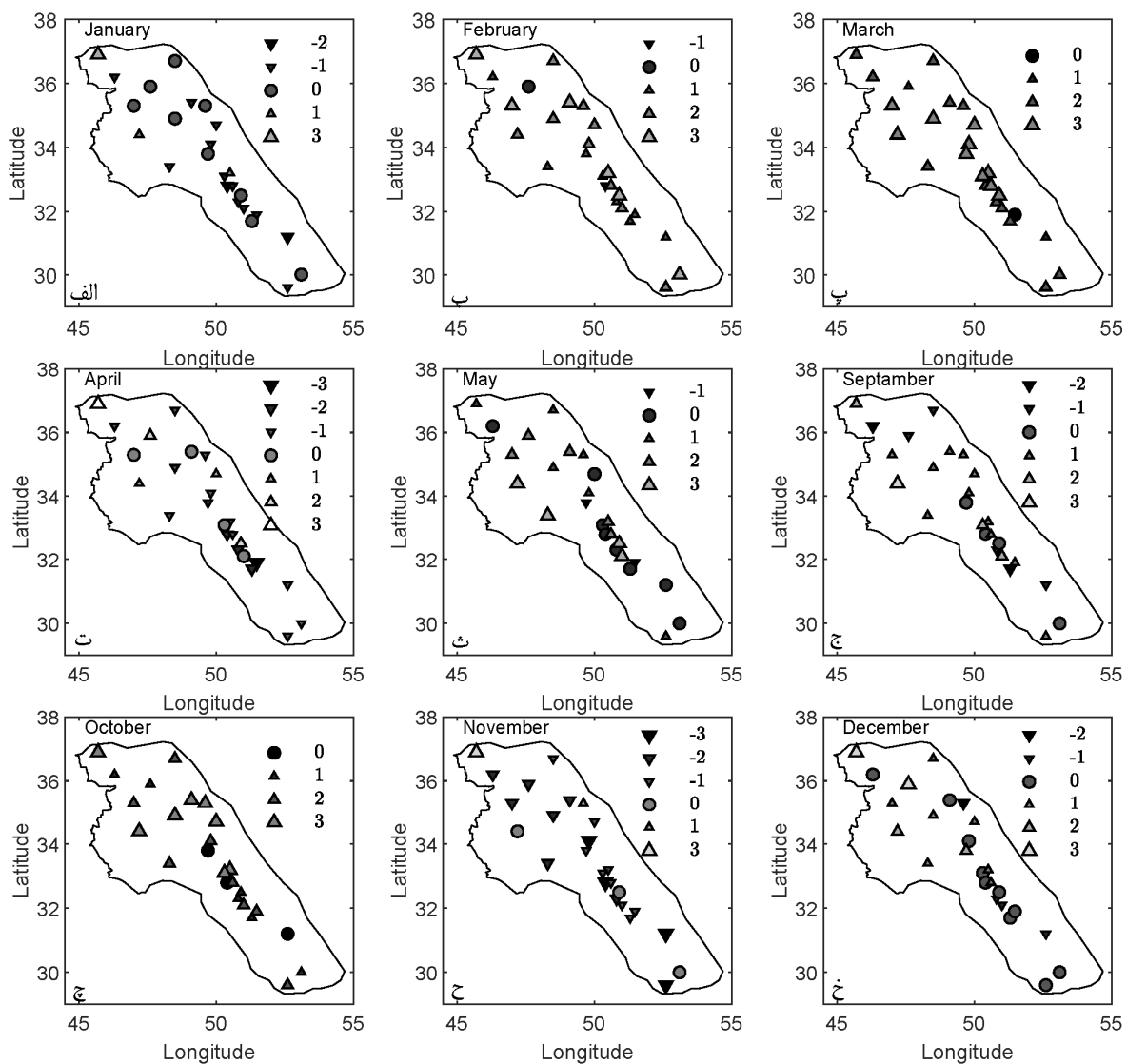
از شکل (۱) با استفاده از آزمون من‌کندال اصلاح شده و تخمین گر شیب سن محاسبه و در شکل‌های ۴-الف و ۴-ب نمایش داده شده است. بر اساس شکل ۴-الف، به‌استثنای قسمتی از حاشیه شرقی و جنوب شرقی زاگرس، عمق برف در تمامی زاگرس دارای روند کاهشی است که این کاهش تنها در قسمتی از غرب و جنوب غرب زاگرس در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار است. با توجه به شکل ۴-ب، نرخ کاهش عمق برف در بخش گسترده‌ای از منطقه به‌ویژه در شمال شرق و جنوب غرب در حدود ۲۹ سانتی‌متر در سال است.

تغییرات روند دمای هوا در منطقه مورد مطالعه

در این مقاله منظور از بیشینه و کمینه دما، میانگین کمینه و بیشینه دما است. شکل ۵-الف تا ۵-خ مقادیر آماره من‌کندال را برای بیشینه دمای ماهانه ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۰ نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۵-الف، به استثنای یک ایستگاه در شمال منطقه که بیشینه دمای هوای ماه ژانویه آن دارای روند کاهشی معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد است در بیشتر ایستگاه‌ها روند تغییرات دما افزایشی

برف در بیشتر نقاط برف‌گیر منطقه در ماه اکتبر نیز کاهشی است ولی از نظر آماری معنی‌دار نیست. با توجه به (شکل ۲-ح) روند تغییرات برف در ماه نوامبر در بیشتر نقاط منطقه افزایشی است که تنها در بخش کوچکی از شمال شرق منطقه (قسمتی از همدان و مرکزی) و غرب منطقه (قسمتی از لرستان) در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار است. برخلاف ماه نوامبر روند تغییرات عمق برف در ماه دسامبر در بیشتر نقاط کاهشی است که در بخش بزرگی از نیمه شمالی منطقه (بخشی از استان مرکزی، همدان، لرستان و کرمانشاه) که با نرخ $2/8$ سانتی‌متر در سال کاهش می‌یابد (شکل ۳-د) در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار است (شکل ۲-خ).

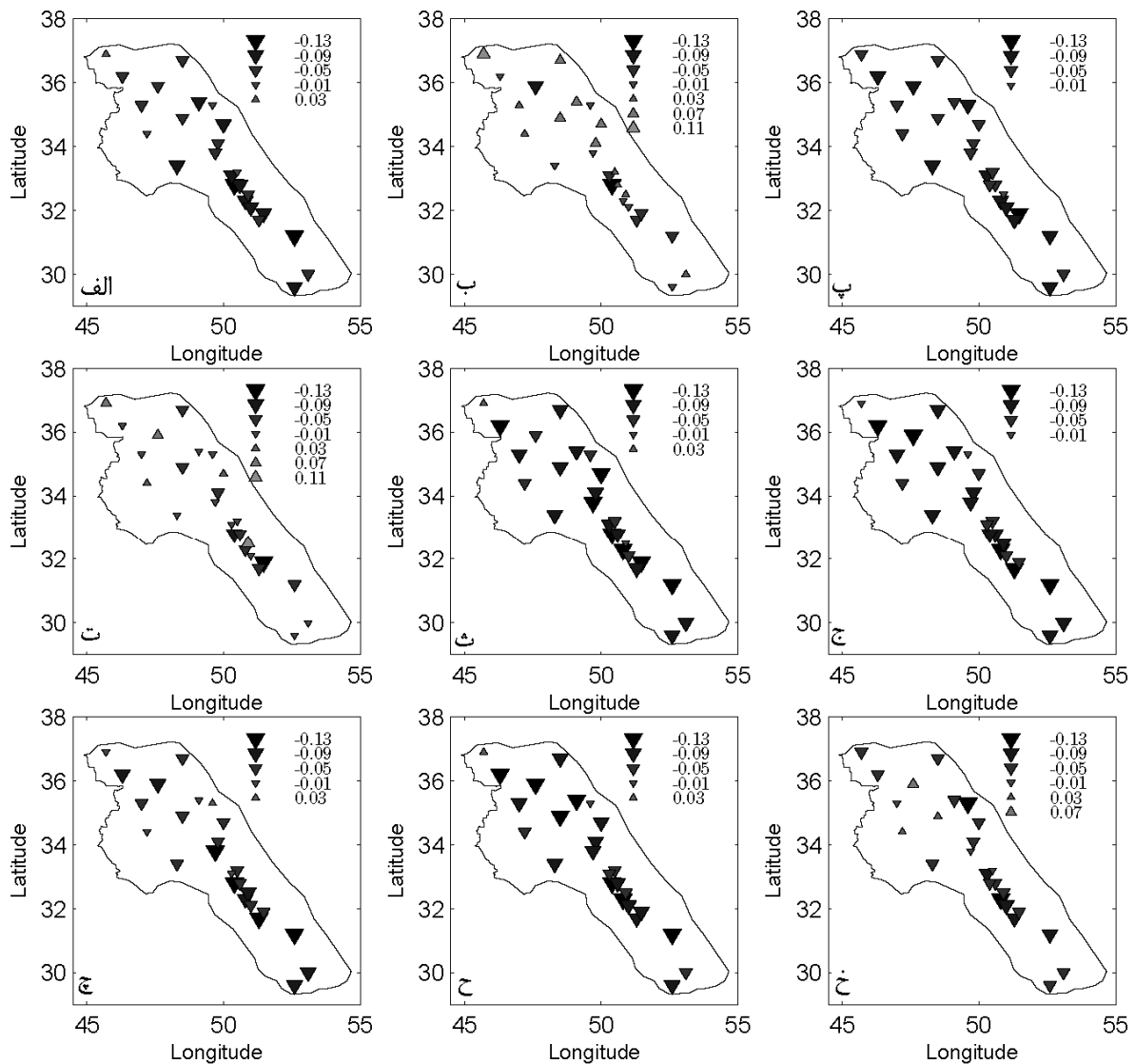
میانگین طول مدت فصل برفی منطقه مورد مطالعه در دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۰ در حدود ۸۸ روز در سال است که در مناطق کم‌ارتفاع و عرض‌های جغرافیایی پایین در حدود ۳۰ روز و در مناطق مرتفع و شمالی‌تر ۱۷۲ روز (در حدود شش ماه) است. برای شناسایی روند تغییرات زمانی عمق برف در فصل برفی منطقه نقشه‌های عمق برف فصل برفی منطقه در سال‌های مختلف تهیه و روند تغییرات زمانی آن برای هر نقطه



شکل ۵. الف تا خ) آزمون من‌کندال دمای بیشینه هوای مختلف سال در منطقه زاگرس در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۷۹

شکل ۵-ث نیز روند افزایشی دمای بیشینه ماه می را در تمامی ایستگاه‌های منطقه نشان می‌دهد که این روند در بیشتر ایستگاه‌ها در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار است. با توجه به شکل ۵-ج، دمای بیشینه ماه سپتامبر در بیشتر ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی است ولی از نظر آماری معنی‌دار نیست. در ماه اکتبر نیز دمای بیشینه هوا در تمامی منطقه دارای روند افزایشی است که این روند در اغلب ایستگاه‌ها در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار است (شکل ۵-ح). برخلاف روند تغییرات بیشینه دما در ماه‌های پیشین، روند تغییرات بیشینه دمای

است هر چند از نظر آماری معنی‌دار نیست. با توجه به شکل ۵-ب، در ماه فوریه نیز روند تغییرات دمای بیشینه هوا در بخش بزرگی از منطقه افزایشی است که در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار است. شکل ۵-پ نیز نشان می‌دهد که روند تغییرات بیشینه دمای هوا در ماه مارس نیز در تمامی منطقه زاگرس افزایشی است که از نظر آماری معنی‌دار است. بر اساس شکل ۵-ت، در ماه آوریل نیز روند دمای بیشینه در بیشتر ایستگاه‌ها مورد مطالعه افزایشی است که تنها در تعداد معدودی از آنها این روند افزایشی معنی‌دار است.

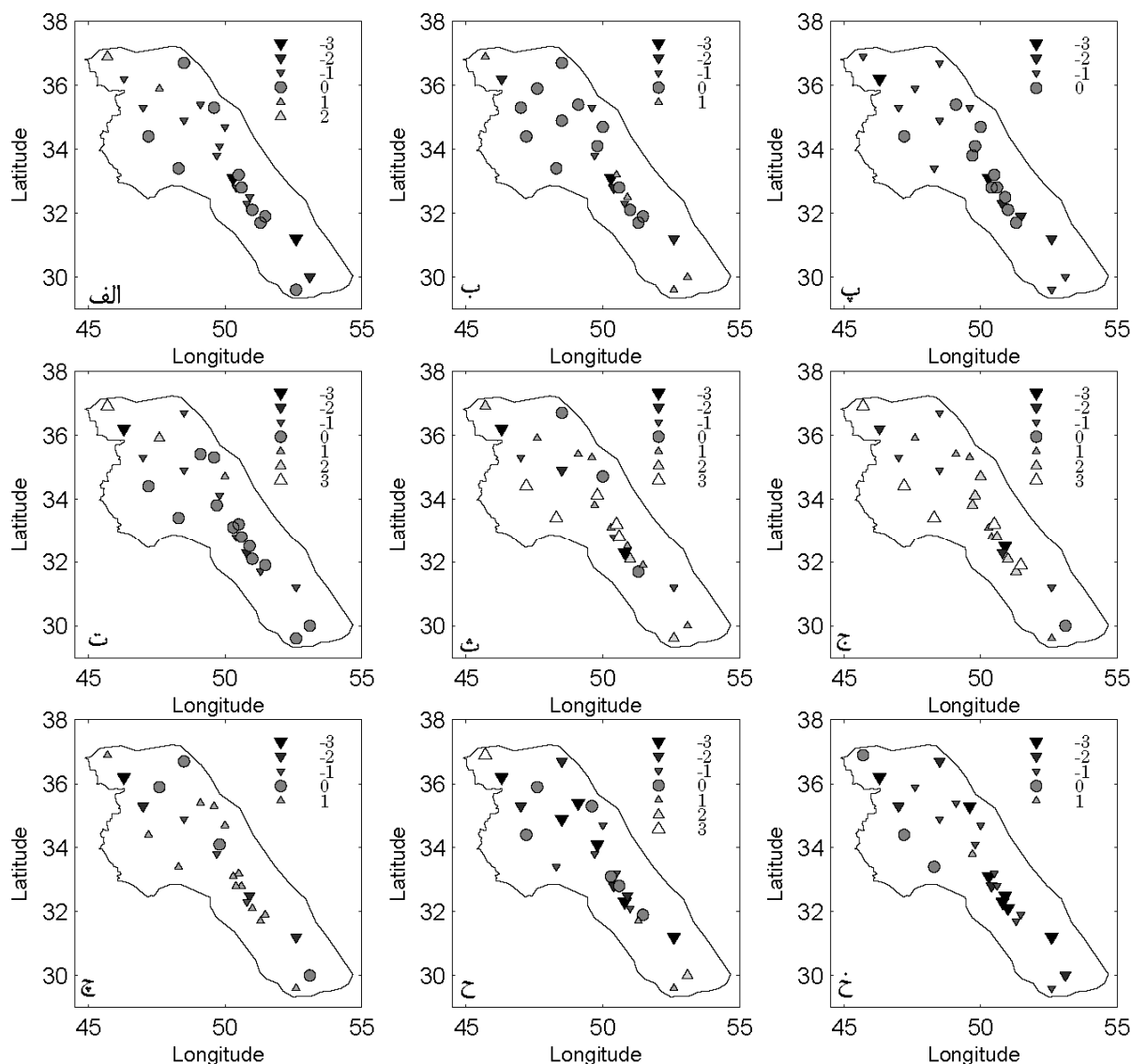


شکل ۶. الف تا ز) آزمون تخمین گر شیب سن برای دمای بیشینه ماه‌های مختلف سال در منطقه زاگرس در دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۰

۰/۱ تا ۰/۳ درجه سانتی‌گراد در سال در حال افزایش است. البته در اغلب ماه‌ها روند تغییرات دمای بیشینه هوا در بیشتر ایستگاه‌ها در حدود ۰/۱ درجه سانتی‌گراد در سال است. در ایستگاه‌هایی که روند تغییرات منفی از خود نشان داده‌اند نیز نرخ تغییر در حدود ۰/۱- درجه سانتی‌گراد در سال بوده است که بیشترین فراوانی آن در ماه نوامبر دیده می‌شود. در بیشتر ایستگاه‌ها روند افزایشی دمای بیشینه هوا در ماه‌های مختلف با روند کاهش عمق برف در آن ماه‌ها همخوانی دارد. در نتیجه روند کاهش دمای بیشینه دمای هوای ماه نوامبر، روند افزایشی عمق برف در این ماه را توجیه می‌کند (شکل ۲-ح).

نوامبر در اغلب ایستگاه‌ها کاهش است که این روند در برخی از آنها معنی‌دار است (شکل ۵-خ). در ماه دسامبر روند بیشینه دما تقریباً در تمامی ایستگاه‌ها افزایشی است که در ایستگاه‌های پراکنده‌ای در قسمت غربی و شمالی منطقه در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار است (شکل ۵-خ).

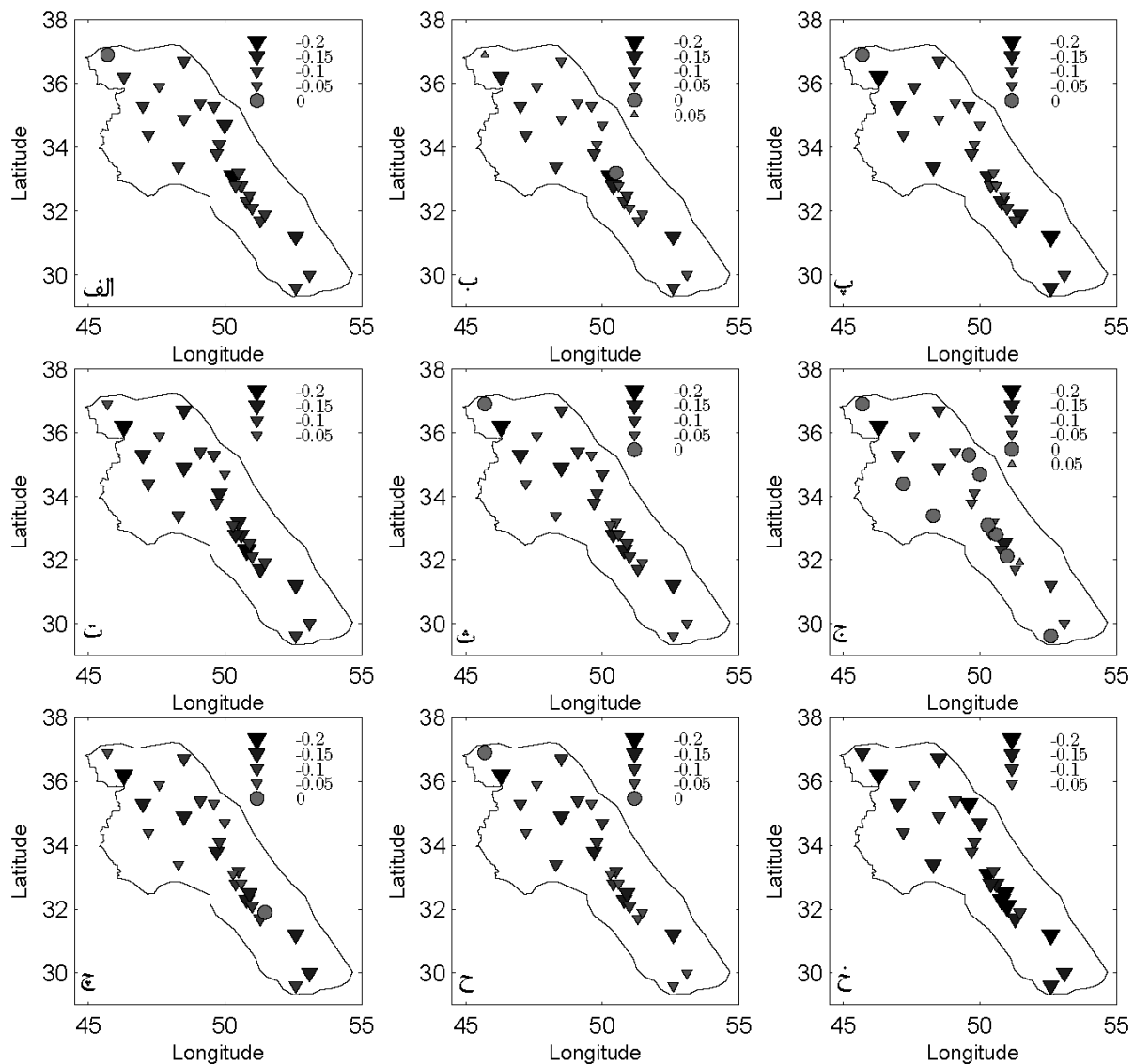
شکل ۶- الف تا ز- خ مقادیر شیب خط روند داده‌های دمای بیشینه را در منطقه زاگرس نشان می‌دهد. با توجه به این شکل ملاحظه می‌شود که در بیشتر ماه‌های مورد مطالعه فراوانی شیب‌های مثبت بسیار زیادتر از فراوانی شیب‌های منفی است و دمای بیشینه هوا در بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه با نرخ بین



شکل ۷. الف تا خ) آزمون من‌کنندال دمای کمینه در منطقه زاگرس در دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۰

نظر آماری معنی‌دار است. با توجه به شکل ۷-ت، به غیر از دو ایستگاه که در آنها روند دمای کمینه هوا کاهشی و از نظر آماری بی‌معنی است، دمای کمینه ماه آوریل در همه ایستگاه‌های دارای روند افزایشی و غالباً معنی‌دار است. با توجه به شکل ۷-ت، در ماه می نیز صرف‌نظر از وجود روند کاهشی معنی‌دار در برخی از ایستگاه‌ها، در بیشتر ایستگاه‌های منطقه روند دمای کمینه هوا افزایشی است که این روند در بیش از نیمی از این ایستگاه‌ها در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار است. بر اساس شکل ۷-ج، در ماه سپتامبر نیز صرف‌نظر از وجود

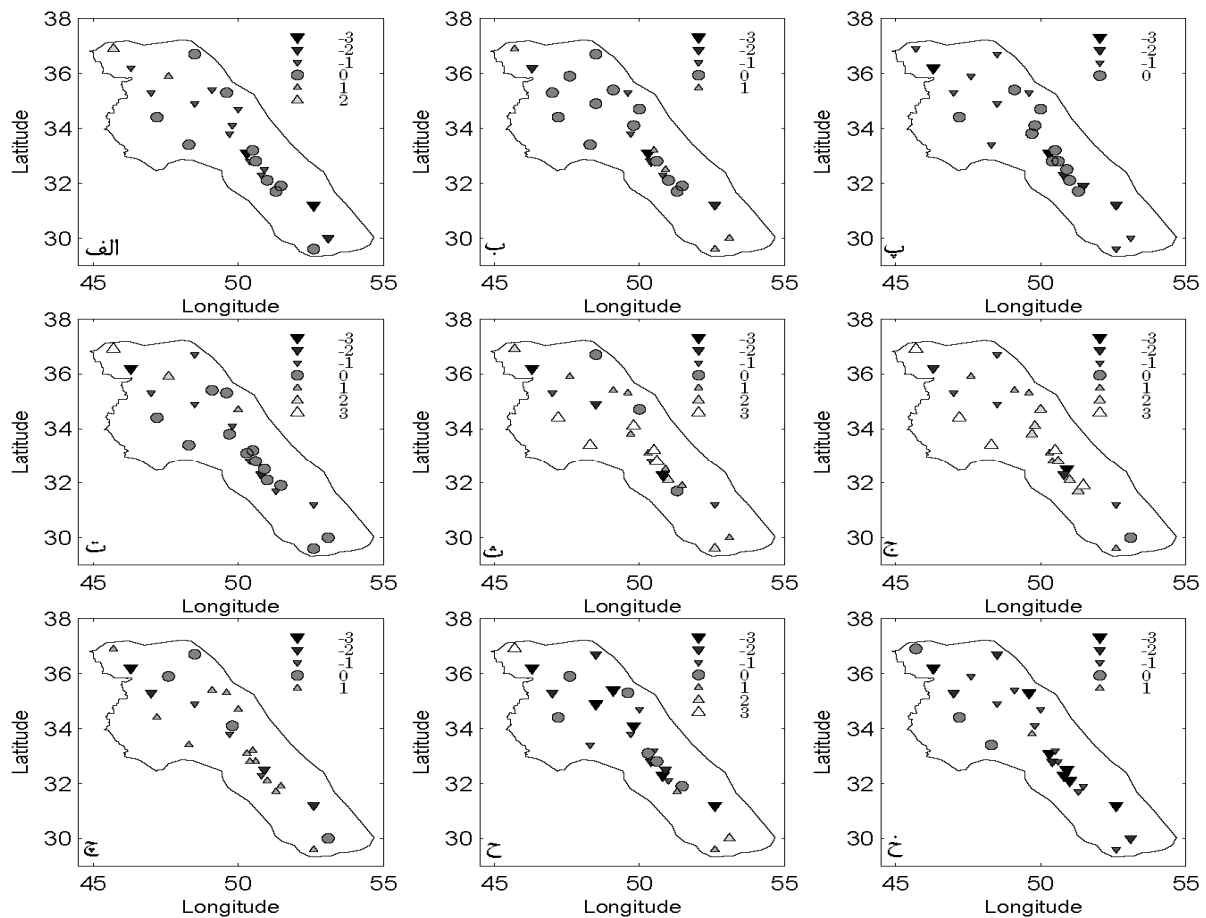
با توجه به شکل ۷-الف روند دمای کمینه در ماه ژانویه کاهشی است که این کاهش تقریباً در تمامی منطقه از نظر آماری معنی‌دار نیست. در این ماه روند دمای کمینه در برخی از ایستگاه‌ها افزایشی است که از نظر آماری معنی‌دار است. بر اساس شکل ۷-ب، دمای کمینه هوا در ماه فوریه تقریباً در تمامی ایستگاه‌های منطقه دارای روند افزایشی است که در بیشتر مناطق در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار است. با توجه به شکل ۷-پ، روند تغییرات دمای کمینه هوا در ماه مارس نیز همانند ماه فوریه در تمامی ایستگاه‌های منطقه افزایشی است که از



شکل ۸. الف تا خ) آزمون تخمین گر شیب سن دمای کمینه در منطقه زاگرس در دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۰

برخی از این ایستگاه‌ها در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار است. در ماه دسامبر نیز صرف نظر از وجود روند کاهش دمای کمینه بدون معنی در برخی مناطق، تقریباً در بیشتر ایستگاه‌های منطقه روند افزایشی دیده می‌شود که این افزایش تنها در چند ایستگاه در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار است (شکل ۷-خ). با توجه به شکل ۸-الف تا ۸-خ که مقادیر شیب خط روند دمای کمینه هوا را در ایستگاه‌های منطقه نشان می‌دهد، در بیشتر ماه‌های مورد مطالعه فراوانی ایستگاه‌های با نرخ تغییرات مثبت بسیار بیشتر از

روند کاهش در برخی نقاط، تقریباً در تمامی منطقه روند افزایشی دیده می‌شود که این افزایش در بیش از نیمی از ایستگاه‌ها در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار است. در ماه اکتبر نیز صرف نظر از وجود روند کاهش بدون معنی در برخی ایستگاه‌ها، دمای کمینه هوا در بیشتر ایستگاه‌های منطقه دارای روند افزایشی است که اغلب در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار است (شکل ۷-چ). با توجه به شکل ۷-ح در برخی از ایستگاه‌ها دمای کمینه ماه نوامبر دارای روند کاهش و در برخی دیگر دارای روند افزایشی است که این روندها در

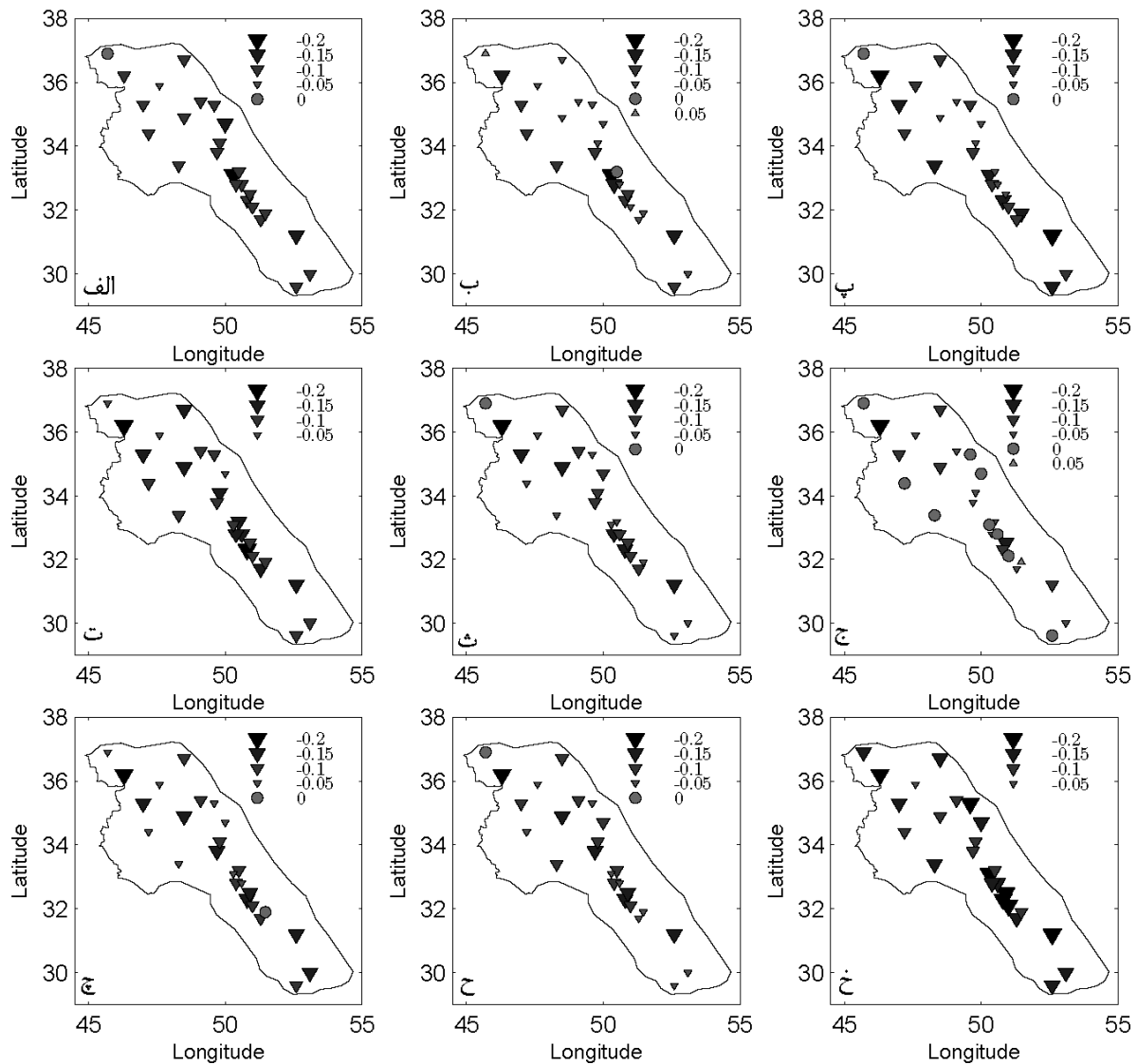


شکل ۹. الف تا خ) آزمون من‌کنندال دمای میانگین در منطقه زاگرس در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۷۹

در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار است. با توجه به شکل ۹-ت، در ماه آوریل نیز روند دمای میانگین در بیش از نیمی از ایستگاه‌ها افزایشی است ولی با توجه به شکل ۱۰-ت نرخ این افزایش در بیشتر این ایستگاه‌ها کمتر از ۰/۱ درجه سانتی‌گراد در سال است. با توجه به شکل ۹-ث، روند میانگین دما در ماه می نیز در بیشتر ایستگاه‌های منطقه افزایشی است که در برخی نقاط در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار است. شکل‌های ۹-ج و ۹-چ هم نشان می‌دهند که روند میانگین دمای ماهانه سپتامبر و اکتبر در بیشتر ایستگاه‌ها افزایشی است که این روند در نیمی از آنها در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار است. با توجه به شکل ۱۰-چ، نرخ این افزایش دما در ماه اکتبر بیشتر از ۰/۲ درجه سانتی‌گراد است. بر اساس شکل ۹-ح در ماه نوامبر هم روند میانگین دما در نیمی از ایستگاه‌ها کاهش و در نیمی دیگر افزایشی است که تنها در مناطق

فراوانی ایستگاه‌های با شیب منفی است. در نتیجه در بیشتر ماه‌های مورد مطالعه نرخ تغییرات دما کمتر از ۰/۱ درجه سانتی‌گراد در سال است.

شکل ۹-الف تا ۹-ب، مقادیر آماره من‌کنندال را برای میانگین دمای هوا در ایستگاه‌های منتخب در دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۰ نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۹-الف، در ماه ژانویه روند افزایشی (کاهش) دما تنها در ایستگاه‌های معدودی در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار است. در این ایستگاه‌ها دمای میانگین هوا با نرخ در حدود ۰/۲ تا ۰/۳ درجه سانتی‌گراد در سال افزایش (کاهش) می‌یابد (شکل ۱۰-الف). با توجه به شکل ۹-ب و ۹-پ، در ماه‌های فوریه و مارس نیز روند میانگین دما تقریباً در تمامی منطقه افزایشی است که در برخی از ایستگاه‌ها که با نرخ بیش از ۰/۲ درجه سانتی‌گراد در سال افزایش می‌یابد (شکل ۱۰-ب و ۱۰-پ)

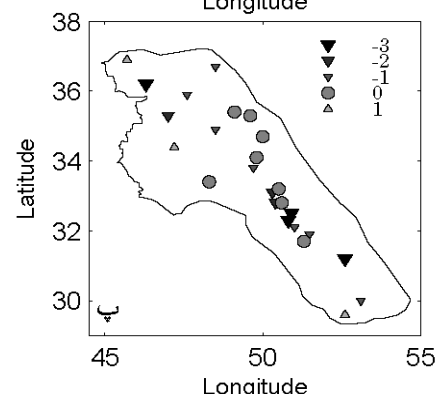
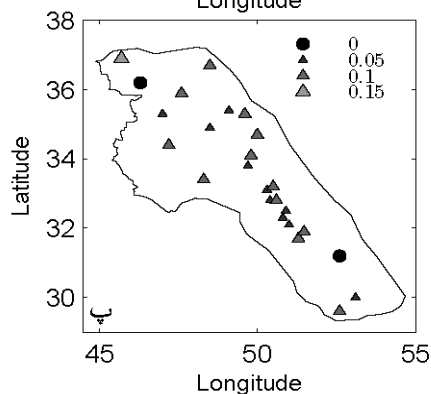
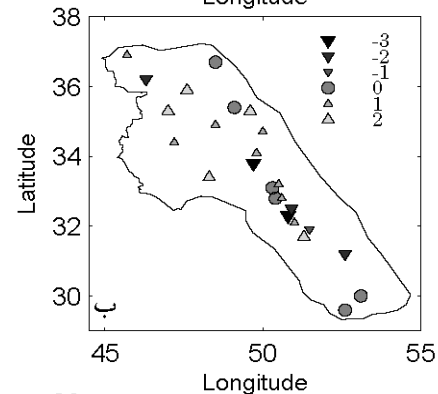
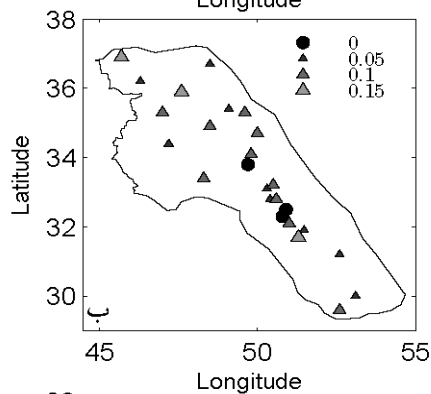
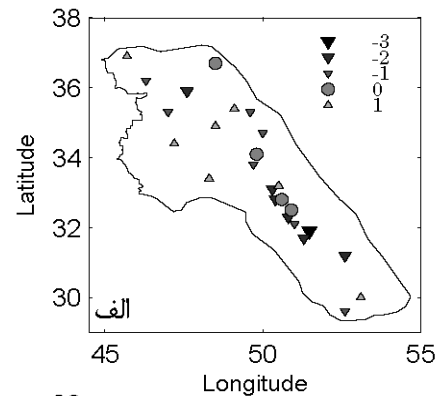
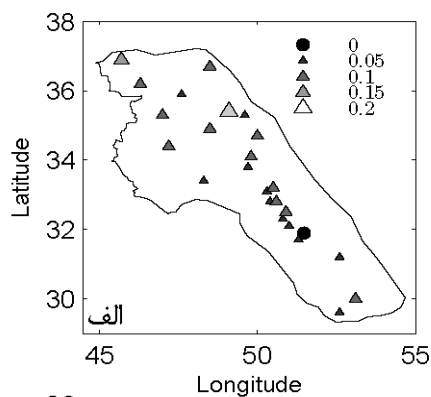


شکل ۱۰. الف تا خ) آزمون تخمین گر شیب سن دمای میانگین در منطقه زاگرس در دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۰

از ایستگاه‌های منطقه در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار است. این روند افزایشی در نتیجه در سری زمانی داده‌های دمای کمینه فصل برفی بیش از نیمی از ایستگاه‌های منطقه نیز به‌خوبی دیده می‌شود که اغلب در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار است. با توجه به روند افزایشی دمای کمینه و بیشینه در بیشتر ایستگاه‌ها، همان‌گونه که انتظار می‌رود این روند افزایشی در سری زمانی میانگین دمای فصل برفی اغلب ایستگاه‌ها نیز دیده می‌شود (شکل ۱۱-ج) که این روند در بیشتر این ایستگاه‌ها در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار

معدودی این روندها (کاهشی یا افزایشی) معنی‌دار است. شکل ۹-خ هم نشان می‌دهد که روند تغییرات میانگین دمای هوا در ماه دسامبر در بیشتر ایستگاه‌ها افزایشی است که در برخی از ایستگاه‌ها این روند در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار است.

روند تغییرات بیشینه، کمینه و میانگین دمای هوا در فصل برفی منطقه نیز با استفاده از آزمون من‌کندال بررسی شد و نتایج در شکل (۱۱) نمایش داده شد. با توجه به شکل ۱۱-الف، در طول فصل برفی منطقه زاگرس، دمای بیشینه در تمامی منطقه دارای روند افزایشی است و این روند افزایشی در بیش از نیمی



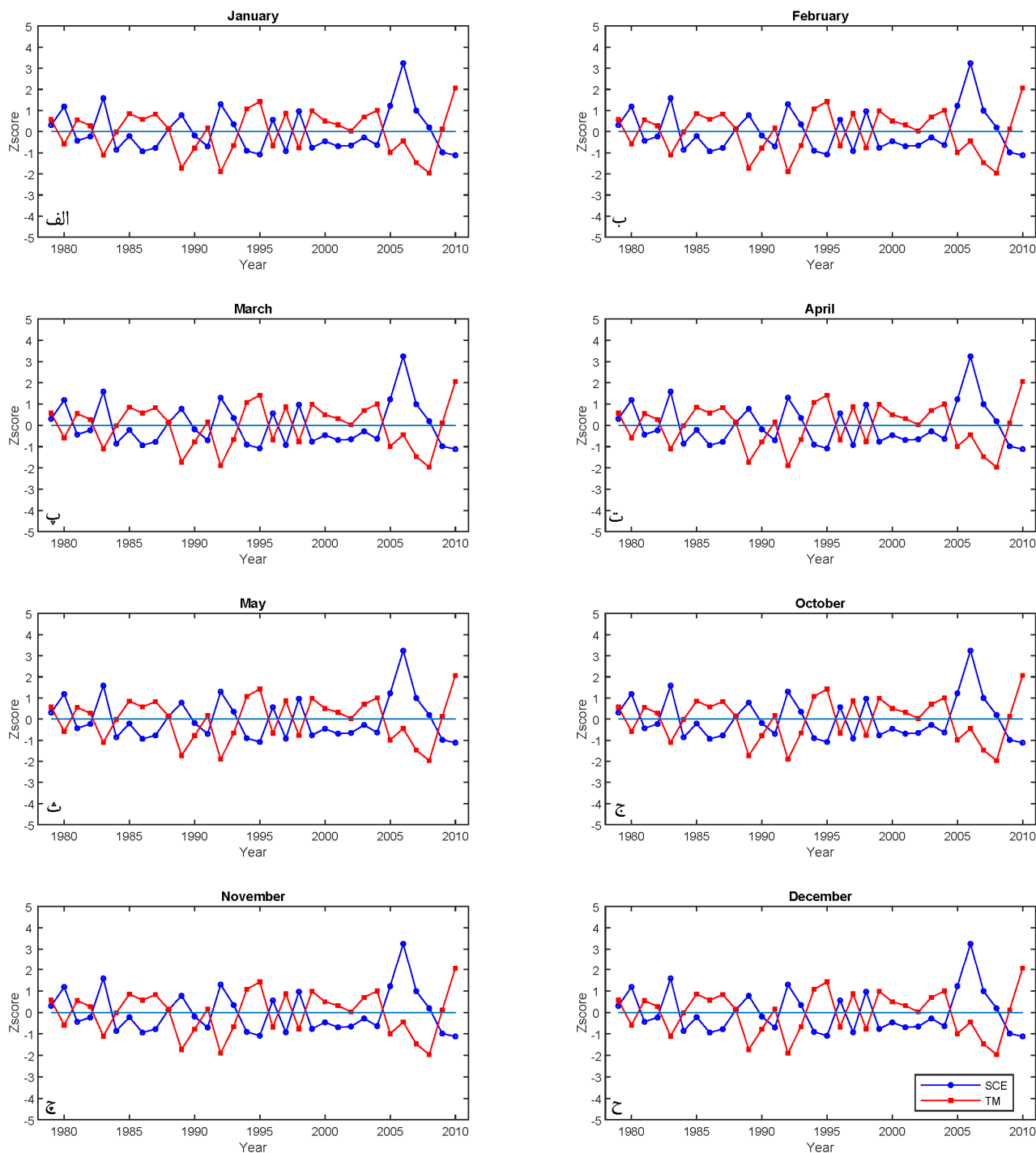
شکل ۱۲. آزمون تخمین‌گر شیب سن برای الف (دمای بیشینه، ب) کمینه و پ) و دمای میانگین

شکل ۱۱. تغییرات مکانی آماره Z آزمون من-کندال الف (دمای بیشینه، ب) کمینه و پ) میانگین فصل برفی در منطقه زاگرس در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۷۹

مطالعه محاسبه و سپس استاندارد شد تا هم‌زمانی تغییرات زمانی آنها بهتر نمایش داده شود (شکل ۱۳). با توجه به شکل (۱۳) ملاحظه می‌شود که رابطه میان عمق برف در منطقه و میانگین دمای روزانه ایستگاه‌ها در تمامی ماه‌ها منفی است. این شکل نشان می‌دهد که در اغلب ماه‌ها با افزایش دما از عمق برف کاسته شده است و با کاهش دما عمق برف افزایش پیدا کرده است. این رابطه منفی به ویژه در ماه مارس چشمگیرتر

است. با توجه به شکل ۱۲-الف تا ۱۲-پ، نرخ این افزایش دما بین ۰/۱ تا ۰/۲ درجه سانتی‌گراد در سال است.

فصل برفی در منطقه زاگرس در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۷۹ با توجه به رابطه منفی میان عمق برف مشاهده شده در منطقه و دمای هوا در ایستگاه‌های مورد مطالعه که پیش‌تر به آن اشاره شد، میانگین عمق برف تمامی نقاط (گریدها) و نیز میانگین دمای روزانه ایستگاه‌های منطقه زاگرس برای ماه‌های مورد



شکل ۱۳. سری زمانی میانگین ماهانه عمق برف در منطقه زاگرس (خطوط آبی رنگ) در برابر میانگین دمای روزانه ایستگاه‌های منطقه (خطوط قرمز رنگ) در دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۰. هر دو سری زمانی عمق برف و میانگین دمای روزانه استاندارد شده‌اند.

ارتباط میان سری زمانی میانگین عمق برف در منطقه زاگرس با میانگین بیشینه دما و به ویژه با میانگین کمینه دمای هوا در منطقه نیز چنین رابطه‌ای را تأیید می‌کنند که به‌منظور اختصار ارائه نشده‌اند.

است. با توجه به نمودار مربوط به ماه مارس کاملاً پیداست که با افزایش پیوسته دمای هوا در دوره زمانی ۱۹۹۹-۲۰۱۰ مقدار عمق برف در منطقه کاهش یافته و در کمترین مقدار بوده است. بررسی

نتیجه‌گیری

در این پژوهش از داده‌های شبکه‌بندی شده روزانه عمق برف Era-Interim/land وابسته به مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان‌مدت جوی (ECMWF) در دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۰ میلادی برای بررسی تغییرات زمانی عمق برف در منطقه زاگرس استفاده شد. با توجه به نبود یک شبکه مناسب از داده‌های برف‌سنجی در ایران، در این پژوهش برای اولین بار در کشور از این داده‌ها برای بررسی تغییرات مکانی و زمانی ریزش برف در منطقه کوهستانی زاگرس استفاده شد. بررسی روند تغییرات ماهانه و فصلی عمق برف در نقاط مختلف این شبکه از داده‌ها نشان داد که عمق برف در ماه‌های مختلف فصل برفی به طور گسترده‌ای کاهش یافته است که این کاهش در بخش‌های مختلفی از منطقه در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار است. بیشترین نرخ کاهش برف با مقدار ۶/۸ سانتی‌متر در سال در ماه مارس و در شمال شرق منطقه روی داده است. نتیجه این بررسی نشان داد که از مقدار عمق برف ماه‌های ژانویه و فوریه نیز به ترتیب ۴/۶ و ۵/۴ سانتی‌متر در سال کاسته شده است. به‌طور کلی در همه ماه‌های فصل برفی و به‌ویژه در ماه مارس در بخش بزرگی از منطقه زاگرس روند تغییرات عمق برف کاهش‌ی است که در بسیاری از نقاط از نظر آماری معنی‌دار است.

با توجه به ارتباط مستقیم دما و ریزش برف و ماندگاری آن در سطح زمین، در این پژوهش روند تغییرات کمینه، بیشینه و میانگین دمای هوا در ایستگاه‌های هواشناسی منطقه نیز بررسی و مشخص شد که مقدار کمینه، بیشینه و میانگین دمای هوا در اغلب ایستگاه‌ها روند افزایشی دارند که اغلب در سطح آماری معنی‌دار است. نتیجه این بررسی نشان داد که بیشینه دمای هوا در ماه‌های فوریه و مارس در سرتاسر منطقه زاگرس روند افزایشی شدیدی دارد که در بیشتر ایستگاه‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار است. با توجه به افزایش کمینه، بیشینه و میانگین دمای هوا در بیشتر ماه‌های مورد مطالعه، روند تغییرات این پارامترها در فصل برفی منطقه نیز افزایشی است که در

بیشتر ایستگاه‌ها از نظر آماری معنی‌دار است. نتیجه این بررسی نشان داد که از عمق برف در منطقه زاگرس در دوره مورد مطالعه ۱۹۷۹-۲۰۱۰ به شدت کاسته شده است که این کاهش در بسیاری از مناطق از نظر آماری معنی‌دار است. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که کاهش معنی‌دار عمق برف در زاگرس در ارتباط مستقیم با تغییرات دمای هوا است که در اغلب ایستگاه‌ها به طور معنی‌داری افزایش یافته است. این یافته‌ها با نتایج ارکیان و همکاران (۲) که کاهش معنی‌داری در تعداد روزهای برفی و عمق برف ایستگاه‌های سنندج و زنجان را گزارش کرده‌اند و نیز با نتایج به‌دست آمده به‌وسیله عطایی و همکاران (۴) که کاهش ارتفاع برف و روند افزایشی دما را در ایستگاه کوه‌رنگ گزارش کرده‌اند هماهنگ است. نتایج این پژوهش هماهنگ با یافته‌های ابراهیمی و همکاران (۱) است که نشان دادند که در تمامی مناطق کوهستانی و برف‌خیز کشور بارش برف و سطح پوشش برف کاهش پیدا کرده است. روند افزایشی معنی‌دار مشاهده شده در دمای هوای ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز هم‌راستا با نتایج به‌دست آمده به‌وسیله صبحی و همکاران (۱۵) است که افزایش معنی‌دار دما را در بیشتر ایستگاه‌های غربی کشور گزارش کرده‌اند.

با توجه به افزایش همزمان هر سه پارامتر دمایی مورد مطالعه در این پژوهش، می‌توان گفت که روند کاهش عمق برف در منطقه در ارتباط مستقیم با افزایش دما در منطقه است. روند افزایشی مشاهده شده در پارامترهای دمایی مورد مطالعه نشان می‌دهد که بخت رسیدن دانه‌های برف به سطح زمین به‌علت گرم بودن لایه پایینی جو از سال ۱۹۷۹ به بعد پیوسته کمتر شده است. این افزایش دما در نتیجه بخت ماندگاری برف در سطح زمین را کاهش می‌دهد. از این‌رو، به نظر می‌رسد که روند کاهش عمق برف در منطقه بی‌ارتباط با روند افزایشی دمای هوا در منطقه نیست که در اثر گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی پدید آمده است، هرچند عوامل دیگری نیز در این زمینه می‌توانند مؤثر باشند. این پژوهش اولین گام در این زمینه است و لازم است که روند تغییرات مکانی و زمانی برف در منطقه با داده‌های دیگری

مانند داده‌های ماهواره‌ای نیز بررسی شود تا دقت نتایج به‌دست آمده در این پژوهش مورد ارزیابی قرار گیرد.

منابع مورد استفاده

1. Ebrahime, H., A. Ghybi and H. Malakoti. 2012. Trend of snow cover detection using satellite data from MODIS over snow-rich areas in Iran. *Nivar, Journal of Meteorological Organization* 36: 3-12. (In Farsi).
2. Arkian, F., H. R. Taheri and S. Zirakzadeh. 2014. Investigation of variability in number of snow days and snow depth in Iran by GIS technique in the period 1981-1999. *In: Proceedings of the 16th Conference of Geophysics*, pp: 283-287. (In Farsi).
3. Azizi, GH. and M. Roshani. 2008. Study of Climate change on the southern coast of the caspian sea by man-kendall method. *Journal of Physical Geography Research Quarterly* 64 : 13-28. (In Farsi).
4. Ataei, H., R. Fanaei and Z. Allahkani. 2014. Comparative evaluation of snow and series temperature trend in koohrang city. *Nivar, Journal of Meteorological Organization* 38 :51-62. (In Farsi).
5. Balsamo, G., C. Albergel, A. Beljaars, S. Bousetta, 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. *Hydrology and Earth System Sciences* 19 : 389-407.
6. Hamed, K. H. and A. R. Rao. 1998. A modified mann-kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology* 204 : 182-196.
7. Hartnett, J. J., J. M. Collins, M. A. Baxter and D. P. Chambers. 2014. Spatiotemporal snowfall trends in central New York. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 53 :2685-2697.
8. Hirsch, R. M., J. R. Slack and R. A. Smith. 1982. Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resources Research* 18(1): 107-121.
9. Kotrikova, K., K. Hlavcova and R. Fencik. 2014. Changes in snow storage in the upper hron river basin (slovakia). *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 10(2): 145-159.
10. Mann, H. B. 1945. Non-Parametric Tests Against Trend. *Econometrica* 13(3): 245-259.
11. Merino, A., F. Sergio, L. Hermida, L. López, J. L. Sánchez, E. García-Ortega and E. Gascón. 2014. Snowfall in the northwest iberian peninsula : synoptic circulation patterns and their influence on snow day trends. *The Scientific World Journal*:1-14, doi.org/10.1155/2014/480275.
12. Pons, M. R., D. San-Martin, S. Herrera and J. M. Gutiérrez. 2010. Snow trends in northern spain : analysis and simulation with statistical downscaling methods. *International Journal of Climatology* 30(12): 1795-1806.
13. Sen, P. K. 1968. Estimates of the regression coefficients based on kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association* 63 : 1379-1389.
14. Serrano, A., V. L. Mateos and J. A. Garcia. 1999. Trend analysis of monthly precipitation over the iberian peninsula for the period 1921-1995. *Physics and Chemistry of the Earth (B)* 24(1-2): 85-90.
15. Saboohi, R., S. Soltani and M. Khodaghali. 2012. Trend Analysis of Temperature Parameters in Iran, *Theoretical and Applied Climatology* 109 :529-547. DOI 10.1007/s00704-012-0590-5.
16. Soltani, S., R. Saboohi and L. Yaghmaei. 2012. Rainfall and rainy days trend in Iran. *Journal of Climate Change* 110 :187-213.
17. Sönmez, I., A. E. Tekeli and E. Erdi. 2014. Snow cover trend analysis using interactive multisensor snow and ice mapping system data over Turkey. *International Journal of Climatology* 34: 2349-2361.
18. Yang, D., Y. Li, L. Li, N. Yao, W. Hu, D. Yang and Ch. Chen. 2017. Spatiotemporal variations of snow characteristics in xinjiang China over 1961-2013. Available Online 11 December 2017, nh2017035; DOI: 10.2166/nh.2017.035.
19. Yue, S., P. Pilon, B. Phinney and G. Cavadias. 2002. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. *Hydrological Processes* 16(9): 1807-1829.

Investigating the Temporal and Spatial Variation of Snow Depth over Mountainous Region of Zagros, Iran, for the Period 1979-2010

S. Jahanbakhsh Asl¹, B. sari Saraf¹, T. Raziei² and A. Parandeh Khouzani^{1*}

(Received: February 26-2018 ; Accepted: November 5-2018)

Abstract

In this study, the temporal and spatial variation of snow depth over the mountainous region of Zagros, in the western Iran, for the period 1979–2010 was investigated for the cold season when the probability of snow occurrences was high. For this purpose, daily gridded snow depth data relative to Era-Interim/land were retrieved from the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) and used for spatiotemporal analysis of snow in the region. Furthermore, monthly maximum, minimum and mean air temperature relative to the weather stations distributed over the region were also used to investigate the relationship between snow depth and air temperature variability in the region. In each grid point, the rate of temporal changes in the snow depth was estimated using the Sen's slope estimator, while the modified Mann-Kendall Test was applied to assess if the change identified was statistically significant. The results showed that in almost all of the studied months, especially February and March, the snow depth was significantly reduced in the region, which was statistically significant at 5% significant level. Unlike the observed statistically significant decreasing trend in the depth snow in the region, a significant increase in the maximum, minimum and average temperature was observed for all the studied months and the stations. The result suggested that the observed decrease in the snow depth in the region was related to the increasing trend in the temperature during the study period, which could be attributed to the global warming and climate change.

Keywords: Temporal and spatial variation, Snow, Era-Interim/land, Trend, Mann-Kendall, Sen's estimator, Zagros, Iran

1. Department of Climatology, Faculty of Geography and Planning, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

2. Soil Conservation and Watershed Management Research Center (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

*: Corresponding Author, Email: parandeh_153@yahoo.com