

RESEARCH ARTICLE

DOI: 10.22067/geoeh.2021.67023.0

Open access

Spatial Distribution of Annual Precipitation Frequency trend in Northwest of Iran from 1970 to 2013

Hossein Asakereh^a, Hassan Shadman^{b*}^a Professor of Climatology, Zanjan University, Zanjan, Iran^b PhD Student in Climatology, Zanjan University, Zanjan, Iran

Received: 19 October 2020

Revise: 3 December 2020

Accepted: 20 January 2021

Abstract

Precipitation is one of the most significant elements and phenomena of the climate. Understanding precipitation and identifying its changes is one of the first steps in environmental planning based on climate knowledge. It seems that the trend of time series of precipitation has a nonlinear behavior rather than a linear pattern. Therefore, in this research, the aim was to examine the spatial distribution of the frequency of annual precipitation in the northwest of Iran in the statistical period of 1970 to 2013, using linear and polynomial patterns. In this regard, the data from 219 synoptic, climatological and precipitation stations were used. The results have shown that linear models are associated with many weaknesses in detecting the annual precipitation trend in northwestern Iran; In a way, according to a linear model, the precipitation frequency had a significant trend in only 21.82% of northwestern Iran. While, with the addition of 2 degree and 3 degree models, the trend of precipitation frequency in 83.1% of the region was significant. If we consider the model with the highest degree as the basis for selecting the best model in each pixel; then, the trend of annual precipitation frequency in 6.4% of northwestern Iran has a linear pattern, in 10.7% a pattern of 2 degree and in 66% a pattern of 3degree. Also, Lake Urmia and the central mountain range in the region have played a clear role in the diversity of the spatial distribution of precipitation trends. In a way, it is the center of 2nd degree trends and at least a large part of the linear trends around the lake and in the west of the central mountains.

Keywords: precipitation, trend, polynomial regression, northwest of Iran.

*. Corresponding author: Hassan Shadman E-mail: shadman.h@znu.ac.ir Tel: + 989111837520

How to cite this Article: Asakereh, H., Shadman, H. (2021). Spatial Distribution of Annual Precipitation Frequency trend in Northwest of Iran from 1970 to 2013. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 10(3), 123-140.

doi: 10.22067/geoeh.2021.67023.0



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant with open access mandates, by publishing its articles under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 10, Issue 3 - Number 39, Fall 2021

<https://geoeh.um.ac.ir>

<https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.67023.0>

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دهم، شماره سی و نهم، پاییز ۱۴۰۰، صص ۱۴۰-۱۳۳

مقاله پژوهشی

توزیع مکانی روند فراوانی بارش سالانه در شمال باختری ایران در دوره آماری ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۳

حسین عساکره - استاد آب‌وهواشناسی دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

حسن شادمان^۱ - دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۷/۲۸ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۹/۱۳ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۱/۱

چکیده

بارش یکی از برجسته‌ترین عناصر و پدیده‌های آب‌وهوایی است. شناخت بارش و به‌ویژه شناسایی دگرگونی‌های آن یکی از نخستین گام‌ها در برنامه‌ریزی‌های محیطی مبتنی بر دانسته‌های آب‌وهوایی است. یکی از ویژگی‌های رفتاری بارش دگرگونی‌های درازمدت آن در راستای زمان (روند) است. به نظر می‌رسد که روند سری‌های زمانی بارش بیش از آنکه از الگویی خطی پیروی کند، رفتاری غیرخطی داشته باشد. از این رو در این پژوهش کوشش شده است تا توزیع مکانی روند فراوانی بارش سالانه در شمال باختری ایران در دوره آماری ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۳ میلادی، با استفاده از الگوهای خطی و چندجمله‌ای بررسی شود. در این راستا از داده‌های ۲۱۹ ایستگاه همدید، آب‌وهواشناسی و باران‌سنجی استفاده شده است. یافته‌ها نشان داد که الگوهای خطی در آشکارسازی روند بارش سالانه در شمال باختری ایران با کاستی‌های فراوانی همراه هستند؛ به‌گونه‌ای که بر پایه یک الگوی خطی فراوانی بارش تنها در ۲۱/۸۲ درصد از شمال باختری ایران روند معنی‌داری داشته‌اند. حال آنکه با افزودن الگوهای درجه ۲ و درجه ۳ روند فراوانی بارش در ۸۳/۱ درصد از منطقه معنی‌دار می‌شود. چنانچه الگوی دارای بالاترین درجه را پایه‌گزینش الگوی برتر در هر یاخته بدانیم؛ آنگاه روند فراوانی بارش سالانه در ۶/۴ درصد از شمال باختری ایران دارای الگوی خطی، در ۱۰/۷ درصد دارای الگوی درجه ۲ و در ۶۶ درصد از منطقه دارای الگوی درجه ۳

Email: shadman.h@znu.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۱۱۸۳۷۵۲۰

نحوه ارجاع به این مقاله:

عساکره، حسین، شادمان، حسن. (۱۴۰۰). توزیع مکانی روند فراوانی بارش سالانه در شمال باختری ایران در دوره آماری ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۳. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۰(۳)، صص ۱۴۰-۱۳۱. <https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.67023.0>

است. از این رو تنها در ۱۶/۹ درصد از منطقه هیچ روند معنی داری رخ نداده است. همچنین دریاچه ارومیه و رشته کوه‌های مرکزی منطقه نقش آشکاری بر تنوع توزیع مکانی روند بارش داشته‌اند. به گونه‌ای که کانون روندهای درجه ۲ و دست کم بخش زیادی از روندهای خطی پیرامون دریاچه و در باختر کوه‌های مرکزی است. از سوی دیگر گسترش روندهای درجه ۳ در تمامی موقعیت‌های جغرافیایی به غیر از پیرامون دریاچه این گمانه را ایجاد می‌کند که روندهای درجه ۳ بیش تر زیر اثر اطلاعات و رویدادهای بزرگ مقیاس آب و هوا شکل گرفته‌اند.

کلیدواژه‌ها: بارش، روند، رگرسیون چندجمله‌ای، شمال باختری ایران.

۱- مقدمه

بارش یکی از پیچیده‌ترین و برجسته‌ترین عناصر و فرایندهای سامانه آب و هوا است. همچنین وابستگی منابع آب به بارش اهمیت آن را برای آدمی دوچندان کرده است. یکی از ویژگی‌های رفتاری بارش دگرگونی‌های درازمدت آن در راستای زمان (روند) است. روند بارش، گذشته از عوامل طبیعی زیر اثر رفتارهای انسانی نیز بوده است. برای نمونه گرمایش جهانی سبب دگرگونی در توزیع مکانی، زمانی، شکل و شدت بارش‌ها شده است (عساکره، ۱۳۸۶؛ ترنبرث^۱، ۲۰۱۱). باین همه این دگرگونی نه در مقیاس زمانی و نه در مقیاس مکان یکنواخت نیست (عساکره، ۱۳۸۶). ناهمگونی دگرگونی‌های بارش یکی از نشانه‌های رفتار پیچیده و غیرخطی سامانه آب و هوا است. از این رو هر چند که استفاده از روش‌های خطی در بررسی دگرگونی‌های عناصر و پدیده‌های آب و هوایی می‌تواند مفید باشد و به شناخت رفتار عمومی این متغیرها بینجامد؛ ولی دستیابی به شناختی ریزبینانه‌تر تنها با به کارگیری روش‌های غیرخطی ممکن است. بر همین پایه به کارگیری روش‌های غیرخطی در واکاوی دگرگونی‌های بارش امری بایسته است؛ از این رو در این پژوهش کوشش شده است تا روند فراوانی بارش سالانه در شمال باختری ایران با به کارگیری روش‌های خطی و غیرخطی بررسی شود. شمال باختری ایران استان‌های آذربایجان باختری، آذربایجان خاوری، اردبیل و زنجان را دربر گرفته است. گذر سامانه‌های بارشی، شکل‌گیری سلول‌های همرفتی به ویژه در موسم بهار زیر اثر ریخت‌شناسی پیچیده، نقش آشکار بلندی‌ها و چکادهای این ناحیه در انباشت برف و ذخیره‌سازی فصلی آب، سبب شده‌اند تا شمال باختری ایران مکانی برجسته در بررسی پیچیدگی‌های بارش باشد. همچنین شناخت رفتار درازمدت و وردایی بارش در شمال باختری ایران می‌تواند در مدیریت دریاچه ارومیه نقش بارزی داشته باشد. برآوردها نشان می‌دهد که در بستر این دریاچه نزدیک به ۸ میلیارد تن نمک وجود دارد (توریان و همکاران، ۲۰۱۵؛ سعیدآبادی، ۱۳۹۶)؛ از این رو کاهش تراز آب دریاچه ارومیه که در سال‌های گذشته رخ داده است، می‌تواند پیامدهای فاجعه باری به دنبال داشته باشد.

تاکنون پژوهش‌گران فراوانی به بررسی روند بارش پرداخته‌اند که برای نمونه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. گمر^۱ و همکاران (۲۰۰۴) روند بارش ماهانه چین را بررسی کرده و نشان دادند که دگرگونی روند از ماهی به ماه دیگر همگون نیست. مارنگو^۲ (۲۰۰۴) الگوهای درازمدت و دهه‌ای بارش در حوضه آمازون را بررسی کرده و دریافته است که بارش‌ها دارای روندی منفی هستند. نالی^۳ و همکاران (۲۰۱۲) روند بارش‌های ماهانه، فصلی و سالانه در جنوب انتاریا و کبک^۴ کانادا از ۱۹۵۴ تا ۲۰۰۸ را بررسی کرده و نشان دادند که بیش‌تر روندها مثبت بوده است. جیمز و واشنگتون^۵ (۲۰۱۳) تغییرات دما و بارش در آفریقا را در رابطه با گرمایش زمین بررسی کردند. یافته‌ها نشان داد که افزایش یک درجه سلسیوس در دمای زمین اثر کمی بر بارش آفریقا دارد اما افزایش دو تا چهار درجه‌ای می‌تواند اثرات خطرناکی در پی داشته باشد. وو^۶ (۲۰۱۵) به بررسی ویژگی‌های بارش در ایالات‌متحده بین سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۳ پرداخت. در این پژوهش بارش‌های سبک، متوسط و سنگین بررسی شد. وی نشان داد افزایش بارش ۱/۶۶ درصد در هر دهه بیش‌تر از یافته‌های پیشین بوده است. همچنین افزایش‌ها در بارش‌های شدید بیش‌تر بوده است. نورانی و همکاران (۲۰۱۵) به تحلیل روند داده‌های بارش و رواناب در تامبابای^۷ پرداختند و نشان دادند روندها بیش‌تر منفی بوده است. پاندی^۸ و همکاران (۲۰۱۷) روند بارش‌های هندوستان در دوره آماری ۱۸۵۱ تا ۲۰۰۶ را بررسی کردند و نشان دادند بارش‌های سالانه و موسمی در نواحی کوهستانی شمال هند همچنین در شمال خاوری افزایش داشته‌اند؛ درحالی که در دیگر نواحی روندهای منفی دیده می‌شود. تهرانی و همکاران (۲۰۱۸) روند بارش در حوضه آبریز نکا در شمال ایران را در دوره آماری ۱۹۷۲ تا ۲۰۱۵ بررسی کرده و نشان دادند بارش سالانه و موسم زمستان روندی کاهشی داشته‌اند. باین‌همه بیشینه بارش روزانه روندی افزایشی داشته است. بارتلز^۹ و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی فراوانی روزهای بارشی بین سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۵ بیان کردند که فراوانی رخداد بارش در ایالت‌های شمال خاوری و باختر مرکزی افزایش داشته است؛ درحالی که روندهای کاهشی در شمار روزهای بارشی جنوب خاوری و شمال باختری رخ داده است. هو^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی برخی ویژگی‌های هیدرواقليمی در حوضه رودخانه کامو^{۱۱} نشان دادند بارش‌های سالانه، موسم پاییز و زمستان در ایستگاه کوموگاهاتا^{۱۲} روند

1 Gemmer

2 Marengo

3 Nalley

4 Ontario and Quebec

5 James and Washington

6 Wu

7 Tampa Bay

8 Pandey

9 Bartels

10 Hu

11 Kamo

12 Kumogahata

افزایشی داشته است؛ ولی هیچ روند معنی‌داری در بارش‌های ایستگاه کیوتو^۱ رخ نداده است. هو^۲ و همکاران (۲۰۱۹) روند بارش در استان هونان^۳ چین بین سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۳ را بررسی کردند و نشان دادند بارش‌های زمستان و تابستان افزایش داشته‌اند. پال^۴ و همکاران (۲۰۱۹) روند بارش‌های سالانه، ماهانه، فصلی، موسمی، پیش از موسمی و پساموسمی در ایالت چھاتیسگرا^۵ در هندوستان را بررسی کردند و دریافتند روند منفی در همه سری‌های زمانی بارش در بیش‌تر نواحی این ایالت رخ داده است. پاول^۶ و همکاران (۲۰۱۹) روند بارش‌های هندوستان را بررسی کردند. به باور ایشان بارش‌های موسمی روند کاهشی داشته‌اند. سزن و پارتال^۷ (۲۰۲۰) روند بارش را در حوضه آبریز فرات- دجله بررسی کردند. یافته‌ها نشان داد که روند بارش سالانه، بهاره و زمستانه کاهشی بوده است. با این‌همه بارش در موسم تابستان و پاییز روند افزایشی داشته است.

در ایران نیز کاویانی و عساکره (۱۳۸۲) با بررسی بارش ۱۰۳ ساله ایستگاه اصفهان، نبود روند معنی‌دار در مشاهدات را نشان دادند. عساکره (۱۳۸۲) روند بارش سالانه تبریز را بررسی کرده و نشان داد که روند بارش منفی بوده است. رضیئی و همکاران (۱۳۸۴) با استفاده از ۷۹ ایستگاه، روند بارش در نواحی خشک و نیمه‌خشک مرکزی و خاوری ایران را برای دوره آماری ۲۰۰۰-۱۹۶۵، برآورد کردند. به باور ایشان روند بارش در این نواحی دچار دگرگونی نشده است. عساکره (۱۳۸۴) به کاوش در روند بارش‌های استان اصفهان پرداخته و نشان داد که بارش استان اصفهان دارای روند سهمی است. عسگری و رحیم زاده (۱۳۸۵) با استفاده از آمار ۳۴ ایستگاه همدید کشور، روند بارش را بررسی کردند. نتایج نشان داد که بارش کشور در پاره‌ای از ایستگاه‌ها افزایش و در برخی دیگر کاهش داشته است. حجام و همکاران (۱۳۸۷) روند دگرگونی بارش فصلی و سالانه در ایستگاه‌های گزینش شده ایران مرکزی را بررسی کردند. به باور ایشان بارش در این ناحیه از کشور روندی کاهشی داشته است. محمدی (۱۳۹۰) به کاوش در روند بارش کشور پرداخت. به باور وی میانگین بارش یاخته‌ای و ایستگاهی کشور از سال ۱۳۴۳ تا ۱۳۸۲ روند معنی‌داری نداشته است. عساکره و رزمی (۱۳۹۱) با بررسی اندازه بارش سالانه در شمال باختری ایران بیان کردند که در ۸۴/۵ درصد از پهنه موردبررسی بارش روند کاهش داشته و تنها در جنوب باختری روندهای افزایشی دیده می‌شود. احمدی و همکاران (۱۳۹۴) روند بارش در ایران را با به‌کارگیری داده‌های ماهانه بارش ۳۶ ایستگاه کشور در دوره آماری ۱۹۶۵ تا ۲۰۰۹ بررسی کردند. یافته‌ها نشان داد که در بیش‌تر ایستگاه‌های موردبررسی به‌ویژه در شمال باختری ایران بارش دارای روند کاهشی بوده است. همچنین میانگین بارش کشور نیز روندی کاهشی را

1 Kyoto

2 Hu

3 Hunan

4 Pal

5 Chhattisgarh

6 Paul

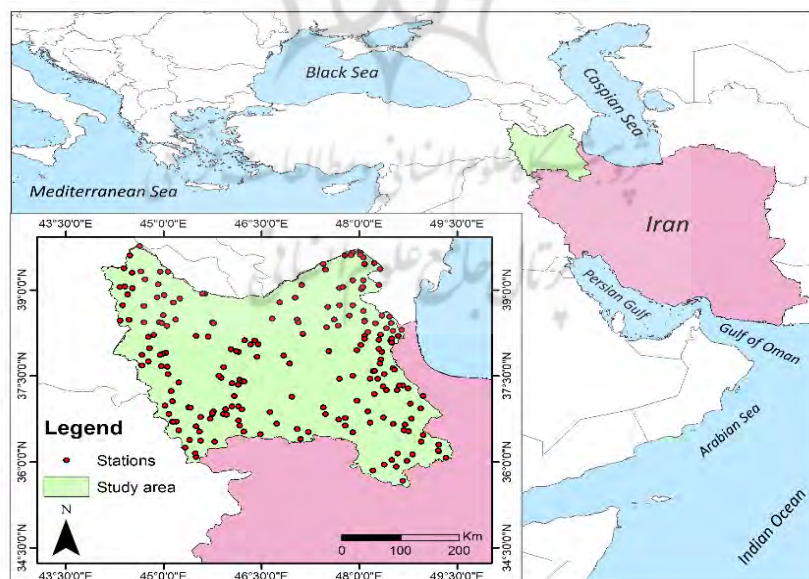
7 Sezen and Partal

نشان می‌دهد. اکبری و نودهی (۱۳۹۴) به بررسی بارش در ۹ ایستگاه باران‌سنجی استان گلستان، در یک دوره آماری ۴۱ ساله پرداختند. یافته‌ها نشان داد که بارش سالانه در بیش‌تر ایستگاه‌ها روند معنی‌داری نداشته است؛ ولی بارش موسم تابستان در بیش‌تر ایستگاه‌ها روندی کاهشی داشته و فراوانی روزهای بارش سنگین نیز روندی افزایشی داشته‌اند. امیررضاییه و همکاران (۱۳۹۵) با بررسی روند بارش و دمای شمال باختری ایران در دوره آماری ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰ نشان دادند که سری‌های زمانی ماهانه بارش روند کاهشی داشته‌اند؛ همچنین موسم بهار و زمستان بیش‌ترین نرخ کاهش را داشته‌اند. به گفته ایشان در مجموع روند کاهشی بارش، در ۷۰ درصد از ایستگاه‌ها دیده شده است. نورانی و همکاران (۱۳۹۵) روند تراز آب دریاچه ارومیه، بارش و برخی دیگر از متغیرهای هیدرواقلمی در حوضه آبریز آجی‌چای را بررسی کرده و بیان کردند که بارش در این حوضه روند معنی‌داری نداشته است.

۲- مواد و روش‌ها

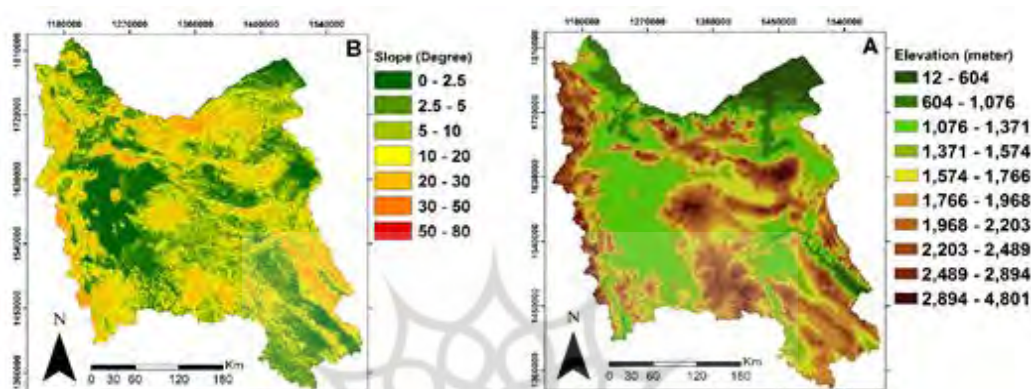
۲-۱- منطقه موردبررسی

در این پژوهش رفتار درازمدت بارش در شمال باختری ایران بررسی شده است. این منطقه بین عرض جغرافیایی ۳۵/۵ تا ۴۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۴ تا ۴۹/۵ درجه شرقی جای دارد که گستره‌ای برابر با ۱۲۶۰۳۹/۲ کیلومترمربع از ایران را دربر می‌گیرد. شکل ۱ موقعیت سیاسی ایران، شمال باختری آن و ایستگاه‌های همدید، آب‌و-هواشناسی و باران‌سنجی مورداستفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت سیاسی ایران، منطقه موردبررسی و ایستگاه‌های به‌کاررفته در این پژوهش

شکل ۲ ویژگی‌های ارتفاعی و شیب زمین در گستره مورد بررسی را نشان می‌دهد. شمال باختری ایران محل برخورد و به هم فشردگی سه فلات ایران، ارمنستان و آناتولی است (علائی طالقانی، ۱۳۸۸). رشته‌کوه‌های خاوری در این منطقه بیش تر سمت و سوی شمال باختری- جنوب خاوری و رشته‌کوه‌های باختری جهت شمالی- جنوبی دارند. بلندی‌های مرکزی که از جنوب تا بخش‌های میانی منطقه گسترش یافته‌اند نیز بیش تر جهت شمال باختری- جنوب خاوری داشته که در نواحی خاوری و جنوب خاوری دریاچه ارومیه گسترش یافته‌اند.



شکل ۲- اشکوب‌های ارتفاعی (A)، شیب ناهمواری (B)

بر پایه یافته‌های مسعودیان (۱۳۸۸) شمال باختری ایران در دو ناحیه بارشی کشور جای دارد. نخست ناحیه کم- بارش شمالی که استان‌های آذربایجان خاوری، اردبیل، زنجان و بخش‌هایی از آذربایجان باختری را در بر می‌گیرد و دوم ناحیه نیمه پربارش زاگرس شمالی که در جنوب و جنوب باختری آذربایجان باختری دیده می‌شود. دریاچه ارومیه یکی از دریاچه‌های فرا اشباع از نمک در جهان است که نقش برجسته‌ای در ویژگی‌های آب- وهوایی، زیستی و اقتصادی شمال باختری ایران دارد (جلیلی و همکاران، ۲۰۱۱؛ سعیدآبادی، ۱۳۹۶). این دریاچه در بیش‌ترین اندازه خود نزدیک به ۱۴۰ کیلومتر درازا و ۵۵ کیلومتر پهنا دارد. بیشینه ژرفای دریاچه ارومیه ۲۰ متر بوده و بستر آن نیز ۱۲۶۸ متر بالاتر از تراز آب‌های آزاد است (یاراحمدی، ۱۳۹۳؛ سعیدآبادی، ۱۳۹۶). باین‌همه در سال‌های گذشته تراز آب دریاچه کاهش داشته است؛ به‌گونه‌ای که نزدیک به ۶۰ درصد از گستره خود را از دست داده و از ۵۴۰۰ کیلومترمربع در سال ۱۳۷۴ به ۱۸۰۰ کیلومترمربع در سال ۱۳۹۱ رسیده است (توریان و همکاران، ۲۰۱۵؛ سعیدآبادی، ۱۳۹۶). کاهش تراز آب دریاچه ارومیه می‌تواند اثر بارزی بر شرایط آب‌وهوایی شمال باختری ایران داشته باشد. برای نمونه یافته‌های یک همانندسازی نشان می‌دهد که با خشک شدن دریاچه ارومیه، بارش در شمال باختری ایران به شکل میانگین تا ۱۰ درصد کاهش می‌یابد و بیش‌ترین اندازه کاهش نیز در موسم بهار رخ خواهد داد (سعیدآبادی، ۱۳۹۶).

روی هم‌رفته وجود کوه‌ها، دره‌ها، دشت‌ها و زمین‌های هموار در کنار هم و در یک گستره جغرافیایی کوچک سبب شده است تا شمال باختری ایران از ریخت‌شناسی پیچیده‌ای برخوردار باشد. ناهمسانی‌های زیاد ارتفاعی و تنوع زیاد شیب زمین در مسافت‌های کوتاه به همراه دامنه‌هایی که در جهت‌های جغرافیایی گوناگون گسترش یافته‌اند؛ سبب می‌شود تا توزیع مکانی انرژی و رطوبت در شمال باختری ایران در مسافت‌های کوتاه ناهمگون باشد. از این رو رخداد بارش‌های همرفتی، طوفان‌های تندری و پهنه‌های بارشی گوناگون از ویژگی‌های بارش در این ناحیه است.

۲-۲- داده‌ها

داده‌های به‌کاررفته در این پژوهش، داده‌های شبکه‌ای روزانه بارش شمال باختری ایران از ۱۹۷۰/۱/۱ تا ۲۰۱۳/۱۲/۳۱ (۱۶۰۷۱ روز) است. این داده‌ها دستاورد میان‌بایی بارش روزانه با روش کریجینگ در دستگاه مختصات لامبرت مخروطی هم‌شکل هستند. اندازه هر یاخته ۴ کیلومتر در ۴ کیلومتر است؛ از این رو آرایه داده‌ها ۷۸۱۸ در ۱۶۰۷۱ است که به ترتیب شمار یاخته‌ها و روزها را نشان می‌دهند. تبدیل داده‌های ایستگاهی به شبکه‌ای با دو انگیزه انجام شده است؛ نخست آنکه ناهمگونی دوره آماری ایستگاه‌ها و همچنین داده‌های گمشده، خود مشکلی در پژوهش‌های آب‌وهوایی است. این تبدیل برای کاهش اثر چنین داده‌هایی است. دوم آنکه داده‌های شبکه‌ای پوشش کامل تری از داده‌های نقطه‌ای که با پهنه‌های بدون مقدار از هم جدا شده‌اند، ایجاد می‌کنند.

۲-۳- روش پژوهش

در الگوسازی‌های خطی انگاره بنیادین این است که نرخ دگرگونی‌ها ایستا است (راولینگز^۱ و همکاران، ۱۹۹۸). به بیان دیگر دگرگونی‌های یک سامانه در راستای زمان نرخی یکسان دارد. با این همه می‌دانیم که پدیده‌های طبیعی بیش‌تر به رفتارها و الگوهای غیرخطی گرایش دارند. هرچند که ساده‌سازی رفتار یک پدیده بخشی از فرایند الگوسازی و از پایه‌های این فرایند است؛ ولی الگوسازی‌های خطی در برخی موارد به ساده‌سازی بیش از اندازه می‌انجامد. از این رو شاید بتوان گفت که الگوسازی‌های خطی برای ایجاد چشم‌اندازی کلی از رفتار یک پدیده شایسته هستند؛ ولی اگر انگیزه پژوهش چیزی فراتر از رسیدن به یک چشم‌انداز کلی باشد؛ الگوهای خطی کارکرد خود را از دست داده و چه‌بسا گمراه‌کننده نیز باشند.

یکی از رویکردهای مناسب در بررسی روندهای غیرخطی، به‌کارگیری رگرسیون‌های چندجمله‌ای است. رگرسیون‌های چندجمله‌ای می‌توانند دارای یک، دو و یا بیش از دو متغیر پیشگو بوده و همچنین هر متغیر پیشگو نیز توان‌های گوناگونی داشته باشد. در این مدل‌ها بزرگ‌ترین توان درجه چندجمله‌ای را مشخص می‌کند و درجه چندجمله‌ای شمار چرخش‌های منحنی رگرسیون را شکل می‌دهد. برای نمونه چندجمله‌ای درجه ۲ دارای یک چرخش و چندجمله‌ای درجه ۳ دارای دو چرخش است (عساکره، ۱۳۹۰).

یک مدل رگرسیون خطی را با نگارش آرایه‌ای می‌توان به شکل زیر نشان داد (راولینگز و همکاران، ۱۹۹۸؛ گروبر^۱، ۲۰۱۳):

$$Y = X\beta + \varepsilon \quad (1)$$

رابطه بالا را برای مدلی با یک متغیر پیشگو به شکل زیر نیز می‌توان نوشت (گروبر، ۲۰۱۳):

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 \\ 1 & x_2 \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ 1 & x_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

و یا برای یک مدل چند متغیره می‌توان نوشت (راولینگز و همکاران، ۱۹۹۸):

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \beta_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

در روابط بالا بردار Y متغیر پاسخ، آرایه X متغیر یا متغیرهای پیشگو و ستون ۱ در این آرایه برای برآورد عرض از مبدأ است؛ بردار β ضریب‌های مدل و بردار ε مانده‌های برآورد هستند. ضریب‌های مدل را می‌توان به شکل آرایه‌ای زیر به دست آورد (راولینگز و همکاران، ۱۹۸۸):

$$\beta = (X'X)^{-1} X'Y \quad (4)$$

با نگرش به اینکه رگرسیون‌های چندجمله‌ای گونه‌ای خاص از رگرسیون‌های چند متغیره هستند؛ با جایگزین کردن X با X_1 ، X^2 با X_2 تا X^n با X_n در روابط بالا می‌توان ضریب‌های یک رگرسیون چندجمله‌ای را به دست آورد (عساکره، ۱۳۹۰؛ راولینگز و همکاران، ۱۹۹۸). برای آزمون معنی‌داری مدل می‌توان آماره F را از رابطه زیر به دست آورد (براون^۲، ۲۰۱۴):

$$F = \frac{SS_{reg} / k}{SS_{res} / (n - k - 1)} \quad (5)$$

1 Gruber

2 Brown

در رابطه بالا n شمار داده‌ها، k شمار متغیرهای پیشگو، SS_{reg} و SS_{res} به ترتیب مجموع مربعات رگرسیون و مجموع مربعات مانده‌ها هستند و بر پایه نگارش آرایه‌ای به شکل زیر محاسبه می‌شوند (براون، ۲۰۱۴):

$$SS_{reg} = (X\beta - \bar{y})'(X\beta - \bar{y}) \quad (6)$$

$$SS_{res} = (y - X\beta)'(y - X\beta) \quad (7)$$

از آنجاکه رد فرض صفر در آزمون معنی‌داری برای یک رگرسیون چندمتغیره گواه این است که دست‌کم یکی از متغیرهای پیشگو شرکت معنی‌داری در مدل دارد؛ آزمون هر یک از ضریب‌ها بایسته است (عساکره، ۱۳۹۰). همچنین با نگرش به اینکه هر یک از فراسنج‌های عرض از مبدأ و شیب خط متغیرهای تصادفی به شمار می‌روند؛ می‌توان آزمون معنی‌داری را بر روی آن‌ها انجام داد (عساکره، ۱۳۹۰، ۴۵۴). برای آزمون ضریب‌های مدل به آرایه کوواریانس (C) متغیرهای پیشگو نیاز است. این آرایه به روش زیر به دست می‌آید (براون، ۲۰۱۴):

$$C = (X'X)^{-1} \times MS_{res} \quad (8)$$

که MS_{res} میانگین مربع مانده‌ها بوده و از رابطه زیر حساب می‌شود (براون، ۲۰۱۴):

$$MS_{res} = \frac{SS_{res}}{n - k - 1} \quad (9)$$

با در دست داشتن درایه‌های قطر اصلی آرایه کوواریانس می‌توان خطای استاندارد هر ضریب را برآورد کرد (براون، ۲۰۱۴):

$$SE(\beta_i) = \sqrt{c_{ii}} \quad (10)$$

و در پایان آماره t برای هر ضریب به شکل زیر به دست می‌آید (براون، ۲۰۱۴):

$$t_o = \frac{\beta_i}{SE(\beta_i)} \quad (11)$$

برای محاسبه ضریب تبیین نیز می‌توان رابطه زیر را به کار گرفت (براون، ۲۰۱۴):

$$R^2 = \frac{SS_{reg}}{SS_{tot}} \quad (12)$$

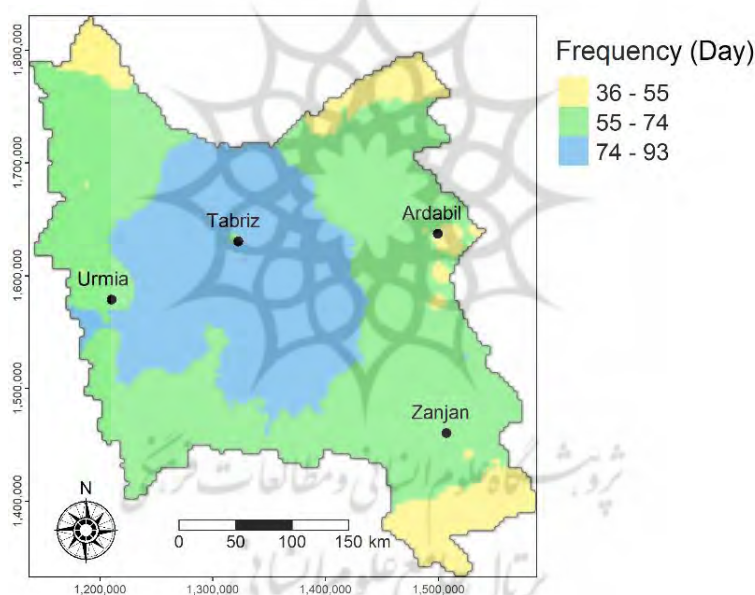
که SS_{tot} مجموع مربعات کل بوده و به شکل زیر محاسبه می‌شود (براون، ۲۰۱۴):

$$SS_{tot} = (y - \bar{y})'(y - \bar{y}) \quad \text{یا} \quad SS_{tot} = SS_{reg} + SS_{res} \quad (13)$$

۳- نتایج و بحث

۳-۱- توزیع مکانی میانگین فراوانی بارش سالانه

شکل ۳ توزیع مکانی میانگین فراوانی بارش سالانه در شمال باختری ایران در دوره آماری ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۳ را نشان می‌دهد. در این شکل فراوانی روزهای بارشی به سه دسته بخش شده‌اند. دسته ۳۶ تا ۵۵ روز که بیش‌تر در جنوب خاوری، خاور، شمال خاوری و شمال باختری منطقه دیده می‌شوند. بخش‌های میانی و شمالی بیش‌ترین فراوانی بارش سالانه را داشته‌اند که از ۷۴ تا ۹۳ روز بوده است. پیرامون پهنه‌های دارای بیشینه فراوانی، به‌سوی خاور، باختر و جنوب منطقه شمار روزهای بارشی بین ۵۵ تا ۷۴ روز بوده است. از این‌رو در یک روند کلی فراوانی روزهای بارشی از بخش‌های میانی به پیرامون کاهش می‌یابد. میانگین پهنه‌های فراوانی بارش در شمال باختری ایران 11 ± 69 روز بوده است.

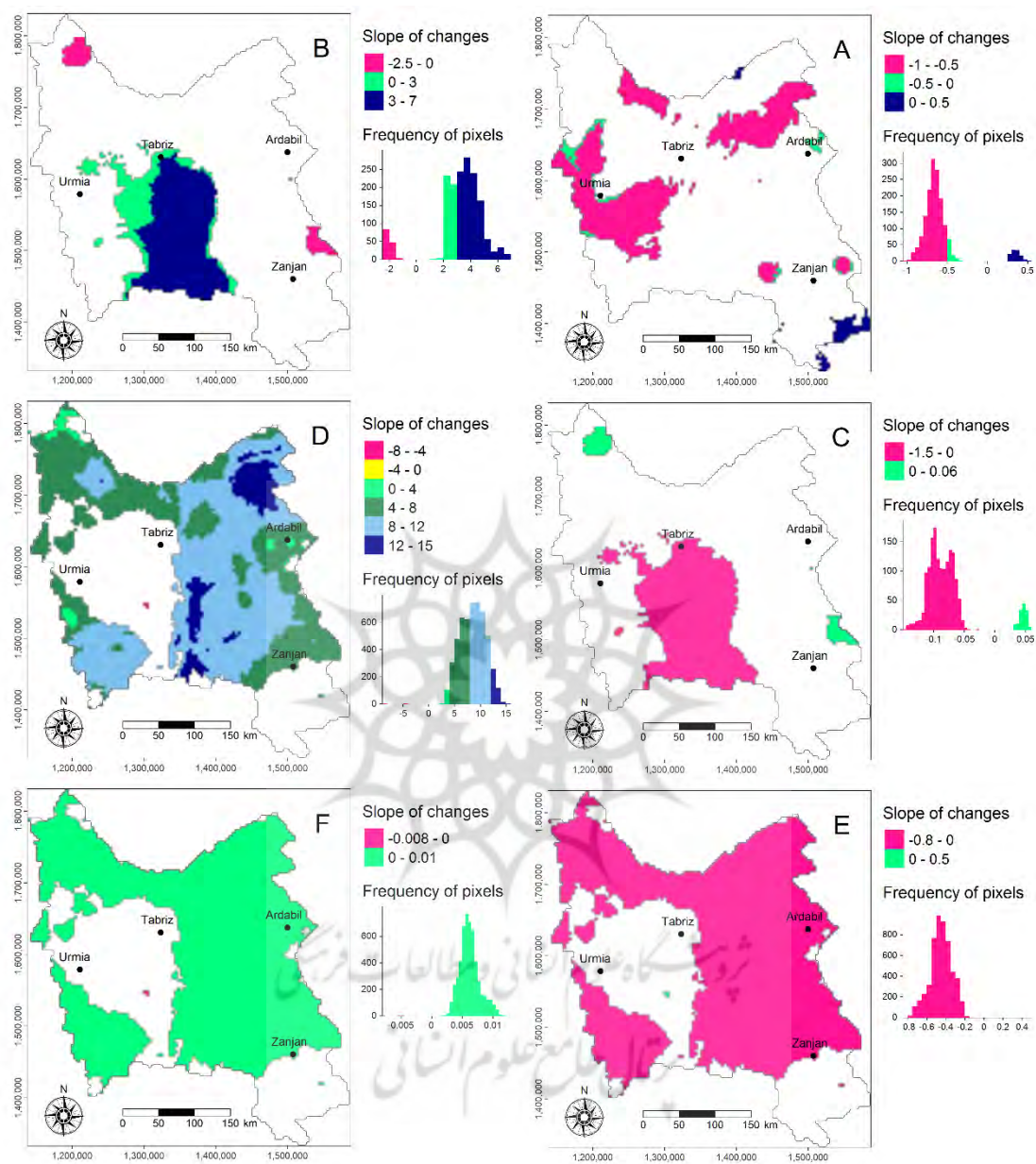


شکل ۳- توزیع مکانی فراوانی بارش سالانه شمال باختری ایران در دوره ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۳

۳-۲- کاوش روند فراوانی بارش با مدل‌های خطی و غیرخطی

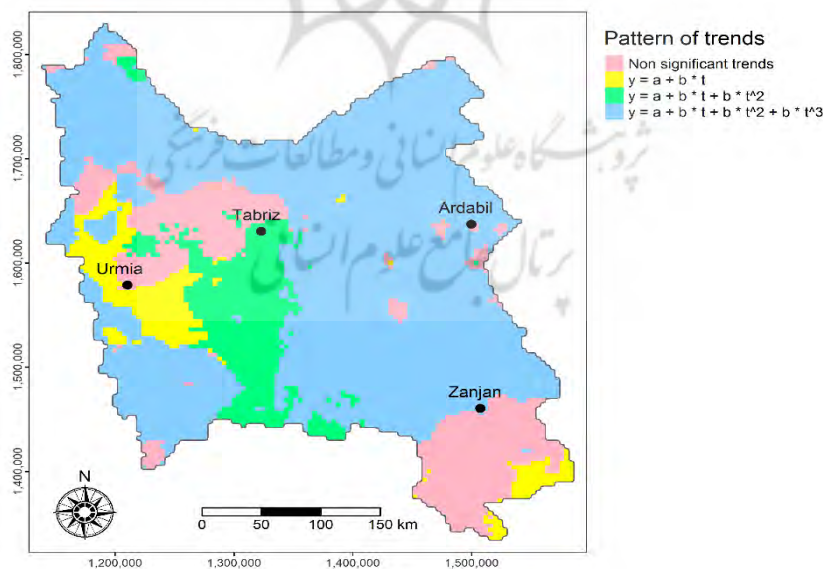
شکل ۴ روندهای معنی‌دار فراوانی بارش سالانه در شمال باختری ایران را بر پایه مدل‌های خطی، درجه ۲ و درجه ۳ نشان می‌دهد. بافتنگاری که در این شکل آمده است نیز شمار یاخته‌ها در هر یک از رسته‌های شیب تغییرات را نمایش می‌دهد؛ همچنین گستره زیر پوشش رسته‌های شیب در جدول ۱ آمده است. بر پایه شکل ۴-A و جدول

۱ در ۲۱/۸۲ درصد از گستره مورد بررسی روندهای خطی معنی دار با اطمینان ۹۵ درصد و بیش تر در فراوانی بارش سالانه روی داده است. از این بین در ۱۸/۸ درصد از گستره مورد بررسی فراوانی روزهای بارشی با میانگین ۱- تا ۰/۵- روز در هر سال کاهش داشته است. همچنین در ۱/۵ درصد از منطقه شیب دگرگونی‌ها بین ۰/۵- تا ۰ بوده است. بخش‌هایی که روند کاهشی داشته‌اند بیش تر در باختر و شمال منطقه، همچنین در دو ناحیه کوچک در باختر و خاور شهر زنجان جای دارند. روندهای افزایشی که بین ۰/۵ تا صفر بوده است؛ تنها در جنوب خاوری و شمال منطقه دیده می‌شوند. این نواحی ۱/۵۲ درصد از گستره شمال باختری کشور را پوشش داده‌اند. از این رو در گستره‌ای برابر با ۲۰/۳ درصد از شمال باختری ایران روندهای کاهشی و در ۱/۵۲ درصد روندهای افزایشی معنی دار رخ داده است. شکل ۴-B و ۴-C بخش‌هایی از منطقه که در یک مدل درجه ۲ دارای روندهای معنی دار هستند را نشان می‌دهد. در این شکل بخش B نشان‌گر ضریب زمان و بخش C نشان‌گر ضریب توان دوم زمان است. با نگرش به شکل یاد شده و جدول ۱ در ۱/۷ درصد از پهنه مورد بررسی در سال‌های نخستین روند فراوانی بارش سالانه کاهشی و پس از آن افزایشی بوده است. این پهنه‌ها در خاور و شمال باختری منطقه جای دارند. در ۱۹/۱ درصد از گستره مورد بررسی که بیش تر در جنوب و بخش‌های میانی دیده می‌شوند سال‌های نخست روند مثبت و پس از آن روندهای منفی روی داده است. از این رو در گستره‌ای برابر با ۲۰/۸ درصد روندهای درجه ۲ معنی دار رخ داده است. می‌توان دید که روندهای درجه ۲ در برخی بخش‌ها با روندهای خطی هم‌پوشانی دارند. باین‌همه روندهای درجه ۲ بیش تر در نواحی مرکزی و جنوبی رخ داده است؛ در حالی که روندهای خطی بیش تر به نواحی باختری و شمالی گرایش داشته‌اند. شکل ۴-D، ۴-E و ۴-F همچنین جدول ۴ نشان می‌دهند که در گستره‌ای برابر با ۶۷/۰۴ درصد از شمال باختری ایران یک مدل درجه ۳ الگوی برانزده بر روند فراوانی بارش است. از این بین در بخش کوچکی از نواحی میانی که برابر با ۰/۰۴ درصد از گستره مورد بررسی است؛ سال‌های نخستین همراه با کاهش فراوانی بارش بوده است (شکل ۴-D) که پس از آن روندی افزایشی روی داده (شکل ۴-E) و در سال‌های پایانی بار دیگر روند فراوانی بارش سالانه کاهشی بوده است (شکل ۴-F). در ۶۶ درصد دیگر از گستره مورد بررسی شرایط وارونه بوده و از این رو سال‌های نخستین همراه با افزایش فراوانی بارش، سال‌های میانی همراه با کاهش و سال‌های پایانی بار دیگر همراه با افزایش شمار روزهای بارشی بوده است. پهنه‌های یاد شده در نیمه خاوری (به‌غیر از جنوب)، شمال، شمال باختری، بخش‌هایی از خاور و جنوب خاوری جای دارند. روی هم‌رفته روندهای درجه ۳ بخش‌های درخور توجهی از نیمه خاوری، شمال و جنوب باختری را پوشش داده‌اند که در برخی نواحی با روندهای درجه ۲ و خطی هم-پوشانی دارند.



شکل ۴- روندهای معنی‌دار فراوانی بارش سالانه با اطمینان ۹۵ درصد و بیش‌تر (A ضریب زمان در مدل خطی، B و C به ترتیب ضریب زمان و ضریب زمان به توان ۲ در مدل درجه ۲، D، E و F به ترتیب ضریب زمان، ضریب زمان به توان ۲ و ضریب زمان به توان ۳ در مدل درجه ۳)

گستره‌ای برابر با ۸۳/۱ درصد از شمال باختری ایران فراوانی بارش سالانه روند معنی‌دار داشته و در این بین الگوی درجه ۳ با ۶۶ درصد بیش‌ترین سهم را داشته است. نواحی دارای روند درجه ۳ بیش‌تر در نیمه خاوری، شمال، شمال باختری و بخش‌هایی از باختر دیده می‌شوند که از پیوستگی درخور توجهی نیز برخوردار هستند؛ همچنین الگوی درجه ۳ در بخش‌هایی از باختر منطقه نیز الگوی برتر بوده است. روندهای درجه ۲ بیش‌تر در جنوب و بخش‌های میانی با گرایش به باختر دیده می‌شوند. باین‌همه در بخش‌های کوچکی از باختر و شمال باختری نیز روندها از همین الگو پیروی می‌کند. گستره‌های دارای روند درجه ۲، ۱۰/۷ درصد از شمال باختری ایران را دربر گرفته‌اند. روندهای خطی که تنها ۶/۴ درصد از منطقه را پوشش داده‌اند؛ بیش‌تر در بخش‌های باختری و جنوب خاوری جای دارند و در ۱۶/۹ درصد از منطقه نیز هیچ روند معنی‌داری دیده نشده است. نواحی بدون روند بیش‌تر در جنوب خاوری، مرکز و باختر جای دارند؛ همچنین بخش‌های کوچکی از نیمه خاوری، شمال خاوری، شمال باختری و جنوب باختری نیز از همین ویژگی برخوردار بوده‌اند. نکته درخور نگرش توزیع مکانی روندهای درجه ۲ در باختر رشته‌کوه‌های مرکزی و خاور دریاچه ارومیه است. الگوهای خطی نیز بیش‌تر در باختر دریاچه ارومیه دیده می‌شوند؛ از این‌رو نقش دریاچه ارومیه در کنترل رفتار بلندمدت بارش سالانه قابل استنباط است. همچنین نقش کوه‌های مرکزی که در بخش‌های خاوری دریاچه ارومیه جای دارند؛ گسترش اثر دریاچه به‌سوی نواحی خاوری را محدود می‌کند به‌گونه‌ای که راستای جدایی روندهای درجه ۲ و درجه ۳ هماهنگ با بلندی‌های رشته‌کوه‌های مرکزی در این ناحیه است.



شکل ۵- الگوی برتر روند فراوانی بارش سالانه در شمال باختری ایران در دوره آماری ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۳

جدول ۲- گستره زیر پوشش الگوی برتر روند فراوانی و اندازه بارش سالانه برای هر یاخته

متغیر	الگوی روند	گستره به کیلومتر مربع	گستره به درصد
فراوانی بارش سالانه	غیر معنی دار	۲۱۱۳۶	۱۶۹
	روند خطی	۸۰۱۶	۶۴
	روند درجه ۲	۱۳۳۴۴	۱۰/۷
	روند درجه ۳	۸۲۵۹۲	۶۶

۴- جمع بندی

در این پژوهش کوشش شد تا توزیع مکانی روند فراوانی و اندازه بارش سالانه شمال باختری ایران در دوره آماری ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۳ میلادی بررسی شود. در این راستا از الگوهای خطی و غیرخطی استفاده شده است. یافته‌های این پژوهش نشان داد که الگوهای خطی در آشکارسازی روند بارش سالانه در شمال باختری ایران با کاستی‌های فراوانی همراه هستند؛ به گونه‌ای که بر پایه یک الگوی خطی فراوانی بارش تنها در ۲۱/۸۲ درصد از شمال باختری ایران روند معنی داری داشته‌اند. حال آنکه با افزودن الگوهای درجه ۲ و درجه ۳ روند فراوانی بارش در ۸۳/۱ درصد از شمال باختری ایران معنی دار می‌شود. چنانچه الگوی دارای بالاترین درجه را پایه‌گزینش الگوی برتر در هر یاخته بدانیم؛ آنگاه رفتار درازمدت فراوانی بارش سالانه در ۶۴ درصد از شمال باختری ایران از الگوی خطی، در ۱۰/۷ درصد از یک الگوی درجه ۲ و در ۶۶ درصد از یک الگوی درجه ۳ پیروی می‌کند؛ همچنین در ۱۶۹ درصد از منطقه هیچ‌یک از الگوها روند معنی داری را نشان ندادند. پیش از این عساکره و رزمی (۱۳۹۱) بر پایه پژوهشی که سال‌های ۱۹۶۶ تا ۲۰۰۵ را پوشش می‌دهد و از رگرسیون خطی برای برآورد روند استفاده می‌کند؛ نتیجه گرفته‌اند که اندازه بارش در ۸۴/۵ درصد از منطقه روندی کاهشی داشته و تنها در جنوب باختری روبه افزایش بوده است. به نظر می‌رسد که تفاوت‌های در نتایج این پژوهش و تحقیق یاد شده به دلیل دوره آماری ناهمسان و روش‌های متفاوت در برآورد روند باشد. همچنین عساکره (۱۳۸۴) پیروی بارش سالانه در استان اصفهان از یک الگوی غیرخطی را گزارش کرده است. از این رو پیشنهاد می‌شود تا رفتارهای درازمدت بارش در دیگر نواحی کشور نیز بر پایه مدل‌های غیرخطی مورد بازنگری قرار گیرد.

نکته درخور نگرش دیگر که در این پژوهش نشان داده شد؛ نقش دریاچه ارومیه و رشته‌کوه‌های مرکزی در توزیع مکانی روند است. به گونه‌ای که کانون روندهای درجه ۲ و دست‌کم بخش زیادی از روندهای خطی پیرامون دریاچه و در باختر کوه‌های مرکزی است. از سوی دیگر گسترش روندهای درجه ۳ در تمامی موقعیت‌های جغرافیایی به غیر از پیرامون دریاچه این گمانه را ایجاد می‌کند که روندهای درجه ۳ بیش‌تر زیر اثر اطلاعات و رویدادهای بزرگ‌مقیاس آب‌وهوا شکل گرفته‌اند. از این رو دریاچه ارومیه و رشته‌کوه‌های مرکزی به عنوان یک عامل محلی بر چگونگی اثر رخدادهای بزرگ‌مقیاس نقش داشته و رفتار بلندمدت بارش را دستخوش دگرگونی می‌کند. به بیان دیگر

این دو عامل محلی سبب تغییر در تفسیر اطلاعاتی می‌شوند که از سامانه کلان آب‌وهوا دریافت می‌شود و پیامد آن دگرگونی آشکار رفتار درازمدت بارش در پیرامون دریاچه است. با این همه، این گمانه نیازمند بررسی‌های دقیق‌تری است و می‌توان آن را یکی از پیشنهادهای این پژوهش به حساب آورد. یافته‌های این پژوهش اثر دریاچه ارومیه بر رفتار بلندمدت بارش را به روشنی نشان می‌دهد. گذشته از این سعیدآبادی (۱۳۹۶) نشان داده است که خشک شدن این دریاچه می‌تواند به کاهش بارش دریافتی در شمال باختری ایران بینجامد. این یافته‌ها می‌تواند گواهی بر نقش برجسته دریاچه ارومیه بر آب‌وهوای ناحیه‌ای و خرد باشد. از این رو بایسته است که مدیران و سیاست‌گذاران توجه ویژه‌ای به دگرگونی‌های تراز آب این دریاچه داشته باشند.

کتابنامه

- احمدی، محمد؛ فتح نیا، امان اله؛ آب‌خرابات، شعیب؛ ۱۳۹۴. فراکاوی روند بارش در ایران و ارتباط آن با واداشتهای پیوند از دور. *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*. (۲۳) ۱۳۹۴، ۳۲-۱۹.
- اکبری، مه‌ری؛ نوده‌ی، وحیده؛ ۱۳۹۴. بررسی و تحلیل روند بارش سالانه و تابستانه استان گلستان. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*. (۱۷) ۵، ۱۵۰-۱۴۱.
- امیررضائی، علیرضا؛ پرهمت، جهانگیر؛ احمدی، فرشاد؛ ۱۳۹۵. بررسی روند تغییرات بارش و دمای شمال غرب کشور در نیم قرن اخیر. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*. (۶) ۱۰، ۸۰۹-۷۹۷.
- حجام، سهراب؛ خوشخو، یونس؛ شمس‌الدین وندی، رضا؛ ۱۳۸۷. تحلیل روند تغییرات بارندگی سالانه و فصلی در چند ایستگاه منتخب در حوضه مرکزی ایران با استفاده از روش‌های ناپارامتری. *پژوهش‌های جغرافیایی*. ۶۴، ۱۶۸-۱۵۷.
- رضیئی، طیب؛ دانش کار آراسته، پیمان؛ ثقفیان، بهرام؛ ۱۳۸۴. بررسی روند بارندگی سالانه در مناطق خشک و نیمه خشک مرکزی و شرقی ایران. *مجله آب و فاضلاب*. (۲) ۱۶، ۸۱-۷۳.
- سعیدآبادی، رشید؛ ۱۳۹۶. شبیه‌سازی عددی نقش دریاچه ارومیه در ماهیت اقلیمی منطقه پیرامونی آن. *نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی*. (۲۱) ۶۲، ۱۶۱-۱۳۹.
- عراقی، علیرضا؛ موسوی بایگی، محمد؛ هاشمی‌نیا، سید مجید؛ ۱۳۹۴. بکارگیری تبدیل موجک گسسته برای تحلیل روند و شناسایی الگوهای نوسانی دما (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک مشهد). *مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*. (۱) ۲۹، ۲۴۹-۲۳۹.
- عساکره، حسین؛ ۱۳۸۴. تحلیل روند بارش سالانه استان اصفهان. *نیوار*. ۳۰، ۹۰-۷۶.
- ؛ ۱۳۸۶. *تغییر اقلیم*. دانشگاه زنجان.
- ؛ ۱۳۸۶. کاربرد رگرسیون خطی در تحلیل روند دمای تبریز. *تحقیقات جغرافیایی*. (۴) ۸۷، ۲۵-۳.
- ؛ ۱۳۹۰. *مبانی اقلیم‌شناسی آماری*. دانشگاه زنجان.

- عساکره، حسین؛ رزمی، رباب؛ ۱۳۹۱. تحلیل تغییرات بارش سالانه شمال غرب ایران. *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*. ۲۳(۳)، ۱۶۲-۱۴۷.
- عسگری، احمد؛ رحیم زاده، فاطمه؛ ۱۳۸۵. مطالعه تغییر پذیری بارش دهه‌های اخیر ایران. *پژوهش‌های جغرافیایی*. ۳۸، ۸۰-۶۷.
- علائی طالقانی، محمود؛ ۱۳۸۸. *ژئومورفولوژی ایران*. نشر قومس. چاپ پنجم.
- کاویانی، محمد رضا؛ حسین، عساکره؛ ۱۳۸۲. بررسی آماری روند بلند مدت بارش سالانه اصفهان. *مجله پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان*. ۱۸(۱)، ۱۶۲-۱۴۳.
- محمدی، بختیار؛ ۱۳۹۰. تحلیل روند بارش سالانه ایران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*. ۴۴(۳)، ۹۵-۱۰۶.
- مسعودیان، سید ابوالفضل؛ ۱۳۹۰. *آب‌وهوای ایران*. مشهد: شریعه توس.
- نورانی، وحید؛ آزاد، نرگس؛ قاسم زاده، مهسا؛ شرقی، الناز؛ ۱۳۹۵. بررسی تأثیر پارامترهای هیدروکلیماتولوژیکی آجسی جای بر تغییرات تراز آب دریاچه ارومیه با استفاده از مدل ترکیبی موجک - من کندال. *نشریه هیدروژئومورفولوژی*. ۷، ۱۵۹-۱۴۱.
- یاراحمدی، دایوش؛ ۱۳۹۳. تحلیل هیدروکلیماتولوژیکی نوسان‌های سطح آب دریاچه ارومیه. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*. ۴۶(۱)، ۹۲-۷۷.

- Bartels, R. J., Black, A. W., & Keim, B. D., 2020. Trends in precipitation days in the United States. *International Journal of Climatology*, 40(2), 1038-1048.
- Brown, Jonathon D., 2014. *Linear Models in Matrix Form*, Springer.
- Gemmer, M., Becker, S., & Jiang, T., 2004. Observed monthly precipitation trends in China 1951–2002. *Theoretical and applied climatology*, 77(1-2), 39-45.
- Gruber, Marvin H. J., 2013. *Matrix algebra for linear Models*, Wiley.
- Hu, M., Sayama, T., Try, S., Takara, K., & Tanaka, K., 2019. Trend analysis of hydroclimatic variables in the Kamo River Basin, Japan. *Water*, 11(9), 1782.
- Hu, Q., He, X., Lu, X. A., & Zhang, X., 2019. Trend Analysis of Seasonal Precipitation (1960–2013) in Subregions of Hunan Province, Central South China Using Discrete Wavelet Transforms. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 58(10), 2159-2175.
- Jalili, S., Kirchner, I., Livingstone, D. M., & Morid, S., 2012. The influence of large-scale atmospheric circulation weather types on variations in the water level of Lake Urmia, Iran. *International Journal of Climatology*, 32(13), 1990-1996.
- James, R., & Washington, R., 2013. Changes in African temperature and precipitation associated with degrees of global warming. *Climatic change*, 117(4), 859-872.
- Marengo, J. A., 2004. Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. *Theoretical and applied climatology*, 78(1-3), 79-96.
- Nalley, D., Adamowski, J., & Khalil, B., 2012. Using discrete wavelet transforms to analyze trends in streamflow and precipitation in Quebec and Ontario (1954–2008). *Journal of hydrology*, 475, 204-228.
- Nourani, V., Nezamdoost, N., Samadi, M., & Daneshvar Vousoughi, F., 2015. Wavelet-based trend analysis of hydrological processes at different timescales. *Journal of Water and Climate Change*, 6(3), 414-435.

- Pal, L., Ojha, C. S. P., Chandniha, S. K., & Kumar, A., 2019. Regional scale analysis of trends in rainfall using nonparametric methods and wavelet transforms over a semi-arid region in India. *International Journal of Climatology*, 39(5), 2737-2764.
- Pandey, B. K., Tiwari, H., & Khare, D., 2017. Trend analysis using discrete wavelet transform (DWT) for long-term precipitation (1851–2006) over India. *Hydrological sciences journal*, 62(13), 2187-2208.
- Paul, R. K., Sarkar, S. A. N. D. I. P. A. N., Mitra, D., Panwar, S. A. N. J. E. E. V., Paul, A. K., & Bhar, L. M., 2020. Wavelets based estimation of trend in sub-divisional rainfall in India. *Mausam*, 71(1), 69-78.
- Rawlings, John O., Pantula, Sastry G., Dickey, David A., 1998. *Applied Regression Analysis: A Research Tool*, Second Edition, Springer.
- Sezen, C., & Partal, T., 2020. Wavelet combined innovative trend analysis for precipitation data in the Euphrates-Tigris basin, Turkey. *Hydrological Sciences Journal*, 1-19.
- Tehrani, E. N., Sahour, H., & Boojj, M. J., 2019. Trend analysis of hydro-climatic variables in the north of Iran. *Theoretical and applied climatology*, 136(1-2), 85-97.
- Tourian, M. J., Elmi, O., Chen, Q., Devaraju, B., Roohi, S., & Sneeuw, N., 2015. A spaceborne multisensor approach to monitor the desiccation of Lake Urmia in Iran. *Remote Sensing of Environment*, 156, 349-360.
- Trenberth, K. E., 2011. Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*, 47(1-2), 123-138.
- Wu, S. Y., 2015. Changing characteristics of precipitation for the contiguous United States. *Climatic Change*, 132(4), 677-692.

