تحلیل زمانی– مکانی تغییرات مدت زمان انتظار رخداد بارش در استان کردستان

محمد دارند[۱]*، بهروز ابراهیمی[۲]

چکیده

یکی از پیامدهای گرمایش جهانی و تغییراقلیم جابه‌جایی در الگوهای زمانی- مکانی سنجه‌ی جوی مهم و آشوبمند بارش است. هدف از انجام این پژوهش شناختن تغییرات مدت زمان انتظار رخداد بارش استان کردستان طی دهه‌های اخیر است. بدین منظور داده‌های روزانه‌ی بارش۱۶۲پیمونگاه همدید، اقلیمی و بارانسنجی بر روی پهنه‌ی استان کردستان و ۲۶ پیمونگاه همدید، اقلیمی و بارانسنجی خارج از مرز استان مربوط به شرکت آب منطقه‌ای کردستان و سازمان هواشناسی طی بازه‌ی زمانی ۱۳۴۰/۱/۱ تا ۱۳۹۱/۱۰/۱۱(۱۹۶۱/۳/۲۱ تا۲۰۱۲/۱۲/۳۱) به‌کارگرفته شدند. با بهره‌گیری از روش زمین‌آماری کریجینگ مقادیر بارش بر روی سلول‌های ۶×۶ کیلومتر برای هر روز جداگانه میان‌یابی شدند. سپس داده‌های روزانه‌ی مربوط به ۸۱۱ سلول که کل استان را پوشش می‌دادند، از نقشه‌های میان‌یابی استخراج شدند. یک پایگاه داده(گاه‌جای) در ابعاد۸۱۱×۱۸۹۱۴ تهیه شد که بر روی سطرها روز(زمان) و بر روی ستون‌ها سلول‌ها(مکان) قرار داشتند. میانگین مدت زمان انتظار رخداد بارش برای هر سلول طی هر ماه از سال جداگانه حساب شد. جهت ارزیابی معناداری روند، آزمون ناپارامتریک من‌کندال در سطح اطمینان ۹۰ درصد بر روی سری زمانی مقادیر مدت زمان انتظار رخداد برازش داده شد. نرخ تغییرات به کمک روش خطی حداقل مربعات براورد شد. یافته‌ها نشان دادند که طی ماههای سرد سال مدت زمان انتظار رخداد بارش طولانی‌تر شده است، درحالی‌که در ماههای گرم سال فاصله‌ی زمانی بین دو رویداد بارشی پیاپی کوتاهتر شده است. نرخ کاهشی دوره‌ی انتظار رخداد بارش دست‌کم دو برابر نرخ افزایشی آن است. پراکنش روند معنادار بر روی استان بیانگر آن است که در نیمه‌ی غربی و پربارش استان، مدت زمان انتظار رخنمود بارش طولانی‌تر شده است، برعکس در نیمه‌ی شرقی و کم‌بارش، فاصله‌ی بین دو رویداد بارشی پیاپی کوتاهتر شده است.

کلمات کلیدی: مدت زمان انتظار، بارش، روند، استان کردستان.

[۱] دانشیار آب و هواشناسی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کردستان
تلفن:۰۹۱۴۱۸۴۲۷۹۴ Email:m.darand@uok.ac.ir
[۲] کارشناس ارشد آب و هواشناسی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کردستان

مقدمه

به‌طور طبیعی، محیط و زیست‌بوم‌ها خود را با شرایط بهنجار و میانگین شرایط اقلیمی منطقه هماهنگ و سازگار می‌کنند. شرایط غالب جوی در یک منطقه اقلیم آن مکان را می‌سازند. در بین سنجه‌های جوی رفتار دو عنصر بارش و دما از بازیگران اصلی شکل‌دهی نوع اقلیم یک منطقه به شمار می‌روند. اغلب اندیشمندان علوم جوی در سالهای اخیر بر این باورند که به دلیل دخالت بی‌رویه‌ی انسان، اقلیم مناطق مختلف جهان در حال تغییر است. تغییر در شرایط بهنجار و غالب در منطقه منجر به بهم خوردن تعادل سیستم خواهد شد. از مهم‌ترین پیامدهای گرمایش جهانی وتغییر اقلیم، تغییرات بارش و دما در مقیاس فصلی و سالانه است(های‌هوی و همکاران، ۲۰۰۷). شناخت اثرات تغییر اقلیم بر ویژگیهای زمانی-مکانی بارش به‌ویژه با نگاه مدیریت پایدار منابع آب منظور نظر اغلب اندیشمندان بوده است(چنگ و همکاران، ۲۰۰۴؛ گروم و همکاران،۲۰۰۶). بر این اساس پژوهش‌های بسیار زیادی در جهت شناسایی روند و تغییرات در سری زمانی و ویژگیهای بارش در نقاط مختلف جهان انجام شده است(وینتورا و همکاران، ۲۰۰۲؛ آرنبجیرگ-نیلسون، ۲۰۰۶). کتیرایی و همکاران(۱۳۸۶) سهم تغییرات فراوانی و شدت بارش روزانه را در روند بارش ایران طی دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۱ بررسی کردند. ایشان به کمک آزمون من‌کندال و روش خطی حداقل مربعات روند و نرخ تغییر را براورد و آزمون کردند. یافته‌های آنها نشان دادند که اغلب ایستگاههای واقع در منطقه‌ی غرب و شمال‌غرب دارای روند بارش سالانه، کاهشی، و بیشتر ایستگاه‌های واقع در نواحی جنوبی و مرکزی ایران دارای روند افزایشی‌اند. روند بارش فصل بهار در اغلب ایستگاه‌ها کاهشی و فصل پائیز افزایشی است(کتیرایی و همکاران، ۱۳۸۶). منتظری و غیور(۱۳۸۸) روند بارش و خشکسالی را در حوضه‌ی خزر مقایسه کردند. آنها به کمک شاخص بارش استاندارد خشکسالی های اقلیمی را ارزیابی کردند و با انجام تحلیل خوشه‌ای بر روی ماتریس شاخص بارش استاندارد، زیرحوضه های خزر را از نظر خشکسالی اقلیمی به ۴ پهنه به نام های ساحلی جنوب غربی، ساحلی جنوب شرقی، حاشیه ای و شمال‌غرب تفکیک نمودند. پنج زیرحوضه در ماههای فوریه و ژوئیه روند مثبت، و یازده زیرحوضه عمدتا در ماههای مارس و سپتامبر روند منفی نشان می دهند. بالاترین روند در شش زیرحوضه در ماههای ژوئیه و اوت بوده است(منتظری و غیور،۱۳۸۸). ایران‌نژاد و همکاران(۱۳۸۸) توزیع مکانی روند بارش سالانه را در ایران طی بازه‌ی زمانی ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۱ بررسی کردند. یافته‌ها نشان دادند که طی دوره‌ی مطالعه شده، بارش سالانه در منطقه غرب و شمال غرب دارای روند منفی، و در مناطق مرکزی و جنوبی دارای روند مثبت بوده است. در این بررسی برای آزمون معنی دار بودن تفاوت توزیع مکانی علامت های روند از آزمون نافراسنجی کرامر-فن میزس بهره گرفتند. برای تعیین تفاوت ها در توزیع مکانی، از توزیع روند ها و نقشه میانگین بارش سالانه استفاده شد. در امتداد گرادیان شرقی-غربی، روند مثبت در مقابل منفی در سطح ۹۵ درصد و در امتداد گرادیان شمالی-جنوبی، روند منفی در مقابل صفر در سطح اطمینان ۹۰ درصد معنی دار است، که نشان دهنده نبود توزیع تصادفی این روندها است(ایران‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۸). ویسی‌پور و همکاران (۱۳۸۹) به کمک مدل‌های سری زمانی(*ARIMA*) روند بارش و دمای کرمانشاه را تحلیل و پیش‌بینی کردند. یافته‌ها نشان دادند که برای پیش بینی بارش در مقیاس ۱۰ روزه، به‌کارگیری بارش‌های ۱۰ روزه و در مقیاس ماهانه و سالانه استفاده از داده های ماهانه از دقت بیشتری برخوردار هستند. در نهایت پس از بررسی داده های روزانه، ماهانه و فصلی مشخص گردید که دمای حداکثر در سال های آینده در حال افزایش و بارش روند کاهشی خواهد داشت(ویسی‌پور و همکاران، ۱۳۸۹). محمدی(۱۳۹۰) روند بارش سالانه‌ی ایران زمین را تحلیل کرد. وی به کمک دو پایگاه داده‌ی بارش ایستگاهی(نقطه-ای) و سلول‌ای(شبکه‌ای) طی بازه‌ی زمانی ۱۳۴۳ تا ۱۳۸۲ نشان داد که به لحاظ آماری در در سطوح اطمینان ۹۹٪ و ۹۵٪ سری‌های زمانی میانگین ایستگاهی و سلول ای بارش ایران، روند افزایشی یا کاهشی معنی داری از خود نشان نمی‌دهند. ولی میانگین ایستگاهی بارش ایران به طور متوسط طی هر سال حدود ۰,۶۴ میلی‌متر و میانگین سلول‌ای بارش ایران در حدود ۰,۵ میلیمتر کاهش یافته است(محمدی، ۱۳۹۰). فیروزی و همکاران (۱۳۹۱) روند بارش را در ایستگاههای منتخب استان فارس بررسی کردند. آنها برای ایستگاههای شیراز، آباده،

فسا و لامرد بازه‌ی زمانی ۱۳۵۶تا ۱۳۸۹ را در نظر گرفتند. از سه روش باکس جنکینز، تجزیه و هلت وینترز برای پیش‌بینی و مدل‌سازی بهره گرفتند. برای هر یک از ایستگاهها مدل مناسب جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی انتخاب شد و نتایج حاصل از تحلیل روند نشان دادند که در فصل گرم سال روند بارش بر روی ایستگاه‌های مطالعه شده افزایشی و مثبت است ولی طی فصل سرد سال روند بارش نزولی است(فیروزی و همکاران، ۱۳۹۱). محمودی و علیجانی (۱۳۹۲) رابطه‌ی بین بارش‌های سالانه و فصلی را با عوامل زمین اقلیم کردستان را مدل‌سازی کردند. ایشان برای انجام این کار داده‌های ماهانه‌ی ۸۳ ایستگاه همدید[3]، اقلیم‌شناسی و باران‌سنجی استان را برای یک دوره‌ی ۳۰ ساله(۱۳۵۸-۱۳۸۷) به کار گرفتند. با بهره‌گیری از رگرسیون گام به‌گام مشخص شد که در فصل بهار و پاییز نقش ترکیبی دو متغیر طول و عرض جغرافیایی به ترتیب ۴۶ و ۶۹ درصد بارش‌ها را توجیه می‌کند. در دو فصل زمستان و تابستان ترکیب دو عامل یاد شده با ارتفاع ۴۷ درصد تغییرات مکانی بارش را تبیین می‌کنند(محمودی و علیجانی، ۱۳۹۲الف). در پژوهشی دیگر محمودی و علیجانی (۱۳۹۲ب) به کمک روش‌های آماری چند متغیره بارش استان کردستان را ناحیه‌بندی کردند. ایشان برای انجام این پژوهش نیز از همان داده‌ها طی دوره‌ی آماری یاد شده بهره گرفتند. ایشان از تحلیل مولفه‌های مبنا جهت کاهش اندازه‌ی ماتریس و مولفه‌ها استفاده کرده و ۷ مولفه، که حدود ۸۶/۷۵ درصد از تغییرات بارش سالانه را توجیه می‌کردند، به دست آوردند. نمرات مولفه‌ها به عنوان ورودی تحلیل خوشه‌ای استفاده شد و ۳ ناحیه‌ی متفاوت با عناوین ناحیه‌ی پربارش غربی، ناحیه‌ی میان‌بارش مرکزی و ناحیه‌ی کم‌بارش شرقی به دست آمد(محمودی و علیجانی، ۱۳۹۲). رین و همکاران (۲۰۱۴) روند بارش جهان را به کمک بازسازی و شبیه‌سازی مدل جفت شده طی بازه‌ی زمانی ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۵ واکاوی کردند. یافته‌ها نشان دادند که بر روی اقیانوس‌ها روند بارش در استوا و مناطق جنب قطبی مثبت، و در مناطق جنب حاره روند منفی است. یافته‌های آنها هماهنگ با گزارشی است که هیأت بین دول تغییر اقلیم درباره بارش جهان ارائه کرده است(رین و همکاران،۲۰۱۴). نوسان‌های شدید بارش سبب شده که اقلیم‌شناسان به دنبال روش‌هایی برای بررسی رفتار سری زمانی بارش و پیش‌بینی احتمال رخداد آن باشند. در این راستا تئوری صف، که یکی از قدیمی‌ترین و توسعه‌یافته‌ترین تکنیک‌های تجزیه و تحلیل است(کوپر، ۱۹۸۰)، بیشتر توجه پژوهشگران را به خود جلب کرده است. برای تجزیه و تحلیل اغلب مدل‌های صف در بازه‌ی زمان، می‌بایست که از زنجیره‌های مارکوفی بهره گرفت. این مدل جهت پایش احتمالات رخنمود بارش توسط پژوهشگران مختلف به کار گرفته شده است. برای نمونه می‌توان به قادرمرزی(۱۳۸۰)، رضیئی و همکاران(۱۳۸۶)، یوسفی و همکاران(۱۳۸۶)، امیری(۱۳۸۶)، تایر و همکاران(۲۰۰۶) و اسچوف و پریور(۲۰۰۸) اشاره کرد. برای نمونه یوسفی و همکاران(۱۳۸۶) از زنجیره مارکوف و توزیع بهنجار برای برآورد احتمالات خشکسالی و ترسالی قزوین بهره گرفته و به این نتیجه دست یافتند که برازش داده‌های بارش بر زنجیره مارکوف حاکی از آن است که احتمالات حاصله برای مجموع حالت‌های خشکسالی و مجموع حالت‌های ترسالی بر مبنای بارش سالانه و فصلی با هم قابل مقایسه‌اند. آزمون حکم بر برتری زنجیره مارکوف را نسبت به توزیع بهنجار دارد.

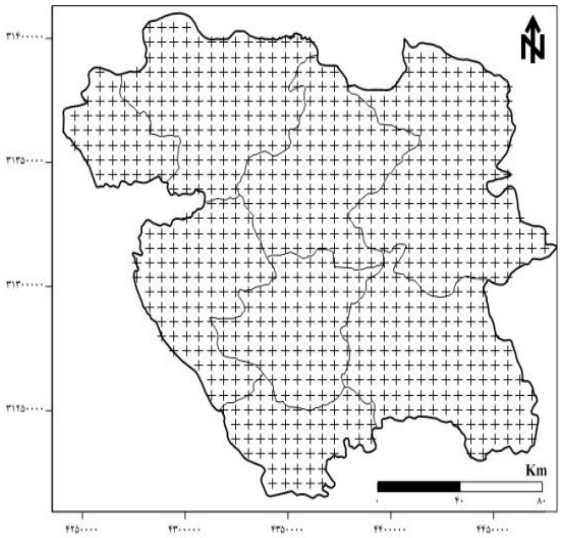
مدت زمان انتظار رخنمود بارش یکی از ویژگیهای مهم آن است که به دلیل رخداد تغییر اقلیم و گرم شدن جهانی طی دهه‌های اخیر دستخوش وردایی شده است. برپایه‌ی پیشینه‌ی پژوهشهای انجام شده می‌توان گفت که تاکنون این موضوع واکاوی و کندوکاو نشده است. از این‌رو شناخت وردایی زمانی-مکانی مدت زمان انتظار رخنمود بارش بر روی گستره‌ی استان کردستان هدف اصلی انجام این پژوهش است.

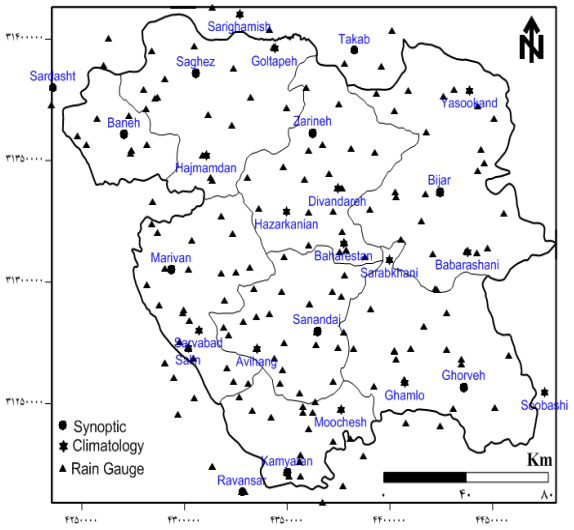
مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش از داده‌های روزانه‌ی بارش۱۶۲پیمونگاه همدید، اقلیمی و باران‌سنجی بر روی پهنه‌ی استان کردستان و ۲۶ پیمونگاه همدید، اقلیمی و بارانسنجی خارج از مرز استان مربوط به شرکت آب منطقه‌ای کردستان و سازمان هواشناسی طی بازه‌ی زمانی

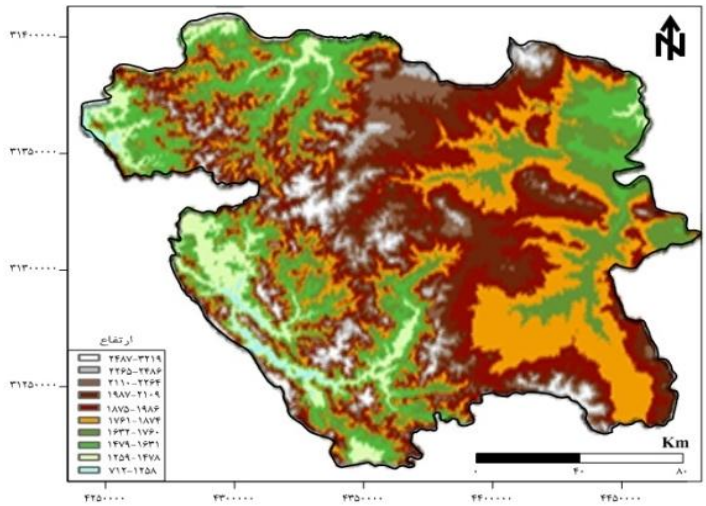
[3] -Synoptic

۱۳۴۰/۱/۱ تـــــا ۱۹۶۱/۳/۲۱)۱۳۹۱/۱۰/۱۱ تا۲۰۱۲/۱۲/۳۱) اســـتفـاده شـــد. با بهره‌گیری از روش زمین‌آمـاری کریجینـگ و داده‌هـای۱۸۸پیمونگاه، مقادیر بـارش بر روی ســـلول‌هـای ۶×۶ کیلومتر میـان‌یـابی شـد(شـکل۱). برای هر روز یک نقشـه رقومی ایجاد شـد. ســـپس داده‌های روزانه‌ی مربوط به ۸۱۱ ســـلول که کل اسـتان را پوشـش می‌دادند، از نقشه‌ها استخراج شد. یک پایگاه داده(گاه‌جای) در ابعاد۸۱۱×۱۸۹۱۴ ایجاد شـد که بـر روی ســـطـرهـا روز(زمـان) و بر روی ســـتون‌هـا ســـلول‌ها(مکان) قرار داشـت. ماتریس یاد شـده مبنای مـحـاســـبـات قـرار گـرفـت مســـعـودیـان (۱۳۸۴)، منتظری(۱۳۹۲)، دارنـد(۱۳۹۴) و دارنـد و منصـــوری دانشور(۲۰۱۵) نیز در پژوهشهای خود از چنین رویکردی برای ایجاد پایگاه داده یاخته‌ای بهره گرفته‌اند. در پژوهش دارند و همکاران (۲۰۱۵) دلیل به‌کارگیری روش یاد شده به‌طور کامل آمده اســـت. پیکربندی ناهمواری‌ها بر روی اســتان کردســتان در شـکل۲ آمده اسـت. ناهمواری‌های زاگرس با امتداد شمالی-جنوبی در مرکز استان کردستان قرار دارنـد؛ کمترین ارتفـاع (۷۱۲ متر) در بخش‌هـای جنوب‌غرب اسـتان و بیشترین ارتفاع(۳۲۱۹ متر) بر روی کوههای چهل چشمه، و دنباله‌ی کوه‌های شاهو در استان کردســـتـان قرار دارد. میـانگین بلنـد مـدت میزان بارش دریافتی اسـتان طی فصل‌های مختلف و سالانه در شکل۳ آمده اسـت. همان‌طور که ملاحظه می‌شود بر روی استان به لحاظ میزان بارش دریافتی تفاوت بســـیار زیادی وجود دارد. میانگین بلند مدت مجموع کل بارش سالانه بر روی بخش‌هـای غرب مریوان ۸۵۰ میلی‌متر اســـت درحالی‌که بخش‌های شـــرقی اســـتان(بیجار و قروه) حدود یک ســـوم میزان بارش یاد شـــده را در طول ســـال دریافت می‌کنند. هسته‌ی بیشینه‌ی دریافت بارش، به جز در فصل تابستان، بر روی بخش‌های غربی مریوان قرار دارد. برخلاف ســـایر فصـل‌های دیگر سال، در فصل تابستان بخش‌های شمالی زرینه بیشـــترین بارش را تجربه و ثبت می‌کنند. دلیل آن را باید در مکانیزم رخداد بارش‌های تابســـتانه‌ی اســـتان کردســـتـان جســـتجو کرد. برای اطلاعـات بیشـــتـر بـه دارند(۱۳۹۲) مراجعه فرمائید. برپایه‌ی نقشـه‌های فصـلی می‌توان گفـت کـه رژیم بارش غالب اســـتان کردســـتان زمسـتانه است. میزان بارش دریافتی فصل بهار نیز نسبت به سـایر فصـل‌های دیگر سـال قابل توجه اسـت، و بعد از فصـــل زمســـتان در مرتبه دوم قرار دارد. نقش پیکربندی نـاهمواری‌هـا بر پراکنش مقدار بارش دریافتی اســـتان بر روی نقشـــه‌های فصـــلی کاملاً آشـــکار اســـت. بخش‌های روبه‌باد(بادگیر) بلندیهای مرکزی اســـتان بیش از دو برابر بخش‌های شـــرقی و پشـــت به باد(بادپناه) در طول فصـــل بارشی استان بارش دریافت می‌کنند.

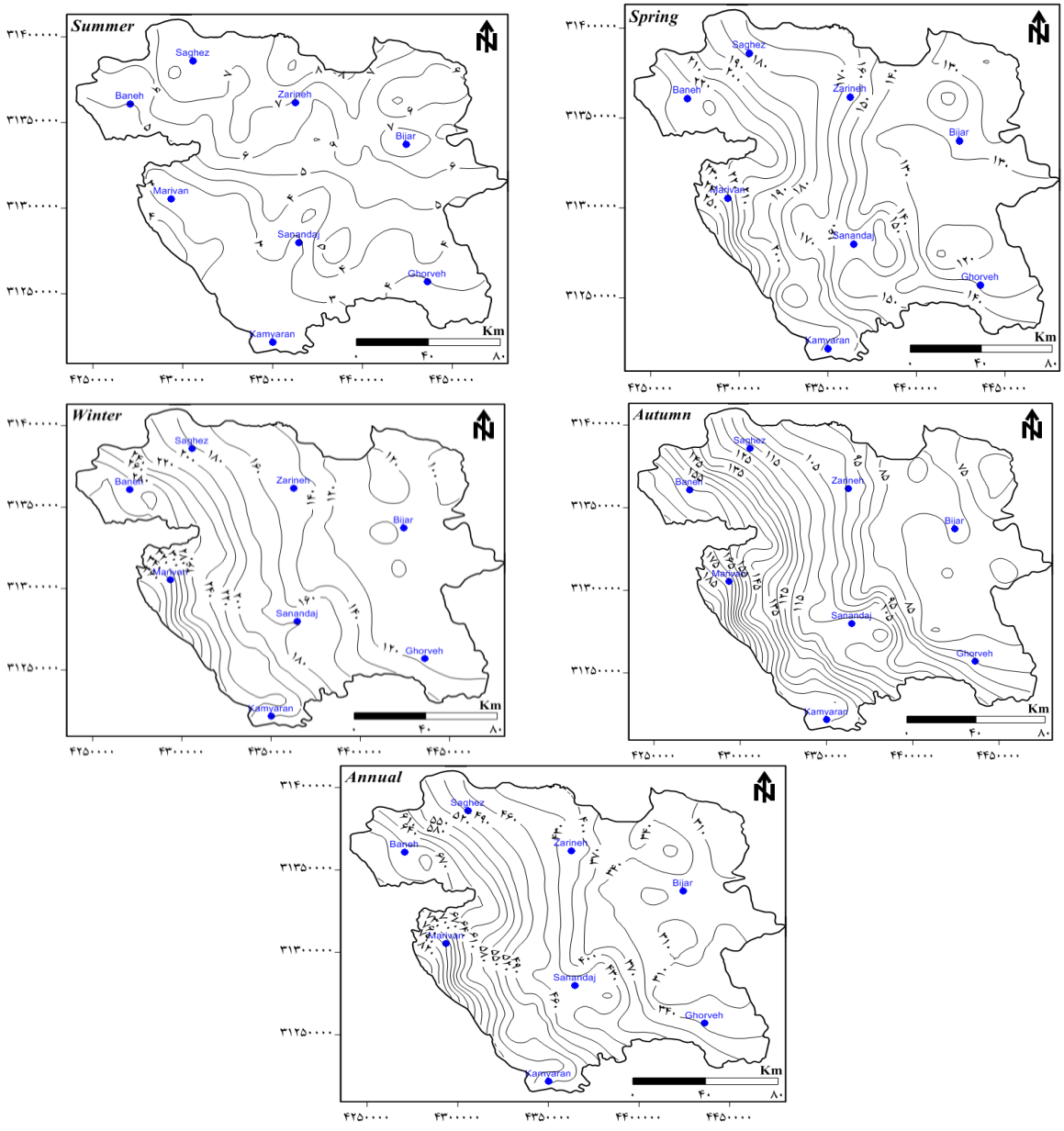




شکل۱- الف) موقعیت پیمونگاههای همدید، اقلیمی و باران سنجی و ب) موقعیت یاخته‌ها(۸۱۱ یاخته) حاصل از میان‌یابی



شکل۲- نقشه ارتفاع و پیکربندی ناهمواری ها



شکل۳- پراکنش میانگین بلند مدت میزان بارش دریافتی استان طی فصل‌های مختلف و سالانه.

در این پژوهش روز بارشی روزی در نظر گرفته شد که دست‌کم ۰/۵ میلی‌متر بارش بر روی سلول منظور طی ۲۴ ساعت، بارش ثبت شده باشد. برای هر کدام از سلول‌ها میانگین مدت زمان انتظار رخداد بارش برای هر ماه از سال طی بازه‌ی زمانی مطلوب حساب شد. به کمک آزمون نافراسنجیک من‌کندال معناداری روند میانگین مدت زمان انتظار رخداد بارش در سطح اطمینان ۹۰ درصد آزمون گردید و برای برآورد نرخ تغییرات از روش خطی حداقل مربعات بهره گرفته شد. برای شناخت و محاسبه‌ی متوسط مدت زمان انتظار رخنمود بارش از برآورد فاصله‌ای میانگین بهره گرفته شد. میانگین در بازه زیر قابل تعریف است:

$$\overline{X} \pm (Z_{\frac{a}{2}} \frac{s}{\sqrt{n}}) \quad (۱)$$

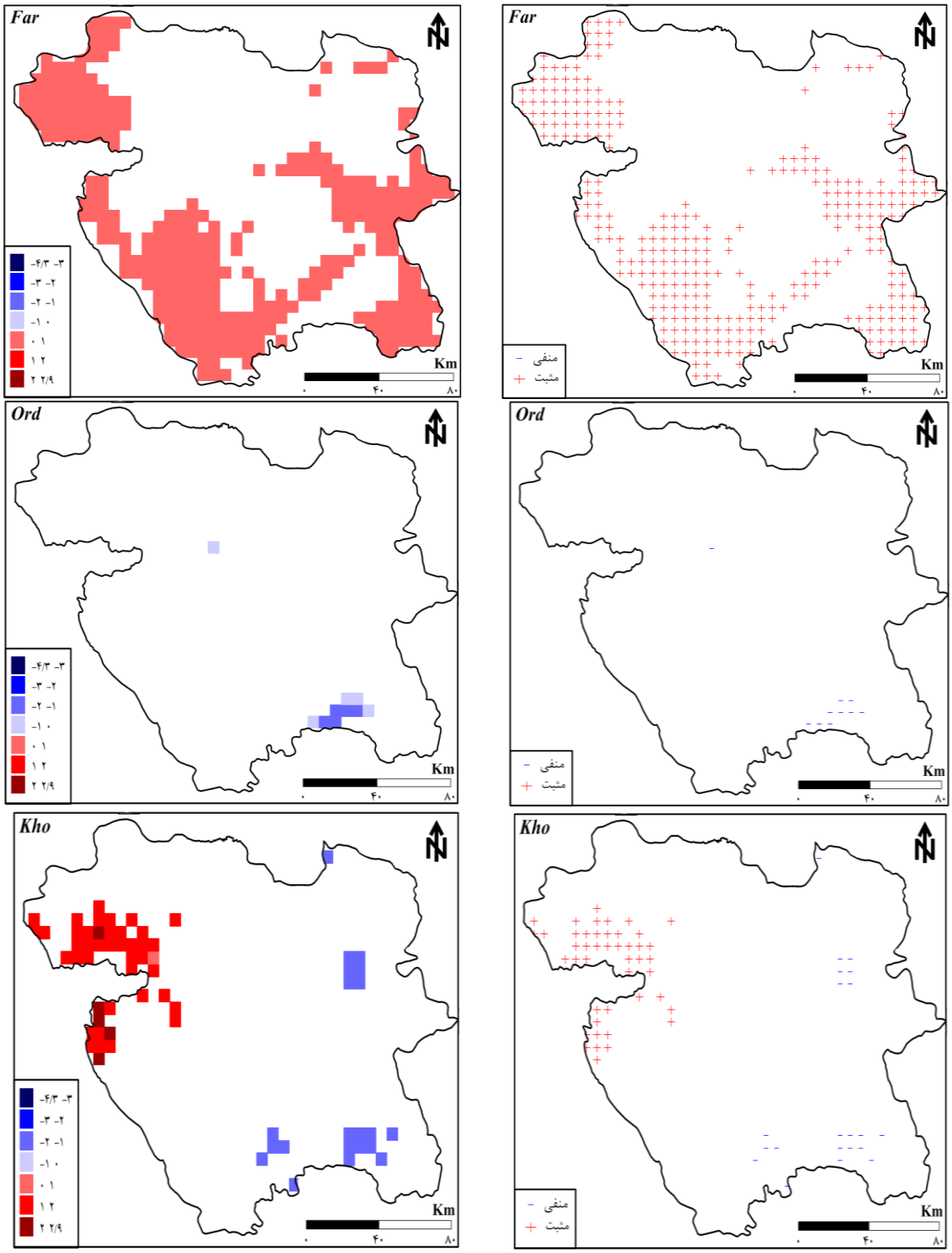
بنابراین، فاصله اطمینان ۹۵ درصد میانگین به شرح زیر قابل محاسبه است:

$$\overline{X} \pm (1.96 \frac{s}{\sqrt{n}}) \quad (۲)$$

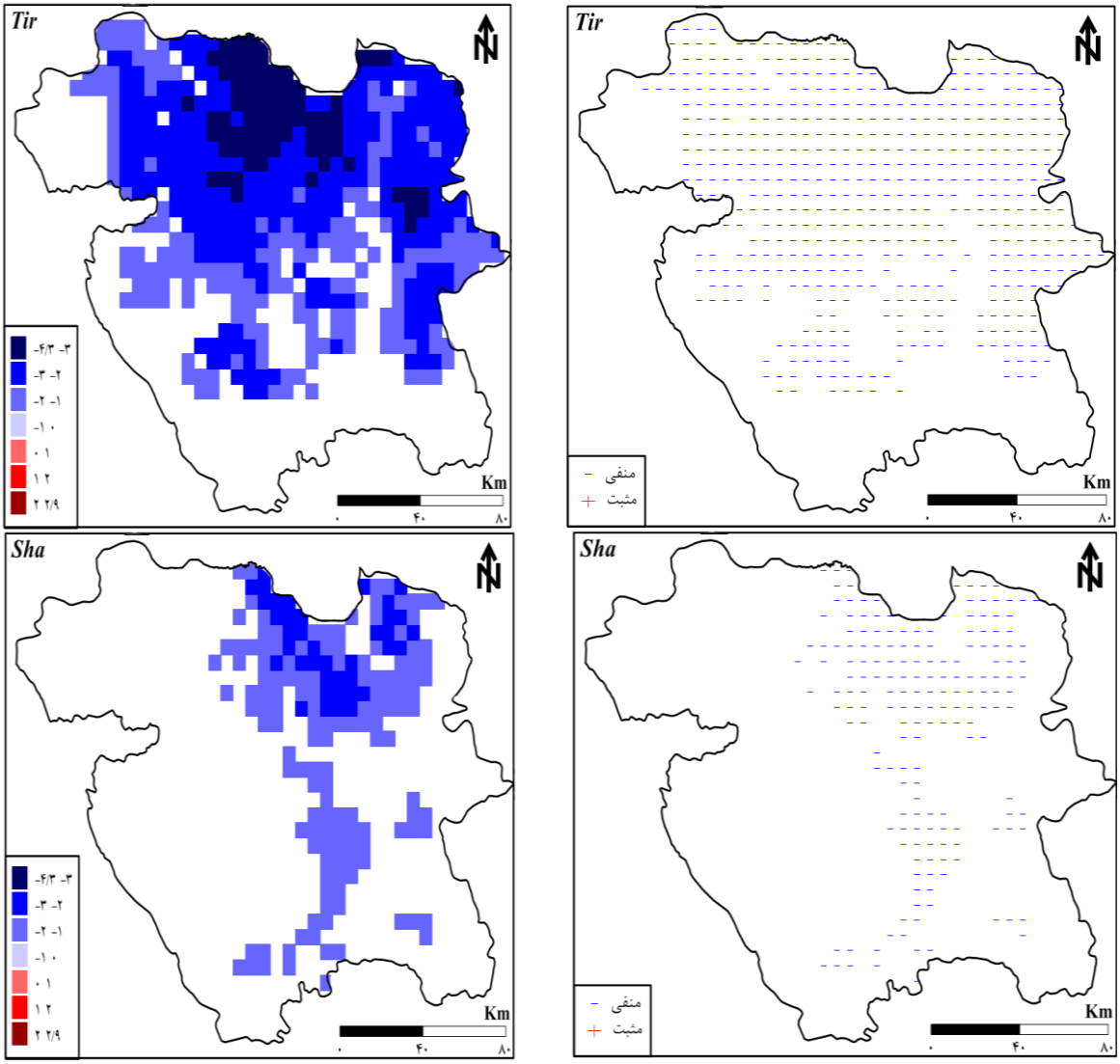
یافته‌ها

برازش آزمون ناپارامتریک من‌کندال بر روی سری زمانی مقادیر میانگین مدت زمان انتظار رخداد بارش در فروردین ماه نشان داد که بر روی ۴۰ درصد از گستره‌ی استان کردستان روند مدت زمان انتظار رخداد بارش در سطح اطمینان ۹۰ درصد معنادار و مثبت است. به لحاظ مکانی، روند معناداری بر روی نیمه‌ی غربی(بخش پربارش)، شرق و جنوب‌شرق استان مشاهده می‌شود. نرخ تغییرات مدت زمان انتظار بر روی مناطق دارای روند معنادار نشان داد که به طور میانگین در ماه فروردین، طی بازه‌ی زمانی مطالعه شده، حدود ۱ روز در ازای هر دهه به زمان انتظار رخداد بارش افزوده شده است، بنابراین، برپایه‌ی آن می‌توان گفت که طی نیم سده‌ی اخیر مدت زمان انتظار رخنمود بارش در ماه فروردین ۵ روز طولانی‌تر شده است. در اردیبهشت ماه تغییرات معناداری در مدت زمان انتظار رخداد بارش بر روی استان کردستان مشاهده نشد. تنها بر روی برخی نقاط در جنوب استان روند معنادار و منفی است. در خرداد ماه بر روی ۵/۵ درصد از گستره‌ی استان کردستان روند مدت زمان انتظار رخداد بارش مثبت، و بر روی ۲/۶ درصد از گستره، روندِ منفی مشاهده شد. پراکنش مکانی روندهای معنادار بیانگر آن است که روند مثبت بر روی مناطق پربارش استان در غرب، و روندی منفی بر روی مناطق کم‌بارش شرقی قرار دارند. به طور میانگین، بر روی مناطق پربارش غربی نرخ افزایش زمان انتظار بارش بیش از ۱ روز به ازای هر دهه است. در برخی نقاط از مناطق غربی استان بیش از ۲ روز به ازای دهه مدت زمان انتظار رخنمود بارش افزایش یافته است. در بخش‌های شرقی استان مدت زمان انتظار رخداد بارش حدود ۱ روز کوتاهتر شده است.

نسبت بارش دریافتی استان کردستان از بارش‌های تابستانه نسبت به سایر فصل‌های دیگر سال کمتر است. در تیرماه روند مدت زمان انتظار رخداد بارش بر روی اغلب گستره‌ی استان کردستان(۶۲/۹ درصد) معنادار و منفی است. به لحاظ مکانی به جز مناطق پربارش غربی استان کردستان بر روی سایر مناطق، زمان انتظار برای رخداد بارش روبه کاهش است. به بیانی دیگر از فاصله‌ی زمانی بین دو رویداد بارشی در تیرماه بر روی مناطق یاد شده کاسته شده است. شیب خط برازش داده شده بر روی سری زمانی مقادیر مدت زمان انتظار رخداد بارش نشان داد که بر روی برخی مناطق شمالی استان زمان انتظار برای بارش ۳ الی ۴/۳ روز به ازای هر دهه طی دوره‌ی مطالعه شده کاهش یافته است. در ماه مرداد، مدت زمان انتظار رخداد بارش بر روی استان کردستان در سطح اطمینان ۹۰ درصد روند معناداری را از خود نشان نداد. در شهریور ماه بر روی ۲۲/۲ درصد از گستره‌ی استان کردستان روند مدت زمان انتظار معنادار و منفی است. پراکنش مکانی مناطق دارای روند معنادار بر روی نیمه‌ی شرقی استان مشاهده می‌شوند. بر روی برخی نقاط در شمال‌شرق استان نرخ کاهشی زمان انتظار رخداد حدود ۲ الی ۳ روز به ازای هر دهه است.



شکل۴- روند و نرخ تغییرات مدت زمان انتظار رخداد بارش در فصل بهار.

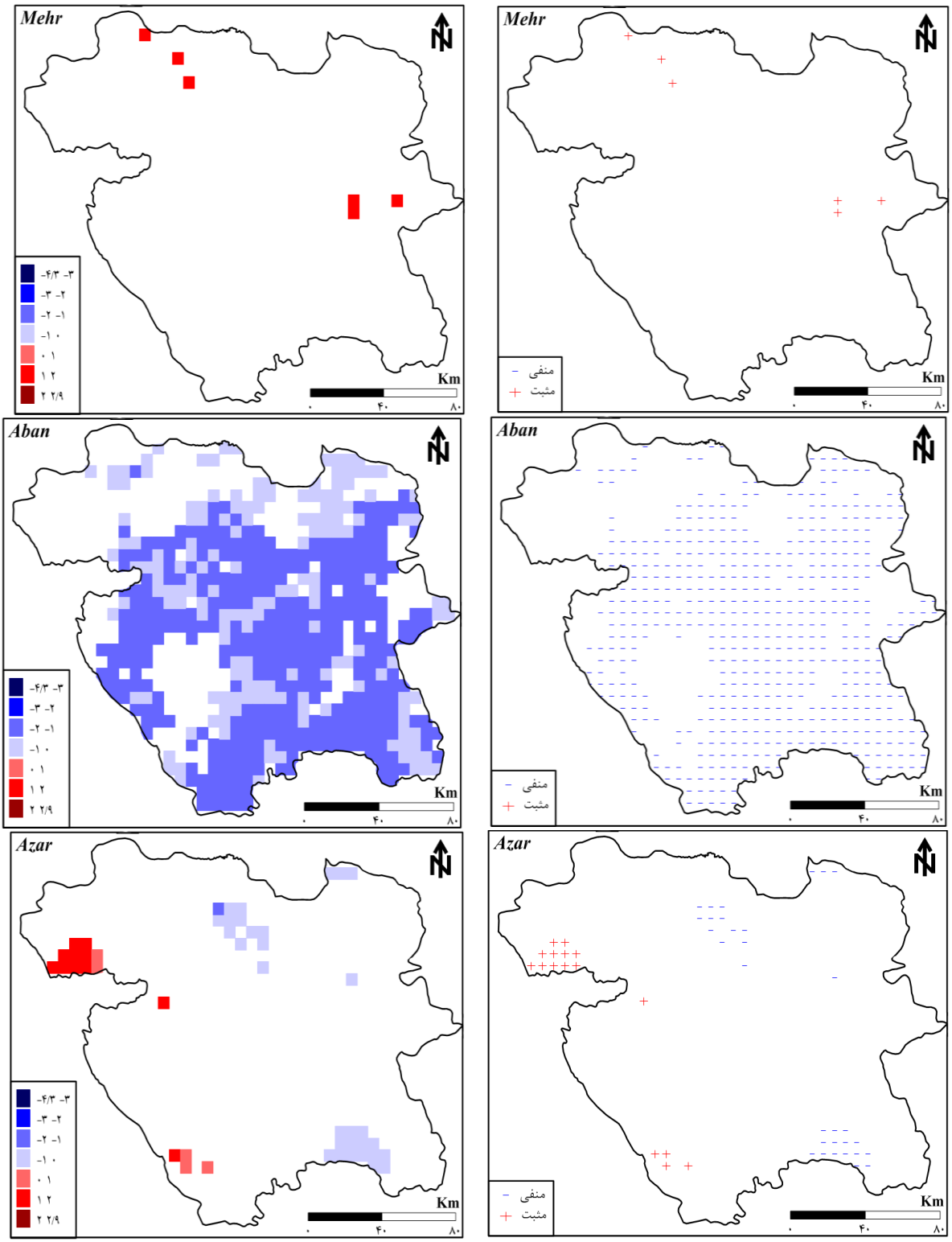


شکل۵- روند و نرخ تغییرات مدت زمان انتظار رخداد بارش در فصل تابستان.

در مهرماه مدت زمان انتظار رخداد بارش در استان کردستان تغییرات معناداری از خود نشان نداد. تنها بر روی برخی نقاط به صورت پراکنده روند مدت زمان انتظار مثبت و معنادار است. برخلاف مهرماه در ماه آبان بر روی گستره-ی وسیعی از استان کردستان مدت زمان انتظار رخداد بارش به لحاظ آماری در سطح اطمینان ۹۰ درصد تغییرات معناداری از خود نشان می‌دهد. یافته‌ها نشان دادند که بر روی ۶۵/۸ درصد از پهنه‌ی استان روند مدت زمان انتظار رخداد بارش منفی است، که به جز برخی مناطق شمال-غربی استان بر روی سایر نقاط روند مدت زمان انتظار کاهشی است. به طور متوسط بر روی استان کردستان نرخ کاهشی مدت زمان انتظار رخداد بارش در این ماه از سال ۱ الی ۲ روز به ازای هر دهه است، و از فاصله‌ی زمانی بین دو رویداد بارشی پیاپی کاسته شده است.

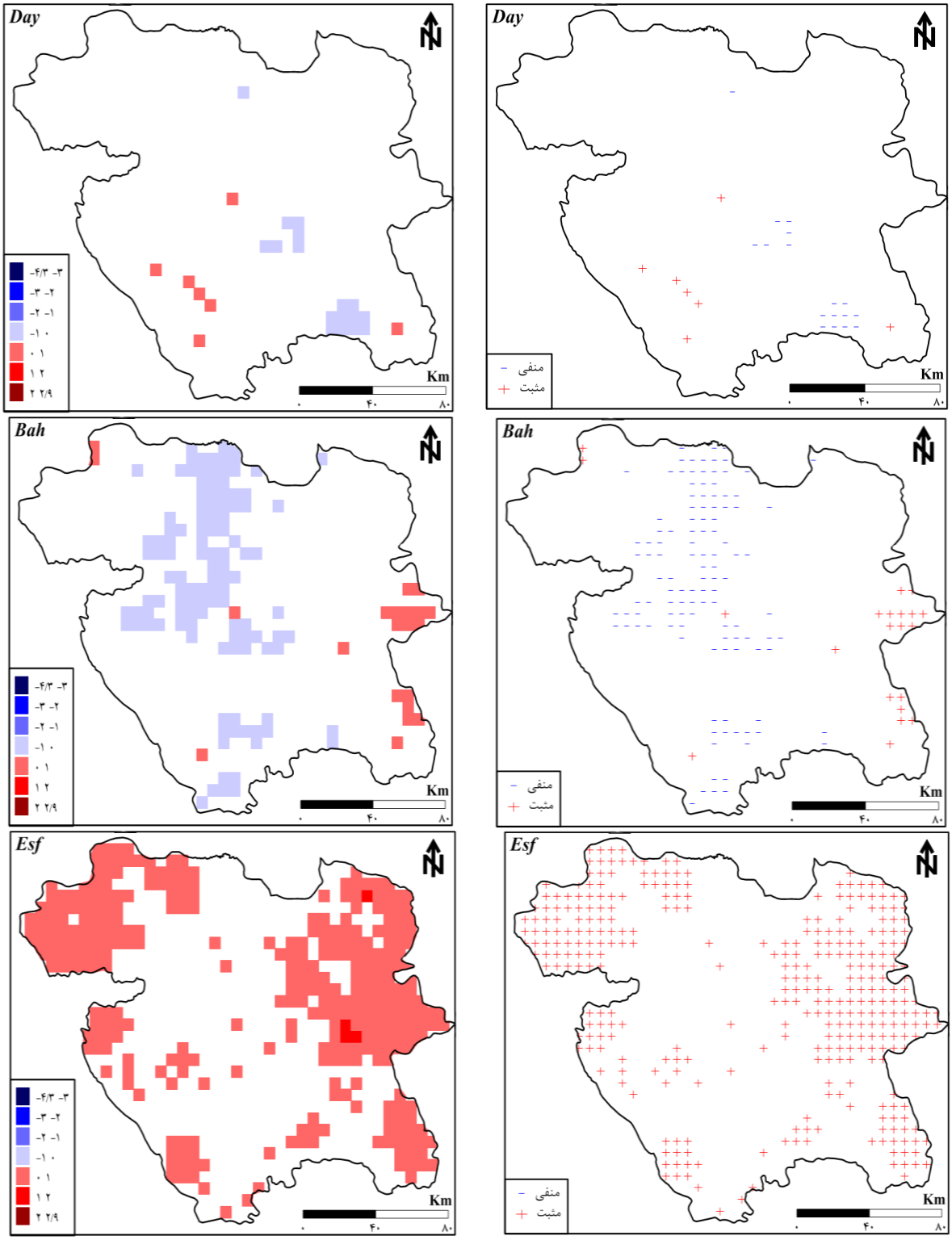
برازش آزمون من‌کندال بر روی سری زمانی مدت زمان انتظار رخداد بارش در آذر ماه نشان داد که بر روی ۳/۸ درصد از گستره‌ی استان کردستان روند منفی، و بر روی ۲ درصد از پهنه‌ی استان روند مثبت است. به لحاظ پراکنش مکانی روند مثبت بر روی بخش‌های غربی استان(شمال‌غرب) و روند منفی بر روی نیمه‌ی شرقی قرار دارند. نرخ تغییرات بر روی مناطق دارای روند مثبت ۱ الی ۲ روز و بر روی مناطق دارای روند منفی حدود ۱ روز به ازای هر دهه است.

در دی‌ماه تنها بر روی ۳ درصد از گستره‌ی استان کردستان مدت زمان انتظار رخداد بارش تغییرات معناداری را از خود نشان داد. بر روی ۲/۱ درصد از پهنه‌ی استان روند منفی و بر روی۰/۹ درصد روند مثبت است، که بر روی مناطق جنوبی استان به صورت پراکنده مشاهده می‌شود. در بهمن



شکل۶- روند و نرخ تغییرات مدت زمان انتظار رخداد بارش در فصل پائیز.

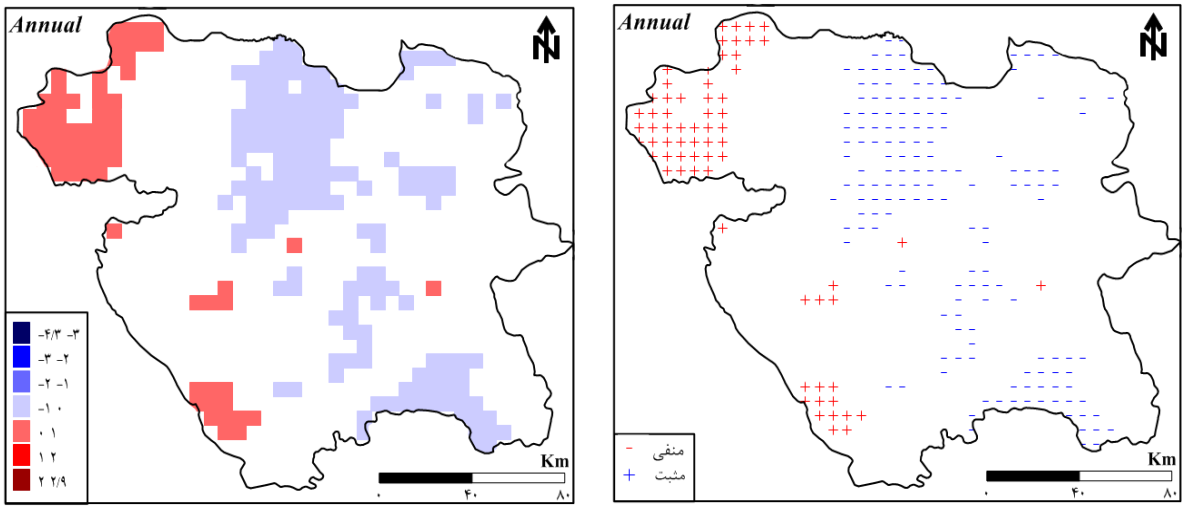
بخش‌های جنوب‌شرقی استان مشاهده شد. نرخ تغییرات بر روی مناطق دارای روند منفی حدود ۱ روز به ازای هر دهه، و بر روی مناطق دارای روند مثبت حدود ۱ روز به ازای هر دهه است. برخلاف سایرماه‌های فصل زمستان، در اسفند ماه بر روی ۴۰/۶ درصد از گستره‌ی استان کردستان ماه گستره‌ی روند معنادار نسبت به ماه قبل افزایش یافته است. در این ماه از سال بر روی ۱۴/۳ درصد از گستره‌ی استان کردستان روند منفی است که به لحاظ پراکنش مکانی بر روی بلندیهای استان قرار دارند. روند مثبت زمان انتظار نیز بر روی ۲/۶ درصد از گستره‌ی استان بر روی



شکل۷- روند و نرخ تغییرات مدت زمان انتظار رخداد بارش در فصل زمستان

روند مدت زمان انتظار رخداد بارش مثبت و افزایشی است. به لحاظ پراکنش مکانی روند مثبت مدت زمان انتظار رخداد بارش، به جز بر روی بلندی‌های استان، بر روی سایر مناطق معنادار است. نرخ افزایشی تغییرات مدت زمان انتظار رخداد بارش به طور کلی بر روی استان کردستان حدود ۱ روز به ازای هر دهه است. بر روی برخی نقاط در نیمه‌ی شرقی استان نرخ تغییرات حدود ۱ الی ۲ روز به ازای هر دهه است.

نقشه‌ی مربوط به پراکنش روند سالانه‌ی مدت زمان انتظار رخداد بارش بر روی استان کردستان نشان می‌دهد که در نیمه‌ی شرقی استان(مناطق کم بارش) مدت زمان انتظار رخداد بارش کوتاه‌تر شده ولی بر روی نیمه‌ی غربی(مناطق پربارش) مدت زمان انتظار رخداد بارش طولانی‌تر شده است. در بخش‌های شرقی به طور متوسط ۱ روز به ازای هر دهه از زمان انتظار کاسته شده است. همچنین، بر روی بخش‌های غربی استان، ۱ روز به ازای هر دهه به زمان انتظار رخنمود بارش افزوده شده است. به بیانی دیگر، طی بازه‌ی زمانی مطالعه شده (دوره‌ی ۵۱ ساله) مدت زمان انتظار رخداد بارش بر روی نیمه‌ی غربی بیش از ۵ روز طولانی‌تر شده ولی بر روی نیمه‌ی شرقی ۵ روز از دوره‌ی انتظار کاسته شده و دوره‌ی بدون بارش کوتاه‌تر شده است.



شکل۸- روند و نرخ تغییرات سالانه‌ی مدت زمان انتظار رخداد بارش.

جدول۱-گستره‌ی روند معنادار مدت زمان انتظار رخداد بارش طی ماههای مختلف سال در سطح اطمینان ۹۰ درصد.

ماه / روند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	سالانه
مثبت	۴۰	۰	۵/۵	۰	۰	۰	۰/۷	۰	۲	۰/۹	۲/۶	۴۰/۶	۸/۴
بدون روند	۶۰	۹۸/۸	۹۱/۹	۳۷/۱	۱۰۰	۷۷/۸	۹۹/۳	۳۴/۲	۹۴/۲	۹۷	۸۳/۱	۵۹/۴	۷۱/۹
منفی	۰	۱/۲	۲/۶	۶۲/۹	۰	۲۲/۲	۰	۶۵/۸	۳/۸	۲/۱	۱۴/۳	۰	۱۹/۷

نتیجه‌گیری

شناخت رفتار زمانی مکانی مدت زمان انتظار رخداد بارش برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب، کشاورزی و مهندسی حوضه‌های آبخیز بسیار مهم و ضروری است. شواهد نشان می‌دهند که طی دهه‌های اخیر، با رخداد تغییر اقلیم و گرمایش جهانی، رژیم بارشی و زمان انتظار رخداد بارش نیز در حال تغییر است. هدف از انجام این پژوهش تحلیل زمانی-مکانی تغییرات مدت زمان انتظار رخداد بارش در استان کردستان بود. برای انجام آن از داده‌های میان‌یابی شده‌ی روزانه‌ی بارش بر روی سلول‌های ۶×۶ کیلومتری بهره گرفته شد. یافته‌های حاصل از برازش آزمون ناپارامتریک من‌کندال بر روی سری زمانی مدت زمان انتظار رخداد بارش استان کردستان نشان داد که در سطح اطمینان ۹۰ درصد طی دهه‌های اخیر زمان انتظار رخداد بارش روند معناداری از خود نشان می‌دهد. در ماههای مختلف سال روند، گستره‌ی روند، نرخ و شیب روند متفاوت است. در ماههای فروردین و اسفند، به ترتیب، بر روی ۴۰ و ۴۰/۶ درصد از گستره‌ی استان کردستان مدت زمان انتظار رخداد بارش روند مثبتی را از خود نشان می‌دهد. به لحاظ پراکنش مکانی ماناتر شدن دوام دوره‌ی رخ‌نداد بارش طی ماههای یاد شده، به جز بر روی بلندیها، در

سایر مناطق دیگر استان مشاهده می‌شود. مدت زمان انتظار رخداد بارش در تیر و آبان بر روی گستره‌ی قابل توجهی از استان کوتاه‌تر شده است. توزیع مکانی روند منفی زمان انتظار در نیمه‌ی شرقی استان رخنمود دارد. نرخ کاهشی دوره‌ی انتظار رخداد بارش در ماه‌های تیر و آبان دست‌کم دو برابر نرخ افزایشی آن در فرودین ماه و اسفند است. در تیرماه ۳ تا ۴/۳ روز به ازای هر دهه از فاصله‌ی زمانی بین دو رویداد بارش پیاپی کاسته شده است. در ماههای فروردین و اسفند، حدود ۱ روز به زمان انتظار رخداد بارش افزوده شده است. برپایه‌ی نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان گفت که در ماههای سرد و بارشی استان می‌بایست زمان بیشتری در انتظار رخداد بارش بود، ولی طی ماههای گرم سال ماندگاری دوره‌ی خشک و زمان انتظار رخنمود بارش کوتاه‌تر شده است. همچنین، پراکنش مکانی روند برپایه‌ی تحلیل روند مدت زمان انتظار در طول سال بیانگر آن است که، در نیمه‌ی غربی و پربارش استان، مدت زمان انتظار رخنمود بارش طولانی‌تر شده است. برعکس در نیمه‌ی شرقی و کم‌بارش فاصله‌ی بین دو رویداد بارشی پیاپی کوتاه‌تر شده است.

منابع

۱) امیری، ر.۱۳۸۶. تحلیل و پیش‌بینی بارش در شهرستان خرم‌آباد با استفاده از مدل زنجیره‌ی مارکوف. پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی. دانشکده ادبیات و علوم انسانی. دانشگاه تربیت معلم تهران.

۲) ایران‌نژاد، پ.، و کتیرایی بروجردی، پ.س.، و حجام، س. ۱۳۸۸. توزیع مکانی روند بارش سالانه در ایران در دوره ۱۹۶۰-۲۰۰۱. مجله فیزیک زمین و فضا ۳۵(۴): ۹۴-۷۹.

۳) دارند، م. ۱۳۹۲. شناسایی الگوهای فشار تراز دریا هنگام رخداد بارش‌هاس سیل‌آسای استان کردستان. اولین کنفرانس ملی هیدرولوژی مناطق نیمه خشک. سنندج. ایران.

۴) رضیئی، ط.، دانش کار آراسته، پ.، اختری، ر.، و ثقیان ب. ۱۳۸۶. بررسی خشکسالی های هواشناسی (اقلیمی) در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از نمایه SPI و مدل زنجیره مارکف. تحقیقات منابع آب ایران ۳(۱):۳۵-۲۵.

۵) فیروزی، ف.، نگارش، ح.، و خسروی، م. ۱۳۹۱. مدل-سازی، پیش‌بینی و بررسی روند بارش در ایستگاههای منتخب استان فارس. برنامه‌ریزی منطقه‌ای ۲(۷): ۹۱-۷۷.

۶) منتظری، م. ۱۳۹۲، کاربرد روش های آماری چند متغیره در پهنه بندی نواحی اقلیمی مطالعه موردی: استان اصفهان. تحقیقات جغرافیایی. ۳(۱۱۰): ۱-۱۶.

۷) مسعودیان، س.ا. ۱۳۸۴. شناسایی رژیم های بارش ایران به روش تحلیل خوشه‌ای، پژوهشهای جغرافیایی ۵۲: ۴۷-۵۹.

۸) دارند، م. ۱۳۹۴. روند سهم ماندگاری های بارش در بسامد رخداد روزهای بارشی و تأمین مقدار بارش استان کردستان، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی ۵۹: ۲۹۱-۳۱۲.

۹) قادرمرزی، ح. ۱۳۸۰. تحلیل و پیش‌بینی نوسانات آب و هوا در استان کردستان با استفاده از مدل زنجیره‌ی مارکوف. پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی. دانشکده ادبیات و علوم انسانی. دانشگاه تربیت معلم تهران.

۱۰) کتیرایی، پ.س.، حجام، س.، و ایران‌نژاد، پ.۱۳۸۶. سهم تغییرات فراوانی و شدت بارش روزانه در روند بارش در ایران طی دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۱. مجله فیزیک زمین و فضا ۳۳(۱): ۸۳-۶۷.

۱۱) محمدی، ب. ۱۳۹۰. تحلیل روند بارش سالانه‌ی ایران. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. ۲۲(۳): ۱۰۶-۹۵.

۱۲) محمودی، پ.، و علیجانی، ب. ۱۳۹۲الف. مدل‌بندی رابطه بارش‌های سالانه و فصلی با عوامل زمین اقلیم در کردستان. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی۳۱: ۱۱۲-۸۳.

۱۳) محمودی، پ.، و علیجانی، ب. ۱۳۹۲ب. ناحیه‌بندی بارشی استان کردستان با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره. مجله پژوهش آب ایران. ۱۳: ۲۱۳-۲۰۹.

۱۴) منتظری، م.، و غیور، ح. ۱۳۸۸. تحلیل مقایسه‌ای روند بارش و خشکسالی حوضه‌ی خزر. جغرافیا و توسعه ۷(۱۶): ۹۲-۷۱.

۱۵) ویسی‌پور، ح.، معصوم‌پور، سماکوش ج.، صحنه، ب.، و یوسفی، ی ۱۳۸۹. تحلیل پیش بینی روند بارش و دما با استفاده از مدل های سری زمانی($ARIMA$)(نمونه موردی: شهرستان کرمانشاه). جغرافیا ۴(۱۲):۷۷-۶۳.

۱۶) یوسفی، ن.، حجام، س.، و ایران‌نژاد، پ. ۱۳۸۶. برآورد احتمالات خشکسالی و ترسالی با استفاده از مدل مارکوف و توزیع بهنجار(مطالعه موردی قزوین). پژوهش‌های جغرافیایی ۶۰: ۱۲۸-۱۲۱.

17) Arnbjerg-Nielsen, K. 2006. Significant climate change of extreme rainfall in Denmark. Water Science and Technology. 54(6–7): 1–8.

18) Cheng, K.S., Hsu, H.W., Tsai, M.H., Chang, K.C., and Lee, R.H. 2004. Test and analysis of trend existence in rainfall data in http://www.wrrcdpri.kyotou.ac.jp/~aphw/APHW 2004/Proceedings/OHS/56-OHS-A 527.pdf.

19) Darand, M., Masoodian, A., Nazaripour, H., and Mansouri Daneshvar, M.R. 2015. Spatial and temporal trend analysis of temperature extremes based on Iranian climatic database. Arabian J Geosci. doi:10.1007/s12517-015-1840-5.

20) Darand, M., and Mansouri Daneshvar, M.R. 2015. Variation of agro-climatic indices in Kurdistan Province of Iran within 1962–2012. Model. Earth Syst. Environ. DOI 10.1007/s40808-015-0010-9.

21) Grum, M., Jorgensen, A.T., Johansen, R.M., and Linde, J.J. 2006. The effect of climate change on urban drainage: an evaluation based on regional climate model simulations. Water Science and Technology 54(6–7): 9 – 15.

22) Hayhoe, K., Wake, C.P., Huntington, T.G., Luo, L., Schwartz, M.D., Sheffield, J., Wood, E., Anderson, B., Bradbury, J., DeGaetano, A., Troy, T.J., and Wolfe, D. 2007. Past and future changes in climate and hydrological indicators in the US Northeast. Climate Dynamics 28:381 – 407.

23) Ren, L., Arkin, P.h., Smith, T.M., and Shen, S.S.P. 2014. Global precipitation trends in 1900–2005 from a reconstruction and coupled model simulations, Journal of Geophysical Research: Atmospheres 118(4): 1679-1689.

24) Schoof, J.T., and Pryot, S.C. 2008. On the proper order of Markov chain model for daily precipitation occurrence in the contiguous United States. Journal of Applied Meteorology and Climatology 47: 2477-2486.

25) Thyer, M.A., Frost, A.J., and Kuczera, G.A .2006. Parameter estimation and model identification for stochastic models of annual hydrological data: Is the observed record long enough? Journal of Hydrology 330(1-2): 313-328.

26) Ventura, F., Pisa, P.R., and Ardizzoni, E. 2002. Temperature and precipitation trends in Bolonga (Italy) from 1952 to 1999. Atmospheric Research 61: 203 – 214.