

بر آورد و پهنه بندی تبخیر و تعرق پتانسیل شمال شرق ایران با استفاده از روش فائو پنمن مونتیت

حسن رضایی^۱، مجید حبیبی نوخندان^۲، غلامعباس فلاح قاله‌ری^۳

^۱ استادیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیا دانشگاه افسری امام علی (ع)، تهران، ایران.

^۲ دانشیار پژوهشکده اقلیم‌شناسی و تغییر اقلیم، مشهد، ایران.

^۳ دانشیار اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۱/۰۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۱۲

چکیده

یکی از راه های کاهش بحران آب در کشاورزی به واسطه پایین بودن راندمان مصرف آن و استفاده بیش از حد منابع موجود، مدیریت آب در تأمین نیاز آبی گیاهان زراعی است در نواحی خشک که منابع آب محدود بوده و با مصرف بی رویه به مخاطره می افتد، تخمین نیاز آبی گیاهان با حداکثر دقت ممکن ضروری است. در این تحقیق، برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل شمال شرق ایران از روش فائو پنمن مونتیت، و جهت پهنه‌بندی تبخیر و تعرق از نرم افزار ArcGIS استفاده شد. داده های مورد نیاز این تحقیق از ۱۵ ایستگاه هواشناسی وابسته به سازمان هواشناسی واقع در استان خراسان (رضوی، جنوبی، شمالی) جمع آوری شده است. این داده ها مربوط به سال های ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹ میلادی است و شامل مقادیر روزانه حداکثر و حداقل دمای هوا، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و سرعت باد است. روزهایی که داده های ناقص داشتند، از تجزیه و تحلیل در این تحقیق حذف شدند. نتایج این تحقیق نشان داد که میزان تبخیر و تعرق روزهای سال به طور میانگین از ۰ تا ۶/۹ میلیمتر در روز متغیر می باشد و بیشترین تبخیر و تعرق در ماه های جولای (۱۳۴/۴) میلیمتر در ماه و کمترین تبخیر و تعرق در ماه ژانویه (۱۸/۷) میلیمتر در ماه اتفاق افتاده است. پهنه بندی تبخیر و تعرق پتانسیل در محیط نرم افزار ArcGIS نشان داد بیشترین تبخیر و تعرق در جنوب غربی محدوده مورد مطالعه (طبرس) و کمترین آن مربوط به شمال شرق منطقه مورد مطالعه (قوچان و بجنورد) می باشد.

کلمات کلیدی: تبخیر و تعرق، پنمن-مونتیت، پهنه بندی، استان خراسان.

مقدمه

یکی از راه های کاهش بحران آب در کشاورزی به واسطه پایین بودن راندمان مصرف آن و استفاده بیش از حد منابع موجود، مدیریت آب در تأمین نیاز آبی گیاهان زراعی است (سو و همکاران، ۲۰۱۸، تیان و همکاران، ۲۰۱۸، کوچک زاده و بهمنی، ۱۳۸۴). در نواحی خشک که منابع آب محدود، و تخمین نیاز آبی گیاهان با حداکثر دقت ممکن ضروری می باشد، زیرا از این طریق برنامه ریزی و مدیریت مناسب منابع آب در دسترس ممکن می گردد (لیو و همکاران، ۲۰۱۸). تبخیر و تعرق پتانسیل یکی از عوامل مهم چرخه هیدرولوژی است که باید در طرح های آبیاری، تاسیسات آبی، مطالعات زهکشی و هیدرولوژیکی برآورد شود (غریبا و همکاران، ۲۰۱۸). تبخیر و تعرق، در واقع شاخص تعیین کننده ای در فرایند رشد است که معادل آب مورد نیاز گیاهان زراعی قلمداد می شود (زو و همکاران، ۲۰۱۸). به همین خاطر تعیین دقیق مقدار آبی که برای تبخیر و تعرق مصرف می شود، از عوامل اساسی در برنامه ریزی برای رسیدن به محصول بیشتر است (احسانی و همکاران، ۱۳۹۱). روش مناسب تعیین تبخیر و تعرق در هر منطقه بستگی به شرایط اقلیمی، داده های مورد نیاز و هزینه های مربوط به آن دارد (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۳). در اغلب روش هایی که برای تعیین میزان تبخیر و تعرق ارائه شده اند، ابتدا مقدار تبخیر - تعرق گیاه مرجع^۱ تخمین زده می شود و سپس از روی آن تبخیر - تعرق گیاه مورد نظر محاسبه می شود (مهدی زاده، ۲۰۱۸). به طور کلی محققین روشهای برآورد تبخیر و تعرق را معمولاً به ۴ گروه شامل روش های ترکیبی (آلن و همکاران، ۱۹۹۸)، تابشی (بلانی کریدل، ۲۰۱۷)، دمایی (دالتون، ۱۸۰۲) و انتقال جرم (مک کنی و روزنبرگ، ۱۹۹۳) تقسیم می کنند. تاکنون مطالعات مختلفی در زمینه انتخاب بهترین روش محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل در نقاط مختلف جهان انجام شده است که می توان به مک کنی و روزنبرگ (۱۹۹۳)، زو و سینگ (۲۰۰۲)، لو و همکاران (۲۰۰۵)، سامنر و جاکوب (۲۰۰۵)، داگلاس و همکاران (۲۰۰۹)، دونوهو و همکاران (۲۰۱۰)، بورمن (۲۰۱۱)، فیشر و همکاران (۲۰۱۱)، طبری و همکاران (۲۰۱۳)، اشاره نمود.

1 ETo

بیشتر محققین برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از مدل های تابش مبنا را کارآمدتر و بادقت تر از مدل های دما مبنا و مدل های انتقال جرم می دانند. در مطالعه انجام شده توسط لی و همکاران (۲۰۱۶) دقت مدل های پنمن فائو مونتیث، پریستلی و تیلور در برآورد تبخیر و تعرق مناسب تشخیص داده شده است، در حالیکه روش بلانی کریدل، هارگریوز سامانی و دالتون برای مناطق خشک دارای خطای بیشتری بوده و نامناسب تشخیص داده شده اند. روش فائو پنمن مونتیث دارای دو مزیت است: نخست آنکه این روش به طور گسترده و بدون هیچگونه واسنجی ناشی از مبانی فیزیکی مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین معادله این روش در مطالعات مختلف توسط لایسیمترهای دقیق در شرایط متنوع اقلیمی مورد آزمون قرار گرفته است (جائو و همکاران، ۲۰۱۷). روش پنمن دارای مبنای فیزیکی و نظری معتبری است، هر چند بعضی محققین آنرا تجربی در نظر می گیرند. این روش در دامنه گسترده ای از شرایط هواشناسی و حتی برای سطوح کمی خشک (نه اشباع کامل) با پوشش گیاهی معتبر است (فلاح، ۱۳۹۳) و اما بسیاری از دانشمندان مشخص کردند که معادله پنمن مانتیث دقیق ترین روش در مقایسه با دیگر معادلات در نواحی مختلف دنیا می باشد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸، جنسن^۲ و همکاران، ۱۹۹۰، اسمیت^۳، ۱۹۹۱، آوال و همکاران، ۲۰۲۰). جن^۴ و همکاران (۲۰۰۵) در مطالعات خود در زمینه ی تعیین بهترین روش برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در کشور تایوان، از روش هایی چون، پنمن مانتیث و فائو استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که روش پنمن مانتیث برآورد دقیق تری نسبت به روش های دیگر ارائه می دهد. ساوانو^۵ و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از مدل پریستلی تیلور، به برآورد تبخیر و تعرق پوشش های جنگلی واقع در حوضه آبریز رودخانه مکونگ (ژاپن) پرداختند و در نهایت آن را پهنه بندی کردند. نتایج آنها نشان داد که مدل به کار گرفته شده توانایی برآورد تبخیر و تعرق در وسعت های زیاد با ارتفاعات مختلف از پوشش های جنگلی را دارد. لین^۶ و همکاران (۲۰۰۸) اقدام به پهنه بندی تبخیر و تعرق برای حوزه رودخانه

2 . Jensen

3 . Smith

4 . Jin

5 .Sawano

6 . Lin

مانتیت فائو ۵۶ است (پنمن، ۱۹۸۴). هدف دیگر آن، نشان دادن پتانسیل تکنیک درون یابی به عنوان روشی نو در تحقیق نیاز آبی گیاهان زراعی است.

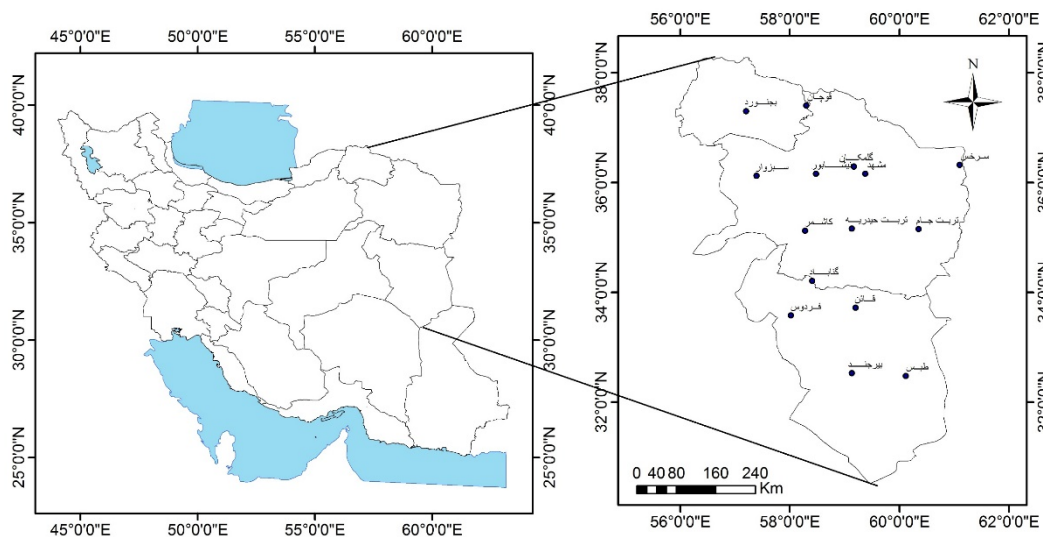
مواد و روش‌ها

خراسان استانی از استان‌های ایران به مرکزیت شهر مشهد بود که تا سال ۱۳۸۳ بزرگ‌ترین استان ایران بود، اما پس از آن به ۳ استان تقسیم شد و در حال حاضر این استان به سه استان تقسیم شده است: ۱- استان خراسان رضوی که مرکز آن مشهد است. ۲- استان خراسان شمالی که مرکز آن بجنورد است و ۳- استان خراسان جنوبی که مرکز آن بیرجند است. اصطلاحاً به مجموع این سه استان استان‌های خراسان هم گفته می‌شود. مساحت کل استان ۳۱۳۳۳۵ کیلومتر مربع می‌باشد و موقعیت جغرافیایی استان خراسان بزرگ در بین عرض جغرافیایی ۳۲ تا ۳۸ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۶ تا ۶۲ درجه شرقی قرار دارد. توزیع مکانی ایستگاه‌های مورد استفاده این تحقیق در شکل (۱) ارائه شده است.

داده‌های مورد نیاز این تحقیق از ۱۵ ایستگاه هواشناسی وابسته به سازمان هواشناسی واقع در استان خراسان (رضوی، جنوبی، شمالی) جمع‌آوری شده است. این داده‌ها مربوط به سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹ میلادی است و شامل مقادیر روزانه حداکثر و حداقل دمای هوا، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و سرعت باد برای احتساب میزان تبخیر و تعرق به روش فائو - پنمن مانتیت است. روزهایی که داده‌های ناقص داشتند، از تجزیه و تحلیل در این تحقیق حذف شدند. ارتفاعات اندازه‌گیری پارامترهای فوق ۲ متر (دمای هوا و رطوبت نسبی) و ۱۰ متر (سرعت باد) بالای سطح زمین است. برای تبدیل سرعت باد به ارتفاع ۲ متری از معادله لگاریتمی پروفیل سرعت باد استفاده شده است. میانگین ماهانه مقادیر فوق برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع استفاده شد. در جدول (۱) فهرست نام ایستگاه، ارتفاع از سطح دریا، متوسط روزانه حداکثر و حداکثر دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعت آفتابی مشاهده شده در دوره سال‌های مورد مطالعه این تحقیق ارائه شده است. همانطور که در جدول ۱ ملاحظه می‌گردد. میانگین سالانه ماکزیمم و مینیمم دمای هوا از ۱۹/۴ تا ۲۶/۸ و ۶/۱ تا

دان شیو (تایوان) کردند. نتایج آنان نشان داد که برآوردهای حاصل از پهنه بندی در مناطق فاقد اندازه‌گیری می‌تواند پذیرفتنی باشد. راثو و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای به مدل سازی تبخیر و تعرق پتانسیل در کارولینای شمالی آمریکا پرداختند. محمدیان و همکاران (۱۳۸۵) نیز در مطالعات خود به بررسی اثرات خشکی، دما، رطوبت و تبخیر و تعرق مرجع در منطقه‌ی مشهد و گرگان روی محصولات زراعی پرداختند. این پژوهش با استفاده از روش فائوپنمن مانتیت به بررسی نیاز آبی گیاهان منطقه پرداخته است و نتایج آن نشان داد که ایستگاه گلمکان به شرایط مرجع بسیار نزدیک است. بختیاری و همکاران (۱۳۸۸) در تحقیقی که در زمینه مقایسه تبخیر - تعرق ساعتی با مقادیر روزانه با استفاده از روشهای پنمن مانتیت استاندارد (ASCE) و روش پنمن مانتیت فائو ۵۶ در منطقه کرمان انجام دادند و نتایج نشان داد که در هر دو روش مجموع مقادیر ساعتی نسبت به مقادیر روزانه در روش پنمن مانتیت فائو ۵۶ در ماه‌های مختلف ۵/۸ تا ۴۴/۶ درصد و روش پنمن مانتیت استاندارد در ماه‌های مختلف ۷/۴ تا ۴۷/۶ درصد بیش برآورد داشته است. روشن و همکاران (۱۳۹۰) در مطالعات خود در زمینه‌ی ارزیابی مدل مناسب تبخیر و تعرق بالقوه در ایران، از چهار روش تورنت وایت، جنسن هیز، بلانی کریدل و هارگریوز سامانی استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که روش بلانی کریدل همخوانی بهتری با شرایط ایران دارد. بنابراین هدف از انجام این تحقیق بسط و توسعه اندازه‌گیری‌های تبخیر تعرق با استفاده از روش‌های پهنه بندی است، تا جایی که بتوان با به کارگیری شبکه موجود، به اندازه‌ی زیادی از میزان وقت و هزینه ایجاد شبکه‌های لایسیمیتری کاست. تحقیقات نشان داده است که تبخیر تعرق به عنوان متغیری اقلیمی، از خصوصیات منطقه‌ای و ویژگی‌های ذاتی آنها تأثیر می‌پذیرد (ماردیکیس و همکاران، ۲۰۰۵). در این گونه مطالعات اگر از آمار کلاسیک استفاده شود، برای نتیجه‌گیری بهتر و کاهش واریانس بین نمونه‌ها از روشهای افزایش تعداد نمونه‌ها استفاده می‌شود.

هدف اصلی تحقیق، تعیین تبخیر تعرق مناطق مختلف اقلیمی در سطح استان‌های خراسان، براساس ارقام روش پنمن



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور.

جدول ۱. متوسط سالانه پارامترهای هواشناسی ایستگاه های مورد مطالعه بین سال های ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹ میلادی

ایستگاه	ارتفاع (m)	حداکثر دما (°C)	حداقل دما (°C)	رطوبت نسبی (%)	سرعت باد (km/day)	ساعت آفتابی
مشهد	۹۹۹/۲	۲۱/۲	۷/۳	۵۵	۱۷۸	۷/۹
گنایاد	۱۰۵۶	۲۳/۹	۱۰/۹	۴۰	۱۳۱	۹
گلمکان	۱۱۷۶	۲۰/۴	۶/۷	۴۸	۲۷۲	۸
کاشمر	۱۱۰۹/۷	۲۳/۴	۱۲	۳۹	۱۲۸	۸/۷
سرخس	۲۳۵	۲۴/۸	۱۱/۲	۴۸	۱۸۱	۸
سبزوار	۹۷۲	۲۴/۳	۱۰/۷	۴۱	۲۷۹	۸/۳
ترت حیدریه	۱۴۵۰	۲۱/۲	۸/۸	۴۷	۱۷۹	۸/۷
ترت جام	۹۵۰/۴	۲۲/۵	۸/۸	۴۶	۳۴۱	۸/۶
نیشابور	۱۲۱۳	۲۲	۶/۸	۵۰	۱۰۹	۸/۵
قوچان	۱۲۸۷	۱۹/۴	۶/۱	۵۶	۱۵۹	۷/۷
فردوس	۱۲۹۳	۲۴/۴	۱۰/۲	۳۶	۲۰۵	۹/۱
بیرجند	۱۴۹۱	۲۴/۸	۸/۴	۳۷	۲۲۳	۸/۹
قاین	۱۴۳۲	۱۹/۸	۶/۹	۵۹	۱۹۵	۷/۵
خور	۱۱۱۷/۴	۲۶/۸	۱۲/۹	۳۰	۴۲۶	۹/۲
خراسان شمالی	۱۱۱۲	۱۹/۸	۶/۹	۵۹	۱۹۵	۷/۵

ایستگاه های مورد استفاده این تحقیق در شکل (۱) ارائه شده است (سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۹).

معرفی روش پنمن-مانتیث-فائو:

گزارش فائو، عوامل موثر بر تبخیر تعرق گیاه شامل

۱۲/۹ درجه سانتیگراد تغییر می کند، که بیشترین و کمترین آن مربوط به خور می باشد. میانگین رطوبت نسبی از ۳۰ تا ۵۹ درصد و میانگین سرعت باد از ۱۰۹ تا ۴۲۶ کیلو متر بر روز تغییر می کند و حداکثر ساعت آفتابی به ترتیب مربوط به ایستگاههای خور (۹/۱) و بجنورد (۷/۵) می باشد. توزیع مکانی

درجه سلسیوس)؛ و U_2 : سرعت باد در ارتفاع ۲ متری بر حسب (متر بر ثانیه) است (رضایی، ۱۳۹۸).

روش رگرسیونی گام به گام

زمانی که تعداد عوامل ورودی مؤثر (N) بر پدیده ای کم باشند، می توان با بررسی تمام ترکیبات ممکن و مقایسه ی خطا در مدل های مختلف رگرسیونی، بهترین مدل رگرسیونی برای پیش بینی آن پدیده را بدست آورد. اما وقتی که تعداد پارامترهای ورودی افزایش می یابد ارزیابی کلیه ی رگرسیون های ممکن به حجم محاسبات زیادی نیاز دارد. بنابراین روش های مختلفی ایجاد شده است که صرفاً تعداد کمی از مدل های رگرسیون دارای زیر مجموعه ای از متغیرها را در یک زمان بررسی می کنند. این روش ها عموماً به روش های نوع گام به گام معروف هستند، روش های گام به گام را می توان در سه دسته کلی گزینش پیش رونده^۸، حذف پس رونده^۹ و رگرسیون گام به گام که ترکیبی از روش های پیشین است، تقسیم نمود. در روش رگرسیون گام به گام پیش رونده که براساس مدل رگرسیون خطی بنا نهاده شده است، جهت قضاوت این که در هر مرحله آیا یک متغیر مستقل جدید باید به مدل افزوده شود یا خیر یک سطح α انتخاب می کنند، که در این مطالعه سطح معنی داری α برابر ۰/۰۵ انتخاب شده است. این روش با این فرض شروع می شود که هیچ متغیر مستقلی در مدل حضور ندارد و فقط عرض از مبدأ وجود دارد. اولین متغیر مستقل که برای ورود به معادله انتخاب می شود آن است که بزرگ ترین همبستگی ساده را با متغیر وابسته ی Y دارد. سپس یک متغیر مستقل برای ورود به مدل برگزیده می شود. به بیان دیگر مدل رگرسیون ساده را برای هریک از پارامترهای مستقل، F_1 برازش داده و برای هر مدل رگرسیون ساده آماری مقدار آماری F محاسبه می کنند. آن متغیر مستقلی که دارای F بزرگ تری است، برای افزودن به مدل انتخاب می شود. چنانچه F مربوط به این متغیر مستقل انتخاب شده از $(1 - \alpha)$ بزرگتر باشد، آنگاه متغیر مستقل مربوط به مدل افزوده می شود، در غیر این صورت افزودن این متغیر مستقل به مدل چندان مفید نخواهد بود. سرانجام مجموعه ای که با افزودن پارامتر مستقل

8 . Forward selection
9 . Backward elimination

پارامترهای هواشناسی، ویژگی های محصول، جنبه های مدیریتی و محیطی است. پارامترهای هواشناسی مؤثر بر تبخیر تعرق شامل تابش خورشید، دمای هوا، رطوبت هوا و سرعت باد است. توان تبخیر جو در عبارت تبخیر تعرق گیاه مرجع بیان می شود. تبخیر تعرق گیاه مرجع بر حسب یک پوشش گیاهی استاندارد سنجیده می شود. نوع محصول، رقم و مرحله رشد گیاه هم در هنگام ارزیابی تبخیر تعرق گیاه بایستی در نظر گرفته شود. تفاوت های گیاهان در مقاومت روزنه ای به تعرق، ارتفاع گیاه، زبری سطح، انعکاس محصول، پوشش زمین و مشخصات ریشه گیاه بر روی تبخیر تعرق گیاه اثر می گذارند. عواملی از قبیل شوری خاک، حاصلخیزی ضعیف خاک، کاربرد کودها، حضور افقهای سخت یا غیر قابل نفوذ خاک، عدم کنترل بیماری های گیاهی و آفات و مدیریت ضعیف خاک ممکن است رشد محصول را محدود کند و تبخیر تعرق را کاهش دهد. فاکتورهای مؤثر دیگری که باید در ارزیابی تبخیر تعرق گیاه در نظر گرفته شود شامل پوشش زمین، تراکم محصول و محتوای آب خاک است. تاثیر محتوای آب خاک به طور عمده زیر نظر اندازه کمبود آب و نوع خاک است. به عبارت دیگر، آب خیلی زیاد به اشباع شدن خاک منجر خواهد شد که ممکن است به ریشه خسارت بزند.

مدل پنمن-مانتیش-فائو ترکیبی توسط آلن و همکاران (۱۹۹۸) به شکل زیر ارائه گردید:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 U_2)} \quad [1]$$

ET_0 تبخیر- تعرق گیاه مرجع چمن (میلیمتر بر روز) که به عنوان تبخیر- تعرق از گیاه مرجع با ارتفاع فرضی ۱۲۰ متر، آلبدو ۲۳ درصد و مقاومت روزنه های در تعرق سطحی ثابت ۷۰ ثانیه بر متر تعریف شده است؛ R_n : تابش خالص در سطح محصول (مگا ژول بر مترمربع در روز)؛ G : شار حرارتی خاک (مگا ژول بر مترمربع در روز)؛ T : متوسط دما هوا (درجه سلسیوس)؛ e_s : فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال)، e_a : فشار بخار واقعی (کیلو پاسکال)؛ $(e_s - e_a)$: کمبود فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال)؛ Δ : شیب منحنی فشار بخار در مقابل درجه حرارت (کیلو پاسکال بر درجه سلسیوس)؛ γ : ثابت سایکرومتریک (کیلو پاسکال بر

دیگر در سطح α افزایش معنی داری در آماره F آن ایجاد نشود، به عنوان بهترین ترکیب ورودی برای مدل سازی انتخاب می گردد (آلاه و همکاران، ۲۰۲۰).

روش درون یابی IDW

روش های گوناگون برای پهنه بندی بر اساس نقاط دارای اطلاعات یک مولفه مشخص ارائه شده است که اغلب بر مبنای درویایی هستند که هدف از این روش ها تعمیم اطلاعات حاصل از نقاط به سطح می باشد. به منظور این کار نقاط یا گره گاه های مشخصی را با فواصل مناسب بر روی نقشه استان مشخص شد تا مقدار عناصر اقلیمی را در هر نقطه برای استان اندازه گیری شود تا آمار بدست آمده از نقاط را به پهنه ها، تعمیم داده شود. این برآوردها که تمام پهنه را می پوشانند، از این پس مبنای همه داوری ها درباره اقلیم پهنه قرار می گیرد و از داده های ایستگاه ها به عنوان شاهد برای ارزیابی درجه قطعیت نتایج تحلیل استفاده می شود (هریرا و همکاران، ۲۰۱۹). در این پژوهش داده های نقطه ای فراهم شده از میانگین ماهانه عناصر اقلیمی روی ۱۵ ایستگاه هواشناسی استان خراسان طی فرایند میان یابی IDW به ماتریس هایی بر روی سراسر استان تبدیل شده و ماتریس اخیر داده های پهنه ای را فراهم نموده است. بر این اساس در هر مطالعه اقلیمی میان یابی یکی از گام های اصلی پژوهش به نظر می رسد که به یاری آن، شناختی را که از راه اندازه گیری عناصر اقلیمی بر روی نقاط (ایستگاه های دیده بانی هوا) به دست آورده شده را به پهنه های بزرگ بسط داده، و رفتار اقلیم را در قلمرو مورد نظر کشف شود.

نتایج و بحث

میانگین ماهانه تبخیر و تعرق

میانگین تبخیر و تعرق ماهیانه و مجموع سالیانه سه استان خراسان بررسی شد و جدول ۲ نشان می دهد که بیشترین تبخیر و تعرق استان خراسان بزرگ در ماه جولای (۱۳۴/۴) میلیمتر در ماه باشد، که افزایش ساعت آفتابی، حداکثر دما و بلند بودن طول روز از عوامل احتمالی تاثیرگذار جهت افزایش تبخیر و تعرق در این ماه می باشد و کمترین آن مربوط به ماه ژانویه (۱۸/۷) میلیمتر در ماه می باشد، که کاهش ساعت

آفتابی، حداقل دما و کوتاه بودن طول روز از عوامل تاثیرگذار جهت کاهش تبخیر و تعرق در این ماه می باشد. موسوی بایگی و همکاران (۱۳۸۸) در پژوهشی با عنوان: استفاده از حداقل داده های هواشناسی برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و ارائه ضرایب اصلاحی (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی) پرداختند و نتایج نشان داد که حداکثر تبخیر و تعرق در ماه تیر (جولای) در استان خراسان رضوی اتفاق افتاده است که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد. دهقان و علیزاده (۱۳۹۱) در مطالعه ای به ارزیابی و واسنجی روش های مختلف برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع در شرایط محدودیت داده های اقلیمی (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی) پرداختند و نتایج نشان داد وقتی که داده های تابش خالص و سرعت باد مفقود باشند، روش پنمن مانیت- فائو گزینه خوبی برای برآورد تبخیر- تعرق در استان خراسان رضوی می باشد که در تحقیق حاضر جهت برآورد تبخیر و تعرق از روش پنمن مانیت- فائو استفاده شد. به طور کلی در استان خراسان رضوی بیشترین و کمترین تبخیر و تعرق به ترتیب مربوط به ایستگاه تربت جام و قوچان می باشد. مجموع تبخیر و تعرق در ایستگاه بجنورد برابر ۴۳/۲ میلیمتر در روز می باشد و بیشینه و کمینه تبخیر و تعرق ماهیانه استان خراسان شمالی به ترتیب مربوط به ماه ژانویه (۱/۰۶) و ژوئیه (۷/۴۵) میلیمتر در روز می باشد. در این تحقیق، تبخیر و تعرق ۴ ایستگاه خراسان جنوبی خراسان جنوبی محاسبه شد، که میانگین سالیانه تبخیر و تعرق در ایستگاه قاین، ۳/۷۲ و خور، ۷/۶ میلیمتر در روز می باشد در مجموع سه استان، ایستگاه خور دارای بیشترین تبخیر و تعرق (۸۷/۳) و ایستگاه قوچان (۴۰/۲) دارای کمترین می باشد، که عوامل محلی از قبیل رشته کوه ها و حداقل دما در آنها دخیل دانست. گودرزی و همکاران (۱۳۹۷) به برآورد میزان تبخیر و تعرق پتانسیل در مناطق کویری، بیابانی و سواحل مکران پرداختند و نتایج تحقیق نشان داد که ایستگاه خور در استان خراسان جنوبی و ایستگاه زابل در سیستان و بلوچستان با دارای بیشترین میزان تبخیر و تعرق در سطح منطقه می باشند که نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد. با توجه به اینکه مقدار تبخیر و تعرق در استان خراسان بیشتر از مقدار بارندگی است باید زمان آبیاری را مدیریت کرد و در ماه های جولای،

برآورد و پهنه بندی تبخیر و تعرق پتانسیل شمال شرق ایران ...

جدول ۲. مقادیر تبخیر و تعرق (میلیمتر بر روز) بدست آمده با روش فلو- پنمن - مانیتیت در ایستگاه های مورد مطالعه

میانگین	مجموع	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	سالانه	ایستگاه
	۴۴/۹	۰/۹۲	۱/۳۳	۲/۲	۳/۵	۵/۲	۷/۲	۷/۸۴	۷/۱	۵/۲۴	۳/۲	۱/۷	۱	۳/۸۵	مشهد
	۵۰/۹	۱/۱	۱/۶	۲/۷	۴/۳	۶/۲	۷/۸	۸/۳	۷	۵/۳	۵/۳	۱/۹	۱/۳	۴/۳۲	خراسان
	۵۰/۸	۱/۳	۱/۷	۲/۶	۴/۱	۵/۹	۸/۱	۸/۴	۷/۷	۵/۸	۳/۶	۲/۲	۱/۵	۴/۴	گلستان
	۴۷/۳	۱	۱/۷	۲/۵	۴/۳	۶	۷/۵	۷/۹۷	۶/۹۵	۴/۹۸	۳/۱۸	۱/۸۸	۱/۱۸	۴/۱	کاشمر
	۵۲/۳	۱/۱۵	۱/۶۵	۲/۵۱	۴/۱۲	۵/۹۴	۸/۶۶	۹/۱۶	۷/۹۸	۵/۴۳	۳/۴۴	۲	۱/۳۷	۴/۴۴	سرخس
	۶۲/۷	۱/۳	۲/۰۲	۳/۳۴	۵/۱۶	۷/۱۷	۹/۷۳	۱۰/۵۶	۹/۶۴	۷/۵۵	۴/۷۶	۲/۶۸	۱/۴۸	۵/۴	سبزوار
	۴۸/۸	۰/۹۴	۱/۴۳	۲/۳۸	۴	۵/۸۲	۷/۶۵	۸/۷۴	۷/۸۲	۵/۲۵	۳/۳۸	۱/۸۸	۱/۳۵	۴/۲	تربت ح
۵۰/۴	۶۳/۸	۱/۳۶	۱/۹۴	۳	۴/۶۲	۷/۲	۹/۹۷	۱۱/۳۲	۱۰/۶۶	۷/۷۳	۴/۶۵	۳/۵۳	۱/۴	۵/۵۳	تربت ج
	۴۲/۳	۰/۸	۱/۳۴	۲/۲	۴/۵۶	۵/۱	۶/۶۸	۷/۰۵	۶/۳۷	۴/۶۴	۲/۷۶	۱/۴۷	۰/۸۵	۳/۵۶	نیشابور
	۴۰/۲	۰/۷۷	۱/۱۶	۱/۹۵	۳/۳۹	۴/۷۲	۶/۴	۶/۸۸	۶/۳۲	۴/۸۱	۲/۹۱	۱/۵۶	۰/۸۹	۳/۴۸	قوچان
	۵۷	۱/۴	۱/۷	۳/۶۳	۵/۱	۶/۹	۸/۳۵	۹/۲	۸/۱۲	۶/۳۴	۴/۳۵	۲/۶۶	۱/۶۹	۴/۹۷	استان
	۵۸/۸	۱/۶	۲/۵	۳/۴۵	۵	۶/۹۳	۸/۸	۹/۶	۸/۵۲	۶/۴	۴/۳	۲/۶۴	۱/۸	۵/۱۲	خراسان
۶۱/۶	۴۳	۱/۰۵	۱/۴۱	۲/۲	۳/۵	۴/۷	۶/۵	۷/۴	۶/۸۲	۵/۱	۳/۱	۱/۶۶	۱/۱	۳/۷۲	جنوبی
	۸۷/۳	۲/۹۳	۳/۴	۴/۷۸	۷/۳	۱۰	۱۲/۲	۱۴/۵	۱۳/۲	۱۰/۱	۶/۴	۴/۱	۲/۵	۷/۶	خور
۴۳/۲	۴۳/۲	۱/۰۶	۱/۴۲	۲/۲	۳/۵	۴/۷۵	۶/۵۴	۷/۴۵	۶/۸۵	۵/۱۲	۳/۱۲	۱/۷	۱/۱	۳/۷	استان
															خراسان
															شمالی
	۷۹۳/۴	۱۸/۷	۲۶/۸	۴۱/۷	۶۶/۵	۹۲/۵	۱۲۲/۰۵	۱۳۴/۴	۱۲۱	۸۹/۸	۵۹/۵	۳۲/۴	۲۰۳/۵	۶۸/۴۴	مجموع

جدول ۳. میزان همبستگی تبخیر و تعرق با پارامترهای اقلیمی در ایستگاه های استان خراسان.

ساعت آفتابی	رطوبت نسبی	دمای حداکثر	دمای حداقل	سرعت باد	تبخیر و تعرق	همبستگی پیرسون
۰/۹۵۶	-۰/۹۰۸	۰/۹۷	۰/۹۸۹	۰/۹۱۳	۱	تبخیر و تعرق
۰/۸۹۰	-۰/۹۴۷	۰/۹۸۱	۰/۹۷۹	۱	۰/۹۱۳	سرعت باد
۰/۹۱۷	-۰/۹۵۳	۰/۹۹۳	۱	۰/۹۷۹	۰/۹۸۹	دمای حداقل
۰/۸۷۸	-۰/۹۸۰	۱	۰/۹۹۳	۰/۹۸۱	۰/۹۷	دمای حداکثر
-۰/۷۹۹	۱	-۰/۹۸۰	-۰/۹۵۳	-۰/۹۴۷	-۰/۹۰۸	رطوبت نسبی
۱	-۰/۷۹۹	۰/۸۷۸	۰/۹۱۷	۰/۸۹۰	۰/۹۵۶	ساعت آفتابی

جدول ۴. مقادیر P-Value آماره ی F و مقدار ضریب تبیین در ایستگاه استان خراسان

P-value	F	R-Square	
.۰۰۰	>۵۰	۰/۸۴	سرعت باد
.۰۰۰	>۳۰۰	۰/۹۷	دمای حداقل
.۰۰۰	>۱۵۰	۰/۹۴	دمای حداکثر
.۰۰۱	>۵۰	۰/۸	رطوبت نسبی
.۰۰۰	>۱۰۰	۰/۹۱	ساعت آفتابی

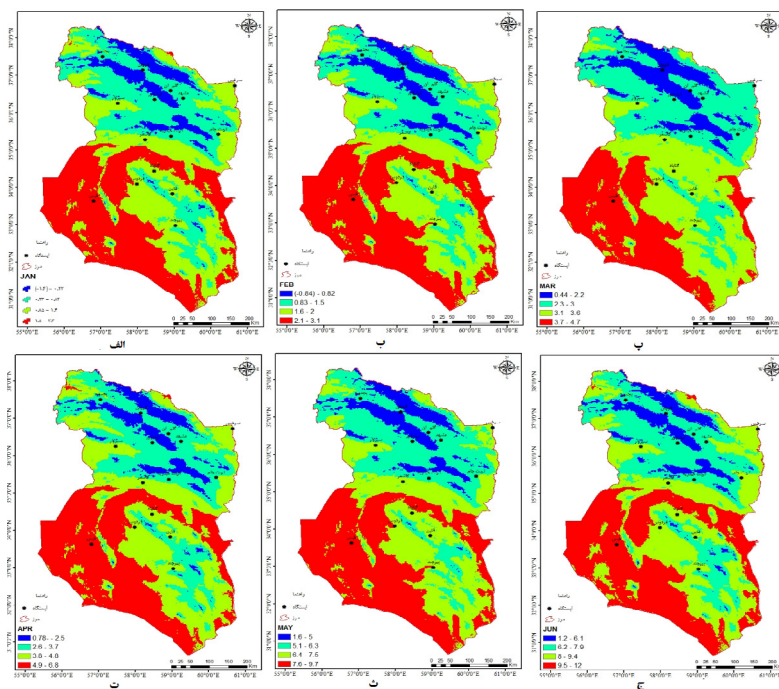
جدول ۳، مدل حاصل از روش رگرسیون گام به گام به روش پیشرو از تمام پارامترهای ورودی برای مدل سازی تبخیر و تعرق استفاده می نماید. نتایج گام به گام مدل های ایجاد شده در هر مرحله به همراه مقادیر P-Value و آماره ی F، مقدار ضریب تبیین برای این آزمون در جدول ۴ ارائه شده است.

شکل ۲ میانگین تبخیر و تعرق خراسان را از ژانویه (الف) تا ژوئن (ج) نشان می دهد. که کمترین تبخیر و تعرق در ایستگاه های شمال نیشابور (رشته کوه های بینالود)، شمال شرق قوچان و بجنورد (رشته کوه های هزار مسجد، آلا داغ)، غرب سبزوار (جنوب جوی و جغتای)، شمال تربت حیدریه (رشته کوه های خماری)، سربیشه و درمیان بیرجند (مربوط به غرب بیرجند)، شرق فردوس به سمت گناباد (کاخک، کلات و چرمه)، شمال ایستگاه کاشمر (کوه سرخ)، که از ۰ الی ۲/۳ میلی متر در روز متغیر می باشد و بیشترین تبخیر و تعرق مربوط به ایستگاه های طبس، فردوس، گناباد و مرزهای جنوبی بیرجند به میزان ۱/۲ الی ۱۲ میلی متر در روز در ماه ژوئن (ج) متغیر می باشد.

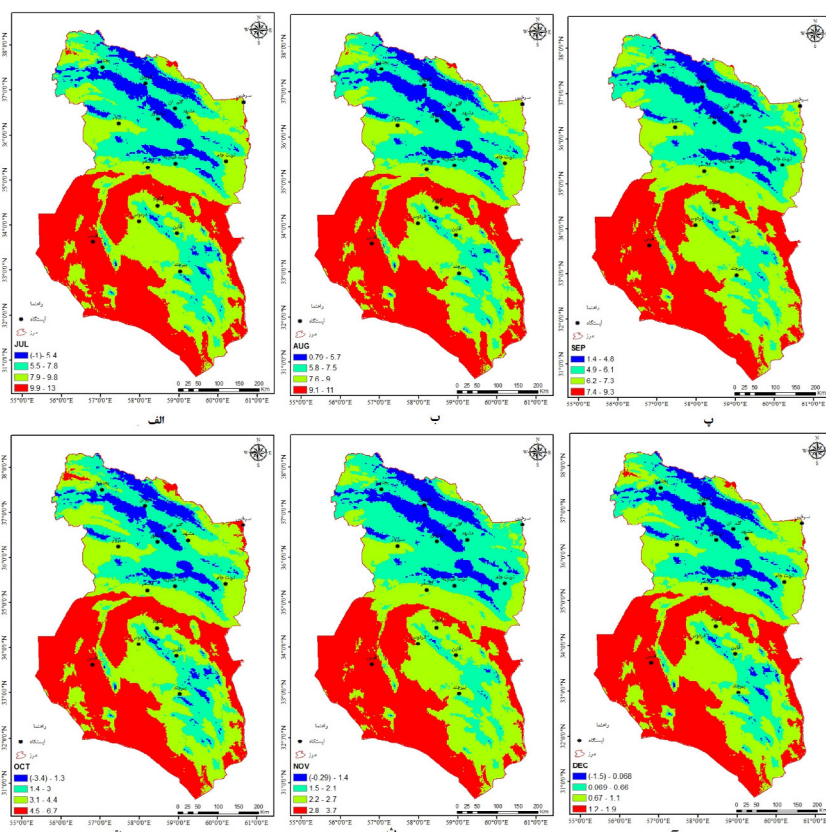
شکل ۳ میانگین تبخیر و تعرق خراسان را از جولای (شکل الف) تا دسامبر (شکل ج) نشان می دهد. که کمترین تبخیر و

ژوئن و آگوست که میزان تبخیر و تعرق زیاد هست باید آبیاری در شب و اوایل صبح انجام گیرد.

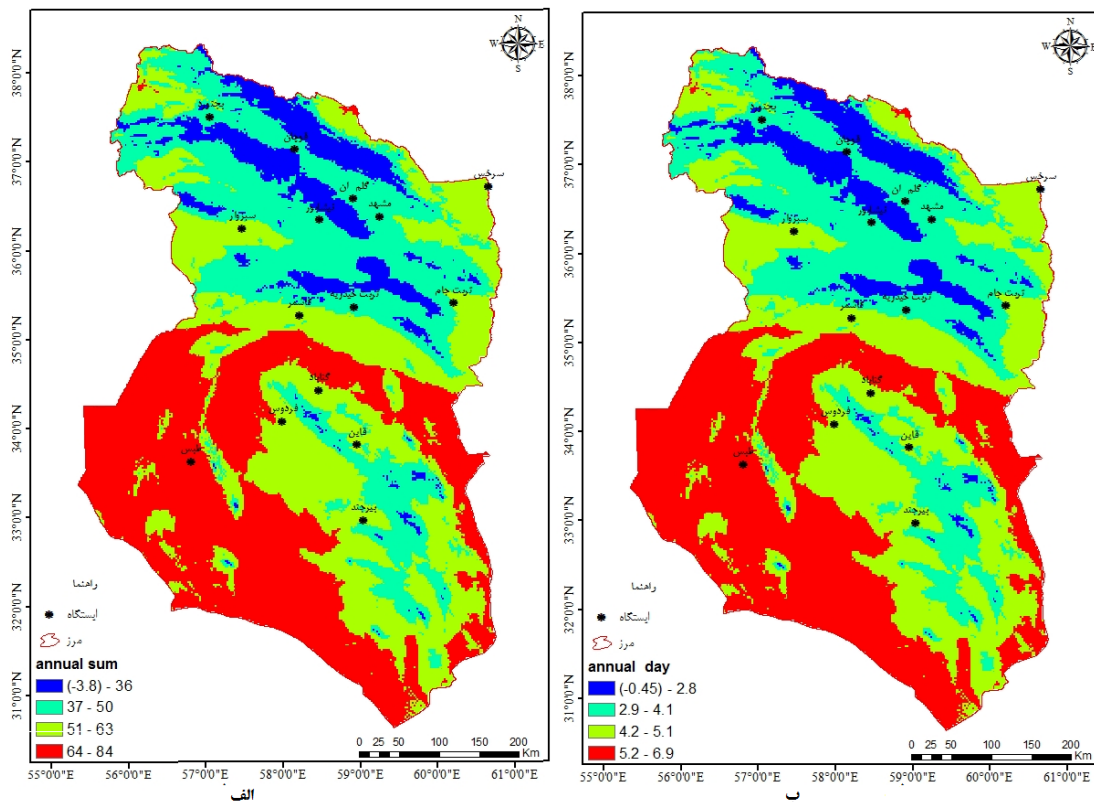
بر اساس نتایج آزمون رگرسیون گام به گام در مرحله ی نخست دمای حداقل مهمترین پارامتری است که برای ورود به مدل انتخاب می شود. زیرا مطابق با نتایج جدول ۳ که در آن مقادیر ضریب همبستگی ساده (دو به دو) پارامترهای هواشناسی آمده است، پارامتر دمای حداقل دارای بیشترین مقدار ضریب همبستگی با تبخیر و تعرق به مقدار ۰/۹۸ میباشد. بنابراین وقتی به مدل اضافه می شود مقدار ضریب تبیین ۰/۹۶ درصد می باشد. در گام بعدی پارامتر دمای حداکثر با بیشترین مقدار F نسبت به سایر پارامترهای مستقل باقی مانده، به مدل اضافه می شود که باعث افزایش این ضریب به عدد ۰/۹۸ درصد می شود. سپس از میان مجموعه پارامترهای باقی مانده پارامتری که می تواند با بیشترین مقدار F و معنی داری در سطح α برابر ۰/۰۵ به مدل اضافه شود، ساعت آفتابی است که ضریب تبیین مدل را به ۹۹ درصد ارتقا می دهد. و به همین ترتیب پارامترهایی که در گام های بعدی می توانند در سطح α باعث ایجاد معناداری در مقدار آماره ی F شوند، پارامترهای سرعت باد و رطوبت نسبی می باشند بنابراین براساس نتایج



شکل ۲. مکان یابی تبخیر و تعرق خراسان بزرگ در شش ماهه اول سال میلادی (از ژانویه تا ژوئن).



شکل ۳. مکان یابی تبخیر و تعرق خراسان بزرگ در شش ماهه دوم سال میلادی (از جولای تا دسامبر).



شکل ۴. مقادیر تبخیر و تعرق سالیانه (الف) و روزانه (ب) خراسان بزرگ.

شکل ۴ مجموع تبخیر سالانه (الف) و روزانه (ب) را نشان می دهد که میزان تبخیر و تعرق سالانه از ۰ تا ۶۸ و میزان تبخیر و تعرق روزهای سال به طور میانگین از ۰ تا ۶/۹ میلیمتر در روز متغیر می باشد.

جمع بندی

بیش از ۷۲ درصد از منابع آبی کشور از طریق تبخیر و تعرق از دسترس خارج می گردد (اسدی و کرمی، ۱۳۹۹). این امر نشان دهنده اهمیت توجه بیشتر به مساله تبخیر و تعرق در کشور است. این در حالی است که در مناطق خشک و نیمه خشک کشور، شرایط برای تبخیر و تعرق بهتر فراهم است و به دنبال آن شدت تبخیر و تعرق است (زارعی، ۱۳۹۵). در این تحقیق، تبخیر تعرق پتانسیل شمال شرق ایران با استفاده از روش فائو پنمن مونتیث که مورد تایید سازمان خوار و بار جهانی (فائو) نیز می باشد، برآورد و پهنه بندی شد. میزان

تعرق مربوط به دسامبر و در ایستگاه های شمال نیشابور (رشته کوه های بینالود)، شمال شرق قوچان و بجنورد (رشته کوه های هزار مسجد، آلاداغ)، غرب سبزوار (جنوب جوی و جغتای)، شمال تربت حیدریه (رشته کوه های خماری)، سربیشه و درمیان بیرجند (مربوط به غرب بیرجند)، شرق فردوس به سمت گناباد (کاخک، کلات و چرمه)، شمال ایستگاه کاشمر (کوه سرخ)، که از ۰ الی ۱/۹ میلی متر در روز متغیر می باشد و بیشترین تبخیر و تعرق مربوط به ایستگاه های طبس، فردوس، گناباد و مرزهای جنوبی بیرجند به میزان ۹/۹ الی ۱۳ میلی متر در روز در ماه جولای (ج) متغیر می باشد و ایستگاه های کاشمر، قاین، سرخس و جنوب شرق فردوس و گناباد دارای میزان تبخیر و تعرق ۰/۶۷ الی ۹/۸ میلی متر در روز متغیر است و در ایستگاه های مشهد، گلکان، شرق سبزوار، تربت جام و غرب نیشابور دارای میزان تبخیر و تعرق ۰/۶۹ الی ۷/۸ میلی متر در روز می باشد.

بر هوش مصنوعی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی و منطق فازی برای تخمین تبخیر-تعرق استان خراسان بزرگ استفاده شود. در مجموع، آب کالایی ارزشمند برای کشور ایران و به ویژه در مناطق با پتانسیل بالای ET_0 به ویژه در عرصه کشاورزی و سایر بخش‌های مصرف کننده محسوب می‌شود. اجرای طرح‌های آبخیزداری و طرح‌های ذخیره‌سازی آب‌های سطحی با توجه به کمبود بارش و بالا بودن ET_0 ضروری به نظر می‌رسد.

مراجع

۱. احسانی، ع.، و ارزانی، ح.، و فرح پور، م.، و احمدی، ح.، و جعفری، م.، و اکبرزاده، م. (۱۳۹۱). برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از اطلاعات آب و هوایی، خصوصیات گیاه (مرتع) و خاک به کمک برنامه نرم افزار کراپوات (مطالعه موردی: منطقه استپی استان مرکزی ایران، ایستگاه رودشور). تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۱۹ (۴۶)، ۱-۱۶.
۲. اسدی، م.، و کرمی، م. (۱۳۹۹). برآورد میزان تبخیر و تعرق در استان فارس با استفاده از شاخص‌های تجربی. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی (علوم جغرافیایی)، ۲۰ (۵۶)، ۱۵۹-۱۷۵.
۳. بختیاری، ب.، خلیلی، ع.، لیاقت، ع.، و خانجانی، م. ج.، ۱۳۸۸. مقایسه تبخیر-تعرق روزانه با مجموع ساعتی در ایستگاه هواشناسی کرمان. م. علوم آب و خاک، ۲۳ (۱)، ۵۶-۴۵.
۴. دهقان، ه.، و علی زاده، ا. (۱۳۹۱). ارزیابی و واسنجی روش‌های مختلف برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع در شرایط محدودیت داده‌های اقلیمی (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۶ (۱)، ۲۲۶-۲۵۰.
۵. روشن، غ.، خوش اخلاق، ف.، و کریمپور، م.، ۱۳۹۰. ارزیابی و اصلاح مدل مناسب تبخیر و تعرق بالقوه در ایران. م. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۷۸، ۶۸-۴۹.
۶. رضایی، ح.، ۱۳۹۸. بررسی اثر تغییر اقلیم بر کشت زرشک در کشور ایران. پایان نامه دکتری تخصصی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.
۷. زارعی، ر. (۱۳۹۵). تعیین و پهنه بندی تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از روش فائو-پنمن-مانیتث در استان فارس، همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، یاسوج، ایران.
۸. سازمان هواشناسی، ۱۳۹۹. سالنامه‌های آماری ایستگاه‌های استان خراسان.
۹. فلاح قاله‌ری، غ.، ۱۳۹۳. آب و هوای لایه مرزی، انتشارات دانشگاه حکیم سبزواری، چاپ اول، ۳۷۶.
۱۰. کوچک زاده، م.، بهمنی، ع.، ۱۳۸۴. ارزیابی عملکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در کاهش پارامترهای مورد نیاز، جهت برآورد تبخیر و تعرق مرجع. م. علوم کشاورزی، ۱۱ (۴)، ۹۷-۸۷.
۱۱. گودرزی، م.، و حسینی، ا.، و محمدی، ن. (۱۳۹۷). برآورد میزان تبخیر و تعرق پتانسیل در مناطق کویری، بیابانی و سواحل مکران، سیزدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری و سومین همایش ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست با محوریت آبخیزداری و صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست، اردبیل، ایران.
۱۲. محمدیان، آ.، علیزاده، ا.، نصیری محلاتی، م.، ۱۳۸۵. بررسی تأثیر خشکی ایستگاه بر دما، رطوبت و تبخیر تعرق مرجع (ایستگاه سینوپتیک مشهد)، م. علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۳ (۱)،

تبخیر و تعرق سالانه از ۰ تا ۶۸ و میزان تبخیر و تعرق روزهای سال به طور میانگین از ۰ تا ۶/۹ میلیمتر در روز متغیر می‌باشد. بیشترین تبخیر و تعرق استان خراسان بزرگ در ماه جولای (۱۳۴/۴) میلیمتر در ماه و کمترین آن مربوط به ماه ژانویه (۱۸/۷) میلیمتر در ماه می‌باشد. در مجموع سه استان، ایستگاه خور دارای بیشترین تبخیر و تعرق (۸۷/۳) و ایستگاه قوچان (۴۰/۲) دارای کمترین می‌باشد.

نقشه‌های پهنه‌بندی مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع نشان می‌دهد که میزان تبخیر و تعرق در مناطق مختلف سه استان متفاوت می‌باشد. که بیشترین میانگین تبخیر تعرق مربوط به استان خراسان جنوبی (۶۱/۶) و کمترین مربوط به استان خراسان شمالی (۴۳/۲) میلیمتر در سال می‌باشد. پهنه بندی تبخیر تعرق پتانسیل در محیط نرم افزار ArcGIS نشان داد بیشترین تبخیر و تعرق در جنوب غربی محدوده مورد مطالعه (طبس) و کمترین آن مربوط به شمال شرق منطقه مورد مطالعه (قوچان و بجنورد) می‌باشد. وبه طور کلی نتایج پهنه بندی تبخیر و تعرق نشان داد که مناطق جنوبی استان، شدت تبخیر و تعرق بیشتری نسبت به مناطق شمال و مرکزی دارند که می‌تواند عامل توپوگرافی منطقه بر این مورد تأثیرگذار باشد. بنابراین تبخیر و تعرق بالا و در نتیجه خشکی بیشتر، جزئی از ذات این مناطق می‌باشد و اکوسیستم‌های این مناطق شکننده می‌باشد و عوامل نظیر تخریب اراضی، تغییر نادرست کاربری آنها، چرای بیش از حد، برداشت بی‌رویه منابع زیر زمینی، گرمایش جهانی و تغییر اقلیم و خشکسالی مخرب، به طور گسترده‌ای این مناطق را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

بر اساس نتایج آزمون رگرسیون گام به گام نشان داد که مهمترین عوامل موثر بر تبخیر و تعرق مرجع در استان خراسان به ترتیب دمای کمینه، دمای بیشینه، ساعت آفتابی، سرعت باد و رطوبت نسبی می‌باشند. به نظر می‌رسد نقشه‌های تولید شده در زمینه مکان‌یابی بسیاری از طرح‌های کشاورزی و منابع طبیعی و همچنین عمرانی در استان خراسان به عنوان یکی از نقشه‌های پایه و مهم مورد توجه قرار گیرد. بنابراین پیشنهاد می‌شود در مناطق دیگر ابتدا به گروه‌بندی منطقه مطالعاتی از نظر اقلیمی پرداخته شود و سپس اقدام به آنالیز حساسیت هر زون و مقایسه با یکدیگر گردد. همچنین از روش‌های مبتنی

- R. M., Jaczewski, A., Gutiérrez, J.M., Maraun, D., 2019, Uncertainty in gridded precipitation products: Influence of station density, interpolation method and grid resolution. *International Journal of Climatology*, 39(9), 3717-3729.
14. Lu, J., Sun, G., McNulty, S.G., Amatya, D.M., 2005, A comparison of six potential evapotranspiration methods for regional use in the Southeastern United States. *J. Am. Water Resour. As.* 41(3), 621-633.
 15. Liu, W., Zhao, M., Xu, T., 2018, Water poverty in rural communities of arid areas in China. *Water*, 10(4) 505.
 16. Li, S., Kang, S., Zhang, L., Zhang, J., Du, T., Tong, L., Ding, R., 2016, Evaluation of six potential evapotranspiration models for estimating crop potential and actual evapotranspiration in arid regions, *Journal of Hydrology*, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.10.022>.
 17. Mehdizadeh, S., 2018, Estimation of daily reference evapotranspiration (ET_o) using artificial intelligence methods: Offering a new approach for lagged ET_o data-based modeling. *Journal of hydrology*, 559, 794-812. [Persian]
 18. Mardikis, M.G., Kalivas, D.P., Kollias, V.J., 2005, Comparison of Interpolation Methods for the Prediction of Reference Evapotranspiration-An Application in Greece, *Water Res. Manag.* 19, 251-278.
 19. McKenney, M.S., Rosenberg, N.J., 1993, Sensitivity of some potential evapotranspiration estimation methods to climate change. *Agric. For. Meteorol.* 64(1-2), 81-110.
 20. Penman, H.L., 1948, Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. *Proc. Roy. Soc. London A* 193(120), 515-532.
 21. Priestley, C.H.B., Taylor, R.J., 1972, On the assessment of the surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Mon. Weather Rev.* 100, 81-92.
 22. Smith, M., 1991, Report on the Expert Consultation on Procedures for Revision of FAO Guidelines for Prediction of Crop Water Requirements. FAO, Rome, 45.
 23. Rao, L.Y., Sun, G., Ford, C.R., Vose, J.M., 2011, Modeling Potential Evapotranspiration of Two Forested Watersheds in the Southern APPALACHIANS, *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 54(6), 2067-2078.
 24. Sumner, D.M., Jacobs, J.M., 2005, Utility of Penman-Monteith, Priestley-Taylor, reference evapotranspiration, and pan evaporation methods to estimate pasture evapotranspiration. *J. Hydrol.* 308(1-4), 81-104.
 25. Sawano, S., Hotta, N., Komatsu, H., Suzuki, M., Yayama, T., 2007, Evaluation of Evapotranspiration in Forested Areas in the Mekong Basin Using GIS Data Analysis. In *Forest Environments in the*
۱۳. موسوی بایگی، م.، عرفانیان، م.، سرمد، م. (۱۳۸۸). استفاده از حداقل داده های هواشناسی برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و ارائه ضرایب اصلاحی (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). آب و خاک، ۳۳(۱)، ۹۱-۹۹.
 1. Awal, R., Habibi, H., Fares, A., Deb, S., 2020, Estimating reference crop evapotranspiration under limited climate data in West Texas. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 28, 100677.
 2. Allen, R., Pereira, L., Raes, D., Smith, M., 1998, *Crop Evapotranspiration*, FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome, Italy, 293.
 3. Blaney, H.F., Criddle, W.D., 1950, Determining Water Requirements in Irrigated Area from Climatological Irrigation Data, US Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Tech. Pap. No. 96, 48 pp.
 4. Bormann, H., 2011, Sensitivity analysis of 18 different potential evapotranspiration models to observed climatic change at German climate stations. *Climatic Change*, 104(3-4), 729-75.
 5. Dalton, J., 1802, Experimental essays on the constitution of mixed gases: on the force of streams or vapor from water and other liquids, both in a Torricellian vacuum and in air; on evaporation; and on the expansion of gases by heat. *Proceedings of Manchester Literary and Philosophical Society* 5: 536-602.
 6. Douglas, E.M., Jacobs, J.M., Sumner, D.M., Ray, R.L., 2009, A comparison of models for estimating potential evapotranspiration for Florida land cover types. *J. Hydrol.* 373(3-4), 366-376.
 7. Donohue, R.J., McVicar, T.R., Roderick M.L., 2010, Assessing the ability of potential evaporation formulations to capture the dynamics in evaporative demand within a changing climate. *J. Hydrol.* 386(1), 186-197.
 8. Fisher, J.B., Whittaker, R.J., Malhi, Y., 2011, ET come home: potential evapotranspiration in geographical ecology. *Global Ecol. Biogeography*. 20(1), 1-18.
 9. Gao, C., He J, Dong, K., Xiang, L., 2017, Trends in reference evapotranspiration and their causative factors in the West Liao River basin, China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 232, 106-117.
 10. Gharbia, S.S., Smullen. T., Gill, L., Johnston, P., Pilla, F., 2018, Spatially distributed potential evapotranspiration modeling and climate projections. *Science of The Total Environment*, 633, 571-592.
 11. Jin-Fa Chen, J.F., Yeh, H.F., Lee, Ch., Lo, W.H., 2005, Optimal Comparison of Empirical Equations For Estimating Potential Evapotranspiration in TAIWAN, XXXI IAHR Congress, Seoul, Korea.
 12. Jensen, M.E., Burman, R.D., Allen, R.G., 1990, *Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements*, ASCE Manual and Report on Engineering Practice. 70. New York.
 13. Herrera, S., Kotlarski, S., Soares, P.M., Cardoso.,

- of empirical equations for calculating potential evapotranspiration with data from Switzerland. *Water Resour. Manag.* 16(3): 197-219.
29. Ullah, S., Zaefarian, G., Ullah, F., 2020, How to use instrumental variables in addressing endogeneity? A step-by-step procedure for non-specialists.
30. Zhou, Y., Li, X., Yang, K., Zhou, J., 2018, Assessing the impacts of an ecological water diversion project on water consumption through high-resolution estimations of actual evapotranspiration in the downstream regions of the Heihe River Basin, China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 249, 210-227.
- Mekong River Basin (pp. 36-44). Springer, Tokyo.
26. Tian, H., Lu C., Pan, S., Yang, J., Miao, R., Ren, W., Reilly, J., 2018, Optimizing resource use efficiencies in the food-energy-water nexus for sustainable agriculture: From conceptual model to decision support system. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 33, 104-113.
27. . Tabari, H., Grismer, M.E., Trajkovic, S., 2013, Comparative analysis of 31 reference evapotranspiration methods under humid conditions. *Irrigation Sci.* 31(2), 107-117. [Persian]
28. Xu, C.Y., Singh, V.P., 2002, Cross comparison

Estimation and mapping evapotranspiration using climatic parameters in GIS: A Case Study in Khorasan Province

Hasan Rezaei^{1*}, Majid Habibi nokhandan², Gholam abbas Fallah Ghalhari³

¹ Assistant Professor of Climatology, Department of Geography, Imam Ali Military University, Tehran, Iran.

² Associate Professor, Institute of Climatology and Climate Change, Mashhad, Iran.

³ Associate Professor, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran.

*Corresponding Author Email: rezae_h@iamu.ac.ir

Received: 26 January 2021, accepted: 02 May 2021

ABSTRACT

One of the ways to reduce the water crisis in agriculture due to its low consumption efficiency and overuse of available resources is water management to meet the water needs of crops in arid areas where water resources are limited, and estimating the water needs of plants is essential. In this study, FAO Penman Monteith method was used to estimate the evapotranspiration potential of Northeast Iran, and ArcGIS software was used to zonation of evapotranspiration. The data required for this study were collected from 15 meteorological stations affiliated to the Meteorological Organization located in Khorasan Province (Razavi, Jonubi, Shomali). These data are for the years 1999 to 2019 and include daily maximum and minimum values of air temperature, relative humidity, sunshine hours and wind speed. Days with incomplete data were excluded from analysis in this study. The results of this study showed that the rate of evapotranspiration on average days of the year varies from 0 to 6.9 mm per day and the highest evapotranspiration in July (134.4) mm per month and the lowest evapotranspiration in January (18.7) mm has occurred in the month. Potential evapotranspiration zoning in ArcGIS software environment showed that the highest evapotranspiration was in the southwest of the study area (Tabas) and the lowest was in the northeast of the study area (Quchan and Bojnourd).

Keywords: Reference plant evapotranspiration, FAO Penman-Monteith, zoning, Khorasan province.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Rezaei, H.; Habibi nokhandan, M.; abbas Fallah Ghalhari, Gh. (2021). Estimation and mapping evapotranspiration using climatic parameters in GIS: A Case Study in Khorasan Province. *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 4(2): 115-127

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

