

مدلسازی نقش توپوگرافی در برآورد و پهنه بندی تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی - شهرستان سبزوار)

حسن لشکری^(۱*)، قاسم کیخسروی^۲، سید مصطفی غیاثی^۳

۱- دانشیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۲- مربی دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، دانشگاه شهید بهشتی

پذیرش مقاله: ۱۳۸۸/۸/۹

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۸۹/۱/۱۸

چکیده

مهمترین عامل موثر در تبخیر و تعرق، انرژی خورشیدی می باشد. بطوریکه هر تغییری در میزان انرژی رسیده، در افزایش یا کاهش تبخیر و تعرق موثر است.

در این مقاله سعی بر این است که با اثر وارد کردن ارتفاع و جهت شیب در روشهای متداول برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل نسبت به اصلاح آنها اقدام گردد. ضریب به دست آمده از برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از انرژی تابشی برای هر جهت در مرحله اول نشان داد که در ارتفاع برابر، میزان تبخیر تعرق پتانسیل در جهت جنوبی ۲۳/۳۴ درصد بیشتر از جهت های شمالی است. در مرحله بعد، با وارد نمودن نقشه توپوگرافی شهرستان سبزوار به محیط برنامه GIS نقشه DEM تهیه و سپس به تهیه نقشه جهت شیب آن اقدام شد. این نقشه نشان داد جهت رو به شمال بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده است. بعد از تهیه نقشه تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از رابطه همبستگی ارتفاع ایستگاهها با میزان تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شده، برای هر ایستگاه ضرایبی به دست آمده در هر کدام از جهات، در نقشه جدید تبخیر و تعرق پتانسیل اعمال و نقشه فوق با توجه به تغییرات ارتفاع و جهت شیب اصلاح گردید. با استفاده از جداول اطلاعات نقشه، مقادیر هر سلول جمع و میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل برای کل حوضه برآورد شد که مقدار آن ۱۱۶۴/۸ میلی متر می باشد.

واژه های کلیدی: تبخیر و تعرق پتانسیل، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، سبزوار

مقدمه

اهمیت تبخیر و تعرق از آنجا مشخص می شود که بدانیم در مقیاس جهانی حدود ۵۷ درصد آبی که در روی خشکیها به صورت نزولات جوی فرو می ریزد، مستقیماً تبخیر می شوند. مقدار تبخیر از روی دریاها ۱۱۰ درصد مقدار نزولات جوی روی آنهاست. در آب و هوای خشک و نیمه خشک قسمت اعظم بارندگیهای سالانه بلافاصله پس از بارش توسط تبخیر یا تعرق مجدداً وارد جو می شود.

به استثنای تبخیر از سطوح آزاد آب (مانند دریاها، دریاچه ها، رودخانه ها و مخازن آب) تبخیر در سطح زمین همواره با تعرق همراه بوده و مقدار تبخیر از سطوح مرطوب خاک و گیاه را نمی توان از یکدیگر تفکیک کرد. به همین دلیل به مجموع مقدار تبخیر^۱ از سطح خاک و مقدار آبی که از طریق ریشه های گیاه جذب و سطوح شاخ و برگ آن تعرق^۲ می پذیرد، تبخیر و تعرق^۳ گفته می شود (علیزاده، ۱۳۸۳).

میزان تبخیر در یک منطقه از این نظر حایز اهمیت است که طبقه بندیهای اقلیمی معمولاً بر اساس آن صورت می گیرد. در فعالیتهای عمرانی تبخیر از دو نظر حایز اهمیت است، زیرا اولاً تبخیر مستقیم از سطح رودخانه ها، دریاچه ها و مخازن سدها باعث تلفات آب می شود. ثانیاً تبخیر و تعرق از سطح پوشش گیاهی داخل حوضه های آبریز نیز جزء مهم بیلان آب به حساب می آید. برآورد میزان آبی که در اثر آبیاری به مصرف تعرق زراعت و درختان می رسد، بر اساس تبخیر و تعرق است (علیزاده و همکاران، ۱۳۷۹).

خصوصیات پوشش گیاهی، درجه تراکم آن و شدت تابش خورشید به ویژه در لایه های مجاور خاک در دمای هوا و نمناکی اثر بخشیده و به طور غیر مستقیم در شدت تبخیر نقش بازی می کنند. گیاهان آبی را که برای تامین فعالیت حیاتی خود از طریق زمین بدست می آورند. بعد از مصرف به صورت بخار آب به جو پس می دهند. مقدار بخار آبی که از طریق تعرق گیاهان به جو پس داده می شود، خیلی زیاد است و شاید در پاره ای از نواحی از تبخیر مستقیم از سطح زمین نیز بیشتر باشد. میزان تعرق بر حسب شدت نور، دما، سرعت باد و دوره گیاهی و بالاخره بر حسب جنس زمین و تراکم گیاهان تغییر می کند (جعفرپور، ۱۳۷۳).

انرژی خورشیدی مهمترین عامل موثر در تبخیر و تعرق بوده و هر گونه تغییر در میزان انرژی رسیده به سطح زمین، می تواند در میزان تبخیر و تعرق موثر باشد. این عوامل می توانند به دو دسته تقسیم شوند:

۱- عوامل جوی

۲- عامل ناهمواری

هر چند اکثر مدل‌های موجود برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل، میزان تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین را با توجه به عرض جغرافیایی، طول روشنایی روز و حتی ضریب انعکاس نور از سطح زمین نیز در نظر گرفته اند اما کمتر توجهی به جهت شیب آن داشته اند. در حالی که اختلاف های موجود در میزان دریافت انرژی خورشیدی در کوهستانهای مناطق خشک که ناشی از اختلاف در جهت شیب ها و میزان شیب می باشد، باعث اختلاف های زیادی در تبخیر رطوبت خاک و تعرق گیاه در شیب های رو به جنوب نسبت به شیب های شمالی شده است.

بی گمان اطلاعات دقیق و به هنگام، رکن مهم توسعه پایدار به شمار می آید. به ویژه در عصر

1 - Evaporation
2 - Transpiration
3- Evapotranspiration

پتانسیل^۴ و تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ETO) از نظر مفهومی یکی در نظر گرفته شده و به هر دو تبخیر و تعرق پتانسیل نامیده می شود (احمدی و میرخالق، ۱۳۷۴).

کلاسنس و همکاران (۱۹۹۴) برای تهیه نقشه تبخیر و تعرق مرجع کلرادو، پارامترهای اقلیمی را در نقاط مختلف جمع آوری و سپس با استفاده از تحلیل همبستگی، روابط معنی داری بین پارامترهای اقلیمی و ارتفاع بدست آوردند (کلاسنس و همکاران، ۱۹۹۴).

فنسی و وگل (۱۹۹۶) داده های ۳۴ ایستگاه درجه یک و مدل پنمن-مانتیت را برای تخمین تبخیر و تعرق مرجع ماهانه در منطقه شمال شرق ایالات متحده امریکا بکار گرفتند. برای درون یابی تبخیر و تعرق در سطح منطقه از رگرسیون چند متغیره استفاده گردید. که متغیرهای مستقل این رابطه رگرسیونی، میانگین دمای ماهانه، طول جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا بوده است (فنسی و وگل، ۱۹۹۶).

روچاس و رولدان (۱۹۹۶) برای برنامه ریزی آبیاری درختان زیتون در استان جین اسپانیا برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع از معادله هارگریوز و برای پهنه بندی و درون یابی از روش معکوس مربع فاصله در سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده کردند (روچاس و رولدان، ۱۹۹۶).

اسکوپ و اکیوارون (۱۹۹۷) در یکی از حوضه های آبریز دانمارک از نقشه کاربری اراضی، سری های زمانی بارش ماهانه و تبخیر و تعرق پتانسیل در یک معادله رگرسیونی استفاده کرده و توزیع فضایی تبخیر و تعرق واقعی را تخمین زدند (اسکوپ و اکیوارون، ۱۹۹۷).

ری و ددوال (۲۰۰۱) با استفاده از داده های سنجنده WIFS ماهواره LRS-LC و همچنین

حاضر که افزایش نیازها و به تبع آن بهره گیری گسترده از منابع، سبب تجدید تراکنش بین انسان و طبیعت شده و جوامع بشری را با بحران ها و نابسامانی های عدیده ای مواجه ساخته است. در این بین نقش اطلاعات در مدیریت منابع، بسیار مهم و حیاتی تلقی شده است. باید توجه داشت حصول اطلاعات و مدیریت مناسب آن نیازمند ابزار و روش های کارآمدی است که پیشرفت های اخیر فناوری، امکانات بیشتری را در اختیار مدیران و برنامه ریزان جهت تصمیم گیری صحیح تر قرار داده است.

در میان مهمترین ابزارهای مدیریت منابع، باید از سیستم اطلاعات جغرافیایی (ساج)^۱ نام برد که در عرصه های مختلف برنامه ریزی توسعه، مدیریت منابع و مطالعات علمی و پژوهشی جهان راه یافته است و کاربردهای وسیعی را به جوامع علمی معرفی کرده است.

با پیشرفت و گسترش سامانه های اطلاعات جغرافیایی (ساج) در علوم زمینی^۲ و بویژه اقلیم شناسی، تسهیلات و قابلیت های فراوانی در این زمینه بوجود آمده است (مهربان و عشقی، ۱۳۸۴). در سالهای اخیر، افزوده شدن فناوری موقعیت یابی جهانی^۳ به عنوان یکی از ابزارهای اساسی ساج به این تکنولوژی، عصر جدیدی در افزایش قابلیت استفاده از ساج را در مدیریت منابع باز کرده است (جلالا، ۱۹۸۱).

پیشینه تحقیق

تبخیر تعرق گیاه مرجع اصولاً برابر تبخیر و تعرق پتانسیل است. علیرغم این تفاوت که سطح برگ خیس نیست و گیاه مرجع معمولاً چمن کوتاه یا یونجه می باشد، ولی در این تحقیق تبخیر و تعرق

1- Geographical Information System

2- Geosciences

3- Global Positioning System

4- Potential evapotranspiration (ETP)

رگرسیون توسط نرم افزار SPSS برطرف شد. همچنین به دلیل نبود ایستگاه در منطقه مورد مطالعه، ایستگاه کاشمر با عنوان یکی از ایستگاههای مجاور شهرستان سبزوار انتخاب گردید. پس از آن اقدام به محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل هر کدام از ایستگاهها به روش تورنت وایت شد.

بعد از آن با وارد کردن ارتفاع و جهت شیب روش تبخیر و تعرق پتانسیل نسبت به آن اصلاح گردید. برای این منظور ابتدا میزان انرژی خورشیدی رسیده به سطح زمین با توجه به ارتفاع و جهت برآورد گردید و این مقادیر برآورد شده انرژی رسیده به سطح زمین برای جهت های شمال و جنوب با استفاده از رابطه ۹ محاسبه شد. از این مقادیر، ضرایبی برای تاثیر دادن اثر جهت به منظور تصحیح میزان تبخیر و تعرق محاسبه شده با استفاده از مدل‌های متداول برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل (روش ترنت وایت) استخراج گردید. سپس با برقراری رابطه رگرسیونی بین میزان تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شده برای ۴ ایستگاه موجود در منطقه مورد نظر با ارتفاع هر ایستگاه انجام گردید و برای هر ارتفاع معین میزان تبخیر تعرق پتانسیل محاسبه گردید.

مشخصات ایستگاهها در جدول ۱ و موقعیت ایستگاهها در شکل ۱ نشان داده شده است.

استفاده از ساج، تبخیر و تعرق محصول را در ناحیه گجرات^۱ هند برآورد کرد (ری و ددوال، ۲۰۰۱).

اقدسی (۱۳۷۹) در زمینه انتخاب روش مناسب جهت تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل در منطقه سمنان، بررسی هایی را انجام داده و چنین نتیجه گیری نمود است که کاربرد روشهایی مبتنی بر دما و تابش های خورشیدی در مناطق خشک و نیمه خشک جهت تعیین تبخیر و تعرق بر سایر روشها ارجحیت دارد. از آنجا که کاربرد روش سامانی- هارگریوز به حداقل داده های هواشناسی نیاز دارد و از طرفی این روش تطابق خوبی با شرایط آب و هوایی ایران دارد، پیشنهاد نمود که رابطه مذکور با استفاده از داده های لایسیمیتری برای نقاط مختلف اصلاح گردد (اقدسی، ۱۳۷۹). مهدیان و همکاران (۱۳۸۰) مطالعه ای به منظور برآورد دما و تبخیر با روشهای متوسط متحرک وزنی، کریجینگ و تین پلیت اسموتینگ اسپیلنس در حوضه مرکزی انجام داده و روش تین پلیت اسموتینگ اسپیلنس برای منطقه پیشنهاد شد (مهدیان و همکاران، ۱۳۸۰).

مواد و روش مطالعه

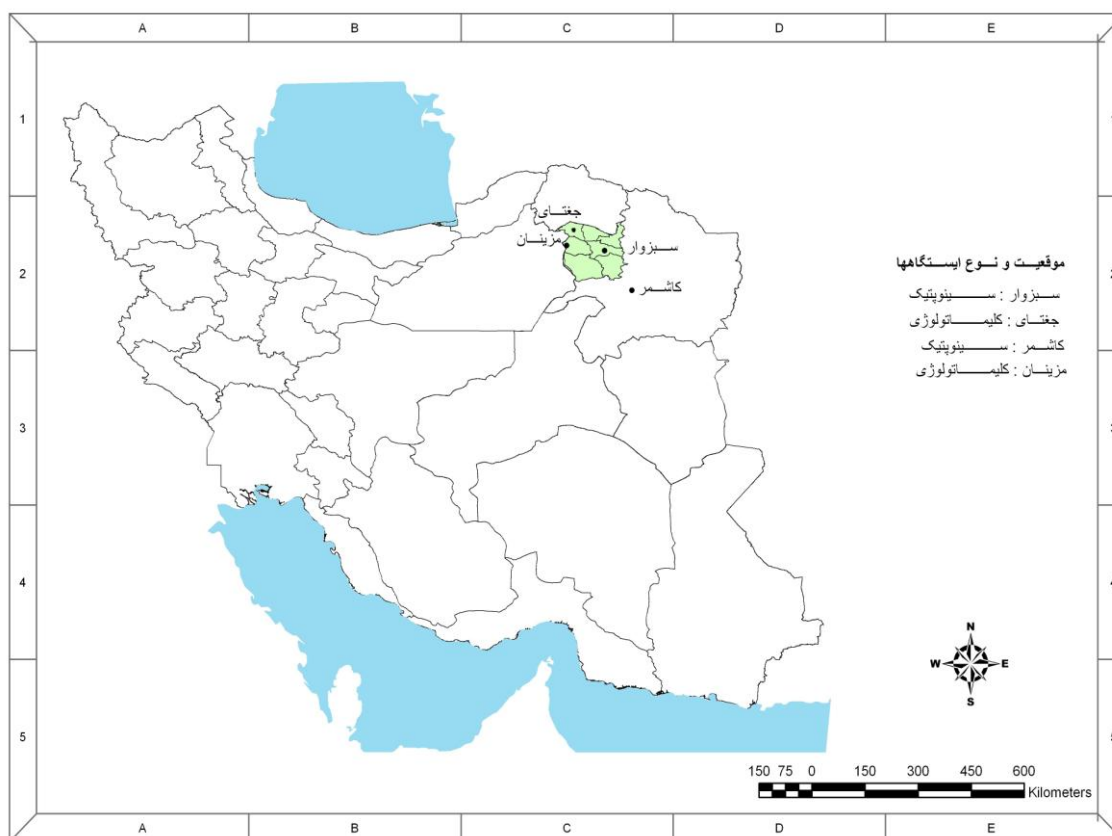
شهرستان سبزوار از طول جغرافیایی $04^{\circ} 56'$ تا $15^{\circ} 58'$ شرقی و عرض $30^{\circ} 35'$ تا $58^{\circ} 36'$ شمالی گسترش یافت است و با ارتفاع متوسط ۹۷۷ متر از سطح دریا و مساحت ۲۰۵۰۲ کیلومتر مربع در غرب استان خراسان رضوی واقع شده است.

درانتخاب ایستگاههای مورد مطالعه به وجود آمار طولانی مدت و صحیح توجه گردید و نواقص آماری از طریق بازسازی با روش تعیین میزان همبستگی بین ایستگاهها و معادله خطی

1- Gujarat.

جدول ۱- موقعیت ایستگاه های مورد مطالعه

ایستگاه	ارتفاع	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	میزان تبخیر و تعرق سالانه
سبزوار	۹۷۷/۶	۵۷-۴۳	۳۶-۱۲	۱۳۵۲/۲
مزینان	۷۶۰	۵۶-۴۶	۳۶-۱۷	۱۰۴۹/۵۱
جغتای	۱۳۷۳	۵۷-۲	۳۶-۳۶	۶۷۳/۹۸
کاشمر	۱۱۰۹/۷	۵۸-۲۸	۳۵-۱۲	۹۸۹/۰۶



شکل ۱ - نقشه منطقه مورد مطالعه نسبت به ایران و استان

نتایج

الف) محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل در ایستگاه های مورد مطالعه

نظر به اینکه فرمول های تبخیر و تعرق واقعی معمولاً به نتایج مطلوبی منتهی نمی شوند و استفاده از لایسی متر نیز در تمام شرایط امکان پذیر نیست. روشهای غیر مستقیم متعددی برای این منظور پیش بینی شده است که معادله های

تجربی تخمین تبخیر- تعرق پتانسیل (PET) از جمله آنها می باشد..

تبخیر و تعرق پتانسیل حداکثر مقدار تبخیر و تعرقی است که در یک شرایط آب و هوایی معین در صورتی که محدودیتی از نظر آب وجود نداشته باشد از یک پوشش کامل گیاهی مانند چمن صورت می گیرد. بسیاری از طبقه بندیهای اقلیمی

الف): ابتدا نمایه حرارتی(im) برای هریک از ماههای سال از معادله زیر محاسبه می شود.

$$im = \left(\frac{Tm}{5} \right)^{1.51} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این معادله im نمایه حرارتی هر ماه و Tm متوسط دمای هوا در ماه مورد نظر می باشد. این کار برای تمام ۱۲ ماه سال انجام می گردد، که در جدول ۲ آمده است.

بجای استفاده از تبخیر و تعرق واقعی بر مبنای مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل می باشند^۱.

در هیدرولوژی برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل چند روش عمده مورد استفاده قرار می گیرد که یکی از آن روشها، روش ترنت وایت است. روش ترنت وایت: در روش ترنت وایت تبخیر- تعرق پتانسیل برای هر یک از ماههای سال محاسبه می شود. اساس این روش دمای متوسط ماهانه است که بصورت زیر عمل می شود.

جدول ۲ - شاخص حرارتی ماهانه ترنت وایت- ایستگاه سبزوار

ایستگاه	ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	م	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
سبزوار	متوسط دمای ماهانه	۳/۴	۶	۱۰/۹	۱۷/۶	۲۳/۲	۲۸/۸	۳۰/۴	۲۸/۶	۲۴/۵	۱۷/۹	۱۱/۳	۵/۹
	im	.۵۵	۱/۳۱	۳/۲۴	۶/۶۸	۱۰/۱۴	۱۴	۱۵/۲۶	۱۳/۹۲	۱۱	۶/۸۶	۳/۴۲	۱/۲۸
مزینان	متوسط دمای ماهانه	۶/۳	۶/۲۷	۱۲/۰۲	۱۶	۲۳	۲۹/۹	۳۰/۸۴	۲۹/۳۵	۲۵/۰۴	۱۷/۱	۱۲	۵
	im	۱/۴۱	۱/۴	۳/۷۶	۵/۷۹	۱۰/۰۱	۱۴/۸۸	۱۵/۶	۱۴/۴۷	۱۱/۳۹	۶/۴	۳/۷۵	۱
جغتای	متوسط دمای ماهانه	.۹	۱	۶/۴	۱۳/۱	۱۹	۲۴/۹	۲۸/۲	۲۵/۷	۲۱/۹	۱۶/۸	۱/۱۰	۳/۶
	im	۱/۰۷۵	۱/۰۸۰	۱/۴۵	۴/۲۸	۷/۵	۱۱/۲۹	۱۳/۶۲	۱۱/۸۴	۹/۳۰	۶/۲۳	۲/۸۹	۱/۶۰
کاشمر	متوسط دمای ماهانه	۴/۶	۶/۶	۱۱/۱	۱۸/۱	۲۳	۲۸/۳	۲۹/۹	۲۸/۳	۲۴/۴	۱۸/۶	۱۲/۳	۶/۹
	im	.۸۸	۱/۵۲	۳/۳۳	۶/۹۷	۱۰/۰۱	۱۳/۷	۱۴/۸۸	۱۳/۷	۱۰/۹۵	۷/۲۷	۳/۸۹	۱/۶۲

د) برای هریک از ماههای سال تبخیر- تعرق پتانسیل بر حسب میلی متر از رابطه ۳ محاسبه می گردد.

$$PET = 16Nm \left(\frac{10 \times Tm}{I} \right)^a \quad \text{رابطه (۳)}$$

ب) نمایه حرارتی سال(I) از جمع نمایه های حرارتی ماهانه طی سال بدست می آید (جدول ۳).

$$I = \sum_{n=1}^{12} im \quad \text{رابطه (۲)}$$

$A =$ ضریبی است که به شاخص حرارتی سالانه بستگی دارد و مقدار آن از فرمول زیر (رابطه ۴) محاسبه می شود.

PET = تبخیر و تعرق پتانسیل به میلی متر
 $Tm =$ متوسط درجه حرارت در ماه مورد نظر
 $I =$ شاخص حرارتی سالانه
 $Nm =$ ضریب اصلاحی

$$a = (6.75 \times 10^{-7}) I^3 - (7.71 \times 10^{-5}) I^2 + (1.792 \times 10^{-2}) I + 0.492 \quad (4)$$

جدول ۳- نمایه حرارتی سال و ضریب a

ایستگاه	نمایه حرارتی سال (I)	ضریب a
سبزوار	۸۷/۷۴	۲/۲۰
مزینان	۸۹/۸۶	۱/۹۷
جغتای	۶۹/۱۶	۱/۳۶
کاشمر	۸۸/۷۲	۱/۹۱

یکدیگر جمع شوند. مثلاً منطقه سبزوار که در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه شمالی واقع شده است. نظر به اینکه نمایه حرارتی سالانه (I) ۸۷/۷۴ و ضریب a معادل ۲/۲۰ می باشد، تبخیر- تعرق پتانسیل سالانه ۱۳۵۲/۲ میلی متر است. همانطور که از شکل ۲ مشاهده می کنیم، از اواسط ماه مارس (اسفند) تا اواسط ماه نوامبر (آبان) شرایط خشکی در این ایستگاه حاکم است. در ایستگاه مزینان و جغتای (شکل های ۳ و ۴) از اوائل ماه می (اردیبهشت) تا اواخر ماه نوامبر (آبان) شرایط خشکی حاکم است. با این تفاوت که شرایط خشکی ایستگاه مزینان نسبت به ایستگاه جغتای شدیدتر است. در ایستگاه کاشمر (شکل ۵) شرایط خشکی از اواخر مارس (اسفند) شروع و تا اواخر ماه نوامبر (آبان) ادامه می یابد. بنابراین همانطور که از نمودارها مشاهده می شود، در تمامی ایستگاهها فقط در زمستان و پاییز شرایط مرطوبی وجود دارد.

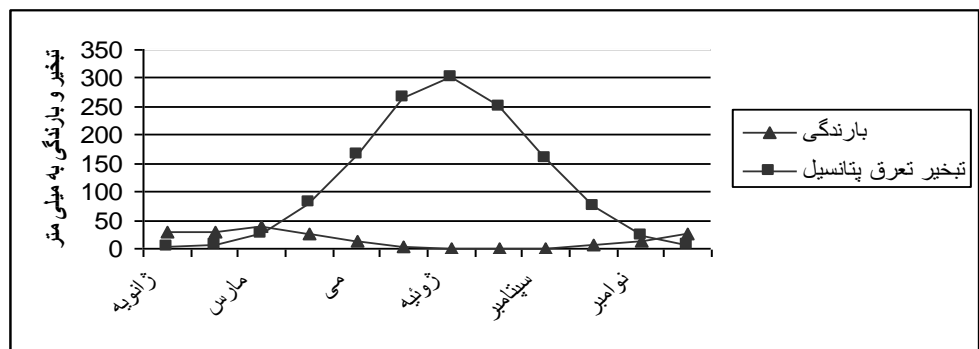
محاسبه PET با استفاده از معادله فوق برای هر یک از ماهها با این فرض بوده است که هر ماه ۳۰ روز و هر روز ۱۲ ساعت روشنایی داشته باشد، حال آنکه تعداد روزهای هر ماه و تعداد ساعت روشنایی در ماههای مختلف سال متفاوت است. بنابراین لازم است PET با اعمال ضریب Nm که مقادیر آن برای ماههای مختلف اصلاح گردد.

طبق جدول شماره ۴ تبخیر و تعرق پتانسیل به این روش برای هر کدام از ایستگاهها در ماههای مختلف محاسبه شده است. همانطور که از نقشه پیداست، بیشترین تبخیر و تعرق پتانسیل در کل ایستگاهها در ماه ژوئیه (تیر) و کمترین آن، در ایستگاههای سبزوار، جغتای و کاشمر در ماه ژانویه (دی) و در ایستگاه مزینان در ماه دسامبر (اسفند) می باشد.

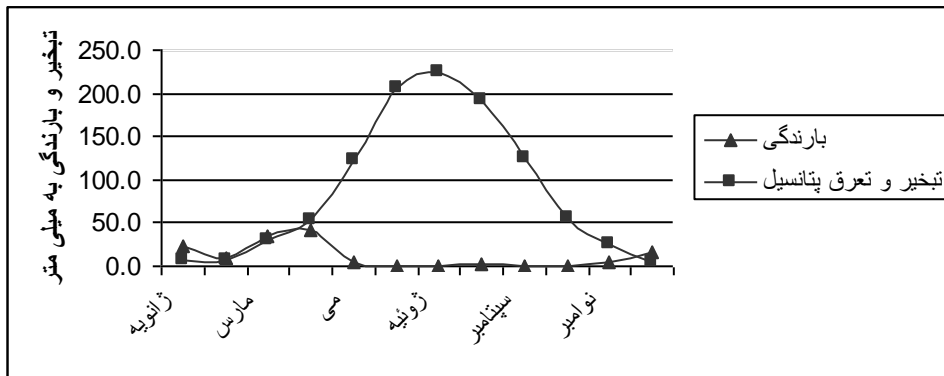
در روش ترنت وایت، در صورتی که نیاز به جمع تبخیر- تعرق سالانه باشد باید محاسبات مربوطه برای هر یک از ماههای سال انجام و سپس با

جدول ۴- مقایسه بارش و تبخیر و تعرق

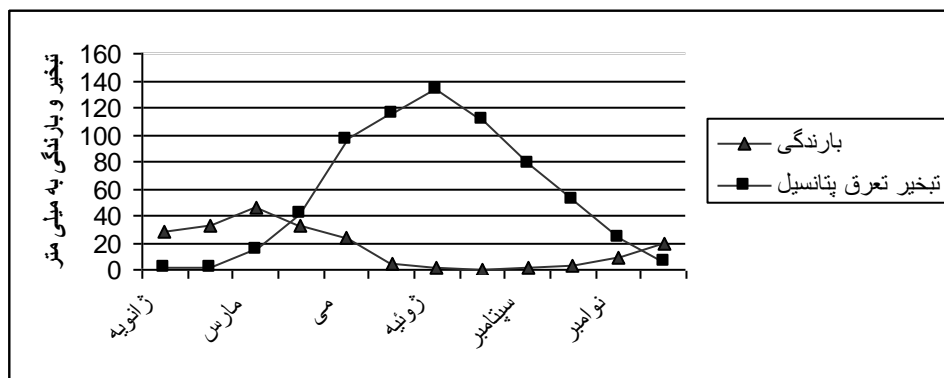
ایستگاه	ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
سبزوار	ضریب اصلاحی عرض درجه (Nm)	۰/۸۷	۰/۸۵	۱/۰۳	۱/۰۹	۱/۲۱	۱/۲۱	۱/۲۳	۱/۱۶	۱/۰۳	۰/۹۷	۰/۸۶	۰/۸۵
	متوسط دمای ماهانه	۳/۴	۶	۱۰/۹	۱۷/۶	۲۳/۲	۲۸/۸	۳۰/۴	۲۸/۶	۲۴/۵	۱۷/۹	۱۱/۳	۵/۹
	PET	۱/۷۲	۵/۸	۲۶/۵	۸۰/۶	۱۶۴/۳	۲۶۴/۴	۳۰۲/۸	۲۴۹/۶	۱۵۷/۷	۷۴/۴	۲۳/۹	۵/۵۷
مزینان	بارندگی (mm)	۳۰/۱	۳۰/۱	۳۷/۸	۲۶/۴	۱۴/۴	۲/۷	۱/۲	۰/۵	۰/۷	۶/۲	۱۱/۸	۲۵/۵
	متوسط دمای ماهانه	۶/۳	۶/۲۷	۱۲/۰۲	۱۶	۲۲	۲۹/۹	۳۰/۸۴	۲۹/۳۵	۲۵/۰۴	۱۷/۱	۱۲	۵
	PET	۶/۹۱	۶/۷	۲۹/۲۳	۵۴/۳۴	۱۲۳/۳	۲۰۶/۷۵	۲۲۳/۳۸	۱۹۱/۰۹	۱۲۴/۰۹	۵۵/۱۲	۲۴/۳۲	۴/۲۸
جغتای	بارندگی (mm)	۲۳	۱۰/۳	۳۴/۴	۷۱/۷	۳/۹	۰	۰	۳	۰	۰	۴/۳	۱۶/۷۷
	متوسط دمای ماهانه	۰/۹	۱	۶/۴	۱۳/۱	۱۹	۲۴/۹	۲۸/۲	۲۵/۷	۲۱/۹	۱۶/۸	۱۰	۳/۶
	PET	۰/۸۶	۰/۹۷	۱۴/۸۲	۴۱/۶۲	۱۰۰/۷۲	۱۱۰/۸۲	۱۳۳/۴۶	۱۱۰/۹۱	۷۹/۲۰	۵۱/۹۸	۲۳/۰۴	۵/۵۸
کاشمر	بارندگی (mm)	۲۸/۴	۳۳/۴	۴۵/۶	۳۳	۲۴/۴	۴/۴	۱/۵	۰/۵	۲/۱	۳/۴	۹/۳	۱۸/۹
	متوسط دمای ماهانه	۴/۶	۶/۶	۱۱/۱	۱۸/۱	۲۳	۲۸/۳	۲۹/۹	۲۸/۳	۲۴/۴	۱۸/۶	۱۲/۳	۶/۹
	PET	۳/۸۹	۷/۶۶	۲۵/۴۵	۶۹/۵۴	۱۲۲/۸۸	۱۷۷/۴۵	۲۰۰/۳۷	۱۷۰/۱۲	۱۱۳/۸	۶۳/۸۱	۲۵/۶۸	۸/۴۱
	بارندگی (mm)	۳۱/۱	۳۹/۵	۴۷	۲۷/۷	۱۲/۷	۱/۵	۰/۶	۰/۲	۰/۷	۴/۵	۹/۶	۳۲/۵



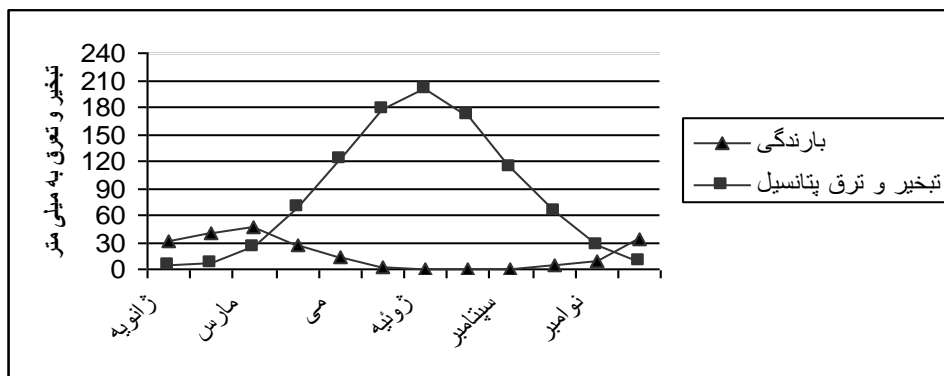
شکل ۲- مقایسه بارش و تبخیر و تعرق در ایستگاه سبزوار



شکل ۳- مقایسه بارش و تبخیر و تعرق در ایستگاه مزینان



شکل ۴- مقایسه بارش و تبخیر و تعرق در ایستگاه جغتای



شکل ۵- مقایسه بارش و تبخیر و تعرق در ایستگاه کاشمر

خورشیدی مقادیر این زوایا از ۶ صبح الی ۱۸ بعد از ظهر روز اول هر ماه با استفاده از روابط ۵ و ۶ برای ایستگاه سبزوار محاسبه گردید:

رابطه (۵)

$$\sin H = (\sin L \cdot \sin D) + (\cos L \cdot \cos D \cdot \cos T)$$

$$\sin z = \sin T \cdot \cos D / \cos H \quad \text{رابطه (۶)}$$

در رابطه فوق H زاویه تابش خورشید، L عرض جغرافیایی محل، D زاویه میل خورشید، T زمان

(ب): مدل محاسبه مقدار تابش خورشیدی

۱- زاویه تابش بر روی یک سطح هموار (زاویه بین اشعه تابش خورشید با سطح زمین) برای عرض جغرافیایی معین (Ground Sun Angle).

۲- جهت شیب (Dip direction)

۳- درجه شیب (Slope)

بدین منظور در مرحله اول با توجه به تاثیر زیاد دو عامل زاویه تابش و جهت تابش در مقدار تابش

۱۸۰ درجه کسر کرد. در صورتی که شیب رو به شمال باشد، درجه شیب زمین از زاویه تابش خورشید کسر می‌گردد (آرونوف، ۱۹۸۹).

بعد از یافتن درجه زمینی تابش خورشید از رابطه ۸ میزان انرژی رسیده به سطح زمین با توجه به شیب، جهت و عرض جغرافیایی و همچنین ماه مورد نظر و وضعیت پوشش گیاهی محاسبه گردید.

برای محاسبه ضریب آلبدو و وضعیت پوشش گیاهی در شیب‌های مختلف و جهت‌های شیب متفاوت مورد بررسی قرار گرفت و با توجه به آن ضریب آلبدو مشخص گردید.

$$S.H = Si(1 - A) \sin S.A.g \quad (۸)$$

در این رابطه Si میزان انرژی رسیده به سطح زمین می‌باشد که مقدار این انرژی با توجه به وضعیت جوی بالای منطقه، مدت زمان تابش، زاویه تابش و ابرناکی آسمان متفاوت می‌باشد که مقدار آن برای فصول مختلف و با توجه به وضعیت جوی بالای منطقه محاسبه گردید. A ضریب آلبدو، S.H (میزان انرژی گرمایی خورشیدی) برای هر ماه و هر واحد که جداگانه محاسبه می‌گردد.

حال برای تبدیل میزان انرژی رسیده به سطح زمین (Rn) به میزان تبخیر و تعرق پتانسیل، از رابطه ۹ استفاده شد (میجرینک، ۱۹۸۸).

$$ET = Rn / \lambda \quad (۹)$$

در این رابطه λ گرمای نهان تبخیر آب است که برابر با ۲/۴۵۳ مگاژول بر کیلوگرم می‌باشد. از اختلاف مقادیر بدست آمده برای جهت‌های شمال و جنوب، ضرایبی برای تاثیر دادن اثر جهت در میزان تبخیر و تعرق پتانسیل برآورد شده با روش‌های معتبر استخراج شد. برای این کار میزان تبخیر و تعرق پتانسیل برآورد شده برای جهت شمال را که دارای کمترین مقدار بود،

تابش و Z جهت تابش (آزیموت تابش) می‌باشد (حاج سقطعی، ۱۳۸۰).

در مرحله دوم برای تعیین جهت شیب منطقه مورد مطالعه اقدام به تهیه نقشه جهت شیب از نقشه توپوگرافی منطقه گردید که در نتیجه جهت شیب‌های موجود در منطقه به دو دسته شمالی جنوبی تقسیم شد و از دشت‌ها در منطقه به لحاظ نداشتن شیب و جهت شیب صرفنظر گردید*.

در مرحله سوم با توجه به این که عمده شیب‌های موجود در منطقه بین ۰ تا ۴۰ درجه می‌باشد، اقدام به طبقه بندی شیب‌های منطقه گردید که برای این طبقه بندی شیب‌های بین ۰ تا ۱۰ با فواصل یکتایی و شیب‌های بیشتر از ۱۰ را با طبقات ۵ تایی در نظر گرفته شد. همانطور که در نقشه شیبی که در محیط GIS ترسیم شده است، حدود ۹۹/۹۹ درصد شیب‌های موجود در منطقه بین ۰-۴۰ می‌باشد که در طبقه بندی مربوطه لحاظ شده اند و شیب‌های بیشتر از ۴۰ درجه به دلیل ناچیز بودن آنها صرفنظر شده است.

حال با یافتن زاویه تابش در زمان و عرض جغرافیایی معین و با اطلاع از شیب و جهت آن، زاویه تابش خورشید، در سطح زمین شیب دار (S.A.g) با استفاده از رابطه ۷ برای هر یک از شیب‌های طبقه بندی شده و در مواقع مختلف سال و با توجه به جهت شیب محاسبه گردید.

$$S.A.g = S.A \pm d \quad (۷)$$

در این رابطه S.A، زاویه تابش در سطح صاف، d درجه شیب زمین می‌باشد. اگر جهت شیب جنوبی باشد، بایستی درجه شیب زمین را به زاویه تابش خورشید اضافه و اگر اندازه بدست آمده بزرگتر از ۹۰ درجه باشد، بایستی رقم فوق را از

* البته تبخیر و تعرق پتانسیل در دشت‌ها به روش تورنت وایت محاسبه شد.

ضریب یک در نظر گرفته شد و ضریب جهت جنوب با توجه به این ضریب بدست آمد (جدول ۵).

جدول ۵- میزان تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شده از طریق انرژی خورشیدی و انرژی خورشیدی رسیده به زمین و ضرایب استخراج شده

جهت ها	شمال	جنوب
میانگین	۲۶۶/۹۸۰۶	۴۲۹/۶۹۵۹
ضریب	۱	۱/۶۱

ارتفاع (DEM) ساخته شد (شکل ۷). با استفاده از این نقشه، در ادامه نقشه شیب (شکل ۸) و جهت شیب (شکل ۹) استخراج گردید. هیسٹوگرام این نقشه نشان داد که شیب رو به شمال بیشترین مساحت به مقدار ۴۲/۶۱ به خود اختصاص داده است.

در بخش محاسبه نقشه تبخیر و تعرق پتانسیل در ارتفاعات مختلف رابطه شماره ۱۰ اعمال شد. برای این کار، بجای X در رابطه شماره ۱۰، از نقشه DEM استفاده شد. نقشه بدست آمده، مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل با توجه به ارتفاع هر نقطه می باشد (شکل ۱۰).

با استفاده از ضرایب بدست آمده برای جهت های مختلف و اعمال آنها در این نقشه در محیط محاسبه سامانه نقشه، نقشه ای تهیه گردید که نقشه تبخیر و تعرق پتانسیل با توجه به ارتفاع و جهت شیب می باشد (شکل ۱۱). جدول اطلاعات این نقشه به محیط برنامه SPSS انتقال داده شد و با استفاده از اطلاعات مربوط به مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل برای هر پیکسل و مساحت ناحیه اشغال شده، میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل برای کل شهرستان به میزان ۱۱۶۴/۸ میلیمتر و برای مناطق دارای شیب (به غیر از مناطق بدون شیب در شهرستان) به میزان ۹۴۰/۹۶ میلیمتر برآورد شد. در حالی که در روش تورنت وایت (جدول ۱) میزان تبخیر و تعرق بصورت نقطه ای (بدون در

برای تاثیر دادن ارتفاع، ابتدا میزان تبخیر و تعرق پتانسیل در ایستگاه های مطالعه شده (که در نقاط ارتفاعی متفاوت قرار دارند) با استفاده از روش تورنت وایت محاسبه کرده و سپس بین مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل و ارتفاع ایستگاه های فوق رابطه رگرسیونی برقرار گردید. با توجه به عدد حاصل از این رابطه، اقدام به تهیه نقشه تبخیر و تعرق پتانسیل در ارتفاعات مختلف منطقه گردید.

رابطه (۱۰) $y = -0/7413x + 1798/4$
 $R^2 = 0/4673$ $\sqrt{0.46} = 0.67$
 که در این رابطه $y =$ مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل و $x =$ ارتفاع هر نقطه می باشد.

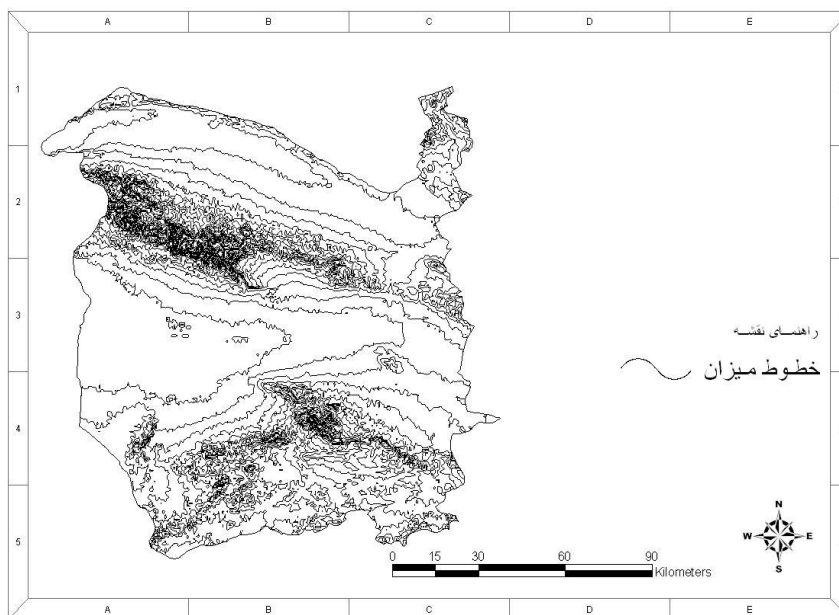
در نهایت، ضرابی که برای جهت شمال و جنوب در شیب های مختلف محاسبه گردیده بود در میزان تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شده در ارتفاعات مختلف اعمال شده و بدین ترتیب میزان تبخیر و تعرق پتانسیل در ارتفاعات مختلف با توجه به شیب و جهت شیب در منطقه بدست آمد.

ج: مطالعه موردی در محیط GIS

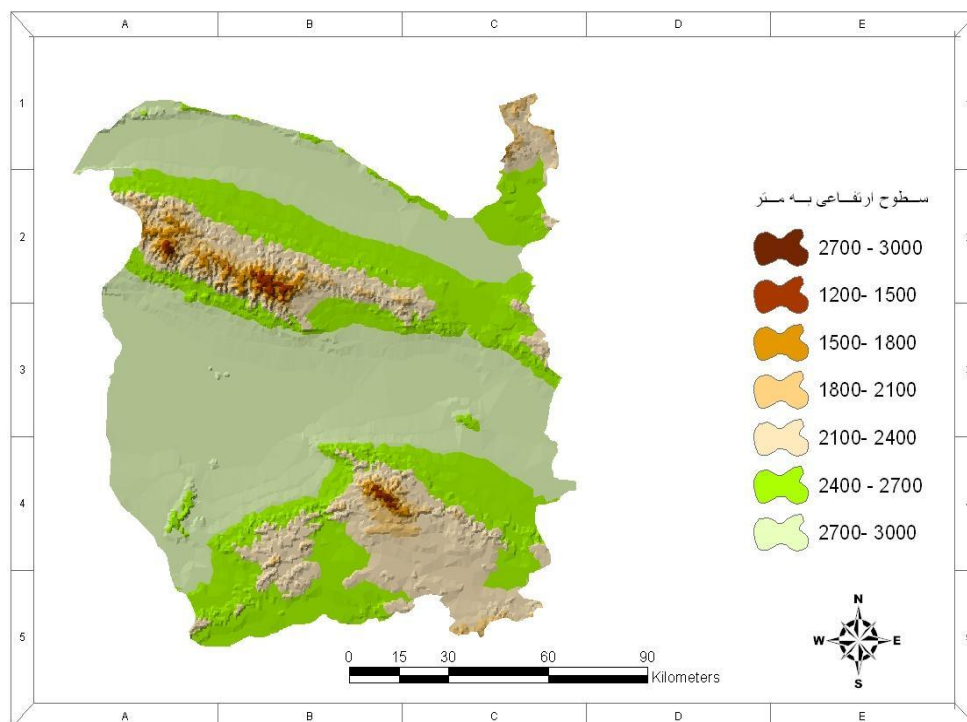
این روش کار برای شهرستان سبزوار مورد استفاده قرار گرفت و در محیط یک سامانه اطلاعات جغرافیایی بکار برده شد. ابتدا نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ (شکل ۶) وارد سامانه گردیده و بعد از رستری کردن و درونبایی نقطه ای، نقشه

نظر گرفتن عامل ارتفاع، شیب و جهت شیب) در ایستگاههای سبزوار، مزینان، جغتای و کاشمر به ترتیب برابر است با ۶۷۳/۹۸، ۱۰۴۹/۵۱، ۱۳۵۲/۲، ۹۸۹/۰۶ میلیمتر بوده است. و میانگین وزنی سه ایستگاه که در داخل منطقه قرار گرفته است برابر است با:

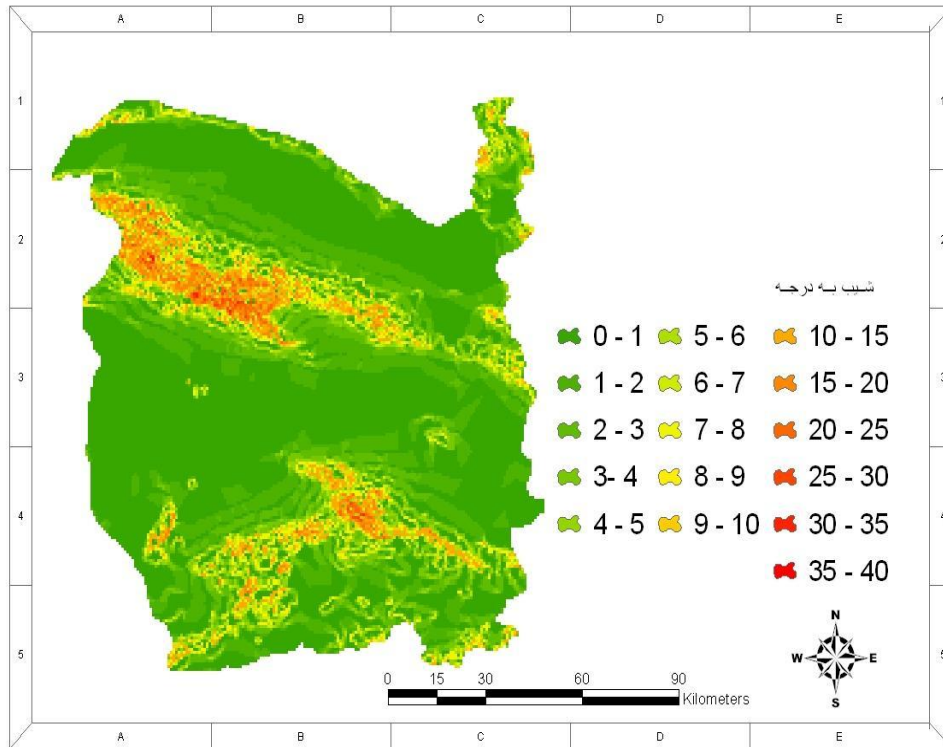
$$ETP = \frac{ETP_1 + ETP_2 + \dots + ETP_n}{n} = \frac{1352.2 + 1049.51 + 673.98}{3} = 1025.23mm$$



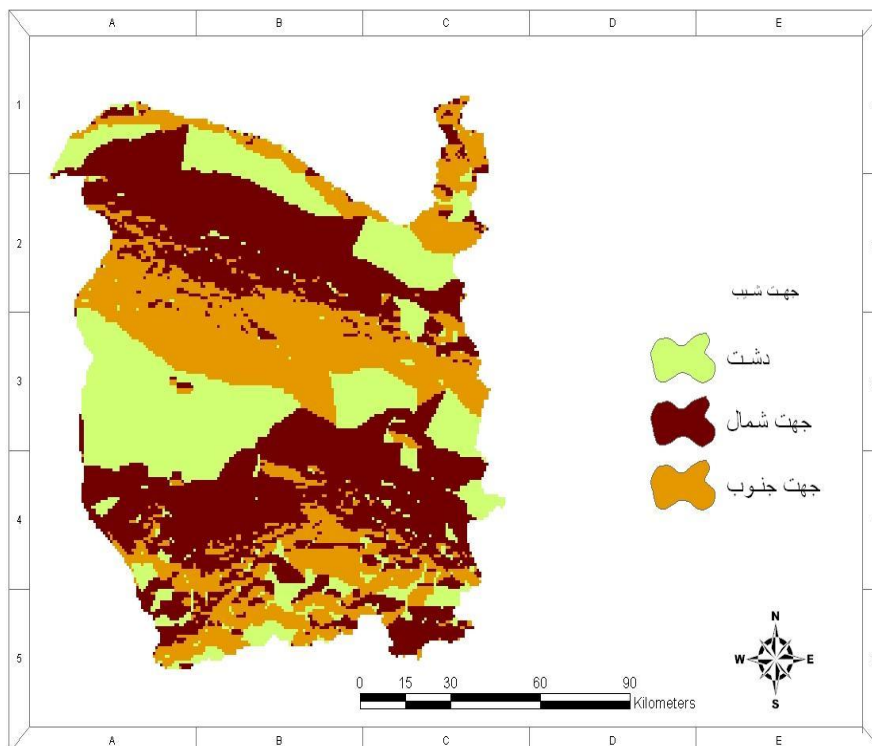
شکل ۶- نقشه توپوگرافی منطقه مورد مطالعه



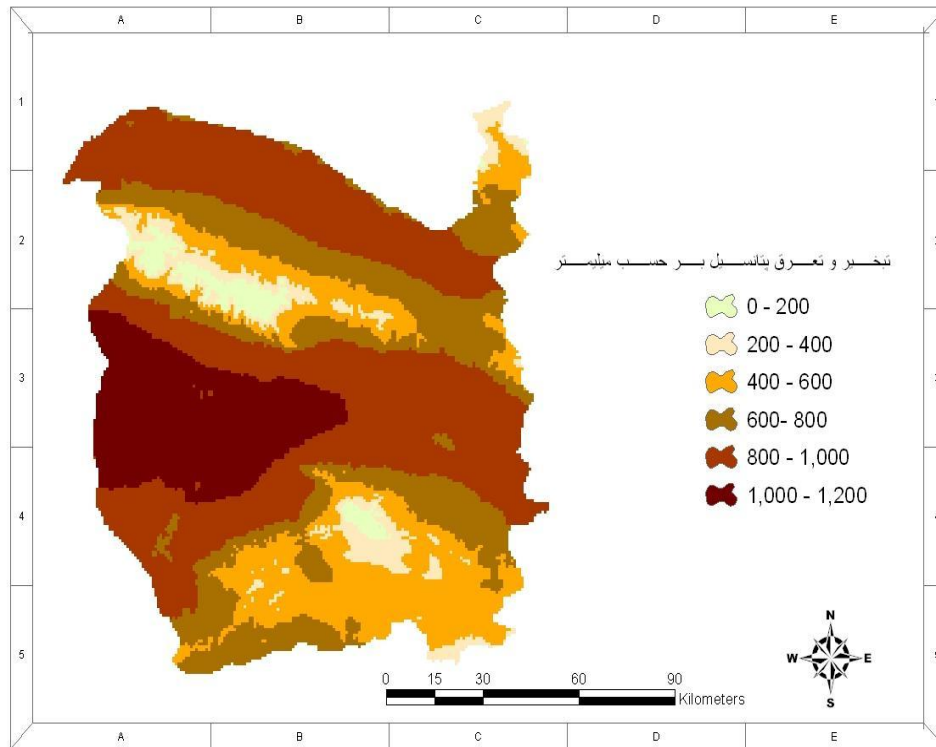
شکل ۷- نقشه سطوح ارتفاعی منطقه مورد مطالعه



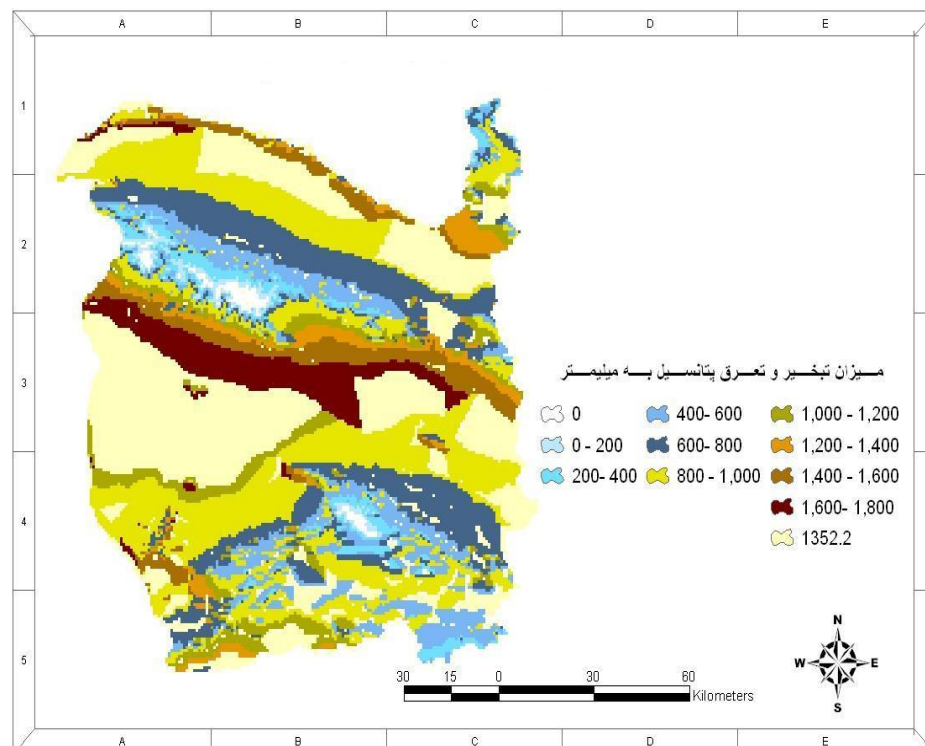
شکل ۸ - نقشه شیب منطقه مورد مطالعه



شکل ۹ - نقشه جهت شیب منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۰- نقشه میزان تبخیر و تعرق در ارتفاعات مختلف منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۱- نقشه تبخیر و تعرق پتانسیل بر اساس ارتفاع و جهت در منطقه مورد مطالعه

نتیجه گیری

می باشد. بطوریکه در تمام مناطق کوهستانی با داشتن اطلاعات پایه در مورد میزان دریافت روزانه انرژی خورشیدی، وضعیت پوشش گیاهی و موقعیت منطقه مورد مطالعه می توان مدل فوق را به کار گرفت. دانستن این موضوع که ۴۲/۶۱ درصد از مساحت حوضه را جهت شیب شمالی تشکیل می دهد و وجود ۲۳/۳۴ درصد اختلاف در تبخیر و تعرق پتانسیل بین دو جهت شیب جنوبی و شمالی و افزایش ۳۱/۳۶ درصدی در میزان تبخیر و تعرق پتانسیل برآورد شده با تاثیر دادن ارتفاع و جهت در شهرستان سبزوار نسبت به برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل با اثر دادن عامل ارتفاع به تنهایی، نشان می دهد که بایستی در برآورد این عامل در مناطق کوهستانی و در نهایت در برنامه ریزهای مربوط به منابع آبی حوضه تجدید نظر کرد. بدیهی است ضرایب فوق نیز با توجه به موقعیت هر منطقه تغییر خواهد کرد. همچنین می توان از این روش، دیگر مدل‌های برآورد میزان تبخیر و تعرق پتانسیل را که به نظر منطقی تر و صحیح تر می آیند، انتخاب و بر اساس ارتفاع و جهت شیب آن اصلاح نمود.

روش های زیادی برای محاسبه میزان تبخیر و تعرق در شرایط اقلیمی و جغرافیایی مختلف با استفاده از داده های هواشناسی توسعه داده شده و مورد آزمایش قرار گرفته اند. این روش ها از روابط تجربی ساده گرفته تا روش های که اساس فیزیکی پیچیده ای دارند متغیر می باشند. چون اغلب این روش ها از اندازه گیرها نقطه ای برای تخمین تبخیر تعرق استفاده می کنند. لذا فقط مناسب مناطق محلی بوده و به خاطر طبیعت پویا و تغییرات منطقه ای تبخیر و تعرق قابل تعمیم به حوضه های بزرگ نمی باشند (لی و لایونز، ۱۹۹۹). لذا در این مطالعه به داده های نقطه ای متکی نبوده و سعی بر آن شده است که با عواملی از قبیل زاویه تابش خورشید، درجه شیب، جهت شیب، آلودگی، وضعیت پوشش گیاهی و غیره، به محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل در منطقه مورد مطالعه پرداخت.

هر چند این روش می تواند دارای اشکالاتی باشد اما زمینه های اصلاح نیز وجود دارد، و حسن بزرگ آن، قابلیت انعطاف پذیری فراوان این روش

منابع

-علیزاده، ا.، ۱۳۸۳. اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه امام رضا، چاپ هفدهم، ۴۸۹ صفحه.
-علیزاده، ا.، کمالی، غ. ع.، موسوی، ف.، و موسوی بایگی، م.، ۱۳۷۹. هوا و اقلیم شناسی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ پنجم، ۳۷۴ صفحه.
- مهدیان، م. ح.، متین، م.، غیائی، ن.، اخباری، ت.، و مختاری، ا.، ۱۳۸۰. بررسی روش های میانابیی برای تعیین حداقل خطای تخمین (مطالعه موردی، درجه حرارت و تبخیر)، مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد ۲، شماره ۸.

- احمدی، ت.، و میرخالق، ض.، ۱۳۷۴. بررسی مقایسه روش های روش های برآورد تبخیر و تعرق در استان مازندران، نیوار، صفحات ۲۵-۴۰
- اقدسی، ب.، ۱۳۷۹. انتخاب روش مناسب جهت تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل در سمنان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ۲۵۴ صفحه.
- جعفرپور، ا.، ۱۳۷۳. اقلیم شناسی، انتشارات دانشگاه تهران، اردیبهشت ماه، ۳۸۵ صفحه.
- حاج سقطعی، ا.، ۱۳۸۰. اصول کاربرد انرژی خورشیدی، دانشگاه علم و صنعت، ۲۲۱ صفحه.

- Meijerink, A. M. J., 1988. Data acquisition and data capture through terrain mapping units, ITC Journal., p.23-44.
- Skop, E., and Acquarone, M., 1997. GIS Mapping of Evapotranspiration in the Vejle Fjordo watershed Denmark. 12th ESRI European user conference, September 29- October 1, p. 13-on CD
- Rojas, R., and Roldan, J., 1996. Evapotranspiration mapping and irrigation scheduling for Olive Trees. Proceeding of the international conference of evapotranspiration and irrigation scheduling. San Antoniu, Texas, P.644-650.
- Ray, S.S., and Dadhwal, V. K., 2001. Estimation of crop evapotranspiration of irrigation command area using remote sensing and GIS. Agricultural Water Managemend, v.49, p.239-249.
- Li, F., and Lyons, t.j., 1999. Remote estimation of regional evapotranpiration through remote sensing. Journal of applied meteorology, v. 38, p.1644-1654.
- مهربان، ا.، و غریب عشقی، ا.، ۱۳۸۴. استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در شناسایی مناطق مستعد سرمازدگی، مجموعه مقالات علمی و کاربردی راه های مقابله با سرمازدگی، یزد.
- Aronoff, S., 1989. Geographic Information System: A Management Perspective, WDL Publications, Ottawa, p.33-35.
- Claessens, L., Garcia, L. A., Jensen, M., and Lange, R.W., 1994. Reference Evapotranspiration Maps for Colorado. Colorado Water Resources Research Ins., For Collins, Colorado state university, p. 27
- Feanessey, N. M., and Vogel, R. M., 1996. Regional models of potential evaporation and reference evapotranspiration for the north-east USA. Journal of Hydrology, v.184, p.337-345.
- Jallala, A. M., 1981. Geo-Climat zones in the western region and their impact on agricultural productivity, M.Sc Thesis, University of Idaho.