

تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل در استان اصفهان با استفاده از روش‌های پهنه‌بندی GIS و تحلیل خوشه‌ای

هاجر طاهری سودجانی^{۱*}، سید سعید اسلامیان^۲، ایمان اسدی ارجنکی^۳

(۱) دکتری آبیاری و زهکشی، کارشناس اداره منابع طبیعی و آبخیزداری، فریدون‌شهر، اصفهان

(۲) استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(۳) کارشناس ارشد منابع آب، کارشناس آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری

* نویسنده مسئول: hajar_taheri2001@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۲۶

چکیده

تبخیر و تعرق یکی از مهم‌ترین پارامترهایی است که جهت برآورد آب مصرفی گیاه و برنامه‌ریزی آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. تعیین دقیق نیاز آبی در مدیریت اقتصادی منابع آب و طراحی و تعیین ظرفیت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، شبیه‌سازی تولید گیاهی نقش مهمی دارد. پژوهش حاضر سعی در ارزیابی و پهنه‌بندی تبخیر و تعرق مرجع در استان اصفهان و ارائه آن در قالب نقشه‌های پهنه‌بندی به عنوان ابزار اساسی برای مدیریت آب دارد. همچنین مناطق همگن در این استان از لحاظ تبخیر و تعرق شناسایی و معادلات محاسبه تبخیر و تعرق برای هر منطقه همگن ارائه شد. نتایج محاسبه نتایج تبخیر و تعرق بدست آمده از نرم‌افزار Ref-ET با نتایج بدست آمده از پهنه‌بندی تبخیر و تعرق نشان داده که بین تبخیر و تعرق محاسبه شده با نرم‌افزار GIS و تبخیر و تعرق بدست آمده از نرم‌افزار Ref-ET همبستگی خوبی ($R^2=0/86$) وجود دارد. برای استان اصفهان با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای سه منطقه همگن تشخیص داده شد و معادلات ارائه شده برای مناطق همگن با همبستگی بالایی میزان تبخیر و تعرق را برآورد می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی، تبخیر و تعرق، تحلیل خوشه‌ای، Ref-ET.

مقدمه

تبخیر و تعرق و شناخت آن یکی از مهم‌ترین پارامترهایی است که جهت برآورد آب مصرفی گیاه و برنامه‌ریزی آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. تعیین دقیق نیاز آبی در برنامه‌ریزی و مدیریت اقتصادی منابع آب و طراحی و تعیین ظرفیت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، شبیه‌سازی تولید گیاهی نقش مهمی دارد (Ramírez-Cuesta et al., Abedi-Koupai et al., 2009). تبخیر و تعرق مرجع (ET_0)، که به عنوان تبخیر و تعرق پتانسیل از یک سطح فرضی چمن، که به میزان کافی آب در اختیار دارد و به طور فعال رشد می‌کند تعریف می‌شود. یکی از مهم‌ترین متغیرهای هیدرولوژیکی در زمان‌بندی آبیاری، مهیا کردن داده‌های ورودی مدل‌های هیدرولوژیکی بیلان آب و محاسبه تبخیر و تعرق واقعی برای برای یک ناحیه یا حوضه می‌باشد (Awal et al., 2020; Gong et al., 2006). بسیاری از دانشمندان مانند Allen (۱۹۸۶) و Jensen و همکاران (۱۹۹۰) اعتبار مدل فائو پنمن-مانتیت را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که در همه‌ی اقلیم‌ها فائو پنمن-مانتیت بهترین روش است. براساس نتایج زارع‌ایبانه و همکاران (۱۳۸۹) روش‌های مبتنی بر معادله پنمن در ۵۶ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه از جمله اصفهان به عنوان بهترین روش برآورد ET_0 شناخته شده است. مطلوبیت روش پنمن را می‌توان ناشی از بیش‌تر بودن پارامترهای تاثیرگذار هواشناسی در میزان تبخیر و تعرق و پایه تئوری این مدل دانست (Eslamian et al., 2012). با توجه به این که داده‌های هواشناسی در همه‌جا برای محاسبه‌ی تبخیر و تعرق مرجع در دسترس نیستند، بنابراین باید روش‌های دیگر برای محاسبه تبخیر و تعرق به کار گرفته شود. استفاده از روش‌های زمین آمار یکی از راه‌های تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل در نقاط فاقد ایستگاه می‌باشد. بنابراین امروزه روش‌های زمین آمار به دلیل در نظر گرفتن هم‌بستگی، موقعیت و آرایش داده‌ها، برای تخمین متغیرهای مکانی از اهمیت زیادی برخوردار هستند (کریمی جعفری و اسلامیان، ۱۳۹۰). روش‌های زمین آمار با پهنه‌بندی مناسب می‌توانند تخمین صحیحی از توزیع مکانی ET_0 را در پهنه‌ای وسیع به کمک تکنیک درون‌یابی به‌دست دهند (Mardikis et al., 2005). تخمین زمین آماری شامل دو مرحله می‌باشد. مرحله اول، شناخت و مدل‌سازی که بوسیله واریوگرام بررسی می‌شود و مرحله دوم، تخمین زمین آماری به روش‌های مختلف زمین آمار است که به مشخصات مدل واریوگرام برازش داده شده در مرحله اول وابسته است (حسنی پاک، ۱۳۹۲). هدف اصلی از برقرار کردن واریوگرام این است که بتوان ساختار تغییرپذیری را به‌خصوص نسبت به فاصله (مکانی یا زمانی) بشناسیم. قبل از کاربرد واریوگرام در تخمین، لازم است به آن‌ها مناسب‌ترین مدل تئوری برازش کرد. استفاده از زمین آمار برای تخمین تبخیر و تعرق مرجع در تحقیقات مختلف از جمله Mardikis و همکاران (۲۰۰۵) برای پهنه‌بندی تبخیر و تعرق مرجع در یونان، Sawada و همکاران (۲۰۰۷) در حوضه آبریز رودخانه مکونگ (ژاپن) و زارع‌ایبانه و همکاران (۱۳۸۹) در ایران را اشاره کرد. تحلیل خوشه‌ای یکی از روش‌های آماری چند متغیره است که در صورت وجود داده‌های مربوطه می‌تواند در تعیین مناطق همگن اقلیمی به‌عنوان یک نگرش جدید مورد استفاده قرار گیرد. در این فرایند روش سلسه مراتبی به اجرا در آمده که در ابتدا با در نظر گرفتن هر یک از مشاهدات به‌عنوان

یک دسته مجزا آغاز می‌شود. در مرحله اول ایستگاه‌هایی که ویژگی اقلیمی آن‌ها به همدیگر نزدیک‌تر باشد (شباهت بیش‌تری بین متغیرهای ورودی به مدل در یک دسته (خوشه) قرار می‌گیرند در مرحله بعدی هر مشاهده‌ای که شباهت بیش‌تری به این دسته داشته باشد به این دسته می‌پیوندد و یا این که این مشاهده با یکی دیگر از مشاهدات تشکیل یک دسته واحد را بدهند، ادامه خواهد یافت. بزرگ‌ترین دسته ایجاد شده شامل تمامی این مشاهدات بوده که عملاً هیچ ارزشی در دسته‌بندی نخواهد داشت. به طور کلی هرچه به میزان شباهت افزایش داده شود، خوشه‌ها کوچک‌تر می‌شود. میزان هم‌بستگی بین خوشه‌های ایجاد شده به صورت یک نمودار پلکانی به نام رندروگرام نمایش داده می‌شود (ملکی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۳). این تحقیق با هدف پهنه‌بندی تبخیر و تعرق در این استان اصفهان صورت گرفت تا در صورت عدم وجود داده، تنها با استفاده از مختصات هر نقطه میزان تبخیر و تعرق در هر قسمت این استان برآورد شود. همچنین مناطق همگن در این استان شناسایی شد و برای هر منطقه معادلات مربوطه ارائه شد.

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر از داده‌های اقلیمی درازمدت ۱۱ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک استان اصفهان شامل ایستگاه‌های اردستان، داران، اصفهان، شرق اصفهان، خور، نطنز، کاشان، نائین، شهرضا، گلپایگان و کبوترآباد استفاده شد. موقعیت استان اصفهان در طول جغرافیایی "۳۹° ۵۱ شرقی و عرض جغرافیایی "۳۶° ۳۲ شمالی می‌باشد که نمای شماتیک آن در (شکل ۱) آورده شده است. همچنین مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی در (جدول ۱) آمده است.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا
اردستان	۳۳/۲۳	۵۲/۲۳	۱۲۵۲/۴۰
داران	۳۲/۵۸	۵۰/۲۲	۲۲۹۰/۰۰
اصفهان	۳۲/۳۷	۵۱/۴۰	۱۵۵۰/۴۰
گلپایگان	۳۳/۲۸	۵۰/۱۷	۱۸۷۱/۰۰
کاشان	۳۳/۵۹	۵۱/۲۷	۹۸۲/۳۰
شهرضا	۳۱/۵۹	۵۱/۵۰	۱۸۴۵/۲۰
شرق اصفهان	۳۲/۴۰	۵۱/۵۲	۱۵۴۳/۰۰
نائین	۳۲/۵۱	۵۳/۵۰	۱۵۴۹/۰۰
نطنز	۳۳/۳۲	۵۱/۵۴	۱۶۸۴/۹۰
خور	۳۳/۴۷	۵۵/۵۰	۸۴۵/۰۰
کبوتر آباد	۳۲/۳۱	۵۱/۵۱	۱۵۴۵/۰۰



شکل ۱: نمای شماتیک از موقعیت اصفهان

روش پژوهش

برای محاسبه تبخیر و تعرق در منطقه از معادله پنمن-مانتیت استفاده شد. تحقیقات نشان داده است که معادله پنمن-مانتیت در بیشتر اقلیم‌ها نتایج خوبی داده است و می‌تواند به عنوان یک روش مرجع برای محاسبه تبخیر و تعرق به کار گرفته شود (Vanella et al., 2020). فرم معادله پنمن-مانتیت به صورت رابطه (۱) است (Allen, 1986).

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن: ET_0 : تبخیر و تعرق مرجع (میلی‌متر بر روز)، R_n : تشعشع خالص ورودی به سطح گیاه (مگا ژول بر مترمربع بر روز)، G : شار گرمایی خاک (مگاژول بر مترمربع بر روز)، T : میانگین دمای روزانه هوا (درجه سلسیوس)، U_2 : میانگین سرعت با در ارتفاع دو متری (متر بر ثانیه)، e_s : فشار بخار اشباع (کیلوپاسکال)، e_a : فشار بخار واقعی (کیلوپاسکال)، $e_s - e_a$: کمبود فشار بخار اشباع (کیلوپاسکال)، Δ : شیب منحنی فشار بخار (کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس) و γ : ضریب سایکرومتری (کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس) می‌باشد. در ادامه ET_0 با روش پنمن-مانتیت برای ایستگاه انتخابی با استفاده از نرم‌افزار Ref-ET محاسبه شد. نرم‌افزار REF-ET در سال ۲۰۰۱ در دانشگاه آیداهو بر اساس دستورالعمل نشریه فائو ۵۶ تهیه شد (Allen et al., 1998) که توانایی به کارگیری طیف وسیعی از داده‌های هواشناسی را به عنوان ورودی برای محاسبه ET_0 به روش‌های مختلف در خود دارد (Fontenot, 2004). برای محاسبه پارامتر تبخیر و تعرق با استفاده از روش پنمن-مانتیت با نرم‌افزار Ref-ET داده‌های حداکثر و حداقل دما، ساعت آفتابی، میانگین رطوبت نسبی و میانگین سرعت باد، ارتفاع و طول و عرض جغرافیایی ۱۰ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک اردستان، داران، اصفهان، شرق اصفهان، کاشان، خور، نطنز، نائین، شهرضا و گلپایگان وارد نرم‌افزار شد. برای روش‌های زمین آمار، میانگین داده‌های هر ایستگاه در ماه‌های مختلف سال به همراه مشخصات ایستگاه در محیط اکسل وارد شد و از طریق نرم‌افزار ARC-GIS بازخوانی شد. این نرم‌افزار توانایی محاسبه روش‌های مختلف زمین آمار را دارا می‌باشد.

در این پژوهش از روش‌های کریجینگ برای پهنه‌بندی تبخیر و تعرق استفاده شده است. سپس با توجه به نقشه پهنه‌بندی به دست آمده و موقعیت ایستگاه کبوترآباد میزان تبخیر و تعرق این ایستگاه با استفاده از مختصات ایستگاه بدست آمد و با میزان تبخیر و تعرق بدست آمده با نرم‌افزار Ref-ET مقایسه شد. داده‌های ایستگاه کبوترآباد به منظور ارزیابی مدل و بررسی صحت و دقت مدل در پهنه‌بندی شرکت داده نشده بود. در ادامه با استفاده از نرم‌افزار SPSS مناطق همگن در بین ایستگاه‌های هواشناسی مشخص شد. سپس با کمک نرم‌افزار SPSS و روش رگرسیون چند متغییره به روش STEPWISE پارامترهای موثر در محاسبه تبخیر و تعرق و ضرایب مربوطه برای مناطق همگن مشخص و معادلات مربوطه برای هر منطقه ارائه شد. با وارد کردن اطلاعات هواشناسی ایستگاه کبوترآباد در معادلات مربوطه میزان تبخیر و تعرق با استفاده از این معادلات نیز محاسبه شد و با میزان تبخیر و تعرق بدست آمده با نرم‌افزار Ref-ET مقایسه شد تا مشخص شود این ایستگاه در کدام منطقه قرار گرفته و کدام معادله به خوبی میزان تبخیر و تعرق این ایستگاه را بدست می‌دهد. پس از پردازش، به منظور ارزیابی معادلات مورد نظر از شاخص‌های آماری $RMSE$ ، MBE ، MAE و R^2 استفاده شد که به کمک روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad \text{رابطه ۲}$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - O_i|}{n} \quad \text{رابطه ۴}$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2} \quad \text{رابطه ۵}$$

که در معادلات بالا، P_i مقدار برآورد شده خروجی مدل، O_i مقدار اندازه‌گیری شده پارامتر خروجی، \bar{O}_i میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده پارامتر خروجی و n تعداد مشاهدات است.

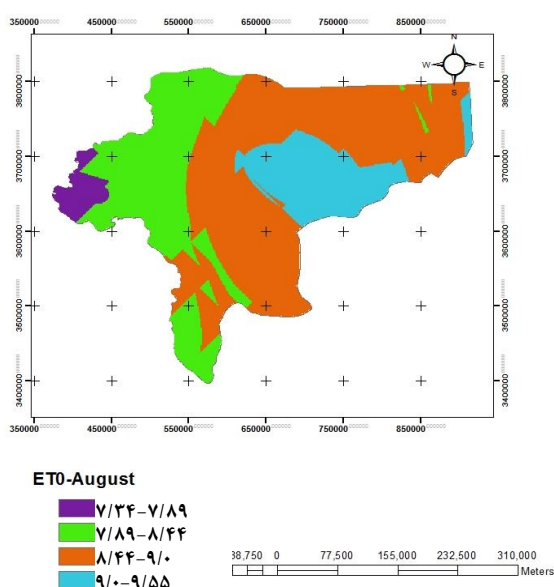
نتایج و بحث

نتایج پهنه‌بندی تبخیر و تعرق استان اصفهان با نرم‌افزار GIS و مقایسه میزان تبخیر و تعرق ایستگاه کبوترآباد

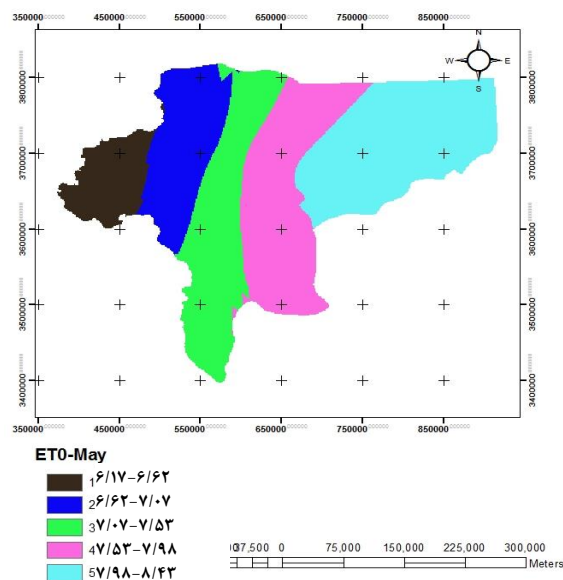
با میزان تبخیر و تعرق بدست آمده از نرم‌افزار Ref-ET

تبخیر و تعرق متغیری پیوسته است که به موقعیت جغرافیایی نقاط ایستگاهی وابسته است لذا دارای پراکنش مکانی است و این موضوع اهمیت مدیریت مکانی تبخیر و تعرق را تایید می‌کند (زارع‌ایبانه و همکاران، ۱۳۸۹). بنابراین با توجه به همبستگی بالای تبخیر و تعرق نسبت به مکان به دلیل تفاوت‌های اقلیمی هر ناحیه با ناحیه‌ی دیگر، تهیه‌ی نقشه تبخیر و تعرق با دقت مناسب بر اساس نتایج حاصل از روش کریجینگ برای تمام ماه‌های سال انجام شد. ماه‌های میلادی مه (اردیبهشت-خرداد)، اوت (مرداد-شهریور)، نوامبر (آبان-آذر) و فوریه (بهمن-اسفند) را با توجه به مصادف بودن آن‌ها با ماه‌های شمسی نماینده چهار

فصل موجود در کشور ایران به ترتیب به عنوان نماینده فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان انتخاب شد و نمودارهای مربوط به پهنه‌بندی تبخیر و تعرق در آن‌ها در (شکل‌های ۲ تا ۵) نمایش داده شد. نقشه‌های پهنه‌بندی تبخیر و تعرق گیاه مرجع نشان می‌دهد که میزان تبخیر و تعرق در مناطق مختلف استان متفاوت می‌باشد. اثر متقابل عوامل اقلیمی مانند دما، رطوبت نسبی، سرعت باد، تشعشع و غیره سبب می‌شود تا تبخیر و تعرق به صورت پدیده‌ی غیرخطی و پیچیده نمایان شود. با توجه به شکل بیش‌ترین میزان تبخیر و تعرق در شرق اصفهان (خور و بیابانک، انارک و نائین) می‌باشد و با حرکت به سمت غرب از میزان تبخیر و تعرق کاسته می‌شود بیش‌ترین میزان تبخیر و تعرق در نقشه‌های پهنه‌بندی نیز در ماه جولای مشاهده شد که برابر با ۱۲/۲۰ میلی‌متر در روز (شکل ۶) و کم‌ترین میزان آن در فصل زمستان به میزان ۱/۰۸ میلی‌متر در روز (شکل ۵) مشاهده شد. بنابراین با داشتن نقشه پهنه‌بندی و موقعیت جغرافیایی هر منطقه می‌توان میزان تبخیر و تعرق را برای آن منطقه بدست آورد.

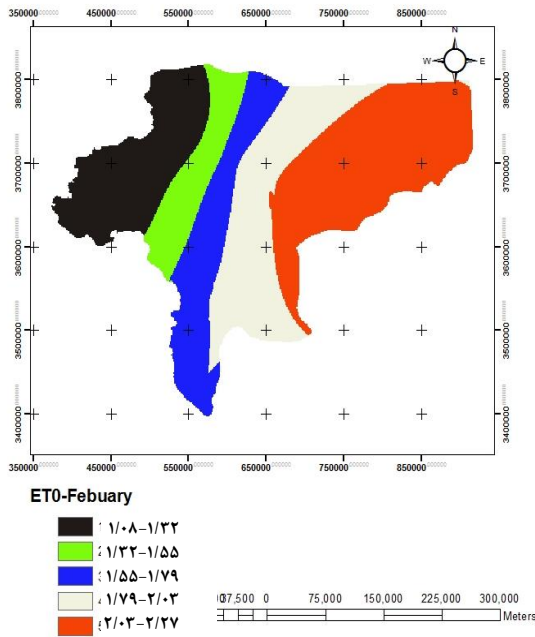


شکل ۳: نقشه پهنه بندی ET0 استان اصفهان در ماه آگوست

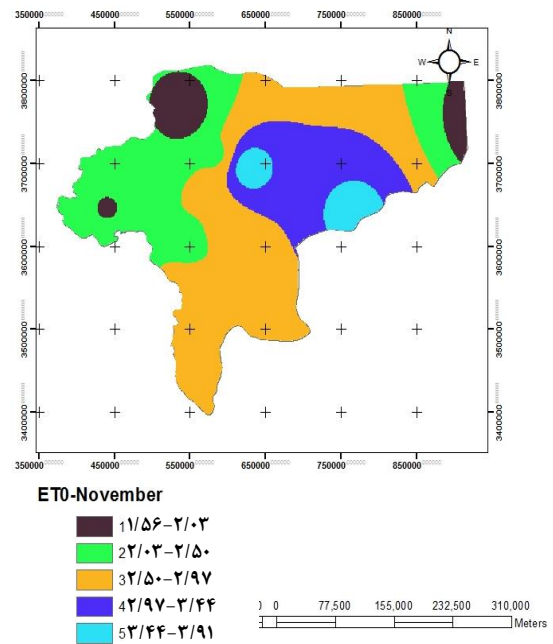


شکل ۲: نقشه پهنه بندی ET0 استان اصفهان در ماه مه

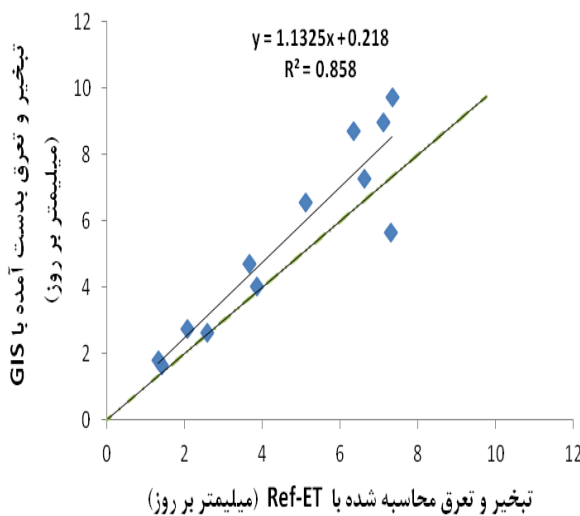
با توجه به این که ایستگاه کبوترآباد در تعیین نقشه‌های پهنه‌بندی شرکت داده نشد در انتها با استفاده از نقشه‌های GIS و مختصات ایستگاه‌های کبوترآباد میزان تبخیر و تعرق این ایستگاه در ماه‌های مختلف بدست آمد تا در ارزیابی این روش استفاده شود. نتایج محاسبه نتایج تبخیر و تعرق بدست آمده از نرم‌افزار Ref-ET با نتایج بدست آمده از پهنه‌بندی تبخیر و تعرق نشان داده که بین تبخیر و تعرق محاسبه شده با نرم‌افزار GIS و تبخیر و تعرق بدست آمده از نرم‌افزار Ref-ET هم‌بستگی خوبی (۰/۸۶) وجود دارد. میانگین مربعات خطا در این روش ۱/۳۶ و MBE برابر با ۰/۹ به دست آمد. با توجه به وسیع بودن منطقه مورد مطالعه و محدود بودن ایستگاه‌های لایسیمتری، تخمین تبخیر و تعرق در مدیریت آب در کشاورزی امری اجتناب‌ناپذیر است. بنابراین پهنه‌بندی تبخیر و تعرق در منطقه مورد مطالعه کمک زیادی به تخمین دقیق‌تر آن در نقاط فاقد اندازه‌گیری خواهد کرد.



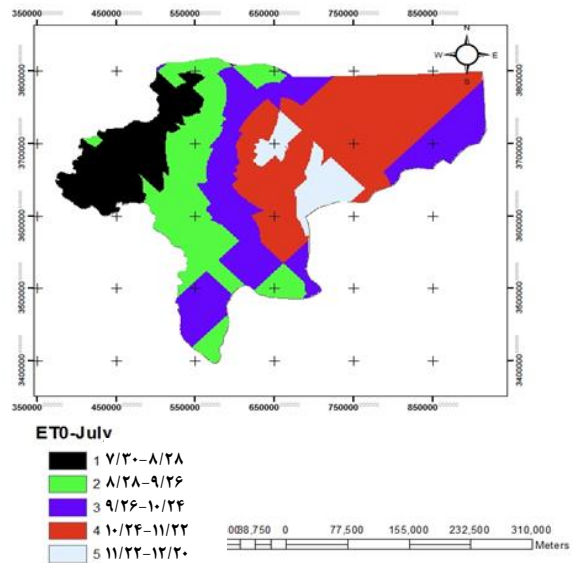
شکل ۵: نقشه پهنه بندی ET₀ استان اصفهان در ماه فوریه



شکل ۴: نقشه پهنه بندی ET₀ استان اصفهان در ماه نوامبر



شکل ۷: میزان همبستگی تبخیر و تعرق محاسبه شده برای ایستگاه کبوترآباد با استفاده از نرم افزار Ref-ET و نرم افزار GIS



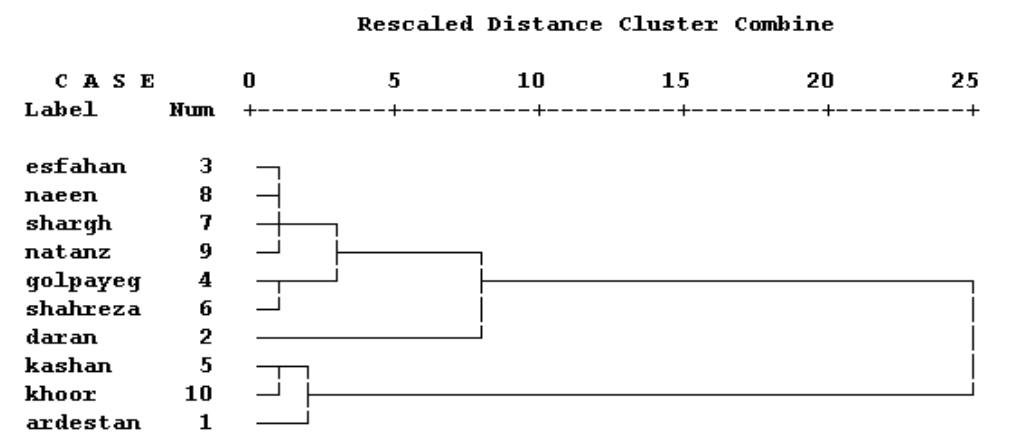
شکل ۶: نقشه پهنه بندی ET₀ استان اصفهان در ماه جولای

جداسازی مناطق همگن بر پایه تبخیر و تعرق و ارائه معادلات مربوط برای مناطق همگن

کاربرد نتایج حاصل از شناسایی عوامل موثرتر بر شدت تبخیر و تعرق و ارائه معادلات منطقه‌ای در قالب تحلیل مناطق همگن از لحاظ ویژگی‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی به خصوص برای مناطقی که با کمبود داده مواجه می‌باشند، می‌تواند به برنامه‌ریزی جهت استفاده بهتر از منابع آبی کمک کند. ایستگاه‌های منتخب بر اساس ویژگی تبخیر و تعرق به گروه‌های مشخصی دسته‌بندی شدند (شکل ۸). با توجه به این شکل سه منطقه همگن تشخیص داده شد و معادلات مربوطه برای هر منطقه به دست آمد. ارائه

معادلات مربوط به هر منطقه در قالب تحلیل مناطق همگن و شناسایی عوامل موثر بر آن می‌تواند برای مناطقی از استان اصفهان که با کمبود داده مواجه هستند در برنامه‌ریزی جهت استفاده بهتر از منابع آب کمک کند. با توجه به معادلات مربوطه مهم‌ترین پارامتر اثرگذار در هر سه منطقه همگن دمای کمینه و بیشینه، سرعت باد و ساعات آفتابی است. همچنین در منطقه همگن سه طول و عرض جغرافیایی نیز به عنوان پارامترهای اثرگذار در معادله مربوطه وارد شد. در ادامه نتایج نرم‌افزار و همچنین ضرایب آماری R^2 ، RMSE و R^2 /RMSE و MBE و MAE برای هر معادله (جدول ۵) بدست آمد. معادلات ارائه شده با همبستگی خوبی می‌توانند برای محاسبه تبخیر و تعرق در هر منطقه به کار روند. احمدنژاد و همکاران (۱۳۹۰) دمای بیشینه و سرعت باد در فصل گرما و همچنین و رطوبت و دمای بیشینه در فصل سرما را مهم‌ترین پارامترهای اثرگذار در محاسبه تبخیر و تعرق در استان اصفهان بیان کردند. Dinpashoh و همکاران (۲۰۱۱) بیان کردند که سرعت باد اثرگذارترین پارامتر در محاسبه تبخیر و تعرق در همه فصول در ایران به جز زمستان می‌باشد. نجفی و همکاران (۱۳۹۳) بیان کردند که کاربرد مدل MLP (شبکه عصبی با ساختار پرسپترون چند لایه) با ورودی‌های بیشینه و کمینه دما، رطوبت، سرعت باد و تعداد ساعات آفتابی نتیجه خوبی برای تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع ارائه می‌دهد که در این مدل مقدار RMSE برابر با ۰/۴۱۸ است. Nouri و Homaei (۲۰۱۸) بیان کردند که از بین پارامترهای هواشناسی سرعت باد اثر گزارترین پارامتر برای تعیین تبخیر و تعرق در کشور ایران است.

Dendrogram using Ward Method

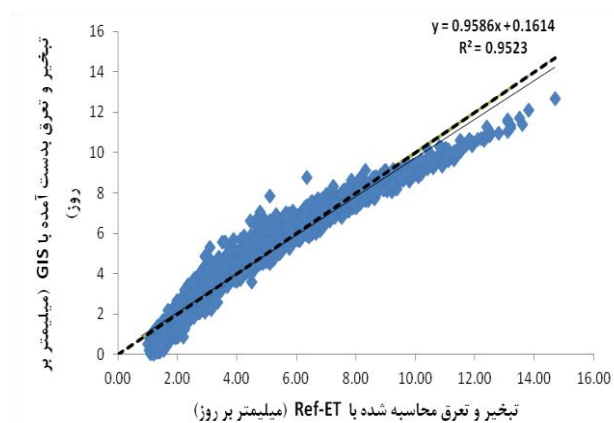
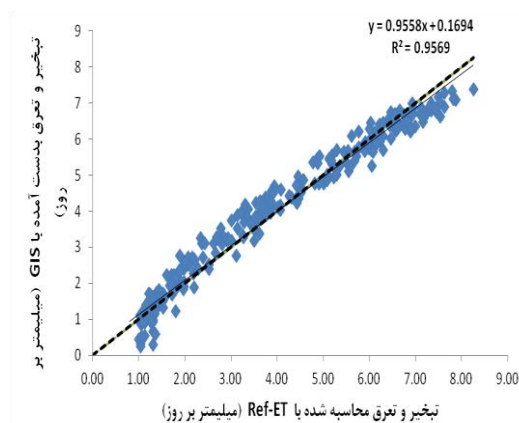


شکل ۸: نمودار تحلیل خوشه‌ای

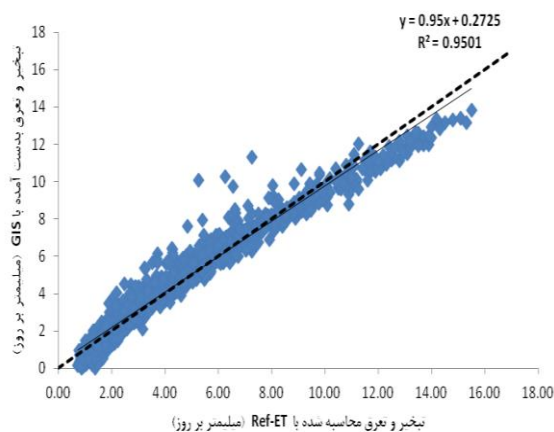
جدول ۵: معادلات استخراجی تبخیر و تعرق برای هر منطقه همگن

منطقه همگن	نام مناطق	معادله استخراج شده	R ²	RMSE	MBE	MAE
۱	اصفهان، نائین، شرق اصفهان، نطنز، گلپایگان و شهرضا	$ET_0 = -2.982 + 0.146T_{max} + 0.899U + 0.225\text{Sunshine} + 0.067T_{min}$	۰/۹۵۲	۰/۶۳۶	-۰/۰۵۴	۰/۴۷۳
۲	داران	$ET_0 = 1.230 + 0.4351 U + 0.2 \text{Sunshine} + 0.176 T_{min} - 0.0142847H$	۰/۹۵۷	۰/۴۵۸	-۰/۰۰۴	۰/۳۶۱
۳	کاشان، خور و اردستان	$ET_0 = -145.92 + 1.416U - 0.082 T_{max} + 0.219 \text{Sunshine} + 0.28 T_{min} - 4.274 \text{atititude} + 0.04 \text{longitude}$	۰/۹۵۰	۰/۷۲۰	۰/۰۳۰	۰/۵۴۰

در معادلات فوق، H = میانگین رطوبت نسبی (درصد)، U = میانگین سرعت باد (نات)، t_{max} = میانگین دمای ماکزیمم، S = ساعات آفتابی، t_{min} = میانگین دمای مینیمم، E = ارتفاع از سطح دریا (متر)، $Longitude$ = طول جغرافیایی و $Latitude$ = عرض جغرافیایی می باشد. با توجه به این که ایستگاه کبوترآباد در تحلیل خوشه‌ای استفاده نشد در انتها با استفاده از معادلات به دست آمده بالا میزان تبخیر و تعرق این ایستگاه به منظور ارزیابی مدل استفاده شد. برای این منظور شاخص‌های آماری با مقایسه تبخیر و تعرق به دست آمده از نرم افزار Ref-ET و معادلات استخراج شده به روش رگرسیون محاسبه شد که در (جدول ۶) آمده است. منطقه یک و دو به دلیل این که نسبت R^2 بالاتر (شکل ۹ تا ۱۱)، $R^2/RMSE$ بیشتر، MAE و MBE کم تر (جدول ۶) نسبت به ایستگاه کبوترآباد شبیه تر بوده و می توان با استفاده از معادلات این مناطق میزان تبخیر و تعرق در آن منطقه را محاسبه نمود.



شکل ۹: میزان همبستگی تبخیر و تعرق محاسبه شده Ref-ET و معادله ارائه شده در منطقه یک
 شکل ۱۰: میزان همبستگی تبخیر و تعرق محاسبه شده Ref-ET و معادله ارائه شده در منطقه دو



شکل ۱۱: میزان همبستگی تبخیر و تعرق محاسبه شده Ref-ET و معادله ارائه شده در منطقه سه

جدول ۶: میزان شاخص های آماری به منظور مقایسه تبخیر و تعرق محاسبه شده برای ایستگاه کبوترآباد با

استفاده از نرم افزار Ref-ET و نرم افزار GIS

شاخص های آماری	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳
RMSE	۰/۶	۰/۶۱	۶/۱۱
R ²	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹
R ² /RMSE	۱/۵۸	۱/۵۵	۰/۱۵
MBE	۰/۰۲	-۰/۰۳	-۶/۰۷
MAE	۰/۴۶	۰/۴۴	۶/۰۷

نتیجه گیری

در پژوهش حاضر از داده های اقلیمی درازمدت ۱۱ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک در ارزیابی و پهنه بندی تبخیر و تعرق مرجع در استان اصفهان و ارائه آن در قالب نقشه های پهنه بندی استفاده شد. همچنین مناطق همگن در این استان از لحاظ تبخیر و تعرق شناسایی و معادلات محاسبه تبخیر و تعرق برای هر منطقه همگن ارائه شد. نتایج محاسبه نتایج تبخیر و تعرق بدست آمده از نرم افزار Ref-ET با نتایج بدست آمده از پهنه بندی تبخیر و تعرق نشان داده که بین تبخیر و تعرق محاسبه شده با نرم افزار GIS و تبخیر و تعرق بدست آمده از نرم افزار Ref-ET همبستگی خوبی وجود دارد. برای استان اصفهان با استفاده از روش تحلیل خوشه ای سه منطقه همگن تشخیص داده شد به گونه ای که معادلات ارائه شده برای مناطق همگن با همبستگی بالایی میزان تبخیر و تعرق را برآورد می کنند. با توجه به معادلات مربوطه مهم ترین پارامترهای اثرگذار در هر سه منطقه همگن دمای کمینه و بیشینه، سرعت باد و ساعات آفتابی است.

منابع

- احمدنژاد، ع.، ملائی، ر. و موسوی، س. ف. (۱۳۹۰). حساسیت تبخیر و تعرق مرجع برآورد شده به روش فائو پنمن-مانتیت به متغیرهای اقلیمی (مطالعه موردی: ایستگاه‌های اصفهان و شهرکرد). پنجمین کنفرانس سراسری آب‌خیزداری و مدیریت منابع آب و خاک، ۱۱-۱۰ اسفند ۱۳۹۰، کرمان، ایران.
- حسینی‌پاک، ع. ا. (۱۳۹۲). زمین آمار. انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۳۲۸ص.
- زارع‌ابیانه، ح.، بیات‌ورکشی، م.، سبزی‌پرور، ع. ا.، معروفی، ص. و قاسمی، ع. (۱۳۸۹). ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و پهنه‌بندی آن در ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۲، شماره ۷۴، ص ۹۵-۱۰۹.
- کریمی‌جعفری، م. و اسلامیان، س. (۱۳۹۰). ارزیابی روش‌های زمین آمار در تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل در استان کرمان. نخستین کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۲-۱ آذر ۱۳۹۰، تهران، ایران.
- ملکی‌نژاد، ح.، پورمحمدی، س.، پورشرعیاتی، ر. و محمدی، س. (۱۳۹۳). سنجش حساسیت تبخیر و تعرق نسبت به عوامل اقلیمی با استفاده از تکنیک‌های هوش محاسباتی و روش‌های آماری چند متغیره. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، دوره ۲۸، شماره ۱، ص ۱۵۱-۱۳۷.
- نجفی، م.، عظیمی، و. و شایان‌نژاد، م. (۱۳۹۳). ارزیابی دقت روش‌های هوشمند و آنالیز حساسیت تبخیر و تعرق گیاه مرجع به پارامترهای هواشناسی در دو اقلیم مختلف. اکوهیدرولوژی، دوره ۱، شماره ۱، ص ۲۴-۱۷.
- Abedi-Koupai, J., Amiri M. J. and Eslamian, S. S. (2009).** Comparison of Artificial Neural Network and Physically Based Models for Estimating of Reference Evapotranspiration in Greenhouse. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3 (3), pp: 2528-2535.
- Allen, R. G. (1986).** A penman for all season. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 112 (4), pp: 348-368.
- Allen, R. G., Perrier, L. S., Raes, D. and Smith, M. (1998).** Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirement. *FAO Irrigation and Drainage Paper 56*. United Nations FAO, Rome.
- Awal, R., Habibi, H., Fares, A., and Deb, S. (2020).** Estimating reference crop evapotranspiration under limited climate data in West Texas. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 28, 100677.
- Dinpashoh, Y., Jhajharia, D., FakheriFard A., Singh, V. P. and Kahya, E. (2011).** Trends in reference crop evapotranspiration over Iran. *Journal of Hydrology*, 399 (3-4), pp: 422-433.
- Eslamian, S. S., Gohari, S. A., Zareian, M. A. and Firoozfar, A. (2012).** Estimating Penman-Monteith Reference Evapotranspiration Using Artificial Neural Networks and Genetic Algorithm: A Case Study. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 37, pp: 935-944.
- Fontenot, R. L. (2004).** An evaluation of reference evapotranspiration models in Louisiana. Thesis, Louisiana state university and A&M College, 83p.
- Gong, L., Chong, X., Chen, D., Halldian, S. and Chen, Y. D. (2006).** Sensitivity of the Penman-Monteith reference evapotranspiration to key climatic variables in the Changjiang (Yangtze River) basin. *Journal of Hydrology*, 329 (3-4), pp: 620-629.
- Jensen, M. E., Burman, R. D. and Allen, R. G. (1990).** Evapotranspiration and irrigation water requirements. *ASCE Manual and Report on Engineering Practice*. New York.

Mardikis, M. G. Kalivas, D. P. and Kollias, V. J. (2005). Comparison of Interpolation Methods for the Prediction of Reference Evapotranspiration-An Application in Greece. *Water Resource Management*, 19, pp: 251-278.

Nouri, M. and Homae, M. (2018). On modeling reference crop evapotranspiration under lack of reliable data over Iran. *Journal of Hydrology*, 566, pp: 705-718.

Ramírez-Cuesta, J. M., Cruz-Blanco, M., Santos, C. and Lorite, I. J. (2017). Assessing reference evapotranspiration at regional scale based on remote sensing, weather forecast and GIS tools. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 55, pp: 32-42.

Sawada, H., Araki, M., Chappell, N. A., LaFrankie, J. V. and Shimizu, A. (2007). *Forest Environments in the Mekong River Basin*, New York, Springer.

Vanella, D., Intrigliolo, D. S., Consoli, S., Longo-Minnolo, G., Lizzio, G., Dumitrache, R. C. and Ramírez-Cuesta, J. M. (2020). Comparing the use of past and forecast weather data for estimating reference evapotranspiration. *Agricultural and Forest Meteorology*, 295, pp: 108196.

Determining the potential evapotranspiration in Isfahan province using GIS zoning and cluster analysis

Hajar taheri soudejani ^{1*}, Saeid Eslamian ², Iman asadi arjenaki ³

- 1) Phd in irrigation and drainage, Expert in department of natural resources and watershed management, Fereydun shahr, Esfahan
- 2) Faculty of Agricultural Sciences, Department of Water Engineering, Isfahan University of Technology (IUT), Isfahan, Iran.
- 3) Master of water resources engineering, Regional water expert of Chaharmahal and Bakhtyari Province

*Correspondence author: hajar_taheri2001@yahoo.com

Received Date: 2021. 05. 16

Accepted Date: 2021. 09. 22

Abstract

Evapotranspiration of plant is one of the most important parameter which is used for estimating consumed water and irrigation planning. Accurate determination of water demand plays an important role in the economic management of water resources, planning and determining capacity of irrigation and drainage networks and simulating plant products. The present study attempted to investigate and optimize Evapotranspiration of reference crop in Isfahan province and provide it in form of GIS zoning as a major tool for water management. In additions, homogenous areas of this province were identified in terms of Evapotranspiration and some equations were presented for computing Evapotranspiration for each homogenous area. Results of computing Evapotranspiration from software Ref-ET and results of GIS zoning evapotranspiration have shown that there is a good correlation between Evapotranspiration computed by software GIS Evapotranspiration computed by software Ref-ET ($R^2=0.86\%$). In Isfahan, 3 homogenous areas were identified by the using cluster analysis method and given equations for homogenous area estimate amount of evapotranspiration with a high correlation.

Keywords: Cluster analysis, Evapotranspiration, GIS zoning, Ref-ET.