

برآورد میزان تبخیر و تعرق پتانسیل در ایستگاه‌های 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

پذیرش نهایی: ۸۹/۹/۲۵

دریافت مقاله: ۸۹/۵/۳

چکیده

تبخیر از سطوح مرطوب خاک و گیاه که آن را تبخیر و تعرق می‌نامند، یکی از پیچیده ترین فرآیندها در چرخه 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 و تعرق پتانسیل^۱ در سطح منطقه، اقدام به تحلیل نمودارهای مقایسه‌ای بین روش‌های تورنت وایت^۲، بلینی کریدل^۳ و معادله لاری جانسون^۴ 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، تورنت وایت، بلینی کریدل، معادله لاری جانسون، اصفهان

E-mail:

*نویسنده مسئول: ۰۹۳۵۵۰۲۲۷۱۱

Hanafi772@gmail.com

1. Potential Evapotranspiration
2. Thornthwaite
3. Blaney - Criddle
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 گرم، 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 آشناسی تبخیر به مجموعه پدیده‌هایی گفته می‌شود که آب را صرفاً از راه یک فرآیند فیزیکی به بخار تبدیل می‌کند (اشپیگل^۵، ۱۳۷۲: ۲۷۲). تبخیر و تعرق بالقوه عبارتست از تبخیر و تعرق از یک سطح مزروعی نامحدود که ارتفاع گیاهان آن یکسان بوده دارای رشد و فعالیت باشند. به علاوه این گیاهان با سایه 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). محاسبه تبخیر و تعرق بالقوه خیلی پیچیده است، تورنت وایت برای این منظور جدولهای پیچیده ای تنظیم کرده است (تورنت وایت و متر^۱، 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. نتیجه فرآیند تبخیر و تعرق رطوبت جو است (علیجانی و کاپانی، 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

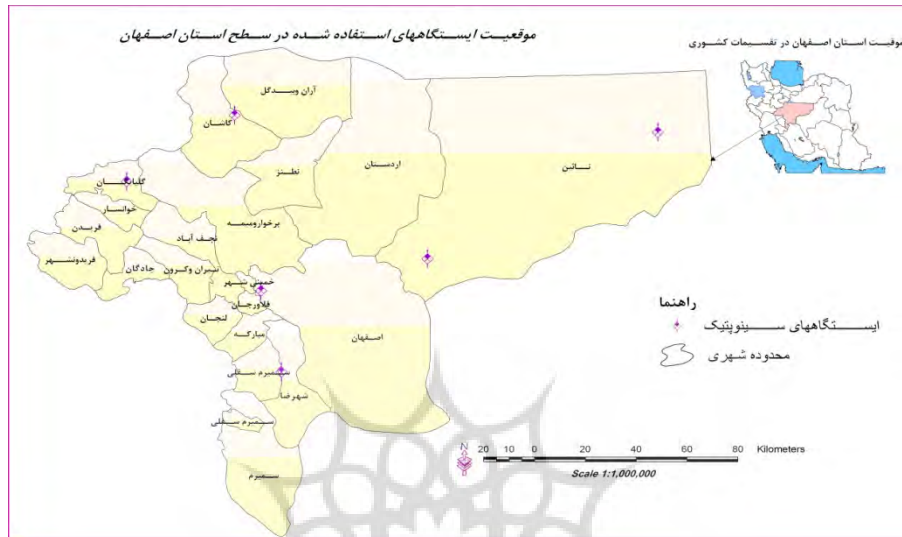
4. Penman - Monteith

5. Thompson

۶۱ درصد آن تبخیر می شود (خوش اخلاق، ۱۳۸۷). محاسبه 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 کره 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 محاسبه 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 تشتتها فقط در مورد تبخیر و تعرق به ما اطلاع می دهند در این صورت تعیین تبخیر فصلی ضروری می شود. در این مورد بعد از آزمایش های مختلف فرمول های گوناگونی مانند فرمول پنمن^۳، پنمن مونتیش^۴، تورنت وایت ارائه شده است. بعضی از این فرمول ها ساده اند و کاربرد شان آسان است و بعضی پیچیده اند و احتیاج به محاسبات زیادی دارند، ولی نتایج حاصل رضایت بخش است (محمدی، ۱۳۸۵: ۲۹-۳۰). در مورد تبخیر از سطح آب ها، درجه حرارت، شدت باد و درجه نمناکی بزرگترین نقش را بازی می کنند (پنمن، ۱۹۵۶: ۱۱۵). آخرین مرحله گردش آب درون پوشش گیاهی را تعرق گویند. میزان تعرق بر حسب شدت نور، درجه حرارت، سرعت باد و دوره گیاهی و بالاخره بر حسب جنس زمین و تراکم گیاهان تغییر می کند (جعفرپور، ۱۳۸۰: ۱۱۲-۱۱۰). ویژگی های آب که تنها بر تبخیر اثر می گذارند شامل کیفیت، عمق و اندازه پهنه آب می باشند. (تامپسون^۵، ۱۳۸۲: ۸۸). در دمای زیر صفر درجه سلسیوس تبخیری صورت نمی گیرد؛ زیرا در دماهای زیر صفر، مولکول های آب به جای حرکات نامنظم سیال وار، در حجم ثابت حرکت منظم پیدا می کنند. تشتک ها ساده ترین وسیله اندازه گیری تبخیر و تعرق می باشند. میزان تبخیر در تشتک های واقع در روی زمین، بیش از تشتک های داخل زمین می باشد چون که در آنها، اطراف و کف تشتک با هوا در تماس بوده و انرژی بیشتری نسبت به حالت تماس با خاک دریافت می کنند (مهدوی، ۱۳۸۴: ۹۱). از تحقیقات صورت گرفته در زمینه محاسبه تبخیر و تعرق، می توان به برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل از طریق رگرسیون چند متغیره توسط نوربخش (۱۳۷۶) در منطقه کوهستانی زاگرس (ایستگاه دامنه)، اشاره کرد. همچنین، فرهودی و شمسی پور (۱۳۷۹) در مقاله ای تحت عنوان برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل منطقه بلوچستان جنوبی به بررسی این امر پرداخته اند و نتیجه گرفته اند که منطقه بلوچستان جنوبی در تمام ماه های 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 می‌گیرد. 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 در نظر گرفته شد. جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده شده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

جدول ۱. 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
خورویابانک	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 و کیفی بوسیله آزمون ران تست^۱ مورد ارزیابی قرار گرفت و در ادامه با بهره‌گیری 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 و کار مناسب می‌باشد، از شاخص‌های محاسبه تبخیر و تعرق بلینی کریدل، تورنت وایت و معادله لاری جانسون استفاده گردید. مدل‌های استفاده شده در تحقیق

۲-۳. روش‌ها

۱-۲-۳. روش تورنت وایت

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

الف). ابتدا نمایه حرارتی (i_m) برای هر یک از ماههای سال از معادله زیر بدست می‌آید:

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

در این معادله i_m نمایه حرارتی هر ماه و T_m متوسط دمای هر ماه بر حسب سانتی‌گراد 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 \dot{I}_m برای آن ماه صفر در نظر 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 متر از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

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

که ضریب a در آن از معادله زیر بدست می‌آید:

$$a = (6.75 \times 10^{-7}) I^3 - (7.71 \times 10^{-5}) I^2 + (1.792 \times 10^{-2}) I + .492$$

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:

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

۲-۲-۲. روش بلینی - کریدل

یکی از قدیمی ترین روش‌های تخمین تبخیر- تعرق پتانسیل روش بلانی - کریدل است که بعداً فرمول پیشنهادی آنها توسط پروت^۱ 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 ماهانه 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 (U_{day}) دارد.

مقادیر a و b را می توان از معادله های زیر

$$a = .0043(RH_{\min}) - \frac{n}{N} - 1.41 \quad \text{بدست آورد:}$$

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

در این فورمول ها n تعداد ساعات واقعی آفتاب، N حداکثر ساعات ممکن تابش آفتاب، RH_{\min} حداقل رطوبت نسبی (درصد) و U_{day} سرعت باد در طول روز در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (متر بر ثانیه) است.

۳-۲-۳. معادله لاری جانسون

لاری جانسون یک رابطه خطی را بین تبخیر- تعرق پتانسیل (PET) و گرمای موثر به صورت زیر پیشنهاد نموده‌اند:

$$PET = (0.004755D_m + 24.4) \quad \text{(علیزاده، ۱۳۸۶: ۲۴۵)}$$

در این معادله D_m مقدار درجه روز جمعی دماهای ماکزیمم روزانه برای دوره مورد نظر می‌باشد. لازم به ذکر است D_m بر حسب درجه فارنهایت محاسبه می‌شود. در این صورت PET برحسب سانتی متر بدست می‌آید.

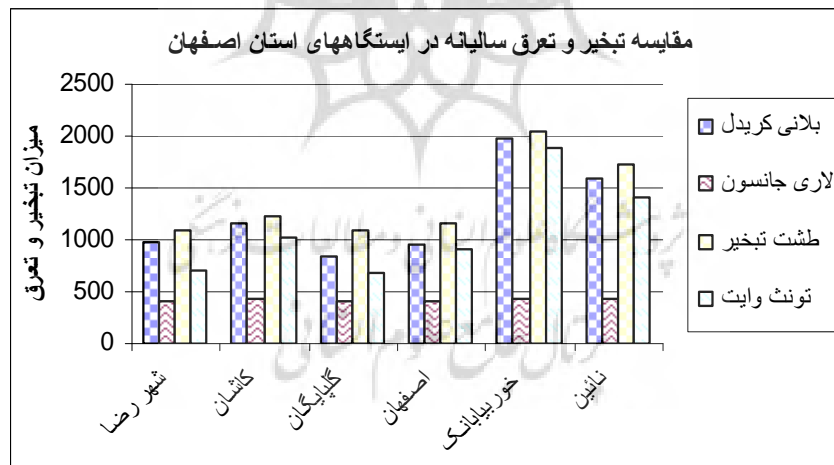
۴. یافته‌های تحقیق

۴-۱. تجزیه و تحلیل تبخیر ایستگاه‌های استان اصفهان

در این تحقیق تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه و سالانه از طریق روش‌های برآورد تبخیر و تعرق تورنت وایت، بلینی کریدل، معادله لاری جانسون و روش اندازه‌گیری مستقیم (تشت) برای کلیه ایستگاه‌های منتخب محاسبه گردیده است (جدول ۲). 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

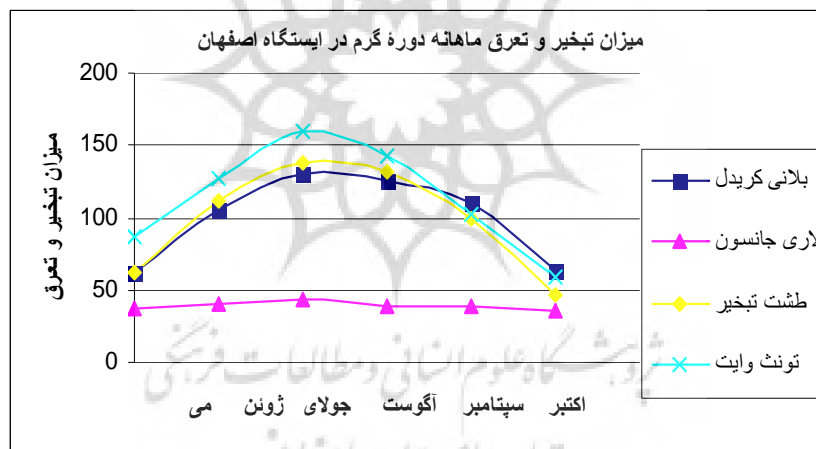
روش تورنت وایت پارامترهای مؤثر، متوسط دمای سالانه و درجه روز می‌باشد و تغییرات تبخیر و تعرق نیز از مکانی به مکان دیگر و از فصولی به فصول دیگر زیاد است. این تغییرات در سطح استان بین ۱ تا ۲۲۲ میلی متر در ماه‌های مختلف می‌باشد. کمترین میزان تبخیر و تعرق با روش تورنت وایت به میزان ۱/۱ میلی متر در ماه ژانویه ایستگاه گلپایگان رخ داده است در حالی که بیشترین آن به میزان ۲۲۲/۸ میلی متر در ماه جولای ایستگاه خوربیبانک رخ می‌دهد. در روش بلانی کریدل نیز پارامترهای مؤثر دمای متوسط ماهانه و درصد سالانه تابش آفتاب می‌باشد 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 خوربیبانک 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.

شکل ۲. 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 و ۴)،

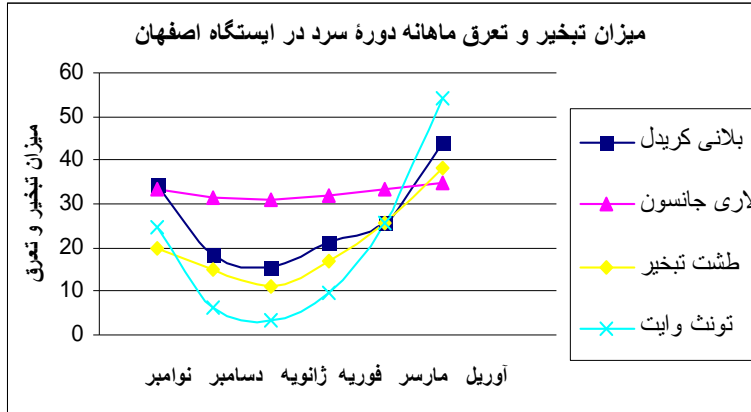


حداکثر میزان تبخیر و تعرق در ایستگاه اصفهان مربوط به ماه ژوئیه (تیر) می‌باشد. که نشان دهنده شدت گرما در این ماه در استان اصفهان است که باعث افزایش میزان

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 تورنت وایت ملاحظه می‌گردد و بیشترین میزان آن در ماه‌های دوره گرم نیز مربوط به روش تورنت 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 مفراطی ایجاد می‌کند. همچنین برآورد تبخیر و تعرق به روش معادله لاری جانسون به صورتی است که نوسانات تبخیر و تعرق را به حداقل می‌رساند و تغییرات تبخیر و تعرق در یک بازه کوچکی قرار می‌گیرد که در منطقه 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 تبخیر و 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.



شکل ۳. نمودار مقایسه تبخیر و تعرق ماهانه در دوره گرم سال در ایستگاه اصفهان



شکل ۴. 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، تورنت وایت و تشت تبخیر در استان

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
ایستگاه	۱	۲	۳	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
	۱۵	۲۵	۳۱.۲	۴۸	۹۰	۱۶۸	۲۲۰	۱۷۵	۱۲۰	۶۰	۳۲.۸	۲۴
	۲۰.۳	۲۳.۶	۴۹.۶	۴۴	۶۲.۱	۱۵۳	۲۰۳	۱۵۶	۱۱۰.۱	۶۴	۳۴.۲	۱۸.۳
	۳۱۱	۳۲۰	۳۳۲	۳۵۰	۳۶۵	۳۸۲	۳۸۷	۳۸۴	۳۷۳	۳۵۴	۳۳۲	۳۱۶
۳.۵	۹.۸	۲۵.۵	۵۴.۲	۸۶.۱	۱۴۲	۱۹۶.۳	۱۴۸	۱۰۲.۸	۵۹.۵	۲۴.۹	۶.۴	
گلبایگان	۱۶.۵	۴۲	۶۲.۴	۸۵.۲	۱۱۰	۱۶۵.۲	۱۹۵	۱۹۰	۱۰۲	۷۴	۴۴.۱	۱۲.۱
	۹.۷	۱۶.۲	۳۵.۶	۷۲	۱۰۲.۳	۱۴۹	۱۷۸	۱۵۹	۹۹.۸	۷۹.۶	۲۱.۳	۱۷.۴
	۲۹۹	۳۱۱	۳۲۰	۳۴۰	۳۵۱	۳۶۸	۳۷۹	۳۷۸	۳۶۲	۳۴۳	۳۲۴	۳۱۳
	۱.۱	۶.۴	۱۹.۸	۴۶	۸۷	۱۳۲	۱۶۷	۱۳۰	۹۲.۴	۵۴.۳	۲۱.۵	۸.۳
کاشان	۴۱	۵۶.۸	۷۰.۲	۸۸	۱۰۰	۱۴۲	۲۱۵	۲۰۲	۱۵۵	۹۴	۷۴.۲	۲۵
	۱۸.۷	۲۲.۳	۴۵.۲	۱۰۲	۱۳۳.۲	۱۷۸	۲۱۵	۱۸۹	۱۳۷.۲	۸۳.۵	۳۰.۲	۱۵.۷
	۳۱۵	۳۲۸	۳۳۷	۳۵۵	۳۷۰	۳۸۸	۳۹۷	۳۹۵	۳۸۳	۳۶۱	۳۳۷	۳۱۹
	۳.۳	۸.۴	۲۷.۱	۶۵.۶	۱۲۸	۱۷۰.۶	۲۰۵	۱۹۰.۱	۱۳۵	۷۶	۲۴.۱	۶.۴
خوروبابانک	۳۹	۵۵	۸۶.۴	۱۰۹	۲۱۸	۳۰۳.۵	۳۲۲	۳۰۵	۳۰۰	۱۰۸	۸۹.۳	۵۲
	۲۴.۵	۳۲.۳	۷۶.۳	۹۶.۳	۱۴۶.۵	۱۹۸	۲۴۴	۲۰۸.۹	۱۵۸	۹۶.۳	۴۵.۳	۲۲.۳
	۳۱۹	۳۳۱	۳۴۰	۳۵۸	۳۷۳	۳۸۹	۳۹۵	۳۹۲	۳۸۲	۳۶۲	۳۴۰	۳۲۵
	۵.۱	۹.۸	۳۰.۱	۷۸.۶	۱۶۳	۲۲۲.۸	۲۰۰	۲۰۰	۱۴۵	۷۸.۷	۳۳	۹.۱
نائین	۳۱.۴	۵۲	۶۸.۴	۱۰۰	۲۰۰.۱	۲۳۵	۲۵۵.۳	۳۰۰	۲۱۸.۶	۱۲۰.۶	۷۰	۳۷
	۲۲.۹	۲۸.۶	۴۸.۳	۹۹.۳	۱۷۵	۲۲۷	۲۲۸.۱	۲۸۵.۲	۲۰۹	۹۹.۵	۵۵.۱	۱۸.۶
	۳۱۳	۳۲۲	۳۳۱	۳۵۲	۳۶۵	۳۸۰	۳۸۵	۳۸۳	۳۷۳	۳۵۲	۳۳۲	۳۱۹
	۴.۴	۱۰.۳	۲۴.۱	۵۶	۱۴۵	۱۹۰.۲	۱۹۹.۵	۲۵۸	۱۶۰	۸۰.۵	۴۵	۸.۸
شهرضا	۲۴	۳۴	۵۷.۲	۷۴	۱۲۰.۳	۱۵۴.۷	۲۱۰	۱۴۸.۵	۱۱۲.۹	۸۵	۳۵.۱	۱۰
	۲۱.۵	۲۵.۸	۴۷.۳	۹۵.۲	۱۲۵.۳	۱۴۸.۲	۱۸۹	۱۴۱	۱۰۲	۷۱	۳۲.۱	۱۹.۸
	۳۱۱	۳۲۱	۳۳۰	۳۴۸	۳۶۰	۳۷۲	۳۸۲	۳۷۶	۳۶۷	۳۵۰	۳۲۶	۳۲۰
	۳.۶	۹.۶	۲۴.۱	۵۱.۷	۷۵.۸	۱۱۸.۵	۱۶۸	۱۱۶.۷	۸۹.۴	۴۸.۲	۲۴.۴	۹.۲

• ۱. تشت تبخیر ۲. بلینی کریدل ۳. لاری جانسون ۴. تورنت وایت

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

بعد از محاسبه میزان تبخیر و تعرق پتانسیل، برای پهنه بندی میزان تبخیر و تعرق سالانه در استان اصفهان به عنوان نمونه و بطور مقایسه‌ای، از روش تورنت وایت و تست 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^۱ 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^۲، جانستون^۳، ۱۳۸۵: ۱۱۰). در این روش پس از مشخص کردن مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل، بر اساس مدل تورنت وایت و همچنین تست 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 و تعرق واقعی براساس تست 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 تست تبخیر، نشان می دهد که نواحی مرکزی و غربی نسبت به سایر بخش‌ها دارای کمترین تبخیر می باشند، ولی شرق استان به مراتب دارای تبخیر و تعرق بیشتری است (شکل ۶). و نیز پهنه بندی صورت گرفته بر اساس مدل‌های تورنت 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 می باشد. در این ایستگاه به علت ارتفاع زیاد و دماهای پایین و در نتیجه بالا بودن میزان رطوبت نسبی، میزان تبخیر و تعرق پایین می باشد. و همچنین بیشینه میزان تبخیر و تعرق سالانه به شمال شرق منطقه در ایستگاه خور و بیابانک مربوط می گردد 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 می رسد.

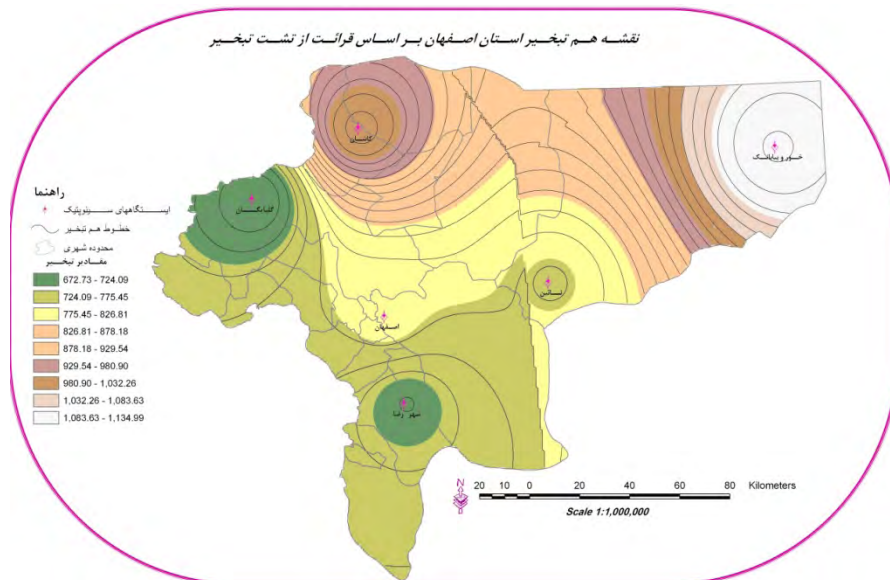
1. Inverse Distance Weighted

2. McCoy

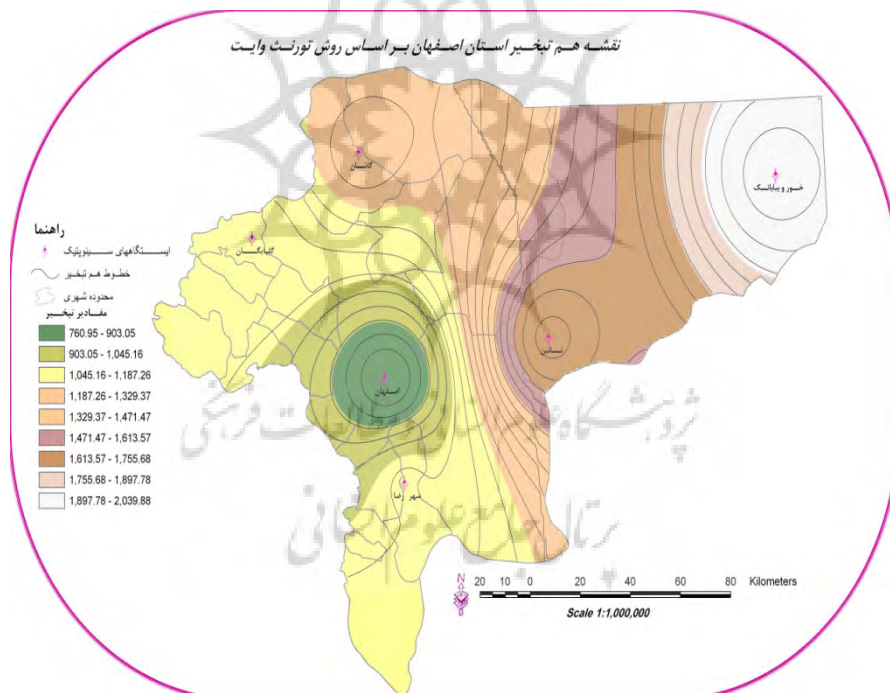
3. Johnstone

۵. بحث و نتیجه‌گیری

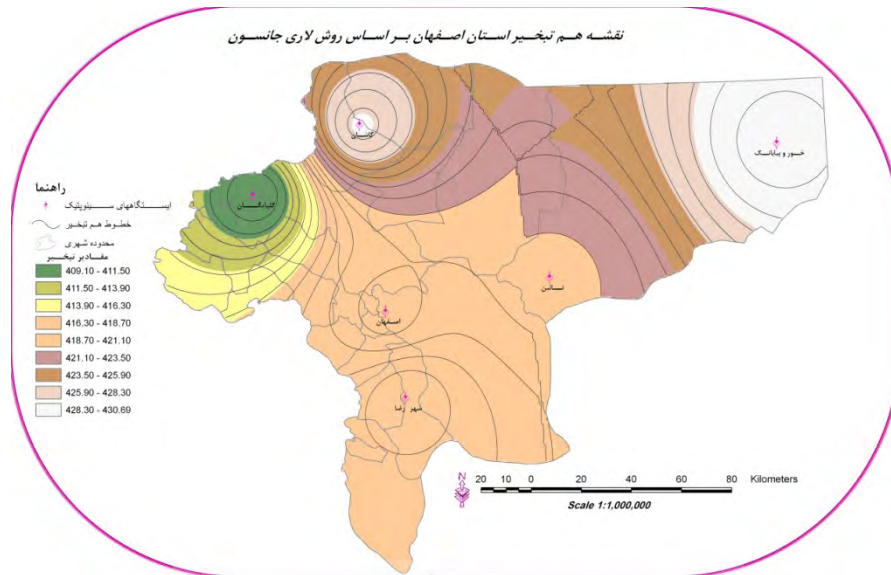
بررسی شرایط اقلیمی و به ویژه خشکی و خشکسالی‌ها و تعیین نیاز آبی با توجه به تبخیر و تعرق پتانسیل در نواحی بیابانی و نیمه بیابانی که هنوز هم از سیستم آبیاری سنتی برخوردارند، از نقطه نظرات مختلف دارای اهمیت فراوانی است. با توجه به این که از نظر اقلیم شناسی، مرزی که مناطق خشک را از مناطق مرطوب جدا می‌کند، 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 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. 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 و تعرق 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 و تعرق 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.



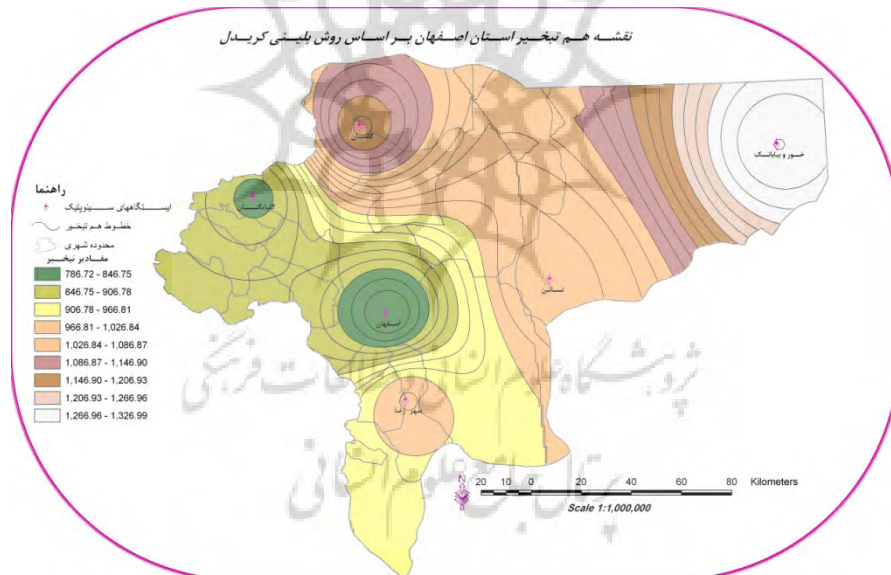
شکل ۵. پهنه بندی میزان تبخیر و تعرق واقعی سالانه براساس تشت تبخیر در استان اصفهان



شکل ۶. پهنه بندی میزان تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه به روش تورنت وایت در استان اصفهان



شکل ۷. پهنه‌بندی میزان تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه به روش لاری جانسون در استان اصفهان



شکل ۸. پهنه‌بندی میزان تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه به روش بلینی-کریدل در استان 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، سع (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، شماره ۳.
۳. تامپسون، ر (۱۳۸۲)، **فرآیندها و سیستم‌های جوی**، ترجمه حسین محمدی، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، ص ۸۸.
۴. جعفرپور، ا (۱۳۸۰)، **مبانی اقلیم‌شناسی**، 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، م (۱۳۸۴)، **جغرافیای خاک‌ها**، انتشارات دانشگاه اصفهان، چاپ دوم.
۷. سپاسخواه، ع، ر (۱۳۸۰)، **راهکارهای دیگر در مدیریت مزرعه برای مقابله با خشکسالی**، چکیده سیمینارها، ارائه 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)، شماره ۳۱.
۹. علیجانی، ب و کاویانی، م (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. فراهودی، ر و شمسی پور، ع (۱۳۷۹)، **برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل منطقه بلوچستان جنوبی**، پژوهشهای جغرافیایی، شماره 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 (اسپیشال 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)، شماره 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 Evapotranspiration and the Water Balance," Publication in Climatology; Vol. 10, No. 3, pp 97-98. U. S. A, DREXEL Institute of Technology.