

برآورد و ارزیابی روند تغییرات تبخیر- تعرق مرجع سالانه براساس پارامترهای اقلیمی مؤثر

در شمال شرق ایران

حمزه احمدی^{۱*}، غلامعباس فلاح قاله‌ری^۲، اکبر شائمی^۳

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۳/۳۱ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۴/۱۳

- ۱- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی کشاورزی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار
 - ۲- استادیار گروه آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار
 - ۳- استادیار آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نوراصفهان، اصفهان
- *مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: hamzehahmadi2009@gmail.com

چکیده

تحلیل روند تغییرات تبخیر- تعرق مرجع در هر منطقه از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. در مطالعه حاضر، از آمار پارامترهای اقلیمی دوازده ایستگاه هواشناسی واقع در شمال شرق کشور، برای تخمین تبخیر- تعرق مرجع براساس مدل‌های تجربی پایاداکیس و پنمن مونتیت فائو استفاده گردید. خروجی مدل‌ها براساس روش‌های مختلف درون‌یابی ارزیابی و سپس نتایج روش کوکریجینگ با RMSE کمتر در محیط نرم‌افزار ArcGIS10/2، به صورت پهنه‌های هم‌تبخیر- تعرق مرجع مشخص گردید. روند تغییرات با آزمون ناپارامتری من- کندال (MK) ارزیابی شد. نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین تبخیر- تعرق مرجع به ترتیب، در ایستگاه‌های واقع در استان‌های خراسان جنوبی و شمالی رخ می‌دهد. تبخیر- تعرق مرجع کل منطقه در مقیاس سالانه، از شمال به جنوب روندی افزایشی دارد. ارتفاع و عرض جغرافیایی در تعیین پهنه‌های هم‌تبخیر- تعرق مرجع از وزن بیشتری برخوردار بودند. روند تغییرات زمانی ET_0 سالانه در حالت افزایشی معنی‌دار مشاهده شد. در گناباد، سبزوار، بشرویه و قائن روند افزایشی ET_0 در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار بود. شیب کاهشی تا ۱۴- میلی‌متر در سال در ایستگاه‌های بجنورد و قوچان و شیب افزایشی تا ۱۷ میلی‌متر در سال در ایستگاه‌های فردوس و مشهد در سری سالانه تخمین زده شد. روند تغییرات سالانه پارامترهای اقلیمی، فقط برای بارش و رطوبت نسبی ایستگاه بیرجند معنی‌دار بود. در پارامترهای کمینه دما، بیشینه دما و ساعات آفتابی در تمام ایستگاه‌ها، شیب تغییرات فقط افزایشی و برای سرعت باد، بارش و رطوبت نسبی تغییرات شیب هم به صورت افزایشی و هم به صورت کاهشی مشاهده شد. بنابراین، عامل اصلی افزایش تبخیر- تعرق مرجع در منطقه، روند افزایشی پارامترهای کمینه دما، بیشینه دما و ساعات آفتابی بوده و در اولویت دوم، تغییرات افزایشی و کاهشی پارامترهای رطوبت نسبی، بارش و سرعت باد نیز حائز اهمیت می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پایاداکیس، پنمن مونتیت، تبخیر- تعرق مرجع، روند، کوکریجینگ

Estimating and Evaluating the Trends of Annual Reference Evapotranspiration based on Influential Climatic Parameters in the North East of Iran

H Ahmadi^{1*}, Gh Fallahghalhari², A Shaemi³

Received: 21 June 2015 Accepted: 3 July 2016

1- Ph.D. Student, Dept. of Clima., Faculty of Geo and Envi., Hakimsabzevari, Univ., Sabzevar, Iran

2- Assist. Prof., Dept. of Clima., Faculty of Geo and Envi., Hakimsabzevari, Univ., Sabzevar

3- Assist. Prof., Dept. of Clima., Faculty of Geo., Payamnoor, Univ., Isfahan, Iran

*Corresponding Author, Email: hamzehahmadi2009@gmail.com

Abstract

Analysis of the trends of reference evapotranspiration in any region is very important. In the present study, data of twelve meteorological stations in the North East of Iran, were used to estimate reference ET_0 using Papadakis and FAO Penman–Monteith empirical models. The outputs of the models were evaluated based on different interpolation methods and then the results of the Cokriging method with lower RMSE were identified as the reference evapotranspiration zones using the ArcGIS10/2. Trends were evaluated using the Mann-Kendall (MK) nonparametric test. The results revealed that the highest and lowest values of reference evapotranspiration took place in stations located in the provinces of South and North Khorasan respectively. The annual ET_0 showed upward trend from north to south. Altitude and latitude had greater weights in determination of reference evapotranspiration zones. The temporal trends of annual ET_0 were increasingly insignificant at 0.05%. The upward trends in Gonabad, Sabzevar, Boshrooyeh and Gha'een were significant at 0.05% level. An annual decreasing trend line slope was estimated up to -14 mm in Bujnoord and Ghoochan stations, whereas positive slope up to 17 mm in Ferdows and Mashhad stations were observed. Trends of climatic parameters were significant only for precipitation and relative humidity in Birjand station. Regarding the parameters of minimum temperature, maximum temperature and sunshine hours, the trends were upward in all the stations, and the changes for wind speed, precipitation and relative humidity were both upward and downward. Therefore, the main causes of increased potential evapotranspiration in the region were minimum temperature, maximum temperature and sunshine hours. The falling and rising changes of relative humidity, precipitation and wind were significant as well.

Key- words: Cokriging, Papadakis, Penman–Monteith, Reference evapotranspiration, Trend

مقدمه

افزایش درجه حرارت هوا انتظار می‌رود در آینده میزان تبخیر- تعرق نیز افزایش یابد (لیو و ژانگ ۲۰۱۲). تبخیر- تعرق، یکی از مهم‌ترین پارامترهایی است که دانستن مقدار دقیق آن برای برآورد آب مصرفی گیاه و طراحی سیستم‌های آبیاری ضروری است (موسوی

گرمایش جهانی به دلیل افزایش گازهای گلخانه‌ای موجب تغییرپذیری زمانی و مکانی متغیرهای اقلیمی، بارش، رطوبت مطلق، تبخیر- تعرق، تابش خورشیدی و درجه حرارت می‌گردد (بی‌نام ۲۰۰۷). با توجه به

می‌یابد و این افزایش در ماه‌های گرم سال بیشتر خواهد بود. تانگ و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی پیامدهای تغییرپذیری اقلیمی بر روی تبخیر- تعرق مرجع در شمال چین، به نقش مؤثر روند افزایشی درجه حرارت در توزیع زمانی - مکانی تبخیر- تعرق نسبت به دیگر پارامترهای اقلیمی اشاره نمودند. جاجاریا و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی روند تبخیر- تعرق مرجع در مناطق مرطوب شمال هند، روند کاهششی در میزان تبخیر- تعرق را مشخص نمودند. لیو و ژانگ (۲۰۱۲) مشخص نموده‌اند که تغییرات پارامترهای اقلیمی سرعت باد و ساعات آفتابی موجب روند افزایشی معنی‌دار در میزان تبخیر- تعرق مرجع می‌گردد. کریتارو و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی تبخیر- تعرق و تحلیل روند آن در رومانی، روند تغییرات افزایشی در فصل زمستان را حائز اهمیت دانستند. طبری و حسین زاده طلایی (۲۰۱۴) با بررسی حساسیت تبخیر- تعرق به تغییر اقلیم در اقلیم‌های مختلف، مشخص نمودند که بیشترین تغییرات در اقلیم خشک در واکنش به پارامتر سرعت باد رخ می‌دهد. زینگ و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی تغییرات تبخیر- تعرق مرجع، روند افزایشی تبخیر- تعرق مرجع براساس سناریوهای تغییر اقلیم برای آینده را مشخص نمودند. زونگ زینگ و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی زمانی و مکانی تبخیر- تعرق مرجع و ارتباط آن با پارامترهای مؤثر در جنوب غربی چین، به نقش تعیین‌کننده پارامترهای اقلیمی دما، ساعات آفتابی و سرعت باد در توزیع و افزایش تبخیر- تعرق اشاره نمودند. نم و همکاران (۲۰۱۵) تأثیر معنی‌دار تغییر اقلیم بر تغییرات تبخیر- تعرق مرجع را حائز اهمیت دانستند. شیرغلامی و قهرمان (۱۳۸۴) در بررسی روند تغییرات دمای متوسط سالانه در ایران، مشخص نموده‌اند که بیشتر مناطق در سال‌های آتی با افزایش دما روبه‌رو خواهد شد. طبری و همکاران (۱۳۸۷) در بررسی روند تغییرات سالانه پارامترهای هواشناسی در دو اقلیم سرد و گرم ایران برای دمای هوا روند افزایشی و برای بارندگی

بایگی و همکاران (۱۳۸۸). مطالعه و برآورد تبخیر- تعرق مرجع از نظر حفاظت منابع آب حائز اهمیت است (صبح‌خیز ۱۳۸۴). تبخیر- تعرق مرجع یکی از عوامل کلیدی در برنامه‌ریزی‌های مربوط به تأمین آب در سطوح مختلف محسوب می‌شود (توماس ۲۰۰۰). تبخیر- تعرق گیاه مرجع به دلیل بررسی تغییرات پارامترهای اقلیمی درجه حرارت، تابش آفتاب، رطوبت و سرعت باد به صورت ترکیبی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد (النصر و همکاران ۲۰۱۰). برآورد تبخیر- تعرق مرجع به طور معمول در مهندسی آبیاری برای تعیین نیازهای آبی محصول مورد استفاده قرار می‌گیرد (آلن و همکاران ۱۹۹۸). توزیع مکانی تبخیر- تعرق مرجع به عنوان یکی از مؤلفه‌های عمده در بیلان چرخه هیدرولوژیکی و مدیریت منابع آبی حائز اهمیت می‌باشد (نم و همکاران ۲۰۱۵).

سینگ و همکاران (۲۰۰۳) در برآورد تبخیر- تعرق مرجع در جنوب غرب پنجاب، نتایج برآورد با مدل پایاداکیس^۱ را مناسب‌تر از مدل تورنت وایت^۲ مشخص نموده‌اند. خو و همکاران (۲۰۰۶) با بررسی توزیع زمانی و مکانی تبخیر- تعرق مرجع در چانگ جیانگ، مشخص نمودند که الگوی توزیع زمانی و مکانی تبخیر- تعرق متأثر از پارامترهای اقلیمی می‌باشد. النصر و همکاران (۲۰۱۰) مشخص نمودند که روند افزایشی معنی‌داری در میزان تبخیر- تعرق مرجع در شبه جزیره عربی مشاهده می‌شود. موراتیل و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی واکنش تبخیر- تعرق گیاه مرجع به تغییرات رطوبت و درجه حرارت در اسپانیا، نشان دادند که وضعیت تبخیر- تعرق براساس تغییرات رطوبت نسبی و درجه حرارت تا آخر قرن ۲۱، افزایش می‌یابد. موراتیل و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی روند پارامترهای اقلیمی و تبخیر- تعرق مرجع، مشخص نمودند که میزان تبخیر- تعرق مرجع در آینده تا ۱۱۸ میلی‌متر افزایش

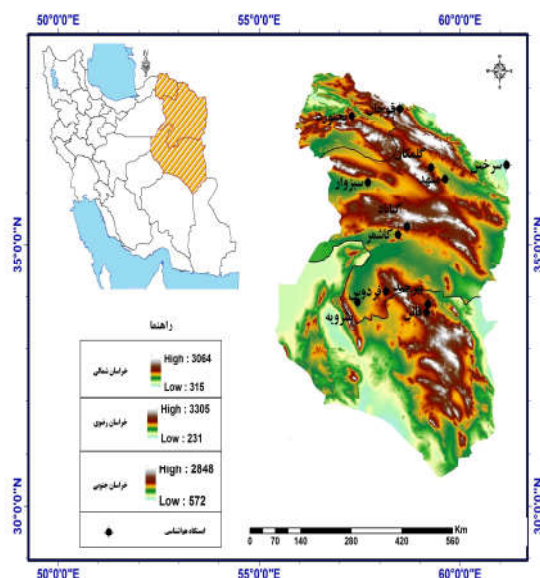
1 - Papadakis

2 - Thornthwaite

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شمال شرق ایران شامل استان‌های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی از شمال و شمال شرق به کشور ترکمنستان، از شرق به افغانستان، از جنوب به استان سیستان و بلوچستان و از سمت غرب به استان سمنان و گلستان محدود شده است. طول و عرض منطقه شمال شرق ایران در حد فاصل ۵۵ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. شکل ۱ مشخصات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- مشخصات جغرافیایی استان‌های خراسان و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی در شمال شرق ایران.

در این تحقیق آمار پارامترهای اقلیمی، کمینه دما، بیشینه دما، متوسط دما، بارش، رطوبت نسبی، سرعت باد، ساعات آفتابی به صورت ماهانه و سالانه از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۵ میلادی مطابق با سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۴ شمسی، برای دوره آماری ۲۰ ساله، در ۱۲ ایستگاه هواشناسی شمال شرق ایران ارزیابی گردید. آمار مربوطه از سازمان هواشناسی کشور تهیه و جمع‌آوری

روند کاهشی تعیین‌نموده‌اند. زارع ایبانه و همکاران (۱۳۸۹) با ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع و پهنه‌بندی آن در ایران، وجود بی-نظمی و نوسان زیاد در بارش سالانه را از عوامل کمبود منابع آب و افزایش تبخیر-تعرق در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران معرفی نمودند. دین‌پژوه (۱۳۸۹) با بررسی روند تبخیر-تعرق پتانسیل ماهانه گیاه مرجع در زابل، وجود روند مثبت در سری‌های تبخیر-تعرق پتانسیل در ایستگاه زابل را ناشی از افزایش سرعت باد دانستند. سبزی پرور و شادمانی (۱۳۹۰) در تحلیل روند تبخیر-تعرق مرجع در مناطق خشک ایران مشخص نمودند که روند تغییرات زمانی تبخیر-تعرق برای برخی مناطق افزایشی و در برخی دیگر کاهشی می‌باشد. اسمعیل‌پور و دین‌پژوه (۱۳۹۱) با بررسی روند بلندمدت Eto در حوضه جنوبی رود ارس، برای کمینه و بیشینه دما و سرعت باد در بیشتر منطقه روند افزایشی مشخص نمودند. معصوم‌پور سماکوش و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی تغییرپذیری زمانی-مکانی و روند تبخیر-تعرق گیاه مرجع در ایران، مشخص نمودند که در کل ایران تبخیر-تعرق مرجع رو به افزایش است.

تبخیر-تعرق مرجع یکی از مهم‌ترین پارامترهایی است که برآورد آن برای برنامه‌ریزی نیاز آبی در کشاورزی، طراحی سیستم‌های آبیاری و استفاده بهینه از منابع آب ضروری به‌نظر می‌رسد. شرایط مکانی براساس عوامل پایدار محلی و پارامترهای اقلیمی براساس خاصیت تغییرپذیری آنها، در توزیع و تغییرات تبخیر-تعرق مرجع همواره اثرگذار بوده‌اند. تحقیق حاضر در نظر دارد در ابتدا، توزیع مکانی تبخیر-تعرق مرجع به صورت سالانه را با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) در محیط نرم افزار ArcGIS10/2 مشخص نماید، سپس روند تغییرات تبخیر-تعرق مرجع سالانه و پارامترهای اقلیمی مؤثر به صورت سالانه را مورد بررسی قرار دهد.

شد. جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی همید مورد مطالعه.

نام ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا		
	طول جغرافیایی (°E)	عرض جغرافیایی (°N)	دریا m
بیرجند	۵۹° ۱۲'	۳۲° ۵۲'	۱۴۹۱
بجنورد	۵۷° ۱۹'	۳۷° ۲۸'	۱۰۹۱
بشرویو	۵۷° ۲۷'	۳۳° ۵۴'	۸۸۵
فردوس	۵۸° ۱۰'	۳۴° ۱'	۱۲۹۳
قائن	۵۹° ۱۰'	۳۳° ۴۳'	۱۴۳۲
قوچان	۵۸° ۳۰'	۳۷° ۴'	۱۲۸۷
گلمکان	۵۹° ۱۷'	۳۶° ۲۹'	۱۱۷۶
گناباد	۵۸° ۴۱'	۳۴° ۲۱'	۱۰۵۶
کاشمر	۵۸° ۲۸'	۳۵° ۱۲'	۱۱۰۹
مشهد	۵۹° ۳۸'	۳۶° ۱۶'	۹۹۹
سبزوار	۵۷° ۴۳'	۳۶° ۱۲'	۹۷۷
سرخس	۶۱° ۱۰'	۳۶° ۳۲'	۲۳۵

از روش پنمن مونتیت فائو نیز برای برآورد تبخیر- تعرق مرجع در ماه استفاده شد. محاسبات این روش در محیط نرم‌افزار CROPWAT/8 انجام گردید. پارامترهای کمینه و بیشینه دما برحسب سلسیوس، بارش برحسب میلی‌متر، سرعت باد برحسب متر بر ثانیه، رطوبت نسبی برحسب درصد و تابش آفتاب به صورت مجموع ساعات آفتابی برای هرماه تنظیم و سپس در محیط نرم‌افزار مذکور جهت برآورد تبخیر- تعرق برحسب میلی‌متر در ماه محاسبه گردید.

[۲]

$$ET_0 = \frac{0408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

در این رابطه، ET_0 تبخیر - تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر در روز) مقدار تابش خالص (مگاژول بر مترمربع در روز) در سطح پوشش گیاهی، G جریان حرارتی خاک (مگاژول بر مترمربع در روز) T متوسط دمای هوا در ارتفاع دو متری از سطح خاک (درجه سلسیوس)، u_2 سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (متر بر ثانیه) Δ شیب منحنی فشار بخار (کیلو پاسکال بر درجه سلسیوس)، γ ضریب سایکرومتر (کیلو پاسکال بر درجه سلسیوس) و $(e_s - e_a)$ کمبود فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال) می‌باشد (آلن و همکاران ۱۹۹۸).

در ادامه، خروجی ET_0 هرکدام از مدل‌ها برای هر ایستگاه هواشناسی به همراه پارامترهای مکانی، برای توزیع فضایی و تعیین پهنه‌های هم تبخیر- تعرق مرجع در سطح منطقه مشخص شد. در این راستا، از سه روش متداول درون‌یابی؛ IDW^۱ وزن‌دهی معکوس فاصله، RBF^۲ توابع شعاع مبنا و ^{13}C کوکریجینگ

در این تحقیق در بخش نخست، از روش پایاداکیس به‌عنوان یک روش رطوبتی و روش پنمن مونتیت فائو به‌عنوان یک روش ترکیبی (شریفان و هزارجریبی ۱۳۸۹، سلطانی ۱۳۸۹) برای برآورد تبخیر- تعرق مرجع در ماه استفاده گردید. در روش پایاداکیس، با استفاده از فشار بخار اشباع بر مبنای دمای ماهانه، میزان ET_0 به‌صورت (میلی متر در ماه) برآورد می‌شود.

$$ET_0 = 5.625 [e_s(T_{max}) - e(T_d)] \quad [۱]$$

در این روش (T_{max}) e_s ، فشار بخار اشباع به‌صورت (کیلو پاسکال)، مطابق با میانگین دمای بیشینه و $e(T_d)$ ، فشار بخار اشباع به‌صورت (کیلو پاسکال)، مطابق با دمای نقطه شبنم مشخص می‌گردد (پایاداکیس ۱۹۶۶، سننه - سرانو^۳ و همکاران ۲۰۱۴).

^۲ -Inverse distance weighted

^۱ -Radial base function

^۱ - Cokriging

^۳ - Vicente-Serrano

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} \left[\frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q (t_p - 1)(2t_p + 5)}{p} \right] \quad [6]$$

$$Z_M = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad [7]$$

در روابط فوق n تعداد داده مشاهده‌ای (طول دوره آماری)، X_i و X_j به ترتیب i امین و j امین داده مشاهده‌ای، و q تعداد گروه‌های ایجاد شده (با داده‌های برابر و بیشتر از دو عضو)، t_p تعداد داده‌های برابر در p امین گروه و Z_M آماره من - کندال می‌باشد. مقدار Z_M منفی بیانگر روند کاهشی و مقدار مثبت آن نشان‌دهنده روند افزایشی در سری داده‌ها می‌باشد. با توجه به سطح معنی‌دار 0.05 اگر $|Z_M| > 1.96$ باشد، فرض صفر رد شده و سری زمانی پارامتر مورد مطالعه دارای روند معنی‌دار و در غیراین صورت فاقد روند ارزیابی می‌شود (سبزی پرور و شادمانی ۱۳۹۰).

نتایج و بحث

تبخیر- تعرق مرجع سالانه

نتایج تبخیر- تعرق مرجع سالانه براساس خروجی هر دو مدل تجربی در شکل ۲ مشخص شده است. در مدل پایاداکیس، کمترین مقدار تبخیر- تعرق مرجع با ۵۶۹ میلی‌متر در ایستگاه گل‌مکان و بیشترین میزان با ۱۱۲۸ میلی‌متر در ایستگاه بشرویه مشاهده گردید. در مدل پنمن مونتیت فائو نیز کمترین و بیشترین میزان به ترتیب با ۱۳۸۶ و ۲۲۲۲ میلی‌متر در ایستگاه‌های قوچان و بشرویه مشاهده شده است.

استفاده شد. با توجه به RMSE کمتر روش درون‌یابی کوکریجینگ به‌عنوان یک روش زمین‌آمار^۷ نسبت به دیگر روش‌ها، نتایج این روش در محیط نرم‌افزار ArcGIS10/2 برای توزیع فضایی نقاط هم ET_0 مشخص گردید. این روش مقدار تبخیر- تعرق مرجع در ماه را به‌عنوان متغیر اصلی در کنار متغیرهای ثانویه، عرض جغرافیایی، طول جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا ارزیابی می‌کند.

روش کوکریجینگ یک حالت چند متغیره از کریجینگ است که براساس همبستگی موجود بین متغیر اصلی و سایر متغیرهای اندازه‌گیری شده که در اصطلاح متغیر کمکی نامیده می‌شوند، به تخمین متغیر موردنظر می‌پردازد. تخمین‌گر کوکریجینگ در کنار متغیرهای جانبی براساس رابطه ۳، محاسبه می‌گردد:

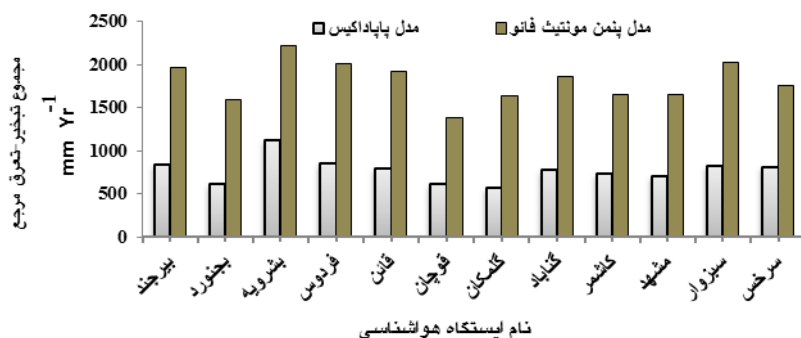
$$Z_V^*(u_0) = \sum_{i=1}^n [a_i \cdot Z_V(u_i) + \beta_i \cdot Z_W(u_i)] \quad [3]$$

که در آن $Z_V^*(u_0)$ مقدار تخمین‌زده شده متغیر اصلی Z_V در موقعیت u_0 و a_i وزن نسبت‌داده شده به مقدار مشاهده متغیر اصلی Z_V در موقعیت u_i و β_i وزن نسبت‌داده شده به مقدار مشاهده شده متغیر کمکی Z_W در موقعیت u_i و n تعداد مشاهدات در اطراف نقطه مورد تخمین می‌باشد (فتحی هفشجانی و همکاران ۱۳۹۲).

به‌منظور بررسی روند تغییرات تبخیر- تعرق مرجع و پارامترهای اقلیمی مؤثر بر آن، از آزمون ناپارامتری من- کندال استفاده شد. این آزمون ابتدا توسط من (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال (۱۹۷۵) تکامل یافت. روابط مربوطه جهت تعیین مقادیر آماره من - کندال (M-K) به‌صورت زیر است:

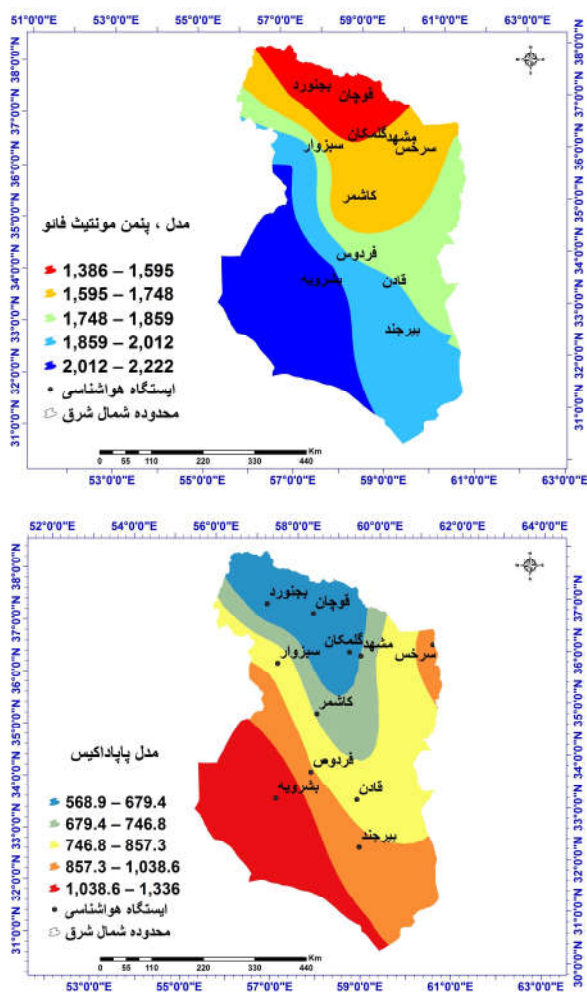
$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad [4]$$

$$\text{Sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad [5]$$



شکل ۲- نتایج برآورد تبخیر- تعرق مرجع سالانه با مدل پنمن مونتیث فائو و پاپاداکیس در شمال شرق ایران.

توزیع مکانی تبخیر- تعرق مرجع سالانه هر دو مدل در شکل ۳ مشخص شده است.



شکل ۳- توزیع مکانی تبخیر- تعرق مرجع سالانه با مدل پنمن مونتیث فائو و پاپاداکیس در شمال شرق ایران.

در این راستا، نتایج ارزیابی متقابل روش‌های درونیابی در جدول ۲، مشخص گردید. نتایج نشان می‌دهد که از شمال به جنوب و جنوب غرب منطقه، میزان ET_0 افزایش می‌یابد. پهنه‌های با ET_0 کمتر، در نیمه شمالی و ارتفاعات مرکزی منطقه واقع شده است. پهنه‌های با نقاط هم ET_0 بیشتر، در مناطق جنوبی و مناطق کم ارتفاع نیمه غربی و شرقی مشاهده می‌شود. در واقع، شرایط مکانی از طریق عرض جغرافیایی و ارتفاع از

سطح دریا نقش مؤثری در کاهش و افزایش ET_0 ایفا می‌نماید. توزیع مکانی تبخیر-تعرق مرجع سالانه در هر دو مدل تقریباً یکسان می‌باشد. در مدل پایاداکیس به‌عنوان یک مدل رطوبتی، عامل عرض جغرافیایی و در مدل پنمن مونتیت فائو عامل ارتفاع از سطح دریا، بیشترین وزن را در توزیع فضایی و تعیین پهنه‌های هم تبخیر-تعرق مرجع ایفا می‌کنند.

جدول ۲ - نتایج ارزیابی متقابل (Cross validation) روش‌های برآورد کننده تبخیر-تعرق مرجع سالانه در شمال شرق ایران.

روش	IDW		RBF		Cokriging	
	وزن‌دهی معکوس فاصله	RMSE	توابع شعاع مبنا	ME	کوکریجینگ	RMSE
پایاداکیس	۳۹/۲۴۱	۱۸۴/۶	۱۵/۹۹	-۲۵/۳۶	۱۷/۹۱	۰/۹۶
پنمن - مونتیت فائو	-۱۵/۸	۹۳/۱۱	۴۰/۰۴	-۲/۹	-۰/۰۳	۰/۹۲

روند تغییرات تبخیر-تعرق مرجع سالانه

به‌منظور شناخت از وضعیت روند تغییرات تبخیر-تعرق مرجع، آزمون من - کندال بر روی سری‌های ET_0 سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه اعمال گردید. نتایج آماره Z آزمون من - کندال در جدول ۳ مشخص شده است. در ایستگاه‌های، گناباد، بشرویه، سبزوار و قائن روند افزایشی در سری ET_0 سالانه در سطح ۰/۰۵ معنی داری می‌باشد. برای ایستگاه‌های سرخس و کاشمر با شیب تغییرات مثبت، روند افزایشی معنی‌داری از نظر آماری مشاهده نگردید. در ایستگاه‌های، گل‌مکان، بیرجند، بجنورد، قوچان و مشهد با شیب تغییرات منفی، روند معنی‌داری مشاهده نگردید. در روند سری‌های ET_0 سالانه، شیب تغییرات افزایشی و کاهش‌ی قابل توجه‌ای مشاهده می‌شود. در ایستگاه‌های، بجنورد، قوچان و بیرجند مقدار شیب تغییرات منفی به-ترتیب، ۱۱، ۱۲ و ۱۵ میلی‌متر به‌ازای هر سال رخ داده است. در ایستگاه‌های فردوس، قائن، کاشمر، گناباد،

سرخس، مشهد، سبزوار و بشرویه، تغییرات شیب خط روند به‌صورت افزایش می‌باشد. به‌طوری که مقدار این شیب در ایستگاه‌های سبزوار، فردوس و مشهد به‌ترتیب به ۲۰، ۱۷ و ۱۲ میلی‌متر در سال می‌رسد. شکل ۴ نتایج وضعیت تغییرات شیب خط روند سری‌های سالانه تبخیر - تعرق مرجع سالانه برای ایستگاه‌های منتخب را به‌طور نمونه نشان می‌دهد.

جدول ۳ - نتایج آماره Z من - کندال بر روی سری

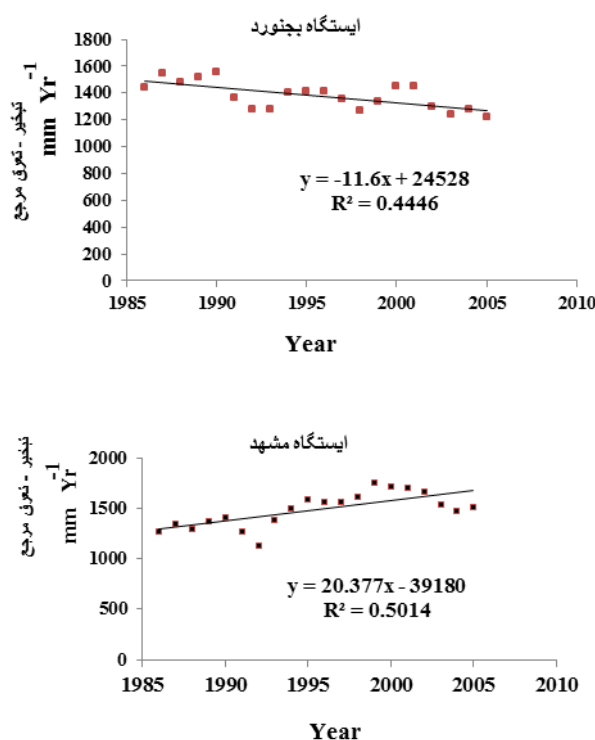
تبخیر-تعرق مرجع سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه.

ایستگاه	یرجند	اشمر	ناباد	لمکان	جنورد	شرویه
(M-K)	-۱/۴	۱/۹	**۲/	-۰/۸	-۰/۷	**۲/۷
ایستگاه	رخس	بزوار	ردوس	شهد	ائن	وچان
(M-K)	۱/۹	**۲/	-۰/۴	-۰/۸	** ۱/۷	-۱/

** روند در سطح ۰/۰۵ معنی‌داری

در بیشتر منطقه روند افزایشی معنی‌داری مشاهده نگردید.

به‌منظور شناخت بیشتر از تغییرات افزایشی و کاهشی سری ET_0 سالانه، تغییرات روند سری سالانه پارامترهای اقلیمی مؤثر بررسی گردید. نتایج تغییرات روند سری سالانه پارامترهای اقلیمی مؤثر در جداول ۴ و ۵ مشخص شده است. در پارامترهای کمینه دما، بیشینه دما و ساعات آفتابی در تمام ایستگاه‌ها شیب تغییرات افزایشی مشاهده می‌شود. به‌طوری که در ایستگاه بشرویه، شیب تغییرات افزایشی در پارامتر بیشینه دما به $1/4$ درجه سلسیوس در سال می‌رسد. شیب تغییرات مثبت ساعات آفتابی در تمام ایستگاه‌ها، بالای ۵ ساعت در سال بوده است. در مناطق خراسان جنوبی برای ایستگاه‌های بیرجند، فردوس و قائن به- ترتیب ۱۴ و ۱۳ ساعت تغییرات مثبت در ساعات آفتابی مشاهده می‌شود. کمترین میزان شیب تغییرات مثبت برای ساعات آفتابی در ایستگاه‌های خراسان شمالی مشاهده می‌شود. بنابراین، تغییرات افزایشی پارامترهای دمایی و ساعات آفتابی عامل عمده و اولیه تغییرات افزایشی تبخیر - تعرق پتانسیل سالانه در منطقه شمال شرق محسوب می‌شود (جدول ۴). برای پارامترهای بارش، رطوبت نسبی و سرعت باد تغییرات افزایشی و کاهشی مختلفی در سطح ایستگاه‌های مورد مطالعه مشاهده گردید. برای پارامتر سرعت باد در ایستگاه‌های مشهد، گلکان و سبزوار تغییرات شیب افزایشی و در ایستگاه‌های دیگر تغییرات شیب کاهشی مشاهده گردید. برای پارامتر بارش در ایستگاه‌های بجنورد، قوچان، سرخس و کاشمر شیب مثبت و در بقیه ایستگاه‌ها شیب منفی مشاهده گردید. این پارامتر در بیشتر منطقه با تغییرات شیب منفی همراه بوده است، چون که نتایج شیب تغییرات برای هشت ایستگاه مورد مطالعه به- صورت منفی رخ داده است. تغییرات شیب منفی بارش در ایستگاه‌های بیرجند، بشرویه، فردوس و سبزوار به- ترتیب، -۳، -۲، -۳/۵ و -۲ میلی متر در سال حائز



شکل ۴- روند تغییرات سری تبخیر- تعرق مرجع سالانه در دو ایستگاه منتخب.

نتایج روند تغییرات پارامترهای اقلیمی مؤثر سالانه

به‌منظور شناخت از وضعیت تغییرات پارامترهای اقلیمی مؤثر بر تبخیر - تعرق مرجع سالانه، روند تغییرات سری‌های سالانه شش پارامتر اقلیمی، کمینه دما، بیشینه دما، ساعات آفتابی، سرعت باد، بارش و رطوبت نسبی، براساس آزمون ناپارامتری من - کندال ارزیابی گردید. نتایج حاصل نشان می‌دهد که برای کمینه و بیشینه دما در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه، از نظر آماری روند معنی‌دار تأیید نگردید. برای پارامتر رطوبت نسبی در ایستگاه بیرجند روند افزایشی رطوبت نسبی در سطح $0/05$ معنی‌دار مشاهده گردید. در ایستگاه‌های دیگر روند معنی‌داری مشاهده نگردید. برای پارامتر بارش روند کاهشی در سطح $0/05$ معنی‌داری برای ایستگاه بیرجند تأیید گردید. برای پارامتر سرعت باد در تمام ایستگاه‌ها روند معنی‌داری از نظر آماری تأیید نگردید. برای پارامتر ساعات آفتابی

اهمیت می‌باشد. برای رطوبت نسبی در ایستگاه‌های، بجنورد، فردوس، قوچان و سرخس تغییرات شیب افزایشی و در دیگر ایستگاه‌ها تغییرات شیب کاهش‌ی مشاهده گردید. به طوری که در ایستگاه‌های قائن، کاشمر و مشهد ۲- تا ۲/۷- درصد در سال، شیب کاهش‌ی مشاهده می‌شود (جدول ۵).

به طور کلی، در منطقه شمال شرق پارامترهای ساعات آفتابی، کمینه و بیشینه دما، اولین و عمده‌ترین پارامترهای تغییرات افزایشی تبخیر - تعرق مرجع سالانه محسوب می‌شوند. با توجه به شرایط مکانی منطقه، در خراسان شمالی پارامترهای دمایی و در خراسان جنوبی ساعات آفتابی نقش تعیین کننده‌تری در افزایش تبخیر- تعرق مرجع ایفا می‌نمایند. در مناطق خراسان رضوی و جنوبی پارامتر سرعت باد در اولویت دوم از نقش مؤثری در افزایش تغییرات تبخیر - تعرق سالانه برخوردار می‌باشد.

نتایج تحقیق همسو با دیگر تحقیقات علاوه بر توزیع مکانی تبخیر- تعرق مرجع، روند تغییرات تبخیر - تعرق مرجع و پارامترهای اقلیمی را به صورت افزایشی و کاهش‌ی تأیید می‌نماید. نقش روش‌های درونیابی کریجینگ در توزیع مکانی تبخیر- تعرق

مرجع در تحقیق حاضر نیز همسو با مطالعه خو و همکاران (۲۰۰۶) می‌باشد. تغییرات افزایشی خط روند درجه حرارت و سرعت باد و تأثیر آن در روند افزایشی تبخیر- تعرق مرجع سالانه، همسو با مطالعه لیو و ژانگ (۲۰۱۲) می‌باشد. در تحقیق حاضر تغییرات شیب افزایشی دمای کمینه و بیشینه و نقش آن در افزایش معنی‌دار ET_0 همسو با مطالعه النصر و همکاران (۲۰۱۰) می‌باشد. در تأیید مطالعات علیجانی و همکاران (۱۳۹۰) در بیشتر منطقه شمال شرق تقریباً روند تغییرات معنی-داری برای بیشینه دما مشاهده گردید. در تأیید مطالعه شیرغلامی و قهرمان (۱۳۸۴) هر چند روند دمای سالانه در بعضی از ایستگاه‌ها به لحاظ آماری معنی‌دار نشده است، ولی تغییرات مثبت شیب روند بیانگر افزایش دما است. در تأیید مطالعه سبزی‌پرور و شادمانی (۱۳۹۰) برای ایستگاه مشهد شیب بالایی در روند تبخیر- تعرق سالانه مشاهده گردید. در تأیید مطالعه دین پژوه و شریفی (۱۳۹۲) برای ایستگاه سبزوار تغییرات شیب مثبت درجه حرارت هوا در افزایش تبخیر- تعرق مرجع حائز اهمیت می‌باشد. همچنین در تأیید مطالعه معصوم-پورسما کوش و همکاران (۱۳۹۳) روند کاهش‌ی معنی‌دار در بارش سالانه برای ایستگاه بیرجند تأیید گردید.

جدول ۴- نتایج شیب خط روند تغییرات سری‌های پارامترهای اقلیمی کمینه دمای هوا و بیشینه دمای هوا و ساعات آفتابی.

بیرجند	بجنورد	بشرویه	فردوس	قائن	قوچان	کلمکان	گناباد	کاشمر	مشهد	سبزوار	سرخس
۰/۰۸۸	۰/۰۴۷	۰/۰۹	۰/۱۳۳	۰/۱۰۳	۰/۰۸۲	۰/۰۷۰	۰/۰۹۴	۰/۰۵۰۹	۰/۰۸۹	۰/۰۳	۰/۰۷۲
کمینه دما ($^{\circ}\text{C Yr}^{-1}$)											
۰/۰۸۱	۰/۰۴۲۶	۱/۴۷	۰/۰۴۸	۰/۰۸۲	۰/۰۵۳۵	۰/۱۲۴	۰/۰۸۰	۰/۰۵۷	۰/۰۹۶	۰/۰۶۷	۰/۰۵۴
بیشینه دما ($^{\circ}\text{C Yr}^{-1}$)											
۱۴/۹۶	۷/۲۴۶	۰/۱۳۳	۱۳/۴۸	۱۳/۷۹	۵/۲۴۸	۵/۲۷۳	۱۴/۰۳	۱۰/۷۸	۷/۸۳۴	۸/۱۶۸	۱۰/۹۸
ساعات آفتابی (hr Yr^{-1})											

نتیجه‌گیری کلی

ارزیابی شرایط اقلیمی در قالب مدل‌های تجربی نشان می‌دهد که منطقه شمال شرق، یکی از مناطق با تبخیر- تعرق مرجع نسبتاً بالا در ایران زمین محسوب می‌شود.

این شرایط در نیمه جنوبی و غربی منطقه در حاشیه کویرمرکز ایران، از مقدار نسبتاً بالاتری برخوردار می‌باشد. وضعیت توپوگرافی از طریق ارتفاع بیشتر و

موقعیت جغرافیایی از طریق عرض جغرافیایی، تعیین-

کننده توزیع مکانی تبخیر- تعرق مرجع می‌باشند.

جدول ۵- مقادیر شیب خط روند تغییرات سری‌های پارامترهای سرعت باد، بارش و رطوبت نسبی هوا.

سررخس	سبزوار	مشهد	کاشمر	گناباد	کلمکان	قوچان	قائن	فردوس	بشرویه	بجنورد	بیرجند	سرعت باد (ms ⁻¹)
-۰/۰۳۰	۰/۰۹۴	-۰/۱۵۲	-۰/۱۶	-۳/۱۶	۰/۰۵۰	-۰/۱۱۸	-۰/۱۰۷	-۰/۰۰۹۸	-۰/۰۱۶۸	-۰/۱۰۴	-۰/۰۷۴	بارش (mm Yr ⁻¹)
۰/۰۸۶	-۲/۳۹۸	-۰/۰۷۹	-۰/۳۶۳	-۰/۱۶۲	-۰/۳۸۲	۰/۲۰۵	-۰/۱۳۸	-۳/۵۰۹	-۲/۱۰۲	۰/۳۰۸	-۳/۸۶۶	رطوبت نسبی (% m ⁻¹)
۲/۴۲۷	-۰/۱۳۰	-۲/۶۷۸	-۲/۵۰۲	-۰/۱۸۲	-۰/۷۶۰	۳/۷۳۰	-۲/۸۸۰	۰/۰۷۹	-۰/۰۷۳	۲/۳۳۰	۰/۰۱۱	

مدل‌های تجربی پایاداکیس و پنمن مونتیت فائو در شناسایی و توزیع مکانی نقاط هم تبخیر- تعرق مرجع در ماه، تا حدودی از نتایج یکسانی برخوردار می‌باشند. روش‌های درونیابی زمین‌آمار براساس سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) با در نظر گرفتن خصوصیات مکانی به‌عنوان متغیر کمکی، در توزیع فضایی تبخیر- تعرق مرجع نقش مؤثری ایفا می‌کنند. توزیع فضایی تبخیر- تعرق اطلاعات ارزشمندی برای مطالعات هیدرولوژیکی در بعد منطقه‌ای فراهم می‌سازد. وجود روند معنی‌دار در تغییرات زمانی تبخیر- تعرق مرجع سالانه در ایستگاه‌های، گناباد، سبزوار، قائن و بشرویه حائز اهمیت می‌باشد. هم‌زمان با شیب تغییرات مثبت در میزان تبخیر- تعرق سالانه، شیب مثبتی نیز در تغییرات دمای کمینه و بیشینه و ساعات آفتابی در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه مشاهده می‌شود. افزایش شیب مثبت تغییرات پارامترهای کمینه و بیشینه دما و ساعات آفتابی در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه، می‌تواند نشانه‌ای از روند گرم شدن دمای جهانی و اثرات منطقه‌ای آن در سال‌های اخیر باشد. تغییرات مثبت و

منفی پارامترهای رطوبت نسبی، بارش و سرعت باد در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، نقش شرایط محلی در این تغییرات را آشکار می‌سازد. به‌طور کلی، نتایج حاصل شده نشان می‌دهد که منطقه شمال شرق از تبخیر- تعرق مرجع نسبتاً بالایی برخوردار بوده و عوامل پایدار در سطح محلی و منطقه‌ای مانند ناهمواری‌ها، ارتفاع از سطح دریا و عرض جغرافیایی، در شدت و ضعف آن نقش مؤثری ایفا می‌نمایند. توزیع مکانی تبخیر- تعرق مرجع با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و ارزیابی روند تغییرات پارامترهای اقلیمی مؤثر، می‌تواند در درک بهتر و برنامه‌ریزی کارآمدتر در استفاده بهینه از منابع آبی، به‌خصوص در امر کشاورزی در سطح محلی و منطقه‌ای حائز اهمیت باشد. وضعیت تغییرات متفاوت در پارامترهای اقلیمی در بیشتر مناطق و حساسیت تبخیر و تعرق به این تغییرات، انجام مطالعات جامع در مقیاس ماهانه در آینده براساس سامانه اطلاعات جغرافیایی پیشنهاد می‌گردد.

منابع مورد استفاده

اسمعیل پور م و دین‌پژوه ی، ۱۳۹۱. تحلیل روند بلند مدت تبخیر و تعرق پتانسیل در حوضه جنوبی رود ارس. نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، جلد ۲۳، شماره ۳، صفحه‌های ۱۹۳ تا ۲۱۰.

- دین پژوهی، ۱۳۸۹. بررسی روند تبخیر- تعرق پتانسیل ماهانه گیاه مرجع در زابل. مجله علمی و فنی نیوار، شماره ۷۰ و ۷۱، صفحه‌های ۲۳ تا ۳۴.
- دین پژوهی و شریفی ع، ۱۳۹۲. حساسیت تبخیر - تعرق گیاه مرجع به تغییر در پارامترهای هواشناسی (مطالعه موردی: سنندج و سبزوار). نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۳، شماره ۳، صفحه‌های ۲۵ تا ۴۲.
- سبزی پرور ع و شادمانی م، ۱۳۹۰. تحلیل روند تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از آزمون من - کندال و اسپیرمن در مناطق خشک ایران. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره ۴، صفحه‌های ۸۲۳ تا ۸۳۴.
- زارع ابیانه ح، بیات ورکشی م، سبزی پرور ع، معروفی ص و قاسمی ع، ۱۳۸۹. ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر - تعرق گیاه مرجع و پهنه‌بندی آن در ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۴، صفحه‌های ۹۵ تا ۱۱۰.
- سلطانی ا، ۱۳۸۹. برآورد تبخیر- تعرق مرجع با استفاده از داده‌های محدود هواشناسی در شرایط اقلیمی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه تربیت مدرس.
- شریفان ح و هزرجریبی ا، ۱۳۸۹. اصول و عملیات هوا و اقلیم‌شناسی از دیدگاه کشاورزی. انتشارات آژند، سبزوار، ۴۸۸ صفحه.
- شیر غلامی ه و قهرمان ب، ۱۳۸۴. بررسی روند تغییرات دمای متوسط سالانه در ایران. نشریه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۱، صفحه‌های ۹ تا ۲۳.
- صبح‌خیز س، ۱۳۸۴. مطالعه بیلان آبی و کاربرد نتایج آن در کشاورزی (در ایستگاه‌های منتخب حوضه آبریز ارومیه). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز.
- طبری ح، سبزی پرور ع و معروفی ص، ۱۳۸۷. بررسی روند تغییرات سالانه پارامترهای هواشناسی در دو اقلیم سرد و گرم ایران. پژوهش‌های کشاورزی: آب، خاک و گیاه در کشاورزی، شماره ۱، صفحه‌های ۱۶۱ تا ۱۷۵.
- علیجانی ب، محمودی پ، سلیقه م و ریگی چاهی اب، ۱۳۹۰. بررسی تغییرات کمینه‌ها و بیشینه‌های سالانه دما در ایران. فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۳، صفحه‌های ۱۰۲ تا ۱۲۲.
- فتحی هفشجانی ا، بیگی هرچگانی ح، داویدیان دهکردی ع و طباطبایی س، ۱۳۹۲. مقایسه چند روش درونیابی مکانی و انتخاب مناسب‌ترین روش برای پهنه‌بندی نترات و فسفات در آب زیرزمینی شهرکرد. فصل‌نامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، شماره ۱۵، صفحه‌های ۵۱ تا ۶۳.
- معصوم‌پور سماکوش ج، رجایی س و یگانه‌فر م، ۱۳۹۳. تغییر پذیری زمانی - مکانی و روند تبخیر- تعرق گیاه مرجع در ایران. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۳۴، صفحه‌های ۷ تا ۲۵.
- موسوی بایگی م، عرفانیان م و سرمد م، ۱۳۸۸. استفاده از حداقل داده‌های هواشناسی برای برآورد تبخیر - تعرق گیاه مرجع و ارائه ضرایب اصلاحی (مطالعه: موردی استان خراسان رضوی). مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۳، شماره ۱، صفحه‌های ۹۱ تا ۹۹.

Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M, 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirement. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO Rome, Italy.

Croitoru AE, Piticar A, Dragotă CS, Burada DC, 2013. Recent changes in reference evapotranspiration in Romania. Global and Planetary Change 111: 127-132.

El-Nesr M, Alazba A, Abu-Zreig M, 2010. Analysis of evapotranspiration variability and trends in the Arabian Peninsula. American Journal of Environmental Sciences 6(6): 535-547.

Anonymous 2007. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and vulnerability. IPCC, UNEP WMO, Arendal, Norway.

Jhajharia D, Dinpashoh Y, Kahya E, Singh VP, Fakheri-Fard A, 2012. Trend in reference evapotranspiration in the humid region of northeast India. Hydrological Processes 26(3): 421-435.

Kendall M, 1975. Multivariate analysis. Charles Griffin Book, London. 218 p

Liu X, Zhang D, 2012. Trend analysis of reference evapotranspiration in Northwest China: The roles of changing wind speed and surface air temperature. Hydrological Processes 27(26): 3941-3948.

Mann H.B, 1945. Nonparametric tests against trend. Econometrica: Journal of the Econometric Society 13(3): 245-259.

- Moratiel R, Snyder RL, Durán JM, Tarquis AM, 2011. Trends in climatic variables and future reference evapotranspiration in Duero Valley (Spain). *Natural Hazards and Earth System Science* 11(6): 1795-1805.
- Moratiel YR, DuranAltisent JM, Snyder RL, 2010. Responses of reference evapotranspiration to changes in atmospheric humidity and air temperature in Spain. *Climate Research* 44(1): 27-40.
- Nam W.H, Hong E.M, Choi JY, 2015. Has climate change already affected the spatial distribution and temporal trends of reference evapotranspiration in South Korea. *Agricultural Water Management* 150: 129-138.
- Papadakis J, 1966. *Climate of the world and their agricultural potentialities*, DAPCO. Rome.
- Singh SP, Singh CJ, Hundal SS, 2003. Verification of empirically estimated PET in South – Western Punjab. *Journal of Agriculture Physics* 3(1&2): 126-129.
- Tabari H, Hosseinzadeh Talae P, 2014. Sensitivity of evapotranspiration to climate change in different climates. *Global and Planetary Change* 115: 16-23.
- Tang B, Tong L, Kang S, Zhang L, 2011. Impacts of climate variability on reference evapotranspiration over 58 years in the Haihe river basin of north China. *Agricultural Water Management* 98:1660-1670.
- Thomas A, 2000. Spatial and temporal characteristics of potential evapotranspiration trends over china. *International Journal of Climatology* 20: 381-396.
- Vicente-Serrano S.M, Azorin-Molina C, Sanchez-Lorenzo A, Revuelto J, López-Moreno J.I, González-Hidalgo J.C, & Espejo F, 2014. Reference evapotranspiration variability and trends in Spain, 1961–2011. *Global and Planetary Change*, 121: 26-40.
- Xing W, Wang W, Shao Q, Peng S, Yu Z, Yong B, Taylor J, 2014. Changes of reference evapotranspiration in the Haihe river basin: present observation and future projection from climate variables through multi – model ensemble. *Global and Planetary Change* 115:1-15.
- Xu Ch, Gong L, Jiang T, Chen D Singh VP, 2006. Analysis of spatial distribution and trend of reference evapotranspiration and pan evaporation in Changjiang (Yangtze River) catchment. *Journal of Hydrology* 327: 81-93.
- Zongxing L, Qi F, Wei L, Tingting W, Yan G, Yamin W, Aifang C, Jingguo L, Li L, 2015. Spatial and temporal trend of potential evapotranspiration and related driving forces in Southwestern China, during 1961-2009. *Quaternary International* 336: 127-144.