



واکای عناصر هواشناسی ایستگاه‌های شمال شرق کشور، به‌عنوان نمایه‌ای از تغییر اقلیم

محمود احمدی^۱، حسن لشکری^۲، قاسم کیخسروی^{۳*} و مجید آزادی^۴

^۱استادیار گروه اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم‌زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران
^۲دانشیار گروه اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم‌زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران
^۳دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم‌زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران
^۴دانشیار گروه هواشناسی، پژوهشکده هواشناسی، سازمان هواشناسی، تهران

تاریخ پذیرش: ۹۴/۲/۵

تاریخ دریافت: ۹۳/۳/۲۱

Weather Elements Monitoring in North-East Stations of Iran as a Profile of Climate Change

Mahmoud Ahmadi,¹Hasan lashkari,²Ghasem Keikhosravi^{3*} & Majed Azadi⁴

¹Assistant Prof., Department of Climatology, Faculty of Earth Science, University of Shahid Beheshti, Tehran

²Assistant Prof., Department of Climatology, Faculty of Earth Science, University of Shahid Beheshti, Tehran

³Phd Student in Climatology, Faculty of Earth Science, University of Shahid Beheshti, Tehran

⁴Assistant Prof., Department of havashenasi, Orgnization havashenasi, Tehran

Abstract

Climate change with changing climate patterns and confounds Ecosystems discipline, imports Serious consequences on the environment. Changes in weather patterns Could lead to severe flooding, extreme heat or cold, more frequent droughts. Each of these phenomena could Put at risk the regional food reserves. North east of Iran due to the large area has very varied natural conditions and each of the areas included specific natural features. The extent of the area and factors such as mountains rising, desert areas, stay away from the water zones and different winds lead to variety of weather in each of those area. Based on the results if the man-kendall test and AHP model in north east of Iran, climatic elements with ascending trend (82.25%) much more than climatic elements with descending trend (35.5%) affect on climate change in north east of Iran. Areas that experience most climate changes due to descending elements (number of frost days, average moisture, the number of days with snowfall, 24-hour rainfall, annual precipitation) is seen in the South and South east of region. Climatic elements with ascending trend (The average temperature, the minimum temperature, the maximum temperature, hours of sunshine) cover most extent of this region. Only Ghochan and Sabzevar stations demonstrate the least climate changes.

Keywords: Climate Change, North-East of Iran, Man-Kendall Test, Analytic Hierarchy Process (AHP) Model.

چکیده

تغییرات آب و هوایی با تغییر الگوهای اقلیمی و به هم ریختن نظم اکوسیستم‌ها، تأثیرات جدی بر محیط‌زیست دارد. تغییر در الگوهای آب و هوایی می‌تواند به وقوع سیل‌های شدید، گرما و سرماهای شدید، تکرار بیشتر خشکسالی‌ها و گرم شدن جهانی هوا منجر شود. حتی هر یک از این پدیده‌ها می‌تواند ذخایر غذایی یک منطقه را نیز در معرض خطر قرار دهد. شمال‌شرق کشور به سبب وسعت زیاد از شرایط طبیعی بسیار متنوعی برخوردار بوده و هر یک از نواحی آن دارای ویژگی‌های طبیعی خاصی می‌باشد. گستردگی منطقه و عواملی مانند وجود رشته کوه‌های مرتفع و مناطق کویری، دوری از پهنه‌های آبی و وزش بادهای مختلف موجب گوناگونی آب و هوا در هر یک از مناطق آن گردیده است. بر اساس نتایج حاصل از آزمون من-کندال و مدل AHP در شمال شرق کشور، عناصر اقلیمی با روند صعودی (۸۲/۲۵ درصد) خیلی بیشتر از عناصر اقلیمی با روند نزولی (۳۵/۵ درصد) در تغییرات اقلیمی شمال شرق ایران سهیم بوده‌اند. مناطقی که بیشترین تغییرات آب و هوایی را از لحاظ عناصر هواشناسی با روند نزولی (تعداد روزهای یخبندان، متوسط رطوبت، تعداد روزهای برفی، بارش ۲۴ ساعته، بارش سالانه) تجربه می‌کنند. در قسمت‌های جنوب و جنوب‌شرقی منطقه مشاهده می‌شوند. عناصر اقلیمی با روند افزایشی (متوسط دما، دمای حداقل، دمای حداکثر، ساعات آفتابی)، بیشترین وسعت منطقه را پوشش می‌دهند. در این میان فقط ایستگاه‌های قوچان، سبزوار، دچار کم‌ترین تغییرات آب و هوایی می‌باشند.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، شمال شرق ایران، من - کندال، مدل فرایند سلسله مراتبی.

* Corresponding Author. E-mail Address: Gh_keikhosravi@sbu.ac.ir

فعالیت اصلی اقتصادی استان، کشاورزی و فعالیت‌های مرتبط با آن است که به شدت به شرایط آب و هوایی منطقه وابسته است. با توجه به این که تغییر اقلیم در بخش‌های مختلف منطقه مورد مطالعه (به دلیل موقعیت جغرافیایی منطقه نسبت به گردش عمومی جو (سامانه‌های سیاره‌ای)، توپوگرافی، خصوصیات فیزیکی زمین (دشت‌ها، بیابان‌ها، ارتفاعات، و جهت ارتفاعات و فاصله از منابع رطوبتی) ممکن است متفاوت باشد، برای آن که بتوان از هر رژیم اقلیمی حداکثر بهره اقتصادی را ببریم، لازم است قبل از برنامه‌ریزی، عناصر آب و هوایی و میزان تغییرات آن را در دوره‌های مختلف بررسی نموده تا بتوان با شناخت اثر وضعیت جوی، بیشترین بازده اقتصادی را از انواع فعالیت‌های اقتصادی، کشاورزی و ... داشته باشیم.

به دنبال طرح جدی مساله تغییر اقلیم ناشی از فعالیت‌های بشر، ضرورت مطالعاتی در این زمینه در کشور بیش از پیش احساس گردید. در این راستا در اواسط دهه ۷۰ میلادی مطالعاتی به منظور آشنایی با مفاهیم اصلی تغییر اقلیم انجام شده است.

ابراهیمی و همکاران در بررسی تغییر اقلیم در دشت مشهد، به مطالعه تغییر اقلیم و گرم شدن کره زمین و تغییرات درجه حرارت در طول دوره‌های آماری دراز مدت پرداختند. در این پژوهش روند تغییرات درجه حرارت با روش رگرسیون و من کندال و لتن مایر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج پژوهش نشان داد که روند تغییرات دمای هوا در آغاز ماه‌ها مثبت و افزایشی بوده و می‌توان از این تغییرات به عنوان نمایه‌ای از تغییر اقلیم نام برد [۳].

عزیزی و همکاران با داده‌های ماهانه ۱۶ متغیر اقلیمی در دو گروه متغیرهای دما و رطوبت در نیمه غربی ایران، طی دوره ۵۰ ساله مبتنی بر تحلیل آماری چند متغیره و مدل‌های پیش بینی باکس جنکینز به بررسی تغییر اقلیم پرداختند. با توجه به محاسبه‌های صورت گرفته بر روی داده‌ها، متغیرهای دمایی به ویژه میانگین حداقل دما، حداقل مطلق و دمای نقطه شبنم دارای روند تغییرات معنی‌دار ولی با جهت‌های متفاوت بوده، در حالی که داده‌های رطوبت و بارش غالباً از روند تغییرات معنی‌داری برخوردار نبودند [۴].

دانش کار آراسته و شکوهی برای بررسی رخداد تغییر اقلیم در ایران از دو سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای بارش ماهانه و میانگین دمای ماهانه، هر کدام شامل ۶۹۶ تصویر از

اقلیم امروز یک مساله جهانی است که مورد توجه سیاستمداران، اقتصاددانان، دانشمندان، محققان، کشاورزان و دامداران می‌باشد، چرا که تغییر اقلیم بر بسیاری از پدیده‌ها، عناصر و محیط‌زیست اطراف ما هم‌چون اقتصاد، انرژی، کشاورزی، منابع آب، زندگی شهری، حمل و نقل، بهداشت و سلامت موثر است. به منظور بررسی پدیده تغییر اقلیم و عواقب مرتبط به آن در سال ۱۹۸۸ هیات بین‌الدول برای تغییر اقلیم به وسیله سازمان جهانی هواشناسی و برنامه محیط‌زیست سازمان ملل پایه‌گذاری شد.

تغییرات دما موضوعی است که امروزه مطالعات بی‌شماری را به خود اختصاص داده است. سناریوی گرمایش جهانی یکی از سناریوهای مطرح در سطوح ملی، منطقه‌ای و جهانی می‌باشد. در حال حاضر سرعت بالارفتن دما نسبت به گذشته افزایش چشم‌گیری داشته است. نتیجه تحقیقات نشان می‌دهد هر ساله تراز آب اقیانوس‌ها در اثر آب شدن یخچال‌ها، در حال افزایش است و حتی اگر مصرف تمام سوخت‌های فسیلی نیز پایان یابد، افزایش تراز آب اقیانوس‌ها به دلیل تغییر اقلیم اتفاق خواهد افتاد [۱].

بارش یک عنصر غیر ترمودینامیک بوده و تغییرات زمانی و مکانی قابل ملاحظه‌ای به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک دارد. تغییر دما نیز به نوبه خود باعث تغییرات فیزیکی، شیمیایی و زیست‌محیطی بر روی زیست‌کره و نیز باعث ایجاد تغییرات بارش می‌شود. به دنبال پدیده گرم شدن زمین، الگوی بارش جهانی نیز تغییر خواهد کرد. تغییر الگوی بارش متاثر از تغییر تبخیر و دگرگونی الگوی گردش عمومی است که به دنبال آن برخی نواحی مرطوب‌تر و بعضی دیگر خشک‌تر می‌شود. علاوه بر مقدار ریزش، زمان بارش و نوع آن نیز دگرگونی می‌پذیرد. روند بارش و دما در کل جهان یک سویه نیست. تغییرات آب و هوا الزاماً به معنای تغییرات بارش و دما نمی‌باشد. احتمالاً بارش در عرض‌های بالا در فصول سرد تمرکز بیشتری پیدا می‌کند [۲].

شمال شرق کشور را استان پهناور خراسان بزرگ در بر گرفته است که به سبب وسعت زیاد از شرایط طبیعی بسیار متنوع برخوردار بوده و هر یک از نواحی آن دارای ویژگی‌های طبیعی خاصی می‌باشد. گستردگی استان و عواملی مانند وجود رشته کوه‌های مرتفع و مناطق کویری، دور از پهنه‌های آبی و وزش بادهای مختلف موجب گوناگونی آب و هوا در مناطق آن گردیده است.

دادند و افزایش فراوانی در وقوع سال‌های خشک و تر را مشاهده کردند. بر اساس نتایج تحقیق با وجود روند معنی‌دار در بارش فصلی و درون سالی در میانگین بارش سالانه، روند با اهمیتی مشاهده نگردید، در حالی که بارش سالانه یک افزایش کلی را نشان می‌داد [۸].

فرانکزیک و هی جان چانگ در سال ۲۰۰۹ به مطالعه اثرات تغییر اقلیم و شهرنشینی در حوضه جبل الطارق از سال ۱۹۷۳ تا ۲۰۰۲ پرداختند و به این نتیجه رسیدند که متوسط دمای سالانه ۱/۲ درجه سانتی‌گراد و بارش ۲ درصد در منطقه افزایش داشته است. این در حالی است که در فصل تابستان حدود ۱/۶ درصد رواناب منطقه، کاهش یافته است [۹].

در مطالعاتی که توسط فولند در سال ۱۹۹۲ انجام شده، حاکی از روند افزایشی درجه حرارت کمینه در دهه‌های اخیر است. این افزایش دمای شبانه عمدتاً در کشورهای امریکا، چین و استرالیا مشاهده شده است [۱۰].

در مطالعه‌ای که توسط کریشنامورتی و شوکلا (۱۹۹۹) در مورد خشک‌سالی صورت گرفته، تغییرپذیری فصلی و سالانه بارندگی هند مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق داده‌های ۳۷۰۰ ایستگاه مطالعاتی مورد استفاده و تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مشخص گردید که سال‌های با خشکی شدید همراه با آنومالی بارندگی منفی در مقیاس بزرگ، برای کل هند در تمام فصل موسمی دوام داشته و تغییرپذیری فصلی بارندگی نیز در طول فصل موسمی با وقوع دوره‌های برگشتی مشخص می‌شود.

رابطه بین ال نینو و خشکسالی نیز از مطالعات جدیدی است که مورد توجه محققان قرار گرفته است [۱۱].

در تحقیق دیگری که توسط اسمیت (۲۰۰۲) در مورد خشک‌سالی و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی صورت پذیرفته، این پدیده در جنوب فلوریدای ایالات متحده آمریکا بررسی شده است. در طول زمستان و بهار سال ۲۰۰۱ میلادی در جنوب فلوریدا، یکی از بدترین و شدیدترین خشک‌سالی‌ها در تاریخ ثبت شده است. در این مطالعه سعی شده از داده‌ها و اطلاعات به صورتی مداوم در سراسر دوره‌های خشک‌سالی جهت مدیریت منابع آبی و کاهش اثرات اکولوژیکی خشک‌سالی استفاده شود [۱۲].

سیلاگی (۲۰۰۱) طی تحقیقاتی در کشور ایالات متحده آمریکا به کمک اطلاعات هواشناسی ۲۱۰ ایستگاه، به این نتیجه رسید که تبخیر - تعرق واقعی در طول دوره آماری ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ افزایش معنی‌داری داشته است. میانگین تبخیر - تعرق

ژانویه ۲۰۰۷ استفاده کردند. ایشان با استفاده از این تصاویر، تغییرات مکانی و زمانی این دو متغیر اقلیمی را مورد بررسی قرار دادند. هم‌چنین ایشان برای سنجش وجود یا عدم وجود تغییرات اقلیمی در سطح کشور از آزمون من-کندال بهره گرفتند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که در دوره زمانی مورد مطالعه، کشور روند صعودی دما را در سطح معنی‌دار ۹۹ درصد داشته و نواحی مختلف کشور نیز دستخوش تغییرات معنی‌دار بارش در سطوح مختلف بوده است، به طوری که نواحی شمال، شمال غرب، جنوب و جنوب شرق روند نزولی بارش ماهانه را تجربه کرده‌اند. از آن جایی که تغییرات بارش، دوره و شدت سیلاب‌ها و خشک‌سالی‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد، بنابراین آن‌ها روند تغییرات جریان در سطح حوضه‌های آبریز درجه دوی کشور را بررسی کرده و نتایج را برای حوضه‌های درجه یک کشور ارزیابی کردند. نتایج این بررسی نشان داد که روند کاهشی در جریان حوضه‌ها وجود داشته و تغییرات اقلیمی در ایران رخ داده است [۵].

بابایان و همکاران در مطالعه‌ای به ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره‌ی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریز مقیاس‌نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو پرداختند. نتایج نشان‌دهنده کاهش ۹ درصدی بارش در کل کشور، افزایش آستانه بارش‌های سنگین و خیلی سنگین به ترتیب ۱۳ و ۳۹ درصد و افزایش میانگین سالانه دما به میزان ۰/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که بیشترین افزایش ماهانه دما مربوط به ماه‌های سرد سال است. استان‌های خراسان شمالی، آذربایجان غربی و شرقی با بیشترین افزایش دما در دهه ۲۰۲۰ مواجه خواهند بود [۶].

سرابیان و نیک پور در مقاله‌ای درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای را در ایران مشخص کردند. در ایران ۷۷ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به بخش انرژی، ۸ درصد آن مربوط به بخش جنگل، ۷ درصد مربوط به بخش کشاورزی، ۶ درصد مربوط به بخش صنعت و ۲ درصد آن مربوط به مواد زاید می‌باشد [۷].

علاوه بر فعالیت‌های بین‌المللی و توافقات جهانی در زمینه اقلیم و تغییرات آن، در سال‌های اخیر و به دنبال گزارشات مربوط به افزایش گازهای گلخانه‌ای و درصد آن‌ها، CO₂ و تغییرات اقلیمی مطالعاتی در سطح جهانی و منطقه‌ای توسط محققین و دانشمندان انجام شده است که به موارد زیر اشاره می‌شود:

لافلین و همکاران در سال ۲۰۰۲ تغییرات اقلیمی را با تحلیل واریانس بارندگی‌های فصلی و سالانه مورد آزمون قرار

افزایش محصول گندم زمستانه در شمال چین ۱۳ درصد (تحت سناریو انتشار B2) و ۱۹ درصد (تحت سناریو انتشار A2) و مربوط به سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ خواهد بود. ۶ درصد افزایش در تبخیر و تعرق و ۱۰ و ۷ درصد افزایش بهره‌وری آب به ترتیب تحت سناریوهای A2 و B2 از دیگر نتایج به دست آمده است. در مورد ذرت محصول به میزان ۱۵ و ۱۲ درصد تحت سناریوهای A2 و B2 کاهش و تبخیر و تعرق تا سال ۲۰۰۵ بیش از ۱۰ درصد افزایش خواهد داشت که منجر به کاهش ۲۵ درصدی بهره‌وری آب تحت دو سناریوی مذکور می‌گردد [۱۸].

در مطالعه‌ای که هارمسن و همکاران (۲۰۰۹) انجام دادند، تخمینی از بارش، تبخیر و تعرق مرجع، کمبود بارش (بارش منهای تبخیر و تعرق مرجع) و کاهش عملکرد نسبی محصول را برای یک گیاه تحت شرایط تغییر اقلیم برای سه منطقه در پورتوریکو به نام‌های اجانتاس، مایاگو و لاجاس به دست آوردند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که میانگین ۲۰ ساله مازاد بارش سپتامبر در همه سناریوها و مناطق از ۱۲۱ تا ۳۲۱ میلی‌متر بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ افزایش و به طور عکس میانگین ۲۰ ساله کمبود بارش فوریه از ۲۷- تا ۷۷- میلی‌متر بین ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ تغییر داشته است [۱۹].

میلر در سال ۲۰۰۴ با در نظر گرفتن شرایط تغییر اقلیم در حوضه‌های رودخانه‌های ایالت کالیفرنیا آمریکا پیش‌بینی کردند که تا پایان قرن حاضر ذوب برف هر سال زودتر آغاز می‌گردد و ذخایر برف زمستانه به میزان ۵۰ درصد کاهش می‌یابد [۲۰].

مدرس و سیلوا در سال ۲۰۰۷ روندهای بارش را در مناطق خشک و نیمه خشک ایران مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در تحقیق خود از سری‌های زمانی بارش سالانه، تعداد روزهای بارانی در هر سال و بارش ماهانه ۲۰ ایستگاه استفاده نمودند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که روندهای افزایشی و کاهش‌ی در بارش سالانه وجود دارد و فقط برای دو ایستگاه سبزوار و زاهدان این روندها از لحاظ آماری به وسیله آزمون من - کندال با احتمال ۹۵ درصد و ۹۹ درصد تایید شدند. همچنین به استثنای ایستگاه‌های کاشان و تربت، روند مهمی از لحاظ آماری در متوسط تعداد روزهای بارانی در هر سال وجود ندارد. از طرفی آن‌ها دریافتند که از لحاظ بارش سالانه در بخش‌های شمالی محدوده ایران روند افزایشی و در بخش جنوبی روند کاهش‌ی وجود دارد و در بارش ماهانه روندهای مشاهده شده در طول فصول زمستان و بهار ارزشمند بوده و یک حرکت فصلی از تمرکز بارش را

واقعی برای کلیه ایستگاه‌ها افزایشی در حدود ۳ درصد در طول دوره آماری را نشان می‌دهد. بیشترین میزان افزایش در ناحیه شرقی و پس از آن در بخش مرکزی اتفاق افتاده، لیکن در بخش غربی میزان تبخیر- تعرق واقعی ثابت بوده است [۱۳].

باین و همکاران در سال ۲۰۰۲ به بررسی تغییرات اقلیمی در حوضه رودخانه کلمبیا با استفاده از مدل RCM پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که تغییر اقلیم باعث افزایش دمای ۱/۲ درجه سانتی‌گراد و کاهش بارش به میزان ۳ درصد خواهد شد و افزایش رواناب در زمستان و کاهش آن در سایر فصول را پیش‌بینی کردند [۱۴].

چانگ چان و همکاران در سال ۲۰۰۷ به بررسی اثر تغییر اقلیم بر دما، بارش و سطح پوشش برف و روند تغییرات آن‌ها در حوضه رودخانه تاریم چین پرداختند. نتایج نشان داد که افزایش جهشی در دما و بارش در اواسط دهه ۱۹۸۰ با استفاده از روش‌های تعیین روند ناپارامتریک مشاهده می‌شود ولی تغییر سطح پوشش برف قابل توجه نیست [۱۵].

مطالعات انجام شده در سودان توسط علاءجیب و مان سل در سال ۲۰۰۰ نشان می‌دهد در تمام مناطق به جزء منطقه شمالی، متوسط درجه حرارت سالانه روند افزایشی معنی‌داری داشته است، به نحوی که از دهه ۱۹۴۰ تا ۲۰۰۰ متوسط درجه حرارت سالانه، افزایشی بین ۰/۸ تا ۰/۲ درجه سانتی‌گراد را در هر دهه دارا بوده است [۱۶].

برنز و همکاران در سال ۲۰۰۷ روندهای اقلیمی و اثرات آن‌ها را بر منابع آب در حوضه کوهستان کاتس کیل در نیویورک آمریکا مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در تحقیق خود از آزمون ناپارامتریک من - کندال برای محاسبه روندهای سالانه، ماهانه و چند ماهه دما، میزان بارش، رواناب حدی و تبخیر- تعرق پتانسیل در ناحیه مورد مطالعه در طول سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۵۲ بر مبنای داده‌های ۹ ایستگاه دماسنجی، ۱۲ ایستگاه باران سنجی و هشت ایستگاه اندازه‌گیری سیلاب استفاده کردند. نتایج تحقیق این افراد نشان داد که یک الگوی افزایشی دما، بارش، رواناب و تبخیر و تعرق پتانسیل در ناحیه وجود دارد. همچنین متوسط دمای هوای سالانه منطقه‌ای با اندازه ۰/۶ درجه در طول ۵۰ سال از دوره مورد بررسی افزایش یافته است که بزرگترین افزایش‌ها و بیشترین تعداد روندهای صعودی مهم در حداقل دمای هوای روزانه وجود دارد [۱۷].

مو و همکاران (۲۰۰۹) به ارزیابی تاثیر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق، بهره‌وری آب و عملکرد گندم و ذرت در شمال چین پرداختند. نتایج نشان داد که بیشترین میزان

ایستگاه‌ها بیشتر باشد، نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آمار و اطلاعات دقیق تر می‌باشد.

در بررسی‌های اولیه مبنای انتخاب ایستگاه‌های هواشناسی طول دوره آماری قرار گرفته است، یعنی ایستگاه‌هایی که دارای دوره آماری طولانی‌تری باشند، به عنوان ایستگاه‌های مورد مطالعه انتخاب می‌شوند. جدول شماره ۱ مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی در شمال شرق ایران

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع
بجنورد	۵۷/۱۸	۳۷/۲۹	۱۱۱۲
قوچان	۵۸/۴۵	۳۷/۱۱	۱۲۸۷
گلمکان	۵۹/۱۷	۳۶/۲۹	۱۱۷۶
مشهد	۵۹/۳۸	۳۶/۱۶	۹۹۹/۲
سبزوار	۵۷/۳۹	۳۶/۰۱	۹۷۲
ترت حیدریه	۵۹/۳۹	۳۵/۱۶	۱۴۵۰/۸
کاشمر	۵۸/۲۸	۳۵/۱۲	۱۱۰۹/۷
گناباد	۵۸/۴۱	۳۴/۲۱	۱۰۵۶
فردوس	۵۸/۱۱	۳۴/۰۱	۱۲۹۳
طیس	۵۶/۵۷	۳۳/۳۶	۷۱۱
بیرجند	۵۹/۱۷	۳۲/۵۳	۱۴۹۱
سرخس	۶۱/۰۸	۳۲/۳۶	۲۳۵
نهبندان	۶۰/۰۲	۳۱/۳۲	۱۲۱۱
قائن	۵۹/۱۱	۳۳/۳۴	۱۴۲۲

در این تحقیق به دلایل زیر طول دوره آماری ۲۵ سال انتخاب گردید.

الف) در سال‌های اخیر به دلیل استفاده از دستگاه‌های پیشرفته، اطلاعات دریاقتی دقیق تر و کامل تر از سال‌های گذشته بوده و صحت و استاندارد بودن دیده بانی‌ها در سال‌های جدید بهتر از سال‌های قبل می‌باشد.

ب) به دلیل بیشتر بودن آمار و اطلاعات واقعی، کمتر از آمار بازسازی استفاده شده است.

ج) تعداد بیشتری از ایستگاه‌های هواشناسی در این دوره، دارای ۲۵ سال آمار بوده و از اطلاعات آن‌ها استفاده شده است.

لذا ایستگاه‌هایی که حداقل ۲۵ سال آمار دارند، بر اساس شکل شماره ۱ عبارتند از: بجنورد، مشهد، سبزوار، کاشمر، تربت حیدریه، سرخس، فردوس، بیرجند، قائن، قوچان، گلمکان، نهبندان، طیس و گناباد. طول دوره آماری از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۱ تعیین شد.

نشان می‌دهند که بیان می‌کنند تغییرات اقلیمی مهمی در مناطق خشک و نیمه خشک ایران وجود نداشته است [۲۱].

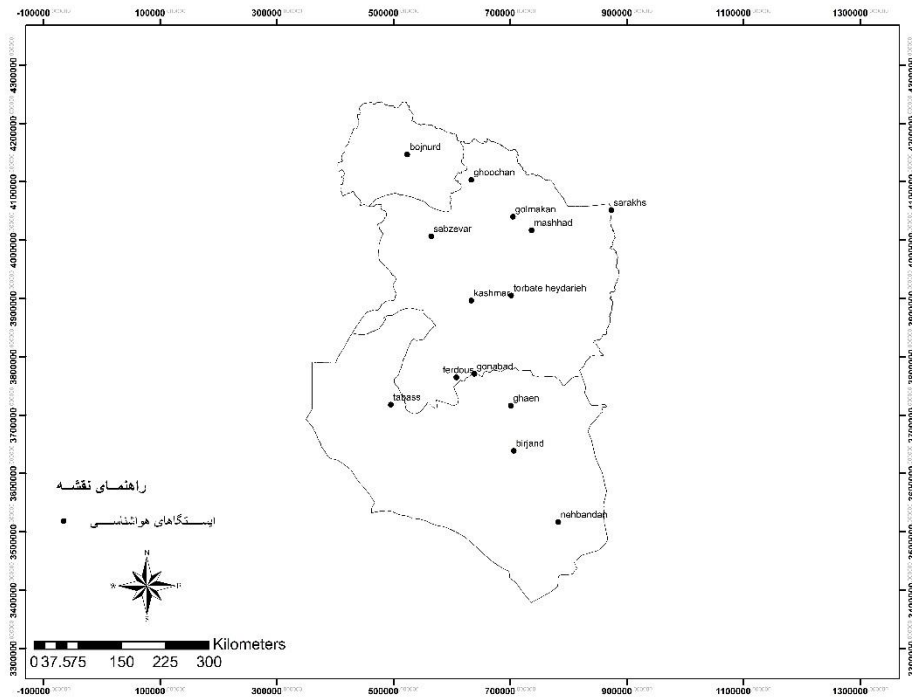
در سال ۲۰۰۸ تودیسکو و ورنی در بررسی تغییر اقلیم مرکز ایتالیا، روند افزایش کمینه دما در سه منطقه پروچا، ترنی و اسپولتو، روند افزایش بیشینه دما در اسپرلتو و روند افزایش متوسط دما در پروچا و اسپولتورا در نیم قرن گذشته ثبت نمودند [۲۲].

گو و همکاران در سال ۲۰۱۰ تاثیرپذیری بهره‌وری آب و عملکرد گندم و ذرت از تغییرات اقلیم را در شمال چین و در قرن ۲۱ بررسی نمودند. ایشان از سه سناریو انتشار A2, B2, A1B مدل گردش عمومی HadCM3 و مدل CLIGEN برای تولید داده‌های هواشناسی روزانه و از مدل گیاهی CERES برای بررسی تاثیر تغییرات اقلیمی بر گندم و ذرت استفاده نمودند. بدون در نظر گرفتن اثرات مثبت افزایش دی‌اکسیدکربن در رشد گیاهان مقادیر ۹/۸ و ۳/۲ درصد افزایش به ترتیب در میزان عملکرد گندم و ذرت حاصل شده است و در صورت افزایش غلظت دی‌اکسید کربن به ppm ۶۰۰، میزان عملکرد گندم و به ترتیب ۳۸ و ۱۲ درصد و بهره‌وری آب ۲۵ تا ۴۰ درصد افزایش خواهد داشت [۲۳].

استیل دانی و همکاران در سال ۲۰۰۸ برای بررسی اثر تغییر اقلیم بر هیدرولوژی در ایرلند، ۹ حوضه را مورد بررسی قرار دادند و در تحقیق خود از مدل اقلیمی بزرگ مقیاس ECHAM5 استفاده کردند و مدل اقلیمی منطقه‌ای RCA را برای کوچک مقیاس‌سازی دینامیکی داده‌های بارش و دما به کار بردند. در این تحقیق از مدل مفهومی بارش - رواناب برای تولید جریان رودخانه در دوره پایه ۲۰۶۰-۱۹۶۱ و دوره آینده ۲۰۶۰-۲۰۲۱ تحت سناریوی A1B استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان‌دهنده وجود یک چرخه فصلی به صورت افزایش بارش زمستانه، کاهش بارش تابستانه و افزایش دما در سراسر کشور ایرلند می‌باشد. هم‌چنین نتایج نشان داد که تمامی تغییرات مورد انتظار در متوسط جریان زمستانه و تابستانه و تغییرات در ماکزیمم سالانه متوسط جریان روزانه وابسته به خصوصیات حوضه، زمان‌بندی و بزرگی تغییرات مورد انتظار در بارش در هر حوضه است [۲۴].

۲- مواد و روش‌ها

اساس و مبنای تراز و تعدیل آماری، آمار و اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی می‌باشد که در مطالعات پتانسیل‌یابی به صورت شبکه‌ای انجام می‌شود. هر چه تراکم



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی در شمال شرق ایران

$$T_0 = \bar{T}tg \sqrt{\frac{4N + 10}{9N(N - 1)}} \quad (2)$$

در این فرمول Tg سطح معنی‌داری یا اطمینان آزمون است که در این تحقیق بر اساس سطح احتمال ۹۵ درصد آن ۱/۹۶ است. بنابراین در صورت اعمال این مقدار، مقدار آماره استاندارد من کندال برابر با می‌باشد. حال با توجه به مقدار بحرانی به دست آمده، سه حالت زیر برقرار خواهد شد:

- ۱- اگر $t > -0.21$ باشد، روند معنی‌داری در سری‌های زمانی مشاهده نمی‌شود.
- ۲- $t < -0.21$ باشد، روند معنی‌دار منفی در سری‌های زمانی مشاهده می‌گردد.
- ۳- اگر $t > +0.21$ باشد، روند معنی‌دار مثبت در سری‌های زمانی مشاهده می‌شود.

۳- نتایج و بحث

هر گونه تغییری در اقلیم ابتدا در دمای هوا و سپس در سایر عناصر اقلیمی بروز پیدا می‌کند. در نتیجه سریع‌ترین راه ممکن برای بررسی تغییرات اقلیمی که آیا تغییر اقلیم در منطقه اتفاق افتاده است یا نه، مطالعات عناصر هواشناسی می‌باشد.

جهت بررسی روند تغییرات عناصر اقلیمی شمال شرق کشور از آزمون آماری - گرافیکی من کندال استفاده شد. این آزمون ابتدا توسط من ارایه و سپس توسط کندال (۱۹۷۵) بسط و توسعه یافت. از نقاط قوت این آزمون می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی اشاره نمود که از توزیع خاصی پیروی نمی‌کنند. همچنین اثر پذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در بعضی سری‌های زمانی مشاهده می‌شود از دیگر مزایای استفاده از این روش است. لذا با توجه به توانمندی‌هایی که این آزمون در آشکار سازی تغییرات رخ داده در سری‌های زمانی متغیرهای اقلیمی دارا می‌باشد، بسیار مورد توجه محققین حوزه‌های مطالعاتی تغییر اقلیم بوده است. آزمون من کندال فرض صفر عدم وجود روند در سری‌های زمانی را بررسی می‌کند. در این راستا نقاط تغییر ناگهانی را هم شناسایی می‌کند.

برای آزمون فرض صفر عدم وجود روند، آماره کندال (t) بر اساس فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$t = \frac{4 \sum H}{N(N - 1)} - 1 \quad (1)$$

که در آن $\sum H$ فراوانی تجمعی تعداد رتبه‌هایی است که بالاتر از هر ردیف قرار می‌گیرند و N تعداد سال‌های دوره آماری است که در این تحقیق ۲۵ سال می‌باشد. آماره استاندارد کندال (T_0)، از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

۳-۱- متوسط دما، حداقل و حداکثر سالانه

دمای هوا از جمله عناصر مهم اقلیمی است که در ایجاد آن علاوه بر انرژی تابشی خورشید، عوامل دیگری مانند ماهیت فیزیکی، هدایت گرمایی، ناهموازی و جهت آفتاب‌گیری، ارتفاع سطح زمین و وزش باد و شرایط ابرناکی موثر واقع می‌شوند. تغییرات شدید دمایی پدیده‌ای نامطلوب برای زیست جانوران و گیاهان بوده و اثرات نامطلوبی نیز بر عناصر طبیعی، سازه‌ها و تاسیسات دارد. وقتی دمای هوا از حد معینی پایین می‌رود شرایط برای زیست و فعالیت مطلوب جانداران دشوار می‌شود.

نتایج حاصل از محاسبه آماره من-کندال برای ۱۴ ایستگاه هواشناسی و میانگین دمای سالانه شمال شرق ایران گویای این است که حدود ۷۹ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای تغییرات افزایشی بوده‌اند. بیشترین مقدار این تغییرات، متعلق به ایستگاه‌های فردوس (۰/۵۶۶)، قائن (۰/۵۳۹) و گناباد (۰/۵۰۹) می‌باشد. در ایستگاه‌های قوچان،

نه‌بندان و سبزوار روند معنی‌داری در سری زمانی متوسط دما مشاهده نمی‌شود.

بیشترین حالت افزایشی بین دماها، در متوسط دماهای حداقل مشاهده شده است. به طوری که جز ایستگاه‌های سبزوار و قوچان که روندی را نشان نمی‌دهند، باقی ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی می‌باشند. به ویژه این که افزایش دما عمدتاً در دمای شبانه رخ داده است. به عبارت دیگر افزایش دمای این منطقه نه به دلیل کاهش تابش‌های ورودی (که تعیین کننده دمای روزانه است) بلکه به دلیل کاهش تابش‌های خروجی (که تعیین کننده دمای شبانه است) بوده و تابش‌های خروجی به شدت متأثر از مقدار گازهای گلخانه‌ای جو می‌باشد.

روند افزایشی دماهای حداکثر بعد از دماهای متوسط و حداقل می‌باشد. در این میان ایستگاه مشهد و نه‌بندان بیشترین حالت افزایشی را از خود نشان می‌دهند.

جدول ۲- مقدار ضریب من-کندال (۱) در ایستگاه‌های شمال شرق ایران

ایستگاه	ساعات آفتابی	متوسط رطوبت	ابرناکی	برف	یخ	بارش	متوسط دما	دمای حداقل	دمای حداکثر	بارش ۲۴
بیرجند	۰/۳۸	۰/۰۹	-۰/۲۹	-۰/۱۳	-۰/۲۹	-۰/۳۲	۰/۱۵	۰/۵۱	۰/۳۹	۰/۰۳
تربت حیدریه	۰/۱۶	-۰/۲۶	-۰/۰۶	-۰/۱۷	-۰/۲۲	-۰/۲۳	۰/۳۸	۰/۴۷	۰/۳۰	-۰/۲۱
قائن	۰/۲	-۰/۰۵	-۰/۳۲	-۰/۰۷	-۰/۳۷	-۰/۲۷	۰/۵۳	۰/۶۶	۰/۳۴	-۰/۲۵
فردوس	۰/۴۵	-۰/۰۶	-۰/۲۳	-۰/۰۷	-۰/۴۶	-۰/۳۱	۰/۵۶	۰/۷۶	۰/۱۰	-۰/۱۶
قوچان	۰/۱۵	۰/۲۳	-۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۰۶	۰/۳۵	۰/۱۷
نه‌بندان	۰/۲۹	-۰/۰۴	-۰/۴۴	-۰/۲۶	۰/۰۰۷	-۰/۱۷	-۰/۰۲	۰/۵۳	۰/۴۰	-۰/۰۹
گلمکان	۰/۳۷	-۰/۶۰	-۰/۵۴	-۰/۰۹	-۰/۲۴	-۰/۰۱	۰/۴۶	۰/۵۰	۰/۳۶	۰/۲
بجنورد	۰/۲۸	۰/۳	-۰/۳۳	-۰/۰۹	-۰/۲۱	۰/۰۲	۰/۴۱	۰/۳۲	۰/۳۳	-۰/۱۳
کاشمر	۰/۱۱	۰/۳۱	-۰/۲۱	۰/۰۱	-۰/۰۹	-۰/۲۳	۰/۳۴	۰/۴۰	۰/۳۰	-۰/۱۹
گناباد	۰/۲۰	۰/۰۶	-۰/۰۹	۰/۰۹	-۰/۳۲	-۰/۲۶	۰/۵۰	۰/۶۴	۰/۳۸	-۰/۱۶
مشهد	۰/۲۵	-۰/۳۳	-۰/۳۵	-۰/۲۵	-۰/۳۲	-۰/۱۶	۰/۴۶	۰/۶۳	۰/۴۱	-۰/۱۳
سبزوار	۰/۲۸	-۰/۱۳	-۰/۱۷	-۰/۱۵	۰/۰۴	-۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۳۰	۰/۰۵
سرخس	۰/۲۸	۰/۳۱	-۰/۴۷	۰/۰۵	۰/۰۲	-۰/۰۸	۰/۴۲	۰/۵۵	۰/۳۲	۰/۰۴
طیس	۰/۲۳	-۰/۳۶	-۰/۳۳	-۰/۱۹	-۰/۱۲	-۰/۰۲	۰/۴۲	۰/۵۷	۰/۲۵	-۰/۱

۳-۱-۱- ساعات آفتابی

تابش خورشید منبع اصلی انرژی سیاره زمین و عامل اصلی کنترل حیات و آب و هوا در سطح زمین به شمار می‌آید. در صورت دریافت بیشتر و یا کمتر ساعات آفتابی، اکوسیستم‌های منطقه دچار خسارت‌های جبران ناپذیری می‌شوند.

مقدار ساعات آفتابی بر حسب موقعیت جغرافیایی و اقلیمی و تغییر عرض جغرافیایی در شمال و جنوب منطقه مورد مطالعه متفاوت است.

بر اساس نتایج آزمون من-کندال در شمال شرق کشور ۷۱ درصد ایستگاه‌های منطقه (بیرجند، فردوس، نه‌بندان، گلمکان، بجنورد، گناباد، مشهد، سبزوار، سرخس و طیس) از روند افزایشی در مقدار ساعات آفتابی برخوردارند.

۳-۱-۴- ابرناکی

میزان ابرناکی آسمان، مقدار رطوبت ورودی و درصد احتمال بارندگی را نشان می‌دهد. ابرها به شکل‌های مختلف و در ارتفاعات مختلف اتمسفر دیده می‌شوند و گوناگونی آن‌ها نتیجه شدت و سرعت تراکم بخار آب است.

مقدار ابرناکی معمولاً به صورت هجاهای هشت‌تایی (اوکتا) آسمان پوشیده شده بیان می‌شود. با این مقیاس، صفر (۰) نمایش‌گر آسمان بدون ابر و ۸ نشانه‌ی آسمان کاملاً پوشیده از ابر است. بی شک افزایش ابرناکی منجر به افزایش رطوبت و بارندگی می‌شود. لذا در این تحقیق مقیاس ۸ که نمایش‌گر آسمان کاملاً پوشیده از ابر است، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

بر اساس جدول شماره ۲، ۷۱ درصد از ایستگاه‌های شمال شرق کشور (بیرجند، قائن، فردوس، نهبندان، گل‌مکان، بجنورد، کاشمر، مشهد، سرخس و طبس) دارای روند کاهشی در مقدار ابرناکی می‌باشند. در این میان ایستگاه گل‌مکان با ضریب $-۰/۵۴۶$ - بیشترین میزان کاهشی را در مقیاس ۸ دارد.

۳-۱-۵- برف

برف شکلی از بارش است که به دلیل تأخیر زمانی بین زمان وقوع آن و زمان تولید رواناب و تغذیه سفره آب زیرزمینی رفتار متفاوتی نسبت به دیگر شکل‌های بارش دارد.

جریان حاصل از ذوب برف در مناطق کوهستانی خراسان را قسمت اعظم رواناب در فصول تشکیل می‌دهد. رواناب حاصل از ذوب برف در تأمین منابع آب آشامیدنی و کشاورزی موثر است. در صورت کاهش تعداد روزهای برفی در منطقه، سطح پوشش برف تداوم نداشته و به سرعت ذوب می‌شود. در نهایت سفره‌های آب زیرزمینی تقویت نخواهند شد.

در ایستگاه‌های نهبندان و مشهد روند کاهشی در تعداد روزهای برفی دیده می‌شود. در باقی ایستگاه‌ها روند معنی‌داری مشاهده نمی‌شود.

۳-۱-۶- یخبندان

بررسی و شناخت روزهای یخبندان در برنامه‌ریزی‌های محیطی حایز اهمیت زیادی است. از لحاظ هواشناسی روز یخبندان روزی است که حداقل دما در آن روز معین به نقطه انجماد برسد. این پدیده به بسیاری از فعالیت‌های انسانی از جمله صنعت، جهان گردی و حمل نقل ارتباط دارد و علیرغم

در این میان ایستگاه فردوس و بیرجند بیشترین میزان دریافت ساعات آفتابی را دارا می‌باشند. در ایستگاه‌های تربت حیدریه، قائن، قوچان و کاشمر، روند معنی‌داری مشاهده نمی‌شود.

۳-۱-۲- رطوبت

رطوبت از جمله عوامل محیطی به شمار می‌آید که میزان بارندگی، برف، مه و دیگر انواع آبی را که یک منطقه دریافت می‌کند، شامل می‌شود.

رطوبت یک عنصر ضروری مؤثر در بارندگی است. در ناحیه معینی که مقدار رطوبت هوا پایین باشد، بارندگی طبیعتاً سبک خواهد بود، بنابراین روندهای افزایشی و کاهشی رطوبت در منطقه نشان دهنده وجود ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها می‌باشد.

گسترش خراسان از شمال شرق تا جنوب شرق کشور که حدود ۸ درجه عرض جغرافیایی را دربر می‌گیرد، موجب پوشش ابری مناسب در شمال منطقه و کاهش ابرناکی در جنوب آن می‌گردد.

بر اساس جدول شماره ۲ در شمال شرق ایران، ایستگاه‌های تربت حیدریه، بجنورد، مشهد و طبس از روند کاهشی رطوبت نسبی برخوردارند. در این میان ایستگاه طبس با ضریب $(-۰/۳۴)$ بیشترین مقدار کاهشی را دارا می‌باشد. ایستگاه‌های قوچان، سرخس و کاشمر از روند افزایش رطوبت برخوردارند.

۳-۱-۳- بارش ۲۴ ساعته

مقدار بارش روزانه شدت بارندگی را نشان می‌دهد. شدت ریزش باران چنان چه با قدرت نفوذ پذیری خاک و توان تخلیه آب برها، رودخانه‌ها و مسیل‌ها هم‌آهنگ نباشد، موجب سیل و سیلاب‌ها شده که طبعاً خساراتی را نیز به همراه دارد.

نتایج حاصل از میزان بارش ۲۴ ساعته با استفاده از آزمون من-کندال در منطقه، گویای این است که ایستگاه‌های قائن و تربت حیدریه از روند کاهشی در مقدار بارش ۲۴ ساعته برخوردارند و ایستگاه‌های کاشمر، گناباد، مشهد و فردوس نزدیک به روند کاهشی را دنبال می‌کنند و چه بسا در چند سال آینده دارای روند کاهشی شوند. در میان ایستگاه‌ها، فقط ایستگاه گل‌مکان تا حدی روند افزایشی دارد. به طور کلی در سطح منطقه ۸۶ درصد ایستگاه‌ها، فاقد هرگونه تغییر معنادار بوده‌اند.

تا ۴ با استفاده از روش AHP بر روی پایگاه داده جغرافیایی در محیط نرم افزاری ARC GIS به صورت اتوماتیک بر روی لایه‌ها اعمال شده و از این طریق وزن نهایی لایه‌ها و نسبت سازگاری حاصل می‌شود. پس از آن لایه‌ها با هم تلفیق شده و خروجی نهایی مکان‌های تغییر اقلیم به دست می‌آید.

جدول ۳- ماتریس وزن پارامترها به روش (AHP)
برای لایه اطلاعاتی عناصر اقلیمی دارای روند کاهشی

عوامل	تعداد روز یخبندان	متوسط رطوبت	تعداد روز برفی	بارش ۲۴ ساعته	بارش	تعداد روز ابرناکی
تعداد روز یخبندان	۱	۱	۰/۱۴۲	۱	۰/۱۲۵	۲
متوسط رطوبت	۱	۱	۰/۱۴۲	۱	۰/۱۲۵	۳
تعداد روز برفی	۱	۱	۱	۵	۱	۵
بارش ۲۴ ساعته	۱	۱	۱	۱	۰/۱۲۵	۲
بارش	۱	۱	۱	۱	۱	۶
تعداد روز ابرناکی	۱	۱	۱	۱	۱	۱

جدول ۴- ماتریس وزن پارامترها به روش (AHP)
برای لایه اطلاعاتی عناصر اقلیمی با روند افزایشی

عوامل	دمای حداقل	دمای حداکثر	دمای متوسط	ساعات آفتابی
دمای حداقل	۱	۳	۲	۳
دمای حداکثر	۳	۱	۰/۵	۱
دمای متوسط	۲	۱	۱	۲
ساعات آفتابی	۳	۱	۲	۱

۳-۳- تحلیل نتایج وزن‌دهی نهایی به لایه اطلاعاتی عناصر اقلیمی

در این مرحله نتایج اجرای مدل در قالب دو نقشه خروجی نمایش داده می‌شود. در حقیقت با تهیه نقشه خروجی، مکان‌های مناسب تغییر اقلیم مشخص می‌گردد. در جدول شماره ۵، وزن نهایی لایه‌های اطلاعاتی عناصر اقلیمی با روند کاهشی و در قسمت پایین نسبت سازگاری دیده می‌شود. طبق اطلاعات این نقشه از بین وزن‌های نهایی، بارندگی و تعداد روزهای برفی به ترتیب با (۰/۴۱۵۳۶۲) و (۰/۳۴۳۴۶۲) بیشترین وزن‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. با این توضیح به این نتیجه می‌رسیم که این دو لایه بیشترین تأثیر را در تغییر اقلیم دارند، اما رطوبت نسبی با (۰/۰۴۰۷۳۲۹) کمترین وزن را شامل می‌شود. بنابراین این لایه اهمیت کمتری نسبت به دیگر

اهمیت همه جانبه آن مطالعه این پدیده در کشاورزی بیش از سایر فعالیت‌ها مورد توجه است.

۵۰ درصد ایستگاه‌های منطقه روند کاهشی داشته و ۵۰ درصد دیگر، روند معنی‌داری در تعداد روزهای یخبندان ندارند. قسمت‌های مرکزی خراسان جنوبی، جنوب و مرکز خراسان رضوی از روند کاهشی در تعداد روزهای یخبندان برخوردارند. بیشترین روند کاهشی در ایستگاه فردوس قابل مشاهده است.

۳-۱-۷- بارش

بارش اولین ورودی در سیکل هیدرولوژیکی هر منطقه و نقطه شروع در سیکل هیدرولوژیکی می‌باشد. لذا جریان‌های سطحی و زیرسطحی، آب‌های زیرزمینی و آب‌های جمع‌شده در چاله‌ها و غیره، آثار بعدی بارش می‌باشند. با توجه به این‌که مقدار آب موجود در هر منطقه‌ای تقریباً در طول زمان ثابت می‌باشد، لذا باید تمام برنامه ریزی‌های ما بر اساس مقدار آب حاصل از بارش در آن منطقه باشد.

رژیم بارندگی خراسان بزرگ در مجموع مدیترانه‌ای است و فصل بارندگی منطقه منطبق بر فصل‌های سرد سال و فصل خشک منطبق بر تابستان است. بیشترین بارندگی فصلی در سطح منطقه مربوط به فصل زمستان است و پس از آن در بیشتر مناطق فصل بهار و در بعضی قسمت‌ها فصل پاییز می‌باشد. در فصل تابستان نیز در برخی از نواحی خراسان بارندگی رخ می‌دهد که علت اصلی آن جریان هوای نسبتاً مرطوب از شرق دریای خزر به دره‌ها و معبرهای موجود در مسیر این جریان هوا می‌باشد علت دیگر آن نیز وجود جریانات اروگرافیک محلی در برخی از نواحی منطقه و صعود هوای گرم و نسبتاً مرطوب بر دامنه کوهستان‌ها است که در مجموع قسمت‌های شمالی منطقه مورد مطالعه از بارندگی‌های تابستانه بهره مند می‌شوند.

بر اساس جدول شماره ۲ بیشترین روندهای کاهشی در مقدار بارش سالانه در ایستگاه‌های بیرجند، تربت، قائن، فردوس، کاشمر و گناباد مشاهده می‌شود که قسمت‌های جنوب خراسان رضوی و شرق خراسان جنوبی را دربر می‌گیرد.

۳-۲- محاسبه ماتریس وزن لایه‌های اطلاعاتی براساس روش مناسب وزن‌دهی

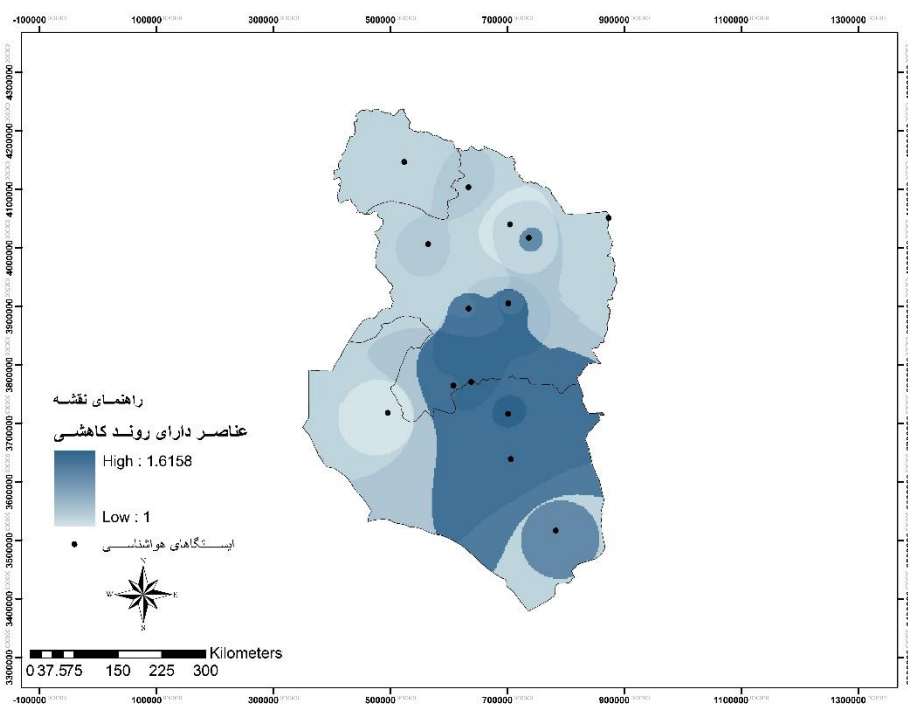
برای تعیین مناطق تغییر اقلیم، عناصر هواشناسی به دو گروه روند افزایشی و کاهشی تقسیم شد. سپس ماتریس وزن لایه‌های مورد استفاده به صورت جداول ۳

شکل ۲ خروجی نهایی مناطق دارای تغییر اقلیم با روند کاهشی را نشان می‌دهد که از تلفیق وزن نهایی این لایه‌ها به دست آمده است. با توجه به اطلاعات این نقشه مناطقی که بیشترین تغییرات آب و هوایی را از لحاظ عناصر (تعداد روزهای یخبندان، متوسط رطوبت، تعداد روزهای برفی، بارش ۲۴ ساعته، تجربه می‌کنند با رنگ سبز در قسمت‌های جنوب و جنوب‌شرقی منطقه مشاهده می‌شوند.

عناصر هواشناسی دارد. در نهایت با توجه به وزن‌های داده شده، نقشه خروجی نهایی عناصر اقلیمی به دست آمد که آن را در نقشه ۲ شاهد هستیم.

جدول ۵- تعیین وزن نهایی و نسبت سازگاری به روش (AHP) برای لایه اطلاعاتی عناصر اقلیمی دارای روند کاهشی

نسبت سازگاری	عوامل
۰/۰۶۱۰۱۰۵	تعداد روز یخبندان
۰/۰۶۸۸۰۴	متوسط رطوبت
۰/۳۴۳۴۶۲	تعداد روز برفی
۰/۰۷۰۶۲۸۲	بارش ۲۴ ساعته
۰/۴۱۵۳۶۲	بارش
۰/۰۴۰۷۳۳۹	تعداد روز ابرناکی
۰/۰۵۵۱۷۶۲	نسبت سازگاری



شکل ۲- خروجی نهایی لایه اطلاعاتی عناصر اقلیمی دارای روند کاهشی

وزن یکسانی به خود اختصاص داده‌اند. در نهایت با توجه به وزن‌های داده شده، نقشه خروجی عناصر اقلیمی با روند صعودی به دست آمد که آن را در نقشه ۳ شاهد هستیم.

۳-۴- تحلیل نتایج وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی عناصر اقلیمی با روند صعودی

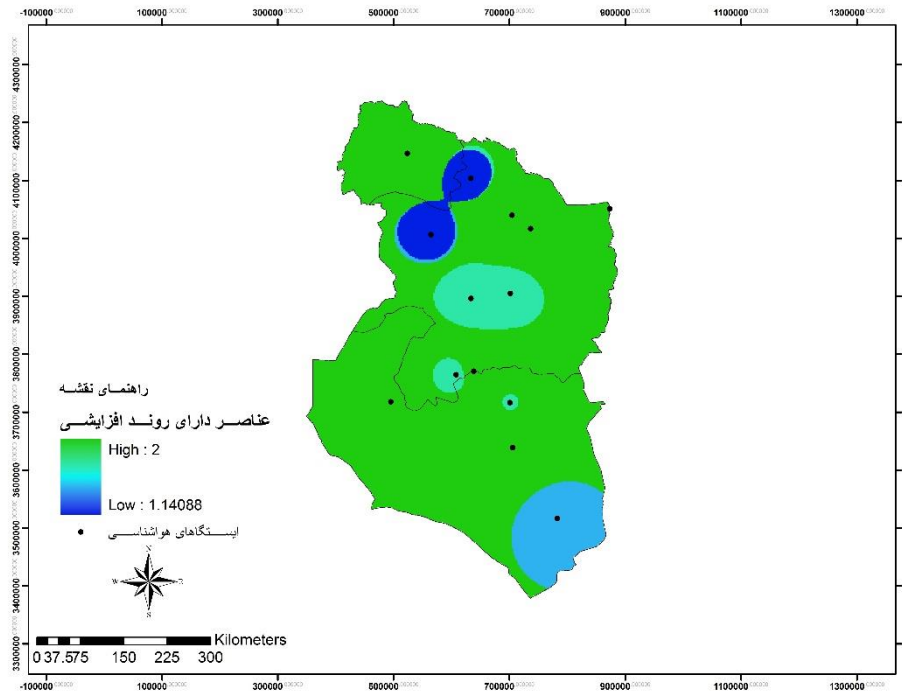
با توجه به اطلاعات جدول شماره ۶، وزن تمام لایه‌های اطلاعاتی عناصر اقلیمی با روند صعودی مشاهده می‌شود و در قسمت پایین نسبت سازگاری لحاظ شده است. طبق اطلاعات این جدول از بین وزن‌های نهایی، دمای حداقل و دمای متوسط منطقه به ترتیب با (۰/۴۵۵۴۰۸) و (۰/۲۶۲۸۳۳) بیشترین وزن‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. به این ترتیب این دو لایه بیشترین تأثیر را در انتخاب مکان‌های دارای تغییر اقلیم نشان می‌دهند. این در حالی است که لایه‌های اطلاعاتی دمای حداکثر و ساعات آفتابی

جدول ۶- تعیین وزن نهایی عوامل و نسبت سازگاری به روش (AHP) برای لایه اطلاعاتی عناصر اقلیمی با روند افزایشی

وزن نهایی	عوامل
۰/۴۵۵۴۰۸	دمای حداقل
۰/۱۴۰۸۸	دمای حداکثر
۰/۲۶۲۸۳۳	دمای متوسط
۰/۱۴۰۸۸	ساعات آفتابی
۰/۰۷۹۸۰۳۴	نسبت سازگاری

ساعات آفتابی) با روند افزایشی را در طی ۲۵ سال اخیر تجربه کرده‌اند. بر اساس این نقشه ایستگاه‌های قوچان، سبزوار، کاشمر و تا حدی نهبندان دارای کمترین تغییرات آب و هوایی می‌باشند.

شکل ۳ خروجی نهایی مکان‌های تغییر اقلیم را از لحاظ لایه‌های اطلاعاتی عناصر اقلیمی با روند افزایشی نشان می‌دهد که از تلفیق وزن این لایه‌ها به دست آمده است. با توجه به اطلاعات این نقشه، رنگ‌های سبز که ارزش ۲ را به خود اختصاص داده‌اند، تغییرات اقلیمی از لحاظ عناصر هواشناسی (دمای حداقل، دمای حداکثر، دمای متوسط و



شکل ۳- خروجی نهایی لایه اطلاعاتی عناصر اقلیمی دارای روند افزایشی

۴- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از آزمون من-کندال و مدل AHP در شمال شرق کشور بیان گر آن می‌باشد که: از ۱۴ ایستگاه موجود در منطقه متوسط دمای ۷۹ درصد ایستگاه‌ها، متوسط دمای حداقل ۸۶ درصد، متوسط دمای حداکثر ۹۳ درصد و ساعات آفتابی ۷۱ درصد ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی می‌باشد.

در عناصر اقلیمی با روند کاهشی، تعداد روزهای ابرناکی، روزهای یخبندان، متوسط بارش سالانه، تعداد روزهای برفی، بارش ۲۴ ساعته و متوسط رطوبت نسبی به ترتیب در ۲۱، ۱۴، ۱۴، ۴۳، ۵۰ و ۷۱ درصد ایستگاه‌ها دارای روند نزولی می‌باشند.

بنابراین در سطح منطقه، عناصر اقلیمی با روند صعودی خیلی بیشتر از عناصر اقلیمی با روند نزولی در تغییرات اقلیمی شمال شرق ایران سهیم هستند.

خروجی نهایی مناطق دارای تغییر اقلیم با روند کاهشی که از تلفیق وزن نهایی لایه‌ها به دست آمده است، در شکل شماره ۲ مشاهده می‌شود. با توجه به اطلاعات این

تغییر اقلیم پدیده پیچیده جوی - اقیانوسی در مقیاس جهانی و دراز مدت است که متاثر از عوامل مختلفی چون فعالیت‌های خورشیدی، آتشفشان‌ها، گازهای گلخانه‌ای اتمسفر و نهایتاً فعالیت‌های انسانی می‌باشد. این تغییر منجر به دگرگونی در وضع آب و هوا، تغییر مکانی و زمان بارش و دما، جریان‌ات سطحی، تبخیر و... خواهد شد [۲۵].

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که رخداد تغییر اقلیم در شمال شرق کشور بر اساس ارقام محاسبه شده به عنوان یک واقعیت انکارناپذیر مطرح می‌باشد. برای این‌که روند تغییرات عناصر اقلیمی در منطقه بهتر بررسی شود، باید عناصر موجود در منطقه با اساس آزمون من-کندال به دو گروه عناصر با روند صعودی (دمای حداقل، دمای حداکثر، دمای متوسط و ساعات آفتابی) و عناصر با روند نزولی (تعداد روزهای یخبندان، متوسط رطوبت، تعداد روزهای برفی، بارش ۲۴ ساعته و بارش) تقسیم‌بندی شوند.

- [8] Laughlin J, Jessica J, Hellmann J, Boggs C, Ehrlich P. R. Climate change hastens population extinctions. *Pnas, Ecology*;2002; 60-73.
- [9] Franczyk J, Heejun C. The effects of climate change and urbanization on the runoff of the Rock Creek basin in the Portland metropolitan area, Oregon, USA, Department of Geography. Portland State University, Portland; 2009; 97-201.
- [10] Folland C. Observed Climat Variations and Change, In Houghtom, Jenkin. Ephraums;1990; 195.
- [11] Krishnamurthy V, Shukla J. Intra seasonal and intramural variability of rain fall over India center for Ocean-Land. *Atmopher studie*;1999; (52): 133-150.
- [12] Smith S. Assessing drought- relate ecological risk in the Florida Everglades. *journal of Enviromental Management*; 2003; 68 (4): 360-535.
- [13] Szilagyi J. Modeled Areal Evaporation Trend Over The Conterminous United States. *Engrng Asce*; 2001; 127 (4): 196-200.
- [14] Payne J, Wood A, Hamlet R, Palmer D, Lettenmaier P. Mitigating the effects of climate change on the water resources of the Columbia River basin. Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean (JISAO) under NOAA cooperative agreement; 2002; 922(17):1232.
- [15] Changchun X, Yaning CH, Weihong L, Hongtao CH. Potential impact of climate change on snow cover area in the Tarim River basin. *Journal of Environmental Geology*; 2007;53(7):1465-1474;(7)53.
- [16] Elagib N, Mansell M. Recent Trends and Anomalies in Mean Seasonal and Temperature Over Sudan; 2000; (45):263-288.
- [17] Burns D, Klaus J, Mchale M. Recent climate trends and implications for water resources in the Catskill Mountain region, New York. USA;2007;(336):155-170.
- [18] Mo X, Liu S, Lin ZH, Guo RP. water consumption and water use ficiency and their responses to climate change in the North China Plain, Regional crop yield, Agric, Ecosyst. *Environ*; 2009;134:67-78.
- [19] Harmsen EW, Norman L, Millerb NJ, Schlegel JE. Seasonal climate change impacts on evapotranspiration, precipitation deficit and crop yield in Puerto Rico; 2009; 96 (7):1086-1095.
- نقشه مناطقی که بیشترین تغییرات آب و هوایی را از لحاظ عناصر (تعداد روزهای یخبندان، متوسط رطوبت، تعداد روزهای برفی، بارش ۲۴ ساعته و بارش) دارند، در قسمت‌های جنوب و جنوب شرقی منطقه مشاهده می‌شوند. بر اساس شکل شماره ۳ بیشتر مناطق شمال شرق کشور، تغییرات اقلیمی از لحاظ عناصر هواشناسی با روند افزایشی را در طی ۲۵ سال اخیر تجربه کرده‌اند. بر اساس این نقشه ایستگاه‌های قوچان، سبزوار، کاشمر و تا حدی نهبندان دارای کمترین تغییرات آب و هوایی می‌باشند.

منابع

- [1] Turkes M, Sumer M, Demirj I . Re-Evaluation of trends and Changes in mean, maximum and minimum temperature of Turkey fr period 1929-1999. *Internatinal Journal of Climatgy*; 2002;(22): 944-977.
- [2] Clark T. Trends analysis f temperature and precipitatin series at canadian sites, *Regional climate Change. canadian journal of Agriculture Ecoomics*; 2003; (1): 27-38.
- [3] Ebrahimi H, Alizade A, Javanmard S. Check temperature change in Mashhad plain as the profile of climate change in the region. *Geographical research journal*; 2005; (5): 79. [In Persian]
- [4] Azizi G, Shamsipoor A, Yarahmadi D. Recovery of climate change in the western half of the country, using multivariate statistical analysis. *Journal of Physical Geography*; 2008; (66): 19-35. [In Persian]
- [5] Daneshkar araste P, Shakoohi A. In search of the effects of climate change on weather conditions and surface water resources in Iran. 3rd Iran Water Resources Management Conference; 2008:7. [In Persian]
- [6] Babaian I, Najafinik Z, Abasi F, Habibi khandan M, Adab M, Melyosi H. Assessment of climate change using downscaling atmospheric general circulation model. *Journal of Geography and Development*; 2009;(16):135-152. [In Persian]
- [7] Sarabian L, Nikpoor A. Nature-oriented role of agriculture in climate change mitigation. Office of Environment and Sustainable Development of Agriculture; 2009;(1):15-20 [In Persian]

- [20] Miller N. Potential impacts of climate change on California hydrology, of the American Water Resources Association (JAWRA); 2004; 39(4):771-784.
- [21] Modarres R, Silva V. Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran, Arid. Enviroments; 2007; (70): 344-355.
- [22] Todisco F, Vergni L. Climatic changes in central Italy and their potential effects on corn water consumption, Agric For Meteorol; 2008; (148):1-11.
- [23] Guo R, Lin Z, Mo X, Yang C. ,Responses of crop yield and water use efficiency to climate change in the North China Plain. Agricultural Water Management; 2010;: 1185-1194.
- [24] Steele Dunne S, Lynch P, McGrath R, Semmler T, Wang S, Hanafin J, Nolan P. The impacts of climate change on hydrology in Ireland, Hydrology; 2008;356:28-45.
- [25] Jamei J. Analysis of spatial-temporal distribution of North West rainfall and temperature.ph.D.: University Tabriz;2007.p.35.



Archive of SID

Archive of SID