



Spatial Analysis of Changes and Detection of Jump of Monthly Evapotranspiration Time Series in Mazandaran

Reza Norooz-Valashedi¹ , Sedigheh Bararkhanpour Ahmadi² 

1. Corresponding Author, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. Email: r.norooz@sanru.ac.ir

2. Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. Email: rbararkhan@gmail.com

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Aug. 1, 2022

Revised: Feb. 16, 2023

Accepted: Feb. 26, 2023

Published online: March. 21,
2023

Keywords:

Change Point,
Evapotranspiration,
Extreme Values
Temporal-Spatial Trend,

ABSTRACT

Reference evapotranspiration as an important indicator of demand for air evaporation is an important factor for climatic and hydrological studies. Due to the occurrence of climate change and the occurrence of large fluctuations in precipitation and the occurrence of mild to severe droughts, it is important to study the evapotranspiration changes. In this study, to investigate the temporal-spatial changes of trend and change point in the reference evapotranspiration time series for different seasons in Mazandaran province, 40 years data (1981-2020) from satellite networks (with a resolution of about 5 km) were used. Non-parametric Mann-Kendall, Sen's slope, Pettitt's test (Non-Parametric Rank Test) and quantile regression were used to investigate the changes in the trend and to present the range of fracture point changes in the evapotranspiration. The correlation coefficient between network evaporation-transpiration data and ground station data was estimated to be more than 0.9 in most of the stations and the average value of BIAS was 0.24. The results of Pettitt's test showed the time of sudden changes in reference evapotranspiration in spring, autumn and winter seasons in 2013, 2007-2010 and 1999, respectively, in most cases. Very high values of evapotranspiration increased in spring in the eastern half, in summer in the northern half and in winter in the southern and western strips (with a seasonal slope percentage of 45, 75 and 120 percent, respectively), but they decreased in autumn in the north of the province (with a slope of -45 percent). In general, significantly increasing slope rates for high values of evapotranspiration were higher than average. A significant increase in high amounts of evapotranspiration, especially in the dry season, will reduce water resources and disrupt the agricultural sector. Therefore, scientific and practical methods for managing reference evapotranspiration in the province should be considered.

Cite this article: Norooz-Valashedi, R., & Bararkhanpour Ahmadi, S. (2023). Spatial Analysis of Changes and Detection of Jump of Monthly Evapotranspiration Time Series in Mazandaran. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54 (1), 15-31. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.346636.669332>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.346636.669332>



تحلیل پهنه‌ای روند تغییرات و آشکارسازی نقطه‌ی شکست سری زمانی تبخیر-تعرق ماهانه در مازندران

رضا نوروز ولاشدی^{۱*}، صدیقه برارخان پور احمدی^۲۱. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: r.norooz@sanru.ac.ir۲. گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: rbararkhan@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	تبخیر-تعرق مرجع به‌عنوان شاخص مهمی از تقاضای تبخیر نیوار، یک عامل مهم برای مطالعات اقلیمی و هیدرولوژیکی است. با توجه به وقوع تغییر اقلیم و ایجاد نوسانات زیاد در میزان بارش و وقوع خشک‌سالی‌های ضعیف تا شدید، مطالعه در زمینه‌ی بررسی تغییرات تبخیر-تعرق حائز اهمیت است. در این پژوهش، به‌منظور بررسی تغییرات زمانی-مکانی روند و نقطه‌ی شکست در سری زمانی تبخیر-تعرق مرجع برای فصل‌های مختلف سال در استان مازندران در یک دوره‌ی ۴۰ ساله (۲۰۲۰-۱۹۸۱) از داده‌های شبکه‌ای ماهواره‌ای (با وضوح حدود ۵ کیلومتر) استفاده شد. جهت بررسی تغییرات روند و ارائه پهنه‌ی تغییرات نقطه‌ی شکست در تبخیر-تعرق از آزمون‌های ناپارامتری من-کندال، شیب سن، پتیت و رگرسیون چندک استفاده شد. ضریب همبستگی بین داده‌های تبخیر-تعرق شبکه‌ای با داده‌های زمینی ایستگاهی در اغلب ایستگاه‌ها بیش از ۰/۹ و میانگین مقدار اریب ۰/۲۴ برآورد شد. نتایج آزمون پتیت، بیشترین زمان وقوع تغییرات ناگهانی در تبخیر-تعرق مرجع در فصل‌های بهار، پاییز و زمستان را به ترتیب در سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۰-۲۰۰۷ و ۱۹۹۹ نشان داد. مقادیر بالای تبخیر-تعرق برای فصل‌های بهار در نیمه‌ی شرقی، برای تابستان در نیمه‌ی شمالی و برای زمستان در نوار جنوبی و غربی افزایش (به ترتیب با درصد شیب فصلی ۴۵، ۷۵ و ۱۲۰ درصد) اما برای فصل پاییز در شمال استان کاهش (با شیب -۴۵ درصد) یافته است. به‌طور کلی نرخ شیب‌های معنی‌دار افزایشی برای مقادیر بالای تبخیر-تعرق بیشتر از میانگین بوده است. افزایش قابل توجه مقادیر بالای تبخیر-تعرق به‌ویژه در فصل خشک سال، موجب کاهش منابع آب و اختلال در بخش کشاورزی خواهد شد. بنابراین باید روش‌های علمی و عملی برای مدیریت تبخیر-تعرق مرجع در سطح استان لحاظ شود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۱۰	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۲۷	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۷	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱/۱	
واژه‌های کلیدی:	
تبخیر-تعرق،	
روند،	
زمانی-مکانی،	
مقادیر حدی.	
نقطه شکست،	

استناد: نوروزی ولاشدی، رضا، برارخان پور احمدی، صدیقه، (۱۴۰۲). تحلیل پهنه‌ای روند تغییرات و آشکارسازی نقطه‌ی شکست سری زمانی تبخیر-تعرق ماهانه در مازندران،

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۴ (۱)، ۳۱-۱۵. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.346636.669332>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.346636.669332>

مقدمه

تبخیر از مؤلفه‌های مهم چرخه هیدرولوژیک است که رابطه نزدیکی با تغییرات آب و هوا نشان می‌دهد و نقش مهمی در مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری دارد (یزدانی و همکاران، ۱۳۹۰). آگاهی از تغییرات مکانی و زمانی و مدل‌سازی متغیرهای تبخیر، در فرآیندهای کشاورزی، منابع طبیعی و حفاظت آب و خاک اهمیت زیادی دارد (موسوی، ۱۳۹۸). از میان مفاهیم مختلف تبخیر، تبخیر-تعرق مرجع یکی از مؤلفه‌های اصلی بیلان آب و عامل کلیدی در برنامه‌ریزی آبیاری برای بهبود راندمان آب مصرفی اراضی فاریاب است (زارع ایبانه و اسمعیلی، ۱۴۰۰) و برای اهداف مختلفی از جمله ورودی مدل‌های هیدرولوژیکی بیلان آب، محاسبه تبخیر-تعرق واقعی برای یک منطقه و یا حوضه، تحلیل خشک‌سالی، بررسی اثرات تغییر اقلیم، مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری قابل استفاده است (Peng et al., 2017). مطالعات انجام شده در بخش‌های مختلف از ایران بیانگر افزایش تبخیر-تعرق مرجع و شاخص خشکی و متعاقب آن کاهش منابع آب بوده است (نوری و همکاران، ۱۳۹۶؛ حسینی موعاری و همکاران، ۱۳۹۸؛ بختیاری و همکاران، ۱۴۰۰). با توجه به اینکه کشور ایران در منطقه‌ای کم بارش با پتانسیل تبخیر بالا واقع شده و همچنین در منطقه شمال کشور حدود ۷۵ درصد اراضی کشاورزی زیر کشت غرقابی برنج است، تأمین آب این محصول استراتژیک از طریق آبیاری به مدیریت مطلوب و مناسبی وابسته است (شیدائیان و همکاران، ۱۳۹۴). لذا به منظور ایجاد شرایط مدیریتی بهتر برای کاهش هدررفت آب در کشاورزی در اثر تغییرات تبخیر-تعرق، در گام اول می‌بایست تغییرات زمانی و مکانی تبخیر-تعرق در منطقه بررسی شود که در قالب تحلیل روند صورت می‌گیرد.

روند تغییرات در سری‌های زمانی پارامترهای هواشناسی و هیدرولوژیکی به دو صورت تدریجی و یا سریع (نقطه‌ای) اتفاق می‌افتد. روند سریع یا نقطه‌ای در طول یک سری زمانی به صورت شکست یا افزایش ناگهانی دیده می‌شود که عمدتاً در اثر اتفاقات و اقدامات خاص در منطقه‌ی مورد نظر رخ می‌دهد ولی روند تدریجی حاصل تغییرات جزئی در کل طول دوره آماری است (کنعانی و همکاران، ۱۳۹۸). آزمون ناپارامتری من-کندال (Mann, 1945; Kendall, 1975) یکی از روش‌های آماری پرکاربرد در زمینه تشخیص روند است که برای تعیین روند تدریجی به کار می‌رود. همچنین یکی از روش‌های آماری در زمینه بررسی نقطه شکست، آزمون ناپارامتری پتیت (Pettitt, 1979) است که به دلیل قابلیت در زمان وقوع تغییرات ناگهانی در سری زمانی داده‌ها مورد استقبال قرار گرفته است (فغانی و همکاران، ۱۳۹۶). مطالعات مختلفی در زمینه بررسی روند و نقطه شکست پارامتر تبخیر و عوامل مؤثر بر آن در بخش‌های مختلف جهان انجام شده که بیانگر رخداد تغییرات تدریجی و ناگهانی در میانگین سری زمانی این پارامترها بوده است. (Houngue et al., 2019) در تجزیه و تحلیل روند بارندگی، تبخیر، دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و مدت تابش آفتاب در دلتای Ouémé در بنین از سال ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۶ با استفاده از آزمون من-کندال نتیجه گرفتند که بارندگی شدید و دما افزایش یافته است و میانگین تبخیر تحت یک روند افزایشی قابل توجهی را در منطقه نشان داد. (Jhajharia et al., 2021) به بررسی روند و نقطه شکست تبخیر تحت با استفاده از آزمون‌های ناپارامتریک من-کندال و پتیت در هند پرداختند. نتایج نشان داد در مقیاس‌های زمانی فصلی و ماهانه، روند کاهشی معنی‌دار در تبخیر تحت در ماه‌های مارس، آوریل و می در تمامی نواحی منطقه مطالعاتی مشاهده شد و نتایج آزمون پتیت، سال ۱۹۹۲-۱۹۹۱ را به عنوان سال احتمالی تغییر در تبخیر تحت نشان داده است. همچنین در مطالعه‌ای (Han et al., 2018) برای بررسی علل تغییرات تبخیر-تعرق مرجع، داده‌های تبخیر-تعرق مرجع و سایر پارامترهای آب و هوایی را در ۲۲ ایستگاه ملی هواشناسی در دوره‌ی ۲۰۱۵-۱۹۶۱ مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. آزمون نقطه‌ی تغییر، یک تغییر در داده‌های تبخیر-تعرق مرجع را تقریباً در سال ۱۹۹۱ نشان داد و تعیین عوامل آب و هوایی مؤثر بر تبخیر-تعرق با استفاده از روش رگرسیون چندگانه نشان داد که از سال ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۱، کاهش سرعت باد و مدت تابش آفتاب، اثر افزایش دمای هوا را خنثی کرد و منجر به کاهش تبخیر-تعرق مرجع شد. با این حال، از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۵، میانگین دمای هوا مهم‌ترین عامل مؤثر در افزایش تبخیر-تعرق مرجع بود و افزایش دمای هوا و سرعت باد و کاهش رطوبت نسبی باعث افزایش تبخیر-تعرق شد. نتایج مطالعه‌ی (Pandey and Khare, 2018) در بررسی تغییرات مکانی و روند زمانی بارش و تبخیر-تعرق مرجع بر روی حوضه‌ی رودخانه نارمادا (Narmada) در هند در طول دوره‌ی آماری ۱۰۲ ساله (۲۰۰۲-۱۹۰۱) نشان داد تمامی ایستگاه‌های حوضه، روند مثبتی را برای تبخیر-تعرق مرجع نشان دادند در حالی که ۸ درصد از ایستگاه‌ها، روند منفی را برای میانگین بارش سالانه نشان دادند. همچنین نقاط تغییر بارندگی در حدود سال ۱۹۶۲ شناسایی شد. علی‌رغم بررسی روند تغییرات در میانگین داده‌های هواشناسی، تحلیل روند در مقادیر حدی داده‌ها که دنباله‌های تابع توزیع متغیرهای هواشناسی را تشکیل می‌دهند نیز ضرورت دارد. چه بسا در مطالعات خطر آب و هوایی، بررسی تغییرات در مقادیر حدی و شدید داده‌ها بیشتر از میانگین حائز اهمیت است. روش رگرسیون چندک (Koenker and Bassett, 1978) این توانایی را دارد که تغییرات در مقادیر مختلف از پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی به‌ویژه مقادیر حدی را بررسی نماید. همچنین

این روش امکان بررسی ارتباط بین متغیرهای مستقل و چندک‌های مختلف متغیر وابسته را در شرایطی که داده‌ها غیرنرمال هستند یا در حضور داده‌های پرت و دورافتاده فراهم می‌کند (Koenker, 2005). مطالعات مختلفی در زمینه‌ی بررسی روند شدت‌های آب و هوایی با استفاده از رگرسیون چندک انجام شده است که نتایج مهم و کاربردی را به همراه داشته است. حال آن‌که در زمینه‌ی بررسی تغییرات مقادیر شدید و حدی تبخیر-تعرق علی‌رغم اهمیت بالایی که در کشاورزی و منابع آب دارد، مطالعات چندانی با بهره‌گیری از روش رگرسیون چندک انجام نشده است. در مطالعه‌ی Ferraz Do Nascimento and Bourguignon (2020) که به کاربرد روش رگرسیون چندک روی داده‌های دما اشاره دارد، ضمن مزیت استفاده از این روش، نتیجه گرفتند که امکان برآورد مستقیم چندک‌ها به‌عنوان یک تابعی از متغیرها را نیز فراهم می‌کند و نشان می‌دهد که کدام یک از آن‌ها در بروز دمای شدید تأثیر می‌گذارد. همچنین Kalisa et al. (2021) در بررسی شرایط مرطوب و خشک در شرق آفریقا نتیجه گرفتند که تغییرات قابل توجهی در شرایط خشک شدید (چندک‌های پایینی حدی) و مرطوب شدید (چندک‌های بالایی حدی) در هشت منطقه‌ی اکولوژیکی در آفریقا با شیب‌های روند مختلف رخ داده است. Shah et al. (2022) به ارزیابی روندهای بلندمدت متغیرهای شدید هواشناسی (دمای هوا، دمای نقطه شبنم، رطوبت نسبی، سرعت باد و بارش) در جنوب و مرکز Ontario و نقش نوسانات جوی بزرگ مقیاس در این تغییرات پرداختند. نتایج نشان داد که متغیرهای شدید هواشناسی به طور مستقیم‌تری تحت تأثیر فرایندهای تعادل گرما و رطوبت منطقه‌ای و محلی نسبت به متغیرهای گردش جوی در مقیاس جهانی است و روند مشاهده شده‌ی دمای هوا، رطوبت و سرعت باد شدید نشان می‌دهد که تأثیر عمیقی بر فنولوژی اکوسیستم‌های آبی و خشکی دارد. بنابراین با توجه به اهمیت بررسی تغییرات تبخیر-تعرق، مطالعات اندکی در بررسی زمانی و مکانی تغییرات تبخیر-تعرق مرجع در مناطق مختلف از ایران به‌ویژه استان مازندران به منظور مدیریت آب در بخش کشاورزی انجام شده است. لذا در این پژوهش، روند تغییرات در مقادیر مختلف از پارامتر تبخیر-تعرق پتانسیل به‌ویژه مقادیر حدی در سطح پهنه‌ی جغرافیایی استان مازندران، در فصل‌های مختلف از سال محاسبه شده و نتایج مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

داده‌ها و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

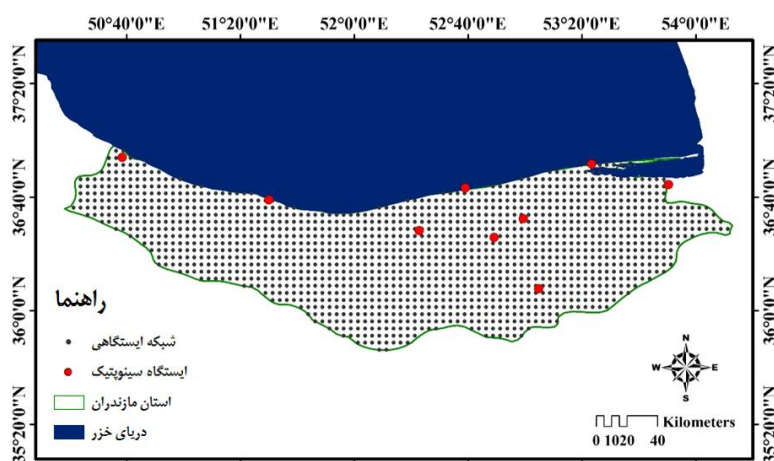
در این پژوهش، پهنه‌ی استان مازندران در شمال کشور ایران به دلیل محدود بودن منابع آبی و آب بر بودن کشاورزی در این استان، به عنوان منطقه‌ی مطالعاتی در نظر گرفته شده است (شکل ۱). استان مازندران با مساحتی بالغ بر ۲/۴ میلیون هکتار در شمال کشور ایران و در محدوده ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی قرار دارد. این منطقه در شمال ایران و در جنوب دریای خزر واقع شده و در بین رشته کوه‌های البرز در شمال و کوه‌های تالش در غرب قرار گرفته است. ارتفاع استان از ۱۷/۹- در کناره‌های دریای خزر تا ۵۵۹۵ متر در قله دماوند متغیر است. میانگین بارندگی در شرق استان مازندران بیش از ۳۰۰ میلی‌متر و در غرب استان بیش از ۱۰۰۰ میلی‌متر است (فرسادی و همکاران، ۱۳۹۱). استان مازندران به دلیل ویژگی‌های خاص جغرافیایی آن و فاصله کم بین مناطق کوهستانی و دریا، دارای بارش‌های سالانه نسبتاً قابل توجه (۷۱۰ میلی‌متر در سال) و دمای معتدل (۱۷ درجه سلسیوس) در طول سال است. بخش مرطوب غربی استان ارتفاع کمی دارد اما بارندگی زیاد در آن باعث مناسب شدن این منطقه برای فعالیت‌های کشاورزی شده است. با حرکت از مناطق غربی به سمت مناطق شرقی استان، از مقدار بارش کاسته شده و بر میزان دمای هوا افزوده می‌شود.

داده‌های مورد استفاده

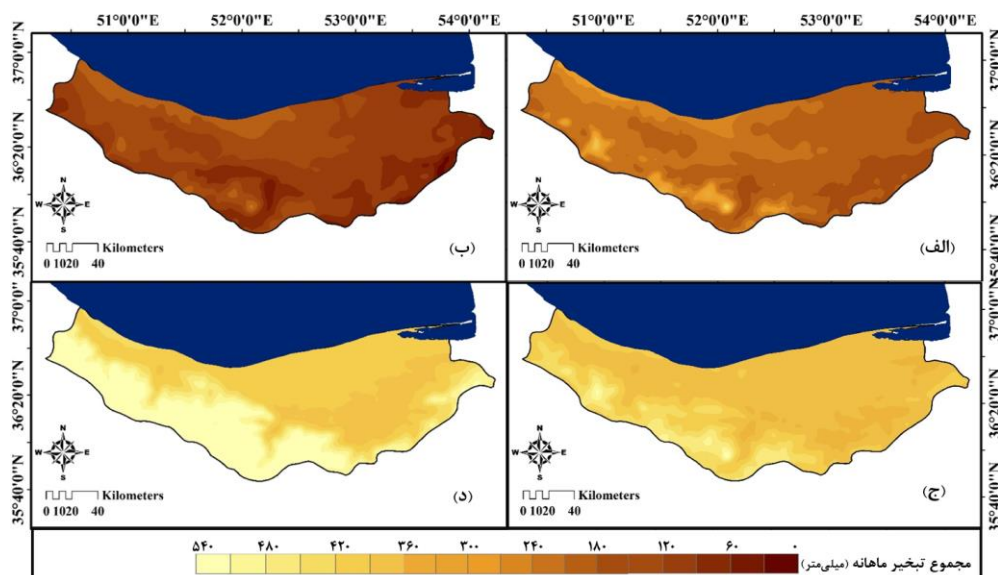
در این پژوهش، از داده‌های ماهانه تبخیر-تعرق مرجع (مجموع ماهانه به میلی‌متر) استفاده شد که از پایگاه داده TerraClimate استخراج شد و با استفاده از روش پنمن-مانتیت-فائو محاسبه شده است (Abatzoglou et al., 2018). داده‌های TerraClimate مجموعه‌ای از داده‌های حاوی پارامترهای هواشناسی و توازن آب است که ترکیبی از داده‌های اقلیم‌شناسی مکانی WorldClim است. این داده‌ها که وضوح مکانی خوبی دارند در مقایسه با داده‌های CRU TS4.0 که وضوح زمانی خوبی دارند، بسیار کارایی دارند در حالی که مورد دوم از نظر وضوح مکانی چندان مناسب نیست (Susanti et al., 2021). ادغام و همسان‌سازی دو داده از پایگاه‌های مذکور منجر به افزایش کیفیت از نظر میانگین کلی خطای مطلق و وضوح مکانی نسبتاً بهتر شده است و به طور کلی پایگاه داده TerraClimate داده‌های ماهانه آب و هوایی از جمله تبخیر-تعرق مرجع، کمینه و بیشینه دما، بارش، فشار بخار و غیره را برای سطح زمین در یک شبکه حدود ۴ کیلومتری

از سال ۱۹۵۸ تا کنون با ادغام شبکه‌ی داده‌های WorldClim، CRU Ts4.0 و JRA55، ارائه می‌کند (Abatzoglou *et al.*, 2018). داده‌های ماهانه تبخیر-تعرق در مقیاس زمانی ماهانه و دوره‌ی زمانی ۴۰ ساله -۱۹۸۱-۲۰۲۰- با فرمت netCDF از سایت TerraClimate استخراج شد و سپس داده‌های مربوط به پهنه‌ی استان مازندران از کل داده‌ها جدا شد و در مجموع ۱۴۰۰ نقطه ایستگاهی (شکل ۱) با تفکیک زمانی ماهانه و تفکیک مکانی کمتر از ۵ کیلومتر در دسترس قرار گرفت. به منظور ارزیابی صحت داده‌ها با داده‌های ایستگاه زمینی، از تعدادی ایستگاه سینوپتیک با طول دوره‌ی آماری مناسب به منظور مقایسه‌ی داده‌های تبخیر-تعرق ماهانه آن با داده‌های نزدیک‌ترین موقعیت شبکه به ایستگاه‌های سینوپتیک استفاده شد (شکل ۱ و جدول ۱). پس از ارزیابی داده‌ها، سری زمانی فصلی از داده‌ها تشکیل شد و به بررسی روند تغییرات و تحلیل نقطه‌ی شکست بر داده‌ها با استفاده از روش‌های آماری مورد بحث در مطالعه حاضر برای هر یک از نقاط داده پرداخته شد. سپس شیب‌های روند و نقطه‌ی شکست با استفاده از روش‌های درون‌یابی در محیط GIS پهنه‌بندی شد و نتایج مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

شکل ۲ پهنه‌بندی مکانی میانگین درازمدت مجموع تبخیر-تعرق مرجع فصلی (شکل ۲) با استفاده از داده‌های تبخیر-تعرق مرجع مستخرج از پایگاه داده TerraClimate با تفکیک مکانی کمتر از ۵ کیلومتر نشان می‌دهد. بیشترین مقدار تبخیر-تعرق مرجع در فصل‌های بهار و تابستان (شکل ۲ الف و شکل ۲ ب) و کمترین مقدار آن در فصل‌های پاییز و زمستان (شکل ۲ ج و شکل ۲ د) بوده است. از نظر مکانی، مقدار تبخیر-تعرق مرجع در فصل‌های بهار، پاییز و زمستان در نیمه‌ی شرقی استان اما در فصل تابستان در نواحی نوار جنوب شرقی، جنوبی و جنوب غربی به نسبت بیشتر است.



شکل ۱- نقشه منطقه مطالعاتی و موقعیت مکانی نقاط ایستگاهی



شکل ۲- پهنه‌بندی مکانی میانگین درازمدت (۴۰ ساله) تبخیر فصلی در فصل‌های بهار (الف)، تابستان (ب)، پاییز (ج) و زمستان (د)

جدول ۱- تفاوت موقعیت مکانی و فاصله‌ی ایستگاه‌های سینوپتیک و نزدیک‌ترین ایستگاه شبکه مربوط به هر ایستگاه

فاصله (کیلومتر)	ایستگاه شبکه‌ای			ایستگاه سینوپتیک		نام ایستگاه
	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ID	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	
۱/۹	۳۶/۶۴۵۸۳	۵۱/۵۲۰۸۳	۳۸۶۶۱	۳۶/۶۴۵۸۳	۵۱/۵۲۰۸	نوشهر
۲/۴	۳۶/۷۲۹۱۷	۵۳/۸۱۲۵	۳۷۷۵۴	۳۶/۷۲۹۱۷	۵۳/۸۱۲۵	گلوگاه
۲	۳۶/۵۲۰۸۳	۵۲/۹۷۹۱۷	۴۰۱۳۹	۳۶/۵۲۰۸۳	۵۲/۹۷۹۱۷	ساری
۲	۳۶/۱۴۵۸۳	۵۳/۰۶۲۵	۴۴۴۷۰	۳۶/۱۴۵۸۳	۵۳/۰۶۲۵	پل سفید
-۰/۸	۳۶/۸۵۴۱۷	۵۳/۳۹۵۸۳	۳۶۳۰۱	۳۶/۸۵۴۱۷	۵۳/۳۹۵۸۳	بندر امیرآباد
۱/۷	۳۶/۴۷۹۱۷	۵۲/۳۹۵۸۳	۴۰۶۰۶	۳۶/۴۷۹۱۷	۵۲/۳۹۵۸۳	آمل
۱	۳۶/۴۳۷۵	۵۲/۸۱۲۵	۴۱۰۹۷	۳۶/۴۳۷۵	۵۲/۸۱۲۵	قراخیل
۲/۲	۳۶/۶۸۱۷۵	۵۲/۶۴۵۸۳	۳۸۲۰۷	۳۶/۶۸۱۷۵	۵۲/۶۴۵۸۳	بابلسر
-۰/۶	۳۶/۸۹۵۸۳	۵۰/۶۴۵۸۳	۳۵۷۵۴	۳۶/۸۹۵۸۳	۵۰/۶۴۵۸۳	رامسر

روش‌های آماری مورد بررسی

آزمون تشخیص روند من‌کندال

آزمون من‌کندال (Mann, 1954; Kendall, 1975) یک آزمون ناپارامتری است که مبتنی بر مقایسه‌ی یک سری زمانی است (Alashan, 2020). این آزمون ناپارامتری بر پایه مرتبه داده‌ها در یک سری زمانی استوار است. این آزمون برای بررسی تصادفی بودن داده‌ها (عدم وجود روند) در مقابل وجود روند در سری‌های زمانی هیدرولوژیکی و هواشناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در واقع در این آزمون هر داده با تمامی داده‌های پس از خود مقایسه می‌شود. در این مرحله می‌توان به‌جای استفاده از مقادیر اصلی داده‌ها، از مرتبه داده‌ها در مجموعه‌ی موردنظر (سری زمانی) استفاده کرده و برای حذف اثرات ضرایب خودهمبستگی معنی‌دار از سری زمانی، آزمون من-کندال اصلاح شده (Hamed and Rao, 1998) استفاده شده است. توضیحات مربوط به آزمون من‌کندال و هم چنین من‌کندال اصلاح شده و چگونگی محاسبات این آزمون در (قربانی و همکاران، ۱۳۹۹) بیان شده و محاسبات با استفاده از نرم افزار XLSTAT انجام شده است.

آزمون شیب خط سن

تخمین‌گر شیب سن به‌منظور تخمین شیب خط روند توسط Sen (1968) برای تشخیص روند در یک سری زمانی داده ارائه شد. این روش ناپارامتری با استفاده از تحلیل تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی، یک شیب میانه را برای سری زمانی داده‌ها محاسبه می‌کند. با روش سن برای هر جفت داده متوالی، یک شیب محاسبه می‌شود. شیب‌های محاسبه شده، یک سری زمانی را تشکیل می‌دهند که میانه آن‌ها شیب خط روند را نشان می‌دهد (Solaimani and Bararkhanpour, 2022).

آزمون تشخیص جهش پتیت

این آزمون توسط Pettitt (1979) به‌منظور تعیین نقطه‌ی جهش یا تغییرات ناگهانی در سری زمانی ارائه شده است. در مکانی از سری زمانی که نقطه تغییر وجود داشته باشد، سری موردنظر در آن مکان به دو جزء سری تقسیم می‌شود. در صورت معنی‌دار شدن نقطه‌ی شکست در سری موردنظر، نسبت مقادیر میانگین اجزاء سری قبل و بعد از نقطه‌ی تغییر، برای تحلیل بزرگی شکست به کار گرفته می‌شود. برای سری‌های زمانی که نقطه‌ی شکست معنی‌دار را نشان نمی‌دهد، آزمون روند بر روی کل سری اعمال می‌شود (قربانی و همکاران، ۱۳۹۷).

روش رگرسیون چندک

رگرسیون چندک روشی آماری برای مدل کردن چندک‌های متغیر پاسخ معین بر روی متغیرهای مستقل شرطی یا بر روی زمان است که اطلاعات بیشتری نسبت به روش رگرسیون میانگین به خصوص در بررسی چگونگی تغییرات وقایع مرتبط با مقادیر حدی و شدید که در مطالعات خطر آب و هوایی و مدیریت ریسک اهمیت به‌سزایی دارند، در اختیار قرار می‌دهد. این روش توانایی محاسبه و رسم منحنی‌های رگرسیونی متفاوت و منطبق با نقاط صدکی مختلف دارد و تصویری کامل‌تر و بهتر از داده‌ها را فراهم می‌کند. روش رگرسیون چندک تخمین‌های رگرسیونی متفاوت را برآورد می‌کند که هر برآوردگر به توزیع شرطی چندک‌های مختلف می‌پردازد که امکان بررسی ارتباط

بین متغیرهای مستقل با چندک‌های موردنظر متغیر وابسته را بدون نیاز به نرمال بودن باقیمانده‌ها، حتی در حضور نقاط پرت فراهم می‌کند (Koenker, 2005). مدل رگرسیون چندک به شکل رابطه (۱) است (Koenker and Bassett, 1978):

$$Y(\rho|x) = \beta_0(\rho) + \beta_1(\rho)x + \varepsilon \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن، $\beta_0(\rho)$ عرض از مبدأ و $\beta_1(\rho)$ ضریب شیب است و هر دو بسته به مقدار ρ امین چندک مورد بررسی تغییر می‌کنند. ε خطا با انتظار صفر و محدوده‌ی مقادیر ρ است. رگرسیون چندک ρ ، توسط حداقل کردن رابطه (۲) انجام می‌شود:

$$\text{minimize} \left\{ \sum_{\{i|y_i < y_p(x_i)\}} (1 - \rho)|y_i - y_p(x_i)| + \sum_{\{i|y_i > y_p(x_i)\}} \rho|y_i - y_p(x_i)| \right\} \quad (\text{رابطه ۲})$$

که $\{y_p(x_i) = \beta_0(\rho) + \beta_1(\rho)x_i, i = 1, 2, \dots, n\}$ است (Koenker, 2005). با توجه به رابطه‌ی ۲ برای برآورد رگرسیون چندک از حداقل نمودن مجموع قدرمطلق باقیمانده‌ها استفاده می‌شود که روش حداقل قدرمطلق باقیمانده‌ها^۱ نامیده می‌شود. به عبارتی، مقدار مطلق تفاوت بین یک مشاهده y_i از چندک ρ ممتناظر $y_p(x_i)$ ، وزن $(1 - \rho)$ می‌گیرد اگر مشاهدات زیر خط چندک باشد و وزن ρ می‌گیرد اگر مشاهدات بالای خط چندک باشد (Solaimani and Bararkhanpour, 2022). برای یک مجموعه از مشاهدات $(x_i, y_i), i = 1, 2, \dots, n$ ، برآورد پاستای β_ρ به شکل رابطه (۳) است (Koenker, 2005):

$$\hat{\beta}_\rho = \text{argmin} \sum_{i=1}^n \rho_\rho(y_i - x_i^T \beta) \quad (\text{رابطه ۳})$$

که تابع $\rho_\rho(\cdot)$ به شکل رابطه (۴) تعریف می‌شود (Koenker, 2005):

$$\rho_\rho(u) = \begin{cases} u(\rho - 1) & \text{if } u < 0 \\ \rho u & \text{if } u \geq 0 \end{cases} \quad (\text{رابطه ۴})$$

برآورد خطاهای استاندارد، فواصل اطمینان، آماره t و معنی‌داری برای این ضرایب، در (Koenker, 2005) و محاسبات این روش با استفاده از بسته `quantreg` (Koenker, 2018) در نرم افزار R انجام شده است.

نتایج و بحث

ارزیابی داده‌های زمینی و شبکه‌ای

تبخیر-تعرق ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک مورد نظر با استفاده از روش تورنت-وایت (اسدی و کرمی، ۱۳۹۹) برای یک دوره‌ی آماری ۱۰ ساله (۲۰۱۵-۲۰۰۶) برآورد شد و با استفاده از آزمون همبستگی اسپیرمن^۲ (گلشن و همکاران، ۱۳۹۴) و شاخص‌های ارزیابی ریشه دوم میانگین مربع خطا^۳ و مقدار اریب^۴ (میری و همکاران، ۱۳۹۶) با نزدیک‌ترین داده‌ی شبکه‌ای به هر ایستگاه سینوپتیک مشاهده‌ای مقایسه شد و نتایج در جدول ۲ ارائه شده است. بررسی مقادیر همبستگی بین داده‌های تبخیر-تعرق مرجع و تبخیر-تعرق مرجع محاسبه شده از داده‌های ایستگاه نشان‌دهنده‌ی دقت مناسب این داده‌ها برای پهنه استان مازندران است. زیرا میزان همبستگی اسپیرمن در نگاه کلی برای تمامی ایستگاه‌ها معنی‌دار و برای اغلب ایستگاه‌ها بیش از ۰/۹ است. به طوری که کم‌ترین و بیش‌ترین میزان همبستگی با ضریب ۰/۸۶۵ و ۰/۹۵ به ترتیب برای ایستگاه‌های نوشهر و گلوگاه بدست آمد. مقدار RMSE در بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه کمتر از ۵ میلی‌متر است که بیانگر انحراف بسیار ناچیز تبخیر-تعرق مرجع حاصل از داده‌های شبکه‌ای در مقایسه با تبخیر-تعرق مرجع در ایستگاه‌های منتخب است. همچنین مشاهده می‌شود که مقدار اریب مقادیر داده‌های شبکه در تمامی ایستگاه‌ها کم بوده و که حاکی از دقت داده‌های شبکه‌ای ماهواره در این ایستگاه‌ها است. براساس نتایج به‌دست آمده از آماره‌های نام برده شده می‌توان گفت که داده‌های شبکه‌ای تبخیر-تعرق ماهانه مذکور از دقت مناسبی برخوردار می‌باشند و از این داده‌ها می‌توان برای نقاط مختلف استان مازندران استفاده کرد.

1. Least Absolute Deviation
2. Spearman correlation test
3. Root Mean Square Error
4. BIAS

جدول ۲- نتایج ارزیابی داده‌های مشاهداتی سینوپتیک و داده‌های شبکه‌ای در یک دوره‌ی زمانی ۱۰ ساله (۲۰۱۵-۲۰۰۶)

ایستگاه	ضریب همبستگی اسپیرمن	RMSE	BIAS
نوشهر	۰/۸۶۵	۲/۴۵	۰/۱۶
گلوگاه	۰/۹۵۰	۳/۵۷	۰/۲۹
ساری	۰/۹۴۰	۳/۱۵	۰/۲۵
پل سفید	۰/۹۳۰	۴/۶	۰/۳۷
بندر امیرآباد	۰/۹۳۵	۳/۵۲	۰/۲۸
آمل	۰/۹۰۰	۲/۹۷	۰/۲۲
قراخیل	۰/۹۴۰	۳/۱۵	۰/۲۵
بابلسر	۰/۹۳۰	۲/۶۸	۰/۲
رامسر	۰/۸۹۴	۲/۲۵	۰/۱۵

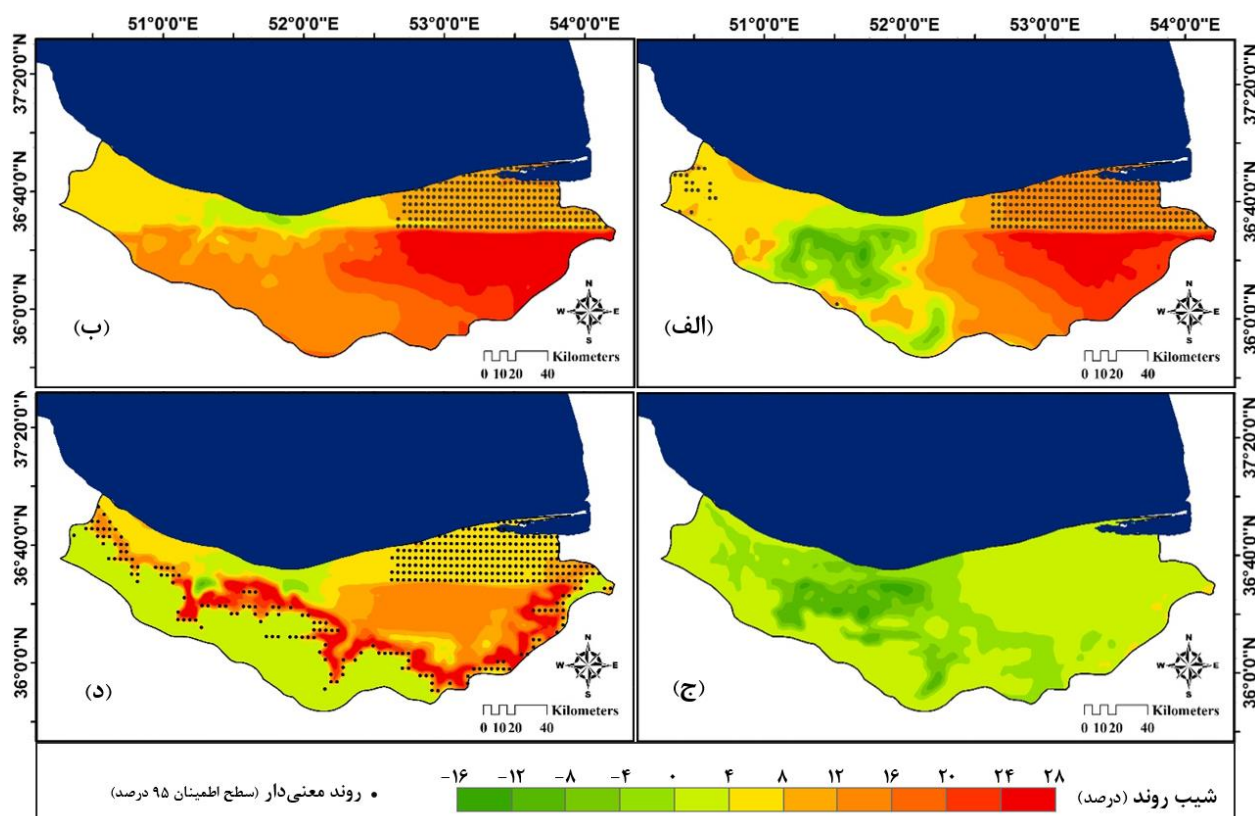
مقادیر در قالب برجسته: معنی‌داری آزمون همبستگی در سطح اعتماد ۹۹٪ است.

آزمون من-کندال و شیب سن

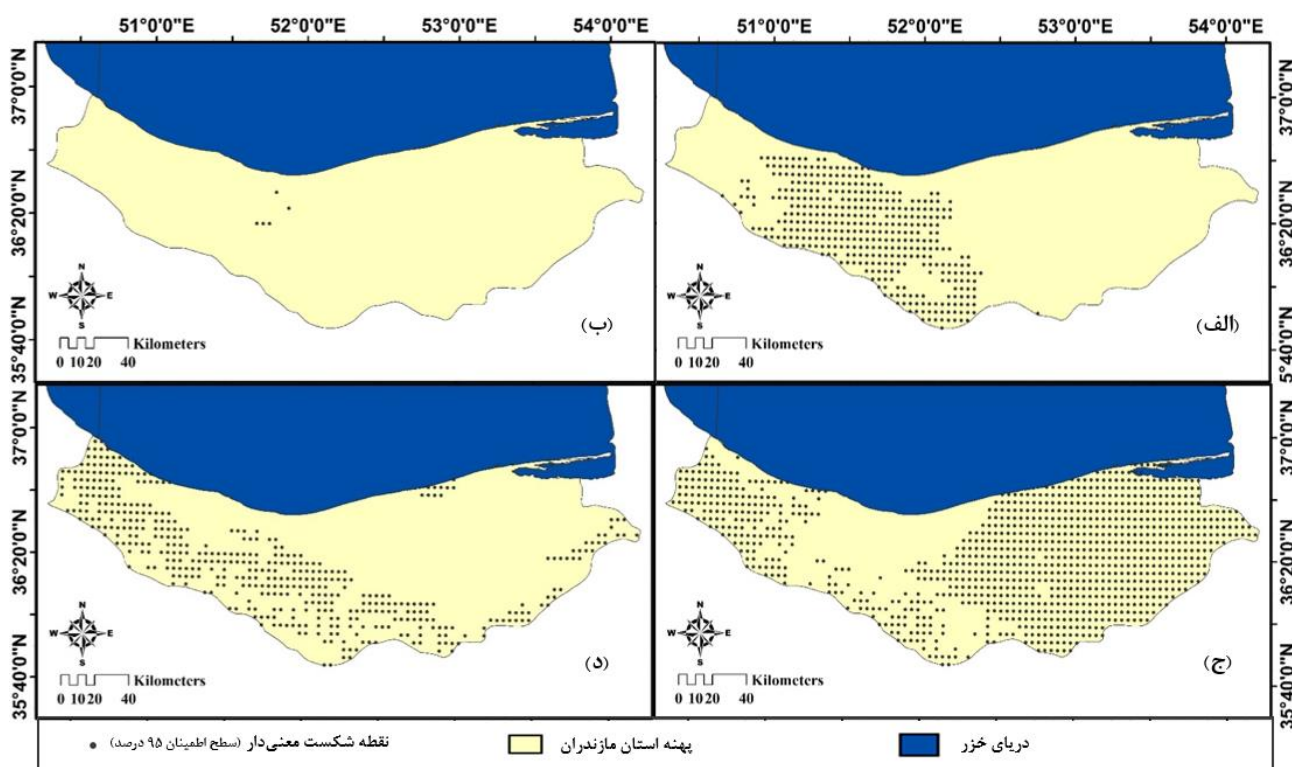
نتایج کاربرد آزمون ناپارامتری من-کندال و شیب سن بر روی سری زمانی تبخیر-تعرق مرجع (شکل ۳) نشان داده است که در فصل‌های بهار و تابستان (شکل ۳ الف و شکل ۳ ب)، روندهای معنی‌دار و افزایشی با شیب ۱۶-۱۰ درصد در مناطق شرقی نوار ساحلی استان مازندران مشهود است. تحلیل مکانی شیب‌های روند در بخش‌های مختلف استان نشان داده است که در فصل بهار، نیمه‌ی شرقی و غرب استان دارای شیب مثبت و نواحی مرکزی استان، دارای شیب منفی بوده است. شدت شیب‌های مثبت و افزایشی در این دو فصل از سال، در نواحی جنوب شرقی استان و در همسایگی استان سمنان بیشتر است. با این حال، در فصل تابستان، این شیب مثبت در نیمه‌ی جنوبی استان امتداد یافته است. در فصل پاییز (شکل ۳ ج)، هیچ روند معنی‌داری در هیچ‌یک از مناطق استان مشاهده نشده است. با این حال، شیب‌های روند در تمامی مناطق منفی و کاهشی بوده که شدت شیب‌های منفی در نیمه‌ی غربی به مراتب بیشتر از نیمه‌ی شرقی استان است. اما الگوی تغییرات در فصل زمستان (شکل ۳ د) کمی متفاوت‌تر از فصل‌های دیگر است. در این فصل، مناطق ساحلی شرقی دارای روند معنی‌دار مثبت و افزایشی با شیب روند ۶-۲ درصد بوده و یک روند معنی‌دار افزایشی قابل توجه از جنوب شرقی استان شروع شده و به صورت یک نوار باریک به سمت غرب استان امتداد یافته است، به طوری که مناطق ساحلی شمالی و مناطق کوهستانی جنوبی را از یکدیگر جدا نموده و دارای شیب روند قابل توجه ۲۸-۲۴ درصد است. افزایش میانگین تبخیر-تعرق مرجع در نیمه‌ی شرقی استان و در فصل‌های بهار و تابستان، با توجه به گرم بودن هوا و بارندگی کم در این دو فصل، ممکن است مسائلی را در جهت ایجاد تنش در آب قابل مصرف برای کشاورزی به وجود آورد.

آزمون پتیت

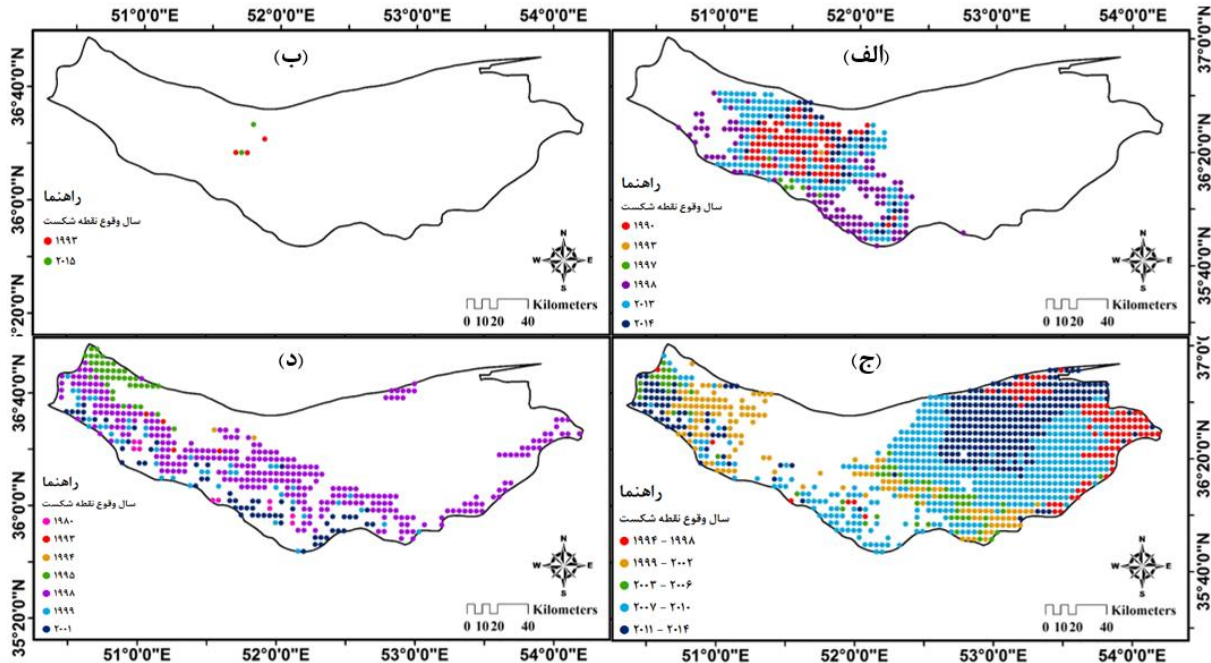
نتایج کاربرد آزمون ناپارامتری پتیت جهت بررسی نقطه‌ی شکست یا تغییرات ناگهانی در سری داده‌های تبخیر-تعرق مرجع برای فصل‌های مختلف (شکل ۴) نشان داده است که بیشترین ناهمگنی زمانی یا تغییرات ناگهانی در فصل پاییز (شکل ۴ ج) و کمترین آن در فصل تابستان (شکل ۴ ب) بوده است. شکل ۴ نقاط شکست معنی‌دار را به تفکیک هر فصل و شکل ۵ طبقه‌بندی مکانی سال وقوع نقطه‌ی شکست را برای هر فصل از سال نشان می‌دهد. در فصل بهار (شکل ۴ الف و شکل ۵ الف)، عمده نقاط شکست معنادار در نیمه‌ی غربی میانی استان دیده شده است که به صورت پراکنده در بین سال‌های ۱۹۹۸-۱۹۹۰ و ۲۰۱۴-۲۰۱۳ رخ داده است. در فصل پاییز (شکل ۴ ج و شکل ۵ ج)، تغییرات ناگهانی تبخیر-تعرق در نیمه‌ی شرقی، نوار جنوبی و غرب استان دیده شده است، به طوری که طبقه‌بندی مکانی سال وقوع این تغییرات ناگهانی نشان داده است که نقاط شکست در نوار ساحلی شرقی استان در بین سال‌های ۱۹۹۸-۱۹۹۴، اما در عمده نقاط از نیمه‌ی شرقی استان در بین سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۰۷ بوده اما در مناطق غربی استان، زمان یا سال وقوع تغییرات ناگهانی در سری زمانی تبخیر-تعرق مرجع به نسبت پراکنده‌تر است که به طور کلی در بین سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۰۰ متغیر است. با این حال در فصل زمستان (شکل ۴ د و شکل ۵ د)، نقاط شکست معنی‌دار عمدتاً در نیمه‌ی غربی و نوار جنوبی استان دیده شده است که سال وقوع این تغییرات ناگهانی غالباً در بین سال‌های ۲۰۰۱-۱۹۹۵ است.



شکل ۳- پهنه‌بندی نتایج آزمون من-کندال (P-Value یا معنی‌داری روند) و شیب سن (شیب روند) در فصل‌های بهار (الف)، تابستان (ب)، پاییز (ج) و زمستان (د)

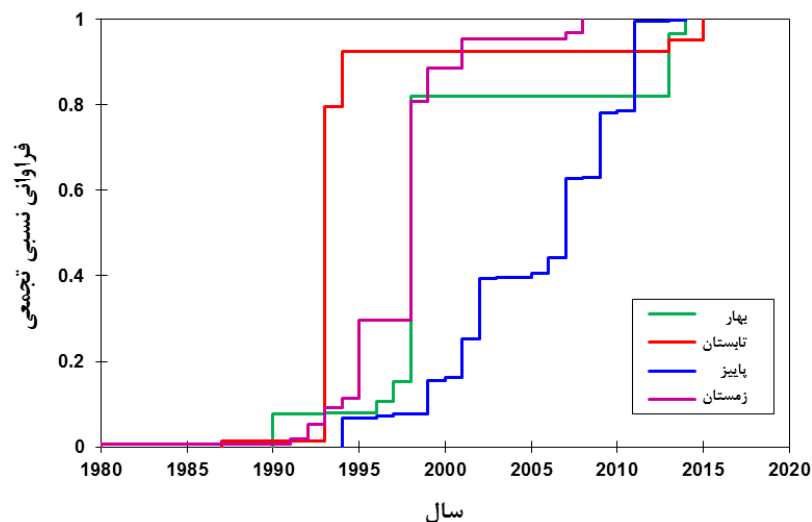


شکل ۴- پهنه‌بندی نقاط تغییر معنی‌دار (P-value آزمون پیت) در فصل‌های بهار (الف)، تابستان (ب)، پاییز (ج) و زمستان (د)

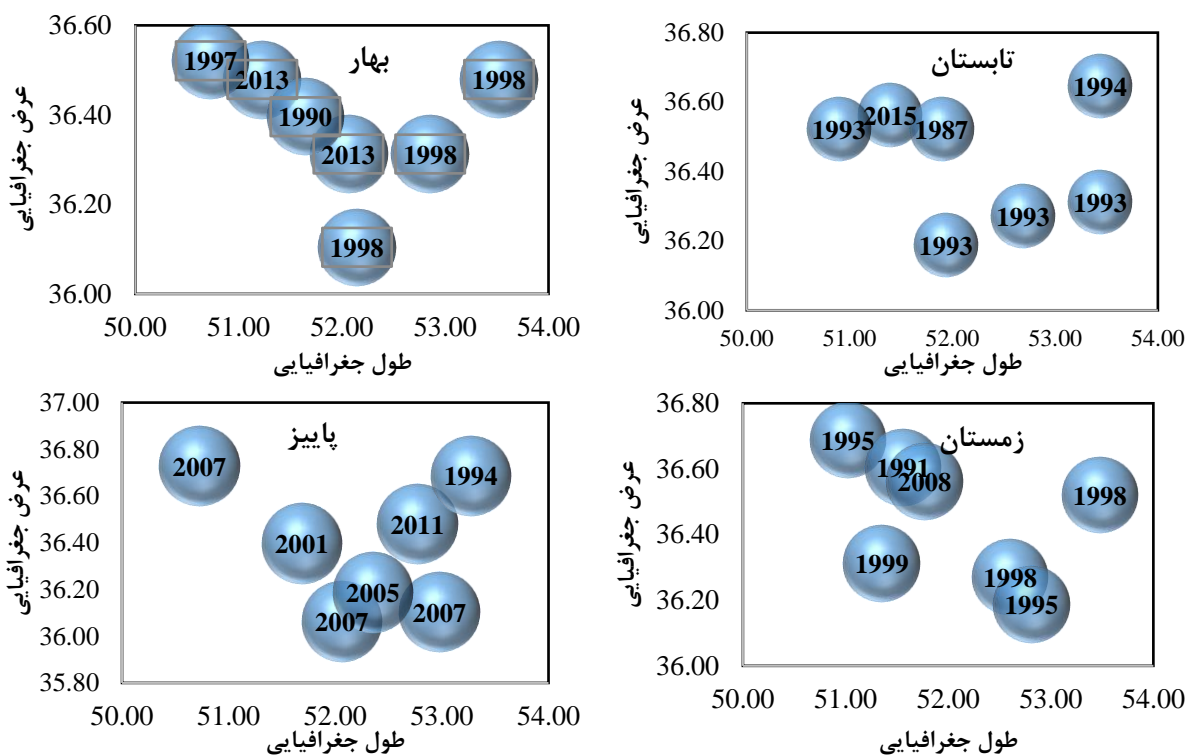


شکل ۵- طبقه‌بندی مکانی سال وقوع نقاط تغییر در فصل‌های بهار (الف)، تابستان (ب)، پاییز (ج) و زمستان (د)، هر دایره کوچک در نقشه، موقعیت شبکه داده را نشان می‌دهد

به‌طور کلی از میان کل نقاط ایستگاهی در سطح استان مازندران، به ترتیب ۲۶/۴۷، ۷۱/۲۷ و ۳۱/۱ درصد (مجموع درصد از کل) از نقاط دارای نقطه‌ی شکست یا تغییر ناگهانی در فصل‌های بهار، پاییز و زمستان بوده‌اند. وقوع تغییرات ناگهانی در سری زمانی تبخیر-تعرق مرجع عمدتاً تحت تأثیر تغییر در متغیرهای هواشناسی وابسته به آن است. نتایج پژوهش Zhang *et al.* (2000) در بررسی نقطه‌ی تغییر در تبخیر-تعرق مرجع چین در بین سال‌های ۱۹۶۰-۲۰۱۱ نشان داد که یک نقطه‌ی تغییر ناگهانی در حدود سال ۱۹۹۳ برای تبخیر-تعرق مرجع سالانه تشخیص داده شد و افزایش سریع دمای هوا از سال ۱۹۹۳، عامل اصلی تغییر افزایشی در تبخیر-تعرق مرجع بوده است. همچنین تغییر در آینده‌ی تبخیر-تعرق مرجع تحت سناریوهای تغییر اقلیم در چین نشان داده است که افزایش دمای هوا بر تغییرات تبخیر-تعرق غالب خواهد بود و تبخیر-تعرق در طول دهه‌های ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ افزایش می‌یابد. Pour *et al.* (2020) نشان دادند که افزایش سریع کمینه دما در مالزی از ۱۹۸۵-۱۹۸۱ باعث افزایش تبخیر-تعرق مرجع پس از سال‌های ۱۹۹۶-۱۹۹۳ در بیشتر نواحی مالزی شده است.



شکل ۶- فراوانی نسبی تجمعی مربوط به تحلیل نقاط تغییر تبخیر-تعرق فصلی در مازندران



شکل ۷- مرکز تحلیل نقاط تغییر در فصول چهارگانه به روش میانگین نزدیکترین همسایه

مطابق نتایج تحلیل فراوانی تعداد نقاط تغییر در سری‌های زمانی فصلی تبخیر-تعرق مرجع فصلی در استان مازندران (مطابق شکل ۶) بیش از ۸۵ درصد تغییرات در فصول سه گانه بهار، تابستان و زمستان قبل سال ۲۰۰۰ یعنی دو دهه ابتدایی آماری رخ داده است، در حالی که در بیش از ۸۵ درصد موارد در فصل پاییز به سه دهه ابتدایی اقلیمی و در حدود سال ۲۰۱۰ بوده است. به نظر می‌رسد الگوی تغییر اقلیم موثر بر عامل تبخیر و تعرق گیاه مرجع در استان مازندران در سه فصل بهار و تابستان و زمستان از الگوی گرمایش جهانی پیروی می‌کند. مطابق گزارش ششم تغییر اقلیم انتشار گازهای گلخانه‌ای در دهه قبل سال ۲۰۱۰ در فصل پاییز به دلیل وارونگی دما و سایر آلاینده‌ها ۱/۲ درصد در سال افزایش داشته است که در دو دهه قبل و یک دهه بعد از آن، این مقدار به ترتیب ۰/۷ و ۱/۳ درصد در هر سال بوده است. این نشان از آسیب پذیری نواحی جنوبی دریای خزر از گرمایش جهانی تغییر اقلیم است. به طوری که مشاهده می‌شود در شکل ۷ با تحلیل نزدیکترین همسایه و به روش طبقه بندی آمار ناپارامتری وضعیت مکانی سال‌های شکست در چهار فصل سال در مازندران در مراکز این تغییر به شرح کامل ارائه شده است. در پهنه مکانی همانطور که در شکل ۷ مشخص شده است در فصل پاییز نقطه تغییر نسبت به سایر فصول به طور میانگین در دهه ۲۰۰۰ میلادی به بعد بوده است، در حالی که در سه فصل بهار، تابستان و زمستان مطابق با تغییر اقلیم گرمایش جهانی تغییر سری زمانی در دو دهه ابتدایی دوره آماری اتفاق افتاده است. که این نتایج با گزارش ششم تغییر اقلیم همخوانی دارد. لذا آشکارسازی تغییر اقلیم با تحلیل نقطه تغییر در سری تبخیر-تعرق حاکی از آن است افزایش تبخیر و تعرق گیاه مرجع منجر به افزایش مصرف آب در پهنه استان مازندران شده است.

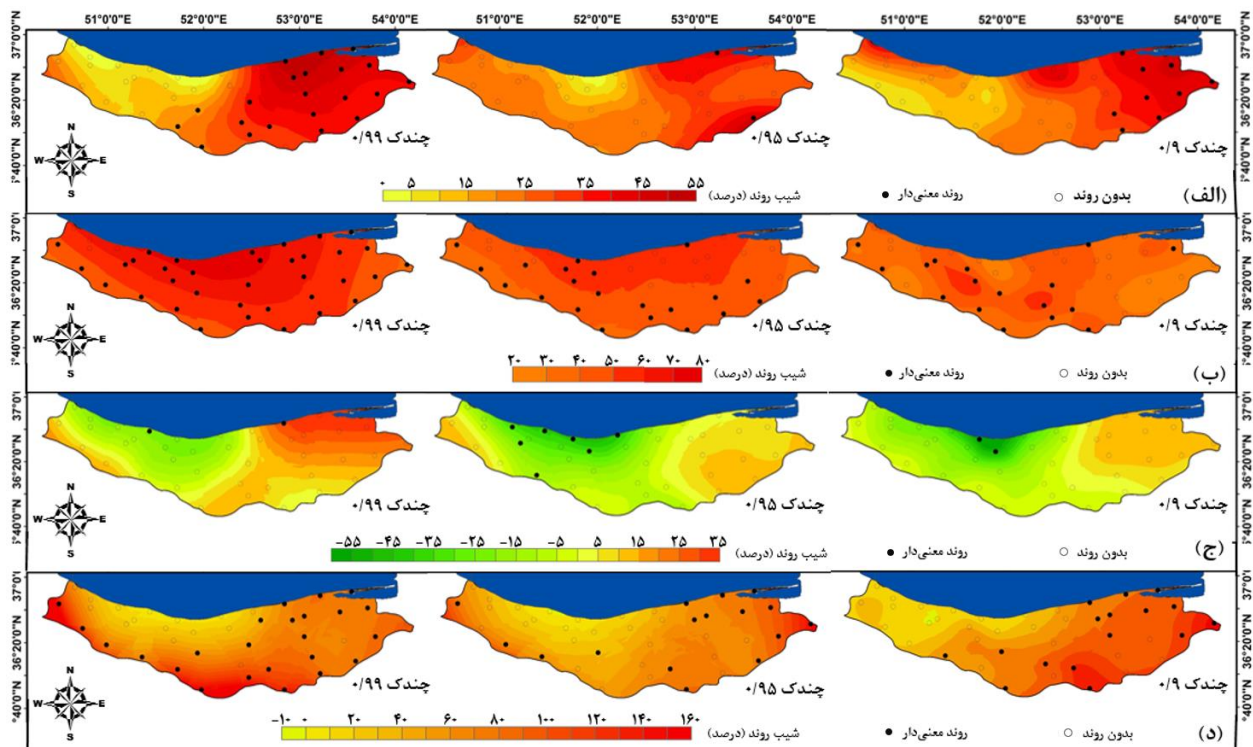
روش رگرسیون چندک

به منظور بررسی تغییرات روند در مقادیر حدی پارامتر تبخیر-تعرق مرجع در فصل‌های مختلف، ۴۲ نقاط ایستگاهی با پراکندگی مناسب در سطح استان مازندران انتخاب شد و تحلیل روند با روش رگرسیون چندک بر روی چندک‌های حدی بالایی (چندک‌ها ۰/۹، ۰/۹۵، ۰/۹۹) که بیانگر مقادیر بالا و بسیار بالای سری زمانی تبخیر-تعرق مرجع می‌باشند، در فصل‌های مختلف و برای هر یک از ۴۲ نقطه ایستگاهی انجام شد. سپس شیب‌های روند برای کل استان مازندران و برای هر چندک مورد بررسی، پهنه‌بندی شد. شکل ۸ نتایج تحلیل روند تغییرات تبخیر-تعرق مرجع ماهانه را در چندک‌های حدی بالایی (۰/۹، ۰/۹۵ و ۰/۹۹) در فصل‌های مختلف سال نشان می‌دهد. مقادیر شیب‌های روند در مناطق مختلف و برای فصل‌های مختلف دارای تفاوت چشمگیری می‌باشند و تحلیل مقادیر بسیار بالای تبخیر، روندهای مثبت و منفی معنی‌داری را در مناطق مختلف استان مازندران نشان داده است. در فصل‌های بهار و تابستان (شکل ۸ الف و شکل ۸ ب)، شیب‌های

روند در تمامی مناطق استان مثبت و افزایشی است و شدت شیب‌های افزایشی در نیمه‌ی شرقی استان بیشتر بوده است. از نظر معنی‌داری روند نیز چندک‌های ۰/۹ و ۰/۹۹ در اغلب مناطق شرقی استان، روند معنی‌دار افزایشی داشته‌اند که شدت شیب‌های روند معنی‌دار در چندک ۰/۹ در شرق استان و در چندک ۰/۹۹ در نواحی شمال شرق ساحلی به مراتب بیشتر بوده که حدوداً ۴۵-۵۵ درصد افزایش معنی‌دار در تبخیر-تعرق مرجع ماهانه رخ داده است. با این حال، مقدار یا شدت شیب روندهای مثبت و افزایشی معنی‌دار در فصل تابستان (شکل ۸ ب) به مراتب بیشتر از بهار است و افزایش معنی‌دار مقادیر بسیار بالای تبخیر-تعرق به صورت پراکنده در تمام مناطق استان مشهود است که در نوار ساحلی استان، بیشتر است و به اندازه‌ی ۷۰-۸۰ درصد، افزایش معنی‌دار در تبخیر-تعرق اتفاق افتاده است.

در فصل پاییز (شکل ۸ ج)، نیمه‌ی غربی استان دارای روند منفی تبخیر-تعرق مرجع بوده است، به طوری که در سواحل میانی و غربی مازندران، مقادیر بسیار بالای تبخیر (به ویژه چندک ۰/۹ و ۰/۹۵)، به طور قابل توجهی (به مقدار ۴۵-۶۵ درصد) به صورت معنی‌دار کاهش یافته است. حال آنکه در فصل زمستان (شکل ۸ د)، در بیشتر مناطق استان، روندهای مثبت و افزایشی معنی‌دار اما با شیب‌های روند متفاوت، مشهود است. بیشترین شدت شیب‌های روند برای چندک ۰/۹ و ۰/۹۵ در نیمه‌ی شرقی استان، اما برای چندک ۰/۹۹ از تبخیر-تعرق مرجع در نوار جنوبی و غرب استان که مناطق با ارتفاع بالا می‌باشند، دیده می‌شود. درصد افزایش روند تبخیر-تعرق در این مناطق، از ۱۰۰ درصد نیز تجاوز کرده است (۱۲۰-۱۶۰ درصد) و به اندازه‌ی ۲/۵ برابر افزایش در مقادیر بسیار بالای تبخیر-تعرق در این مناطق محاسبه شده است.

به طور کلی، روش رگرسیون چندک، روندهای متفاوتی را در بخش‌های مختلف استان مازندران برای مقادیر بسیار بالای تبخیر-تعرق مرجع برآورد نموده است که آزمون من-کندال قادر به تشخیص این روندهای مقادیر حدی نبوده است. درصد شیب‌های روند در مقادیر بسیار بالای داده‌ها (چندک‌های ۰/۹، ۰/۹۵، ۰/۹۹) بیشتر از شیب روند میانگین بوده و بیانگر این امر است که مقادیر بسیار بالای تبخیر-تعرق بیشتر از مقدار میانگین و نیز مقادیر پایینی دستخوش تغییر قرار گرفته است. مقادیر بالای تبخیر در فصل بهار به طور قابل توجهی در نیمه‌ی شرقی استان افزایش یافته است و نیز در فصل تابستان، روند افزایشی معنی‌دار با شیب قابل ملاحظه‌ای در سطح استان مازندران رخ داده است. غلامی و همکاران (۱۳۹۷) تأثیر تغییرات اقلیم آینده در تبخیر-تعرق واقعی و آب موجود در خاک را در محدوده‌ی حوضه‌ی تالار واقع در بخش مرکزی استان مازندران مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاکی از افزایش میانگین روزانه تبخیر-تعرق و روند نامنظم در مقدار کاهش و افزایش در آب خاک بوده و تبخیر-تعرق در بیشتر ماه‌های آتی، بیشتر از وضعیت امروزی خواهد بود.



شکل ۸- پهنه‌بندی نتایج بررسی روند در چندک‌های بالایی حدی تبخیر-تعرق مرجع (۰/۹، ۰/۹۵ و ۰/۹۹) در فصل‌های بهار (الف)، تابستان (ب)، پاییز (ج) و زمستان (د)، (معنی‌داری روند در سطح اطمینان ۹۵ درصد می‌باشد)

افزایش شدید تبخیر-تعرق مرجع در دو فصل بهار و تابستان، با توجه به کمبود بالقوه منابع آب در این استان و نیز در سطح کشور، مشکلات عدیده‌ای را در زمینه تأمین آب کشاورزی به همراه خواهد داشت. چه بسا که در این دو فصل به دلیل افزایش قابل ملاحظه‌ی دما و کاهش بارندگی، به خودی خود با کاهش منابع آبی مواجه خواهیم بود لذا این روند افزایشی شدید در تبخیر-تعرق باعث کاهش بیشتر منابع آب و گاه‌ها کمبود منابع آب در دسترس باعث اختلال و احتمالاً توقف در کشت محصولات کشاورزی به خصوص در نیمه‌ی شرقی استان که نسبت به غرب استان از رطوبت کمتری برخوردار است، خواهد شد. با این حال در فصل پاییز، تغییرات معنی‌دار تبخیر-تعرق عمدتاً از نوع کاهش‌ی بوده است اما در فصل زمستان، نتایج آزمون من‌کندال و رگرسیون چندک الگوهای مکانی روند متفاوتی را نشان داده است. مقدار میانگین تبخیر-تعرق مرجع در میانه استان که در واقع مرز بین مناطق ساحلی و مناطق کوهستانی است، به شدت افزایش یافته است. در حالی‌که افزایش در مقادیر بسیار بالای تبخیر-تعرق مرجع در این فصل عمدتاً در مناطق کوهستانی و با ارتفاع بالاتر حاکم است. تفاوت مکانی در شدت روندهای تبخیر-تعرق به دلیل تغییرات شرایط مختلف مؤثر بر تبخیر-تعرق مرجع در هر منطقه است، که عمدتاً به دلیل تغییر در شرایط آب و هوایی آن محل است. عوامل مختلف آب و هوایی از قبیل کمینه و بیشینه دما، بارش، درصد رطوبت، سرعت باد و ساعت آفتابی می‌توانند باعث افزایش میزان تبخیر-تعرق پتانسیل در گیاه شوند که در نتیجه میزان نیاز آبی گیاه نیز افزایش خواهد یافت (Han et al., 2018). (Solaimani (2022). در بررسی تأثیر مقادیر مختلف متغیرهای اقلیمی بر تبخیر در فصل‌های مختلف در سواحل جنوبی دریای خزر (ایستگاه بابلسر) دریافت که مقادیر بسیار بالای کمینه و بیشینه دما، بیشترین تأثیر مثبت و مقادیر بسیار بالای رطوبت نسبی، بیشترین تأثیر منفی را بر روی تبخیر داشتند. همچنین بیشترین تأثیر مثبت سرعت باد بر روی تبخیر در فصل‌های پاییز و زمستان بوده که بیشتر مربوط به مقادیر بالای سرعت باد است. در بررسی اثر تغییر اقلیم بر تبخیر-تعرق مرجع استان مازندران توسط باب الحکمی و همکاران در سال ۱۳۹۹ در دوره‌ی آینده (۲۰۰۶-۲۰۸۱) انجام شد، نتیجه گرفتند که دمای بیشینه سالانه ۳-۱/۵ درجه و دمای کمینه بین ۳/۸-۵/۷ درجه‌ی سلسیوس افزایش و در مقابل، بارش طی دوره‌های آبی ۸٪ تا ۲۹٪ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین درصد تغییرات تبخیر-تعرق مرجع در ماه‌های مختلف سال بین ۱۶/۱-٪ تا ۲۵/۷٪ درصد متغیر است که بیشترین و کمترین درصد تغییرات تبخیر-تعرق مرجع به ترتیب در ماه‌های اکتبر و مارس رخ خواهد داد. در بررسی Razaghian et al. (2014) جهت وقوع تغییر اقلیم در استان مازندران دریافتند که تغییر دما باعث کاهش بارندگی می‌شود و می‌تواند به طور مستقیم بر نیاز آبی گیاهان در کشاورزی تأثیر بگذارد و در سال‌های اخیر، تغییر اقلیم در منطقه مشهود بوده و به سمت خشکی بیشتر گرایش دارد.

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر، به منظور بررسی زمانی و مکانی روند تغییرات و تحلیل نقطه‌ی شکست در سری زمانی فصلی از تبخیر-تعرق مرجع در استان مازندران در طول دوره آماری ۱۹۸۱-۲۰۲۰، از آزمون‌های ناپارامتری من-کندال، شیب خط سن، پتیت و روش رگرسیون چندک استفاده شد. روند تغییرات در میانگین و نیز مقادیر مختلف تبخیر-تعرق مرجع بررسی و شیب‌های روند در محیط GIS پهنه‌بندی شد. سپس نتایج مورد بررسی قرار گرفت که مهم‌ترین نتایج به شرح زیر است:

- شیب‌های روند تبخیر-تعرق در بیشتر چندک‌های حدی بالا و پایین، مقادیری متفاوت با شیب روند در میانگین داده‌ها داشته است؛ لذا تنها نمی‌توان به روش‌های مبتنی بر تحلیل میانگین برای بررسی تغییرات در محدوده‌های مختلف از توزیع داده بسنده کرد.
- مقادیر میانگین تبخیر-تعرق مرجع در فصل‌های بهار، تابستان و زمستان در نواحی ساحلی شمال شرقی استان به صورت معنی‌دار افزایش یافته است که بیش‌ترین مقدار شیب روند در فصل‌های بهار و تابستان بوده است. همچنین مقادیر حدی و بالای تبخیر-تعرق مرجع در فصل‌های بهار، تابستان و زمستان با نرخ بالایی افزایش اما در فصل پاییز کاهش یافته است. نرخ شیب‌های روند افزایشی در فصل‌های بهار، تابستان و زمستان به ترتیب در نواحی نیمه شرقی، نیمه‌ی شمالی و نوار جنوبی استان و در مقابل، نرخ شیب روند کاهش‌ی در فصل پاییز در نواحی شمالی استان مازندران به مراتب بیش‌تر بوده است.
- وقوع نقطه‌ی شکست در سری زمانی تبخیر-تعرق مرجع در فصل‌های بهار، پاییز و زمستان به طور قابل توجهی رخ داده است و بیشترین سال وقوع این تغییرات ناگهانی برای فصل بهار در سال‌های ۱۹۹۰، ۱۹۹۸ و ۲۰۱۳، برای فصل پاییز در سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۱، و نیز برای فصل زمستان در سال‌های ۱۹۹۸، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۱ بوده است.

- افزایش مقادیر بسیار بالای تبخیر-تعرق مرجع در کنار کاهش بارش در استان مازندران موجب کاهش منابع آبی، تهدید طبیعت گیاهی و بیابانی شدن استان می‌شود که در صورت عدم مدیریت درست، خسارت‌های جبران‌ناپذیری را بر منابع آب و کشاورزی به‌ویژه در



فصول خشک سال به همراه خواهد داشت. لذا می‌بایست با ریشه‌یابی و ارائه راهکارهای علمی و عملی برای مدیریت صحیح تبخیر-تعرق مرجع در سطح استان تلاش نمود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

فهرست منابع

- اسدی؛ مهدی، کرمی؛ مختار. (۱۳۹۹). برآورد میزان تبخیر و تعرق در استان فارس با استفاده از شاخص های تجربی. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی (علوم جغرافیایی)، ۲۰(۵۶)، ۱۵۹-۱۷۵.
- باب‌الحکمی؛ علی، غلامی سفیدکوهی؛ محمدعلی، و عمادی؛ علیرضا. (۱۳۹۹). اثر تغییر اقلیم بر تبخیر-تعرق مرجع در استان مازندران. تحقیقات آب و خاک ایران، ۲(۵۱)، ۳۸۷-۴۰۱.
- بختیاری؛ بهرام، مهدوی؛ نکیسا، سیاری؛ نسرین. (۱۴۰۰). تحلیل حساسیت و بررسی تغییرات شاخص خشکی (AI) در چند نمونه اقلیمی ایران. تحقیقات منابع آب ایران، ۱(۱)، ۱-۱۵.
- حسینی موغاری؛ سید محمد، عراقی نژاد؛ شهاب، ابراهیمی؛ کیومرث. (۱۳۹۸). کاربرد مشاهدات ماهواره‌ی GRACE در پایش خشکسالی (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبریز مرکزی کشور). تحقیقات منابع آب ایران، ۱(۱)، ۹۲-۱۰۳.
- زارع ابیانه؛ حمید، اسمعیلی؛ سرور. (۱۴۰۰). ارزیابی روش‌های برآورد ضریب تشتت برای محاسبه مقدار تبخیر و تعرق (مطالعه موردی استان کردستان). تحقیقات آب و خاک ایران، ۲(۵۲)، ۳۲۹-۳۴۴.
- شیدائیان؛ مجید، ضیابار احمدی؛ میرخالق، فضل اولی؛ رامین. (۱۳۹۴). تأثیر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری و عملکرد محصول برنج (مطالعه موردی: دشت تجن). آب و خاک، ۲۸(۶)، ۱۲۸۴-۱۲۹۷.
- غلامی؛ عباس، حبیب نژاد روشن؛ محمود، شاهدی؛ کاکا، وفاخواه؛ مهدی، سلیمانی؛ کریم. (۱۳۹۷). بررسی اثرهای تغییرات اقلیم آبی در تبخیر و تعرق واقعی و آب موجود در خاک در حوضه‌ی آبخیز تالار استان مازندران. پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، ۵۰(۳)، ۵۱۱-۵۲۹.
- فرسادیان؛ فرهاد، رستمی کامرود؛ محسن، مقدم نیا؛ علیرضا. (۱۳۹۱). تحلیل روند بارندگی در استان مازندران با استفاده از روش من-کندال منطقه‌ای. تحقیقات منابع آب ایران، ۲(۸)، ۶۰-۷۰.
- فغانی؛ منیره، قربانی؛ خلیل، سالاری جزی؛ میثم. (۱۳۹۶). تحلیل روند و نقطه شکست در سری‌های فصلی شاخص خشکسالی SPI در ایران. آبیاری و زهکشی ایران، ۴(۱۱)، ۶۶۷-۶۷۹.
- قربانی؛ حمید، ولی؛ عباسعلی، زارع پور؛ هادی. (۱۳۹۷). تحلیل روند خشکسالی هواشناسی با استفاده از آزمون های من کندال، سن و پتی در استان اصفهان. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۶(۲)، ۱۲۹-۱۴۶.
- قربانی؛ خلیل، برارخان پور؛ صدیقه، ولیزاده؛ اسماعیل، ملاراضی؛ عبدالجبار. (۱۳۹۹). تحلیل منطقه‌ای روند و نقطه شکست در سری‌های فصلی شاخص خشکسالی SPEI در ایران. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۷(۴)، ۱۸۵-۲۰۰.
- کنعانی؛ رضا، فاخری فرد؛ احمد، قربانی؛ محمد علی، دین پژوه؛ یعقوب. (۱۳۹۸). تحلیل روند تغییرات تدریجی و سریع عوامل هیدرواقلمی حوضه آبریز (مطالعه موردی: حوضه لیقوان چای). دانش آب و خاک، ۲۹(۱)، ۹۷-۱۱۰.
- گلشن؛ سحر، رائینی سرجاز؛ محمود، نوروز ولاشدی؛ رضا. (۱۳۹۴). بررسی و آشکارسازی اثر گرمایش جهانی بر تغییرات روند دمای خاک و برآورد آن با روش همبستگی رگرسیونی (مطالعه موردی: کرمان). پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۲(۴)، ۱۲۱-۱۳۸.
- موسوی؛ سید علی اکبر. (۱۳۹۸). پهنه‌بندی مکانی تبخیر از تشتت و برخی عوامل اقلیمی مؤثر بر آن با روش‌های زمین‌آماری (مطالعه موردی: استان فارس). هواشناسی کشاورزی، ۷(۲)، ۴۴-۵۴.
- میری؛ مرتضی، عزیزی؛ قاسم، محمدی؛ حسین، پوره‌اشمی؛ مهدی. (۱۳۹۶). معرفی و ارزیابی مدل جهانی همسان سازی داده های زمینی با داده های مشاهده ای در ایران. اطلاعات جغرافیایی « سپهر»، ۲۶(۱۰۴)، ۵-۱۷.
- نوری؛ میلاد، همایی؛ مهدی، بنایان؛ محمد. (۱۳۹۶). بررسی تغییرات تبخیر و تعرق مرجع طی سده ی بیست و یکم در برخی مناطق نیمه خشک ایران. تحقیقات آب و خاک ایران، ۲(۲)، ۲۴۱-۲۵۲.
- یزدانی؛ وحید، لیاقت؛ عبدالمجید، نوری؛ حدیثه، نوری؛ حمیده، زارع ابیانه؛ حمید. (۱۳۹۰). تعیین بهترین مدل محاسبه ضریب تشتت در منطقه آمل بر پایه‌ی آنالیز حساسیت. تحقیقات آب و خاک ایران، ۱(۱)، ۹-۱۷.

REFERENCES

- Abatzoglou, J. T., Dobrowski, S. Parks S. A. and Hegewisch. K. C. (2018). TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958-2015. *Scientific Data*, 5, 170191.
- Alashan, S. (2020). Combination of modified Mann-Kendall method and Sen innovative trend analysis. *Engineering Reports*, 2(3), e12131.
- Asadi, M. and Karami, M. (2020). Estimation of evapotranspiration in Fars province using experimental indicators. *Scientific Journals Management System*, 20(56), 159-175. (In Persian).
- Babolhekami, A., Gholami Sefidkouhi. M. A. and Emadi, A. (2020). The impact of climate change on reference evapotranspiration in Mazandaran province. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(2), 387-401. (In Persian).
- Bakhtiari, B., Mahdavi, N. and Sayari, N. (2021). Variations and sensitivity analysis on Aridity Index (AI) in some climate samples in Iran. *Iran-Water Resources Research*, 17(1), 1-15. (In Persian).
- Faghani, M., Ghorbani, K. and Salarijazi, M. (2017). Trend and change point analysis of seasonal SPI drought index in Iran. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 11(4), 667-679. (In Persian).
- Farsadnia, F., Rostami Kamrod, M. and Moghadam Nia, A. (2012). Rainfall trend analysis of Mazandaran province using regional Mann-Kendall test. *Iran-Water Resources Research*, 8(2), 60-70. (In Persian).
- Ferraz Do Nascimento, F. and Bourguignon, M. (2020). Bayesian time-varying quantile regression to extremes. *Environmetrics*, 31(2), e2596.
- Gholami, A. Habibnejad Roshan, M. Shahedi, K. Vafakhah, M. and Solaymani, K. (2018). Future Impacts of Climate Change on Actual Evapotranspiration and Soil Water in the Talar Watershed in Mazandran Province. *Physical Geography Research Quarterly*, 50(3), 511-529. (In Persian).
- Ghorbani, H., vali, A. A. and zarepour, H. (2019). Analysis of the climatological drought trend variations using Mann-Kendall, Sen and Pettitt tests in Isfahan province. *Journal of spatial analysis environmental hazards*, 6(2), 129-146. (In Persian).
- Ghorbani, K., Bararkhan Poor, S. Valizadeh, E. and Molaarazi, A. (2020). Regional analysis of trend and change point in seasonal series of SPEI drought index in Iran. *Journal of Water and Soil Conservation*, 27(4), 185-200. (In Persian).
- Golshan, S. (2016). Investigation and detection effects of global warming on soil temperature trends and its estimated regression correlation (case study: Kerman). *Journal of Water and Soil Conservation*, 22(4), 121-138. (In Persian).
- Hamed, K. H. and Rao, A. R. (1998). A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology*, 204, 182-196.
- Han, J., Wang, J. Zhao, Y. Wang, Q. Zhang, B. Li, H. and Zhai, J. (2018). Spatio-temporal variation of potential evapotranspiration and climatic drivers in the Jing-Jin-Ji region, North China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 256, 75-83.
- Hosseini-Moghari, S., Araghinejad, S. and Ebrahimi, K. (2019). Application of GRACE satellite observations in drought monitoring (case study: Markazi Basin, IRAN). *Iran-Water Resources Research*, 15(1), 92-103. (In Persian).
- Hounguè, R., Lawin, A. E. Moumouni, S. and Afouda, A. A. (2019). Change in climate extremes and pan evaporation influencing factors over Ouémé Delta in Bénin. *Climate*, 7(2), 1-22.
- Jhajharia, D., Gupta, S. Mirabbasi, R. Kumar, R. and Patle, G. T. (2021). Pan evaporative changes in transboundary Godavari River basin, India. *Theoretical and Applied Climatology*, 145(3), 1503-1520.
- Kalisa, W., Igbawua, T. Ujoh, F. Aondoakaa, I. S. Namugize, J. N. and Zhang, J. (2021). Spatio-temporal variability of dry and wet conditions over East Africa from 1982 to 2015 using quantile regression model. *Nat Hazards*, 106, 2047-2076.
- Kanani, R., Fakheri-Fard, A. Ghorbani, M. and Dinpashoh, Y. (2019). Trend analysis of gradual and rapid variations of hydro-climatological factors (case study: Lighvanchai basin). *Water and Soil Science*, 29(1), 97-110. (In Persian).
- Kendall. M. G. (1975). Rank correlation methods. Oxford: Oxford University Press.
- Koenker, R. (2005). Quantile regression. first ed, New York, Cambridge University Press, 1-25.
- Koenker, R. (2018). Quantreg: Quantile regression and related methods. Version 5.54. R package, <https://cran.r-project.org/web/packages/quantreg/quantreg.pdf>
- Koenker, R. and Bassett, G. (1978). Regression quantiles. *Econometrica*, 46, 33-50.
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13(3), 245-259.
- Miri, M., Azizi, G. Mohammadi, H. and Pourhashemi, M. (2018). Introduction and evaluation of global model of land data assimilation. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 26(104), 5-



17. (In Persian).
- Moosavi, A. (2020). Spatial zoning of pan evaporation and affecting variables using geostatistic methods (case study: Fars province). *Journal of Agricultural Meteorology*, 7(2), 44-54. (In Persian).
- Nouri, M. Homaei, M. and Bannayan, M. (2017). Assessing reference evapotranspiration changes during the 21st century in some semi-arid regions of Iran. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 48(2), 241-252. (In Persian).
- Pandey, B. K. and Khare, D. (2018). Identification of trend in long term precipitation and reference evapotranspiration over Narmada River basin (India). *Global and planetary change*, 161, 172-182.
- Peng, L., Li, Y. and Feng, H. (2017). The best alternative for estimating reference crop evapotranspiration in different sub-regions of mainland China. *Scientific reports*, 7(1), 1-19.
- Pettitt, A. N. (1979). A non-parametric approach to change point problem. *Journal of the Royal Statistical Society: series C (Applied Statistics)*, 28(2), 126-135.
- Pour, S. H., Abd Wahab, A. K. Shahid, S. and Ismail, Z. B. (2020). Changes in reference evapotranspiration and its driving factors in peninsular Malaysia. *Atmospheric Research*, 246, 105096.
- Razaghian, H. Kaka, S. Ali H. G. R. and Ahmad K. P. S. (2014). The study of climate change in Mazandaran province using the limit indices of temperature and precipitation. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 5(1), 14-22.
- Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficients based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63, 1379-1389.
- Shah, L. Arnillas, C. A. and Arhonditsis, G. B. (2022). Characterizing temporal trends of meteorological extremes in Southern and Central Ontario, Canada. *Weather and Climate Extremes*, 35, 100411.
- Sheidaei, M., Ziatabar Ahmadi, M. and Fazloulou, R. (2016). Study on climate change effect on net irrigation requirement and yield for rice crop (case study: Tajan plain). *Water and Soil*, 28(6), 1284-1297. (In Persian).
- Solaimani, K. (2022). Seasonal relationship between climatic variables and evaporation based on Bayesian quantile regression method in southern Caspian region. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(10), 1-17.
- Solaimani, K. and Bararkhanpour, S. (2022). Spatiotemporal changes of climatic parameters extreme quantiles and their role on evaporation in N. Iran (Golestan province). *Arabian Journal of Geosciences*, 15(68), 1-16.
- Susanti, I. Sipayung, S. B. Siswanto, B. Maryadi, E. Latifah, H. Nurlatifah, A. Supriatin, L. S. Witono, A. and Suhermat, M. (2021). Implications of extreme events on the water balance in Java. *In AIP Conference Proceedings*, 2331(1), 030008(1-8).
- Yazdani, V. Liaghat, A. Noori, H. Noori, H. and Zare Abianeh, H. (2011). A Determination of the best model for calculation of pan coefficient in amol as based on sensitivity analysis. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 42(1), 9-17. (In Persian).
- Zare-Abyaneh, H. and Esmaili, S. (2021). Evaluation of pan coefficient estimation methods to calculate the amount of evapotranspiration (case study of Kurdistan province). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(2), 329-344. (In Persian).
- Zhang, X. Vincent, L. A. Hogg, W. D. and Niitsoo, A. (2000). Temperature and rainfall trends in Canada during the 20th century. *Atmospheric Ocean* 38, 395-429.

Spatial Analysis of Changes and Detection of Jump of Monthly Evapotranspiration Time Series in Mazandaran

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Reference evapotranspiration (ET_0) as an important indicator of demand for air evaporation is an important factor for climatic and hydrological studies. Due to the occurrence of climate change and the occurrence of large fluctuations in precipitation and the occurrence of mild to severe droughts, it is important to study the evapotranspiration changes. Extreme events such as floods, storms and droughts are often caused by extreme weather. Therefore, in addition to studying the average data in investigating changes in meteorological and hydrological parameters, it is necessary to examine very low or very high values of evapotranspiration and other meteorological parameters. Therefore, in this research, regression methods and statistical tests were used in order to investigate the temporal-spatial changes of ET_0 in Mazandaran province. In order to investigate the trend and change point in the ET_0 time series, the Mann-Kendall, Sen's slope and Pettit non-parametric tests were used, and to investigate the trend in extreme values of ET_0 , the quantile regression method was used.

Material and Methods

In this research, the monthly ET_0 grid data (monthly sum in mm) was used, which was extracted from the TerraClimate database (with a resolution of about 5 km) and was calculated using the FAO Penman Monteith method. In the first step, checking the accuracy of grid data with the ET_0 data from the nearest synoptic station to the grid position (calculated by Torrent-White method) was performed using Root Mean Square Error, BIAS and Spearman correlation test statistical evaluation indicators. Then, a seasonal time series of grid ET_0 data was prepared for the entire Mazandaran province in a period of 40 years (1981-2020). In the next step, the trend of changes and the change point in the monthly ET_0 time series in different seasons were performed using Mann-Kendall, Pettitt statistical tests and the quantile regression method, and the results (slope and significance of the trend and the year of the change point) was zoned for the whole province in the GIS environment. Then the results were analyzed and compared.

Results and discussion

The correlation coefficient between network evaporation-transpiration data and ground station data was estimated to be more than 0.9 in most of the stations and the average value of BIAS was 0.24. The results of Pettitt's test showed the time of sudden changes in reference evapotranspiration in spring, autumn and winter seasons in 2013, 2007-2010 and 1999, respectively, in most cases. Very high values of evapotranspiration increased in spring in the eastern half, in summer in the northern half and in winter in the southern and western strips (with a seasonal slope percentage of 45, 75 and 120 percent, respectively), but they decreased in autumn in the north of the province (with a slope of -45 percent). In general, significantly increasing slope rates for high values of evapotranspiration were higher than average.

Conclusion

The significant increase in high amounts of evapotranspiration, especially in the dry season, will reduce water resources and disrupt the agricultural sector. , which, if not managed on time, will cause irreparable damages in the agricultural sector, especially in the dry season. Therefore, scientific and practical methods for managing reference evapotranspiration in the province should be considered.

Keywords: *Change Point, Evapotranspiration, Extreme Values, Temporal-Spatial Trend.*