برآورد میزان تبخیر و تعرق پتانسیل درایستگاه‌های استان اصفهان

حسین محمدی- استاد دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
علی حنفی*- کارشناس ارشد اقلیم شناسی و مدرس دانشگاه امام(ع)
محسن سلطانی- کارشناس ارشد اقلیم شناسی دانشگاه تهران

دریافت مقاله: ۸۹/۵/۳ **پذیرش نهایی: ۸۹/۹/۲۵**

چکیده

تبخیر از سطوح مرطوب خاک و گیاه که آن را تبخیر و تعرق می‌نامند، یکی از پیچیده ترین فرآیندها در چرخهٔ هیدرولوژی است که در محاسبات هیدرولوژی از دو جهت حائز اهمیت است. یکی محاسبه تلفات آب در حوضه‌های آبریز و دیگری برآورد نیاز آبی در طرح‌هایی که آب مهار شده در سازه‌های هیدرولیک مورد استفاده قرار خواهد گرفت. در این تحقیق از داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های مورد مطالعه (اصفهان، کاشان، شهرضا، خور و بیابانک، گلپایگان و نائین) استفاده شده و سپس جهت تعیین مناسب ترین روش تبخیر وتعرق پتانسیل[1] در سطح منطقه، اقدام به تحلیل نمودارهای مقایسه‌ای بین روش‌های تورنث وایت[2]، بلینی کریدل[3] و معادلهٔ لاری جانسون[4] که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته‌اند، گردیده است. نتایج این تحقیق نشان داد که از بین روش‌های مذکور، روش بلینی کریدل نسبت به دیگر روش‌ها، بسیار نزدیک به تشت تبخیر بوده به طوری که در ماه‌های مختلف سال همبستگی خوبی با تشت تبخیر را داشته است. همچنین نتایج حاصل از پهنه بندی میزان تبخیر و تعرق در سطح استان اصفهان نشان داد که از غرب به شرق و از جنوب به شمال، بر میزان تبخیر و تعرق افزوده می‌شود، به طوری که در نواحی شمال شرقی استان (ایستگاه خور و بیابانک)، این پدیده به دلایلی همچون نزدیکی به کویر، افزایش گرمای سطح زمین و کم شدن نزولات جوی، به اوج خود می‌رسد.

واژگان کلیدی: تبخیر و تعرق پتانسیل، تورنث وایت، بلینی کریدل، معادله لاری جانسون، اصفهان

***نویسنده‌مسئول:** ۰۹۳۵۵۰۲۲۷۱۱
E-mail: **Hanafi772@gmail.com**

1. **Potential Evapotranspiration**
2. **Thornthwaite**
3. **Blaney – Cridle**
4. **Lawry – Johnson Equation**
5. **Eshpigel**

۱.مقدمه

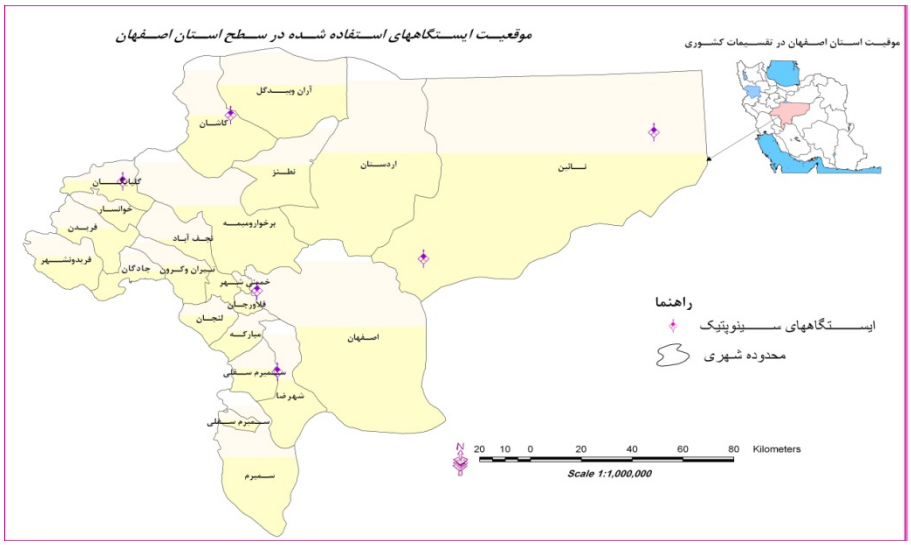
محدودیت منابع آبی مناسب از عمده ترین تنگناها و مشکلات کشاورزی در کشور ایران می‌باشد (بارگاهی، موسوی، ۱۳۸۵: ۶۰). از طرف دیگر افزایش روز افزون جمعیت نیاز به تولید مواد غذایی بیشتر را ایجاب می‌کند. بنابراین یافتن راه کارهایی برای غلبه بر کمبود آب در این مناطق همواره از این جمعیت رو به تزاید تولید نمود (افیونی و همکاران، ۱۳۸۰: ۳۰۴-۲۹۵). فرآیند تبدیل آب به بخار را تبخیر می‌گویند. این عمل همراه با انتقال انرژی است، به طوری که مولکول‌های آب با اخذ ۶۰۰ کالری گرما، حالت فرار از سطح آب را پیدا کرده و در نتیجه در هوا منتشر می‌شوند. این فرآیند به عوامل و شرایط مختلفی از جمله تابش خورشید(از نظر شدت ومدت) ، خشکی هوا، درجه حرارت، سرعت باد، و میزان رطوبت مطلق بستگی دارد. از دیدگاه آبشناسی تبخیر به مجموعه پدیده‌هایی گفته می‌شود که آب را صرفاً از راه یک فرآیند فیزیکی به بخار تبدیل می‌کند(اشپیگل[5]، ۱۳۷۲: ۲۷۲). تبخیر و تعرق بالقوه عبارتست از تبخیرو تعرق از یک سطح مزروعی نامحدود که ارتفاع گیاهان آن یکسان بوده دارای رشد و فعالیت باشند. به علاوه این گیاهان با سایهٔ خود تمامی سطح خاک را بپوشانند و آب موجود در خاک نیز برای استفاده در حد مطلوب باشد (رامشت، ۱۳۸۴: ۱۱۲-۱۱۱). برآورد تبخیر و تعرق در مواردی از قبیل برنامه‌ریزی آبیاری، تعیین تبخیر مخازن آب، محاسبه بیلان آب، تخمین رواناب و مطالعات اقلیم شناسی ضروری است (مباشری و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۱). محاسبهٔ تبخیر وتعرق بالقوه خیلی پیچیده است، تورنث وایت برای این منظور جدولهای پیچیده ای تنظیم کرده است (تورنث وایت و متر[1]، ۱۹۵۷: ۹۸-۹۷). تبخیر و تعرق واقعی در شرایط طبیعی منطقه انجام شده، و با افزایش مقدار آب بیشتر می‌شود، هر چند که مقدار آن هرگز بیشتر از تبخیر و تعرق بالقوه نخواهد شد. در نواحی خشک که آب کافی برای تبخیر وجود ندارد، همیشه مقدار تبخیر و تعرق واقعی کمتر از مقدار تبخیر و تعرق بالقوه است. اختلاف بین تبخیر و تعرق بالقوه و تبخیر و تعرق واقعی، نیاز آب منطقه را نشان می‌دهد. در مناطق مرطوب که آب به حد کافی وجود دارد، این دو مقدار با هم برابرند. نتیجهٔ فرآیند تبخیر و تعرق رطوبت جو است (علیجانی و کاویانی،۱۳۸۴: ۲۱۰-۲۰۹). نسبت تبخیر به تبخیر و تعرق گیاه در طول دوره رشد بین ۲۳ درصد و ۵۶ درصد گزارش شده است (سپاسخواه، ۱۳۸۰). بیلان تبخیر و تعرق واقعی در خشکی همیشه مثبت است، یعنی از ۱۰۰ واحد بارش دریافتی خشکی فقط

1.Thornthwaite and Mather
2. Richy and Bornet
3. Penman
4. Penman - Monteith
5. Thompson

۶۱ درصد آن تبخیر می شود (خوش اخلاق، ۱۳۸۷). محاسبهٔ تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل یکی از موارد حساس در علم اقلیم شناسی است؛ در اهمیت این موضوع همین بس که حدود ۷۵ درصد از کل بارندگی سالانه در سطح کرهٔ زمین دوباره بصورت تبخیر و تعرق به جو برمی گردد (بای بوردی، ۱۳۷۲: ۴۹۱). در بررسی بیلان هیدروکلیماتولوژی هر ناحیه تبخیر و در اکثر موارد محاسبهٔ تبخیر و تعرق اهمیت زیادی را دارد. زیرا تبخیر و تعرق با جریان و نفوذ آب در خاک یکی از تلفات بیلان هیدرولوژی است. رصدهای مربوط به تبخیر از طریق تشت‌ها فقط در مورد تبخیر و تعرق به ما اطلاع می‌دهند در این صورت تعیین تبخیر فصلی ضروری می‌شود. در این مورد بعد از آزمایش‌های مختلف فرمول‌های گوناگونی مانند فرمول پنمن[۳]، پنمن مونتیث[۴]، تورنت وایت ارائه شده است. بعضی از این فرمول ها ساده‌اند و کاربرد شان آسان است و بعضی پیچیده‌اند واحتیاج به محاسبات زیادی دارند، ولی نتایج حاصل رضایت بخش است (محمدی، ۱۳۸۵: ۳۰-۲۹). در مورد تبخیر از سطح آب‌ها، درجه حرارت، شدت باد و درجهٔ نمناکی بزرگترین نقش را بازی می‌کنند (پنمن، ۱۹۵۶: ۱۱۵). آخرین مرحلهٔ گردش آب درون پوشش گیاهی را تعرق گویند. میزان تعرق بر حسب شدت نور، درجهٔ حرارت، سرعت باد و دورهٔ گیاهی و بالاخره بر حسب جنس زمین و تراکم گیاهان تغییر می‌کند(جعفرپور، ۱۳۸۰: ۱۱۲-۱۱۰). ویژگی‌های آب که تنها بر تبخیر اثر می‌گذارند شامل کیفیت، عمق و اندازهٔ پهنهٔ آب می‌باشند. (تامپسون[۵]، ۱۳۸۲: ۸۸). در دمای زیر صفر درجه سلسیوس تبخیری صورت نمی‌گیرد؛ زیرا در دماهای زیر صفر، مولکول‌های آب به جای حرکات نامنظم سیال وار، در حجم ثابت حرکت منظم پیدا می‌کنند. تشتک‌ها ساده ترین وسیله اندازه گیری تبخیر و تعرق می‌باشند. میزان تبخیر در تشتک‌های واقع در روی زمین، بیش از تشتک‌های داخل زمین می‌باشد چون که در آنها، اطراف و کف تشتک با هوا در تماس بوده و انرژی بیشتری نسبت به حالت تماس با خاک دریافت می‌کنند(مهدوی، ۱۳۸۴: ۹۱). از تحقیقات صورت گرفته در زمینهٔ محاسبهٔ تبخیر و تعرق، می‌توان به برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل از طریق رگرسیون چند متغیره توسط نوربخش (۱۳۷۶) در منطقهٔ کوهستانی زاگرس (ایستگاه دامنه)، اشاره کرد.همچنین، فرهودی و شمسی پور (۱۳۷۹) در مقاله‌ای تحت عنوان برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل منطقهٔ بلوچستان جنوبی به بررسی این امر پرداخته‌اند و نتیجه گرفته‌اند که منطقهٔ بلوچستان جنوبی در تمام ماه‌های سال دارای تبخیر و تعرق پتانسیل بالاتر از بارش است. شاهکویی(۱۳۷۸) نیز به بررسی تبخیر و ارزیابی میزان آن در شرق دریای خزر پرداخته است.

۲.موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

استان اصفهان بین ۳۰ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۵۵ درجه ۳۰ دقیقه طول شرقی با وسعت ۱۰۷۰۲۷ کیلومتر مربع قرار دارد و ۶/۵ درصد مساحت کشور را در بر می گیرد. موقعیت ایستگاه‌های مورد استفاده در شکل (۱) آمده است.



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان اصفهان

۳.مواد روش‌ها

۳-۱. مواد

با توجه به اینکه استان اصفهان به عنوان یکی از استان‌های پهناور، دارای مناطق مستعد زیادی برای کشاورزی می‌باشد، لذا مطالعه تبخیر و تعرق و اثرات آن در برآورد نیاز آبی واقعی گیاه و توسعه اقتصادی منطقه از جنبه‌های مختلفی که به منابع آب وابسته‌اند می‌تواند مفید و ضروری باشد. بدین ترتیب جهت مطالعه تبخیر و تعرق پتانسیل مستقیم در ایستگاه‌های منتخب منطقه (اصفهان، گلپایگان، کاشان، خور و بیابانک، نائین، شهرضا) مجموع ماه‌های سال طی دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۷۶ به جهت اهمیت فصل رویش و نیاز آبی برای رشد و نمو محصولات زراعی و مرتعی درنظر گرفته شد. جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده شده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

جدول۱. مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در سطح استان اصفهان

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع(متر)	توضیحات
اصفهان	۵۱ ۴۰	۳۲ ۳۷	۱۵۵۰	سینوپتیک
گلپایگان	۵۰ ۱۷	۳۳ ۲۸	۱۸۷۰	سینوپتیک
کاشان	۳۳ ۵۹	۵۱ ۲۷	۹۸۲	سینوپتیک
خوروبیابانک	۳۳ ۴۷	۵۵ ۰۵	۸۴۵	سینوپتیک
نائین	۳۲ ۵۱	۵۳ ۰۵	۱۵۴۹	سینوپتیک
شهررضا	۳۱ ۵۹	۵۱ ۵۰	۱۸۸۵	سینوپتیک

در این مطالعه جهت تعیین شاخص‌های خشکی و تبخیر و تعرق ، از محاسبات آماری استفاده شده است. داده‌های دما از ایستگاه‌های سینوپتیک از سازمان هواشناسی اخذ گردید. ایستگاه‌های منطقه از نظر آماری مورد بررسی قرار گرفت و از بین آنها ۶ ایستگاه در محدوده استان اصفهان که پوشش کاملی را دارند، انتخاب گردید. سپس داده‌های آماری به لحاظ کمی وکیفی بوسیله آزمون ران‌تست[1] مورد ارزیابی قرار گرفت و در ادامه با بهره گیری از نرم افزارهای SPSS و Excel به تجزیه و تحلیل داده‌ها پرداخته شد. در پایان جهت تعیین فصول خشک و نیمه خشک و فصولی که برای رویش و کشت وکار مناسب می‌باشد، از شاخص‌های محاسبه تبخیر و تعرق بلینی‌کریدل، تورنث وایت و معادله لاری جانسون استفاده گردید.

مدل های استفاده شده در تحقیق

۳-۲. روش‌ها

۳-۲-۱.روش تورنث وایت

در روش تورنث وایت که میزان تبخیر- تعرق پتانسیل براساس دمای متوسط ماهانه است به صورت زیر محاسبه می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۶: ۲۳۶):

الف). ابتدا نمایهٔ حرارتی (i_m) برای هر یک از ماههای سال از معادلهٔ زیر بدست می آید:

$$I_m = (\frac{t_m}{5})^{1.51}$$

در این معادله i_m نمایه حرارتی هر ماه و Tm متوسط دمای هر ماه بر حسب سانتی گراد در ماه موردنظر است این کار برای تمام ۱۲ ماه سال انجام $I = \sum_{n=1}^{12} i_m$

1 . Runs Test

می‌گردد. در صورتی که متوسط دما در یک ماه صفر یا منفی باشد i_m برای آن ماه صفر درنظر گرفته می‌شود.

ب). نمایه حرارتی سال (I) از جمع نمایه‌های حرارتی ماهانه بدست می‌آید:

پ). برای هر یک از ماههای سال تبخیر- تعرق پتانسیل (PET) بر حسب میلی متراز فرمول زیر محاسبه می‌شود:

که ضریب a در آن از معادله زیر بدست می آید: $PET = 16(\frac{10T_m}{I})^a$

$$a = (6.75\times10^{-7})I^3 - (7.71\times10^{-5})I^2 + (1.792\times10^{-2})I + .492$$

ت). محاسبه PET با استفاده از معادله بالا برای هر یک از ماه‌ها با این فرض بوده است که هر ماه ۳۰ روز و هر روز ۱۲ ساعت روشنایی داشته باشد، حال با توجه به این که تعداد روزهای هر ماه و تعداد ساعات روشنایی در ماه‌های مختلف سال متفاوت است. بنابراین لازم است PET با اعمال ضریب n_m اصلاح گردد. لذا PET برابر خواهد بود با:

$$PET = 16N_m(\frac{10T_m}{I})^a$$

۳-۲-۲.روش بلینی - کریدل

یکی از قدیمی ترین روش‌های تخمین تبخیر- تعرق پتانسیل روش بلانی - کریدل است که بعداً فرمول پیشنهادی آنها توسط پروت[1] از اساتید سابق دانشگاه کالیفرنیا مورد واسنجی قرار گرفت و برای تخمین تبخیر- تعرق گیاه مرجع چمن به صورت زیر ارائه شد (علیزاده، ۱۳۸۶: ۲۴۸):

$$ET_0 = a + b[p(.46T + 8.13)]$$

ET_0= تبخیر و تعرق گیاه مرجع (چمن) بر حسب میلیمتر در روز (mm/d).

P= ضریب مربوط به طول روز یا درصد سالانه تابش آفتاب در ماه که بصورت روزانه توصیف شده است (متوسط ساعات روشنایی هر روز در ماه مورد نظر تقسیم بر کل ساعات روشنایی سال ضرب در ۱۰۰).

T= متوسط ماهانهٔ درجه حرارت، C^0

a و b = ضرایب اقلیمی

ضرایب a و b بستگی به حداقل رطوبت نسبی هوا ، نسبت ساعات واقعی آفتاب (n) به حداکثر ممکن ساعات آفتابی (N) یعنی n/N و سرعت باد در روز (Uday) دارد.

مقادیر a و b را می توان از معادله هـای زیـر بدست آورد:

$$a = .0043(RH_{\min}) - \frac{n}{N} - 1.41$$

$$b = .82 - .0041(RH_{\min}) + 1.07(n/N) + .066(u_{day}) - .006(RH_{\min})\frac{n}{N} - .0006(RH_{\min})(u_{day})$$

در این فورمول ها n تعداد ساعات واقعی آفتاب، N حداکثر ساعات ممکن تابش آفتـاب، RHmin حداقل رطوبت نسبی (درصد) و Uday سرعت باد در طول روز در ارتفـاع ۲ متری از سطح زمین (متر بر ثانیه) است.

۳-۲-۳.معادله لاری جانسون

لاری جانسون یک رابطه خطی را بین تبخیـر- تعـرق پتانسـیل (PET) و گرمـای موثر به صورت زیـر پیشـنهاد نمـوده‌انـد:

$$PET = (0.004755D_m + 24.4)$$

(علیزاده، ۱۳۸۶: ۲۴۵):

در ایــن معادلــه D_m مقــدار درجــه روز تجمعی دماهای ماکزیمم روزانه برای دوره مورد نظر می‌باشد. لازم به ذکر است D_m بـر حسب درجه فارنهایت محاسبه می‌شود. در این صورت PET برحسب سانتی متر بدست می‌آید.

۴.یافته‌های تحقیق

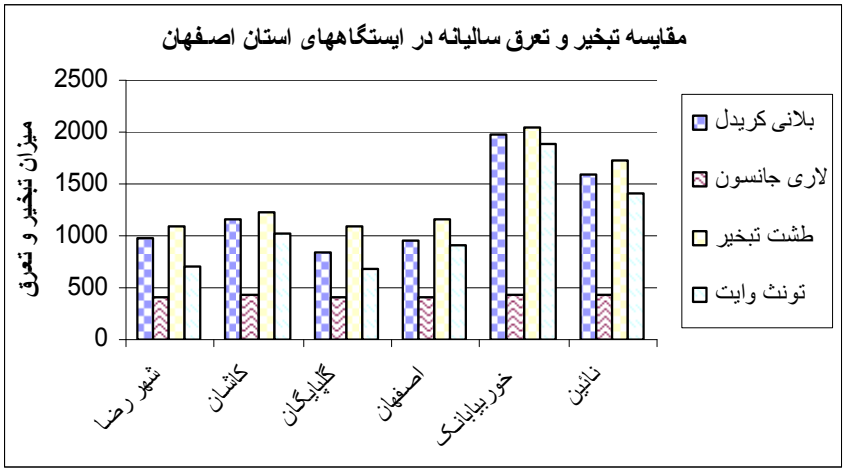
۴-۱.تجزیه و تحلیل تبخیر ایستگاه‌های استان اصفهان

در این تحقیق تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه و سالانه از طریق روش‌های برآورد تبخیر وتعرق تورنث وایت، بلینی کریدل، معادله لاری جانسون و روش اندازه‌گیری مستقیم (تشت) برای کلیه ایستگاه‌های منتخب محاسبه گردیده است (جدول۲). مطابق جدول، کمترین میزان تبخیر و تعرق بر اساس تشت تبخیر در سطح استان، مربوط به ماه ژانویه بوده در حالی که بیشترین آن در ماه ژوئیه رخ می‌دهد؛ به طوری که بیشینه تبخیر و تعرق در ایستگاه خور و بیابانک با مقدار ۳۲۲ میلیمتر در ماه ژوئیه و کمینه آن با مقدار ۱۵ میلیمتر در ماه ژانویه در ایستگاه اصفهان اتفاق می‌افتد. در روش معادله لاری جانسون تغییرات تبخیر و تعرق از مکانی به مکان دیگر و از فصولی به فصول دیگر بسیار کم است و تنها پارامتر موثر مقدار درجه روز می‌باشد و این تغییرات در سطح استان بین ۲۹۹ تا ۳۹۵ میلی متر در ماه‌های مختلف می‌باشد. علت عمده کم بودن تغییرات در این معادله به علت وجود مقدار ثابت ۲۴۴ میلی متر در معادله می‌باشد. در

روش تورنث وایت پارامترهای مؤثر، متوسط دمای سالانه و درجه روز می‌باشد و تغییرات تبخیر و تعرق نیز از مکانی به مکان دیگر و از فصولی به فصول دیگر زیاد است. این تغییرات در سطح استان بین ۱ تا ۲۲۲ میلی متر در ماه‌های مختلف می‌باشد. کمترین میزان تبخیر و تعرق با روش تورنث وایت به میزان ۱/۱ میلی متر در ماه ژانویه ایستگاه گلپایگان رخ داده است در حالی که بیشترین آن به میزان ۲۲۲/۸ میلی متر در ماه جولای ایستگاه خوربیابانک رخ می‌دهد. در روش بلانی کریدل نیز پارامترهای مؤثر دمای متوسط ماهانه و درصد سالانه تابش آفتاب می باشد و تغییرات آن در سطح استان بین ۱۰ تا ۲۳۴ میلی متر در ماه‌های مختلف می‌باشد به طوری که کمترین مقدار در ایستگاه گلپایگان ۹/۷ میلی متر در ماه ژانویه و بیشترین مقدار ۲۳۴ میلی متر در ماه جولای خوربیابانک اتفاق می‌افتد. مطابق شکل (۲) کمینه میزان تبخیر و تعرق در منطقه مربوط به ایستگاه گلپایگان می‌باشد. در این ایستگاه به علت ارتفاع زیاد و دماهای پایین و در نتیجه بالا بودن میزان رطوبت نسبی، میزان تبخیر و تعرق پایین می‌باشد. و همچنین بیشینه میزان تبخیر و تعرق سالانه به شمال شرق منطقه در ایستگاه خور و بیابانک مربوط می‌گردد که با توجه به نزدیکی به دشت کویر و دماهای بالا نسبت به ایستگاه‌های مجاور، میزان تبخیر و تعرق به ویژه در فصول بهار و تابستان به اوج خود می‌رسد.

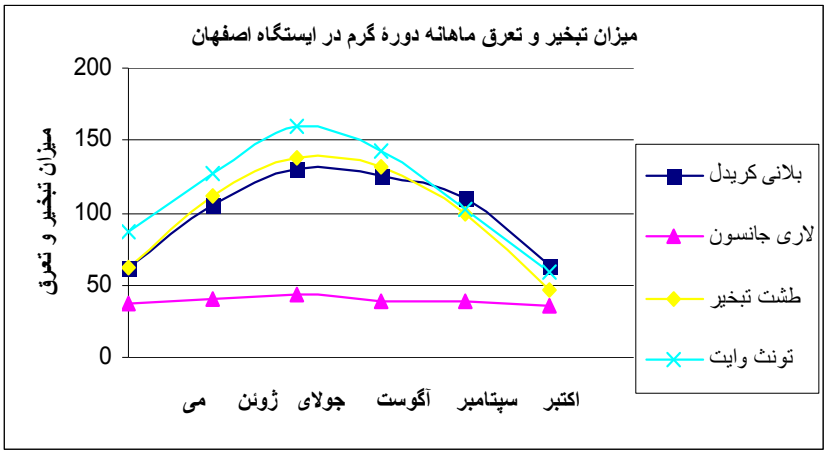
شکل۲. نمودار مقایسه تبخیر و تعرق سالیانه در ایستگاه‌های استان اصفهان

در ادامه برای بررسی بهتر تغییرات میزان تبخیر و تعرق در ماه‌های گرم و سرد سال، ایستگاه اصفهان به عنوان نمونه مورد بررسی قرار گرفت. مطابق شکل‌های (۳ و۴)،

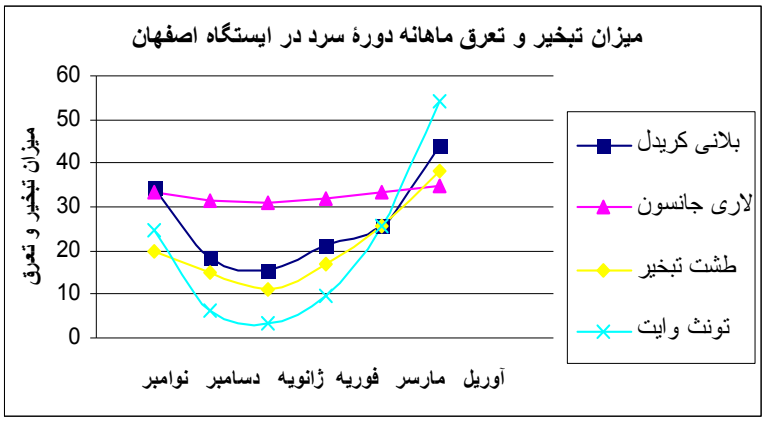


حداکثر میزان تبخیر و تعرق در ایستگاه اصفهان مربوط به ماه ژوئیه (تیر) می‌باشد. که نشان دهندهٔ شدت گرما در این ماه در استان اصفهان است که باعث افزایش میزان

تبخیر و تعرق می‌شود. پس از انجام مطالعات مشخص گردید که براساس مدل‌های بکار رفته برای محاسبه تبخیر و تعرق، کمترین مقدار تبخیر و تعرق ماهانه دوره سرد به روش تورنث وایت ملاحظه می‌گردد و بیشترین میزان آن در ماه‌های دوره گرم نیز مربوط به روش تورنث وایت است که حاصل بکارگیری پارامتر متوسط درجه حرارت ماهانه به تنهایی می‌باشد و با نادیده گرفتن پارامترهای اقلیمی مؤثر در میزان تبخیر و تعرق نظیر (وزش باد، رطوبت نسبی، تابش آفتاب و.... که در روش محاسبه بلینی کریدل مورد استفاده قرار می‌گیرد) باعث نوسانات شبانه روزی و ماهانه شدید درجه حرارت در منطقه شده و در ماه‌ها و فصول مختلف بر تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل اثرات مفرطی ایجاد می‌کند. همچنین برآورد تبخیر وتعرق به روش معادله لاری جانسون به صورتی است که نوسانات تبخیر و تعرق را به حداقل می‌رساند وتغییرات تبخیر و تعرق در یک بازه کوچکی قرار می‌گیرد که در منطقهٔ اصفهان این بازه تقریباً بین ۳۰ و ۴۰ قرار دارد. به طور کلی با توجه به محاسبات صورت گرفته، از غرب به شرق و همچنین از جنوب غرب به شمال شرق، بر میزان تبخیرو تعرق پتانسیل افزوده می‌شود که این ناشی از خشکی هوا، گرمای شدید سطح زمین و دوری از منابع رطوبتی دریا و نزدیکی به دشت کویر است که به ویژه با فرا رسیدن فصل گرم و افزایش ظرفیت رطوبتی هوا، تشدید می‌شود.



شکل۳. نمودار مقایسه تبخیر وتعرق ماهانه در دوره گرم سال در ایستگاه اصفهان



شکل۴. نمودار مقایسه تبخیر و تعرق ماهانه در دوره سرد سال در ایستگاه اصفهان

جدول ۲. محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل به روشهای بلینی- کریدل، لاری جانسون، تورنث وایت و تشت تبخیر در استان

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
ایستگاه	۱ ۲ ۳ ۴	۱ ۲ ۳ ۴	۱ ۲ ۳ ۴	۱ ۲ ۳ ۴	۱ ۲ ۳ ۴	۱ ۲ ۳ ۴	۱ ۲ ۳ ۴	۱ ۲ ۳ ۴	۱ ۲ ۳ ۴	۱ ۲ ۳ ۴	۱ ۲ ۳ ۴	۱ ۲ ۳ ۴
اصفهان	۱۵ ۲۰.۳ ۳۱۱ ۳.۵	۲۵ ۲۳.۶ ۳۲۰ ۹.۸	۳۱.۲ ۴۹.۶ ۳۳۲ ۲۵.۵	۴۸ ۴۴ ۳۵۰ ۵۴.۲	۹۰ ۶۲.۱ ۳۶۵ ۸۶.۱	۱۶۸ ۱۵۳ ۳۸۲ ۱۴۲	۲۲۰ ۲۰۳ ۳۸۷ ۱۹۶.۳	۱۷۵ ۱۵۶ ۳۸۴ ۱۴۸	۱۲۰ ۱۱۰.۱ ۳۷۳ ۱۰۲.۸	۶۰ ۶۴ ۳۵۴ ۵۹.۵	۳۲.۸ ۳۴.۲ ۳۳۲ ۲۴.۹	۲۴ ۱۸.۳ ۳۱۶ ۶.۴
گلپایگان	۱۶.۵ ۹.۷ ۲۹۹ ۱.۱	۴۲ ۱۶.۲ ۳۱۱ ۶.۴	۶۲.۴ ۳۵.۶ ۳۲۰ ۱۹.۸	۸۵.۲ ۷۲ ۳۴۰ ۴۶	۱۱۰ ۱۰۲.۳ ۳۵۱ ۸۷	۱۶۵.۲ ۱۴۹ ۳۶۸ ۱۳۲	۱۹۵ ۱۷۸ ۳۷۹ ۱۶۷	۱۹۰ ۱۵۹ ۳۷۸ ۱۳۰	۱۰۲ ۹۹.۸ ۳۶۲ ۹۲.۴	۷۴ ۷۹.۶ ۳۴۳ ۵۴.۳	۴۴.۱ ۲۱.۳ ۳۲۴ ۲۱.۵	۱۲.۱ ۱۷.۴ ۳۱۳ ۸.۳
کاشان	۴۱ ۱۸.۷ ۳۱۵ ۳.۳	۵۶.۸ ۲۲.۳ ۳۲۸ ۸.۴	۷۰.۲ ۴۵.۲ ۳۳۷ ۲۷.۱	۸۸ ۱۰۲ ۳۵۵ ۶۵.۶	۱۰۰ ۱۳۳.۲ ۳۷۰ ۱۲۸	۱۳۲ ۱۷۸ ۳۸۸ ۱۷۰.۶	۲۱۵ ۲۱۵ ۳۹۷ ۲۰۵	۲۰۲ ۱۸۹ ۳۹۵ ۱۹۰.۱	۱۵۵ ۱۳۷.۲ ۳۸۳ ۱۳۵	۹۴ ۸۳.۵ ۳۶۱ ۷۶	۷۴.۲ ۳۰.۲ ۳۳۷ ۲۴.۱	۲۵ ۱۵.۷ ۳۱۹ ۶.۴
خوروبیابانک	۳۹ ۲۴.۵ ۳۱۹ ۵.۱	۵۵ ۳۲.۳ ۳۳۱ ۹.۸	۸۶.۴ ۷۶.۳ ۳۴۰ ۳۰.۱	۱۰۹ ۹۶.۳ ۳۵۸ ۷۸.۶	۲۱۸ ۱۴۶.۵ ۳۷۳ ۱۶۳	۳۰۳.۵ ۱۹۸ ۳۸۹ ۱۹۲.۸	۳۲۲ ۲۳۴ ۳۹۵ ۲۲۲.۸	۳۰۵ ۲۰۸.۹ ۳۹۲ ۲۰۰	۳۰۰ ۱۵۸ ۳۸۲ ۱۴۵	۱۰۸ ۹۶.۳ ۳۶۳ ۷۸.۷	۸۹.۳ ۴۵.۳ ۳۴۰ ۳۳	۵۲ ۲۲.۳ ۳۲۵ ۹.۱
نائین	۳۱.۴ ۲۲.۹ ۳۱۳ ۴.۴	۵۲ ۲۸.۶ ۳۲۲ ۱۰.۳	۶۸.۴ ۴۸.۳ ۳۳۱ ۲۴.۱	۱۰۰ ۹۹.۳ ۳۵۲ ۵۶	۲۰۰.۱ ۱۷۵ ۳۶۵ ۱۴۵	۲۳۵ ۲۲۷ ۳۸۰ ۱۹۰.۲	۲۵۵.۳ ۲۲۸.۱ ۳۸۵ ۱۹۹.۵	۳۰۰ ۲۸۵.۲ ۳۸۳ ۲۵۸	۲۱۸.۶ ۲۰۹ ۳۷۳ ۱۶۰	۱۲۰.۶ ۹۹.۵ ۳۵۲ ۸۰.۵	۷۰ ۵۵.۱ ۳۳۲ ۴۵	۳۷ ۱۸.۶ ۳۱۹ ۸.۸
شهررضا	۲۴ ۲۱.۵ ۳۱۱ ۳.۶	۳۴ ۲۵.۸ ۳۲۱ ۹.۶	۵۷.۲ ۴۷.۳ ۳۳۰ ۲۴.۱	۷۴ ۹۵.۲ ۳۴۸ ۵۱.۷	۱۲۰.۳ ۱۲۵.۳ ۳۶۰ ۷۵.۸	۱۵۴.۷ ۱۴۸.۲ ۳۷۲ ۱۱۸.۵	۲۱۰ ۱۸۹ ۳۸۲ ۱۶۸	۱۴۸.۵ ۱۴۱ ۳۷۶ ۱۱۶.۷	۱۱۲.۹ ۱۰۲ ۳۶۷ ۸۹.۴	۸۵ ۷۱ ۳۵۰ ۴۸.۲	۳۵.۱ ۳۲.۱ ۳۲۶ ۲۴.۴	۱۰ ۱۹.۸ ۳۲۰ ۹.۲

- ۱. تشت تبخیر ۲. بلینی کریدل ۳. لاری جانسون ۴. تورنث وایت

۴-۲. پهنه بندی میزان تبخیر و تعرق در ایستگاه‌های استان اصفهان

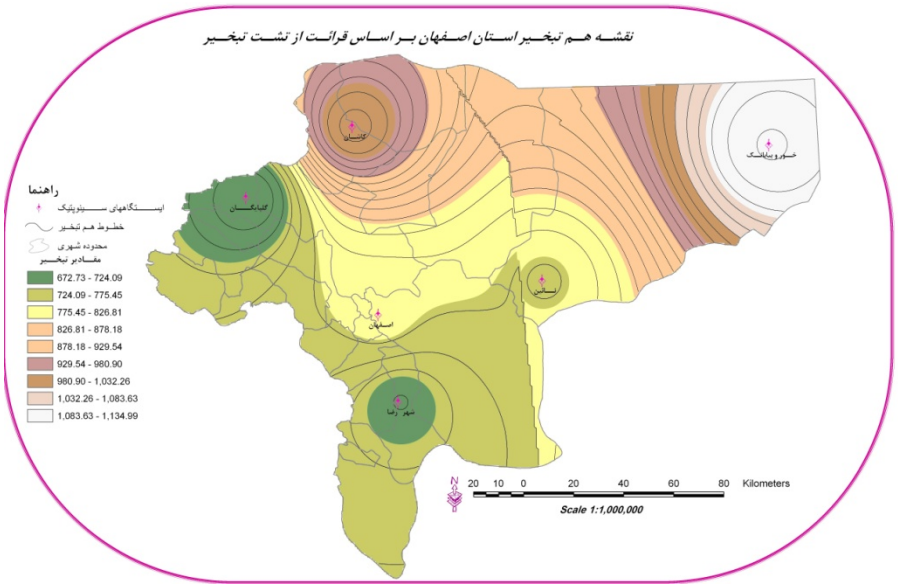
بعد از محاسبهٔ میزان تبخیر و تعرق پتانسیل، برای پهنه بندی میزان تبخیر و تعرق سالانه در استان اصفهان به عنوان نمونه و بطور مقایسه‌ای، از روش تورنث وایت و تشت تبخیر استفاده شد. بدین منظور در این تحقیق سعی شد تا از روش‌های موجود برای انترپولاسیون فضایی و تحلیل فضایی داده‌های مکانی، از مدل میان یابی IDW [1] استفاده شود. در این مدل در یک سطح میان یابی اثر یک پارامتر بر نقاط اطراف یکسان نبوده و نقاط نزدیک بیشتر و نقاط دور کمتر تحت تأثیراند و هر چه فاصله از مبدأ افزایش یابد، اثر کمتر خواهد شد (مک کوی[2]، جانستون[3]، ۱۳۸۵: ۱۱۰). در این روش پس از مشخص کردن مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل، بر اساس مدل تورنث وایت و همچنین تشت تبخیر، مقادیر تبخیر و تعرق به سطح تعمیم داده شد و در نهایت نقشه هم تبخیر استان با استفاده از نرم افزار ARC Map روی نقشه اعمال شد و نقشه‌های پهنه بندی تولید گردید. نتایج حاصل از پهنه بندی میزان تبخیر وتعرق واقعی براساس تشت تبخیر نشان داد که کمترین تبخیر در سطح استان در نواحی جنوبی و غربی استان رخ می دهد در حالی که هر چه به سمت شرق می رویم بر مقدار آن افزوده می شود(شکل ۵). همچنین پهنه بندی میزان تبخیر و تعرق پتانسیل بر اساس روش بلینی-کریدل با کمی اختلاف نسبت به تشت تبخیر، نشان می‌دهد که نواحی مرکزی و غربی نسبت به سایر بخش‌ها دارای کمترین تبخیر می باشند، ولی شرق استان به مراتب دارای تبخیر وتعرق بیشتری است(شکل ۶). و نیز پهنه بندی صورت گرفته بر اساس مدلهای تورنث وایت و لاری جانسون نشان داد که کمترین تبخیر و تعرق به ترتیب در ایستگاه اصفهان و گلپایگان رخ داده است (شکل ۷ و ۸). مطابق شکل (۲) کمینه میزان تبخیر و تعرق در منطقه مربوط به ایستگاه گلپایگان می‌باشد. در این ایستگاه به علت ارتفاع زیاد و دماهای پایین و در نتیجه بالا بودن میزان رطوبت نسبی، میزان تبخیر و تعرق پایین می‌باشد. و همچنین بیشینه میزان تبخیر و تعرق سالانه به شمال شرق منطقه در ایستگاه خور و بیابانک مربوط می‌گردد که با توجه به نزدیکی به دشت کویر و دماهای بالا نسبت به ایستگاه‌های مجاور، میزان تبخیر و تعرق به ویژه در فصول بهار و تابستان به اوج خود می‌رسد.

---

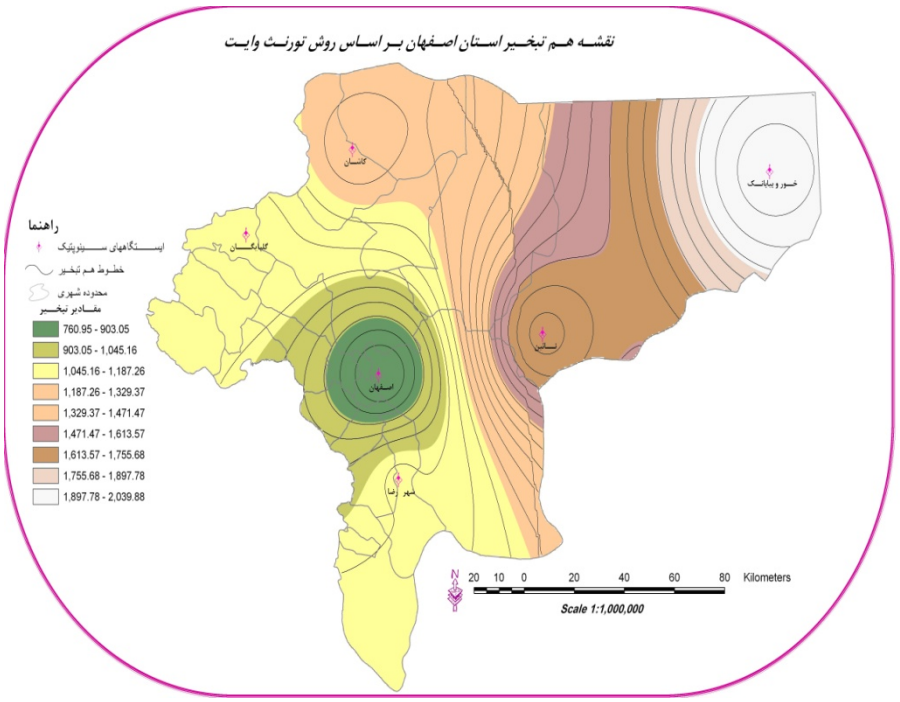
1 . Inverse Distance Weighted
2. McCoy
3. Johnstone

۵.بحث و نتیجه‌گیری

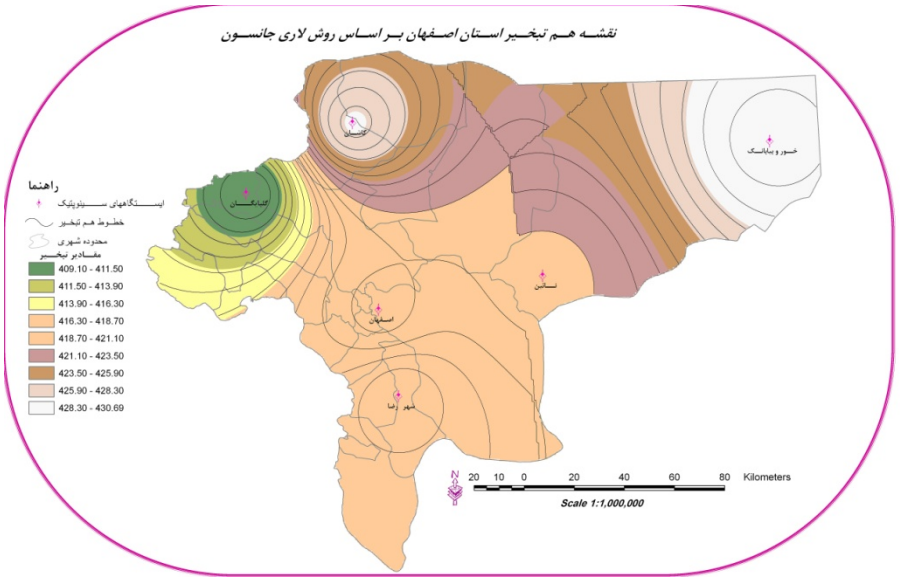
بررسی شرایط اقلیمی و به ویژه خشکی و خشکسالی‌ها و تعیین نیاز آبی با توجه به تبخیر و تعرق پتانسیل در نواحی بیابانی و نیمه بیابانی که هنوز هم از سیستم آبیاری سنتی برخوردارند، از نقطه نظرات مختلف دارای اهمیت فراوانی است. با توجه به این که از نظر اقلیم شناسی، مرزی که مناطق خشک را از مناطق مرطوب جدا می‌کند، خطی است که میزان بارندگی سالانه، برابر تبخیر و تعرق باشد و نیز میزان تبخیر و تعرق به طور طبیعی تا حدود زیادی تابعی از دما در هر ناحیه است، از این رو محاسبه این عناصر در تعیین شرایط خشکی، شدت، مدت و همچنین بیلان آبی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. در منطقه اصفهان به طور کلی و تحت شرایط طبیعی، در دوره گرم سال در نتیجه کمبود بیش از اندازه رطوبت در مقابل افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل، کمبود آب و در نتیجه نیاز شدید آبی در منطقه قابل ملاحظه است. نتایج حاصله نشان داد که، کمترین میزان تبخیر و تعرق بر اساس تشت تبخیر در سطح استان، مربوط به ماه ژانویه بوده در حالی که بشترین آن در ماه ژوئیه رخ می‌دهد؛ به طوری که بیشینه تبخیر و تعرق در ایستگاه خور و بیابانک با مقدار ۳۲۲ میلیمتر در ماه ژوئیه و کمینه آن با مقدار ۱۵ میلیمتر در ماه ژانویه در ایستگاه اصفهان اتفاق می‌افتد. و نیز با از بین روشهای بکار رفته در این تحقیق، مشخص گردید که محاسبه تبخیر و تعرق از روش بلانی کریدل بسیار نزدیک به اندازه گیری مستقیم(تشتک) می‌باشد که می‌توان آن را بهترین شاخص برای اندازه گیری و بررسی تبخیر و تعرق پتانسیل و نیاز آبی گیاه در منطقه در نظر گرفت. همچنین نتایج حاصل از پهنه بندی نشان داد که کمترین تبخیر وتعرق واقعی و پتانسیل در سطح استان اصفهان عمدتاً در بخش‌های جنوبی و غربی رخ می‌دهد در حالی که با نزدیک شدن به سمت شرق استان (ایستگاه خور بیابانک)، به دلایلی از جمله نزدیک شدن به دشت کویر و خشکی هر چه بیشتر هوا، تبخیر و تعرق به اوج خود می‌رسد. در نهایت با توجه به مقادیر بارش و مقایسه آنها به این نتیجه مهم می‌رسیم که در کل ماه‌های سال تبخیر وتعرق پتانسیل بالاتر از بارندگی است و این نسبت در فصل سرد کاهش یافته و در فصل خشک و گرم تشدید می‌شود که خود نشانه کمبود آب و نیاز آبی بالای گیاهان در منطقه است.



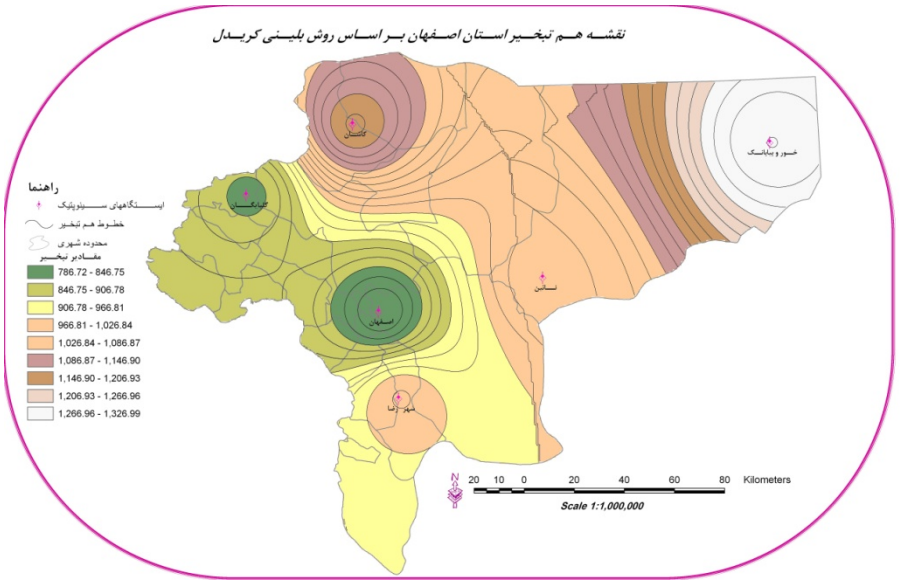
شکل۵. پهنه بندی میزان تبخیر و تعرق واقعی سالانه براساس تشت تبخیر در استان اصفهان



شکل۶. پهنه بندی میزان تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه به روش تورنث وایت در استان اصفهان



شکل۷. پهنه‌بندی میزان تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه به روش لاری جانسون دراستان اصفهان



شکل۸. پهنه‌بندی میزان تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه به روش بلینی-کریدل دراستان اصفهان

۶.منابع

۱. اشپیگل، ام، آر(۱۳۷۲)، **نظریه‌ها و مسائل آماری**، ترجمه پرویز نیساری، حمیده اسدی، انتشارات دانشگاه تبریز، چاپ اول.

۲. بارگاهی، خ‌ک و موسوی، س‌ع‌ا(۱۳۸۵)، **تأثیر سطوح ایستایی کم عمق و شوری آب زیر زمینی بر کمک آب زیر زمینی بر کمک آب زیر زمینی به تبخیر و تعرق گلرنگ در گلخانه**، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال دهم، شماره۳.

۳. تامپسون، ر(۱۳۸۲)، **فرآیندها و سیستم های جوی**، ترجمه حسین محمدی، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول ، ص۸۸.

۴. جعفرپور،ا(۱۳۸۰)، **مبانی اقلیم شناسی**، انتشارات دانشگاه پیام نور، چاپ سوم.

۵. خوش اخلاق، ف(۱۳۸۷)، جزوه درسی هیدرولوژی **آبهای سطحی ایران**، دروس کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا.

۶. رامشت، م‌ح(۱۳۸۴)، **جغرافیای خاک‌ها**، انتشارات دانشگاه اصفهان، چاپ دوم.

۷. سپاسخواه، ع، ر(۱۳۸۰)، **راهکارهای دیگر در مدیریت مزرعه برای مقابله با خشکسالی**، چکیده سیمینارها، ارایه شده در سیمینارهای اعضای هیئت علمی دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

۸. شاهکویی، ا(۱۳۷۸)، بررسی تبخیر و ارزیابی میزان آن در شرق دریای خزر، نشریه علمی فنی سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (سپهر)، شمارهٔ ۳۱.

۹. علیجانی، ب و کاویانی، م‌ر(۱۳۸۴)، **مبانی آب و هواشناسی**، انتشارات سمت، چاپ یازدهم.

۱۰. علیزاده، ا(۱۳۸۶)، **اصول هیدرولوژی کاربردی**، انتشارات دانشگاه امام رضا، چاپ بیست و دوم.

۱۱. فرهودی، ر و شمسی پور، ع (۱۳۷۹)، **برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل منطقهٔ بلوچستان جنوبی**، پژوهشهای جغرافیایی، شمارهٔ ۳۹.

۱۲. محمدی، ح (۱۳۸۵)، **آب و هواشناسی کاربردی**، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول.

۱۳. مک کوی، ج و جانستون، ک(۱۳۸۵)، **آموزش نرم افزار ARC GIS**(اسپشیال آنالیست)، ترجمه محمد میر محمد صادقی، انتشارات فرات، چاپ اول.

۱۴. مهدوی، م(۱۳۸۴)، **هیدرولوژی کاربردی**، انتشارات دانشگاه تهران، جلد اول،

۱۵. نوربخش، م(۱۳۷۶)، **برآورد تبخیر پتانسیل از طریق رگرسیون چند متغیره**، نشریه علمی فنی سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (سپهر)، شمارهٔ ۲۴.

16.Penman, H. L. (1959), a "Estimating Evaporation" Transpiration, American Geophysical Union, p115.

17.Thornthwaite, C. W. and J. R. Mather (1957); “Instructions and Tables for Computing Potential Evaportanspiration and the Water Balance," Publication in Climatology; Vol. 10, No. 3, pp 97-98. U. S. A, DREXEL Institute of Technology.