

مقدمه

برف نقش مهمی در سیستم اقلیمی داشته و تاثیر به سزایی در آلودگی سطحی و بازتاب آن دارد. بارش برف و پشته برفی در بسیاری از مناطق جهان از منابع ضروری برای تأمین آب شرب، آبیاری و صنعت به شمار می آید. بر اساس متوسط جهانی بیش از یک سوم آب آبیاری از ذوب برف تأمین می شود. برف به عنوان یک نشانگر حساس تغییرات اقلیمی در فصول سرد مورد استفاده قرار می گیرد. تغییرات زمانی در خصوصیات برف، نوسانات بارش و دما اطلاعات مهمی را درباره متغیرهای اقلیمی در اختیار ما قرار می دهد. پراکنش زمانی و مکانی برف تحت تاثیر تغییرات اقلیمی قرار می گیرد. تغییرات دمایی هوا و زمان بارش و همچنین فصول باعث تغییر در ویژگی های آب برف و یخ می شوند [۱۰]. برف روی زمین و بارش برف تاثیرات مثبت و منفی اقتصادی اجتماعی زیادی دارد. برف نقش مهمی در رواناب سالانه، تغذیه آب های زیرزمینی، مخازن آب های سطحی و رطوبت خاک ایفا می کند و تاثیر شگرفی بر روی مدیریت منابع آب در کشورهای برف گیر دارد. مطالعات اخیر بیش تر در راستای بررسی تغییرات تاریخی پوشش برفی است فری و همکاران [۳] و هوگز و روبیسون [۸]. روند کاهش کلی در پوشش برف نیم کره شمالی به صورت واضح مشخص شده است [۱۱]. هم چنین برای مناطق کوهستانی در بخش هایی از کوه های آلپ اروپا شامل سوئیس و آلپز این روند کاهش رخ داده است. روند کاهش در میزان آب معادل برف نیز در چندین منطقه ایالات متحده آمریکا و ژاپن مورد بررسی قرار گرفته است [۱۲ و ۱۳]. کاهش پوشش برفی به صورت آماری حداقل از اواخر دهه ی ۱۹۷۰ و اوایل دهه ی ۱۹۸۰ در بسیاری از مناطق معنی دار است [۶، ۱۰ و ۱۵]. بورت و همکاران [۱]، روند بارش برف را در حوزه آبخیز گریت لیکز کشور آمریکا مورد مطالعه قرار دادند و با مطالعه چندین ایستگاه در کمربند برفی در حوضه آبخیز دریاچه به روند صعودی آن از سال ۱۹۵۱ پی بردند. گرویسمن و همکاران [۵]، روند کاهش بارش برف بهار و کاهش کلی میزان بارش برف فصل بهار را در ایالات متحده مشاهده نمودند. فنگ و هیو [۲]، با پژوهشی در کشور آمریکا بدین نتیجه رسیدند که نسبت بارش برف به کل بارش سالانه در شمال غرب اقیانوس آرام و ایالت های مرکزی کاهش محسوسی داشته است و این کاهش در مناطقی با درجه برودت پایین در زمستان بیش تر بوده است. گاله و همکاران [۴]، در کشور سوئیس نسبت روزهای برفی، با کل روزهای بارندگی را در طی صد

تحلیل روند ارتفاع بارش برف در بخش هایی از
حوزه های آبخیز سفیدرود و دریاچه نمکولی رضایی^۱ و مهدی وفاخواه^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۲

DOR: 20.1001.1.26454777.1400.9.34.1.6

چکیده

پراکنش زمانی و مکانی برف تحت تاثیر تغییرات اقلیمی است. این پژوهش با هدف تحلیل روند ارتفاع بارش برف در بخشی از منطقه حوزه های آبخیز دریاچه نمک و سفیدرود انجام شده است. تعیین روند در ۲۷ ایستگاه دارای آمار کافی از سال ۱۳۳۶ الی ۱۳۹۱ انجام گرفت. برای ارزیابی وجود یا عدم وجود روند از آزمون ناپارامتری من-کندال و برای میزان بزرگی تغییرات از آزمون سن استفاده شد. نتایج تحلیل ارتفاع بارش برف نشان داد تعداد سری های که دارای روند کاهشی اند در سطح معنی داری ۱۰ درصد نسبت به سری های که دارای روند افزایشی اند بیش تر است. از تعداد ۲۷ ایستگاه که همگی در دی ماه بارش برف را ثبت کرده اند ۱۲ ایستگاه روند افزایش بارش برف را نشان دادند. این درحالی است که در بهمن و اسفندماه به ترتیب ۱۹ و ۲۳ ایستگاه روند کاهشی ارتفاع بارش برف نشان دادند. هم چنین در فروردین ماه ۱۲ ایستگاه نشان دهنده افزایشی بودن روند ارتفاع بارش برف و ایستگاه های گرمابدر و سیرا در سطح اعتماد ۹۵ درصد روند کاهشی را نشان می دهند.

واژه های کلیدی: آزمون ناپارامتری، سطح پوشش برف، من-کندال، سن، تغییرات اقلیمی

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس
۲- استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نویسنده مسئول
Email: Vafakhah@modares.ac.ir

شد. از بین ۳۵ ایستگاه که آمار ارتفاع برف را به صورت مشترک داشتند ۲۷ ایستگاه که دارای طول دوره آماری مشترک بارش برف بودند انتخاب شدند. داده‌های ارتفاع بارش برف مربوط به ماه‌های دی، بهمن، اسفند و فروردین به ترتیب سال مرتب شدند. جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های منتخب و طول دوره آماری هر کدام را نشان می‌دهد.

آزمون من-کندال

این آزمون که ابتدا توسط من [۱۷] ارائه و سپس توسط کندال [۱۲] توسعه یافت، جزء متداول‌ترین روش‌های ناپارامتریک تحلیل روند سری‌های زمانی به شمار می‌رود. استفاده از این روش به دو دلیل توصیه می‌شود. (۱) قابل کاربرد برای انواع داده‌های غیر نرمال و فصلی (۲) آزمون‌های روند برای تعیین روند دارای بیش‌ترین توانایی ذاتی در تحلیل داده‌ها است [۲۱]. راه‌حل محاسبه آماره این آزمون به شرح زیر است:

الف) محاسبه اختلاف بین تک تک مشاهدات با یکدیگر و اعمال تابع علامت و استخراج پارامتر S که از رابطه (۱) به دست می‌آید:

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

که در آن n تعداد مشاهدات و x_j و x_k به ترتیب داده‌های j ام و k ام سری‌اند. تابع علامت نیز توسط رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$\text{sgn} = \begin{cases} +1 & (x_j - x_k) > 0 \quad \text{اگر} \\ 0 & (x_j - x_k) = 0 \quad \text{اگر} \\ -1 & (x_j - x_k) < 0 \quad \text{اگر} \end{cases} \quad (2)$$

ب) محاسبه واریانس که از رابطه‌های (۳) و (۴) به دست می‌آید:

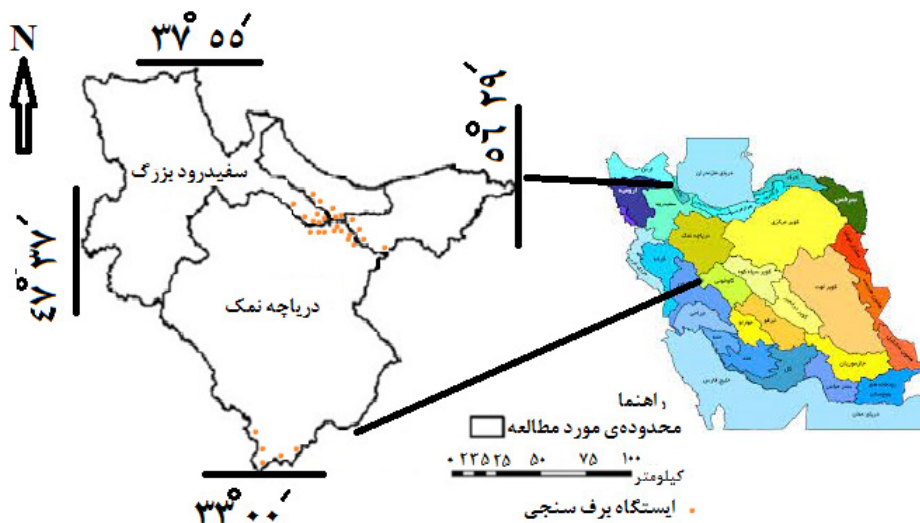
سال مورد بررسی قرار دادند و کاهش آشکاری را در روزهای برفی نسبت به کل روزهای یارندگی مشاهده نمودند که ناشی از افزایش جزئی درجه حرارت بود. گائو و همکاران [۹]، با بررسی تغییرات مکانی و زمانی بارش برف در ۲۸۰ آبخیز از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۰۵ با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی و تصاویر سنجنده MODIS بدین نتیجه رسیدند که تغییرات ماهانه دمایی معنی‌دار بوده و باعث کاهش ارتفاع و سطح بارش برف در کل سال و به‌خصوص در فصل بهار شده است. هدف از پژوهش حاضر تعیین روند ارتفاع برف در بخشی از منطقه حوزه‌های آبخیز دریاچه نمک و سفیدرود است.

مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

رشته کوه‌های اصلی ایران، البرز و زاگرس می‌باشند که به ترتیب از غرب به شرق و از شمال به جنوب امتداد دارند. این رشته کوه‌ها نقش بسیار مهمی در توزیع ناهمگون مکانی، زمانی و نوع بارش در کل کشور ایفا می‌کنند. محدوده مورد مطالعه بین مختصات جغرافیایی $37^{\circ} 37'$ تا $47^{\circ} 29'$ و $56^{\circ} 29'$ درجه طول شرقی و $33^{\circ} 00'$ تا $35^{\circ} 37'$ درجه عرض شمالی است. تشدید کمبود آب به همراه افزایش جمعیت استان تهران و چند استان هم‌جوار و همچنین نیاز روز افزون به آب، اهمیت بررسی تغییرات آب‌وهوایی در قسمت‌های مرکزی رشته کوه البرز را دوچندان کرده است.

روش پژوهش

برای انجام پژوهش حاضر آمار ارتفاع برف تمامی ایستگاه‌های موجود در حوزه‌های آبخیز سفیدرود و دریاچه نمک از شرکت تحقیقات منابع آب کشور (تماب) تهیه شد. این اطلاعات تا سال ۱۳۷۴ به صورت فایل متنی و از سال ۱۳۷۴ الی ۱۳۹۱ به صورت دستی دریافت گردید که کلیه آمارها وارد نرم‌افزار EXCEL 2007



شکل ۱: موقعیت منطقه پژوهش در ایران

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های مورد پژوهش

نام حوضه	کد ایستگاه	نام ایستگاه	میانگین بارش برف (میلی متر)	ارتفاع ایستگاه (متر)	دوره آماری			مختصات جغرافیایی
					شروع	خاتمه	طول	عرض
سفیدرود	۴۱-۰۰۱	گرمابدر	۶۲۸	۲۴۰۰	۱۳۴۶	۱۳۹۱	۵۱° ۰۱'	۳۹° ۵۷'
سفیدرود	۴۱-۰۰۳	زایگان	۴۲۷	۲۳۵۰	۱۳۴۵	۱۳۷۶	۵۱° ۱۱'	۳۵° ۵۷'
سفیدرود	۴۱-۰۰۵	شمشک	۸۲۱	۲۷۰۰	۱۳۴۵	۱۳۸۷	۵۱° ۳۰'	۳۶° ۰۰'
سفیدرود	۴۱-۰۰۷	امامه	۵۳۵	۲۳۵۰	۱۳۵۰	۱۳۹۱	۵۱° ۳۶'	۳۵° ۵۴'
سفیدرود	۴۱-۰۰۹	شکرآب آهار	۷۱۲	۲۴۶۰	۱۳۴۹	۱۳۹۱	۵۱° ۲۴'	۳۵° ۵۴'
سفیدرود	۴۱-۰۱۱	باغگل	۵۱۳	۲۰۴۰	۱۳۵۰	۱۳۷۹	۵۱° ۲۹'	۳۵° ۵۴'
سفیدرود	۴۱-۰۱۳	کندعلیا	۲۶۱	۲۱۰۰	۱۳۴۸	۱۳۸۷	۵۱° ۳۸'	۳۵° ۵۱'
سفیدرود	۴۱-۰۱۵	سبوزرگ	۱۳۴	۱۸۳۰	۱۳۴۶	۱۳۷۸	۵۱° ۴۰'	۳۵° ۴۶'
سفیدرود	۴۱-۰۱۷	امامزاده‌هاشم	۷۹۴	۲۵۰۰	۱۳۴۱	۱۳۹۱	۵۲° ۰۳'	۳۵° ۴۸'
سفیدرود	۴۱-۰۱۹	شاهوردی	۲۵۰	۲۳۰۰	۱۳۵۰	۱۳۷۸	۵۱° ۴۱'	۳۶° ۱۰'
سفیدرود	۴۱-۰۲۱	دره‌ساری	۲۸۹	۲۳۰۰	۱۳۴۵	۱۳۹۱	۵۰° ۴۵'	۳۶° ۱۰'
سفیدرود	۴۱-۰۲۳	سراب‌هنده	۱۱۰	۲۱۰۰	۱۳۴۷	۱۳۹۱	۵۰° ۴۷'	۳۶° ۱۴'
سفیدرود	۴۱-۰۲۵	اختخوان	۶۰	۲۱۰۰	۱۳۴۶	۱۳۹۱	۵۰° ۵۳'	۳۶° ۱۱'
سفیدرود	۴۱-۰۲۷	برغان	۹۴	۱۶۹۶	۱۳۴۶	۱۳۹۱	۵۰° ۵۹'	۳۵° ۵۹'
سفیدرود	۴۱-۰۲۹	سرکه‌کندمچال	۲۶۰	۲۶۵۰	۱۳۴۶	۱۳۹۱	۵۰° ۵۹'	۳۶° ۰۰'
سفیدرود	۴۱-۰۳۱	گوهرک اغشت	۱۷۷	۱۹۲۰	۱۳۴۷	۱۳۹۱	۵۰° ۵۲'	۳۵° ۵۹'
سفیدرود	۴۱-۰۳۷	قصر	۵۶۵	۲۳۲۰	۱۳۳۶	۱۳۹۱	۵۱° ۲۳'	۳۵° ۵۷'
سفیدرود	۴۱-۰۳۹	پوردمغانی	۱۱۳۵	۲۹۹۰	۱۳۳۶	۱۳۹۱	۵۱° ۲۳'	۳۶° ۰۱'
سفیدرود	۴۱-۰۴۱	دوخانی	۶۱۰	۲۴۲۵	۱۳۳۶	۱۳۹۱	۵۱° ۱۸'	۳۶° ۰۳'
سفیدرود	۴۱-۰۴۳	هالپچای	۷۱۰	۲۷۰۰	۱۳۴۶	۱۳۹۱	۵۱° ۱۴'	۳۶° ۰۹'
سفیدرود	۴۱-۰۴۵	چوبک	۵۹۰	۲۱۰۵	۱۳۳۶	۱۳۹۱	۵۰° ۵۷'	۳۶° ۰۷'
دریاچه نمک	۱۷-۰۰۱	زیدشت	۲۵۲	۱۷۰۰	۱۳۴۵	۱۳۸۷	۵۰° ۰۴'	۳۳° ۰۹'
دریاچه نمک	۱۷-۰۰۳	گلینک	۲۰۱	۲۱۰۰	۱۳۴۶	۱۳۸۴	۴۹° ۵۸'	۳۳° ۱۴'
دریاچه نمک	۱۷-۰۰۵	هرنج	۱۱۱	۲۱۶۰	۱۳۴۸	۱۳۹۱	۵۰° ۰۱'	۳۳° ۲۳'
دریاچه نمک	۱۷-۰۰۷	جستان	۱۹۴	۱۸۹۰	۱۳۴۶	۱۳۹۱	۵۰° ۰۵	۳۳° ۲۵'
دریاچه نمک	۱۷-۰۰۹	دوکیل	۳۱۰	۱۸۱۰	۱۳۴۸	۱۳۹۱	۵۰° ۰۶'	۳۳° ۰۳'
دریاچه نمک	۱۷-۰۱۱	خجیره	۵۰۱	۲۴۰۰	۱۳۴۹	۱۳۸۷	۵۰° ۵۴'	۳۶° ۱۰'

اگر در یک آزمون دو طرفه برای یافتن روند سری داده‌ها، فرض صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که رابطه (۶) برقرار باشد:

$$|Z| \leq Z_{\frac{\alpha}{2}} \quad (6)$$

که در آن: α سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و Z_{α} آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری می‌باشد که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، از $\alpha/2$ استفاده شده است. در این تحقیق آزمون من-کندال برای سطوح اطمینان ۹۵ درصد و ۹۹ درصد به کار گرفته شده است که مقدار $Z_{\alpha/2}$ به ترتیب برابر ۱/۹۶ و ۲/۶۵ می‌باشد. در صورت مثبت بودن آماره روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن، روند نزولی در نظر گرفته می‌شود. برای تعیین بزرگی روند می‌توان شیب تخمینی β را توسط رابطه‌ای که توسط سن [۲۰]، ارائه و توسط هیرش و همکاران [۷] توسعه یافت، محاسبه کرد [۲۰]. اساس این روش بر محاسبه

$$Var = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^m t_j(t_j-1)(2t_j+5)}{8} \quad \text{اگر } n > 10 \quad (3)$$

$$Var = \frac{n(n-1)(2n+5)}{8} \quad \text{اگر } n < 10 \quad (4)$$

که در نهایت n تعداد داده‌های مشاهده‌ای، m معرف تعداد سری‌هایی که در آن حداقل یک داده تکراری وجود داشته باشد و t معرف داده‌های با ارزش یکسان است [۱۲ و ۶].

ج) نهایتاً مقدار آماره Z توسط روابط زیر تعیین می‌شود:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(s)}} & S > 1 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S-1}{\sqrt{Var(s)}} & S > 1 \end{cases} \quad (5)$$

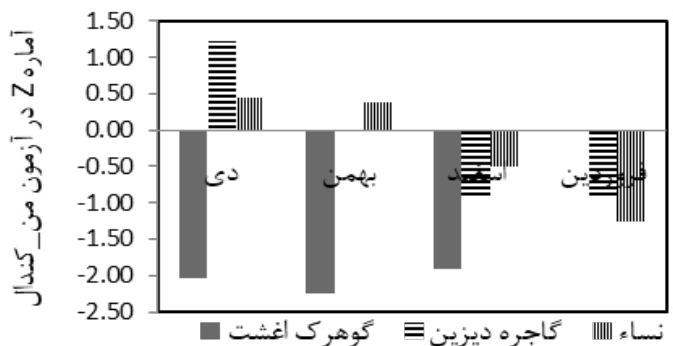
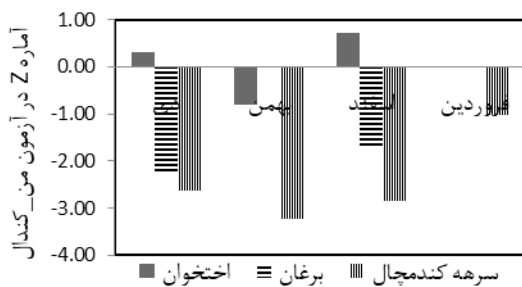
نتایج و بحث

در ایستگاه‌های گوهرآغشت، سره کندمچال و برغان روند بارش برف در تمام سری‌های ماهانه روند کاهشی داشته است. کاهش ارتفاع برف در برخی از ماه‌ها در سطح ۵ درصد معنی‌دار است که این امر احتمالا می‌تواند در اثر تغییرات اقلیم در ایستگاه‌های یاد شده باشد. تغییرات ارتفاع بارش برف در ایستگاه‌های نساء، گاجره دیزین و اختخوان نامنظم است به گونه‌ای که در بعضی ماه‌ها روند کاهشی و در بعضی ماه‌ها روند افزایشی است. این در حالی است که این روندها در هیچ یک از ایستگاه‌های یاد شده در سطح ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشند. روند دما و بارش در کل کشور به‌طور نامنظم گزارش شده که این امر می‌تواند یکی از علل بی‌نظمی در روند ارتفاع بارش برف در این ایستگاه‌ها باشد [۱۶].

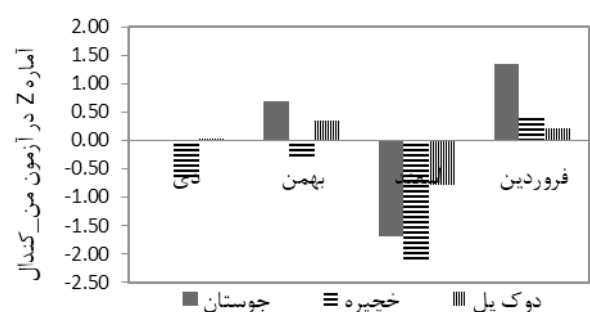
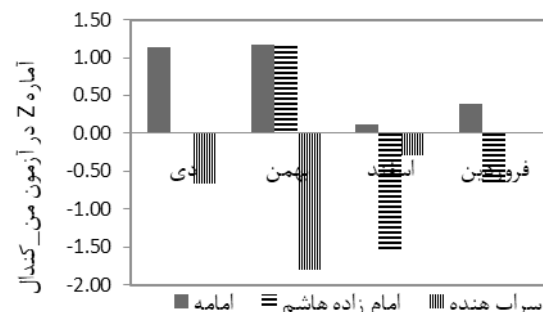
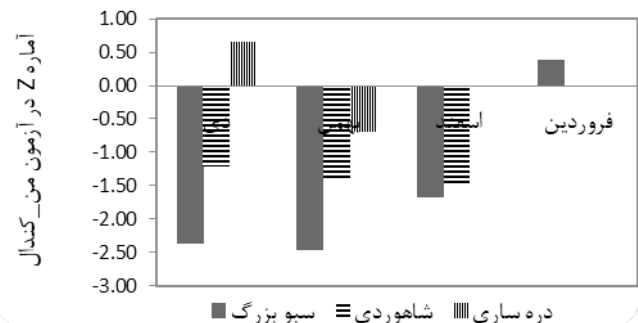
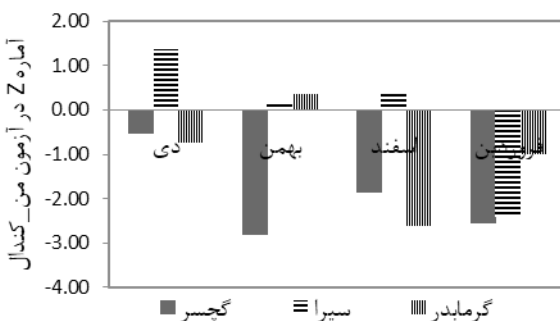
یک شیب میانه برای سری زمانی مختلف و قضاوت نمودن در مورد معنی‌داری شیب به‌دست آمده در سطوح اطمینان مختلف است. این آزمون در هنگام وجود داده‌های گمشده، به راحتی قابل استفاده است. این رابطه به‌صورت زیر تعریف شده است:

$$\beta = \frac{X_t - X_s}{t - s} \quad (7)$$

در این رابطه: X_t و X_s به ترتیب داده‌های مشاهده‌ای در زمان‌های t و s می‌باشد. به‌طوری‌که t یک واحد زمانی بعد از s است. با اعمال این رابطه برای هر دو جفت داده مشاهده‌ای، یک سری زمانی از شیب‌های محاسبه شده به دست می‌آید که از محاسبه میان سری‌های زمانی شیب خط روند (β_{med}) حاصل می‌آید. این آزمون در محیط نرم افزار Excel 2007 انجام شد.



شکل ۲: آماره Z آزمون من-کندال در ایستگاه‌های نساء، گاجره دیزین، گوهرک اغشت، سره کندمچال، برغان، اختخوان



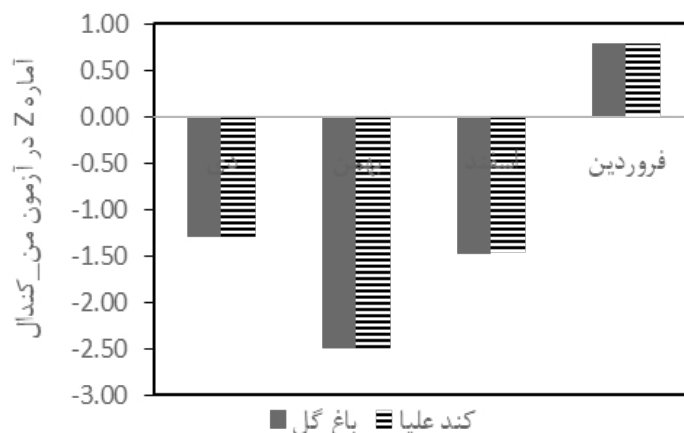
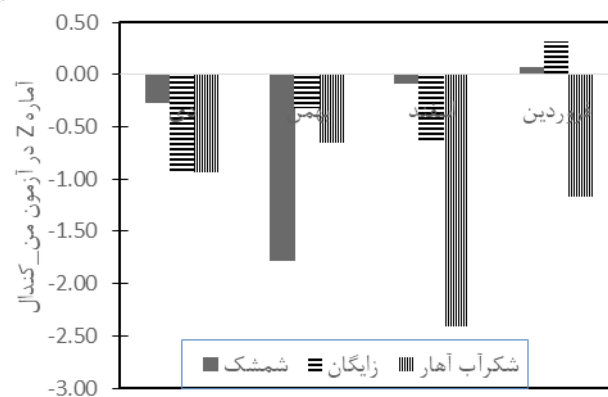
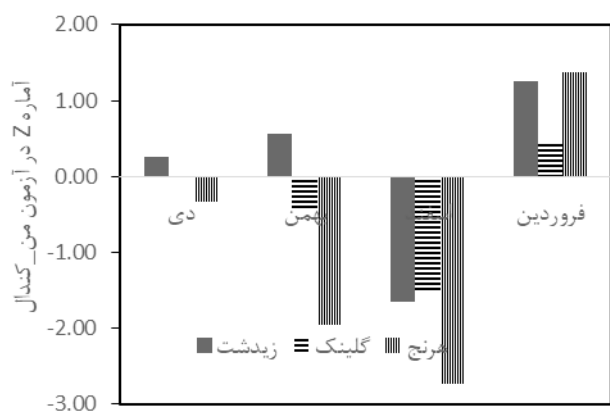
شکل ۳: آماره Z آزمون من-کندال در ایستگاه‌های دوک پل، خچیره، جویستان، دره ساری، شاهوردی، سبو بزرگ، گرمابدر، سیرا، گچسر، سراب‌هنده، امام زاده هاشم و امامه

ایستگاه‌های گلینک، زایگان و زیدشت با وجود صعودی بودن ارتفاع بارش برف رابطه معنی‌داری مشاهده نگردید. ایستگاه‌های یاد شده در حوضه دریاچه نمک واقع شده‌اند که نسبت به ایستگاه‌های دیگر در ارتفاع کم‌تری واقع‌اند.

با توجه به شکل ۵ بزرگی روند در اکثر ایستگاه‌ها بسیار ناچیز بوده است. این امر می‌تواند به دلیل کم بودن ارتفاع بارش برف سالانه باشد. از تعداد ۲۷ ایستگاه که همگی در دی‌ماه بارش برف را ثبت کرده‌اند ۱۲ ایستگاه روند افزایش بارش برف را نشان می‌دهد. درحالی‌که بزرگی این روندها معنی‌دار نیست. در بهمن ماه از تعداد ۲۷ ایستگاه، ۱۹ ایستگاه نشان‌دهنده روند کاهش بارش برف بوده و چنانچه در شکل ۵ نیز نشان داده شده است و مقدار آماره سن بدست آمده بیانگر بیش‌ترین بزرگی روند کاهشی در این ماه‌ها است. روند افزایش ارتفاع بارش برف در هشت ایستگاه بسیار ناچیز است. تعداد ۲۶ ایستگاه در اسفندماه ثبت بارش برف داشته‌اند که تعداد ۲۳ ایستگاه نشان‌دهنده روند کاهش بارش برف هستند. در این میان بزرگی روند در ایستگاه‌های حوزه آبخیز دریاچه نمک بسیار پایین بوده به گونه‌ای که در شکل ۵ قابل مشاهده است روندها به صورت کاهشی هستند. روند کاهشی این ایستگاه‌ها احتمالاً می‌تواند در اثر پایین بودن ارتفاع منطقه و روند افزایشی درجه حرارت آن

در ایستگاه‌های سبو بزرگ، شاهوردی، خجیره، گچسر و سراب‌هنده روند بارش برف در ماه‌های دی، بهمن و اسفند نزولی است. در این میان ایستگاه‌های سبوبرگ دارای روند کاهشی در سطح اعتماد ۹۵ درصد در دو ماه نخست زمستان، ایستگاه گرمابدر در اسفندماه در سطح اعتماد ۹۵ درصد و ایستگاه سراب‌هنده در دو ماه بهمن و فروردین در سطح اعتماد ۹۵ درصد دارای روند نزولی در بارش برف هستند. داده‌های ایستگاه گچسر بیانگر روند کاهشی بارش برف در سطح اعتماد ۹۹ درصد در ماه بهمن است. پژوهش‌های انجام شده توسط سبزقبایی و همکاران [۱۹] نشان می‌دهد که روند دما به صورت نامنظم است و در جاهای مرتفع کوهستانی برعکس دشت‌ها بیش‌تر کاهشی است. این امر می‌تواند در ارتفاع برف در نقاط مختلف تاثیر متفاوتی داشته باشد، به‌گونه‌ای که در شکل پایین نیز مشاهده می‌شود، در ایستگاه‌های مختلف روند ارتفاع برف متفاوت است.

آمار ایستگاه‌های هرنج و شکر آب آهار روند نزولی بارش برف را در اسفند ماه به‌ترتیب در سطح اعتماد ۹۹ و ۹۵ درصد نشان می‌دهند. ایستگاه‌های کند علیا، شمشک و باغ گل به‌جز ماه فروردین در سه ماه زمستان روند نزولی بارش برف را نشان می‌دهند که این کاهش در ماه بهمن در سطح اعتماد ۹۵ درصد می‌باشد. در دیگر



شکل ۴- آزمون من-کندال در ایستگاه‌های هرنج، گلینک، زیدشت، شکرآب آهار، زایگان، شمشک، کندعلیا، باغ گل

7. Hirsch, R.M. Slack, J.R. Smith, R. A. 1982. Techniques of Trend Analysis for Monthly Water Quality Data. Water Resources Res. 18: 107-121.

8. Hughes, M. G. Robinson, D. A. 1996. Historical Snow Cover Variability in the GreatPlains Region of the USA: 1910 through to 1993. Int. J. Climatol. 16: 1005–1018

9. GAO, J., Williams, M., Fu, X., Wang, G., Gong, T. 2012. Spatiotemporal Distribution of Snow in Eastern Tibet and the Response toClimate Change Remote Sensing of Environment. 121: 1–9

10. Immerzeel, W.W., Beek, L.P.H., Bierkens, M.F.P. 2010. Climate Change will affect the Asian Water Towers Sciences. 328: 1382–1385.

11. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Summary for Policymakers. In: Parry, M.L. Canziani, O.F. Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. Hanson, C.E. (Eds.). Climate Change. 2007. Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climatic Change. Cambridge University Press, Cambridge. UK.

12. Kendall, M.G. 1975. Rank Correlation Methods. Charles Griffin, London.

Knowles, N., M. Dettinger, D. Cayan, D. R. 2006. Trends in Snowfall versus Rainfall in the Western United States. J. Climate. 19: 4545–4559.

13. Kunkel, K. E., Easterling, D. R., Redmond, K., Hubbard, K. 2003. Temporal Variations of Extreme Precipitation Events in the United States. 1895–2000.

14. Geophys. Res. Lett. 10: 30Latarnser, M. Schneebeli, M. 2003. Long-Term Snow Climate Trends of the Swiss Alps (1931-99). Int. J. Climatol. 23: 733–750.

15. Masudian, S. A. 1383. Investigation of temperature trend of Iran in last half century, Geology and development. 3: 89-106

16. Mann, H.B. 1945. Non-Parametric Test against Trend. Econometrical. 13: 245–259.

17. McBean, E. Motiee, H. 2006. Assessment of Impacts of Climate Change onWater Resources – a Case Study of the Great.Lakes of North America.

نتیجه گیری

پژوهش حاضر در راستای شناخت روند ارتفاع بارش برف و بزرگی آن در حوزه‌های آبخیز سفیدرود و دریاچه نمک صورت گرفته است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که به‌طور کلی در بیش‌تر قسمت‌های این دو حوزه آبخیز، روند ارتفاع بارش برف در سه ماه زمستان بیش‌تر کاهش یافته و در فروردین‌ماه بیش‌تر افزایش یافته است. این امر در اثر روند کاهشی دما که غالباً در ارتفاعات و روند افزایشی آن در نقاط پست‌تر است اتفاق می‌افتد. میزان بارندگی سالانه و فصلی نیز بر طبق تحقیقات صورت گرفته در بیش‌ترحوزه‌های آبخیز کشور از روند کاهشی تبعیت می‌کند به گونه‌ای که بزرگی این روند در بخش‌های مرکزی و جنوبی که دارای آب و هوای خشک‌تری نسبت به عرض‌های بالاتر هستند بیش‌تر است در نتیجه با کاهش میزان بارندگی، ارتفاع بارش برف نیز متعاقباً کاهش یافته است. با گسترش و پیشرفت صنعت و رشد جمعیت نیاز به انرژی، روز به روز افزایش یافته است. تأمین انرژی مورد نیاز از سوخت‌های فسیلی باعث برهم خوردن نسبت گازهای موجود در جو شده است که این امر باعث برهم خوردن دما و رژیم بارشی در بخش‌هایی از کشور شده است [۱۹]. روندهایی با بزرگی زیاد معمولاً کم بوده و بیش‌تر آن‌ها نامحسوس‌اند.

منابع

1. Burnett, A. W., Kirby, M. E., MullinsH. T., Patterson, W. P. 2003. Increasing Great Lake-Effect Snowfall during the Twentieth Century.aRegional Response to Global Warming? J. Climate. 16: 3535–3541

2. Feng, S., Hu, Q. 2007. Changes in Winter Snowfall/precipitation Ratio in the Contiguous United States, J. Geophys. Res. 10: 112.

3. Frei, A., Robinson, D. A., Hughes, M. G. 1999. North American Snow Extent 1900-1994. Int. J. Climatol. 19: 1517–1534.

4. Gaëlle, S., Christoph, M., Pierre, D. Martine, R. 2011. Seasonal Trends and Temperature Dependence of the Snowfall-Precipitationday Ratio in Switzerland Geophysical Research Letters. 38: 7703

5. Groisman, P. Ya, R. W., Knight, T. R., Karl, D. R. Easterling, B., Sun, Lawrimore, J. H. 2004. Contemporary Changes of the Hydrological Cycle over the Contiguous United States: Trends Derived from in Situ Observations. J. Hydrometeor. 5:64–85.

6. Hantel, M. Hirtl Wielke, L. M. 2007. Sensitivity of Alpine Snow Cover to European Temperature, Int. J.

19. Sen, P.K. 1968. Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's tau. Journal of the American Statistical Association. 63: 1379–1389.

Hydrology and Earth System Sciences Discussions. 3: 3183–3209.

18. Sabzqabaei, G.R., Tadinpour, N., Neri Mousa, Z. 2016. The effects of global warming on the planet. 2nd National Congress on Development and Promotion of Agricultural Engineering and Soil Science in Iran, Tehran. <https://civilica.com/doc/520676>.



Abstract

Detection of Snow Depth Trend in the Parts of Namak Lake and Sefidroud WatershedsV. Rezaei¹ and M. Vafakhah^{2*}

Received: 2021/01/03 Accepted: 2021/06/02

Temporal and spatial distribution of snowfall was affected by climate changes. This study was carried out detection of snowfall trend in Namak Lake and Sefidroud watersheds. Trend detection was performed on 27 snow survey stations with sufficient data from 1957 to 2008. In this study, non-parametric Mann – Kendall test was used for assessment of existence and nonexistence trend and also Sen Test was for magnitude of trend. Out of 27 stations, all of which recorded snowfall in January, 12 stations show an increasing trend of snowfall. In February and March, 19 and 23 stations show a decreasing trend of snowfall depth, respectively. Therefore, 12 stations show an increasing trend of snowfall depth in April and Garmabdar and Sierra stations show a decreasing trend in 95% the level of confidence.

Keywords: Nonparametric test, Mann-Kendall, Sen, Snow cover area, Climate change

1. M.Sc. Graguated of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

2. Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran, Corresponding Author, Email: vafakhah@modares.ac.ir