

آشکارسازی و به روز رسانی تغییر اقلیم در ایستگاه‌های کشور (دوره ۲۰۱۷-۱۹۵۸)

فاطمه عباسی^{۱*}، منصوره کوهی^۲، زهره جوانشیری^۳، شراره ملبوسی^۴، مجید حبیبی نوخندان^۵

ایمان بابائیان^۶، یاشار فلامرزی^۷

۱- کارشناس ارشد هواشناسی، گروه پژوهشی اقلیم شناسی کاربردی، پژوهشکده اقلیم شناسی

۲- استادیار، گروه پژوهشی مخاطرات و تغییرات اقلیم، پژوهشکده اقلیم شناسی

۳- استادیار، گروه پژوهشی اقلیم شناسی کاربردی، پژوهشکده اقلیم شناسی

۴- کارشناس ارشد کامپیوتر، گروه پژوهشی مخاطرات و تغییرات اقلیم، پژوهشکده اقلیم شناسی

۵- دانشیار، گروه پژوهشی اقلیم شناسی کاربردی، پژوهشکده اقلیم شناسی

۶- استادیار، گروه پژوهشی مدل‌سازی و پیش‌آگاهی اقلیمی، پژوهشکده اقلیم شناسی

۷- استادیار، گروه پژوهشی مدل‌سازی و پیش‌آگاهی اقلیمی، پژوهشکده اقلیم شناسی

چکیده

این پروژه، تخمین جدیدی از روند تغییرات اقلیمی در ایران می‌باشد که در آن روند تغییر پذیری عناصر اقلیمی پس از کشف و تعدیل ناهمگنی‌های غیر اقلیمی بررسی گردیدند. داده‌ها متغیرهای دما، بارش، رطوبت، تابش، ابرناکی، باد و ساعت آفتابی ۲۷ ایستگاه همدیدی کشور می‌باشند که دوره ۲۰۱۷-۱۹۵۸ میلادی (۶۰ سال) را پوشش می‌دهند. به دلیل نواقص موجود، متغیر ساعت آفتابی، در دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۲ بررسی شد. نتایج نشان دادند که میانگین دمای هوا، میانگین دمای بیشینه و دمای کمینه سالانه کشور در ۶۰ سال اخیر به ترتیب $(\pm 0.7/17)$ ، $(\pm 0.8/24.9)$ و $(\pm 0.8/10.1)$ درجه سلسیوس و در ۳۰ سال آخر منتهی به ۲۰۱۷ به ترتیب $(\pm 0.7/17.9)$ ، $(\pm 0.8/25.2)$ و $(\pm 0.7/10.6)$ درجه سلسیوس می‌باشد. در ۶۰ سال اخیر، کشور ایران با دارا بودن اقلیم‌های متفاوت، شاهد روند افزایشی میانگین دما، دمای بیشینه و کمینه سالانه به ترتیب با نرخهای $(0.35/19.0)$ ، $(0.3/0.8)$ و $(0.41/28.0)$ درجه سلسیوس بر دهه بوده است که این مقادیر در دوره ۳۰ سال آخر به ترتیب $(0.63/25.0)$ ، $(0.55/18.0)$ و $(0.57/11.8)$ درجه سلسیوس بر دهه بوده است. علی‌رغم عدم وجود روند در میانگین بارش، به طور متوسط بارش ایران در دوره ۶۰ ساله منتهی به سال ۲۰۱۷، حدود $(2/2, 11/6-)$ و در ۳۰ سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۷ میلادی $(4/1, 37/2-)$ میلیمتر بر دهه کاهش می‌یابد که این روند کاهش (۳۰ ساله) در سطح احتمالاتی ۰/۵ معنی‌دار می‌باشد. میانگین سرعت باد در مقیاس سالانه در بسیاری از نقاط کشور، علاوه بر نوسانات شدید دارای روند افزایشی بوده است که در غرب و شمال کشور این افزایش معنی‌دار می‌باشد. تعداد ساعات آفتابی در اغلب نقاط کشور با شیب $4/65$ ساعت برسال طی دوره (۲۰۱۷-۱۹۹۲) افزایش یافته است که افزایش در شمال شرقی و شمال و مرکز کشور معنی‌دار می‌باشد. میانگین رطوبت نسبی و روزهای تمام‌ابری (به استثناء گرگان) در اکثر مناطق کاهش داشته که بیشترین کاهش روزهای تمام‌ابری در غرب دریای خزر و نیمه غربی کشور می‌باشد که با کاهش رطوبت در این مناطق نیز مطابقت دارد.

واژگان کلیدی: آشکارسازی، تغییر اقلیم، ایران، ۲۰۱۷-۱۹۵۸، معنی‌داری

مقدمه

براساس گزارش ارزیابی پنجم IPCC با اطمینان بالایی در نیمکره شمالی، دوره ۲۰۱۲-۱۹۸۳ گرم ترین دوره ۳۰ ساله از ۱۴۰۰ سال گذشته بوده است اغلب مدل های اقلیمی پیش بینی می کنند که در سطح جهانی دما تا پایان قرن ۲۱ نسبت به دوره ۱۹۹۰-۱۸۵۰ بیش از ۱/۵ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت. البته با دید بدبینانه تر این میزان به ۴ درجه سلسیوس هم خواهد رسید. فعالیت های بشر بر روی سیستم های اقلیمی اثر گذار بوده اند. افزایش غلظت گازهای گلخانه ای در جو، واداشت مثبت تابشی، بالارفتن دمای سطح زمین، مشاهدات اقلیمی (تغییرات در چرخه جهانی آب، کاهش برف و یخ، بالا آمدن متوسط سطح دریا های جهان و تغییرات در رخداد مقادیر حدی جوی مانند سیل و خشکسالی) از جمله مواردی هستند که دخالت بشر بر گرمایش جهانی و تغییرات اقلیم را به اثبات می رسانند. ادامه افزایش گازهای گلخانه ای باعث گرمایش بیشتر و تغییر همه مولفه های اقلیمی خواهند شد. مشاهدات ثبت شده در دوره ۲۰۱۰-۱۹۵۰ نشان می دهد که افزایش گازهای گلخانه ای ناشی از فعالیت های بشری بیشترین سهم در گرمایش جهانی را نسبت به عوامل و واداشت های طبیعی داشته است (IPCC, 2013). به همین منظور شناسایی و آشکارسازی تغییرات اقلیمی و یافتن علل این تغییرات از قدمهای اولیه بشمار می رود. بدیهی است پیدا کردن راهکارهای رفع علل و به موازات آن ارائه بینش خوب از سیستم های طبیعی، اجتماعی، اقتصادی و حساسیت آن به تغییر اقلیم از جمله فعالیتهای لازم دیگر می باشد (رحیم زاده، ۱۳۸۳).

مطالعات بسیاری به منظور بررسی تغییرات اقلیمی در مقیاس های مختلف انجام گرفته است موفقیت در پایش تغییر اقلیم به کیفیت داده های اقلیمی وابسته است. پاترا و همکاران (۲۰۱۲) در هند با استفاده از آزمون های پارامتری و ناپارامتری تغییرات زمانی بارش در مقیاس ماهانه، فصلی، و سالانه را در دوره آماری ۱۸۷۱ - ۲۰۰۶ ارزیابی کردند و به این نتیجه رسیدند که در قرن بیستم بارش در هندوستان دارای روند بوده است. همچنین، بررسی ها نشان

داد در درازمدت روند کاهشی غیرمعنی داری در بارش سالانه و بارش مانسون و روند افزایشی در فصل پس از مانسون وجود دارد. بارش در فصول زمستان و تابستان در منطقه مورد بررسی نیز روند افزایشی داشته است. اونیوتا و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی روند تغییرات بارش در حوضه رودخانه نیل در افریقا پرداختند. نتایج آن ها نشان داد در منطقه استوایی روند بارش سالانه افزایشی معنی دار بوده است، در حالی که روندهای کاهشی معنی دار در ۶۹ درصد از ایستگاه های واقع در کشورهای سودان، اتیوپی، و مصر مشاهده گردید. تحقیقی دیگر در حوضه رودخانه نیل (طبری و همکاران، ۲۰۱۵) نیز حاکی از وجود روندهای کاهشی بارش در اتیوپی است. Caloiero و همکاران (۲۰۱۱) روند بارش را در مقیاس فصلی و سالانه برای جنوب ایتالیا مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که بارش سالانه روند کاهشی داشته است و در مقیاس فصلی بارش در زمستان و پاییز روند کاهشی و در تابستان روندی افزایشی داشته است.

در ایران مطالعات بسیاری در رابطه با روند تغییر متغیرهای اقلیمی انجام گرفته است، اما در اغلب آنها مسأله همگنی یا نادیده گرفته شده و یا نتایج دقیقی در مورد این بررسی و چگونگی اصلاح داده ها عنوان نکرده اند علاوه بر این با توجه به عدم ثبات اقلیم باید این نوع مطالعات بروز رسانی شود (مسعودیان، ۱۳۸۳؛ ابراهیمی، ۱۳۸۵؛ عزیزی، ۱۳۸۸؛ زارع، ۱۳۹۰؛ سالاری، ۱۳۹۱؛ آذرخشی، ۱۳۹۲؛ فرخ نیا، ۱۳۹۳؛ خلیلی، ۱۳۹۴؛ احمدی، ۱۳۹۴).

رحیم زاده و عسکری (۱۳۸۳)، نا همگن های غیر اقلیمی یازده عنصر اقلیمی را برای ۳۳ ایستگاه سینوپتیک طی دوره آماری ۱۹۹۷-۱۹۵۱ توسط آزمون همگنی توصیه شده توسط شون وایز و فراداده ایستگاههای یا آمار همگن مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه مشخص شد که نا همگنی های موجود در اغلب سری های زمانی در اواخر دهه ۱۹۷۰ از نوع طبیعی است. پژوهشکده هواشناسی (۱۳۸۶) با استفاده از اطلاعات فرا داده به روز شده، تغییرات ناگهانی ناشی از جابه جایی و دیگر دلایل غیراقلیمی در طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۵۰ را تعدیل و نتایج بهبود یافته ای را ارائه کرد. اگرچه نتایج کار مذکور در مقایسه با کارهای گذشته بهبود یافته

بود، اما همچنان عدم قطعیت هایی برای روندهای منفی در ایستگاه های واقع در دامنه رشته کوه های زاگرس و همچنین شرق کشور وجود داشت. نتایج کلی حاصل از این مطالعه نشان داد که روند میانگین دمای فصلی و سالانه از زمان آغاز دیدبانی‌های هواشناسی در ایران (سال ۱۹۵۱)، پس از حذف ناهمگنی ها افزایشی بوده است (نوریان و همکاران، ۱۳۸۷).

علیجانی و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهشی، تغییرپذیری فرین های دما در دهه های اخیر در ایران را بررسی کرده اند. نتایج این مطالعه نشان داد روندهای حاکی از سرد شدن تنها در منطقه زاگرس جنوبی و به ویژه ایستگاه شهر کرد وجود دارد و دما در بیشتر مناطق کشور در حال افزایش است و مقدار این افزایش در مناطق مرکزی که دارای آب و هوای خشک و نیمه خشک هستند، از شدت بیشتری برخوردار است (علیجانی، ۱۳۹۱).

رحیم زاده (۱۳۸۷) در مطالعه ای با هدف تعیین میزان تغییر پذیری و تغییر اقلیم، پارامترهای اقلیمی را به تفکیک ماهانه، فصلی، سالانه در ایستگاههای سینوپتیک کشور بررسی کرد. در این طرح در بررسی پارامترهای اقلیمی کشور داده های دمای کمینه، بیشینه، میزان بارش، دمای نقطه شبنم، سرعت باد، ساعات آفتابی و ابرناکی در دوره ۲۰۰۵-۱۹۶۱ با استفاده از روش های آماری در مقیاس فصلی و سالانه بررسی شده اند. نتایج نشان دادند که روند میانگین دمای کمینه، دمای بیشینه و میانگین دما در اغلب نقاط کشور حالت افزایشی داشته است. این روندها در شهرهای رو به توسعه چون تهران، اصفهان و شیراز بارزتر و مشخص تر است. نوسانات بارش مانع معنی داری روند بسیاری از مقادیر بارش ایستگاه های کشور هستند. بررسی ها نشان می دهد میانگین سرعت باد در بسیاری از نقاط کشور علی الخصوص شهرهای بزرگ کشور، علاوه بر نوسانات شدید دارای روند کاهشی بوده است. نتایج حاصل از بررسی آماری روند دمای نقطه شبنم به عنوان معیاری مناسب برای بررسی تغییرات رطوبت، نشان دهنده کاهش رطوبت در اغلب نقاط کشور بوده اند. البته مواردی مانند شمال شرق کشور از قبیل سبزوار، افزایش رطوبت ملاحظه شده است. روندهای فصلی و سالانه ساعات آفتابی همگی حاکی از

افزایش تعداد ساعات آفتابی هستند. بیشترین نرخ افزایشی در فصول مختلف و سالانه در دوره ۲۰۰۵-۱۹۸۰ متعلق به نیمه غربی کشور به ویژه مناطق مرزی بوده است. مقدار ابرناکی در شمال شرقی کشور بیشترین کاهش را داشته است و بعد از آن نیمه جنوب شرقی کشور که در مقایسه با میزان بارش، ملاحظه می شود که الگوهای نسبتاً یکسانی بین میزان ابرناکی طبقه هفت-هشتم و بارش مشاهده می شود. در مورد سواحل جنوبی، روزهای صاف در مقیاس سالانه، کاهش داشته اند و نیمه شرقی افزایش نسبی را تجربه نموده اند.

رحیمی و حجاب در پژوهشی روند شاخص های حدی دما در ۳۳ ایستگاه سینوپتیک در سراسر ایران را طی سال های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۴ میلادی تجزیه و تحلیل نمودند و سپس رابطه آنها با ارتفاع و عرض جغرافیایی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که در شاخص های حدی دما بسیاری از ایستگاه ها، به ویژه شاخص هایی که بر اساس حداقل دمای روزانه هستند، روند صعودی قابل توجهی وجود دارد. بررسی رابطه بین روند شاخص ها و ارتفاع نشان داد که در ارتفاعات کم (ارتفاعات کمتر از ۲۳ متر بالاتر از سطح دریا)، طول دوره رشد تنها با ارتفاع همبستگی دارد؛ اما در ارتفاعات بالاتر (ارتفاع بالاتر از ۷۰۰ متری از سطح دریا)، بین ارتفاع با درصد شب های سرد، فراوانی روزهای یخی، دامنه تغییرات روزانه دما، تداوم سرما، درصد شب های گرم و فراوانی شبهای حاره ای همبستگی معنی دار وجود دارد. (Rahimi, 2018).

طبری و حسین زاده طلایی (۲۰۱۱) در مطالعه ای به بررسی روند بارش ۴۱ ایستگاه در سراسر ایران طی دوره ۱۳۴۵-۱۳۸۴ با استفاده از آزمون های من کندال، تیل-سن و رگرسیون خطی پرداختند و دریافتند که روند بارش سالانه در اکثر ایستگاه ها منفی بوده است و نیز گزارش کردند که روند بارش در فصول بهار و زمستان منفی بوده است. محمدی در سال ۱۳۹۰ روند بارش ایران را با استفاده از داده های ۱۴۳۷ ایستگاه همدید، اقلیمی و بارانسنجی، طی دوره ۴۰ ساله (۱۳۴۳ تا ۱۳۸۲) بررسی نمود. با استفاده از روش آماری ناپارامتری من-کندال معنی داری روند میانگین بارش، و از روش برآورد کننده شیب خط سن، میزان شیب

ناهمگنیهای غیر اقلیمی موجود در داده های ۳۳ ایستگاه همدیدی کشور در دوره ۲۰۱۰-۱۹۶۰ میلادی بررسی کرد. نتایج نشان دادند که کشور ایران با دارا بودن اقلیم های متفاوت، ضمن افت وخیزهای نسبی یکنواخت، شاهد روند افزایشی میانگین دماهای کمینه و بیشینه سالانه به ترتیب با نرخهایی حدود ۰/۵-۰/۴ و ۰/۳-۰/۲ درجه سلسیوس بر دهه بوده است. روندهای منفی ارائه شده در مطالعات قبلی صرفاً به علت جابه جایی و تغییر در شرایط محیطی ایستگاه ها بوده است. نادیده گرفتن این ناهمگنی های دمایی در مطالعات قبلی، خطاهایی در مشخصه های آماری و عدم قطعیت هایی در روندهای دراز مدت را نیز به دنبال داشته است (رحیم زاده، ۱۳۹۳) (Rahimzadeha, 2013)

در دهه های اخیر، کارشناسان خبره مسائل اقلیمی تأکید نموده اند که ناهمگنی در داده ها به منظور تعیین یک برآورد دقیق برای روند و از بین بردن عدم قطعیت های موجود در داده های اقلیمی و همچنین، اصلاح نتایج روندیابی و تغییر پذیرها، امری ضروری است (مورگ و الکساندرسون ۱۹۹۷، وینست و همکاران، ۲۰۰۲، برونیتی و همکاران ۲۰۰۶؛ کالینز و همکاران، ۲۰۰۹).

در مقاله حاضر سعی شده است تغییرات و روند پارامترهای اقلیمی (دماهای کمینه، بیشینه، بارش، ساعات آفتابی، میانگین رطوبت نسبی، سرعت باد، ابرناکی) طی سال های ۲۰۱۷-۱۹۵۸ میلادی و در مورد ساعات آفتابی ۲۰۱۷-۱۹۹۲ (بدلیل فقدان اطلاعات) در ایستگاه های همدیدی کشور، با توجه به شناخت ناهمگنی ها و اصلاح آنها ارائه گردد.

مواد و روش ها

شبکه ایستگاههای همدیدی ایران به طور یکنواخت در کل کشور توزیع نشده اند. مناطق پرجمعیت تر و دارای دسترسی به منابع آب بیشتر، تسهیلات بیشتر برای کشاورزی و امکانات صنعتی (شمال شرق و شمال غرب ایران)، دارای شبکه متراکم تری هستند، اما پراکندگی ایستگاه ها در اطراف نواحی مرکزی ایران همچون کویر، تنک است. طول دوره آماری متفاوت این ایستگاه ها از دیگر مشکلات به شمار می رود. سال ۱۹۵۱ زمان آغازین اندازه گیری فراسنج های هواشناسی در ایستگاه های همدیدی کشور بوده؛ اما تعداد

خط روند، آزمون شد. نتایج نشان داد که در سری های زمانی میانگین ایستگاهی و یاخته ای بارش ایران، روند افزایشی یا کاهشی معنی داری در سطوح اطمینان ۹۹٪ و ۹۵٪ وجود ندارد. با این حال میانگین ایستگاهی بارش ایران به طور متوسط در هر سال ۶۴/۰ میلیمتر و میانگین یاخته ای بارش ایران نیز در حدود ۵/۰ میلیمتر کاهش یافته است.

علیجانی و همکاران در مطالعه ای روند تغییرات بارش سالانه و فصلی ایران را با استفاده از روش ناپارامتریک برآوردکننده شیب سنس بررسی نمود. برای بررسی این روند و در جهت دستیابی به یک الگوی مناسب در این زمینه، داده های مربوط به جمع بارش ماهانه ۴۴ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک برای یک دوره آماری ۳۳ ساله (۲۰۰۸-۱۹۷۶) از سازمان هواشناسی اخذ گردید. بر اساس این روش مشاهده گردید که هیچ گونه روند معناداری در سطح احتمالاتی ۰/۰۵ در جمع بارش های فصل بهار ایران مشاهده نگردیده است و درفصل پاییز نیز تنها ایستگاه سنندج دارای روند کاهشی معنی دار بوده است. در فصل تابستان در سه ایستگاه نوژه همدان، سقز و زنجان روندهای افزایشی معنا داری مشاهده می شود. اما بارش فصل زمستان نسبت به دیگر فصول شاهد بیشترین تغییرات در روند بوده است. روند بارش سالانه نیز حاکی از روند کاهشی معنا دار در ۱۱ ایستگاه از مجموع ۴۴ ایستگاه مورد مطالعه است (علیجانی، ۱۳۹۱). قیامی و همکاران بررسی تغییر اقلیم در ناحیه غربی ایران را از دیدگاه تغییرات دما انجام دادند. در همین رابطه آمار ۴۶ ساله (۲۰۰۶-۱۹۶۱) تعداد ۱۷ ایستگاه سینوپتیک منطقه غرب کشور بررسی گردیده و تغییرات معنی دار دماهای بیشینه، کمینه، متوسط و همچنین دامنه شبانه روزی دما (DTR) (بیانگر اختلاف مقادیر دماهای بیشینه و کمینه)، در دو مقیاس زمانی فصلی و سالانه مورد تجزیه و تحلیل قرارگرفت. بر اساس نتایج، دماهای متوسط، بیشینه و کمینه دارای روندی افزایشی بوده، در حالیکه در داده های DTR تغییرات کاهشی مشاهده شد. از نظر منطقه ای، این نتایج بیانگر آن است که بارزترین تغییرات متعلق به اقلیم نیمه خشک (ایستگاههای سقز، شهرکرد، کرمانشاه و تبریز) بوده است (قیامی، ۱۳۹۲). رحیم زاده (۱۳۹۳) روند تغییر پذیری دما در ایران را پس از کشف و تعدیل

قابل توجهی از آنها در سه دهه اخیر تأسیس شده اند. داده های گمشده یا مشکوک بسیاری در دوره آماری ۶۰-۱۹۵۱ مشاهده می شوند که سبب می شوند تحلیل آنها عدم قطعیت‌های زیادی را در نتایج به همراه داشته باشد (رحیم زاده، ۱۳۹۳).

با توجه به نکات فوق و علیرغم وجود داده‌های عناصر اقلیمی، از داده‌های مطمئن‌تر ایستگاه‌های سینوپتیک که دارای طول دوره آماری قابل توجهی بودند، استفاده به عمل آمد. با بررسی دوره آماری ایستگاه‌های سینوپتیک کشور ملاحظه گردید که گرچه تعداد این ایستگاه ها زیاد هستند اما تعداد کمتری از آن ها دارای دوره آماری بلندمدت (۶۰ ساله) بوده و برای بررسی مطالعات تغییر اقلیم مناسب هستند. جابه جایی ایستگاه‌ها، به ویژه از داخل به خارج از شهرها همراه با تغییر ارتفاع به منظور حفظ استانداردهای

لازم که در نتیجه توسعه و گسترش شهرنشینی از بین رفته و ساخت بنا در نزدیک ایستگاه و تغییر در پوشش گیاهی اطراف؛ از جمله علل اصلی ناهمگنی در ایران هستند (رحیم زاده، ۱۳۹۳).

پس از جمع آوری داده ها و بررسی آنها، در نهایت ۲۷ ایستگاه همدیدی کشور که دوره ۲۰۱۷-۱۹۵۸ میلادی را پوشش می دهند، انتخاب گردیدند که از آمار مطلوبی برخوردار بودند. نظر به تاثیر بیشتر تعدادی از عناصر اقلیمی، این بررسی شامل پارامترهای دما، بارش، رطوبت، تابش، ابرناکی و باد در دوره ۲۰۱۷-۱۹۵۸ میلادی (دوره ۶۰ ساله) و برای ساعت آفتابی بدلیل کامل نبودن اطلاعات، دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۲ در نظر گرفته شدند. شکل ۱ پراکندگی و موقعیت جغرافیایی ایستگاه های مورد مطالعه برای بررسی تغییرات اقلیمی، طی دوره مذکور را نشان می دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب سینوپتیک کشور در دوره ۲۰۱۷-۱۹۵۸ میلادی

از آنجا که کیفیت داده‌ها اهمیت بسیار زیادی دارد و تعیین کننده کیفیت نتایج حاصل می‌باشد، قبل از انجام هر تحلیلی، کنترل کیفیت داده‌ها انجام شد. برای انجام کنترل کیفیت داده‌ها و همچنین تشخیص ناهمگنی و سپس همگن‌سازی داده‌ها از الگوریتم کلاپاتول^۱ (Guijarro, 2016)، استفاده شد. اساس الگوریتم کلاپاتول، برآورد سری مورد نظر بوسیله سری‌های ایستگاه‌های همسایه به روش رگرسیون نوع II (رگرسیون عمودی) می‌باشد. روش رگرسیون

عمودی اولین بار توسط پالوس^۲ و کوهرل^۳ (۱۹۵۲) برای برآورد داده‌های گمشده بارش ارائه شد. در رگرسیون نوع II، فاصله عمودی نقاط تا خط رگرسیون می‌نیم می‌شود، در صورتی‌که در رگرسیون نوع I، انحراف نقاط تا خط رگرسیون در راستای محور Yها می‌نیم می‌شوند. برای تعیین معنی داری روند از آزمون های پارامتری رگرسیون

2. Paulhus

3. Kohler

1. Climatol

با استفاده از رگرسیون چندمتغیره^۱، محقق می‌تواند رابطه خطی موجود بین مجموعه ای از متغیرهای مستقل با یک متغیر وابسته را به شیوه ای مطالعه نماید که در آن، روابط موجود فی مابین متغیرهای مستقل نیز مورد ملاحظه قرار گیرد. تحلیل رگرسیون چندمتغیره برای مطالعه تاثیرات چند متغیر مستقل در متغیر وابسته کاملاً مناسب است. رگرسیون چند متغیره روشی برای تحلیل مشارکت جمعی و فردی دو یا چند متغیر مستقل (x_{ik}) در تغییرات یک متغیر وابسته (y_i) به شمار می‌رود. رگرسیون چند متغیره از طریق مشارکت دو یا چند متغیر مستقل، پراش متغیر وابسته را تبیین می‌کند (عساکره، ۱۳۹۰).

تحلیل رگرسیونی ساده با N نقطه، متغیر مستقل x_i و ضرایب β_0 و β_1 خطی است

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + e_i \quad i=1, \dots, N \quad (2)$$

عبارت e_i مانده نام دارد ($e_i = y_i - \hat{y}_i$). روش رایج برای به دست آوردن پارامترها، روش کمترین مربعات است. در این روش پارامترها را با کمینه کردن تابع زیر به دست می‌آورند:

$$SSE = \sum_{i=1}^N e_i^2 \quad (3)$$

در مورد رگرسیون ساده، پارامترها با این روش برابر خواهند بود با:

$$\beta_1 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

$$\beta_0 = \bar{y} - \beta_1 \bar{x} \quad (5)$$

آزمون ناپارامتری من - کندال

زمانی که توزیع داده ها برای ما مشخص نیست، نتایج آزمون های ناپارامتری معتبرتر هستند. در تعیین معنی داری روند، زمانی که سری زمانی دارای توزیع نرمال نیست، بهتر است علاوه بر رگرسیون از آزمون های ناپارامتری برای تایید صحت نتایج استفاده کرد. در پژوهش حاضر، برای همه ی پارامترها آزمون ناپارامتری من-کندال نیز انجام شده و نتایج با روش پارامتری مقایسه شده است. در آزمون ناپارامتری من-کندال فرض صفر و مقابل به صورت زیر تعریف می‌شود.

خطی و ناپارامتری من کندال استفاده شد. همچنین روند به روش حداقل مربعات و روش تیل-سن برآورد گردید.

رگرسیون خطی

یکی از روش های پارامتری بررسی معنی داری روند، رگرسیون خطی است. در رگرسیون خطی رابطه بین دو متغیر مستقل و وابسته سنجیده می‌شود. به عبارت دیگر با استفاده از رگرسیون می‌توانیم تعیین کنیم که آیا تغییرات متغیر مستقل بر تغییرات متغیر وابسته موثر است و در صورت موثر بودن این میزان را برآورد کنیم. حال اگر سری زمانی Y_t برای $t = 1, 2, \dots, n$ را در نظر بگیریم، متغیر مستقل زمان می‌باشد و می‌خواهیم بدانیم که آیا تغییر زمان باعث تغییر پارامتر مورد نظرمان شده است یا خیر. به طور دقیق تر برای معادله

$Y_t = a_0 + a_1 t$ ، فرضیه $\begin{cases} H_0: a_1 = 0 \\ H_1: a_1 \neq 0 \end{cases}$ را آزمون می‌کنیم و در صورتی که فرض صفر رد شود، نتیجه می‌گیریم که روند معنی دار است. فرض صفر در سطح اطمینان $1 - \alpha$ درصد رد می‌شود اگر $T_c = \frac{r\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}} > T_{1-\alpha/2}$ که در

آن r ضریب همبستگی بین سری $y_1, \dots, y_N$ و زمان متناظر با آنها می‌باشد. آماره T_c دارای توزیع استودنت با $n-2$ درجه آزادی است و کفایت مقدار T_c مربوط به مشاهدات را تعیین و با مقدار $T_{1-\alpha/2}$ که از جدول استودنت مربوط به سطح معنی داری α استخراج می‌شود، مقایسه کرد. همینطور می‌توان از p -مقدار برای رد یا قبول فرض صفر استفاده کرد. در صورتی که p -مقدار کمتر یا مساوی α باشد، فرض صفر رد می‌شود. سپس برای تعیین میزان روند به روش حداقل مربعات a_1 به صورت زیر برآورد می‌شود.

$$\hat{a}_1 = r \frac{S_y}{S_t} \quad (1)$$

که در فرمول فوق r ضریب همبستگی بین سری زمانی و زمان‌های متناظر با آن می‌باشد و S_y ، S_t به ترتیب انحراف معیار مقادیر سری زمانی و زمان‌های متناظرشان می‌باشد.

رگرسیون خطی چند متغیره

¹ Multiple Regression

نتایج نشان دادند که تمام ایستگاه‌های هندوکش و کوه دماوند (H₀) افزایشی معنی دار میانگین دمای کمینه سالانه یا نرخ افزایش در طول وجود ندارند (شکل ۲). بیشترین روند افزایش دمای کمینه سالانه متعلق به تهران، گرگان، کرمان، شاهرود و مرکز کشور می باشد. جنوب، غرب کشور و سواحل غربی دریای خزر از نرخ رشد کمتری در دمای کمینه برخوردار بوده اند. بطور کلی، دمای کمینه در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه و در تمام فصول به ویژه در پاییز و زمستان روند افزایشی سریع داشته است که این نرخ از دهه ۱۹۸۰ میلادی به بعد بیشتر هم شده است. دمای بیشینه سالانه نیز در کشور حالت افزایشی داشته است. اما نرخ افزایش دمای بیشینه ایستگاه ها (بین ۰/۰۸ تا ۰/۳ درجه سلسیوس بر دهه به ترتیب در زنجان و اهواز) حالت ضعیف تری نسبت به نرخ افزایشی دمای کمینه دارد. این روندها در بعضی از ایستگاهها مانند اهواز، آبادان، شهر کرد، یزد و سبزوار مشخص تر است (شکل ۳). نرخ افزایشی دمای بیشینه در تعدادی از ایستگاه ها علیرغم نوسانات زیاد حول یک میانگین ایستا به نظر می رسد که این ایستگاهها شامل رشت، بندر انزلی، زنجان در سواحل غربی دریای خزر می باشند.

همچنین الگوی افزایشی از فصلی به فصل دیگر متفاوت می باشد. برای مثال در فصل زمستان در ایستگاههای واقع در سواحل دریای خزر (به استثناء بابلسر) بر خلاف فصول دیگر کاهش دمای بیشینه مشاهده می شود. در صورتیکه در فصل پاییز در غرب زاگرس حالت کاهش در دمای بیشینه در کشور وجود دارد البته این روندها معنی دار نمی باشند. الگوی دمای بیشینه در فصل بهار در تمام نقاط کشور افزایش داشته است و در غرب دریای خزر و گرگان ایستا است و روند افزایشی در جنوب غرب و شمال شرق کشور به مراتب در این فصل بیشتر از سایر مناطق بوده است. در فصل تابستان نیز در اغلب ایستگاهها دمای بیشینه روند افزایشی (به ویژه در جنوب غرب) داشته است.

از بررسی دو پارامتر کمینه و بیشینه دما ملاحظه خواهد شد که روند میانگین دمایی در همه ایستگاه های مورد مطالعه در مقیاس های فصلی و سالانه افزایشی بوده است که مقدار آن از ۰/۲ (در زنجان) تا ۰/۳ درجه سانتیگراد بر دهه (یزد،

آماره من- کندال از فرمول زیر محاسبه می شود

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (6)$$

که sgn در فرمول فوق تابع علامت است. میانگین آماره

$$S \text{ برابر صفر و واریانس آن از فرمول زیر به دست می آید} \quad (7)$$

$$\text{var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - t_k(t_k-1)(2t_k+5)}{18}$$

که m تعداد گروه های گره هستند و t_k تعداد اعضای گروه k ام است. برای n بزرگتر از ۱۰، آماره $Z(S)$ که به صورت زیر تعریف می شود دارای توزیع نرمال استاندارد است

$$Z(S) = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (8)$$

و بنابراین روند معنی دار است یا به عبارت دیگر فرض

صفر در سطح اطمینان $1 - \alpha$ رد می شود هرگاه

$$|Z(S)| > Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \quad \text{یا} \quad p\text{-value} \leq \alpha \quad (8)$$

که $Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ از جدول نرمال استاندارد تعیین می شود.

روش شیب سن

روش تیل- سن روشی ناپارامتری برای تعیین میزان روند می باشد. اگر فرض کنید Q شیب بین هر دو نقطه از سری زمانی مورد نظرمات باشد، یعنی

$$Q = \frac{Y_j - Y_k}{j - k} \quad j \neq k \quad (9)$$

بنابراین اگر سری زمانی با n مشاهده داشته باشیم، $N = \frac{n(n-1)}{2}$ شیب خواهیم داشت و میانه این شیب ها، همان شیب سن خواهد بود (ویوکاناندان، ۲۰۰۷).

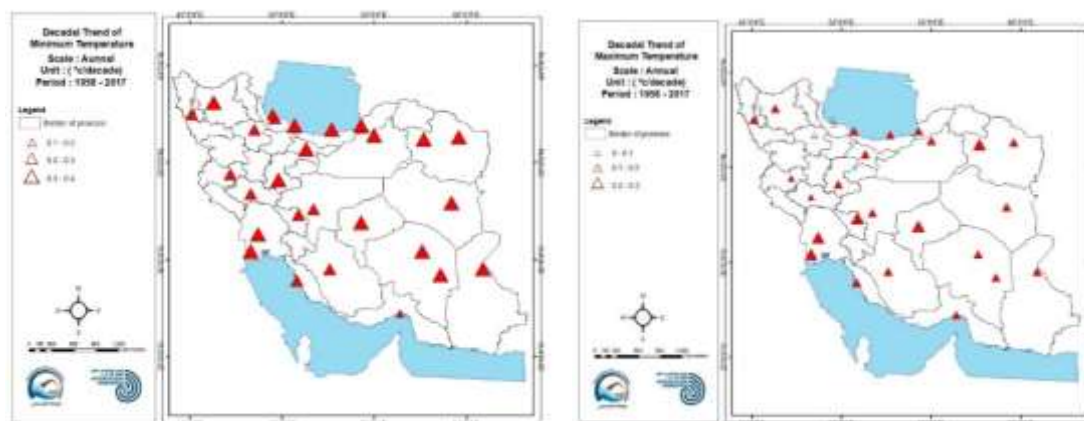
روش های مختلفی برای برآورد میانگین مقدار بارش و دما وجود دارد که از جمله آن ها می توان به روش های میانگین عددی، میانگین هندسی، میانگین وزنی تبسن، روش خطوط هم باران و زمین آمار اشاره نمود. در این پروژه میانگین بارش و دما علاوه بر روش حسابی از روش تبسن و برای برآورد دمای کمینه و بیشینه از روش رگرسیون دو متغیره استفاده گردیده است.

نتایج و بحث

دما

میانگین سالانه دما در اکثر موارد به صورت افزایشی و تقریباً به موازات یکدیگر به وقوع پیوسته است.

سبزوار، آبادان، اهواز، اراک، مشهد، تهران، شاهرود) متغیر است. خطوط روند سالانه و فصلی دمای بیشینه و کمینه و



شکل ۲- روند دهه ای تغییرات سالانه دمای کمینه (سمت راست) شکل ۳- روند دهه ای تغییرات سالانه دمای بیشینه در دوره ۱۹۵۸-۲۰۱۷ میلادی (سمت چپ) (مناطق توپر معنی دار در سطح ۰/۰۵)

رگرسیون، شامل: ارتفاع (E)، عرض جغرافیایی (Lat)، طول جغرافیایی (Lon) و دمای بیشینه (Tmax)، دمای کمینه (Tmin) می باشند که با بهره گیری از نرم افزار Sigmaplot 12.0 مورد تجزیه تحلیل و محاسبات آماری قرار گرفته اند. در استفاده از روش رگرسیون چند متغیره از آمار میانگین سالانه دمای بیشینه و کمینه به عنوان متغیر وابسته و از عوامل ارتفاع و عرض جغرافیایی، به عنوان متغیرهای مستقل استفاده شده است و معادلات برای تمام سال ها محاسبه گردید.

برای میانگین دمای بیشینه و کمینه در سطح کشور علاوه بر رگرسیون دو متغیره، از روش پلی گون بندی تیسن (Thiessen, 1911) و حسابی نیز استفاده شد. نتایج نشان دادند که میانگین دمای کشور طی دوره ۱۹۵۷-۲۰۱۸ میلادی بر اساس روش تیسن، حسابی و رگرسیون دو متغیره به ترتیب ۱۷/۸، ۱۷/۴ و ۱۷/۵ درجه سانتیگراد می باشد که طی این دوره دمای کشور روند افزایشی معنی داری حدود $0.28 (\pm 0.08)$ ، $0.27 (\pm 0.08)$ ، $0.27 (\pm 0.1)$ درجه سانتیگراد بر دهه را تجربه کرده است (جدول ۱).

به منظور بررسی بیشتر روند پارامترهای دمای کمینه، بیشینه و متوسط کشور (با روش رگرسیون دو متغیره) علاوه بر دوره ۱۹۵۸-۲۰۱۷ میلادی، دوره های ۳۰ ساله

روند افزایش دما در شهرهای رو به توسعه چون تهران، سبزوار، یزد، اهواز، آبادان و مشهد بارزتر و مشخص تر است. با توجه به نرخ افزایشی شدیدتر دمای کمینه نسبت به دمای بیشینه میزان تغییرات شبانه روزی در اغلب نقاط کشور کاهش یافته است.

میانگین دمای کمینه و بیشینه کشور:

از آنجایی که در کشور ایران برای دوره مورد مطالعه (۱۹۵۸-۲۰۱۷) تعداد ایستگاه های همدمیدی بسیار کم و در صورت وجود، دارای اطلاعات آماری محدودی می باشد با در اختیار داشتن عوامل ارتفاع، عرض جغرافیایی و طول جغرافیایی، در هر نقطه و با بکارگیری معادلات رگرسیون، می توان میزان تقریبی عناصر اقلیمی دما و ... را محاسبه کرد. در این پژوهش سعی شده است که با استفاده از عوامل اقلیمی عرض و طول جغرافیایی و ارتفاع و داده های آماری دمای بیشینه و کمینه ماهانه ایستگاه های همدمیدی موجود برای دوره ۱۹۵۸-۲۰۱۷ و با استفاده از معادلات رگرسیون مقدار میانگین دما را در ایستگاه ها و مناطق فاقد آمار تخمین زد.

بدین منظور، ارتباط میانگین دمای بیشینه و کمینه با عوامل جغرافیایی شامل ارتفاع، عرض جغرافیایی و طول جغرافیایی بررسی گردید. پارامترهای اصلی ورودی مدل

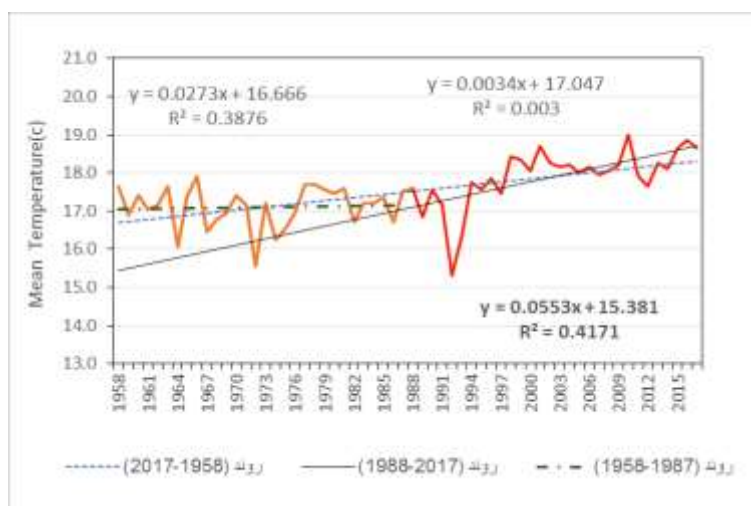
۱۹۸۷-۱۹۵۸، ۲۰۱۷-۱۹۸۸ میلادی نیز مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که دمای کمینه، بیشینه و میانگین ۳۰ ساله دوم به ترتیب حدود ۱/۵، ۲/۸، ۲ برابر روند ۶۰ ساله کل دوره افزایش یافته است (به عبارت دیگر روند افزایش دما در دوره ۳۰ ساله آخر شتاب بیشتری داشته است).

جدول ۱- مقایسه میانگین و روند دهه‌ای (حداقل مربعات) دمای کمینه و بیشینه کشور با روشهای حسایی، تیسن و رگرسیون دومتغیره طی ۱۹۵۸-۲۰۱۷ میلادی

رگرسیون دو متغیره	تیسن	حسابی	
10.10	10.70	10.85	میانگین دمای کمینه سالانه (C)
24.90	24.90	24.00	میانگین دمای بیشینه سالانه (C)
17.50	17.81	17.42	دمای میانگین سالانه (C)
0.34	0.36	0.35	روند دهه ای میانگین دمای کمینه
0.20	0.20	0.19	روند دهه ای میانگین دمای بیشینه
0.27	0.28	0.27	روند دهه ای میانگین
1.64	1.67	1.63	افزایش دمای میانگین در ۶۰ سال

(± 0.5) و (± 0.7) و $17/9$ درجه سانتیگراد است و تغییرات دما طی دوره ۳۰ سال اول فاقد روند می باشد. شکل ۴ میانگین سالانه دمای کشور و روند آن را طی دوره های مذکور نشان می دهند.

روند افزایش دهه ای میانگین دمای کشور در دوره ۶۰ ساله (0.35 ، 0.19) و 0.27 ، در ۳۰ سال اول ($1958-1987$ میلادی) (0.25 ، -0.20) و 0.03 و در ۳۰ سال دوم ($1988-2017$ میلادی) (0.25 ، 0.55) درجه سانتیگراد بر دهه می باشد. میانگین دمای هوای کشور در دوره مذکور به ترتیب (± 0.8) و $17/5$ ،



شکل ۴- میانگین سالانه دمای کشور و روند آن در دوره های ۱۹۵۸-۲۰۱۷، ۱۹۵۸-۱۹۸۷ و ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۷ میلادی

مطالعه کاهش بارش نسبت به دوره آماری مشاهده می شود. در مناطق گرگان و غرب خزر، شمال غرب و غرب کشور کاهش بارش ها بیشتر و در بوشهر، شیراز، جنوب دریای خزر، اصفهان، سبزوار و تهران با افزایش بارش (میلیمتر بر

بارش

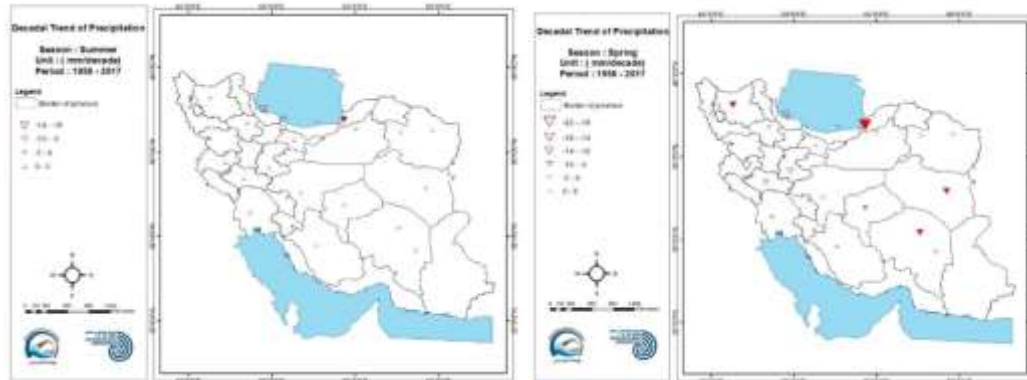
بطور کلی تغییرات در الگوهای بارش در همه مقیاس های سالانه و ماهانه یکنواخت نبوده و گویای الگوهای متفاوتی در کشور می باشد. در مقیاس سالانه در ۲۱ ایستگاه مورد

زمستان تقریباً شبیه تغییرات سالانه است (شکل ۶-چپ). بررسی تعداد روزهای بارش بیش از ۱۰ میلیمتر در مقیاس سالانه نشان داد که این روزها در سواحل خزر (به استثناء بابلسر) نیمه غربی و شرق کشور کاهش داشته است، گرچه به استثناء تهران که روند کاهشی معنی دار دارد در سایر موارد روندها معنی دار نمی باشند. به طور کلی نوسانات بارش مانع معنی داری روند مقادیر بارش در اغلب ایستگاه های کشور هستند. بررسی روند نمایه حدی R10 در مقیاس سالانه نشان دادند که تعداد روزهای بارش بیش از ۱۰ میلیمتر در سواحل خزر (به استثناء بابلسر) نیمه غربی و شرق کشور کاهش داشته است، گرچه به استثناء تهران که روند کاهشی معنی دار دارد در سایر موارد روندها معنی دار نمی باشند (شکل ۷-چپ).

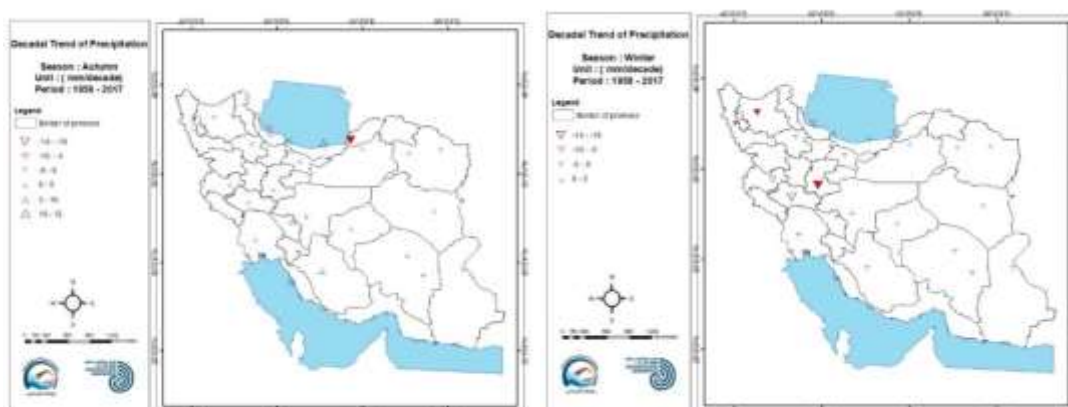
در بررسی مقادیر حداکثر بارش در یک روز نیز مشخص شد در مقیاس سالانه به استثناء بندر انزلی که روند کاهشی معنی دار (۱۰ میلیمتر بر دهه) و اصفهان که روند افزایشی معنی داری داشته است در سایر ایستگاهها علاوه بر وجود نوسانات شدید روند خاصی مشاهده نگردید.

دهه) روبرو بوده ایم که البته به استثناء گرگان، تبریز، بیرجند و اراک که کاهش معنی دار بارش دارند در سایر ایستگاهها روندها به لحاظ آماری معنی دار نمی باشند (شکل ۷-راست). بیشترین روند کاهشی بارش سالانه متعلق به گرگان با (۵۳ میلیمتر بر دهه) می باشد.

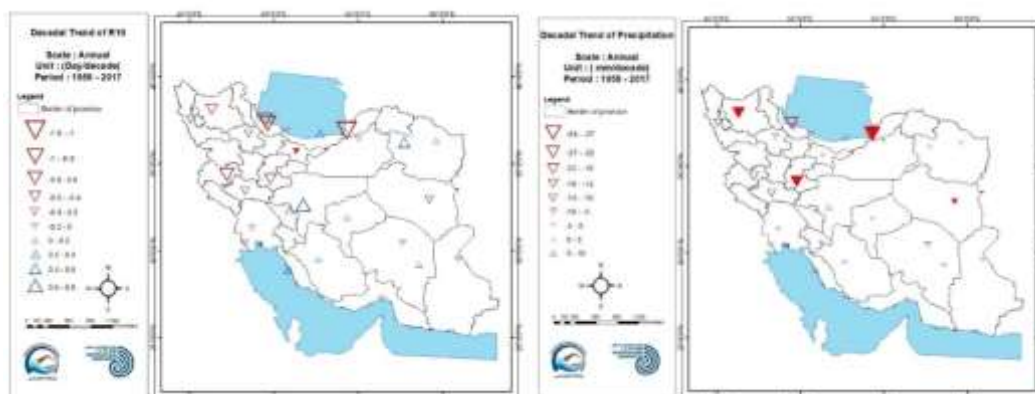
بررسی مقادیر بارش فصلی نشان داد هر سه حالت ایستا، روند مثبت، منفی در بارش کشور مشاهده می شود ولی نوسانات بارش مانع معنی داری روند بسیاری از مقادیر بارش ایستگاه های کشور هستند. در فصل بهار نیز اغلب ایستگاهها کاهش بارش را تجربه کرده اند ایستگاههایی که کاهش بارش در آنها معنی دارند عبارتند از: گرگان، تبریز، بیرجند، کرمان، یزد که بیشترین روند کاهش بارش متعلق به ایستگاه گرگان بوده است (شکل ۵- راست). در فصل پاییز افزایش نسبی در بارش بیشتر ایستگاههای مشاهده می شود به طوری که از ۲۷ ایستگاه، بارش در ۲۱ ایستگاه روند افزایشی (بیشترین آن متعلق به بابلسر) دارند ولی این روند معنی دار نمی باشد. تنها در ایستگاه گرگان در این فصل، بارش روند کاهشی معنی داری داشته است. الگوی فصل



شکل ۵- روند دهه ای تغییرات بارش (میلیمتر) در بهار (راست) روند دهه ای تغییرات بارش (میلیمتر) در تابستان (چپ)
(مناطق توپر معنی دار در سطح ۰/۰۵)

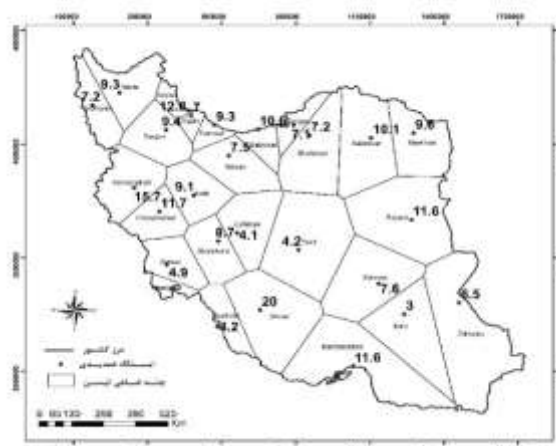


شکل ۶- روند دهه ای تغییرات بارش در پاییز (راست) و روند دهه ای تغییرات بارش (میلیمتر) در زمستان (چپ)
(مناطق توپر معنی دار در سطح ۰/۰۵)



شکل ۷- روند دهه ای سالانه تغییرات بارش میلیمتر (راست) و روند دهه ای سالانه تغییرات تعداد روزهای همراه با بیش از ۱۰ میلیمتر (چپ) (مناطق توپر معنی دار در سطح ۰/۰۵)

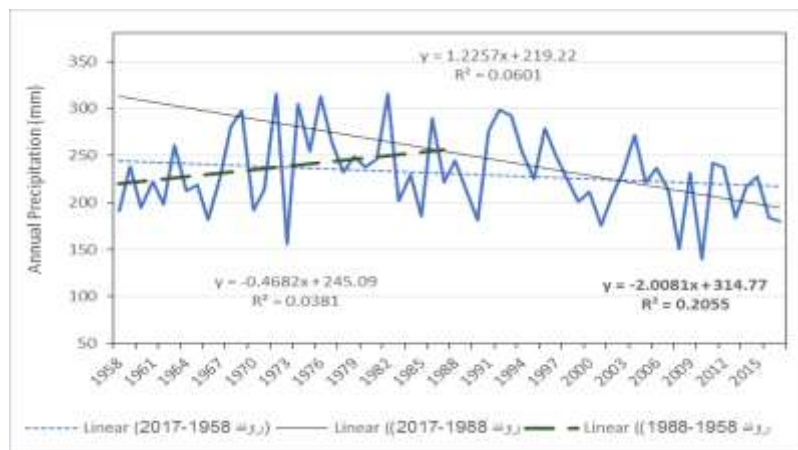
برای محاسبه میانگین بارش کشور از روش تیسن استفاده گردید. شکل ۸ بارش وزنی برای دوره ۱۹۵۸-۲۰۱۷ میلادی به روش پلی گون بندی تیسن را نشان می دهد. بر اساس روش تیسن میانگین بارش سالانه کشور طی دوره ۱۹۵۸-۲۰۱۷ میلادی $230/8 (\pm 41/9)$ میلیمتر محاسبه شد.



شکل ۸- بارش وزنی برای دوره ۱۹۵۸-۲۰۱۷ میلادی به روش تیسن

معنی دار داشته است. میانگین بارش ایران در این دوره (۱۹۵۸-۲۰۱۷ میلادی) به طور متوسط در هر سال تقریباً ۲ میلیمتر کاهش یافته است. بارش در دوره ۶۰ ساله ۱۹۵۸-۲۰۱۷ نیز به استثناء پایین کاهشی بوده است که معنی دار نمی باشد. علیرغم عدم وجود روند بارش ایران به طور متوسط به میزان $0/47$ - میلیمتر در هر سال کاهش یافته است و این نشان می دهد که شدت کاهش بارش در ۳۰ سال دوم دوره حدود ۴ برابر بیش از شدت کاهش بارش در ۶۰ سال اخیر است.

به منظور بررسی بیشتر تغییرات بارش در کشور علاوه بر دوره مذکور، روند بارش کشور در دو دوره ۳۰ ساله، ۱۹۵۸-۱۹۸۷ و ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۷ میلادی نیز بررسی گردید. نتایج نشان می دهند که در دوره ۳۰ ساله اول (۱۹۵۸-۱۹۸۷ میلادی) به استثناء تابستان (و بهار در حسابی) روند افزایشی بارش مشاهده می شود که میانگین بارش بطور متوسط در هر سال $1/2$ میلیمتر افزایش داشته است گرچه این روند به لحاظ آماری تایید نمی شود. در دوره ۳۰ ساله دوم (۱۹۸۸-۲۰۱۷) به استثناء پاییز بارش ها روند کاهشی



شکل ۹- میانگین سالانه بارش کشور و روند آن طی دوره های ۱۹۵۸-۲۰۱۷ (۶۰ساله)، ۱۹۵۸-۱۹۸۷ و ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۷ میلادی

سرعت باد مشاهده می شود. الگوی تغییرات فصل تابستان و پاییز مشابه الگوی سالانه است. بررسی میانگین رطوبت نسبی نشان داد که اغلب نقاط کشور شاهد کاهش رطوبت طی دوره فوق بوده اند. البته درمقیاس سالانه در مواردی مانند گرگان و رشت افزایش مشاهده شده است که معنی دار نیست (شکل ۱۰-چپ). بیشترین روند کاهشی رطوبت در مقیاس سالانه در جنوب غرب و غرب کشور مشاهده می شود. در فصل بهار میانگین رطوبت نسبی در جنوب، جنوب غرب و شمال غرب کشور روند کاهشی معنی دار داشته است. بیشترین کاهش رطوبت هم در تمام فصول و سال متعلق به بوشهر می باشد.

داده های ساعات آفتابی دارای خلل آماری هستند بنابراین روند آن ها در دوره کوتاهتر ۱۹۹۲-۲۰۱۷ بررسی گردید. روندهای فصلی و سالانه در اغلب ایستگاهها حاکی از

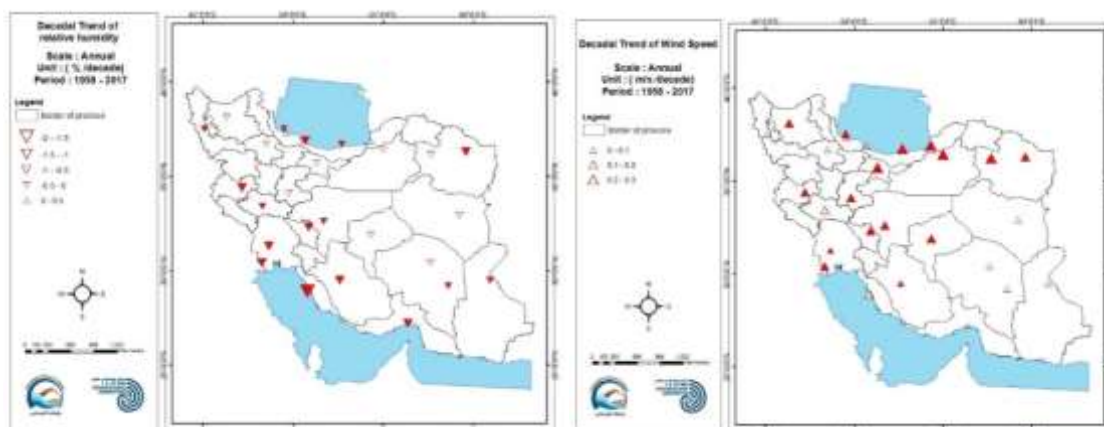
در شکل ۹ میانگین سالانه بارش کشور بر اساس روش تیسن و روند آن (حد اقل مربعات) در دوره های ۶۰ ساله (۱۹۵۸-۲۰۱۷ میلادی) و ۳۰ ساله اول و دوم دوره مذکور و دوره ۶۰ ساله (۱۹۵۸-۲۰۱۷) آورده شده است.

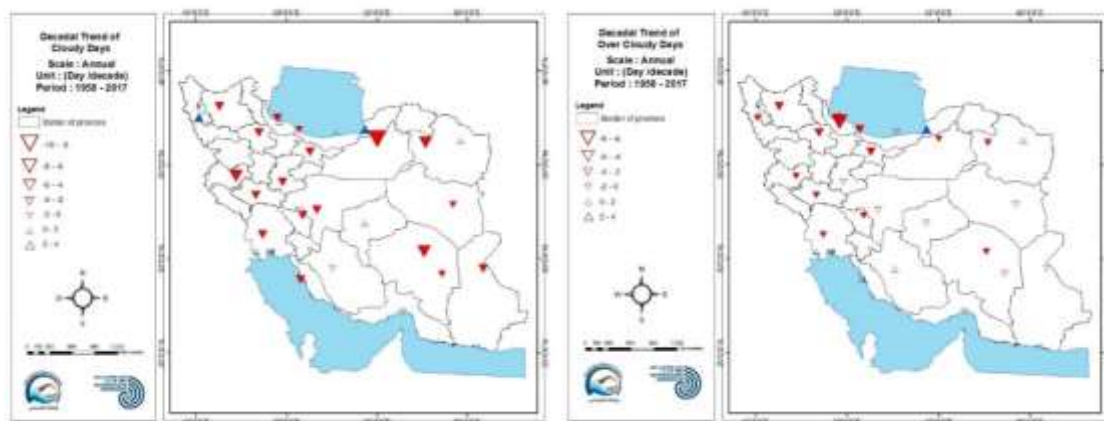
سایر متغیرها

بررسی ها نشان می دهد میانگین سرعت باد در مقیاس سالانه در بسیاری از نقاط کشور علاوه بر نوسانات شدید دارای روند افزایشی بوده است که این روند در اغلب ایستگاههای واقع در غرب، مرکز و نیمه شمالی کشور معنی دار می باشد (شکل ۱۰-راست). در مقیاس فصلی نیز در اغلب نقاط کشور شاهد افزایش روند سرعت باد به ویژه در شرق دامنه زاگرس و شمال کشور بودیم ولی در شرق و جنوب کشور روندی وجود ندارد و در تابستان و پاییز در جنوب غرب و شمال شرق غالباً روند افزایشی معنی دار

است. در تابستان نیز بیشترین روند افزایش تعداد ساعات آفتابی در جنوب خزر و شمال شرق کشور مشاهده می‌شود. در پاییز اکثر مناطق کشور به ویژه نیمه غربی کشور با کاهش ساعات آفتابی مواجه بودند که این کاهش معنی‌دار نمی‌باشد. در زمستان در تمام ایستگاههای مورد مطالعه روند افزایش ساعات آفتابی مشاهده می‌شود که بجز در غرب خزر در سایر ایستگاهها این روند به لحاظ آماری تایید نمی‌شود.

افزایش تعداد ساعات آفتابی هستند. بیشترین نرخ افزایشی سالانه در دوره ۱۹۹۲-۲۰۱۷ متعلق به ایستگاههای واقع در شمال، شمال شرق و مرکز کشور بوده اند ایستگاههای واقع در نیمه غربی و جنوب کشور فاقد روندند (شکل ۱۱- راست). نرخ افزایشی در فصول مختلف متفاوت بوده ولی در فصل بهار شرق و شمال شرق کشور روند افزایش معنی‌داری را تجربه کردند در سایر ایستگاههای کشور در این فصل روند افزایشی یا کاهش ساعات آفتابی معنی‌دار نبوده





شکل ۱۲- روند دهه ای تغییرات سالانه تعداد روزهای نیمه ابری (راست) و تمام ابری (چپ) طی دوره ۱۹۵۸-۲۰۱۷ (مناطق توپر معنی دار در سطح ۰/۰۵)

شدند. معنی داری روند پارامترهای اقلیمی با استفاده از آزمونهای ناپارامتری من کندال و تخمین گر شیب سن و همچنین آزمون پارامتری رگرسیون در سطح معنی داری ۵ درصد مورد بررسی قرار گرفت و میزان شیب روند با استفاده از روش حداقل مربعات محاسبه گردید. میانگین بارش و دمای کشور به روش های پلی گون بندی تیسن و رگرسیون دو متغیره محاسبه شد؛ علاوه بر این روش میانگین حسابی نیز برای مقایسه آورده شد. نتایج مطالعه نشان می دهد که به طور کلی دما در کشور دارای روند افزایشی معنی دار در دوره ۶۰ ساله (۱۹۵۸-۲۰۱۷) و ۳۰ ساله (۲۰۱۷-۱۹۸۸ میلادی) بوده و این افزایش در سال های اخیر از شدت بیشتری برخوردار است. نتایج تغییرات متغیرهای مورد بررسی به شرح زیر می باشد:

برای بارش ایران در دوره مورد بررسی ۱۹۵۸-۲۰۱۷ و ۱۹۵۸-۱۹۸۷ سال اول دوره ۱۹۵۸-۱۹۸۷، روند افزایشی یا کاهش معنی داری در سطوح اطمینان ۹۹٪ و ۹۵٪ مشاهده نشد. با این حال میانگین بارش ایران به طور متوسط با آهنگ (۲/۲)، (۱۱/۶-۴/۷) میلیمتر بر دهه (به روش تیسن) کاهش، در دوره ۳۰ ساله ۱۹۵۸-۱۹۸۷ میلادی بارش (۳۵، -۸) ۱۲/۳ میلیمتر بر دهه افزایش و در ۳۰ سال آخر دوره ۲۰۱۷-۱۹۸۸ میلادی میانگین سالانه بارش کشور با آهنگ (۴/۱)، (۳۷/۲-۲۰) میلیمتر بر دهه کاهش می یابد که این روند کاهش در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی دار می باشد. در پژوهشی مشابه، طبری و حسین زاده طلایی (۲۰۱۱) نشان

در بررسی میزان ابرناکی نتایج نشان داد که در مقیاس سالانه ایستگاههای واقع در شمال و نیمه غربی کشور با روند افزایشی روزهای نیمه ابری مواجه بودند و بیشترین روند افزایشی را گرگان داشته است. در زاهدان، کرمان، بوشهر، اصفهان و شاهرود روند کاهشی معنی دار تعداد روزهای نیمه ابری مشاهده می شود. در بررسی تعداد روزهای ابری بر دهه در فصول مختلف روند کاهشی، افزایشی و ایستا مشاهده می شود. در مقیاس سالانه در اکثر مناطق کشور به استثناء گرگان و ارومیه در سایر مناطق تعداد روزهای ابری دارای روند کاهشی معنی دار است و بعضی از ایستگاهها مانند مشهد، بابلسر، بندرعباس و... فاقد روند می باشند. در مورد روزهای تمام ابری در مقیاس سالانه در غرب دریای خزر و نیمه غربی کشور و ایستگاههای کرمان، سبزوار و شاهرود روزهای تمام ابری دارای روند کاهشی معنی دار می باشند (شکل ۱۲).

نتیجه گیری

این پژوهش با هدف آشکارسازی تغییر اقلیم رخ داده در کشور با در نظر گرفتن متغیرهای دما، بارش، رطوبت، ابرناکی، باد و ساعت آفتابی انجام شد. از آمار تعداد ۲۷ ایستگاه همدیدی کشور در دوره ۱۹۵۸-۲۰۱۷ (۶۰ ساله) استفاده شد. در مورد ساعت آفتابی، به دلیل نواقص موجود در آمار مربوطه، دوره مورد بررسی محدود به ۲۰۱۷-۱۹۹۲ میلادی گردید. ناهمگنی های غیر اقلیمی در مقیاس های فصلی و سالانه استخراج و به روش های آماری برطرف

میانگین دمای کمینه هوای کشور به ترتیب $(\pm 0/8)$ و $10/1$ ، $(\pm 0/5)$ و $9/6$ و $(\pm 0/7)$ و $10/6$ درجه سانتیگراد می باشد که در دوره‌های ۶۰ ساله و ۳۰ ساله های آن، به ترتیب با آهنگ‌های $(0/41)$ ، $(0/28)$ و $0/34$ و $(-0/11)$ ، $(-0/12)$ و $(0/60)$ ، $(0/25)$ و $0/53$ سانتیگراد بر دهه افزایش یافته است. رحیم زاده (۱۳۹۳) مقدار نرخ افزایش را برای این متغیر برای دوره ۲۰۱۰-۱۹۶۰ حدود $0/5$ - $0/4$ درجه سلسیوس بر دهه برآورد نموده است.

- میانگین دمای کمینه هوای کشور در تمام فصول به ویژه در پاییز و زمستان دارای روند افزایشی بوده است که در برخی از ایستگاهها نرخ افزایشی دمای کمینه تا ۴ برابر (رشت، زنجان) بیشتر از نرخ افزایشی دمای بیشینه بوده است. با توجه به نرخ افزایشی شدیدتر دمای کمینه نسبت به دمای بیشینه، میزان تغییرات شبانه روزی دما کاهش یافته است. رحیم زاده (۱۳۸۷) نیز در بررسی متغیرهای اقلیمی طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۶۱ در مقیاس فصلی و سالانه نشان داد که روند میانگین دمای کمینه، دمای بیشینه و میانگین دما در اغلب نقاط کشور حالت افزایشی داشته است.
- میانگین سرعت باد در مقیاس سالانه و فصلی در بسیاری از نقاط کشور علاوه بر نوسانات شدید دارای روند افزایشی بوده است که این روند در اغلب ایستگاههای واقع در غرب، مرکز و نیمه شمالی کشور معنی دار می باشد.
- نتایج حاصل از بررسی آماری روند میانگین رطوبت نسبی نشان داد که اغلب نقاط کشور شاهد کاهش رطوبت طی دوره فوق بوده اند. البته در مقیاس سالانه در مواردی مانند گرگان و رشت افزایش مشاهده شده است که معنی دار نیست. بیشترین روند کاهش رطوبت در مقیاس سالانه در جنوب غرب و غرب کشور مشاهده می شود.
- بررسی روندهای فصلی و سالانه میانگین تعداد ساعات آفتابی در اغلب ایستگاهها در دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۲ میلادی حاکی از افزایش تعداد ساعات آفتابی

دادند روند بارش ۴۱ ایستگاه در سراسر ایران طی دوره ۱۳۴۵-۱۳۸۴ منفی بوده است. محمدی (۱۳۹۰) نیز نشان داد که اگرچه در سری های زمانی میانگین ایستگاهی و یاخته ای بارش ایران، روند افزایشی یا کاهشی معنی داری در سطوح اطمینان ۹۹٪ و ۹۵٪ وجود ندارد ولی میانگین ایستگاهی بارش ایران به طور متوسط در هر سال $0/64$ میلیمتر و میانگین یاخته ای بارش ایران نیز در حدود $0/5$ میلیمتر کاهش یافته است. علیجانی و همکاران (۱۳۹۱) نیز نشان دادند روند بارش سالانه شاهد کاهشی معنا دار در ۱۱ ایستگاه از مجموع ۴۴ ایستگاه مورد مطالعه این پژوهشگران بوده است.

- در دوره ۶۰ ساله ۲۰۱۷-۱۹۵۸ و دوره های ۳۰ ساله ۱۹۸۷-۱۹۵۸ و ۲۰۱۷-۱۹۸۸ میلادی، میانگین دمای هوای کشور به ترتیب $(\pm 0/7)$ ، $17/5$ ، $(\pm 0/5)$ و $17/1$ و $(\pm 0/7)$ درجه سانتیگراد می باشد که در دوره ۶۰ ساله با آهنگ $(0/35)$ ، $(0/19)$ و $0/27$ درجه و در دوره های ۳۰ ساله به ترتیب با آهنگ $(0/25)$ ، $(-0/20)$ و $0/3$ و $(0/63)$ ، $(0/25)$ و $0/55$ درجه سانتیگراد بر دهه افزایش یافته است (با روش رگرسیون دو متغیره ارتفاع و عرض جغرافیایی).
- میانگین دمای بیشینه کشور در دوره ۶۰ ساله و ۳۰ در دوره های ۳۰ ساله، به ترتیب $(\pm 0/8)$ ، $24/9$ ، $(\pm 0/8)$ و $24/6$ و $(\pm 0/8)$ درجه سلسیوس است. دمای بیشینه، در اکثر ایستگاهها به ویژه در جنوب غرب و ایران مرکزی، دارای روند صعودی است. میانگین نرخ افزایش دمای بیشینه کشور در دوره ۶۰ ساله و ۳۰ ساله اول و دوم، به ترتیب $(0/30)$ ، $(0/08)$ و $0/20$ و $(0/20)$ ، $0/33$ و $(-0/06)$ و $(0/75)$ ، $(0/18)$ و $0/57$ درجه سانتیگراد بر دهه است. رحیم زاده (۱۳۹۳) برای دوره ۲۰۱۰-۱۹۶۰ میلادی نیز نشان داد که روند افزایشی میانگین دمای بیشینه سالانه دارای نرخ حدود $0/3$ - $0/2$ درجه سلسیوس بر دهه بوده است. کمترین نرخ افزایش دمای بیشینه بر دهه به مقدار $0/1$ در ایستگاه زنجان و بیشترین نرخ آن به مقدار $0/3$ درجه سلسیوس بر دهه در ایستگاه اهواز ثبت شده است.

- parameters with the aim of determining the degree of variability and change in monthly, seasonal, annual distribution at synoptic stations of the country, Project, Atmospheric Science and Meteorological Research Center, Theran, Iran.
6. Rahimzadeh, F., Nasaji Zavare, M., 2015, Trends and variability of temperature during 1961-2010 over Iran, after adjustment of non climatic inhomogeneities, Geographical Researches Quartery Journal, 29(4), pp.181-196.
 7. Rahimzadeh, F., Asgari, A., 2004, A Look at the difference between increase rates of minimum and maximum temperature and the decrease rates of diurnal temperature range (DTR) in Iran, Geographical Researches Quartery Journal, Vol. 19(2), 73. Pp.155-171.
 8. Zareabyaneh; H., Bayatvarkeshi; M., Yazdani, V., 2011, Trend analysis of annual and seasonal temperature, precipitation and drought in Hamedan province, Journal of Irrigation and water Engineering, Vol (1), pp.3-47.
 9. Salari, A., Gandomkar, A., 2012, Forecasting temperature changes in Bandar Abbas and Qeshm island using with test Man-kendall, Territory, Vol.35, pp.77-92.
 10. Alijani, B.; Roshani, Ahmad; Parak, Fateme; Heydari, Rouhollah, Trends in extreme daily temperature using climate change indices in Iran, Geography and environmental Hazards, 2012, Vol 1(2), pp.17-28.
 11. Asakareh, H., Kriging, 2008, Application in Climatic Element Interpolation A Case Study: Iran Precipitation in 1996.12.16, Geography and Development Iranian Journal, 6(12), pp.25-42.
 12. Azizi, G., Rowshani, M., 2009, An analysis of concepts and effects of climate change on temperature and rice cultivated calendar in Gilan, Studies of human settlements planning, No. 8, pp.143-155.
 13. Alijani, B., Mahmoudi, P., Ghogan, A. J., 2012, A Study of Annual and seasonal Precipitation Trends using a Nonparametric Method (Sens Estimatro), Journal of Climate Research, Vol.3, Nob. 9, pp.106-101.
 14. Farokhnia, A., Morid, S., 2014, Assessment of the Effects of Temperature and Precipitation Variations on the Trend of River Flows in Urmia Lake Watershed, No. 25(3), pp.86-97.
 15. Ghiami Shomami, F., Marofi, S., Sabziparvar, A. A., Zare Abyane, H., Heydari, M., 2011, Detection of climate change using air temperature series in the west of Iran, هستند که در مقیاس سالانه در ایستگاههای واقع در شمال، شمال شرق و مرکز کشور معنی دار می باشد و در سایر مناطق به لحاظ آماری معنی دار نیستند. میانگین تعداد ساعات آفتابی کشور با نرخ ۴/۶۵ ساعت بر سال (معادل ۱۳۰ ساعت در طی دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۲ میلادی) افزایش یافته است. در میان فصول سال، بیشترین روند افزایش تعداد ساعات آفتابی در فصل زمستان (باشیب ۲/۶ ساعت در سال) رخ داده است. چنین شرایطی استفاده از منبع انرژی تجدیدپذیر انرژی خورشیدی در تولید برق و سایر مصارف انرژی را با توجه به محدودیت های آینده در استفاده از سوخت های فسیلی را، تایید می کند.
- در بررسی تعداد روزهای ابری در دوره مورد بررسی، روندهای کاهشی، افزایشی و ایستا در فصول مختلف مشاهده شد. در مقیاس سالانه در اکثر مناطق کشور به استثناء گرگان و ارومیه، روند کاهشی معنی دار مشاهده می شود؛ بعضی از ایستگاهها مانند مشهد، بابلسر، بندرعباس، شیراز، رشت، یزد و آبادان نیز فاقد روند می باشند.

منابع

1. Ebrahimi, H., Alizadeh, A., Javanmard, S., 2006, The study of Temperature variation in the plain of Masshad as the index of Climate Change in the region, Geographical Researches Quartery Journal, 75, pp.5-18.
2. Azarakhshi, M., Farzadmehr, J.; Eslah; M., Sahabi, H., 2013, An Investigation on Trends of Annual and Seasonal Rainfall and Temperature in Different Climatologically Regions of Iran Journal of Range and watershed management, Volume & Issue: Volume 66, , Page 1-165, 1-16
3. Ahmadi, M., Lashkari, H., Keykhosravi, Gh., Azadi, M., 2015, Etection Of Climate Change With Extreme Temperature Indices In Great Khorasan, Geography, Vol.13, No.45, pp.53-75.
4. Rahimzadeh, F., 2007, Study of Extreme Values over Iran, Research Project, Atmospheric Science and Meteorological Research Center, Theran, Iran.
5. Rahimzadeh, F., Khazaei, M., Nikpour, N., 2008, Statistical analysis of climate

- climate extremes. *Climate Change*, 42, pp.31-43.
25. IPCC, 2013, Summary for Policymakers, *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change In: Stocker TF, Qin D, Plattner G. K., Tignor M., Allen SK et al. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and new York, NY, USA.
 26. Onyutha, C.; Tabari, H.; Taye, M.T.; Nyandwaro, G.N., Willems, P., 2015, Analyses of rainfall trends in the Nile River Basin, *Journal of Hydro-environment Research*, doi: 10.1016/j.jher.2015.09.002.
 27. Paulhus J. L.H., Kohler M. A., 1952, Interpolation of missing precipitation records. *Month. Weath. Rev.*, 80, pp.129-133.
 28. Patra, J.P.; Mishra, A.; Singh, R., Raghuwanshi, N.S., 2012, Detecting rainfall trends in twentieth century (1871-2006) over Orissa State, India, *Climatic Change*, 111(3), pp. 801-817.
 29. Rahimzadeha, F., Nassaji Zavareh, M., 2013, Effects of adjustment for non-climatic discontinuities on determination of temperature trends and variability over Iran, *International Journal of Climatology*.
 30. Rhyns Burger, D., 1973, Analytic delineation of Thiessen, polygons. *Geographical Analysis*, 5(2), pp.133-144.
 31. Thiessen, A. H., 1911, Precipitation averages for large areas. *Monthly weather review*, 39(7), pp.1082-1089.
 32. Rahimi, M. Hejabi, S., 2018, Spatial and temporal analysis of trends in extreme temperature indices in Iran over the period 1960–2014, *International Journal Of Climatology*, pp. 272-282.
 33. Tabari, H.; Taye, M.T., Willems, P., 2015, Statistical assessment of precipitation trends in the upper Blue Nile River basin, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 29(7), pp.1751-1761.
 34. Tabari, H. Hosseinzadeh Talaei, P., 2011, temporal variability of precipitation over Iran: 1966–2005, *Journal of Hydrology*, 396, pp. 313-320.
 35. Vincent, L.A., X. Zhang, B.R. Bonsal, Hogg, W.D., 2002, Homogenization of daily temperatures over Canada, *J. Climate*, 15, pp.1322-1334.
 - Journal of Irrigation and water engineering, No.2 (2).pp.10-25.
 16. Mohammadi, B., Trend Analysis of annual rainfall over Iran, 2011, *Geography and Environmental planning Journal*, No.22, 95-106.
 17. Masoodian, A., 2004, Temperature Trends in Iran during the Last Half Century, *Geography and Development Iranian Journal*, Vol. (2), No. 4, 89-106.
 18. Noorian, A., Rahimzadeh, F., Sedagatkardar, A., 2008, warming in the country and its consequences on other parameters of climate in the period of 1951-1951, 3th *Water Resource Management Conference*, Tabriz, Iran.
 19. Barnett, V. and Lewis, T., 1994, outliers in statistical data. John Wiley & Sons, 3rd edition. Mestre O, Domonkos P, Picard F, Auer I, Robin S, Lebarbier E, Bohm R, Aguilar E, Guijarro J, Vertachnik G, Klancar M, Dubuisson B, Stepanek P. 2013. HOMER: a homogenization software – methods and applications. *Idojaras, Quart. J. Hungarian Meteorol. Ser.* 117 (1), pp. 47–67
 20. Brunet, M.; Saladie, O; Jones, P.D.; Sigo, J.; Aguilar, E.; Moberg, A.; Lister, D.H.; Walther, A.; Lopez, D.; Almarza, 2006, The development of a new dataset of Spanish daily adjusted temperature series (SDATS) (1850-2003), *International Journal of Climatology*, Vol. 26, pp. 1777-1802.
 21. Collins, J. M., Chaves, R. R., Marques, V. D. S., 2009, Temperature variability over South America. *Journal of Climate*, 22, pp. 5854–5869.
 22. Caloiero, T., Coscarelli, R., Mancini, M., 2011, Trend detection of annual and seasonal rainfall in Calabria (Southern Italy) *International Journal Of Climatology*, *International Journal of Climatology*. 31, pp. 44–56.
 23. Domroes, M., Kaviani, M., Schaefer, D., 1998, An analysis of regional and intra-annual precipitation variability over Iran using multivariate statistical methods. *Theoretical and Applied Climatology*, 61(3-4), pp.151-159.
 24. Folland, C., Coauthors, 1999, Workshop on indices and indicators for climate extremes, Asheville, NC, USA, 3-6 June 1997, Breakout group C: Temperature indices for