

برآورد تبخیر- تعرق پتانسیل در آذربایجان شرقی به روش استفنز با استفاده از GIS

خلیل ولیزاده کامران^۱

چکیده

برآورد دقیق میزان تبخیر- تعرق پتانسیل (ETp) در مدیریت منابع آب، کشاورزی، زراعت، جنگل و مرتع از اهمیت فراوانی برخوردار است. در سال‌های اخیر استفاده از تکنولوژی GIS برای برآورد دقیق آن، مورد استفاده قرار گرفته و نتایج مطلوبی از آن حاصل شده است. در این تحقیق با استفاده از معادله استفنز اقدام به برآورد تبخیر- تعرق پتانسیل در منطقه آذربایجان شرقی گردیده است. به این منظور برای محاسبه مقدار تابش رسیده به سطح زمین (Rs) با استفاده از تصاویر DEMSRTM و با کمک تابع Solar Analyst در محیط نرم‌افزار ArcGIS 9.3 در روز ۱۱ خرداد ماه مابین ساعات ۱۰ الی ۱۱ قبل از ظهر اقدام گردید. پس از محاسبه شیب و جهات شیب از روی تصویر مدل رقومی زمین، اقدام به محاسبه تابش رسیده به سطح گردید. میانگین درجه حرارت دما در منطقه و روز مورد نظر نیز با لحاظ کردن تغییرات ارتفاعی محاسبه شده و در معادله استفنز وارد گردید. نقشه نهائی تبخیر- تعرق پتانسیل در منطقه مورد مطالعه در روز ۱۱ خرداد ماه نشان‌دهنده وجود مقادیری بین ۰ تا ۱۵ میلی‌متر در ساعت می‌باشد که دامنه‌های جنوبی منطقه و مناطق با میانگین درجه حرارت بالا بیشترین میزان تبخیر- تعرق پتانسیل را به خود اختصاص داده‌اند. در اختلاف بین مقادیر فوق تأثیر ارتفاع و جهات شیب در کنترل مقدار تبخیر- تعرق بیش از سایر عوامل بوده است. با توجه به اینکه میزان بارندگی ماهانه نمی‌تواند جوابگوی این مقدار تبخیر- تعرق باشد لذا پیشنهاد شده است که مناطق کشت دیم به سمت مناطق با میزان تبخیر- تعرق کمتر که عمدتاً در کوهپایه‌های منطقه مورد مطالعه هستند سوق داده شوند.

واژگان کلیدی: تبخیر- تعرق پتانسیل، استفنز، Solar Analyst، آذربایجان شرقی، GIS.

مقدمه

با توجه به اهمیت تبخیر- تعرق در چرخه هیدرولوژی و کاربردهای متنوع آن در علوم مختلف، محاسبه مقدار آن به‌ویژه، تبخیر- تعرق پتانسیل و واقعی از اهمیت بالایی برخوردار است. تابش رسیده به زمین^۲ منبع اولیه و اصلی بسیاری از فرایندهای فیزیکی و بیولوژیکی در سطح زمین است. در سطح زمین توپوگرافی مهم‌ترین عاملی است که توزیع فضایی تابش رسیده به زمین را تعیین می‌کند. تنوع در ارتفاع، شیب، جهت شیب و سایه‌اندازی ارتفاعات عواملی هستند که توزیع فضایی تابش رسیده به زمین را کنترل می‌کنند. تابش رسیده به زمین در طول روز و در طی سال متغیر است و باعث ایجاد و کنترل میکروکلیمها، دمای هوا و خاک، تبخیر- تعرق، ذوب برف و نور کافی برای فتوسنتز گیاهان می‌شود.

ابزار تحلیل تابش خورشیدی^۳ که جزو ابزارهای تحلیل فضایی^۴ می‌باشد، می‌تواند تأثیر خورشید بر روی مناطق مختلف کره زمین را در مدت زمان معین محاسبه کرده و آن را نمایش داده و تحلیل نماید. به کمک این ابزار می‌توان تأثیرات اتمسفری، طول جغرافیایی و ارتفاع محل، شیب و جهت شیب، تغییرات روزانه و فصلی زاویه خورشید و تأثیر سایه‌اندازی ارتفاعات در میزان تابش رسیده به زمین را محاسبه نمود. در نتیجه با استفاده از آن می‌توان بسیاری از مدل‌هایی را که برای محاسبه به تابش خورشیدی نیازمند هستند به‌راحتی اجرا نمود.

برای محاسبه تبخیر- تعرق به‌طور کلی ۵ روش وجود دارد که عبارتند از روش‌های اندازه‌گیری مستقیم، دمائی، رطوبتی، ترکیبی و تشعشعی. در این مقاله سعی می‌شود با استفاده از روشهای تشعشعی که بر اساس تابش رسیده به زمین نسبت به برآورد تبخیر- تعرق اقدام می‌نمایند بحث و بررسی به عمل آید.

طی ۵۰ سال گذشته روش‌های تجربی زیادی توسط متخصصان برای برآورد تبخیر- تعرق ارائه شده است که هریک تابع متغیرهای اقلیمی خاصی می‌باشند. اغلب این روش‌ها تحت واسنجی محلی به‌دست آمده‌اند و معلوم شده است که اعتبار جهانی محدودی دارند.

2- Incoming Solar radiation (Insolation)

3- Solar Analyst

4- Spatial Analyst

کلودیر و همکاران از مقایسه معادلات پریسلی - تایلور و پنمن با لایسیمتر مشاهده نمودند که تبخیر- تعرق روزانه محاسبه شده با این معادلات به ترتیب ۱۵ تا ۲۰ درصد خطا دارند (Clothier, et al: 1982: 302). آن‌ها متذکر شدند که معادله پریسلی - تایلور به علت سادگی داده های ورودی ترجیح داده می‌شود. صالح و سندیل ۲۳ روش محاسبه تبخیر- تعرق را در قسمت‌های مرکزی عربستان مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها روش‌ها را به ۵ گروه روش‌های دمائی، روش‌های مبتنی بر رطوبت، روش‌های تابشی، روش‌های ترکیبی و روش‌های تشتک تبخیر تقسیم نمودند و نتیجه گرفتند که روش جنسن- هیز از گروه روش‌های تابشی در مکان اول و روش تشتک کلاس A در مکان دوم قرار می‌گیرند. در مجموع روش‌های ترکیبی در حد متوسط و روش‌های دمایی در پایین‌ترین مکان قرار گرفتند (Salih & Sendil, 1984: 2944). سامانی و پسراکلی چند روش مختلف برآورد تبخیر- تعرق را با لایسیمتر مقایسه کرده و نتیجه گرفتند که معادله هارگریوز- سامانی برای اراضی خشک بهترین برآورد را می‌کند (Samani & Pessarakli, 1986: 522). پروت در نشریه فائو ۲۴ در یک جمع بندی از کلیه تحقیقات و تجربیات مقیاس جهانی، از میان بیش از ۳۰ روش متداول جهانی، برآورد تبخیر- تعرق پتانسیل گیاه مرجع، پنج روش از معتبرترین، کارآترین و کاربردی ترین روش‌ها، به‌ویژه برای کشورهای جهان سوم با اقلیم خشک و نیمه‌خشک را معرفی کردند. این روش‌ها عبارتند از پنمن، پنمن اصلاح شده، بلانی- کریدل اصلاح شده، تشتک تبخیر و روش تابشی که به‌صورت کاربردی با ذکر و حل مثال‌های عملی همراه با جدول و راه‌حل‌های کاربردی در رابطه با رسم منحنی‌های ضریب گیاهی مطرح شده است (Allen & Pruitt, 1988: 377). آلن و پروت بعد از ارزیابی معادله پنمن گزارش داد که بین تبخیر- تعرق اندازه‌گیری شده لایسیمتر و برآوردهای روزانه از یک گیاه با ارتفاع ثابت و جزء مقاومت سطحی که با شاخص سطح برگ و تابش خالص روزانه تغییر می‌کند مطابقت خوبی وجود دارد (Allen & Pruitt, 1988: 378). رایت آب استفاده شده به وسیله یونجه در چندین فصل را مقایسه کرد و نتیجه گرفت که روش بلانی-کریدل نسبت به تشتک تبخیر ۲۰٪ خطا دارد (Wright, 1982, 1988: 664). کمیته نیاز آبیاری انجمن مهندسان عمران آمریکا آب مورد نیاز آبیاری را با ۲۰ روش مرسوم برآورد کرده و مقادیر را

به‌طور ماهانه در مناطق مختلف محاسبه و با نتایج لایسیمتر مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که روش پنمن - مانتیس بهترین برآورد را دارد (Jensen & Allen, 1990: 357) هارگریوز و سامانی معادله خود را با لایسیمتر و روشهای دیگر مقایسه کردند و نتیجه گرفتند روشی که فقط به دمای هوا نیاز داشته باشد روش خوب و مناسبی است. دلیل آن‌ها این بود که با توجه به مشکلات و خطاهای موجود در اندازه‌گیری داده‌های هواشناسی بهتر است از روش‌هایی استفاده شود که در آن‌ها از کمترین داده‌های هواشناسی استفاده شود (Hargreaves & Samani, 1989: 303). در نشریه ۲۴ آبیاری و زهکشی فائو برای کمک به کاربران و با توجه به داده‌های موجود، چهار روش بلانی کریدل، تابش، پنمن و تشک تبخیر برای محاسبه تبخیر- تعرق پتانسیل ارائه شده است. در این نشریه روش پنمن به عنوان روشی که بهترین نتایج را با حداقل خطا نسبت به گیاه مرجع ارائه میکند در نظر گرفته شده است (Allen & Pruitt, 1991: 768). آلن و همکاران پنج شکل مختلف معادله پنمن را در یازده نقطه با داده‌های لایسیمتر مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که معادله پنمن - مانتیس و پنمن - کیمبرلی در اغلب مناطق با لایسیمتر تطابق خوبی دارند (Allen & Pruitt, 1991: 770). کمیسیون بین‌المللی آبیاری و زهکشی و سازمان خواربار جهانی استفاده از روش فائو - پنمن - مانتیس را بعنوان یک روش استاندارد برای محاسبه تبخیر- تعرق از روی داده‌های اقلیمی و همچنین برای ارزیابی سایر روشها پیشنهاد نمودند (Hargreaves, 1994: 305). آلن و پروت گزارش نمودند که روش بلانی کریدل را در زمانی میتوان به طور مفید استفاده کرد که از ضرایب مناسب استفاده شده باشد (Allen, 1994: 379). اما از آن زمان روش‌های دیگری نیز برای تخمین تبخیر- تعرق پتانسیل یا مرجع ارائه شده است. در یکسری مطالعات موازی جامعه اروپا نیز به برآورد روش‌های مختلف با استفاده از داده‌های لایسیمتری پرداخت. نتیجه این مطالعات نشان داد که معادله پنمن اصلاح شده مقدار تبخیر- تعرق را ۲۰ درصد بیشتر برآورد می‌نماید و سایر روش‌های پیشنهادی فائو نیز بسته به درجه انطباق آن‌ها با شرایطی محلی عکس‌العمل متغیری را از خود نشان می‌دهند. در هر دو روش، پنمن - مانتیس به‌عنوان روشی که دارای دقت نسبی

بالا و عملکرد ثابت بوده و با درجه احتمال بالا در دامنه وسیعی از مناطق و اقلیم‌ها برآورد صحیحی از تبخیر- تعرق ارائه می‌کند، معرفی گردید (Allen, et al, 1994: 25).

آقای قهرمان‌زاده بصورت منسجم روش‌های اندازه‌گیری مستقیم، دمائی، تشعشعی، رطوبتی، ترکیبی و روش‌های همبستگی چندگانه را به تفصیل بیان نموده‌اند (قهرمان‌زاده ۱۳۷۴) جهانبخش و همکاران روش تشت تبخیر را به‌عنوان یک روش ساده و مناسب در برآورد تبخیر- تعرق پتانسیل برای ایستگاه هواشناسی تبریز معرفی می‌نمایند. در این تحقیق که از روش‌های ترکیبی، دمایی، تابشی، همبستگی چندگانه و رطوبتی استفاده شده است روش کریستینسن - هارگریوز RA نسبت به سایر روش‌ها تطابق بهتری را نشان داده است (جهانبخش و همکاران، ۱۳۸۰). شفیع و همکاران به ارزیابی مدل‌های تبخیر- تعرق بالقوه برای منطقه اهر پرداخته‌اند. ایشان در این پژوهش به منظور تعیین بهترین مدل برآورد تبخیر- تعرق بالقوه ماهانه برای ایستگاه سینوپتیک اهر مقادیر تبخیر- تعرق بالقوه ماهانه حاصل از تشت تبخیر با مقادیر تبخیر- تعرق به‌دست آمده از روش‌های مختلف را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. بر اساس پژوهش آن‌ها مشخص گردید که روش‌های تورک، تورنت وایت، کریستینسن هارگریوز RA و بلنی کریدل پس از اعمال ضرایب اصلاحی، بهترین انطباق را با مقادیر تبخیر- تعرق پتانسیل ماهانه از تشت تبخیر دارا می‌باشد (شفیعی و همکاران، ۱۳۸۶). اسمعیل پور با بکارگیری نرم‌افزار REF-ET در حوضه ارس جنوبی اقدام به برآورد تبخیر- تعرق نموده به این ترتیب ایشان موفق به شناسایی بهترین روش در منطقه مورد مطالعه شده و بالاترین و پائین ترین مقادیر تبخیر- تعرق را در بین ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه خود مشخص نمودند (اسمعیل‌پور، ۱۳۸۶). همچنین دین پژوه در سال ۱۳۸۷ به بررسی تبخیر- تعرق گیاه مرجع با استفاده از روش هارگریوز پرداخته است. ایشان اهمیت برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع (ET_o) در زمینه‌های مختلف از جمله مدیریت منابع آب بیان نموده و هدف اصلی پژوهش خود را تخمین مقدار متوسط دراز مدت ET_o ایران و تحلیل الگوی تغییرات مکانی آن در ماه‌های رشد فعال گیاه (آوریل تا سپتامبر) قرار داده‌اند. در این پژوهش از روش هارگریوز برای تخمین ET_o هشتاد ایستگاه هواشناسی ایران در دوره آماری ۱۹۵۶ الی ۲۰۰۰ استفاده شده است. نتایج ایشان نشان می‌دهد که

منطقه مورد مطالعه

شکل (۱) منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

عمده‌ترین روش‌های برآورد تبخیر- تعرق پتانسیل به روش تشعشعی عبارتند از روش‌های: جنسن و هیز^۵، مک‌کینگ^۶، تورک^۷ و استفنز^۸. ابتدا مروری اجمالی به این روش‌ها می‌گردد.

روش جنسن و هیز

جنسن - هیز اطلاعات جمع‌آوری شده در نواحی خشک ایالات متحده را خلاصه کرده و رابطه زیر را پیشنهاد کرده‌اند (جهانبخش و همکاران، ۱۳۸۰: ۵۳):

$$ETP = CT.(T - T_x)R_s \quad \text{معادله (۱)}$$

در معادله فوق:

CT: ضریب حرارتی

T_x: تقاطع محور دما

CT و T_x توابعی از حداکثر متوسط و حداقل متوسط دما برای گرم‌ترین ماه از سال و ارتفاع ایستگاه می‌باشند.

R_s: تشعشع رسیده به زمین بوده و بر حسب لانگلی در روز است.

ETP: مقدار تبخیر و تعرق بر حسب میلی‌متر در روز به دست می‌آید.

روش مک‌کینگ

این معادله نیز بر اساس اندازه‌گیری یا محاسبه تشعشع خورشیدی رسیده به زمین (R_s) که با درجه حرارت هوا تصحیح شده است، می‌باشد. مک‌کینگ معادله زیر را برای شرایط آب و هوایی هلند ارائه داد (جهانبخش و همکاران، ۱۳۸۰: ۵۳).

5- Jensen and Haise

6- Makking

7- Turc

8- Estefnz

$$ETP = 0.61 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{R_s}{58.5} - 0.12 \quad \text{معادله ۲}$$

در معادله فوق ETP و Rs بر حسب میلی‌متر در روز می‌باشند.

روش تورک

تورک معادله‌ای را برای تخمین مقادیر تبخیر و تعرق ارائه داد که در آن متغیرهای درجه حرارت متوسط و تشعشع خورشیدی بکار رفته است.

معادله وی تحت شرایط اروپای غربی نوشته شده و برحسب میزان رطوبت نسبی می‌توان آن را به دو حالت تفکیک نمود.

حالت اول: رطوبت نسبی متوسط از ۵۰٪ بیشتر است، در این صورت معادله زیر بکار می‌رود (جهانبخش و همکاران، ۱۳۸۰: ۵۳):

$$ETP = 0.013 \frac{T}{T + 15} (R_s + 50) \quad \text{معادله ۳}$$

حالت دوم: رطوبت نسبی متوسط از ۵۰ در صد کمتر می‌باشد، که در این حالت معادله بالا باید در ضریب $(1 - \frac{50 - RH}{70})$ ضرب گردد.

در رابطه فوق:

ETP: تبخیر و تعرق پتانسیل بر حسب میلی‌متر در روز

Rs: تشعشع رسیده به زمین بر حسب لانگلی در روز

RH: رطوبت نسبی متوسط بر حسب درصد (%)

روش استفنز

معادله تشعشعی استفنز به قرار زیر است (جهانبخش و همکاران، ۱۳۸۰: ۵۴):

$$ETP = (0.014T - 0.37) \frac{R_s}{1500} \quad \text{معادله ۴}$$

در رابطه فوق:

ETP: میزان تبخیر و تعرق پتانسیل برحسب اینچ در روز است

R_s : تشعشع رسیده به زمین و واحد آن لانگلی در روز می باشد

T: درجه حرارت متوسط برحسب فارینهایت

معادله زیر ETP را بر اساس میلی متر در روز بیان می کند.

$$ETP = 4.26 \times 10^{-4} R_s (T + 3.24) \quad \text{معادله ۵}$$

R_s : لانگلی در روز

T: سانتی گراد $^{\circ}C$

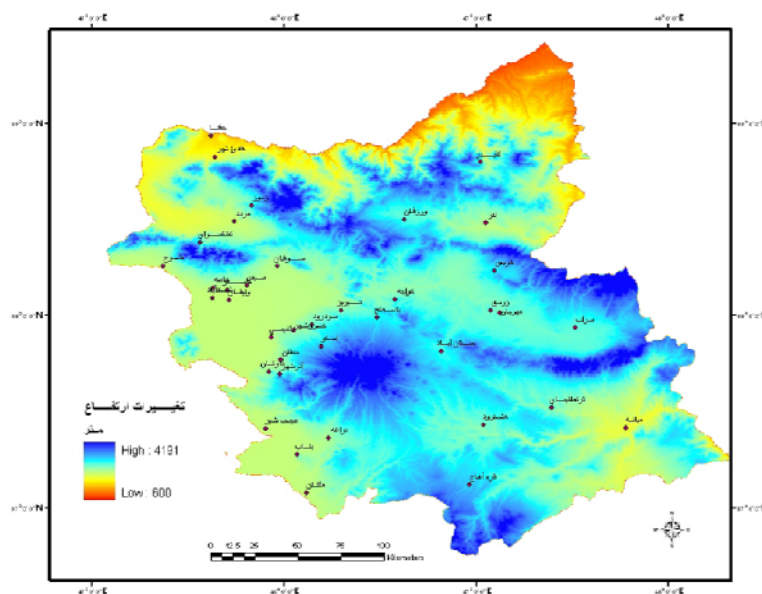
البته روش های ترکیبی دیگری نیز وجود دارند که در آن ها تشعشع ورودی به زمین نقش اساسی در آن ایفا می کند ولی هدف از نشان دادن این فرمول ها آن است که نشان داده شود که مهم ترین عامل در این فرمول ها همان تشعشع ورودی بوده و سایر اجزای فرمول به راحتی قابل جایگزینی هستند.

در ادامه از روش استفنز به عنوان نمونه برای محاسبه تبخیر- تعرق پتانسیل با استفاده از نرم افزار ArcGIS استفاده می شود. دلیل استفاده از این روش انتخاب آن به عنوان بهترین روش برآورد تبخیر- تعرق پتانسیل در منطقه بر اساس مطالعات قبلی بوده است (مولوی، ۱۳۷۴: ۷۸).

الف) آماده سازی تصویر

تصاویر DEMSRTM از طریق سایت ناسا دانلود گردید^۹. این تصاویر در شبکه بندی ۱ در ۱ درجه جغرافیائی می باشند و دارای قدرت تفکیک ۹۰ متری هستند، این تصاویر ابتدا موزائیک شده و سپس عملیات Subset به منظور جداسازی منطقه مورد مطالعه (استان

آذربایجان شرقی) از کل تصویر انجام گرفت. با توجه به زمین مرجع بودن این تصاویر، عملیات تصحیح هندسی مورد نیاز نمی‌باشد.



شکل (۲) تصویر مدل رقومی ارتفاع منطقه مورد مطالعه

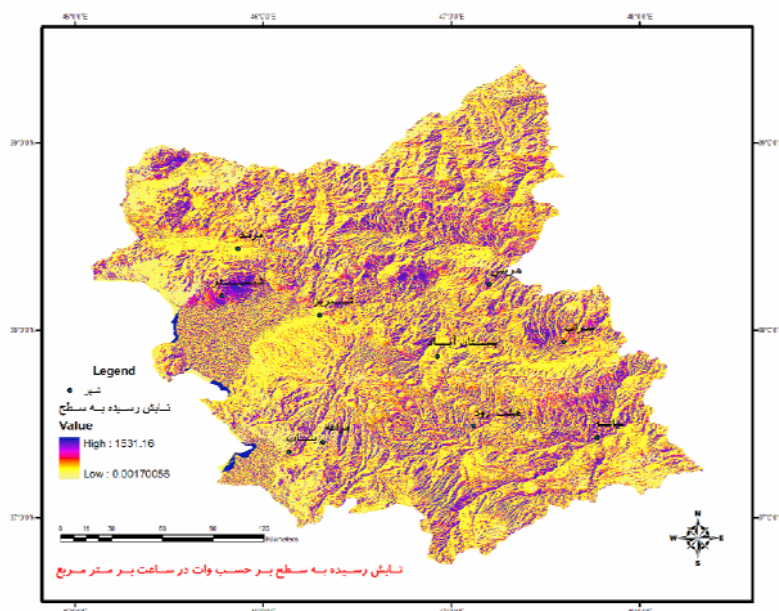
ب) ایجاد لایه شیب و جهت شیب

در محیط نرم‌افزار ArcGIS و با استفاده از منوی تحلیل‌های توپوگرافی بر روی لایه DEM لایه‌های شیب و جهت شیب استخراج و ذخیره گردید.

ج) محاسبه تابش رسیده به زمین

با استفاده از تابع Solar Analyst که از توابع تحلیل‌های فضائی به‌شمار می‌رود و با توجه به تحلیل قبلی مبنی بر عدم وجود شرایط ابرآلودگی در روز ۱۵۲ سال مطابق با اول ژوئن (در سال ۲۰۰۹ میلادی) و مطابق ۱۱ خرداد ۱۳۸۸ مابین ساعات ۱۰ تا ۱۱ قبل از ظهر اقدام به برآورد تابش رسیده به زمین گردید. دلیل انتخاب این شرایط وجود آمار تبخیر در

این روز و ساعت می باشد و از طرف دیگر همزمانی با عبور اکثر ماهواره زمین آهنگ که در تحلیل برخی از دیگر ارتباطات مانند تحلیل ارتباط تبخیر- تعرق با کاربری یا پوشش گیاهی می تواند مورد استفاده قرار گیرد، می باشد. در شکل ۳ مقادیر محاسبه شده نمایش داده شده است.



شکل (۳) مقادیر محاسبه شده تابش رسیده به زمین

د) محاسبه درجه حرارت متوسط

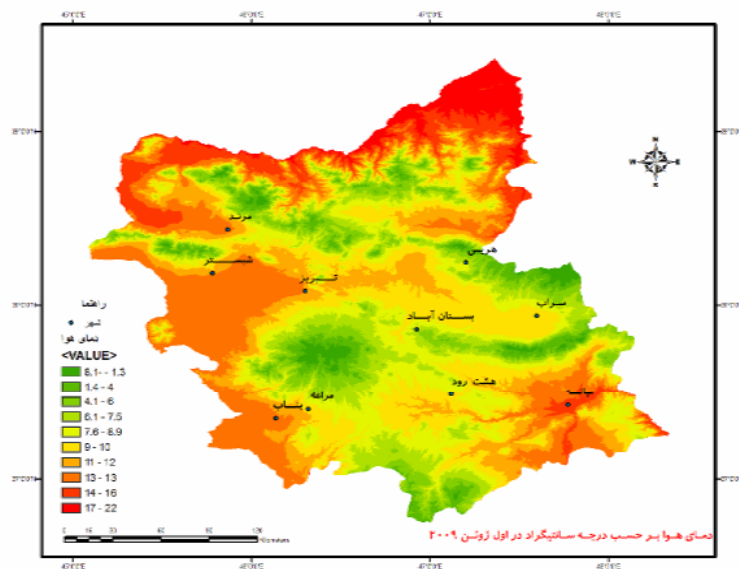
داده های مربوط به درجه حرارت متوسط هوا از طریق سازمان هواشناسی اخذ گردید^{۱۰}. این داده ها به صورت نقطه ای می باشند و تعمیم دادن آن ها به سطح توسط روش های درونیابی بویژه در مناطق کوهستانی نادرست است. روش درونیابی جبری روشی است که می تواند

تا حدود زیادی وضعیت منطقه را به‌صورتی که نشانگر واقعیت موجود باشد نشان دهد. این روش بر وجود رابطه مشخص میان داده‌های مشاهداتی تأکید می‌کند و به‌صورت رگرسیون خطی بیان می‌گردد و هدف آن بیان رابطه بین پیش‌بینی شونده و یک یا چندمتغیر پیش‌بینی‌کننده است (فرج‌زاده، ۱۳۸۶: ۲۳۱).

برای محاسبه این عامل، با مراجعه به آمارهای هواشناسی موجود در ایستگاههای منطقه در تاریخ اول ژوئن ۲۰۰۹ اقدام به محاسبه آن گردید. با توجه به اینکه ارقام موجود به‌صورت نقطه‌ای بوده و تعمیم آن به سطح نادرست است با دخالت دادن عامل ارتفاع (لایه DEM) و با محاسبه همبستگی دما (T) و ارتفاع (H) در این روز، معادله زیر حاصل گردید:

$$T = -0.0071 H + 21.5 \quad (\text{معادله ۶})$$

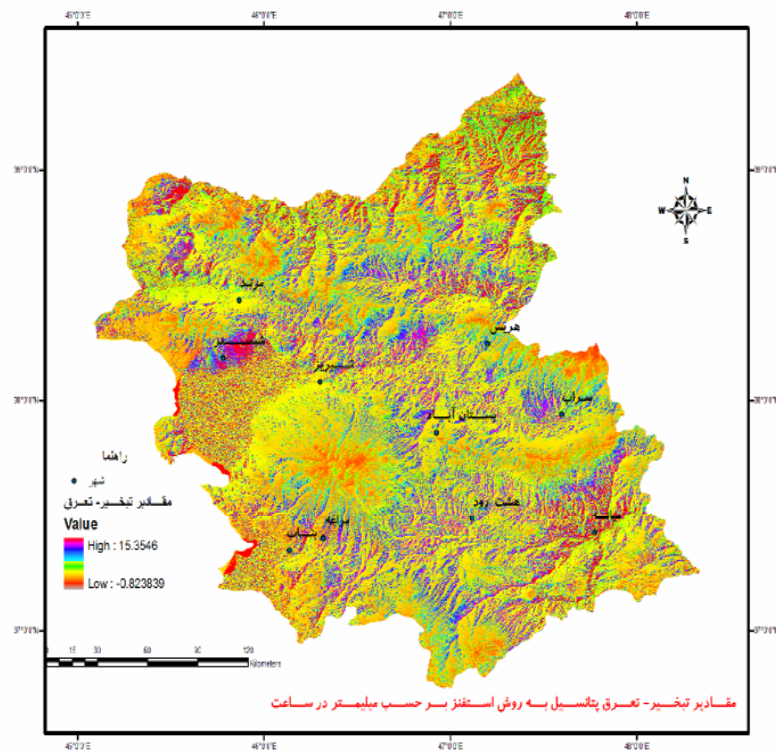
در محیط GIS اقدام به تهیه نقشه سطوح همدمای آن روز در منطقه مورد مطالعه گردید که نتیجه آن در شکل ۴ ارائه شده است:



شکل (۴) سطوح همدمای میانگین متوسط در اول ژوئن ۲۰۰۹

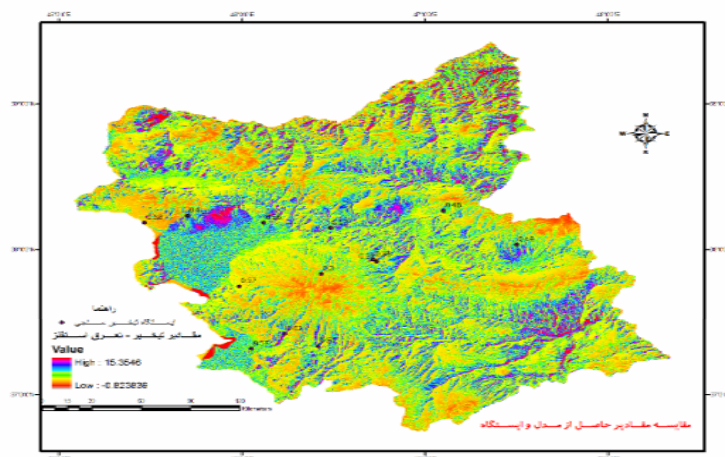
یافته‌ها

محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل (ET0) با استفاده از معادله استفنز با توجه به معادله شماره ۵ عوامل موثر در محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل موجود بوده و با مدل سازی آن اقدام به برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل به این روش گردید و نتیجه آن در شکل ۵ ارائه شده است:



شکل (۵) مقادیر محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل به روش استفنز در منطقه مورد مطالعه

با توجه شکل ۶ مقایسه‌ای بین مقادیر حاصل از اجرای مدل و محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل به روش استفنز و مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های تبخیرسنجی شده است.



شکل (۶) مقایسه مقادیر حاصل از مدل و ایستگاه‌های تخیرسنجی

برای اعتبارسنجی مدل اجرا شده مقادیر تخیر ثبت شده در برخی ایستگاه‌های تخیر سنجی منطقه از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی اخذ گردید و مقادیر آن با مقادیر حاصل از مدل اجرا شده مقایسه گردید. نتایج حاصل در جدول شماره ۱ می‌باشد:

جدول (۱) مقایسه مقادیر حاصل از ایستگاه‌های تخیرسنجی و اجرای مدل

ردیف	ایستگاه	مقادیر اندازه‌گیری شده	مقادیر حاصل از مدل	اختلاف
۱	سد علویان	۰/۶۳ میلی‌متر در ساعت	۰/۷۵ میلی‌متر در ساعت	+ ۰/۱۲
۲	لیقوان	۰/۳	۰/۴	+ ۰/۱۰
۳	ارشناب	۰/۳۷	۰/۴۵	+ ۰/۰۸
۴	قوریگل	۰/۳۸	۰/۴۸	+ ۰/۱۰
۵	شرفخانه	۰/۳۸	۰/۴۷	+ ۰/۰۹
۶	شانجان	۰/۴	۰/۵	+ ۰/۱۰
۷	برازین	۰/۴۸	۰/۵۸	+ ۰/۱۰
۸	میرکوه حاجی	۰/۴۹	۰/۵۸	+ ۰/۰۹
۹	مقانیق	۰/۵۱	۰/۶۳	+ ۰/۱۲
۱۰	نهند	۰/۵۳	۰/۶۴	+ ۰/۱۱
۱۱	سپهان	۰/۵۶	۰/۶۴	+ ۰/۰۸
۱۲	بناب	۰/۵۷	۰/۶۵	+ ۰/۰۸
۱۳	آذرشهر	۰/۵۷	۰/۶۵	+ ۰/۰۸

با توجه به جدول مشخص می‌شود که مقادیر حاصل از اجرای مدل نسبت به مقادیر حاصل از مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های تبخیرسنجی همواره بیشتر می‌باشد و این اختلاف بین ۰/۰۸ تا ۰/۱۲ میلی‌متر در ساعت و یا به صورت میانگین ۰/۱ میلی‌متر در ساعت است.

بحث و نتیجه‌گیری

استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تکنولوژی سنجش از دور بعنوان منابع داده اولیه در محاسبات تبخیر- تعرق در دهه‌های اخیر در حال گسترش بوده است. در کنار آن GIS به عنوان سیستمی که قدرت تحلیل فضائی و مکانی بی‌نظیری را به کاربران می‌دهد، همواره مورد نظر محققان بوده است. در سال‌های اخیر بحران منابع آب، نیاز مدیران را برای داشتن اطلاعاتی دقیق از وضعیت هیدرولوژیکی مناطق چند برابر نموده است و محاسبات سنتی که عمدتاً بر پایه داده‌های هواشناسی و اقلیمی است و تنها بازگوکننده وضعیت یک نقطه (ایستگاه هواشناسی) است دیگر جوابگوی نیازهای مدیریتی برای تهیه داده‌ها دقیق نیست. منطقه مورد مطالعه در منطقه‌ای واقع شده که به لحاظ اقلیمی جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود و در این مناطق بیش از ۹۰ درصد آب رسیده به سطح زمین توسط تبخیر-تعرق به چرخه هیدرولوژیکی بازمی‌گردد. همچنین این منطقه جزو مساعدترین مناطق کشاورزی کشور می‌باشد و در نتیجه مدیریت منابع آب در این منطقه از اهمیت بیشتری برخوردار می‌گردد.

در محاسبه مقادیر تبخیر- تعرق عوامل ارتفاع، شیب و جهت شیب نقش بسیار مهمی در آن ایفا می‌نمایند ولیکن دخالت دادن این عوامل تنها از طریق تصاویر ماهواره‌ای امکانپذیر می‌باشد و به این دلیل نتایج حاصل از این تحقیقات نسبت به سایر روش‌ها به‌ویژه روش‌های سنتی دقیق‌تر است و در تصویر شماره ۵ این مقادیر نه به صورت پهنه‌ها بلکه بصورت پیکسل‌هایی ارائه شده که عوامل فوق در آن‌ها دخال داده شده است و به راحتی امکان محاسبات ریاضی و آماری را دارا هستند و محققان می‌توانند مقادیر کمی را از آن با دقت بسیار بالائی استخراج نمایند.

همچنین در این نقشه مشخص می‌گردد که کمترین مقدار تبخیر- تفرق پتانسیل در ارتفاعات و دامنه‌های شمالی مشاهده می‌شود. به‌عنوان مثال مناطق واقع در ارتفاعات کوه سهند و دامنه‌های سبلان کمترین مقدار تبخیر- تفرق پتانسیل را دارند. در مقابل دامنه‌های جنوبی بیشترین مقادیر تبخیر- تفرق پتانسیل را به خود اختصاص می‌دهند. در این بین دو منطقه قابل توجه وجود دارد. اولین آن دامنه‌های جنوبی کوه میشو می‌باشد که بیشترین تابش خورشیدی را نیز دریافت می‌نماید. این منطقه در زبان ترکی و محلی «گوونه‌ی» یا منطقه آفتابگیر نامیده می‌شود. منطقه بعدی سواحل دریاچه ارومیه می‌باشد که هم مقدار تابش رسیده و مقدار تبخیر- تفرق پتانسیل بالائی دارد. می‌توان چنین استنباط نمود که یکی از دلایل خشک شدن دریاچه ارومیه همین مقدار بالای تبخیر- تفرق پتانسیل در مقابل واردات آب ناچیز این دریاچه است. در حال حاضر مدیریت منابع آب از مهم‌ترین مشکلات کشور محسوب می‌شود. یکی از روش‌هایی که می‌تواند نیاز آبی گیاه را کاهش دهد کشت محصول در مناطقی است که دارای تبخیر- تفرق پتانسیل کمتری هستند که این مناطق در شیب‌های شمالی کوه‌های سهند و میشو دیده می‌شوند. در مجموع می‌توان چنین استنباط کرد که مقدار تبخیر- تفرق پتانسیل منطقه را دو عامل ارتفاع و جهت شیب کنترل می‌نمایند و عامل شیب اهمیت چندانی در تعیین تبخیر- تفرق پتانسیل ندارد. با توجه به عملیات محدودی که با کمترین داده‌های هواشناسی انجام گردید و نتایج قابل قبولی را ارائه داد می‌توان نتیجه‌گیری که با استفاده از GIS و روش‌های تشعشعی برآورد تبخیر- تفرق پتانسیل می‌توان به سرعت و دقت قابل قبول وضعیت منطقه را ارزیابی کرد. همچنین رستری بودن این نقشه‌ها به محقق این اجازه را می‌دهد تا هرگونه تحلیل و برآوردهای آماری را در سطح منطقه انجام دهد که این عملیات از عهده روش‌های سنتی خارج است.

پیشنهاد می‌گردد این روش با استفاده از سایر فرمول‌های تشعشعی نیز محاسبه شده و نتایج آن با همدیگر مقایسه و بهترین روش که کمترین خطا را داشته باشد انتخاب گردد.

منابع

- ۱- اسمعیل پور، مرضیه (۱۳۸۶)، «ارزیابی بیلان آب برای استفاده کشاورزی در حوضه جنوبی رود ارس»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز.
- ۲- جهانبخش اصل، سعید؛ موحد دانش، علی اصغر؛ مولوی، احد (۱۳۸۰)، «تحلیل مدل های برآورد تبخیر- تعرق برای ایستگاه هواشناسی تبریز»، *دانش کشاورزی*، شماره ۲ جلد ۱۱، ۵۱-۶۵.
- ۳- دین پژوه، یعقوب؛ جهانبخش، سعید (۱۳۸۷)، «بررسی تبخیر- تعرق گیاه مرجع در ایران با استفاده از روش هارگریوز»، *مجموعه مقالات سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران*، دانشگاه تبریز.
- ۴- زاهدی، مجید؛ بیاتی خطیبی، مریم (۱۳۸۷)، «*هیدرولوژی*»، انتشارات سمت.
- شفیعی فسقندیس، ابراهیم؛ ساری صراف، بهروز؛ جهانی، مقصود؛ مولوی، احد (۱۳۸۶)، «ارزیابی مدل های برآورد تبخیر- تعرق بالقوه برای منطقه اهر»، *فضای جغرافیائی*، شماره ۲۰ زمستان ۱۳۸۶.
- ۵- فرج زاده، منوچهر (۱۳۸۶)، «*تکنیک های اقلیم شناسی*»، انتشارات سمت.
- ۶- قهرمان زاده، بهرام (۱۳۷۴)، «تعیین مناسب ترین رابطه برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل از بین روابط موجود برای منطقه ارومیه»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.
- ۷- لو، ژان (۱۳۷۸)، «*هیدرولوژی آب های سطحی*»، ترجمه مجید زاهدی، انتشارات آناس.
- ۸- مولوی، احد (۱۳۷۴)، «*واسنجی و آنالیز مدل های برآورد تبخیر و تعرق*»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز.
- 9- Allen, R.G and W.O. Pruitt (1988), "Clusure to Relational Use of the FAO Blany-Criddle Formula", *J.Irrig and Drian Eng.* 114(2):375-380.
- 10- Allen, R.G and W.O. Pruitt (1991), "FAO-24 Reference Evapotranspiration Factors", *J.Irrig and Drian ASCE* 117(5):758-773.

- 11- Allen, R.G., M. Tasumi, A. Morse (2005), "Satellite-based Evapotranspiration by METRIC and Landsat for Western Estates Water Management", US Bureau Reclamation Evapotranspiration Workshop.
- 12- Clothier, B.E., J.P. Kerr, J.S. Talbut and D.R. Scotter (1982), "Measured and Evapotranspiration from Well-Watered Crops", New Zealand", *J.Agr.Res.*, 25: 301-307.
- 13- Hargreaves, G.H and Z.A. Samani, (1989), "Evapotranspiration Estimates in Extremely Arid Areas", *J. Irrig. Drain*, Vol. 115: 301-308.
- 14- Jensen, M.E.R.D and R.G. Allen (1990), "Evapotranspiration and Irrigation Water Requirments", ASCE Manuals and Reports on Engineering Practices, No. 70: 354-358.
- 15- Salih, A.M.A. and U. Sendil (1984), "Evapotranspiration under Extremely Arid Climates", *J. Irrig., and Drain, Eng., ASCE*, 110(3): 289-303.
- 16- Samani, Z.A., and M. Pessarakli (1986), "Estimating Potential Crop Evapotranspiration with Minimum Data in Arizona", *Trans, ASAE*, 29: 522-524.
- 17- Wright, J.L. (1988), "Daily and Seasonal Evapotranspiration and Yield of Irrigated Alfalfa Southern Idaho", *Agron*, J. 80:662-669.